



Briefrapport 630789003/2009

W.P. Jongeneel et al.

Binnenmilieu

Recente wetenschappelijke ontwikkelingen en
beleid op een rij

RIVM briefrapport 630789003/2009

Binnenmilieu

Recente wetenschappelijke ontwikkelingen en beleid op een rij

W.P. Jongeneel
E.C. van Balen
E.A. Koudijs
B.A.M. Staatsen
D.A. Houweling

Contact:
Rob Jongeneel
Centrum voor Milieu, Gezondheid & Omgevingskwaliteit
Rob.Jongeneel@rivm.nl

Dit briefrapport bevat een erratum op pagina 2

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van VROM, in het kader van het Kennis en Informatie Punt Milieu & Gezondheid (M/630789).

Memo

Onderwerp
Erratum briefrapport Binnenmilieu (630789003/2009)

Datum

28 september 2009

Ons kenmerk

053/2009 MGO BS/rj/iku

Blad

1/1

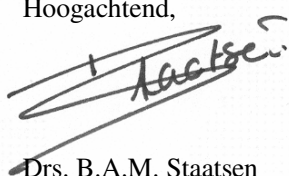
Behandeld door

Dhr. R. Jongeneel
Centrum Milieu, Gezond-
heid & Omgevingskwaliteit
Tel 030 274 8533
Fax 030 274 4451
rob.jongeneel@rivm.nl

Geachte heer, mevrouw,

Na het drukken van bovenstaand briefrapport is gebleken dat de metingen van vluchtige organische stoffen (VOS) in het 1240 woningen onderzoek uit 2007, beschreven door van Dongen en Vos, niet voldoende betrouwbaar zijn. In het rapport wordt hier op pagina 13 en 19 naar verwezen. De constatering dat in 37% van de gemeten woningen een overschrijding van de totale VOS concentratie van 200 µg/m³ is, vervalt hiermee.

Hoogachtend,



Drs. B.A.M. Staatsen

Projectleider Kennis & Informatie Punt Milieu & Gezondheid

Bijlagen

Briefrapport

© RIVM 2009

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Binnenmilieu: Recente wetenschappelijke ontwikkelingen en beleid op een rij

Het huidige binnenmilieubeleid richt zich vooral op het verbeteren van ventilatie en het uitfaseren van afvoerloze verbrandingsinstallaties in het kader van de Nationale Aanpak Milieu en Gezondheid. Een analyse van het RIVM signaleert dat er ook andere problemen spelen in het binnenmilieu, zoals de aanwezigheid van vocht en schimmels in oudere huizen, gezondheidsrisico's door nieuwe stoffen in het binnenmilieu (zoals weekmakers), mogelijke negatieve effecten van energiebesparingsmaatregelen en de gevolgen van klimaatverandering. Het huidige binnenmilieubeleid sluit niet volledig aan op de problemen die volgens recent wetenschappelijk onderzoek spelen op dit gebied.

Dat een slecht binnenmilieu bijdraagt aan de ziektelast in Nederland, is al langere tijd bekend. Over de omvang en de aard van de binnenmilieuproblematiek is echter niet altijd informatie beschikbaar. Uit onderzoek in Nederlandse woningen blijkt dat van allerlei stoffen in het binnenmilieu vaak (te) hoge concentraties voorkomen. Bovendien wordt in veel woningen te weinig geventileerd, onder andere vanwege geluidsoverlast van ventilatiesystemen of uit het oogpunt van energiebesparing. Recent is de ziektelast door een slecht binnenmilieu geschat. De aan binnenmilieu gerelateerde ziektelast bestaat vooral uit hart- en vaatziekten, astma en gebouw gerelateerde klachten (sick building syndrome). De ziektelast wordt vooral veroorzaakt door bronnen buitenshuis, verbrandingstoestellen binnenshuis en vochtproblemen en schimmels.

Trefwoorden:

binnenmilieu, gezondheidseffecten, Nationale Aanpak Milieu en Gezondheid 2008, wetenschappelijke ontwikkelingen

Inhoud

Lijst van afkortingen	7
1 Inleiding	9
1.1 Doel en reikwijdte.....	9
1.2 Werkwijze.....	9
1.3 Leeswijzer.....	10
2 Waarom blijft binnenmilieu aandacht vragen?	11
3 Situatie van het binnenmilieu in Nederland	13
3.1 Organische stoffen (uitgezonderd verbrandingsproducten).....	13
3.2 Vocht en biologische agentia.....	14
3.3 Verbrandingsproducten en roken.....	14
3.4 Thermisch comfort.....	15
3.5 Ventilatie.....	16
3.6 Radon.....	18
3.7 Conclusie situatieschets.....	22
4 Nieuwe onderzoekontwikkelingen	23
4.1 Organische stoffen.....	25
4.2 Vocht en biologische agentia.....	27
4.3 Verbrandingsproducten.....	27
4.4 Ventilatiesystemen.....	28
4.5 Radon.....	28
4.6 Asbest.....	29
4.7 Conclusie onderzoekontwikkelingen.....	29
5 Beleidsinzet	31
5.1 Woningen.....	31
5.2 Scholen.....	33
5.3 Kindercentra.....	34
5.4 Bejaarden-, verzorgings- en verpleeghuizen.....	34
5.5 Aanpak binnenmilieuproblematiek op lokaal niveau.....	34
5.6 Internationale ontwikkelingen.....	34
5.7 Conclusie beleidsinzet.....	35
6 Beschouwing en aanbevelingen	37
6.1 Beschouwing.....	37
6.2 Conclusies en aanbevelingen.....	37
Referenties	39
Bijlage 1: Bronnen en gezondheidseffecten van stoffen in het binnenmilieu	43
Bijlage 2: Originale resultaattabellen uit reviews	53

Lijst van afkortingen

BUMA	Prioritization of Building Materials emissions
DALY	Disability-Adjusted Life-Years: het aantal DALY's is het aantal gezonde levensjaren dat een populatie verliest door ziekten.
DEHP	di(2-ethylhexyl)phtalate
EC-JRC	European Commission - Joint Research Centre
GGD	Gemeentelijke Gezondheidsdienst
ISSO	Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek op het gebied van gebouwinstallaties
KIP	Kennis en Informatie Punt Milieu en Gezondheid (RIVM)
LBP	Lichtveld, Buis & Partners
LOAEL	Lowest Observed Adverse Effect Level
MTR	Maximaal Toelaatbaar Risico: De concentratie van een stof in lucht, water of bodem waar beneden geen negatief effect te verwachten is of, bij kankerverwekkende stoffen, de kans op sterfte voor de mens kleiner is dan 1 op miljoen per jaar.
MVOS	Microbiële Vluchtige Organische Stoffen
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
OCW	Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
OR	Odds Ratio: De verhouding tussen a) de kansen op wel en niet effect bij blootgestelde personen en b) de kansen op wel en niet effect bij niet blootgestelde personen.
PAK's	Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen
PBDE	polygebromeerde difenylether
PM _{2,5}	Particulate Matter: Stofdeeltjes met een diameter $\leq 2.5 \mu\text{m}$
PRONET	Pollution Reduction Options Network (EU-project)
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RV	Relatieve vochtigheid
SBR	Stichting Bouwresearch
SBS	Sick Building Syndrome: Het verschijnsel waarbij mensen last krijgen van uiteenlopende a-specifieke klachten, zoals irritatie van slijmvliezen, hoofdpijn en duizeligheid. Deze klachten worden geweten aan een slecht binnenmilieu, zonder dat daarvoor een aanwijsbare oorzaak te vinden is.
SVOS	Semi-Vluchtige Organische Stoffen
SZW	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
TNO	Instituut voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
VOS	Vluchtige Organische Stoffen
VROM	Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu
VWS	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
WHO	Wereld Gezondheidsorganisatie
WWI	Wonen, Wijken en Integratie

1 Inleiding

Het Kennis en Informatie Punt Milieu en Gezondheid (KIP) heeft dit rapport geschreven in opdracht van het ministerie van VROM/Directie Risicobeleid en geeft antwoord op de door hen gestelde vragen:

- zijn er ontwikkelingen in de wetenschappelijke kennis over aan binnenmilieu gerelateerde gezondheidsrisico's waardoor er extra beleidsinzet nodig is op het gebied van binnenmilieu?
- richt het reguliere beleid en de beleidsimpuls uit de nationale aanpak milieu en gezondheid zich op de juiste aspecten van de binnenmilieuproblematiek gezien de recente ontwikkelingen in kennis?

Tevens geldt dit rapport als achtergrondinformatie voor de werkconferentie: Naar een gezonde fysieke leefomgeving.

1.1 Doel en reikwijdte

Dit rapport is bedoeld voor beleidsmedewerkers en professionals werkzaam op het terrein van binnenmilieu en milieu en gezondheid. Het geeft een overzicht van de huidige situatie van het binnenmilieu in Nederland en nieuwe wetenschappelijke inzichten van de afgelopen twee jaar. Hierbij hebben we ons binnen de gevonden literatuur vooral gericht op bestaande woningen, scholen, kindercentra en bejaarden-, verzorgings- en verpleegtehuizen. Er is dus niet gekeken naar het binnenmilieu van ziekenhuizen, transportmiddelen (auto's, openbaar vervoer), etc. De kwaliteit van het binnenmilieu wordt door meerdere aspecten bepaald zoals (thermisch) comfort, luchtkwaliteit, geluid, licht en uitzicht, vocht, gebruikersveiligheid, interieur en inrichting, leefgewoonten en gedrag. In dit rapport wordt ingegaan op de aspecten luchtkwaliteit, vocht en biologische agentia, thermisch comfort, ventilatie en straling.

Daarnaast wordt een overzicht gegeven van recent ingezet of voorgenomen beleid op het gebied van binnenmilieu. Evaluatie van de effectiviteit, uitvoering en handhaving van het beleid valt buiten het kader van dit rapport, en vindt in 2010 plaats in kader van de evaluatie van de Nationale Aanpak.

1.2 Werkwijze

De beschrijving van het huidige binnenmilieu in bestaande woningen en scholen in Nederland is voornamelijk gebaseerd op het TNO rapport *Gezondheidsaspecten van woningen in Nederland* uit 2007 en het *Onderzoek in basisscholen naar de kwaliteit van het binnenmilieu* uitgevoerd door Lichtveld, Buis & Partners (LBP) in opdracht van VROM uit 2007. Deze informatie is, waar mogelijk, aangevuld met gegevens uit lopende onderzoeken naar het binnenmilieu in Nederland die nog niet gepubliceerd zijn maar wel ter inzage beschikbaar gesteld zijn (Hall, Dusseldorp *et al.* 2009; Leidelmeijer, Menkveld *et al.* 2009; Versteeg 2009). Verder zijn gegevens gebruikt uit recente RIVM-rapporten.

Om de nieuwe onderzoeksontwikkelingen in kaart te brengen zijn overzichtsartikelen en meta-analyses verzameld die zijn gepubliceerd tussen januari 2007- juli 2008. Dit is gedaan door middel van een zoekprofiel binnen Scopus (www.scopus.com). Scopus bestrijkt alle relevante natuur-, levens- en gezondheidswetenschappelijke literatuurbronnen. Het volgende zoekprofiel is gehanteerd:

((TITLE-ABS-KEY(((indoor OR hous* OR home* OR domestic OR dwelling* OR school* OR inside OR day-care* OR kindergarten* OR creche*) AND (benzene or mold or mould or allergen or cockroach or mite or fungi or spores or "volatile organic compound*" or "particulate matter" or radon or "environmental tobacco smoke" or humid* or damp* or mois* or "carbon monoxide" or ventilation or formaldehyde or ((air or environment) and (quality or pollution or health)))))) and (TITLE (((indoor OR hous* OR home* OR domestic OR dwelling* OR

school* OR inside OR daycare* OR kindergarten* OR creche* OR air or environment OR quality or pollution)))) AND LANGUAGE(dutch or english) AND NOT TITLE-ABS-KEY(*receptor OR *protein* OR *cell OR immune* or rhinitis)) AND PUBYEAR aft 2006 and DOCTYPE(re)

Daarnaast zijn artikelen, later gepubliceerd dan in de oorspronkelijke zoekopdracht, gebruikt uit de maandelijks literatuurattending over binnenmilieu van de bibliotheek van het RIVM. Ook resultaten uit lopende Europese projecten, die eerder voor VROM zijn geïnventariseerd, zijn gebruikt. Ten slotte zijn recente onderzoeksontwikkelingen meegenomen die zijn gepresenteerd tijdens congressen op het gebied van binnenmilieu.

Recente beleidsbrieven aan de Tweede Kamer en de Nationale Aanpak Milieu en Gezondheid zijn gebruikt om recent ingezet en voorgenomen beleid op het gebied van binnenmilieu in kaart te brengen. Het stofs specifieke reguliere beleid, bijvoorbeeld radonbeleid, is hierbij buiten beschouwing gelaten.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft aan waarom binnenmilieu belangrijk is. In dit hoofdstuk worden in het kort de problemen in het binnenmilieu geschetst. Hoofdstuk 3 beschrijft vervolgens de huidige binnenmilieukwaliteit in Nederland. Het gaat daarbij in op verschillende stoffen en factoren die problemen veroorzaken in het binnenmilieu. In hoofdstuk 4 worden voor elk van deze stoffen of factoren de meest recente wetenschappelijke ontwikkelingen weergegeven. In hoofdstuk 5 staat een overzicht van de huidige beleidsinzet vanuit de Nationale Aanpak Milieu en Gezondheid. Hoofdstuk 6, ten slotte, beschouwt de problemen en nieuwe ontwikkelingen in het licht van de Nationale Aanpak en doet aanbevelingen over de eventuele lacunes in het huidige beleid.

2 Waarom blijft binnenmilieu aandacht vragen?

Beleid op het gebied van binnenmilieu heeft er toe geleid dat de gezondheidkundige kwaliteit van de woningvoorraad in Nederland op enkele belangrijke aspecten zoals geluidhinder, vocht en schimmels, duidelijk verbeterd is (Minister van WWI 2007). Toch heeft bijna tweederde van de milieugerelateerde gezondheidsklachten die in de periode 2004-2006 bij GGD'en binnenkwam, betrekking op het binnenmilieu. Problemen met vocht en schimmels werden daarbij het meest gemeld (Dusseldorp, van Poll *et al.* 2007). In de Amersfoortse wijk Vathorst waren er klachten bij bewoners van huizen met balansventilatie. Een onderzoek van de GGD naar aanleiding van deze klachten liet een associatie zien tussen het voorkomen van a-specifieke gezondheidsklachten en de aanwezigheid van balansventilatie (Duijm, Hady *et al.* 2007).

Meer recent is de aandacht voor de binnenmilieukwaliteit van basisscholen, kindercentra en verzorgingstehuizen. Het gaat dan vooral om een te hoge temperatuur in de zomer, onvoldoende ventilatie en geluidsoverlast van buiten of van ventilatiesystemen. Ook blijkt dat naleving en handhaving van de voorschriften over gezondheid en de energieprestatie uit het Bouwbesluit voor woningen, scholen en kindercentra vaak te wensen over laten (Kuindersma en Ruiter 2007).

Binnenmilieu is een thema op het snijvlak van milieu en gezondheid waar gezondheidswinst te behalen is. Aspecten die een rol spelen bij het binnenmilieu zijn zowel luchtkwaliteit (concentraties chemische stoffen in de lucht), vocht en biologische agentia (huisstofmijt, schimmels), temperatuur (comfort), straling (radon) als geluid (zowel van installaties in huis als geluid van buiten) en inrichting (gebruikte materialen). Van al deze aspecten afzonderlijk is bekend dat blootstelling hieraan tot gezondheidseffecten kan leiden. Er is echter weinig onderzoek gedaan naar het totaaleffect van blootstelling aan al deze aspecten samen. Gecombineerde blootstelling kan tot verergeringen van gezondheidseffecten leiden maar eventueel ook tot vermindering. Daarnaast is het gedrag (ventileren) en leefgewoonten (hobby's, roken) van bewoners van invloed op de kwaliteit van het binnenmilieu en eventueel daaraan gerelateerde gezondheidsrisico's.

Het onderwerp binnenmilieu wordt ook binnen Europa voor zowel de EU als de WHO steeds belangrijker. Zo is er gewerkt aan een lijst van chemische stoffen in het binnenmilieu die prioriteit verdienen op basis van gezondheidseffecten (INDEX), aan emissiekenmerken van bouwmaterialen (BUMA) en is er een inventarisatie gemaakt van de verschillende Europese labelling systemen voor bouwmaterialen (ECA-IAQ 2007). Recent heeft een Europees onderzoek (EnVIE) de schadelijke gezondheidseffecten door een ongunstig binnenmilieu gekwantificeerd. De berekende totale ziektelast door een vervuild binnenmilieu in Nederland komt volgens EnVIE ruwweg overeen met 72.100 DALY's (de Oliveira Fernandes, Jantunen *et al.* 2009). De totale milieugerelateerde ziektelast in Nederland is geschat op 58.000 - 145.000 DALY's (Knol en Staatsen 2005). Roken is niet meegenomen in beide berekeningen en de onzekerheden in de berekeningen zijn groot. De WHO is momenteel bezig met het opstellen van advieswaarden voor het binnenmilieu. Hierbij gaat het om stoffen zoals formaldehyde, benzeen, koolmonoxide, stikstofdioxide, PAK's en radon.

3 Situatie van het binnenmilieu in Nederland

In dit hoofdstuk wordt voor een aantal veelvoorkomende aspecten in het binnenmilieu de situatie in Nederland beschreven. Hierbij beperken we ons tot het vóórkomen van deze aspecten. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de belangrijkste bronnen, blootstelling en gezondheidseffecten van de genoemde agentia (zie bijlage 1).

3.1 Organische stoffen (uitgezonderd verbrandingsproducten)

Er is een grote verscheidenheid aan groepen organische stoffen die binnenshuis kunnen voorkomen. Organische stoffen die bij kamertemperatuur gemakkelijk verdampen worden vaak aangeduid als vluchtige organische stoffen (VOS). Voorbeelden van organische stoffen in het binnenmilieu zijn formaldehyde en benzeen.

Uit een onderzoek uit 2007 in 87 woningen in Nederland blijkt dat in 37% van de woningen de som van de gemeten VOS-concentratie boven de advieswaarde voor verblijfsruimten van de Gezondheidsraad ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) uitkomt (van Dongen en Vos 2007). De Gezondheidsraad adviseert deze waarde vanwege het feit dat ‘chemo-sensorische waarnemingen ten gevolge van blootstelling aan VOS in het binnenmilieu kunnen worden opgevat als kritisch effect’ (Gezondheidsraad 2000b). Dit betekent dat een sensorisch waarneembare hoeveelheid VOS al onwenselijk is. In twee recente onderzoeken in 38 en 60 woningen in Groningen werd de advieswaarde van de Gezondheidsraad in resp. 0 en 8% van de huizen overschreden (Meijer en Sijtsma 2008; Hall, Dusseldorp *et al.* 2009). Het verschil tussen het eerstgenoemde en de laatste twee onderzoeken zou deels verklaard kunnen worden door een verschil in analyse, want in de onderzoeken in Groningen zijn ethanol en aceton niet geanalyseerd. Echter, het is niet met zekerheid te zeggen of deze stoffen verantwoordelijk zijn voor de gevonden verschillen (Hall, Dusseldorp *et al.* 2009). Daarnaast zijn er verschillen in de kwaliteit van de data.

Formaldehyde is in bijna alle huizen aanwezig. Voor formaldehyde worden internationaal verschillende advieswaarden gebruikt. Nederland hanteert een maximaal toelaatbaar risico (MTR) voor sensorische irritatie afgeleid voor kortdurende (30-minuten) blootstelling. Deze is bepaald op $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Echter, mensen die er gevoelig voor zijn, kunnen hinder en lichte irritatie ondervinden bij concentraties onder deze MTR (WHO 2000). Ook voor langdurige blootstelling is een MTR voor sensorische irritatie afgeleid; deze is bepaald op $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In circa 60% van de woningen werd de MTR voor langdurige blootstelling in keukens en ruimten met spaanplaatmateriaal overschreden (van Dongen en Vos 2007). Voor een carcinogene werking van formaldehyde geldt dat een levenslange blootstelling aan concentraties tot $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geen verhoogde kans op neusholtekanker geeft (WHO 2000). In Nederland blijven de gemeten formaldehydeconcentraties onder deze concentratie (van Dongen en Vos 2007).

Cijfers over het voorkomen van semi-vluchtige organische stoffen zoals brandvertragers, weekmakers en terpenen in Nederlandse woningen zijn niet of beperkt beschikbaar. Wel zijn er buitenlandse studies die deze stoffen hebben aangetroffen in huisstof. Aangezien veel consumentenproducten waarin deze stoffen voorkomen, ook in Nederland worden gebruikt, ligt het voor de hand dat deze stoffen ook in Nederland in huisstof voorkomen.

3.2 Vocht en biologische agentia

In woningen kunnen vocht, schimmels en huisstofmijten voorkomen. Deze kunnen gezondheidsklachten zoals allergie of luchtwegsymptomen verergeren of veroorzaken. Vocht bevordert de groei van microbiologische agentia en huisstofmijt, wat bij inademing van schimmelsporen of huisstofmijtuitspoelen vervolgens een reactie veroorzaakt.

Verscheidene onderzoeken uitgevoerd tussen 1985 en 1995 gaven aan dat 15-25% van de woningen vochtproblemen hadden (Dusseldorp en van Bruggen 2007; Peeters 2007). Vanaf 1995 worden gegevens over vochtproblemen in Nederland verzameld via het Europe Community Household Panel (ECHP) en vanaf 2005 in het jaarlijkse Statistics on Income and Living Conditions (SILC). Deze onderzoeken laten zien dat het percentage mensen dat woont in woningen met zelfgerapporteerde vochtproblemen is afgenomen van 21% in 1995 tot 17% in 2001 en 16.4% in 2006 (EUROSTAT ECHP and EUROSTAT SILC 2008).

De afname van vochtproblemen komt door verbeteringen in de bouw. Hierdoor hebben nieuwere huizen een lagere luchtvochtigheid dan oudere huizen, minder koudebruggen en condensvorming. In een onderzoek uitgevoerd in 2007 had 6% van de onderzochte woningen vochtproblemen (van Dongen en Vos 2007), maar dit is gemeten in het stookseizoen. Aangezien in het stookseizoen de luchtvochtigheid altijd lager is dan buiten het stookseizoen, is dit percentage waarschijnlijk een onderschatting van de vochtproblematiek buiten het stookseizoen. Het valt dus te verwachten dat het huidige percentage huizen met vochtproblemen tussen de 6 en 16% ligt.

Hoeveel huizen in Nederland schimmelplekken hebben, is niet precies bekend, maar de meest recente schatting gaat uit van 9% (van Dongen en Vos 2007). Hoe lager de luchtvochtigheid, hoe minder schimmelvorming. Omdat nieuwere huizen over het algemeen minder vochtig zijn, komt hier ook minder schimmel voor. In koopwoningen gebouwd na 1980 wordt maar in 1% schimmelplekken aangetroffen, in koopwoningen van voor 1945 is dit 18% (van Dongen en Vos 2007).

Naast wonen in te vochtige huizen kan wonen in huizen met een lage luchtvochtigheid ook tot gezondheidsproblemen leiden. In het stookseizoen kunnen bewoners van ongeveer vijf procent van de Nederlandse woningen hinder ondervinden van een lage relatieve luchtvochtigheid ($RV \leq 30\%$). Vooral contactlensdragers en mensen met allergieën en huidklachten kunnen mogelijk last krijgen van bijvoorbeeld droge ogen en een droge huid. Bij een nog lagere relatieve luchtvochtigheid (lager dan 10 procent) worden ook de slijmvliezen van de neus droger, wat de kans op een infectie aan de luchtwegen verhoogt (Hall en Dusseldorp 2008). Een dergelijke lage relatieve luchtvochtigheid wordt echter nauwelijks aangetroffen in Nederlandse woningen (van Dongen en Vos 2007). Hier staat tegenover dat in droge woningen huisstofmijten minder goed gedijen. Een lagere concentratie aan huisstofmijten levert naar verwachting minder allergische problemen op.

Voor WHO-advieswaarden voor vocht en schimmels in woningen, zie § 5.6.

3.3 Verbrandingsproducten en roken

Bij verbranding van fossiele brandstoffen komen verbrandingsgassen en fijn stof vrij. De verbrandingsgassen bestaan voor het grootste gedeelte uit koolstofdioxide (CO_2), waterdamp (H_2O), stikstof-oxiden (NO_x), en koolmonoxide (CO). Daarnaast kunnen ook aldehyden, waaronder formaldehyde,

zure gassen, zwaveloxiden (SO_x) (bij verbranding van aardolie en kolen) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) voorkomen in verbrandingsgassen.

Bij circa 12% van de woningvoorraad is er sprake van afvoerloze geisers waarvan de verbrandingsproducten niet direct naar buiten worden afgevoerd (van Egmond, Gopal *et al.* 2007). Dit kan o.a. leiden tot koolmonoxidevergiftigingen. Jaarlijks vallen hierdoor in Nederland ongeveer 10 doden en worden 150 mensen opgenomen in het ziekenhuis (Consument en Veiligheid 2008). Afvoerloze geisers stoten daarnaast in belangrijke mate NO₂ uit en vormen een belangrijke bron van NO₂ binnenshuis. Voor stikstofdioxide geldt een grenswaarde van 40 µg/m³ voor langdurige blootstelling in het binnenmilieu (Dusseldorp en van Bruggen 2007). Bij een onderzoek in 74 keukens met een afvoerloze geiser in 2007 lag het weekgemiddelde NO₂ in 43% van de keukens boven deze grenswaarde (van Dongen en Vos 2007). Het werkelijke percentage is zeer waarschijnlijk hoger aangezien een groot aantal metingen in het onderzoek (te) lage waarden opleverden. Een reden hiervoor is niet aan te geven. Bij een recent onderzoek in Groningen wordt de grenswaarde voor langdurige blootstelling in alle vier de gemeten keukens met afvoerloze geisers overschreden (Hall, Dusseldorp *et al.* 2009).

Stofdeeltjes (PM_{2,5}), afkomstig van bronnen binnen- en buitenshuis, komen in alle woningen voor en er is geen drempelwaarde bekend waaronder geen gezondheidseffecten optreden. Meestal is de concentratie binnenshuis lager (60-80%) dan de concentratie buitenshuis. Het buitenmilieu is na tabaksrook de belangrijke bron voor stofdeeltjes (PM_{2,5}) binnenshuis. Voor de fracties ultrafijn stof (PM_{0,1}) en grof stof (PM_{2,5-10}) zijn er juist meer bronnen binnenshuis (Gehin, Ramalho *et al.* 2008; Hoek, Kos *et al.* 2008). In <25% van de woningen van niet-rokers in Amsterdam is de concentratie stofdeeltjes (PM_{2,5}) binnenshuis groter dan buitenshuis. Als er gerookt wordt, is de concentratie stofdeeltjes binnenshuis bijna altijd hoger dan buitenshuis (95%) (Brunekreef, Janssen *et al.* 2005). De WHO heeft ondanks dat er geen drempelwaarde is toch een kwaliteitsrichtlijn (Air Quality guideline) vastgesteld (WHO 2000). Dit om landen te ondersteunen in het proces van normstelling en maatregelen om de concentratie stofdeeltjes te verlagen. Voor langdurige blootstelling in de buitenlucht wordt een jaargemiddelde concentratie van 10 µg/m³ beschouwd als de concentratie die onder de waarde ligt waarboven de meeste schadelijke effecten optreden en die haalbaar is in steden van ontwikkelde landen. In 68% van de huizen van niet-rokers zou deze norm overschreden worden, bij rokers is dit 100%. Het is niet bekend wat de omvang van de gezondheidseffecten door blootstelling voor de buitenlucht aan stofdeeltjes binnenshuis is.

Volgens recente schattingen wordt in 40-49% van de woningen gerookt (Hasselaar 2006; van Dongen en Vos 2007). Het percentage van de niet-rokers dat hierdoor aan tabaksrook wordt blootgesteld, ligt tussen de 18-40% (van Gelder, Blokstra *et al.* 2008). Op basis van becijferingen uit de VS kan de orde van grootte van de sterfte- en ziektelast door passief roken voor Nederland geschat worden (Gezondheidsraad 2003). Naar schatting is passief roken in ons land jaarlijks de oorzaak van enkele honderden sterfgevallen door longkanker, enkele duizenden sterfgevallen door hartaandoeningen, een tiental gevallen van wiegendood en vele tienduizenden gevallen van (meer of minder ernstige) luchtwegaandoeningen bij kinderen (Gezondheidsraad 2003).

3.4 Thermisch comfort

Thermisch comfort is de mate waarin men tevreden is over het thermisch binnenklimaat. Recente cijfers geven aan dat 17% van de nieuwbouwwoningen niet voldoet aan de richtlijn voor temperatuuroverschrijding, waardoor deze woningen in de zomer teveel opwarmen (Kuindersma en Ruiters 2007). Tijdens de hittegolf in de eerste twee weken van augustus 2003 stierven er in Nederland 400-500 personen meer dan normaal te verwachten is. Gedurende de hele zomer van 2003 waren dit er 1.000 -

1.400 (de Beer en Harmsen 2003). Ook de eerste drie weken van juli 2006 waren erg warm, waardoor in Nederland ongeveer 500 mensen meer stierven dan normaal te verwachten is (Alders 2006).

In ongeveer 13% van de woningen ervaart men wel eens problemen door een te lage binnentemperaturen in het stookseizoen. De kans op problemen door een te lage binnentemperatuur is groter naarmate het huis ouder is (van Dongen en Vos 2007). In ongeveer de helft van de woningen is er een temperatuurgradiënt van minstens 1°C tussen vloer en plafond in het stookseizoen. Dit zou het thermisch comfort negatief kunnen beïnvloeden. In 5% van de woningen is er zelfs sprake van een temperatuurgradiënt van minstens 2°C (van Dongen en Vos 2007).

Bij basisscholen blijkt dat in de zomer bijna de helft van de leerkrachten (45%) het zomers vaak te warm heeft in het leslokaal. Uit een inventarisatie onder 120 klaslokalen in 2007 blijkt dat in 62% van de klaslokalen het thermisch binnenklimaat in de zomer minder goed beheersbaar is. In de winter vindt ongeveer 6% van de leerkrachten het te koud in het klaslokaal. Uit metingen blijkt dat een minimumtemperatuur van 19 °C gemiddeld ca. 17% van de lestijd wordt onderschreden (Versteeg 2007).

3.5 Ventilatie

Ventilatie is het proces waarbij ‘verse’ lucht van buiten naar binnen wordt toegevoerd en ‘gebruikte’ lucht van binnen naar buiten wordt gevoerd. Ventilatie voorkomt dat hinderlijke en schadelijke stoffen en gassen, gevormd in het binnenmilieu, zich in de woning ophopen. Vanwege verbeterde isolatie van huizen is er minder natuurlijke ventilatie. Ook komen er steeds meer woningen met balansventilatie. Bij balansventilatie is er zowel mechanische toe- als afvoer van lucht, geregeld door ventilatoren. Balansventilatie wordt vaak gecombineerd met een warmteterugwinsysteem (wtw-systeem) voor een betere energieprestatie van de woning.

In veel onderzoeken naar ventilatie wordt CO₂ als indicator gebruikt voor de mate van ventilatie. CO₂-concentraties zijn alleen een goede indicator voor het ventilatievolume in geval van intensief gebruik van de ruimte en met name de aanwezigheid en activiteit van mensen. Wanneer de CO₂-concentratie hoog is, is dit een aanwijzing dat allerlei stoffen zich kunnen ophopen in het binnenmilieu. CO₂ op zichzelf zorgt pas bij zeer hoge concentraties voor gezondheidseffecten.

In ongeveer 60% van 1240 onderzochte woningen werd de CO₂-concentratie van 1200 ppm in de verblijfruimte voor kortere of langere tijd overschreden. In de woonkamer werd deze grens gemiddeld 17% van de gebruikerstijd overschreden (van Dongen en Vos 2007). In een recent onderzoek in Groningen wordt de 1200 ppm grens in de zomer in 16% van de woningen overschreden, in de winter gebeurde dit in 48% van de woningen (Hall, Dusseldorp *et al.* 2009). In 80-88% van de scholen wordt deze waarde gemiddeld 41% van de gebruikerstijd overschreden (Boerstra, Haans *et al.* 2006; Versteeg 2007).

Ook in kinderdagverblijven is er een gebrek aan ventilatie: in enkele onderzoeken is de concentratie CO₂ gemeten. Voor kinderdagverblijven gebruikt de GGD een concentratiegrens van 1000 ppm als indicatie voor te weinig ventilatie. Deze waarde is gekozen omdat in kinderdagverblijven jonge kinderen verblijven die niet kunnen aangeven hoe zij zich voelen en bovendien kwetsbaarder zijn dan oudere kinderen of volwassenen (Habets en Dusseldorp 2005). In 40-89% van de onderzochte kinderdagverblijven wordt de grens van 1000 ppm overschreden (van de Weerdt en Wensveen 2001; Habets en Dusseldorp 2005). Uit een recent onderzoek in 60 kinderdagverblijven blijkt dat in 69% van de gevallen de grens van 1000 ppm wordt overschreden in de verblijfsruimten, gemiddeld 25% van de gebruikerstijd.

Ook is er gekeken naar de ventilatie in de slaapvertrekken, hiervoor is een grenswaarde van CO₂ van 800 ppm gebruikt. Deze grenswaarde is berekend aan de hand van de eisen uit het Bouwbesluit voor kinderopvangverblijven. De grenswaarde van 800 ppm voor slaapvertrekken wordt in 96% van de gevallen en gemiddeld 43% van de gebruikerstijd overschreden (Versteeg 2009)

Bij de onderzochte kinderdagverblijven worden de grenswaarden vaker overschreden bij natuurlijke ventilatie (natuurlijke toe- en afvoer) dan bij mechanische ventilatie (mechanische of natuurlijke toevoer en mechanische afvoer) (Habets en Dusseldorp 2005; Versteeg 2009)

In Nederlandse woningen is het gebruik van mechanische ventilatiesystemen in verband gebracht met gezondheidsklachten. In 2007 is in de Amersfoortse wijk Vathorst een relatie aangetoond tussen niet-specifieke gezondheidsklachten (onder andere vermoeide of tranende ogen, neusklachten, hooikoorts, keelpijn, luchtwegklachten, doorslaapproblemen, concentratieproblemen en extreme vermoeidheid) en de aanwezigheid van gebalanceerde ventilatie. Ook voor het voorkomen van astma werd een associatie gevonden (Duijm, Hady *et al.* 2007). Naar aanleiding van de klachten in Vathorst is een vervolgonderzoek naar mechanische ventilatie in ongeveer 2160 nieuwbouwwoningen opgezet. Hierin is gekeken in hoeverre de toepassing van balansventilatie in nieuwe woningen in Nederland samenhangt met door bewoners gerapporteerde klachten over het ventilatiesysteem zelf, het binnenmilieu en de ervaren gezondheid. Er is gekeken naar het verschil in klachten tussen bewoners van huizen met alleen een mechanische afvoer en bewoners van huizen met zowel mechanische toe- als afvoer (balansventilatie).

In tabel 1 staan de belangrijkste resultaten uit dit onderzoek. Opmerkelijk is dat geluidhinder, onafhankelijk of het veroorzaakt wordt door mechanische afzuiging of balansventilatie, een grote invloed heeft op het voorkomen van klachten over het binnenmilieu en gezondheid.

Tabel 1: De invloed van kenmerken van woning, respondent en gedrag op het voorkomen van hinder van het ventilatiesysteem, klachten over het binnenmilieu, algemene gezondheidsklachten en luchtwegklachten. (bron: Leidelmeijer, Menkveld *et al.* 2009)

Kenmerk	Invloed	Significantie
<i>Invloed van kenmerken van woning, respondent en gedrag op het voorkomen van hinder van het ventilatiesysteem</i>		
Balansventilatie	2.6 keer meer kans op klachten	p < 0.001
Vocht/schimmelplekken	1.5 keer meer kans op klachten	p < 0.05
Open keuken	1.5 keer meer kans op klachten	p < 0.05
<i>Invloed van kenmerken van woningen, respondent en gedrag op het voorkomen van klachten over het binnenmilieu</i>		
Geluidhinder bij ventilatiesysteem op stand 3	1.8 keer meer kans op klachten	p < 0.001
Meergezinswoning	1.6 keer meer kans op klachten	p < 0.001
Balansventilatie	1.5 keer meer kans op klachten	p < 0.001
<i>Invloed van kenmerken van woningen, respondent en gedrag op het voorkomen van algemene gezondheidsklachten</i>		
Geluidhinder bij ventilatiesysteem op stand 3	1.5 keer meer kans op klachten	p < 0.001
Geluidhinder bij ventilatiesysteem op stand 2	1.7 keer meer kans op klachten	p < 0.01
Balansventilatie	1.2 keer meer kans op klachten	p < 0.05

Kenmerk	Invloed	Significantie
Invloed van kenmerken van woningen, respondent en gedrag op het voorkomen van <i>luchtwegklachten</i>		
Roken	1.8 keer meer kans op klachten	p < 0.001
Geluidhinder bij ventilatiesysteem op stand 3	1.4 keer meer kans op klachten	p < 0.001
Balansventilatie	Geen significant verschil	

De aanwezigheid van gebalanceerde ventilatie hoeft niet per sé de gezondheid negatief te beïnvloeden. Onderzoek in Canada laat zien dat de gerapporteerde gezondheid van bewoners na een verhuizing naar een woning met gebalanceerde ventilatie juist verbetert (Leech, Raizenne *et al.* 2004). Balansventilatie is in principe een goed werkend systeem, mits goed geïnstalleerd, onderhouden en bediend. Mogelijk was dit in Vathorst niet het geval (Duijm, Hady *et al.* 2007).

3.6 Radon

In Nederland is de blootstelling aan radon binnenshuis ongeveer 25 Bq/m³ (Blaauboer, Dekkers *et al.* 2008). Dit is een van de laagste blootstellingen in Europa. De hogere radonconcentratie in andere landen wordt veroorzaakt door een andere bodemsamenstelling en bodemstructuur. Hierdoor ontwijkt veel meer radon uit de bodem, wat weer tot een hogere radonconcentratie in de woning leidt. In Europees verband geldt de aanbeveling bij nieuwbouw radonconcentraties hoger dan 200 Bq/m³ en bij bestaande woningen concentraties van hoger dan 400 Bq/m³ te voorkomen.

Ondanks het feit dat Nederland een relatief lage blootstelling aan radon heeft zijn er wel gezondheidseffecten mogelijk. De Gezondheidsraad heeft een schatting gemaakt, op basis van internationale gegevens, hoeveel gevallen van longkanker er per jaar aan radon toe te schrijven zijn. Voor de Nederlandse bevolking worden 100 - 1200 gevallen, met 800 gevallen als meest waarschijnlijke schatting, van longkanker per jaar aan radonblootstelling toegeschreven (Gezondheidsraad 2000a). Longkanker door radon treedt grotendeels op bij rokers. Deels komt dat omdat er door roken meer stofdeeltjes in het binnenmilieu vrijkomen, waar radonochters zich aan kunnen binden. Maar ook is het zo dat de schadelijke gezondheidseffecten van tabaksrook en radon elkaar versterken.

Tabel 2: Overzicht van het vóórkomen van binnenmilieu indicatoren in de bestaande Nederlandse woningvoorraad.

Binnenmilieu-indicator (in woningen tenzij anders aangegeven)	Gezondheidseffecten	Concentratie of vóórkomen in woningen	Aantal woningen gemeten	Periode metingen	Referentie
Vochtproblemen	Veroorzaken en verergeren van luchtwegaandoeningen	6% (obv luchtvochtigheid) 16% (obv zelfrapportage)	1240 circa 9.000	2004-2005 2006	(van Dongen en Vos 2007) (EUROSTAT ECHP and EUROSTAT SILC 2008)
Zichtbare schimmel	Veroorzaken en verergeren van luchtwegaandoeningen	9%	1077	2004-2005	(van Dongen en Vos 2007)
Te hoge temperatuur in de zomer	Uitdroging en gezondheidsproblemen zoals hoofdpijn, (ongewone) vermoeidheid, duizeligheid en hartproblemen.	17%	154	2004-2007	(Kuindersma en Ruiters 2007)
Stofdeeltjes (PM_{2,5}) Concentratie > 10 µg/m ³	Veroorzaken en verergeren van luchtwegaandoeningen en hart- en vaatziekten.	68% (bij niet rokers) 100% (bij rokers)	33 4	1998-1999	(Brunekreef, Janssen <i>et al.</i> 2005)
Concentratie binnen > buitenlucht		25% (bij niet rokers) 95% (bij rokers)	33 4		
Radon Concentratie > Europese aanbeveling van 200 Bq/m ³	Verhoogd risico op longkanker	0%	1000 (woonruimte)	2006	(Blaauboer, Dekkers <i>et al.</i> 2008)
VOS Totale concentratie aan VOS > advieswaarde Gezondheidsraad (200 µg/m ³)	Geurhinder en prikkeling van neus en ogen, mogelijke relatie met sick building syndrome (SBS)	37% 8%	87 60	2004-2005 2009	(van Dongen en Vos 2007) (Hall, Dusseldorp <i>et al.</i> 2009)

Binnenmilieu-indicator (in woningen tenzij anders aangegeven)	Gezondheidseffecten	Concentratie of vóórkomen in woningen	Aantal woningen gemeten	Periode metingen	Referentie
		0%	38	2008	(Meijer en Sijtsma 2008)
Formaldehyde > MTR langdurige blootstelling (10 µg/m ³)		60%	359	2004-2005	(van Dongen en Vos 2007)
Tabaksrook aanwezig	Irritatie van ogen en de slijmvliezen, luchtwegaandoeningen, verergeren van luchtwegklachten, longkanker en hartaandoeningen	40% 49%	333 1240	1994-2004 2004-2005	(Hasselaar 2006) (ongepubliceerde data uit van Dongen en Vos 2007)
Meeroken door niet- rokers in woningen		18-40%	>4000	2003-2007	(van Gelder, Blokstra <i>et al.</i> 2008)
Stikstofdioxide Concentratie > 40 µg/m ³ in keukens met afvoerloze geisers	Een lagere longfunctie, mogelijk toename van astma-aanvallen en ziekenhuisopnamen en een verhoogde gevoeligheid voor infecties. ¹	43% ² 100%	74 6	2004-2005 2009	(van Dongen en Vos 2007) (Hall, Dusseldorp <i>et al.</i> 2009)
Koolmonoxide Afvoerloze geisers waarbij verbrandingsproducten niet direct afgevoerd worden	Hoofdpijn, vermoeidheid, duizeligheid. Een hoge concentratie kan leiden tot bewusteloosheid en in het ergste geval overlijden.	12%	1165	2004-2005	(van Egmond, Gopal <i>et al.</i> 2007)

¹ Het is niet duidelijk of de gevonden associaties tussen langdurige lage blootstelling aan NO₂ en de gezondheidseffecten door NO₂ zelf veroorzaakt worden. Het is aannemelijker dat in dit geval NO₂ model staat voor het mengsel aan verbrandingsproducten.

² Waarschijnlijk een onderschatting van het werkelijke percentage.

Binnenmilieu-indicator (in woningen tenzij anders aangegeven)	Gezondheidseffecten	Concentratie of vóórkomen in woningen		Aantal woningen gemeten	Periode metingen	Referentie
Ventilatie		verblijfruimte	slaapruimte			
Woningen CO ₂ concentratie > 1200 ppm	Verhoogde kans op gezondheidseffecten door ophoping van schadelijke stoffen. Dit	59%	47%	1222	2004-2005	(van Dongen en Vos 2007)
Scholen CO ₂ concentratie > 1200 ppm	kan leiden tot vermoeidheid, hoofdpijn, geurhinder (sick building syndrome), verhoogde kans op overdracht van infectieziekten en vermindering van leerprestaties.	80%		+/- 125 (klaslokalen)	1987-2006	(Boerstra, Haans <i>et al.</i> 2006)
Kinderdagverblijven CO ₂ concentratie > 1000 ppm		88%		120 (klaslokalen)	2007	(Versteeg 2007)
			40%	52	2004	(Habets en Dusseldorp 2005)
		89%		18	2000	(van de Weerd en Wensveen 2001)
		69%		60	2008	(Versteeg 2009)
CO ₂ concentratie > 800 ppm			96%	60	2008	(Versteeg 2009)

3.7 Conclusie situatieschets

In tabel 2 staat een overzicht van het vóórkomen van de eerdergenoemde aspecten van het binnenmilieu in de bestaande Nederlandse woningvoorraad. Van sommige stoffen in het Nederlandse binnenmilieu is meer bekend over hun vóórkomen dan van andere. Zo is er wel vaak informatie beschikbaar over formaldehyde of de som van de VOS-concentratie, maar niet over brandvertragers, weekmakers en terpenen. Al langer bestaande en beter bekende problemen zijn die van verbrandingsproducten in het binnenmilieu, het thermisch binnenklimaat, onvoldoende of slecht werkende ventilatie en radon.

De blootstelling aan vochtgerelateerde problemen is de laatste jaren in Nederland verbeterd. Zo komen huizen met vochtproblemen en de daarmee samenhangende schimmelvorming steeds minder voor door verbeteringen in de bouw. Ze kunnen echter nog steeds een groot probleem vormen voor mensen die er gevoelig voor zijn.

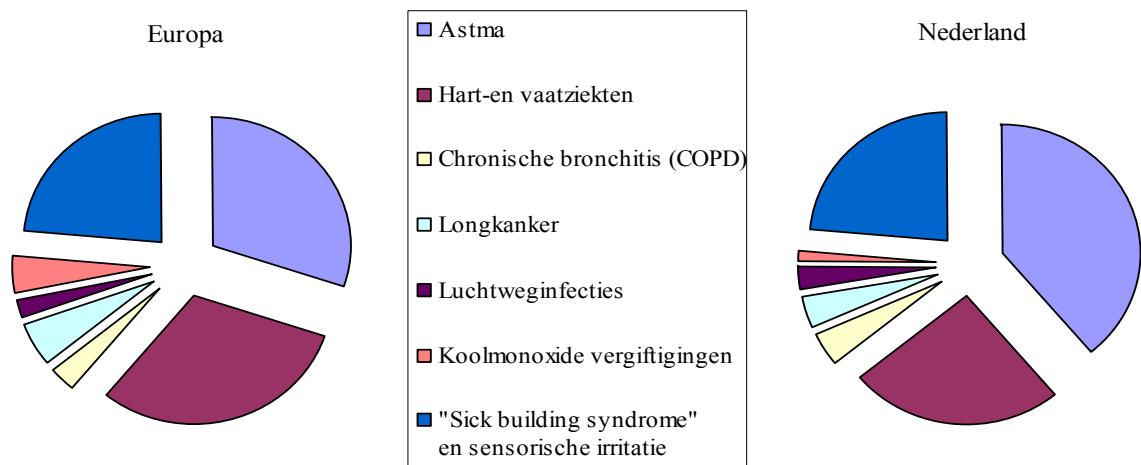
Onder invloed van energiebesparing en comfortverbetering worden gebouwen steeds dichter gebouwd. De bijbehorende mechanische ventilatiesystemen maken vaak veel geluid en worden daardoor niet optimaal gebruikt, bovendien zijn bewoners niet gewend om actief te ventileren. Dit alles kan leiden tot hogere concentraties stoffen en vocht in het binnenmilieu.

4 Nieuwe onderzoeksontwikkelingen

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksontwikkelingen beschreven die de afgelopen twee jaar zijn gepubliceerd. Gestart is met de grotere internationale reviews of meta-analyses, waarna enkele relevante kleinere studies worden beschreven. Per onderzoeksthema wordt aangegeven of de bevindingen ook voor Nederland relevant zijn.

Internationaal gezien is het EnVIE-project (de Oliveira Fernandes, Jantunen *et al.* 2009) één van de belangrijkste onderzoeksprogramma's over binnenmilieu. Dit project heeft als doel het inzicht in de gezondheidseffecten van de binnenluchtkwaliteit in Europa te vergroten. De meest voorkomende en belangrijkste oorzaken van gezondheidseffecten van een slecht binnenmilieu zijn onderzocht. Ook zijn de beleidsopties om de gezondheidseffecten te verkleinen geëvalueerd (zie hoofdstuk 5). Er is een ruwe schatting gemaakt van de ziektelast door verontreinigingen in het binnenmilieu. De volgende verontreinigingen zijn meegenomen in de analyses: bronnen van stofdeeltjes binnen- en buitenshuis, koolmonoxide, stikstofdioxide, radon, micro-organismen en allergenen, formaldehyde, benzeen en naftaleen. Tabaksrook, een belangrijke bron van verontreinigingen binnenshuis, is in de analyse buiten beschouwing gelaten.

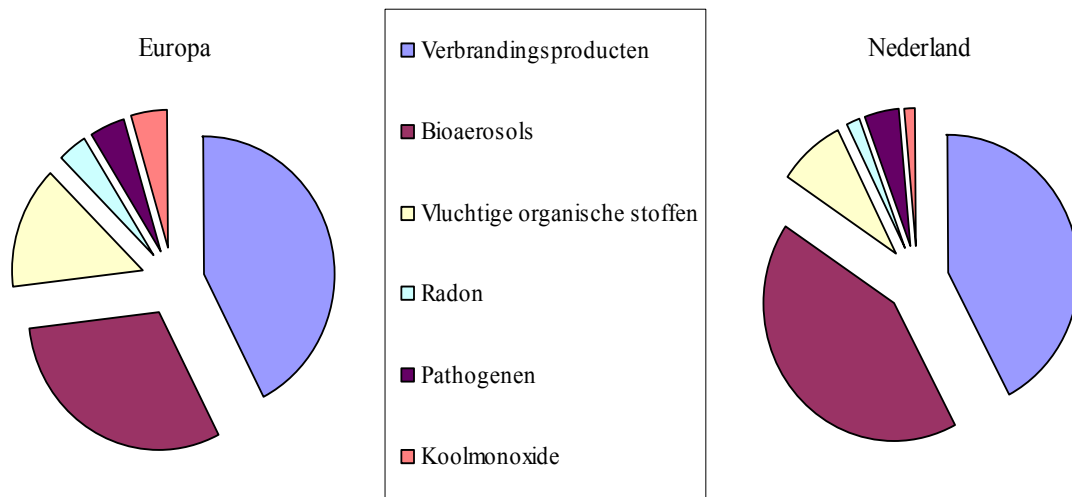
In de berekening van de ziektelast worden veel aannames gedaan voor ontbrekende data, blootstellingen en bronnen. De omvang van deze onzekerheden is niet bekend. Onderstaande figuren dienen dan ook ter illustratie van de verdeling van de mogelijke ziektelast gerelateerd aan het binnenmilieu in Europa³ en Nederland. Hart- en vaatziekten, astma en "sick building syndrome" (gebouw gerelateerde klachten) leveren de grootste bijdrage aan binnenmilieu gerelateerde ziektelast in Europa en Nederland. In Nederland neemt astma een grotere proportie in dan in Europa en koolmonoxidevergiftiging een kleiner deel, zoals te zien is in figuur 1.



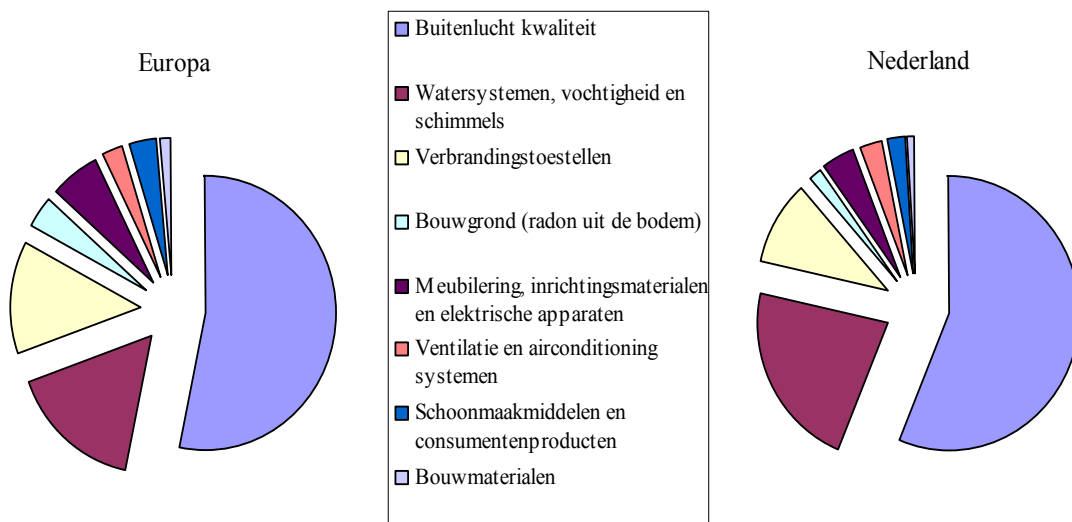
Figuur 1: De relatieve verdeling van de ziektelast, veroorzaakt door een slecht binnenmilieu, naar symptomen en ziekten in Europa en Nederland (aandoeningen veroorzaakt door blootstelling aan tabaksrook zijn buiten beschouwing gelaten).

³ Onder Europa worden de volgende landen verstaan: Oostenrijk, België, Bulgarije, Cyprus, Denemarken, Duitsland, Estland, Finland, Frankrijk, Griekenland, Hongarije, Ierland, Italië, Letland, Litouwen, Luxemburg, Malta, Nederland, Polen, Portugal, Roemenie, Slovenië, Slowakije, Spanje, Tsjechië, Verenigd Koninkrijk en Zweden.

Uit figuur 2 valt af te lezen dat de ziektelast gerelateerd aan verbrandingsproducten en bio-aërosolen⁴ het grootst is, zowel in Nederland als in Europa. Voor Nederland geldt dat de bijdrage van bio-aërosolen relatief groot is. Koolmonoxide is in Nederland een kleiner probleem dan in de rest van Europa. De buitenlucht kwaliteit levert de grootste bijdrage aan de vervuiling van het binnenmilieu en hiermee aan de ziektelast (zie figuur 3). Daarnaast zorgen verbrandingstoestellen en watersystemen, vochtigheid en schimmels binnenshuis voor de grootste ziektelast.



Figuur 2: De relatieve verdeling van de ziektelast, veroorzaakt door een slecht binnenmilieu, naar blootstellingen in Europa en Nederland (blootstelling aan tabaksrook is buiten beschouwing gelaten).



Figuur 3: De relatieve verdeling van de ziektelast, veroorzaakt door een slecht binnenmilieu, naar bronnen in Europa en Nederland (tabaksrook als bron is buiten beschouwing gelaten).

⁴ Bio-aerosol: Allergenen, microbiële componenten en andere biologische deeltjes.

Ondanks de onzekerheden geven deze gegevens inzicht in wat in Nederland de belangrijkste factoren van een ongunstig binnenmilieu zijn en waar beleid en onderzoek zich op zou kunnen richten. Voor een beter inzicht in de Nederlandse situatie zou men de werkwijze van het EnVIE onderzoek kunnen herhalen met actuele blootstellinggegevens voor Nederland en aangeven waar en hoe groot de onzekerheden zijn.

4.1 Organische stoffen

Formaldehyde

Het INDEX-project adviseerde in 2005 een concentratie formaldehyde binnenshuis van $30\mu\text{m}^3$. Onderzoekers van TNO hebben deze waarde in 2008 geëvalueerd. In hun beschouwing stellen zij dat een formaldehydeconcentratie van $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ een veilige en geschikte grenswaarde is (Arts, Muijser *et al.* 2008). Deze grenswaarde is gebaseerd op internationale onderzoeken die wijzen op andere onzekerheidswaarden dan gebruikt in het INDEX-project. Zo wordt door TNO een hogere LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level) bij mensen; een lagere onzekerheidsfactoren voor inter- en intrasoortelijke variatie bij dierproeven en een lagere onzekerheidsfactor voor bijkomende gevoeligheid voor kinderen gebruikt. Een recent gepubliceerde gecontroleerde blootstellingproef onder 21 gezonde vrijwilligers vond een NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) van $600\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor een constante blootstelling (4 uur). In deze studie is gelet op effecten zoals irritatie van slijmvliezen en onaangenaamheid (Lang, Bruckner *et al.* 2008).

Een review van Mendell uit 2007 geeft een overzicht van gezondheidseffecten van formaldehydeblootstelling bij jonge kinderen. De beschreven studies (zie bijlage 2) hebben associaties gevonden tussen formaldehydeconcentraties variërend van 20 tot $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ en gezondheidseffecten zoals astma en chronische bronchitis, uitgedemde stikstofmonoxide (e-NO, een indicator voor vroege ontstekingsreacties in de luchtwegen), niezen en verminderde longfunctie. De beschreven studies zijn echter niet door de auteur op kwaliteit beoordeeld (Mendell 2007). Het RIVM houdt bij de herziening van de gezondheidskundige advieswaarden voor formaldehyde in het binnenmilieu een eerder afgeleide waarde van $1.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ aan (Dusseldorp en van Bruggen 2007). Deze is gebaseerd op een NOAEL voor oog-, keel- en neusirritatie bij de mens van $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ bij kortdurende blootstelling en een veiligheidsfactor van 100. Gezien de lichte aard van de effecten (sensorische irritatie) lijkt de gebruikte veiligheidsfactor van 100 aan de hoge kant. Dit betekent echter niet dat onder de advieswaarde geen effecten optreden.

Aangezien formaldehyde een stof is die in Nederlandse woningen veelvuldig voorkomt in concentraties tussen de 4 en $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ is het van belang om de ontwikkelingen in kennis over mogelijke gezondheidseffecten en gezondheidskundige advieswaarden goed te volgen. Momenteel wordt een MTR van $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ door VROM als norm voor langdurige blootstelling gehanteerd. De WHO is momenteel bezig met het opstellen van een advieswaarde voor formaldehyde in het binnenmilieu. Ook is er in Europees verband vervolgonderzoek (bij het EC-JRC) waar wordt gewerkt aan advieswaarden.

Ftalaten

Jaakkola and Knight (2008) concluderen in een recente review en meta-analyse dat PVC-dampen en weekmakers (ftalaten) mogelijk astma veroorzaken. Deze conclusie is mede gebaseerd op de review van enkele toxicologische studies bij muizen, waarvan sommige aangeven dat weekmakers effecten op de immuunrespons kunnen veroorzaken. Een analyse van dezelfde auteurs van 5 epidemiologische studies (zie bijlage 2) onder kinderen toont een significant verhoogd risico aan op astma (OR 1.55) en allergieën (OR 1.32) bij aanwezigheid van PVC-oppervlakken, als proxy voor blootstelling aan ftalaten, in de woning (Jaakkola en Knight 2008).

Recentelijk is in een Bulgaars patiëntcontrole-onderzoek een dosis-responsrelatie afgeleid voor di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP, een veelvoorkomende weekmaker) in huisstof en astmasymptomen (piepen) bij jonge kinderen: hoe hoger de gemeten concentratie DEHP in huisstof, hoe meer kans op piepen (Kolarik, Naydenov *et al.* 2008). Van ftalaten wordt vermoed dat ze een hormoonverstorende werking hebben, het zogenaamde “phthalate syndrome”. In een cohort studie bij zwangere vrouwen in New York is een associatie gevonden tussen concentraties van ftalaat metabolieten in de urine van de vrouwen tijdens zwangerschap en de lengte van de perineum bij de pasgeboren kinderen. Hoe hoger de concentraties ftalaatmetabolieten bij de moeders hoe korter de lengte van de perineum (Swan 2008). De lengte van het perineum wordt gezien als een indicator voor hormoon- of reproductietoxiciteit. Ftalaten en PVC-oppervlakken met ftalaten komen ook voor in Nederland. Van ftalaten, voornamelijk DHEP, was al bekend dat ze hormoonverstorende en reproductieve effecten hebben. Daarom zijn specifieke ftalaten ook verboden of beperkt in kinderspeelgoed en kinderverzorgingsproducten. De recente studies van Jaakkola en Kolarik wijzen op een verband tussen blootstelling aan ftalaten en verergeren of ontstaan van luchtwegklachten, astma en allergieën. Ook bij een andere weekmaker dan ftalaten is recent een aanwijzing gevonden voor een verhoogd risico op astma. In een dwarsdoorsnede-onderzoek op Zweedse scholen is een associatie gevonden tussen de weekmaker TXIB (2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol di-isobutyrate) en nachtelijke kortademigheid en astma (Kim, Elfman *et al.* 2007). De studieopzet en analysemethode zijn echter naar epidemiologische standaarden niet optimaal uitgevoerd.

Chemische stoffen in het huisstof

Uit een literatuurstudie naar de aanwezigheid van chemische stoffen in huisstof blijkt dat blootstelling aan lood, DEHP, PAK's en BDE99 (een gebromeerde brandvertrager) via *inname*⁵ van huisstof een gezondheidsrisico voor zowel kinderen als volwassen met zich mee zou kunnen brengen (Oomen, Janssen *et al.* 2008). De risicobeoordeling is grotendeels gebaseerd op internationale literatuur: de hoogste gevonden concentraties werden vergeleken met de toegestane inname. Recentelijk zijn ook enkele van deze stoffen (lood, PAK's en PBDE's) gemeten in het huisstof in 31 Groningse woningen. De geometrisch gemiddelde concentraties van de gemeten stoffen in Groningen waren vergelijkbaar of lager dan gebruikt in Oomen, Janssen *et al.* Voor lood zijn er in twee huizen hoge concentraties in het huisstof aangetroffen die via inname bij kinderen zouden kunnen leiden tot een gezondheidsrisico. Voor de andere stoffen werden geen concentraties gevonden die zouden kunnen leiden tot gezondheidsrisico's (Hall, Dusseldorp *et al.* 2009).

Activiteiten binnenshuis en gezondheidsklachten

In een review van epidemiologische studies bij kinderen beneden de 16 jaar beschreef Mendell de relatie tussen activiteiten binnenshuis en mogelijke gezondheidsklachten (Mendell 2007). Verven en klussen hielden verband met het verhoogd vóórkomen van piepen in vier van de vijf studies. Een verband tussen deze activiteiten en astma, bronchitis en infecties werd elk in één studie gevonden. Er zijn aanwijzingen dat andere factoren (zoals schoonmaken en zeilvloerbedekking of vloerbedekking met PVC) mogelijk ook bijdragen aan gezondheidsklachten (Mendell 2007). De associaties tussen schoonmaken, verven of klussen en het optreden van gezondheidseffecten zijn niet nieuw. Het is bekend dat bij verven en klussen stoffen gebruikt kunnen worden waaruit vluchtige organische componenten kunnen verdampen. Er wordt daarom ook altijd aangeraden bij deze werkzaamheden goed te ventileren.

⁵ Inname: zowel door inademing als inslikken, waarbij inslikken veruit de grootste bijdrage heeft aan de totale inname.

4.2 Vocht en biologische agentia

Er zijn recentelijk twee meta-analyses verschenen over de relatie tussen vochtigheid en/of schimmels en gezondheidseffecten. Een meta-analyse uit 2007 van 33 studies heeft gekeken naar de relatie tussen vochtigheid/schimmels en gezondheidseffecten bij kinderen en volwassenen (Fisk, Lei-Gomez *et al.* 2007). De OR's afgeleid uit de analyse van alle studies samen (gepooled) lagen tussen de 1.34 en 1.75 voor verschillende gezondheidseffecten (klachten van de bovenste luchtwegen; hoesten; niezen; huidige astma; ooit gediagnoseerde astma en astmaontwikkeling). Voor hoesten en niezen waren de OR's bij kinderen (<18 jaar) iets hoger dan bij volwassenen.

Een gepoolde analyse van 12 dwarsdoorsnede-studies waarbij de gegevens van meer dan 58.000 kinderen (tussen 6 en 12 jaar) zijn gecombineerd, vindt een relatie tussen zichtbare luchtwegeffecten en schimmel in de woning (PATY onderzoek (Pollution and the Young), (Antova, Pattenden *et al.* 2008)). De gepoolde OR's varieerden van 1.30 tot 1.50 voor de verschillende gezondheidseffecten (niezen; astma; bronchitis; droge hoest 's nachts; hoesten in de ochtend; gevoeligheid voor ingeademde allergenen; hooikoorts en ontwaken door niezen).

De relatie tussen vochtigheid/schimmels in woningen en luchtwegklachten was al langere tijd bekend. Ook in Nederland zorgen vochtproblemen en schimmels voor gezondheidsklachten. De risicocijfers uit bovengenoemde analyses kunnen gebruikt worden voor toekomstige berekeningen over de omvang en ziektelast van binnenmilieu gerelateerde gezondheidseffecten.

Een dwarsdoorsnede-onderzoek op Zweedse scholen vindt een correlatie tussen de concentratie microbacteriële vluchtige organische stoffen (MVOS) en nachtelijke kortademigheid en astma: hoe hoger de concentratie MVOS, hoe meer kinderen deze effecten rapporteerden. (Kim, Elfman *et al.* 2007). De studieopzet en analysemethode zijn naar epidemiologische standaarden echter niet optimaal. De specifieke gezondheidseffecten van blootstelling aan MVOS zijn nog grotendeels onbekend. Soms wordt blootstelling aan MVOS in verband gebracht met het voorkomen van het "sick building syndrome".

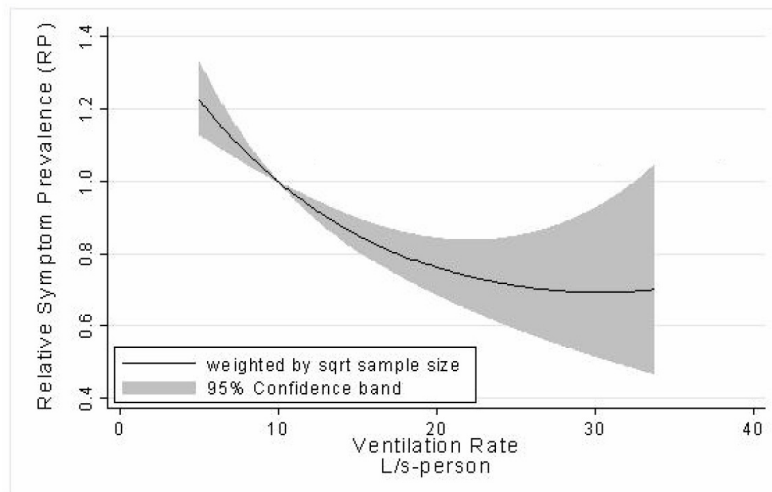
4.3 Verbrandingsproducten

Een beschrijvende review van Weichenthal bespreekt de rol van ultrafijn stof (PM_{0.1}) in het binnenmilieu bij de ontwikkeling van astma bij kinderen. Het ultrafijn stof kan tot diep in de longen doordringen en daar oxidatieve stress en ontstekingen veroorzaken. Dierstudies suggereren dat het ultrafijne stof mogelijk allergische immunoreacties bevordert die kenmerkend zijn voor astma (Weichenthal, Dufresne *et al.* 2007) (zie voor meer informatie bijlage 2).

In 2008 rapporteerden Choi *et al.* een relatie tussen blootstelling polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) in de binnen- en buitenlucht tijdens de zwangerschap en vroeggeboorte en/of een laag geboortegewicht. Deze relatie werd gevonden in een niet-rokende gezonde Afrikaans-Amerikaanse bevolkingsgroep (n=224) in New York. Voor vroeggeboorte en een laag geboortegewicht werd respectievelijk een OR van ongeveer 5 en 2 gevonden bij een ln-eenheidverhoging in PAK-blootstelling tijdens de zwangerschap. Bij een bevolkingsgroep van Dominicaanse afkomst (n=392) in hetzelfde gebied werden geen relaties gevonden ondanks een vergelijkbare blootstelling aan PAK's en sociaal-economische status. (Choi, Rauh *et al.* 2008). Het is onduidelijk of dit verschil veroorzaakt kan zijn door een verschillende genetische opbouw of culturele verschillen tussen de bevolkingsgroepen. Hoewel de PAK-concentraties die gevonden zijn in deze studie in dezelfde range liggen als PAK-concentraties in de lucht in Nederland (Fischer, Hoek *et al.* 2000), is het onduidelijk of de gevonden gezondheidseffecten ook voor de Nederlandse bevolking gelden.

4.4 Ventilatiesystemen

Een meta-analyse van 8 studies over ventilatiegraad en verandering in het voorkomen van binnenmilieuklachten (Sick Building Syndrome symptomen) in kantoren laat zien dat het voorkomen van binnenmilieuklachten ongeveer met 23% toeneemt als de ventilatiegraad afneemt van 10 tot 5 L/s per persoon. Wanneer de ventilatiegraad toeneemt van 10 tot 25 L/s per persoon neemt het voorkomen van binnenmilieuklachten juist af met ongeveer 29% (zie figuur 4) (Fisk, Mirer *et al.* 2008).



Figuur 4: Geschat relatief voorkomen van binnenmilieuklachten (Relative Symptom Prevalence RP) versus ventilatiegraad (Ventilation Rate) in kantoren (aangepast van Fisk, Mirer *et al.* 2008).

Ook het type ventilatiesysteem is belangrijk bij het vóórkomen van luchtwegsymptomen: een recente studie in kinderdagverblijven in Singapore toont aan dat de risico's voor diverse luchtwegsymptomen verhoogd waren in kinderdagverblijven met airconditioning in combinatie met natuurlijke ventilatie, in vergelijking met alleen natuurlijke ventilatie. Een vergelijkbaar risico geldt voor airconditioning met mechanische ventilatie (Zuraimi, Tham *et al.* 2007).

Het meeste onderzoek naar binnenmilieuklachten en gemeten ventilatieniveaus is uitgevoerd in kantoren. Ook de meta-analyse van Fisk bekijkt de relatie tussen binnenmilieuklachten en ventilatieniveaus in kantoren. Voor het eerst is deze informatie samengevoegd om tot een kwantitatieve schatting te komen hoe binnenmilieuklachten samenhangen met de ventilatiegraad. Of deze relatie ook geldt in woningen is niet bekend omdat werkelijke ventilatieniveaus in woningen bijna nooit gemeten zijn. In plaats daarvan wordt CO₂ als indicator gebruikt voor de mate van ventilatie in plaats van de werkelijke ventilatiegraad (zie ook § 3.5).

Het onderzoek van Zuraimi, Tham *et al.* naar ventilatiesystemen en luchtwegklachten op kinderdagverblijven is minder van toepassing op de Nederlandse situatie door verschillen in klimaat en bouwvoorschriften.

4.5 Radon

De Gezondheidsraad publiceerde in 2007 een nieuw rapport over de gezondheidseffecten van ioniserende straling. Hierin werden ook de effecten van blootstelling aan radon besproken. De bevindingen bevestigen het eerdere advies van de Gezondheidsraad over radon (Gezondheidsraad 2000a). Verder

blijkt uit Europese onderzoeken dat bij afwezigheid van andere doodsoorzaken de extra kans op longkanker op 75-jarige leeftijd voor niet-rokers ongeveer 0.6 procent bedraagt. Voor sigarettenrokers is dit risico ongeveer 25 maal hoger. Radon wordt verantwoordelijk geacht voor ongeveer 9 procent van de longkankersterfte in Europa (Gezondheidsraad 2007).

4.6 Asbest

In het verleden kwam ook asbest nog vaak voor in bouwmaterialen, maar tegenwoordig is het gebruik hiervan verboden. In veel gebouwen, woningen en scholen van vóór de jaren tachtig is echter nog wel asbest aanwezig. Als het voorkomt in bouwmaterialen, is er geen gezondheidsrisico. Door slopen of verbouwen kan asbest uit het materiaal vrijkomen in de binnenlucht. Als het vervolgens ingeademd wordt, kan het longvlieskanker, buikvlieskanker en longkanker veroorzaken (Ministerie van VROM 2008). Recentelijk heeft de Gezondheidsraad een concept advies over asbestrisico's voor commentaar open gesteld. Hierin wordt gesproken over een anders, ernstiger, inschatten van asbestrisico's met name voor blootstelling op jonge leeftijd. Dit kan van belang zijn voor asbest dat zich nog in schoolgebouwen bevindt.

4.7 Conclusie onderzoeksontwikkelingen

Uit recent onderzoek komen een aantal signalen over nieuwe gezondheidsrisico's naar voren. Er zijn aanwijzingen voor een verhoogd risico voor het ontwikkelen astma en allergieën bij aanwezigheid van weekmakers uit PVC-oppervlakken. Ook de inname van huisstof kan voor sommige stoffen leiden tot een gezondheidsrisico voor kinderen. Verder zijn er aanwijzingen voor een relatie tussen blootstelling aan PAK's in de lucht tijdens de zwangerschap en vroeggeboorte en/of een laag geboortegewicht.

Naast nieuwe gezondheidsrisico's zijn er nieuwe schattingen beschikbaar voor de grootte van de kans op gezondheidseffecten bij kinderen en volwassenen bij blootstelling aan vocht of schimmels in de binnenlucht. Ook voor de ventilatiegraad in relatie tot het voorkomen van binnenmilieu klachten is een nieuwe blootstelling-effectrelatie afgeleid. Daarnaast heeft het EnVIE project inzicht gegeven wat de bijdrage van diverse bronnen, blootstellingen en aandoeningen is aan de ziektelast gerelateerd aan een vervuild binnenmilieu. Hart- en vaatziekten, astma en "sick building syndrome" (gebouw gerelateerde klachten) leveren de grootste bijdrage aan binnenmilieugerelateerde ziektelast in Europa en Nederland, de grootste bron van vervuiling van het binnenmilieu is de buitenlucht. Daarnaast zorgen binnenshuis verbrandingstoestellen en watersystemen, vochtigheid en schimmels voor de grootste ziektelast.

5 Beleidsinzet

Dit hoofdstuk schetst een overzicht van recent nationaal beleid op het gebied van binnenmilieu in woningen, op scholen, in kindercentra en bejaardenhuizen. Daarna volgt een overzicht van hoe het beleid op lokaal niveau geïmplementeerd wordt en wat de internationale ontwikkelingen zijn.

Het beleid richt zich op het scheppen van de randvoorwaarden voor een gezond binnenmilieu. Een complicerende factor bij het verbeteren van de binnenmilieukwaliteit is dat er vele bronnen zijn die invloed hebben op het binnenmilieu. Daarnaast hangen verbeteringen grotendeels samen met kennis en gedrag van de gebruikers. Zo wordt aandacht besteed aan aanpassing van bouwvoorschriften (Bouwbesluit), handhaving van de regels van het gehele bouw- en installatieproces, emissies uit bouw- en inrichtingsmaterialen en kennisontwikkeling over gezondheidseffecten. Uiteraard wordt ook ingezet op bewustwording en gedragsverandering van betrokken partijen.

In het voorjaar van 2008 stuurde minister Cramer de Nationale Aanpak Milieu en Gezondheid naar de Tweede Kamer (Minister van VROM, Minister van VWS *et al.* 2008). Eén van de speerpunten hiervan is het verbeteren van de kwaliteit van het binnenmilieu in woningen, scholen en kindercentra. In het Landelijk Actieprogramma Gezondheid en Milieu 2002-2006 (Ministers van VROM en VWS 2002), was binnenmilieu ook een van de centrale thema's. In deze periode is in kaart gebracht hoe het met de kwaliteit van het binnenmilieu in Nederland is gesteld. De Nationale Aanpak borduurt voort op het Landelijk Actieprogramma.

Naast de Nationale Aanpak Milieu en Gezondheid zijn er andere integrale plannen en programma's die raakvlakken hebben met binnenmilieu. Een voorbeeld hiervan is het Actieprogramma Jeugd, Milieu en Gezondheid (Ministerie van VROM 2006) dat gericht is op kinderen en als één van de doelen heeft het binnenmilieu te verbeteren. Dit programma wordt hier niet nader behandeld.

5.1 Woningen

De minister van WWI heeft in januari 2008 een brief aan de Kamer gestuurd, getiteld "gezondheidskundige kwaliteit van woningen". Hierin werden acties aangekondigd om de knelpunten op het gebied van de binnenmilieu kwaliteit van woningen aan te pakken (Minister van WWI 2007). Het gaat daarbij onder andere om verbeteren van naleving en handhaving, het vastleggen van maximale geluidsniveaus, het bevorderen van het samengaan van energiebesparing met een gezond binnenklimaat, het uitfaseren van open verbrandingstoestellen en het geven van voorlichting. In Europees verband wil de minister bijdragen aan beleid, normering van stoffen in het binnenmilieu en nader onderzoek naar effecten ervan.

Op 3 april 2008 vond een Algemeen Overleg plaats over de brief "gezondheidskundige kwaliteit van woningen". Hierbij kwam vooral het onderzoek van GGD Eemland in de Amersfoortse wijk Vathorst aan de orde, omdat hier begin 2008 onrust ontstaan was over gezondheidsklachten bij bewoners van balansgeventileerde woningen. De minister deed tijdens het Algemeen Overleg een aantal toezeggingen, onder andere overleg voeren met betrokkenen (andere gemeenten met vergelijkbare problematiek, de bouwsector, installateurs op het terrein van ventilatie) en het verder informeren van bewoners van Vathorst. Er is onderzoek uitgevoerd in hoeverre de toepassing van balansventilatie in nieuwe woningen in Nederland samenhangt met door bewoners gerapporteerde klachten over het ventilatiesysteem zelf, het binnenmilieu en de ervaren gezondheid (zie § 3.5). Hier komt nog een vervolgonderzoek op

dat zich meer gaat richten op de kwaliteit en technische aspecten van de ventilatiesystemen en de relatie hiervan met bewonersklachten. Andere toezeggingen hadden betrekking op de termijn van het uitfasen van open verbrandingstoestellen.

In december 2008 stuurde de minister van WWI een brief (“voortgang acties ventilatie en open verbrandingstoestellen”) aan de Kamer om deze te informeren over de voortgang van de toezeggingen (Minister van WWI 2008). Deze brief behandelt de toezeggingen van twee belangrijke thema’s: de afspraken rond de ventilatieproblematiek in Vathorst en die rond het uitfasen van afvoerloze geisers en open verbrandingstoestellen

Verder geeft de minister van WWI een impuls aan de bouwsector om (meer) aandacht te besteden aan het belang van ventilatie in samenhang met energiezuinige woningbouw. Bovendien spreekt de minister van WWI de sector aan op zijn verantwoordelijkheden in de keten van productie, bouw/installatie en gebruik/onderhoud, zodat aan de vooraf gestelde eisen voor bouw voldaan wordt. De VROM-Inspectie is begin 2008 een project gestart om naleving van de voorschriften met betrekking tot gezondheid en energie te verhogen. Het rapport hierover wordt eind 2009/begin 2010 verwacht. In het kader van een algemene beoordelingsrichtlijn wordt een private opleveringskeuring mogelijk gemaakt. Ten slotte zal in de regelgeving (Bouwbesluit) worden opgenomen dat er verplicht een raam moet kunnen worden geopend en dat er maximale niveaus gesteld worden aan geluid van mechanische ventilatiesystemen.

In 2020 moeten alle open verbrandingstoestellen vervangen zijn. Een combinatie van wettelijke maatregelen (zoals een eventueel Europees verbod in de toekomst, het verplicht stellen van CO-melders in woningen in het Bouwbesluit 2010), praktische mogelijkheden en communicatie aan bewoners moet dit bewerkstelligen. Vanaf 2009 zal het ministerie jaarlijks het aantal open verbrandingstoestellen monitoren (Minister van WWI 2008).

In het Bouwbesluit 2003 zoals dat geldt vanaf januari 2009 zijn eisen opgenomen met betrekking tot geluid van buiten en geluid van installaties, waaronder mechanische ventilatiesystemen. Deze gelden voor nieuwbouw en niet voor bestaande bouw. Verder zijn er eisen voor luchtverversing (ventilatie) en spuivoorzieningen (ramen) voor nieuwbouwwoningen en nieuwbouw met een kinderopvangfunctie. Aan nieuwbouw en bestaande bouw met onderwijsfuncties worden geen eisen gesteld aan spuivoorzieningen (Ministerie van VROM 2009).

In het kader van de economische crisismaatregelen is voor woningen een bedrag van € 230 miljoen beschikbaar gesteld. Het geld zal vooral ingezet voor de financiering van akkoorden en convenanten met betrekking tot energiebesparing zoals het convenant 'Meer met Minder', een energie akkoord met gemeenten en akkoorden met woningbouwcorporaties. Dit biedt mogelijkheden voor verbetering van isolatie van bestaande woningen.

Naast het al ingezette nationale beleid wordt er ook door derden aandacht besteed aan het binnenmilieu. Zo is bij het ISSO, het kennisinstituut voor de installatiesector, een actieplan “Gezonde ventilatie in woningen” opgezet. Dit plan ging begin 2008 van start met als doel de technische kennis en het vakbekwaamheidsniveau in de installatiesector te vergroten. Middels publicaties en instructiemateriaal wordt geïnformeerd over installatie, beheer en onderhoud van verschillende typen ventilatiesystemen. Naast ISSO, publiceren de Woonbond en de Stichting Bouwresearch (SBR) regelmatig rapporten over het binnenmilieu, ventilatiesystemen en energiebesparing voor (bouw)professionals en burgers.

5.2 Scholen

Schoolbesturen en gemeenten zijn verantwoordelijk voor de kwaliteit van het leer- en leefklimaat op basisscholen. Hoewel dit leer- en leefklimaat geen verantwoordelijkheid is van een specifiek ministerie, voelen de ministeries van VROM (milieu en gezondheid, klimaat, bouwtechnische aspecten, energiebesparing in gebouwde omgeving), OCW (onderwijs), VWS (gezondheid) en SZW (arbeidsomstandigheden) zich betrokken bij het oplossen van de problematiek.

De ministers van VROM, WWI, VWS en de staatssecretaris van OCW stuurden in februari 2008 de kabinetsvisie “binnenmilieu op scholen” naar de Tweede Kamer (Minister van VROM, Minister van WWI *et al.* 2007). Hierin zijn concrete doelstellingen geformuleerd:

- binnen vijf jaar is een bewustwordingsproject voor leerkrachten en leerlingen afgerond, inclusief het bieden van een handelingsperspectief
- een maximaal geluidsniveau van ventilatievoorzieningen in het klaslokaal wordt in de voorschriften van het Bouwbesluit opgenomen. Binnen een periode van 15 jaar is het achtergrondgeluid in elke school niet hoger dan 35dB(A).
- Binnen 15 jaar voldoet de luchtverversing in elk lokaal bij scholen met natuurlijke ventilatie aan de eisen die het Bouwbesluit aan nieuwbouw stelt.
- Binnen 15 jaar is de temperatuur in elk schoollokaal in de zomer beheersbaar.

Er komt een convenant tussen betrokken partijen, waarin op bestuurlijk niveau heldere afspraken worden gemaakt over taken en rollen om de gezamenlijke doelstellingen te realiseren. Elke basisschool krijgt in de komende vijf jaar bezoek van de GGD. Medewerkers van de GGD voeren metingen uit en geven een ventilatieadvies op maat. De school krijgt een informatiepakket, een beknopt bouwtechnisch advies en een CO₂-meter. Hierbij is ook aandacht voor de samenhang met energiebesparende maatregelen. Deze methode heet de ééndagsmethode.

Verder stelt het ministerie van OCW alle scholen eenmalig geld beschikbaar voor bijvoorbeeld de aanschaf van buitenzonwering of kleine bouwkundige ingrepen. De VROM-Inspectie heeft als voornemen om extra aandacht te besteden aan naleving van regels en de kwaliteit van vergunningen bij scholen die nieuw worden opgeleverd of ingrijpend worden gerenoveerd.

Op 2 juli 2008 vond een Algemeen Overleg plaats over de kabinetsvisie “binnenmilieu op basisscholen” en over de Nationale Aanpak Milieu en Gezondheid. De nadruk lag op de kabinetsvisie. De minister van WWI deed hierbij aanvullende toezeggingen om het binnenmilieu op basisscholen te verbeteren: het inwinnen van advies bij de nieuwe Rijksbouwmeester over het bouwen van toekomstbestendige schoolgebouwen (ingericht op hitte) en de consequenties hiervan voor de financiering en het Bouwbesluit. Verder zou zij de Kamer informeren over de eisen voor noodgebouwen die verplaatst worden van de ene naar de andere school.

In het recent uitgebrachte advies “*Gezond en goed, scholenbouw in topconditie*” van de Rijksbouwmeester wordt onder andere aanbevolen om bij nieuwbouw en renovatie van scholen het ambitieniveau voor een goed binnenklimaat in het programma van eisen vast te leggen. Dit moet gebeuren op grond van de ISSO-publicatie *Binnenmilieu scholen*, door het Bouwbesluit aan te passen ten aanzien van de ventilatiecapaciteit en door scherpere eisen te maken voor een toekomstbestendig thermisch binnenklimaat. Verder moet het toezicht op uitvoering, controle, borging en monitoring van installaties verbeteren (van der Pol 2009).

In zijn brief “voortgang acties ventilatie en open verbrandingstoestellen” van december 2008 geeft de minister van WWI aan dat hij de Kamer medio 2009 zal informeren over de lopende acties betreffende het binnenmilieu op basisscholen en in kindercentra (Minister van WWI 2008). Dit is ook nog niet gebeurd.

In het kader van de economische crisismaatregelen trekt het kabinet ruim € 100 miljoen uit voor investeringen in energiebesparende maatregelen en verbetering van het binnenklimaat in schoolgebouwen. Voor iedere gemeente is geld beschikbaar, dat terecht moet komen bij de scholen die het het hardst nodig hebben. Gemeenten kunnen tot 1 december 2009 een aanvraag indienen.

5.3 Kindercentra

Beleid voor kindercentra richt zich op het in kaart brengen van de huidige situatie. In 2008 zijn de bronnen die bijdragen aan een slecht binnenmilieu geïnventariseerd (zie § 3.5 voor de uitkomsten van deze inventarisatie wat betreft ventilatie).

5.4 Bejaarden-, verzorgings- en verpleeghuizen

In bejaarden-, verzorgings- en verpleeghuizen is vooral de hoge temperatuur in de zomer een probleem. Ouderen zijn gevoeliger voor warmte dan anderen, waardoor zij vooral tijdens perioden van extreme warmte (hittegolven) problemen kunnen krijgen. Het ministerie van VWS stuurde op 3 juli 2008 het Nationaal Hitteplan naar de Tweede Kamer (Staatssecretaris van VWS 2007). Dit plan bevat zowel korte- als lange termijn doelstellingen. Een voorbeeld van de inzet op korte termijn is agendasetting. Lange termijn doelstellingen hangen samen met het verbeteren van het binnenmilieu. Zo moet er in de toekomst “hittebestendig” worden gebouwd en moet er meer aandacht komen voor de klimaatbeheersing van zorginstellingen waar ouderen wonen of verblijven.

5.5 Aanpak binnenmilieuproblematiek op lokaal niveau

Op lokaal niveau zijn voornamelijk de GGD'en actief op gebied van het binnenmilieu. Voor een aantal van de hierboven geschetste beleidsvoornemens, zijn zij de uitvoerende partij.

Klachten over binnenmilieu in de eigen (huur)woning komen binnen bij de GGD. Soms doet de GGD metingen in een woning en adviseert over mogelijke oplossingen.

Momenteel bezoeken GGD'en vooral basisscholen met natuurlijke ventilatie waar de ééndagsmethode wordt uitgevoerd.

Door de expliciete aandacht voor binnenmilieu op scholen, ontstaan op verschillende plekken initiatieven waarin schoolbesturen, gemeenten en de GGD samen oplossingen zoeken om te komen tot verbeteringen van het binnenmilieu. Ook bij renovaties van scholen is er aandacht voor binnenmilieu. Bij het centrum Gezond Leven, onderdeel van het RIVM, gaat het project gezonde scholen lopen. In dit project worden interventies die positief beoordeeld zijn (in theorie effectief, effectief of kosteneffectief) door het centrum Gezond Leven in de etalage gezet en onder de aandacht gebracht van lokale professionals. Het ministerie van VWS, meer dan 10 landelijke organisaties en alle GGD'en zetten zich in om de interventies te implementeren en op te nemen in het schoolbeleid om op die manier de gedragsverandering en effecten op lange termijn te borgen.

5.6 Internationale ontwikkelingen

Internationaal staat binnenmilieu al enige tijd op de agenda, ondermeer bij de WHO en in het Actieprogramma Milieu en Gezondheid van de EU. Het betreft hier dan vooral het Kaderprogramma onderzoek van de EU.

In het EnVIE-project waarvan de resultaten begin 2009 zijn gepubliceerd, zijn diverse onderzoeken naast elkaar gelegd en is geprobeerd te komen tot beleidsaanbevelingen op Europees niveau. Het eindrapport wordt gezien als de Green Paper voor binnenmilieu; een startpunt van waaruit specifiekere en verdergaande beleidsafspraken op Europees niveau gemaakt kunnen worden. De Nederlandse overheid is voorstander van zo'n Europese aanpak.

In het EnVIE-rapport is op een rijtje gezet in welke Europese richtlijnen binnenmilieuaspecten geregeld zijn. Zo wordt bijvoorbeeld verwezen naar CPD (Construction (bouw) Product Directive) en EPBD (energiebesparing) richtlijnen. De meeste EU-richtlijnen hebben een te algemeen kader om binnenmilieuvorschriften in te kunnen vastleggen. Wel zijn er op nationaal niveau lidstaten die specifieke regelgeving hebben, maar deze verschilt per land. Ook zijn er landen die werken met een vrijwillig labeling systeem voor bijvoorbeeld bouwmaterialen.

Er valt veel gezondheidswinst te behalen uit het harmoniseren van deze nationale maatregelen. Een Europees binnenmilieubeleid zou in ieder geval zaken moeten omvatten als: energiebesparing in combinatie met een gezond binnenmilieu, goede en begrijpelijke informatie voor bewoners over installaties in huis, informatie (labeling) over emissies uit bouwmaterialen en consumentenproducten, rekening houdend met binnenmilieugebruik en een goede informatievoorziening over onderhoud van verbrandingstoestellen en ventilatiesystemen.

Eind 2009 verschijnt ook het PRONET-rapport. Hierin staat een aantal "promising practices" op het gebied van binnenmilieu. Dit zijn voorbeelden van veelal lokale manieren van aanpak van binnenmilieuproblemen die hebben gewerkt. Het doel van PRONET is dat deze voorbeelden kunnen worden toegepast in andere landen.

Daarnaast wordt in WHO-verband gewerkt aan advieswaarden binnenmilieu voor een aantal stoffen zoals formaldehyde, benzeen en radon. Deze advieswaarden en richtlijnen worden eind 2009 verwacht. Recent is de WHO-richtlijn voor vocht en schimmels gepubliceerd. In deze richtlijn wordt geconcludeerd dat er voldoende epidemiologisch bewijs is dat inwoners van vochtige of gebouwen met schimmel, zowel huizen als publieke gebouwen, een verhoogd risico lopen op luchtwegaandoeningen, luchtweginfecties en verergering van astma. Er is enig bewijs voor een verhoogd risico op allergische rhinitis en astma. De relatie tussen vocht, blootstelling aan biologische agentia en gezondheidseffecten kan echter niet gekwantificeerd worden. Hierdoor kunnen er ook geen normen of drempelwaardes opgesteld worden. Wel wordt aanbevolen vocht- en schimmelproblemen zoveel mogelijk te vermijden. Wanneer deze problemen toch voorkomen, moeten ze verholpen worden om blootstelling en de daarmee samenhangende risico's te beperken. Verder geeft de richtlijn aan dat de huidige bouwvoorschriften en standaarden op het gebied van comfort en gezondheid niet voldoende de nadruk leggen op het voorkómen en controleren van overtollig vocht en vochtigheid (WHO 2009).

5.7 Conclusie beleidsinzet

In de periode 2006-2009 was er veel politieke aandacht voor binnenmilieu. Een deel van die aandacht was nog afkomstig van de aanbevelingen uit het eindrapport van het Landelijk Actieprogramma (de "kabinetsvisie binnenmilieu op basisscholen" en het beleidsstandpunt "gezondheidskundige kwaliteit van woningen"), een ander deel kwam voort uit incidenten rond binnenmilieu (kamervragen over gifdampen in de babykamer, de maatschappelijke onrust in Vathorst over balansventilatie). De acties die hieruit voortkwamen, zijn opgenomen in de Nationale Aanpak Milieu en Gezondheid. Inmiddels is een deel van de acties in gang gezet om het binnenmilieu in woningen, scholen en bejaardencentra te verbeteren. Een belangrijk voorbeeld daarvan is dat scholen inmiddels bezocht worden door de GGD door middel van de ééndagsmethode. Recent heeft het kabinet in het kader van economische crisismaatreg-

len stimuleringsgelden beschikbaar gesteld voor woningen en scholen. Deze gelden kunnen worden ingezet voor investeringen in energiebesparende maatregelen. Een valkuil bij deze energiebesparende maatregelen is dat er teveel op energie wordt ingezet en te weinig rekening wordt gehouden met de gevolgen voor het binnenklimaat.

6 Beschouwing en aanbevelingen

6.1 Beschouwing

In hoofdstuk 2 is de situatie van het binnenmilieu in Nederland geschetst aan de hand van enkele indicatoren op het gebied van organische stoffen, vocht en biologische agentia, verbrandingsproducten en roken, thermisch comfort, ventilatie en radon. Uit tabel 2 blijkt dat op een aantal van deze thema's advieswaarden of normen overschreden worden. Dit heeft een negatieve invloed op de gezondheid van de bewoners of gebruikers van de gebouwen. Volgens de schattingen van het EnVIE-rapport draagt vervuilde binnenmilieu bij aan aandoeningen als (verergeren van) astma, hart- en vaatziekten en sensorische irritatie. De grootste ziektelast wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verbrandingsproducten en biologische agentia. De buitenluchtkwaliteit heeft een grote invloed op deze bronnen van deze vervuiling (voornamelijk voor fijn stof). De bronnen binnenshuis die zorgen voor de meeste ziektelast zijn volgens EnVIE voornamelijk verbrandingstoestellen, watersystemen, vochtigheid en schimmels.

Verder worden uit recent onderzoek mogelijke gezondheidsrisico's van weekmakers gesignaleerd. Het gaat hierbij om effecten op de luchtwegen na mogelijke uitdamping uit PVC-oppervlakken. Ook zijn er mogelijke gezondheidsrisico's door blootstelling aan chemicaliën (lood, PAK's, PBDE's en DEHP) in het huisstof. Uit een recente kleine steekproef naar het voorkomen van chemicaliën in huisstof in Nederland blijkt dat de concentraties van lood in het huisstof in een aantal woningen zou kunnen leiden tot gezondheidsrisico's. Voor andere metalen, PAK's en PBDE's was dit niet het geval. De concentratie aan weekmakers (DEHP) is niet bepaald. Verder lijkt uit de gevonden literatuur naar voren te komen dat blootstelling aan PAK's in de binnenlucht tijdens de zwangerschap kan leiden tot vroeggeboorte en/of een laag geboortegewicht.

Het huidige beleid zet zich bij de nieuwbouw en verbouw voornamelijk in op het bevorderen van de ventilatie door het verbeteren van toezicht en naleving van het bouwbesluit, het aanpassen van het bouwbesluit door vastleggen van maximale geluidsniveaus van ventilatiesystemen en hernieuwde eisen voor (spui)ventilatie, het stimuleren van de bouwsector om meer aandacht te besteden aan het belang van een goede ventilatie, het opstellen van een convenant met gemeenten voor het verbeteren van de ventilatie, geluid en temperatuur op scholen en het geven van voorlichting. Voor de bestaande bouw worden nu ook via allerlei akkoorden en convenanten verbetermaatregelen gestimuleerd om te komen tot energievermindering en een beter binnenmilieu. Verder wordt gewerkt aan het uitfasen van afvoerloze geisers en open verbrandingstoestellen.

6.2 Conclusies en aanbevelingen

Het ingezette beleid van de Nationale Aanpak richt zich voornamelijk op het verbeteren van de ventilatie en het uitfasen van afvoerloze geisers en open verbrandingstoestellen.

Uit de geschetste situatie van het binnenmilieu in Nederland (zie tabel 2) blijkt dat in veel gevallen de huidige ventilatieniveaus in woningen, scholen en kindercentra te laag zijn. Zo wordt de CO₂-advieswaarde vaak overschreden. Een hogere ventilatiegraad kan leiden tot minder binnenmilieuklachten en betere leerprestaties. Ook zullen schadelijke stoffen van bronnen binnenshuis, zoals VOS en radon, sneller afgevoerd worden.

Het uitfaseren van afvoerloze geisers en open verbrandingstoestellen is vooral gericht op het voorkomen van acute, meestal dodelijke, CO-vergiftigingen. Deze hoge CO-waarden worden veroorzaakt door frequent gebruik van defecte of vervuilde verbrandingstoestellen waarbij de rookgassen niet direct naar buiten worden afgevoerd. Naast het voorkomen van acute CO-vergiftigingen zorgt het uitfaseren van deze toestellen ook voor minder vervuiling van het binnenmilieu door rookgassen en stofdeeltjes. De Nationale Aanpak heeft dus een goed begin gemaakt met de aanpak van binnenmilieuproblemen.

Echter, er zijn ook enkele aspecten van het binnenmilieu die wel om aandacht vragen maar nog onvoldoende in het beleid zijn opgenomen. Problemen door allergenen, vocht en schimmels zorgen volgens het EnVIE-rapport voor ongeveer éénderde van de ziektelast gerelateerd aan een vervuild binnenmilieu. In Nederland is er een afname van het aantal huizen met vochtproblemen door bouwtechnische verbeteringen. Maar vooral in oude woningen (van vóór 1980) komen nog veel vocht en schimmelplekken voor. Extra beleidsinzet gericht op het voorkomen van en handelingsperspectieven bij vocht- en schimmelp Problemen in de woningvoorraad van vóór 1980 zou onderzocht moeten worden.

Verder moet er voldoende aandacht zijn en blijven voor een verdere integratie van het binnenmilieubeleid in het energiebesparingsbeleid om problemen door verminderde natuurlijke ventilatie te voorkomen. Het is belangrijk om gezondheidsexperts meer te betrekken bij de ontwikkeling van richtlijnen en installatie-eisen voor toekomstige nieuwbouw en renovatie van woningen, kindercentra en scholen. Volgens het EnVIE-rapport levert juist deze integratie van binnenmilieu richtlijnen met de EPC-procedure bij gebouwen de meeste gezondheidswinst op.

Een ander thema dat om betere integratie van beleid vraagt, is dat van de combinatie van klimaatverandering en binnenmilieu. Gezondheidseffecten door een te hoge binnentemperatuur zullen in de toekomst vaker voorkomen. Klimaatbestendig bouwen, zodat de temperatuur in gebouwen tijdens hete periodes beheersbaar blijft, is daarom erg belangrijk. Een gevoelige groep voor de gevolgen van de klimaatverandering zijn ouderen. Met name deze groep is gevoelig voor hoge temperaturen. Door de toenemende vergrijzing in de komende jaren, neemt die groep in omvang toe. Daarmee neemt dus ook de noodzaak voor voldoende beleid op dit gebied toe. Dit probleem speelt ook nu al omdat in nieuwe woningen steeds meer geïsoleerd wordt om energie te besparen. Deze dichtheid van woningen leidt ertoe dat binnenkomende zonnewarmte minder gemakkelijk afgevoerd kan worden. Naast ventilatie is een adequate zonwering essentieel.

Uit de in hoofdstuk 4 geschetste onderzoeksontwikkelingen komen signalen over nieuwe gezondheidsrisico's, zoals uitdampen van weekmakers uit PVC-oppervlakten en PAK concentraties in de lucht. Nagegaan moet worden in hoeverre dit relevant is voor de Nederlandse studie. Een optie is dit mee te nemen in een van de lopende cohort onderdelen, zoals het PIAMA onderzoek bij kinderen. Afhankelijk van de uitkomst hiervan is mogelijk extra beleidsinzet nodig.

In navolging van het EnVIE-project is het aan te bevelen ziektelastberekeningen uit te voeren voor Nederland op basis van recente blootstellingsgegevens en recente risicoschattingen; met een onzekerheidsanalyse en een verdere verdeling van de ziektelast naar sociaaleconomische klassen. Voor een aantal stoffen, zoals ETS, benzeen en formaldehyde komen eind 2009 nieuwe resultaten beschikbaar. Afhankelijk van de resultaten moet gekeken worden of aanvullend beleid noodzakelijk is.

Op dit moment werkt de WHO aan het ontwikkelen van nieuwe advieswaarden voor binnenmilieu. Zodra deze bekend zijn, moet het beleid zorg dragen voor een snel proces rond normstelling en gerichte communicatie daarover.

Referenties

- Alders, M. (2006). "500 extra doden in warme juliweken." Opgevraagd 17-03-2009, 2009, van: <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/bevolking/publicaties/artikelen/archief/2006/2006-2003-wm.htm>.
- Antova, T., S. Pattenden, *et al.* (2008). "Exposure to indoor mould and children's respiratory health in the PATY study." *Journal of Epidemiology and Community Health* 62(8): 708-714.
- Arts, J. H., H. Muijser, *et al.* (2008). "Setting an indoor air exposure limit for formaldehyde: factors of concern." *Regul Toxicol Pharmacol* 52(2): 189-94.
- Blaauboer, R. O., S. A. J. Dekkers, *et al.* (2008). Stralingsbelasting in nieuwbouwwoningen - voorlopige resultaten. VERA-survey 2006 Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM briefrapport 610790004
- Boerstra, A., A. Gelderblom, *et al.* (2007). Handboek binnenmilieu 2007. E. Peeters. Rotterdam, GGD Rotterdam-Rijnmond: 1-275.
- Boerstra, A. C., L. Haans, *et al.* (2006). Literatuuronderzoek binnenmilieu en energiegebruik in Nederlandse scholen. Rotterdam, BBA Binnenmilieu.
- Brunekreef, B., N. A. Janssen, *et al.* (2005). "Personal, indoor, and outdoor exposures to PM2.5 and its components for groups of cardiovascular patients in Amsterdam and Helsinki." Research report (Health Effects Institute)(127).
- Chauhan, A. J., H. M. Inskip, *et al.* (2003). "Personal exposure to nitrogen dioxide (NO2) and the severity of virus-induced asthma in children." *Lancet* 361(9373): 1939-1944.
- Choi, H., V. Rauh, *et al.* (2008). "Prenatal exposure to airborne polycyclic aromatic hydrocarbons and risk of intrauterine growth restriction." *Environ Health Perspect* 116(5): 658-65.
- Consument en Veiligheid. (2008). "Factsheet koolmonoxidevergiftigingen." Opgevraagd 19-11-2008, 2008, van: <http://www.veiligheid.nl/csi/veiligheid.nsf/wwwVwContent/lkoolmonoxidevergiftigingen.htm?opendocument&context=CEBBCB4B5F9C533BC12573910041772E>.
- de Beer, J. en C. Harmsen. (2003). "Ruim duizend doden extra door warme zomer." Opgevraagd 17-03-2009, 2003, van: <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/bevolking/publicaties/artikelen/archief/2003/2003-1275-wm.htm>.
- de Gids, W. F., C. J. van Oel, *et al.* (2007). Het effect van ventilatie op de cognitieve prestaties van leerlingen op een basisschool. Delft, TNO. TNO rapport 2006-D-1078/B: 1-88.
- de Oliveira Fernandes, E., M. Jantunen, *et al.* (2009). "EnVIE Publishabel final activity report." van <http://www.envie-iaq.eu/documents/finalreports/Final%20Reports%20Publishable/Publishable%20final%20activity%20report.pdf>.
- Destailats, H., R. L. Maddalena, *et al.* (2008). "Indoor pollutants emitted by office equipment: A review of reported data and information needs." *Atmospheric Environment* 42(7): 1371-1388.
- Duijm, F., M. Hady, *et al.* (2007). Gezondheid en ventilatie in woningen in Vathorst; onderzoek naar de relatie tussen gezondheidsklachten, binnenmilieukwaliteit en woningkenmerken. Amersfoort, GGD Eemland: 1-98.
- Dusseldorp, A. en M. van Bruggen (2007). Gezondheidskundige advieswaarden binnenmilieu, een update. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapport 609021043/2007: 1-52.
- Dusseldorp, A., M. van Bruggen, *et al.* (2004). Gezondheidskundige advieswaarden binnenmilieu. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM Rapport 609021029
- Dusseldorp, A., R. van Poll, *et al.* (2007). Meldingen van milieugerelateerde gezondheidsklachten bij GGD'en. Inventarisatie 2004-2006. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM Rapport 609330001.

- ECA-IAQ (2007). Impact of Ozone-initiated Terpene Chemistry on Indoor Air Quality and Human Health. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, European Collaborative Action, Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure.
- EUROSTAT ECHP and EUROSTAT SILC (2008). Proportion of the total population living in homes with self-reported problems of damp, 1995–2006. van: http://www.enhis.org/object_document/o4720n27384.html. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Fischer, P. H., G. Hoek, *et al.* (2000). "Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam." *Atmospheric Environment* 34(22): 3713-3722.
- Fisk, W. J., Q. Lei-Gomez, *et al.* (2007). "Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes." *Indoor Air* 17(4): 284-96.
- Fisk, W. J., A. G. Mirer, *et al.* (2008). Quantification of the association of ventilation rates with sick building syndrome symptoms. *Indoor Air Conference 2008, Copenhagen*
- Franklin, P. J. (2007). "Indoor air quality and respiratory health of children." *Paediatric Respiratory Reviews* 8(4): 281-286.
- Gehin, E., O. Ramalho, *et al.* (2008). "Size distribution and emission rate measurement of fine and ultrafine particle from indoor human activities." *Atmospheric Environment* 42(35): 8341-8352.
- Gezondheidsraad (2000a). Radon: toetsing rapport 'BEIR VI'. Den Haag, Gezondheidsraad.
- Gezondheidsraad (2000b). Vluchtige organische stoffen uit bouwmaterialen in verblijfsruimten. Den Haag, Gezondheidsraad. Publicatie nummer 2000/10.
- Gezondheidsraad (2003). Volksgezondheidsschade door passief roken. Den Haag, Gezondheidsraad. publicatienummer 2003/21.
- Gezondheidsraad (2007). Astma, allergie en omgevingsfactoren. Den Haag, Gezondheidsraad. publicatienr. 2007/15.
- Gezondheidsraad (2007). Risico's van blootstelling aan ioniserende straling. Den Haag, Gezondheidsraad. Rapport nr. 2007/03.
- Habets, T. en A. Dusseldorp (2005). Onderzoek naar het klimaat in slaapruidten van kinderdagverblijven. Rotterdam, GGD Rotterdam en omstreken.
- Hall, E. F. en A. Dusseldorp (2008). Gezondheidseffecten van een lage relatieve luchtvochtigheid in woningen. Een literatuurstudie. . Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapport 609021071 1-45.
- Hall, E. F., A. Dusseldorp, *et al.* (2009). Concentratieingen in het binnenmilieu van woningen CONCEPT. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapport: 609021087/2009.
- Hasselaar, E. (2006). Health performance of housing: indicators and tools. Amsterdam, Delft University Press.
- Hoek, G., G. Kos, *et al.* (2008). "Indoor-outdoor relationships of particle number and mass in four European cities." *Atmospheric Environment* 42(1): 156-169.
- Hwang, H. M., E. K. Park, *et al.* (2008). "Occurrence of endocrine-disrupting chemicals in indoor dust." *Science of the Total Environment* 404(1): 26-35.
- IOM (2004). Damp indoor spaces and health. Institute of Medicine. Washington, National Academic Press.
- Jaakkola, J. J. K. en T. L. Knight (2008). "The Role of Exposure to Phthalates from Polyvinyl Chloride Products in the Development of Asthma and Allergies: A Systematic Review and Meta-analysis." *Environmental Health Perspectives* 116(7): 845-853.
- Kim, J. L., L. Elfman, *et al.* (2007). "Indoor molds, bacteria, microbial volatile organic compounds and plasticizers in schools - Associations with asthma and respiratory symptoms in pupils." *Indoor Air* 17(2): 153-163.
- Knol, A. B. en B. A. M. Staatsen (2005). Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands 1980 – 2020. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapport: 500029001/2005: 1-97.
- Kolarik, B., K. Naydenov, *et al.* (2008). "The association between phthalates in dust and allergic diseases among Bulgarian children." *Environmental health perspectives* 116(1): 98-103.

- Kuindersma, P. en C. J. W. Ruiter (2007). Woonkwaliteit binnenmilieu in nieuwbouwwoningen. Arnhem, Vrom Inspectie regio Oost.
- Lang, I., T. Bruckner, *et al.* (2008). "Formaldehyde and chemosensory irritation in humans: a controlled human exposure study." *Regul Toxicol Pharmacol* 50(1): 23-36.
- Leech, J. A., M. Raizenne, *et al.* (2004). "Health in occupants of energy efficient new homes." *Indoor Air* 14(3): 169-173.
- Leidelmeijer, K., M. Menkveld, *et al.* (2009). Mechanische ventilatie in nieuwbouwwoningen *CONCEPT* Amsterdam, RIGO Research en Advies BV.
- Meijer, A., E. Hasselaar, *et al.* (2007). Literatuurstudie scholen en kindercentra; Binnenmilieu, gezondheid en leerprestaties. Delft, Onderzoeksinstituut OTB: 1-82.
- Meijer, G. en A. Sijtsma (2008). Vluchtige organische stoffen in woningen in Groningen. Groningen, HVD/GGD Groningen: 1-52.
- Mendell, M. J. (2007). "Indoor residential chemical emissions as risk factors for respiratory and allergic effects in children: A review." *Indoor Air* 17(4): 259-277.
- Minister van VROM, Minister van VWS, *et al.* (2008). Brief van Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Nationale aanpak milieu en gezondheid 2008-2012. Den Haag. Kenmerk SAS/wjk2008030789.
- Minister van VROM, Minister van WWI, *et al.* (2007). Brief van Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Kabinetsvisie binnenmilieu basisscholen Den Haag. Kenmerk SAS/2007121677.
- Minister van WWI (2007). Brief van Minister van Wonen, Wijken en Integratie aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Gezondheidskundige kwaliteit van woningen. Den Haag. Kenmerk DBO2007111358.
- Minister van WWI (2008). Brief van Minister van Wonen, Wijken en Integratie aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Voortgang acties ventilatie en open verbrandingstoestellen. Den Haag. Kenmerk DSB 2008117809.
- Ministerie van VROM. (2006). "Milieu en Gezondheid: Actieplan Jeugd, Milieu en Gezondheid (CEHAP)." van <http://www.vrom.nl/get.asp?file=docs/kamerstukken/Mon27Nov20061626380100/DGM2006329284B.doc>.
- Ministerie van VROM. (2008). "Dossier asbest." Opgevraagd 19-11-2008, 2008, van <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=8329&term=asbest>.
- Ministerie van VROM. (2009). "Bouwbesluit 2003." Opgevraagd 17-03-2009, 2009, van <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=18238>.
- Ministers van VROM en VWS (2002). Brief van Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal. Actieprogramma Gezondheid en Milieu. Den Haag. TK 28 089 nr.2.
- Oomen, A. G., P. C. J. M. Janssen, *et al.* (2008). Exposure to chemicals via house dust. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM Report 609021064/2008: 1-97.
- Peat, J. K., J. Dickerson, *et al.* (1998). "Effects of damp and mould in the home on respiratory health: a review of the literature." *Allergy* 53(2): 120-8.
- Peeters, E., (redactie) (2007). Handboek binnenmilieu 2007. Rotterdam, GGD Rotterdam-Rijnmond: 1-275.
- Rennie, D. C., J. A. Lawson, *et al.* (2008). "Assessment of endotoxin levels in the home and current asthma and wheeze in school-age children." *Indoor Air*.
- SCHER (2007). Opinion on risk assessment on indoor air quality. Brussels, Scientific Committee on Health and Environmental Risks.
- Seppanen, O. A. en W. J. Fisk (2004). "Summary of human responses to ventilation." *Indoor Air* 14 Suppl 7: 102-18.
- Swan, S. H. (2008). "Environmental phthalate exposure in relation to reproductive outcomes and other health endpoints in humans." *Environ Res* 108(2): 177-84.
- van de Weerd, D. H. J. en P. Wensveen (2001). Onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit van kinderdagverblijven. Zwolle, GGD Regio IJssel-Vecht. Rapportnummer GGD/MMK/033.

- van der Pol, L. (2009). *Gezond en goed; Scholenbouw in topconditie*. Den Haag, Atelier Rijksbouwmeester.
- van Dongen, J. en H. Vos (2007). *Gezondheidsaspecten van woningen in Nederland*. Delft, TNO: 1-179.
- van Egmond, H. C. M., N. K. Gopal, et al. (2007). *Veiligheid gas en elektra*. Delft, ABF Research.
- van Gelder, B. M., A. Blokstra, et al. (2008). *Environmental tobacco smoke in the Netherlands. First estimates of exposure, review of main health effects and overview of available interventions*. Bilthoven, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapport 260601005/2008.
- Versteeg, H. (2007). *Onderzoek in basisscholen naar de kwaliteit van het binnenmilieu*. Den Haag, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- Versteeg, H. (2009). *Onderzoek binnenmilieu kindercentra CONCEPT dd 20-05-2009*. Nieuwegein, Lichtveld, Buis en Partners BV.
- Wargocki, P., J. Sundell, et al. (2002). "Ventilation and health in non-industrial indoor environments: Report from a European Multidisciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN)." *Indoor Air* 12(2): 113-128.
- Weichenthal, S., A. Dufresne, et al. (2007). "Indoor ultrafine particles and childhood asthma: Exploring a potential public health concern." *Indoor Air* 17(2): 81-91.
- Weschler, C. J. (2006). "Ozone's impact on public health: contributions from indoor exposures to ozone and products of ozone-initiated chemistry." *Environ Health Perspect* 114(10): 1489-96.
- WHO (2000). *WHO Air Quality Guidelines for Europe 2nd edition*. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe. European series No. 91.
- WHO (2009). *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. Copenhagen, World Health Organisation: 1-248.
- Zuraimi, M. S., K. W. Tham, et al. (2007). "The effect of ventilation strategies of child care centers on indoor air quality and respiratory health of children in Singapore." *Indoor Air* 17(4): 317-327.

Bijlage 1: Bronnen en gezondheidseffecten van stoffen in het binnenmilieu

In deze bijlage wordt dieper ingegaan op de bronnen en de gezondheidseffecten van de beschreven omstandigheden in hoofdstuk 3, situatie van het binnenmilieu in Nederland. Hiervoor is gebruik gemaakt van het handboek binnenmilieu uit 2007 (Peeters 2007), tenzij anders vermeld.

Organische stoffen (uitgezonderd verbrandingsproducten)

Bronnen

De kwaliteit van het binnenmilieu wordt onder andere beïnvloed door het vrijkomen van chemische stoffen uit bouwmaterialen en producten. Van de chemische stoffen die in het binnenmilieu worden aangetroffen, zijn veel afkomstig uit consumentenproducten en huishoudelijke producten. Enkele producten waar veel organische stoffen uit vrij kunnen komen zijn: brandstoffen, verven en lakken, oplosmiddelen, schoonmaak- en bestrijdingsmiddelen, lijmen en kitten, spuitbussen, luchtverfrissers, isolatiemateriaal en inktten.

In veel meubels is bijvoorbeeld spaanplaat verwerkt, waaruit formaldehyde kan verdampen (Franklin 2007; Mendell 2007; SCHER 2007; Destailats, Maddalena *et al.* 2008). Ook komen in meubels vaak brandvertragers voor. Houten constructie- en inrichtingsmaterialen bevatten daarnaast vaak terpenen. Deze terpenen kunnen reacties aangaan met andere stoffen in het binnenmilieu, zoals ozon: hierbij ontstaan onder andere radicalen en meer stabiele stoffen zoals aldehyden (formaldehyde) en stofdeeltjes (ECA-IAQ 2007). Andere inrichtingsmaterialen, zoals vloerbedekking, kunnen ook een bron zijn van vluchtige organische stoffen (VOS) (Oomen, Janssen *et al.* 2008).

Ook moderne elektronische apparatuur zoals computers, printers en kopieerapparaten zijn belangrijke bronnen van chemische stoffen. Deze apparaten bestaan voor een groot deel uit kunststof materiaal, dat weekmakers (ftalaten, zoals DEHP) en brandvertragers (onder andere PBDEs) bevat (Destailats, Maddalena *et al.* 2008). Deze semi-vluchtige organische stoffen (SVOS) kunnen uitdampen naar de lucht of in huisstof terecht komen, maar de mate waarin in dit gebeurt, is nog grotendeels onbekend (Hwang, Park *et al.* 2008; Jaakkola en Knight 2008; Oomen, Janssen *et al.* 2008). Naast een bron van chemische stoffen, zijn printers en kopieerapparaten en sommige typen luchtfilters bronnen van ozon (ECA-IAQ 2007; Destailats, Maddalena *et al.* 2008)

Ook andere producten waarin plastics en kunststoffen verwerkt zijn, bevatten weekmakers en brandvertragers. Voorbeelden zijn televisies, speelgoed, en vinyl- en PVC-vloeren (Hwang, Park *et al.* 2008; Jaakkola en Knight 2008). Gangbare gebruiksartikelen zoals luchtverfrissers, cosmetica, lijm en verf bevatten vaak formaldehyde en/of terpenen (Franklin 2007; Mendell 2007; SCHER 2007; Destailats, Maddalena *et al.* 2008; Hwang, Park *et al.* 2008; Jaakkola en Knight 2008).

Ten slotte zijn bouwmaterialen een bron van diverse chemische stoffen, zoals formaldehyde (Franklin 2007; Mendell 2007; SCHER 2007; Destailats, Maddalena *et al.* 2008; Hwang, Park *et al.* 2008; Jaakkola en Knight 2008; Oomen, Janssen *et al.* 2008). Ook bij het gebruik van gasfornuizen en geisers kan formaldehyde vrijkomen (zie paragraaf Verbrandingsproducten en Roken).

Blootstelling

In de meeste gevallen zal in het binnenmilieu blootstelling plaatsvinden aan mengsels van diverse chemische stoffen.

Semi-vluchtige organische stoffen zoals ftalaten (weekmakers) en brandvertragers komen langzaam vrij en slaan snel neer op oppervlakken. Ook kunnen ze worden geabsorbeerd door huisstof. Voor deze stoffen is blootstelling via inname van huisstof een belangrijke blootstellingsroute. SVOS kunnen zowel in gasvorm als gebonden aan stofdeeltjes in het binnenmilieu voorkomen. De belangrijkste blootstellingsroute voor vluchtige organische stoffen (VOS) is via inademing. Dit geldt hoofdzakelijk voor de (zeer) vluchtige stoffen.

Gezondheidseffecten

Vluchtige Organische Stoffen

In het algemeen hebben vluchtige organische verbindingen een remmend effect op het centrale zenuwstelsel. Dit uit zich bij toenemende dosis in onder meer hoofdpijn, lusteloosheid, duizeligheid en bewusteloosheid. Naast de effecten op het centrale zenuwstelsel zijn veel vluchtige organische verbindingen, vooral de aldehyden, irriterend voor ogen, neus, keel en huid. Ook terpenen kunnen irriterend werken op de ogen, de huid en ademhalingsorganen. Daarnaast kunnen terpenen met ozon reageren tot secundaire reactieproducten zoals aldehyden en ultrafijne stofdeeltjes. Er is nog niet veel bekend over de gezondheidseffecten van deze secundaire reactieproducten. Er zijn wel aanwijzingen dat de gasvormige reactieproducten leiden tot irritatie van de ogen en hogere luchtwegen (ECA-IAQ 2007). Ook is er gesuggereerd dat de waargenomen gezondheidseffecten van ozon in de buitenlucht in epidemiologische studies ten dele veroorzaakt worden door ozon reacties in het binnenmilieu (Weschler 2006).

Verven en lakken op basis van polyurethaan en epoxyhars kunnen, naast irriterende effecten, leiden tot allergieën die zich uiten in allergisch eczeem en astma-achtige klachten. Dit wordt veroorzaakt door blootstelling aan isocyanaten en snel verdampende amines. Ook blootstelling aan formaldehyde leidt mogelijk tot astma-achtige klachten bij kinderen. Enkele vluchtige organische stoffen, zoals toluen en xyleen, zouden mogelijk schadelijk zijn voor het ongeboren kind.

Formaldehyde kan bij langdurige blootstelling neusholtekanker veroorzaken. Het IARC heeft formaldehyde geclassificeerd als carcinogeen. Waarschijnlijk spelen zowel genotoxiciteit als cytotoxiciteit (een verhoogde celproliferatie) een rol bij de carcinogene effecten van formaldehyde op de weefsels in de neusholte.

Semi-vluchtige organische stoffen

Er zijn verbanden aangetoond tussen de aanwezigheid van ftalaten in huisstof en het vóórkomen van astma, irritatie van het neusslijmvlies en eczeem bij kinderen. In dierproefonderzoek zijn aanwijzingen gevonden voor reproductietoxische eigenschappen van een aantal ftalaten.

De kennis over gezondheidsrisico's van blootstelling aan brandvertragers is nog beperkt. Het belangrijkste gezondheidseffect van blootstelling aan gebromeerde brandvertragers lijkt verstoring van de schildklierhormoonbalans te zijn. De laatste jaren wordt er echter steeds meer onderzoek gedaan naar de mogelijke gezondheidsrisico's van semi-vluchtige organische stoffen in het binnenmilieu. De recente onderzoeksontwikkelingen op dit gebied worden in hoofdstuk 4 beschreven.

Vocht en biologische agentia

Bronnen

In Nederland wordt het klimaat sterk beïnvloed door de nabijheid van de zee, waardoor het bijna het gehele jaar vrij vochtig kan zijn. Ook staat het grondwater in bepaalde delen van het land vaak vrij dicht onder maaiveld. Hierdoor kunnen woningen in Nederland kampen met vochtproblemen. Verschillende factoren kunnen een rol spelen bij het ontstaan van vochtproblemen, maar op hoofdlijnen kunnen twee groepen worden onderscheiden: bouwtechnische aspecten en bewonersgedrag.

Vochtbronnen die onder bouwtechnische aspecten vallen zijn onder andere; bouwvocht (uitdampend water uit bouwmaterialen), optrekkend grondwater, vochtige kruipruimte, oppervlaktecondensatie, lekkages en regendoorslag, en gebrekkige ventilatievoorzieningen.

Bij de invloed van bewoners gaat het vooral om vochtproductie en het ventilatie- en stookgedrag. Vochtproblemen ontstaan meestal als gevolg van een combinatie van bouwtechnische aspecten van de woning en bewonersgedrag.

Een hoge luchtvochtigheid in huizen bevordert de groei van schimmels. Er zijn vele duizenden verschillende schimmelsoorten bekend. Het vochtgehalte van het substraat waar de schimmel op groeit is de meest bepalende factor voor schimmelgroei. Schimmels kunnen groeien op een grote verscheidenheid aan (bouw)materialen, mits er sprake is van de juiste temperatuur en de juiste vochtigheidsgraad. Naast (bouw)materialen kan ook huisstof een belangrijk reservoir of zelfs een leefomgeving voor schimmels zijn. Dit is onder andere het geval op niet-gesloten verlaagde plafonds. Ook groente-, fruit- en tuinafvalbakken kunnen een bron van schimmels in de binnenlucht vormen.

De hoeveelheid vocht in de lucht van huizen is een belangrijke factor voor het tot ontwikkeling komen van een huisstofmijtpopulatie. Bij een hoge relatieve luchtvochtigheid en temperatuur kan de huisstofmijt zich goed ontwikkelen. Bij een lagere luchtvochtigheid gedijen huisstofmijten minder goed, hoewel ze een drogere situatie wel kunnen overleven. In de uitwerpselen van huisstofmijten bevinden zich allergenen.

In veel Nederlandse huishoudens worden één of meer huisdieren gehouden. Inhalatieallergenen van huisdieren zijn, naast die van huisstofmijten, een belangrijke bron van allergieën. Allergenen van katten, honden, vogels en knaagdieren zijn afkomstig van vacht of veren, huidschilfers, speeksel en urine. Allergenen van huisdieren kunnen, lang nadat het dier afwezig is, in een woning aangetroffen worden.

Blootstelling

Het resultaat van wonen in vochtige woningen is een extra blootstelling aan allergenen en/of andere biologische vervuiling. Deze blootstelling verloopt via inademen van de allergenen in de lucht.

Gezondheidseffecten

Vocht en schimmels in woningen kunnen leiden tot luchtwegklachten als niezen, hoesten en piepen op de borst. Bij gesensibiliseerde mensen met astma kan blootstelling aan een vochtige of schimmelige woning astmasymptomen verergeren (IOM 2004; Gezondheidsraad 2007). Het is moeilijk aan te geven welke factoren hiervoor direct verantwoordelijk zijn. De meest logische verklaring lijkt te zijn dat vocht de groei van microbiologische agentia en huisstofmijt bevordert, wat vervolgens een reactie veroorzaakt.

Astma en binnenmilieu

Omgevingsfactoren in het binnenmilieu, zoals vochtige huizen, schimmels, huisstofmijten en tabaksrook hebben invloed op het ontstaan en verergeren van astma en luchtwegallergieën. Echter, andere factoren zoals genetische aanleg, buitenluchtverontreiniging, voedingspatronen en vroeggeboorte spelen ook een belangrijke rol (Gezondheidsraad 2007).

Daarnaast blijkt uit onderzoek dat chemische stoffen mogelijk ook een rol spelen bij het ontstaan en verergeren van deze effecten.

Hoewel er voldoende bewijs is voor de associatie tussen vochtige woningen en luchtwegklachten zijn blootstellingrespons relaties voor vocht en luchtwegaandoeningen moeilijk af te leiden. Voor een relatie tussen vochtige huizen of schimmelvorming en niezen en hoesten bij kinderen wordt een OR tussen de 1.5 en 3.5 verondersteld (Peat, Dickerson *et al.* 1998).

In meerdere onderzoeken zijn verbanden aangetoond tussen het vóórkomen van biologische agentia (schimmel, endotoxine, uitwerpselen van de huisstofmijt, haren van huisdieren) in de woning en (toename en/of verergering van) luchtwegeffecten. Ook kunnen biologische agentia een allergische reactie veroorzaken (Gezondheidsraad 2007; SCHER 2007; Rennie, Lawson *et al.* 2008). In ieder huis is huisstofmijt aanwezig, maar de hoeveelheid verschilt per woning. Er is geen blootstellingsniveau aan te geven waarbij geen effecten optreden.

Ook een als te droog ervaren woning kan klachten veroorzaken. Op zich heeft de relatieve luchtvochtigheid over een groot traject van 30-70% weinig invloed op het behaaglijkheidsgevoel. Mensen kunnen de lucht echter als droog ervaren wanneer zij irritatie of prikkeling van de slijmvliezen ondervinden. Het droge gevoel wordt echter veroorzaakt door irritatie van de slijmvliezen en deze irritatie wordt weer veroorzaakt door verontreinigingen in de lucht.

Verbrandingsproducten en roken

Bronnen

Bij verbranding van fossiele brandstoffen komen verbrandingsgassen en fijn stof vrij. De verbrandingsgassen bestaan voor het grootste gedeelte uit koolstofdioxide (CO₂), waterdamp (H₂O), stikstofoxiden (NO_x), en koolmonoxide (CO). Daarnaast kunnen ook aldehyden, waaronder formaldehyde, zure gassen, zwaveloxiden (SO_x) (bij verbranding van aardolie en kolen) en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) voorkomen in verbrandingsgassen.

Astma in Nederland

De incidentie van astma en luchtwegallergieën in Nederland is in de laatste decennia van de afgelopen eeuw toegenomen. De laatste jaren blijft het percentage bestaande ziektegevallen weer gelijk en is er mogelijk sprake van een afname. Een deel van de waargenomen stijging is te verklaren door een reële stijging van de incidentie, maar voor een deel ook door veranderingen in diagnostiek.

Bronnen van verbrandingsgassen en fijn stof komen zowel binnenshuis als buitenshuis voor. In de woning zelf zijn gasfornuizen, geisers, kachels, open haarden, kaarsen en roken belangrijke bronnen. Vooral als verbrandingstoestellen slecht onderhouden zijn of geen afvoer hebben, zijn ze een belangrijke bron van schadelijke stoffen, zoals fijn stof, PAK, koolmonoxide en stikstofoxiden (Boerstra, Gelderblom *et al.* 2007; SCHER 2007). Sigarettenrook in het binnenmilieu is ook een belangrijke bron voor formaldehyde, benzeen en zware metalen (Franklin 2007; Mendell 2007; SCHER 2007; Destailats, Maddalena *et al.* 2008; Hwang, Park *et al.* 2008; Jaakkola en Knight 2008; Oomen, Janssen *et al.* 2008).

Een deel van de verbrandingsproducten die binnenshuis voorkomen, is afkomstig uit het buitenmilieu. Dit is waarschijnlijk vooral het geval in woningen en gebouwen in steden met veel verkeer en in gebouwen die dicht bij drukke wegen of in de buurt van industrie staan. (Chauhan, Inskip *et al.* 2003) Ook ozon is deels afkomstig uit het buitenmilieu.

Blootstelling

Door de verschillende bronnen binnens- en buitenshuis worden mensen constant blootgesteld aan verbrandingsproducten. De blootstellingsroute hiervoor is via inademing. Piekconcentraties kunnen verwacht worden wanneer mensen zich dicht bij verbrandingstoestellen bevinden en er geen goede afzuiging is. Ook het gedrag van de bewoner heeft invloed op de blootstellingsniveaus; roken en het aansteken van open haard en/of kaarsen zonder adequate ventilatie zorgt voor een hoge blootstelling. Defecte of slecht onderhouden verbrandingstoestellen kunnen leiden tot koolmonoxidevergiftiging. Dit reukloze gas komt vrij bij onvolledige verbranding.

Gezondheidseffecten

Effecten door blootstelling aan verbrandingsproducten worden veroorzaakt door het mengsel van verbrandingsgassen en fijn stof. Er is veel onderzoek geweest naar de effecten van meeroken. Voor passief roken, of meeroken, geldt dat de gezondheidseffecten worden veroorzaakt door specifieke blootstelling aan tabaksrook. Passief roken verhoogt de kans op longkanker, hart- en vaatziekten, lager geboortegewicht en geringere lengte van pasgeboren kinderen, wiegendood, (ernstige) infecties en een hogere frequentie van luchtwegsymptomen bij kinderen met en zonder astma. Verder zijn er aanwijzingen dat passief roken bepaalde cognitieve vaardigheden (zoals taal- en leervermogen) en gedragskenmerken (zoals activiteit en concentratievermogen) van kinderen negatief beïnvloedt. Ook zijn er aanwijzingen dat passief roken de kans op chronische luchtwegklachten bij volwassenen (in het bijzonder astmatici) vergroot.

Veel van de kennis over gezondheidseffecten van verbrandingsgassen en fijn stof (PM_{10}), anders dan tabaksrook, komt van epidemiologische onderzoeken naar de effecten van buitenluchtverontreiniging. Hieruit is gebleken dat voornamelijk fijn stof en ozon en in mindere mate stikstofdioxide en vluchtige organische stoffen de componenten zijn die de meeste gezondheidsschade veroorzaken. Een belangrijk effect van blootstelling aan verbrandingsproducten is irritatie van de luchtweg.

Fijn stof (PM_{10})

Uit onderzoek naar buitenluchtverontreiniging van fijn stof blijkt dat na een kortdurende piekblootstelling acute effecten kunnen optreden zoals hoesten en benauwdheid en verergering van luchtwegklachten, ziekenhuisopnames en toename in de dagelijkse sterfte. Mensen met bestaande luchtwegaandoeningen of met hart- en vaatziekten behoren tot de gevoeligste groepen. De klachten verdwijnen meestal weer zodra de concentratie van fijn stof in de lucht daalt. Over de gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan fijn stof is minder bekend en is de onzekerheid groter. Uit enkele internationale onderzoeken blijkt dat langdurige blootstelling kan leiden tot gezondheidsschade zoals verminderde longfunctie, verergering van luchtwegklachten en vroegtijdige sterfte aan luchtwegklachten en hart- en vaatziekten.

Over de gezondheidseffecten van fijn stof dat voorkomt in de binnenlucht is nog weinig bekend. Het is te verwachten dat de gezondheidseffecten die gevonden zijn bij buitenluchtconcentraties grotendeels overeenkomen met gezondheidseffecten door blootstelling aan fijn stof binnenshuis. Dit komt doordat mensen een groot deel van hun tijd binnenshuis doorbrengen (85%) en fijn stof van buiten naar binnen kan penetreren. Echter, fijn stof is een verzamelnaam voor een complex mengsel van allerlei grote en kleinere stofdeeltjes met verschillende eigenschappen. Er is nog veel onduidelijk over welke deeltjesgrootte en chemische componenten van het fijn stof verantwoordelijk zijn voor de gevonden gezondheidseffecten. Door andere bronnen van fijn stof binnenshuis is de samenstelling van fijn stof in de binnenlucht mogelijk anders dan in de buitenlucht.

Over de mogelijke gezondheidseffecten van ultrafijn stof ($PM_{0.1}$) bestaat nog veel discussie. De hypothese hierbij is dat deze deeltjes zo klein zijn dat ze via andere routes dan grotere deeltjes voor hart- en vaatziekten kunnen zorgen. De aanwijzingen hiervoor komen vooral voort uit laboratoriumonderzoek, waar $PM_{0.1}$ toxischer is dan grotere deeltjes, maar dit is nog niet aangetoond in populatiestudies (zie ook hoofdstuk 4).

Stikstofdioxide (NO₂)

Ook bij blootstelling aan NO₂ zijn gezondheidseffecten gevonden. Bij blootstelling aan lage concentraties NO₂ wordt een lagere longfunctie waargenomen. Ook een toename van astma-aanvallen en ziekenhuisopnamen en een verhoogde gevoeligheid voor infecties komen voor. Het is echter nog niet duidelijk of de gevonden associaties tussen langdurige lage blootstelling aan NO₂ en de gezondheidseffecten door NO₂ zelf veroorzaakt worden. Het is aannemelijker dat in dit geval NO₂ model staat voor het mengsel aan verbrandingsproducten. Er zijn wel aanwijzingen dat kortdurende piekblootstelling aan NO₂, zoals bij het gebruik van geisers en/of gasstel kan optreden, het afweermecanisme tegen bacteriële luchtweginfecties ongunstig kan beïnvloeden.

Vluchtige organische stoffen (VOS)

De effecten van benzeen en formaldehyde worden besproken in de sectie *organische stoffen*.

Koolmonoxide (CO)

Blootstelling aan koolmonoxide kan tot verschillende gezondheidklachten leiden. Bij een lichte vergiftiging kan een slaperig gevoel optreden, hoofdpijn, draaiierigheid, moeite met zien en moeite met concentreren. Bij een ernstiger vergiftiging kan men misselijk worden, overgeven en bewusteloos raken. Mensen kunnen overlijden nadat ze zijn blootgesteld aan zeer hoge concentraties als gevolg van defecte verbrandingstoestellen zonder afdoende afvoer of ventilatie.

Thermisch comfort

Bronnen

Onder thermisch comfort wordt de mate waarin men tevreden is over het thermisch binnenklimaat verstaan. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar algemene thermische behaaglijkheid ('het warm of koud vinden') en lokale thermische behaaglijkheid. Onder lokale thermische onbehaaglijkheid verstaat men onbehaaglijkheid door (te) sterke afkoeling /opwarming van een deel van het lichaam (bijvoorbeeld tocht en hinder ten gevolge van koude vloeren).

Diverse factoren beïnvloeden het thermisch binnenklimaat in een gebouw. Eén van die factoren is het buitenklimaat: wind, zonne-intensiteit en temperatuur. Verder zijn de thermische isolatie en de luchtdichtheid van de gebouwschil van belang. Ook hangt het thermisch binnenklimaat af van de hoeveelheid en de oriëntatie van de beglazing; zonwerende eigenschappen van het glas en type zonwering en de interne warmtelast (afgifte door verlichting, apparatuur en aantal personen). Ten slotte zijn de kwaliteit en de capaciteit van verwarmings- en koelsystemen, ventilatiesysteem en spuiventilatievoorzieningen (te openen ramen) medebepalend.

Blootstelling

's Zomers is vooral de algemene thermische behaaglijkheid kritisch, onder andere door toepassing van grote glasvlakken zonder goede zonwering en ruimtes onder lichte daken (platte, zwarte daken). Een neveneffect van een hoge temperatuur in woningen kan zijn de verhoogde emissie van vluchtige organische stoffen uit bouw- en inrichtingsmaterialen.

Omdat de meeste woningen zijn voorzien van voldoende verwarming, blijft de algemene thermische behaaglijkheid 's winters meestal acceptabel. Echter, juist 's winters is vooral de lokale thermische behaaglijkheid kritisch. In de winter kunnen bewoners last krijgen van tocht, koude voeten en koudestraling bij vensters.

Gezondheidseffecten

Langdurige blootstelling aan hoge temperaturen in de zomer ($>25^{\circ}\text{C}$) kan leiden tot uitdroging en (ernstige) gezondheidsproblemen, zoals hoofdpijn, (ongewone) vermoeidheid, duizeligheid en hartproblemen. Dit geldt vooral als mensen niet voldoende vocht binnenkrijgen. In extreme gevallen kunnen hoge binnentemperaturen zelfs leiden tot sterfte, bijvoorbeeld door hartcomplicaties ten gevolge van de hoge temperatuur in combinatie met onvoldoende vochttoediening. Hoge temperaturen zijn met name gevaarlijk voor ouderen, omdat hun thermoregulatiesysteem minder effectief is, en ze ongemerkt kunnen uitdrogen omdat ze een verminderd dorstgevoel hebben. De kans op uitdroging en ernstige gezondheidsproblemen door warmte is ook verhoogd bij jonge kinderen, chronisch zieken, mensen met overgewicht en personen in een sociaal isolement. De mate waarin een bepaalde temperatuurbelasting effect heeft op de gezondheid hangt af van persoonlijke factoren, zoals een hoge of juist een lage bloeddruk, het gebruik van geneesmiddelen, slaapmiddelen, kalmeringsmiddelen en bloeddrukverlagende middelen.

Langdurige blootstelling aan erg lage temperaturen ($<11^{\circ}\text{C}$) resulteert in een toename van hartaandoeningen en aandoeningen aan de luchtwegen. Dit is echter geen gangbare situatie binnenshuis. Wel kan bij lage kamertemperaturen en weinig bewegen bij mensen met lage weerstand, bij ouderen en kinderen, ook zonder dat ze het zelf merken, onderkoeling (hypothermie) optreden.

Uit laboratoriumonderzoek blijkt dat een temperatuurgradiënt tussen vloer en plafond van 1°C of meer al tot klachten kan leiden over het thermisch comfort en hinder door tocht.

Ventilatie

Bronnen

Ventilatie is het proces waarbij ‘verse’ lucht van buiten naar binnen wordt toegevoerd en ‘gebruikte’ lucht van binnen naar buiten wordt gevoerd. Ventilatie voorkomt dat hinderlijke en schadelijke stoffen en gassen, gevormd in het binnenmilieu, zich in de woning ophopen. Ook vocht en door het menselijke lichaam geproduceerde afvalstoffen (zweet en uitademingslucht) worden door ventilatie afgevoerd en zuurstof wordt toegevoerd.

De hoeveelheid ventilatie in een gebouw wordt beïnvloed door:

- de omgeving (windbelasting, oriëntatie en geluidsniveau rond het gebouw)
- bouwkundige constructie (vertrekhoogte, luchtdichtheid gevel, aantal en type te openen ramen en type ventilatieroosters)
- installaties (type en capaciteit ventilatiesysteem)
- gebruik (bewonersgedrag, gebruik van ventilatievoorzieningen)

Er worden vier ventilatiesystemen onderscheiden:

- natuurlijke ventilatie: natuurlijke toe- en afvoer van lucht
- mechanische toevoer en natuurlijke afvoer van lucht
- natuurlijke toevoer en mechanische afvoer van lucht
- mechanische toe- en afvoer van lucht met warmteterugwinning (ook wel balansventilatie genoemd)

Verder geldt dat er soms ook airconditioningeenheden (AC-eenheden) geplaatst zijn in gebouwen voor lokale toevoer van koele lucht. Wanneer deze AC-eenheden niet goed onderhouden worden, kunnen ze een bron zijn van verontreinigingen.

Gezondheidseffecten

Bij onvoldoende ventilatie kunnen zich in de binnenlucht hinderlijke en schadelijke stoffen ophopen in die het gebouw gevormd worden. De individuele gezondheidseffecten van deze schadelijke stoffen zijn in de voorgaande hoofdstukken besproken.

Een goede ventilatie is sterk afhankelijk van het type woning, ventilatiesystemen en bewonersgedrag. Richtlijnen voor een goede ventilatiegraad staan in onderstaande tabel beschreven.

Tabel 3: Richtlijnen voor ventilatie (Dusseldorp, van Bruggen et al. 2004).

Indicator	Richtlijn
CO ₂ -concentratie	800-1200 ppm
Ventilatie	25 m ³ verse lucht per uur per persoon ⁶
Ventilatievoud ⁷	0.5 - 1.0

Onvoldoende ventilatie op zichzelf leidt niet tot gezondheidseffecten. Toch kan gesteld worden dat bij een lage ventilatiegraad er een verhoogde kans op gezondheidsklachten is. Dit komt doordat schadelijke stoffen zich ophopen. Ventilatie-niveaus lager dan 10 L/s (36 m³ per uur) per persoon in gebouwen zonder woonfunctie, zoals kantoren, zijn geassocieerd met een significant verhoogd vóórkomen van binnenmilieuklachten (zoals Sick Building Syndrome (SBS)-symptomen) (samengevat in Seppanen en Fisk 2004). Ook in woningen, scholen en kindercentra is een lage ventilatiegraad (vaak met CO₂-concentraties als indicator) geassocieerd met een slechte binnenluchtkwaliteit en klachten over het binnenmilieu wat kan leiden tot een toename van gezondheidsklachten (Wargocki, Sundell *et al.* 2002; Meijer, Hasselaar *et al.* 2007).

Een lage ventilatie op scholen kan het leervermogen van kinderen negatief beïnvloeden: bij een hogere CO₂ concentratie (variërend van 1160 ppm tot 2130 ppm) maakte eenzelfde groep kinderen meer reken- en taalfouten dan bij een lagere CO₂ concentratie (variërend van 620 ppm tot 870 ppm) (de Gids, van Oel *et al.* 2007). Hiervoor is niet het CO₂ zelf verantwoordelijk, maar andere stoffen die zich ophopen.

Vervuilde ventilatiesystemen, in het bijzonder airconditioningseenheden, kunnen een bron zijn van (microbiële) verontreinigen wanneer ze slecht onderhouden, aangelegd of bediend worden. Zo komen binnenmilieuklachten 30 tot 200% meer voor bij gebouwen met airconditioning in vergelijking met gebouwen met natuurlijke ventilatie (samengevat in Seppanen en Fisk 2004). Balansventilatie is een complex systeem, waardoor er makkelijk gebreken kunnen ontstaan tijdens de installatie, onderhoud of bediening (Duijm, Hady *et al.* 2007).

Radon

Bronnen

In Nederland draagt radongas voor ongeveer een derde bij aan de stralingsdosis die men gemiddeld ontvangt. Andere bronnen van straling zijn onder andere medisch onderzoek, straling uit de kosmos en het eigen lichaam (via voeding).

Radon is radioactief edelgas dat van nature overal voorkomt. Radon ontstaat uit radium, dat voorkomt in vrijwel elke bodemsoort. Het zit dus ook in steenachtige bouwmaterialen zoals beton. Omdat radon

⁶ Gebaseerd op geurhinder veroorzaakt door de mens.

⁷ Het ventilatievoud is gedefinieerd als het aantal malen per uur dat er een hoeveelheid verse lucht in een ruimte wordt gebracht die gelijk is aan de inhoud van de ruimte.

gasvormig is, zal een gedeelte ontwijken uit bouwmaterialen (exhaleren). De hoeveelheid radon die vrijkomt, hangt af niet alleen af van de radiumconcentratie, maar ook van de materiaaleigenschappen.

In Nederland is in nieuwbouwwoningen gemiddeld ongeveer 70% van het radon afkomstig uit het bouw materiaal. De bodem en de buitenlucht dragen beide voor ongeveer 15% bij. Andere bronnen, zoals aardgas en drinkwater hebben gezamenlijk een bijdrage van minder dan 1%.

Blootstelling

Als radon vervalft, ontstaat er een serie kortlevende vervalproducten die allemaal radioactief zijn. Deze vervalproducten zijn niet gasvormig en hechten zich daarom aan aerosolen. Als deze worden ingeademd blijven deze achter in de luchtwegen en geven daar straling af.

De hoogte van de radonconcentratie in een gebouw hangt niet alleen samen met de samenstelling van de bodem en de bouwmaterialen, maar ook met de mate van ventilatie en isolatie. Vooral de huidige bouw met goede isolatietechnieken tegen kou (en warmte), in het kader van energiebesparing, zorgt ervoor dat in huizen en kantoren de radonconcentraties hoger zijn dan vroeger.

Gezondheidseffecten

Straling van ingeademde vervalproducten van radon beschadigt het longweefsel. Dit verhoogt het risico op longkanker. Hoe groot de kans op longkanker is, hangt af van de tijd dat iemand aan radon wordt blootgelegd en de concentratie waaraan iemand is blootgesteld. Er is geen drempelwaarde waaronder de kans op longkanker nul is. Rokers lopen extra gevaar. Deels komt dat omdat er door roken meer stofdeeltjes in het binnenmilieu vrijkomen, waar radonochters zich aan kunnen binden. Maar ook is het zo dat de schadelijke gezondheidseffecten van tabaksrook en radon elkaar versterken.

Bijlage 2: Originele resultaattabellen uit reviews

In deze bijlage staan de studies waarop enkele besproken reviews en meta-analyses zich hebben gebaseerd.

(Mendell 2007)

Table 1 Reported associations between indoor chemical concentrations and respiratory or allergic effects in infants and children

Risk factors (indoor pollutant concentrations) ^a	Health outcomes	
	Asthma-related or lower respiratory	Allergy/atopy/eczema/altered immune parameters
Formaldehyde	<p>Diagnosed asthma in past year, non-significantly increased trend with peak home concentrations above 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Garrett et al., 1999)</p> <p>Respiratory symptoms, significant increase associated with peak home concentration >50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and non-significantly increased trend with peak home concentrations above 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Garrett et al., 1999)</p> <p>Diagnosed asthma, OR = 1.4*; 39% increased odds of asthma with concentrations ≥ 60 vs. <10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, or 3% increase per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rumchev et al., 2002)</p> <p>If concentration >75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in kitchen, unadjusted prevalence ratio for dx chronic bronchitis, 8.2* ($P < 0.001$) and for dx asthma, 2.0* ($P < 0.03$); peak expiratory flow, linear decrease of 22% per 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 10% decrease at 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; chronic respiratory symptoms, not related (Krzyszowski et al., 1990)</p> <p>Exhaled nitric oxide (as marker for lower airway inflammation) = 15.5 vs. 8.7 ppb nitric oxide (estimated RR = 1.8) for concentration ≥ 62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($P = 0.002$); spirometry, no effect (Franklin et al., 2000)</p> <p>Excess variability in PEFR, 28%* increased risk with concentration >30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; symptoms of allergy/irritation and of acute respiratory illness, no increased risk (Quackenboss et al., 1989)</p> <p>Among wheezing subjects, per quartile of formaldehyde (above first quartile at 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), increased frequency of nocturnal wheezing, 1.45* (2.06* in atopics), and of daytime wheezing, 1.40* (1.68* in atopics); presence of wheezing not associated (Venn et al., 2003)</p>	<p>Atopy (by skin prick tests), OR = 1.4* per 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ peak home formaldehyde (estimated OR = 4.1 for 100 vs. 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$); severity of sensitization increased >20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Garrett et al., 1999)</p>
Aromatics		
Toluene	<p>Diagnosed asthma, OR = 1.3* per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ over range of 0–154 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rumchev et al., 2004)</p>	<p>Increased IgE milk, OR = 11.2*; elevated total IgE, OR = 3.3* (Lehmann et al., 2001)</p>
Benzene	<p>Diagnosed asthma, OR = 1.9 per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ over range 0–82 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ risk if benzene ≥ 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Rumchev et al., 2004)</p> <p>Pulmonary infections, OR = 2.4* for >5.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Diez et al., 2000)</p>	
m&p-Xylene		<p>Increased IgE milk, OR = 8.0* for >1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lehmann et al., 2001)</p>
Styrene	<p>Pulmonary infections, OR = 2.1* for >2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Diez et al., 2000)</p>	<p>More subjects (66.6 vs. 0%) with reduced proportion of CD8+ IL-4-producing T cells (opposite of predicted), for >1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($P < 0.01$; Lehmann et al., 2001)</p>
Dichlorobenzene	<p>Diagnosed asthma, OR = 1.2* per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ over range 0–202 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Rumchev et al., 2004)</p>	
4-Ethyltoluene		<p>For concentration >1.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, increased IgE milk, OR = 9.3*; elevated total IgE, OR = 3.0* (Lehmann et al., 2001)</p>
Chlorobenzene		<p>Increased IgE milk, OR = 5.9* for >0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lehmann et al., 2001)</p>
Naphthalene		<p>Elevated proportion of IL-4-producing type 2 T cells in cord blood, OR = 2.9* (Lehmann et al., 2002b)</p>
Sum of 10 aromatics	<p>Diagnosed asthma, OR = 1.3* per 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ over range 0–622 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (fourfold risk if ≥ 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, the median; Rumchev et al., 2004)</p>	
Aliphatics		
Nonane		<p>Increased IgE milk, OR = 5.7*; reduced number of IFN-γ-producing CD8+ peripheral T cells, OR = 13.6* for >2.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lehmann et al., 2001)</p>
Dodecane		<p>Reduced number of IFN-γ-producing CD8+ peripheral T cells, OR = 20.3* for >2.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lehmann et al., 2001)</p>
Decane		<p>Increased IgE milk, OR = 8.1*; reduced number of IFN-γ-producing CD8+ peripheral T cells, OR = 22.8*, for >5.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lehmann et al., 2001)</p>
Heptane		<p>Higher proportion of children (75% vs. 22%) with increased CD8+ IL-4-producing T cells ($P = 0.04$; Lehmann et al., 2001)</p>
Hexane		<p>Increased IgE milk, OR = 9.6*; increased IgE egg, OR = 6.4*, for >4.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lehmann et al., 2001)</p>
Other VOCs		
Methylcyclopentane		<p>Elevated proportion of IL-4-producing type 2 T cells in cord blood, OR = 3.3* (Lehmann et al., 2002b)</p>
Limonene		<p>Reduced proportion of CD8+ IL-4-producing T cells, 60.0% vs. 5.9% for >44.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; reduced proportion of CD4+ IL-4-producing T cells, 80.0% vs. 14.3%, for >44.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (contrary to hypotheses; $P < 0.01$; Lehmann et al., 2001)</p>
Δ^3 -Carene		<p>Higher proportion of children (67% vs. 19%) with increased CD8+ IL-4-producing T cells ($P = 0.03$; Lehmann et al., 2001)</p>

Table 1 Continued

Risk factors (indoor pollutant concentrations) ^a	Health outcomes	
	Asthma-related or lower respiratory	Allergy/atopy/eczema/alterd immune parameters
Tetrachloroethylene		Reduced proportion of IFN- γ -producing type 1 T cells in cord blood, OR = 2.9* (Lehmann et al., 2002b)
Trichloroethylene		Reduced proportion of IL-4-producing type 2 T cells in cord blood, OR = 4.4* (contrary to hypothesis; Lehmann et al., 2002b)
Total VOCs	Persistent wheezing, no association (Venn et al., 2003)	
Phthalate esters (concentrations in dust)		
BBzP	For 0.25–45.5 vs. <0.05 mg/g dust (quartile 4 vs. 1), asthma diagnosis, OR = 1.9 (non-significant) (Bornehag et al., 2004)	For 0.25–45.5 vs. <0.05 mg/g dust, rhinitis diagnosis, OR = 3.0*; persistent allergic symptoms, OR = 2.0*; eczema diagnosis, OR = 2.6* (Bornehag et al., 2004)
DEHP	For 1.3–40.5 vs. <0.46 mg/g dust (quartile 4 vs. 1), asthma diagnosis, OR = 2.9* (Bornehag et al., 2004)	
DEP, DIBP, DnBP, DINP	No associations	

* $P \leq 0.05$.

^aAll reported concentrations measured in indoor air unless concentrations in dust specified.

(Jaakkola en Knight 2008)

Table 2. Summary of the five epidemiologic studies (in seven articles) on the relations between exposure to phthalates and PVC materials and the risk of asthma, allergy, and related respiratory outcomes in children: Medline search from 1950 through May 2007.

Reference, location	Study design	Study population	Exposure	Outcomes	Results	Comment
Jaakkola et al. (1999), Oslo, Norway	Cohort-based matched case-control study	Children 0–2 years of age: 251 cases of bronchial obstruction and 251 one-to-one matched controls	Blinded investigator assessment: presence of PVC flooring and a quantitative PVC index (range, 0–8)	Case defined as two or more episodes with symptoms and signs of bronchial obstruction or one episode lasting > 1 month	AOR (95% CI): PVC flooring, yes/no, 1.89 (1.14–3.14); PVC index, Q3 vs. Q2 & Q1, 1.34 (0.78–2.30); PVC index, Q4 vs. Q2 & Q1, AOR, 2.71 (1.50–4.91)	Adjustment for other surface materials, sex, parental atopy, having siblings, daycare attendance, breast-feeding, exposure to ETS, dampness problems, maternal education, family income
Øie et al. (1999), Oslo, Norway	Cohort-based case-control study	Children 0–2 years of age: 172 cases of bronchial obstruction and 172 one-to-one matched controls	Air change measurements; low air change rate of < 0.5/hr	Case defined as two or more episodes with symptoms and signs of bronchial obstruction or one episode lasting > 1 month	AOR (95% CI), PVC index > 75th percentile: low air change, 12.6 (1.00–159); high air change, 2.6 (1.02–6.58)	Adjustment for sex, parental atopy, having siblings, daycare attendance, breast-feeding, exposure to ETS, dampness problems
Jaakkola et al. (2000), Espoo, Finland	Population-based cross-sectional study	2,568 children 1–7 years of age	Questionnaire information on presence of plastic wall or flooring material in the home	Questionnaire information on the presence of asthma, allergic rhinitis, respiratory symptoms, infections	AOR (95% CI), plastic wall material (yes/no): asthma, 1.52 (0.35–6.71); rhinitis, 1.20 (0.36–3.97); wheeze, 3.42 (1.13–10.4); cough, 2.41 (1.04–5.63); phlegm, 2.76 (1.03–7.41); nasal congestion, 0.95 (0.33–2.71); nasal excretion, 0.90 (0.32–2.57)	Adjusted for sex, age, highest parental education, single guardian, daycare center attendance, pets, ETS, dampness problems
Bornehag et al. (2004a, 2004b), Varmland, Sweden	Population-based cross-sectional study	10,851 children 1–6 years of age	Questionnaire information on presence of PVC, dampness, and mold problems	Questionnaire information on doctor-diagnosed asthma, rhinitis and respiratory symptoms	AOR (95% CI) for PVC flooring (yes/no): asthma, 0.98 (0.77–1.24); rhinitis, 1.09 (0.91–1.30) For water leakage (yes/no), asthma, 1.23 (0.96–1.58); rhinitis, 1.35 (1.12–1.62) For PVC and leakage (yes/no), asthma, 1.49 (1.11–1.98); rhinitis, 1.22 (0.96–1.55) Q4 vs. Q1, AOR (95% CI) BBzP concentration for asthma, 1.87(0.92–3.81); rhinitis, 3.04 (1.34–6.89); eczema, 2.56 (1.24–5.32); DEHP for asthma: AOR (95% CI), 2.93 (1.36–6.34); rhinitis, COR, 1.55 (0.73–3.28); eczema, COR, 1.50 (0.76–2.96)	Evidence of an interaction between PVC flooring and water leakage on asthma; adjusted for sex, age, allergic symptoms in family, smoking in household
Bornehag et al. (2004b), Varmland, Sweden	Population-based prevalent case-control study	198 cases of persistent asthma, rhinitis, or eczema and 202 population controls; 106 asthma and 79 rhinitis cases and 177 controls	Trained investigator assessment of PVC flooring and bedroom dust concentrations of DEHP, BBzP, and four other phthalates	Baseline and 2-year follow-up surveys; medical examination and case verification	AOR (95% CI), "linoleum"/PVC flooring (yes/no): past 12 months for asthma, 1.13 (0.44–2.04); wheeze, 1.36 (1.00–1.86); allergy, 1.31 (1.05–1.65) Earlier for asthma, 1.39 (0.67–2.77); wheeze, 1.21 (0.99–1.59); allergy, 1.22 (1.04–1.45)	Adjusted for sex, age, smoking at home, type of building, construction period, flooding
Jaakkola et al. (2004), nine cities, Russia	Cross-sectional study	5,951 children 8–12 years of age	Questionnaire information on recent installation of surface materials and furniture	Questionnaire information on current asthma, current wheezing, any allergy	AOR (95% CI), "linoleum"/PVC flooring (yes/no): past 12 months for asthma, 1.13 (0.44–2.04); wheeze, 1.36 (1.00–1.86); allergy, 1.31 (1.05–1.65) Earlier for asthma, 1.39 (0.67–2.77); wheeze, 1.21 (0.99–1.59); allergy, 1.22 (1.04–1.45)	Adjustment for age, sex, preterm birth, low birth weight, parental atopy, maternal smoking in pregnancy, exposure to ETS, mother's and father's education

Abbreviations: AOR, adjusted OR; COR, corrected OR; ETS, environmental tobacco smoke; Q, quartile.

(Swan 2008)

Table 4
Health outcomes in infants and children associated with phthalate concentration in biological or environmental samples

System	Timing of exposure	Sex	Outcome	Phthalate or metabolite (measured in urine unless otherwise noted)	Reference
Reproductive	Prenatal Prenatal (mean age 12.6 months at exam)	Males/Females	Shorter gestational age at birth	MEHP (in cord blood)	Latini et al. (2003)
		Males	Shorter anogenital distance	MEHP, MEOHP, MEHHP, MEP, MBP	Swan et al. (2005) and Tables 1-3
	Lactation (mean age 3 months)	Males	Reduced penile size Incomplete testicular descent Increased SHBG	MEHP MEHP, MEHHP, MEOHP MEP, MBP	Main et al. (2006)
Respiratory, allergy and asthma	Early childhood Childhood	Females	Increased LH/free T Increased LH Decreased free T	MMP, MEP, MBP MiNP MBP	Colon et al. (2000)
		Males/Females	Premature thelarche Rhinitis and eczema Asthma	DEHP (in serum) BzBP (in house dust) DEHP (in house dust)	Bornehag et al. (2004)
			Wheezing, rhinitis and eczema	DEHP (in house dust)	Kolarik et al. (2008)

Table 5
Health outcomes in adults associated with phthalate concentration in biological samples

System	Sex	Outcome	Phthalate or metabolite (measured in urine unless otherwise noted)	Reference
Reproductive	Males	Increased sperm DNA damage	MEP, MEHP	Hauser et al. (2007)
		Increased sperm DNA damage	MEP	Duty et al. (2003b)
		Decreased sperm motility	MBP	Duty et al. (2003a), Hauser et al. (2006)
	Decreased sperm concentration	MBP, MBzP	Duty et al. (2003a), Hauser et al. (2006)	
	Males Males	Decreased sperm morphology Decreased free T and increased LH/free T	DEHP in semen samples MBP	Zhang et al. (2006) Pan et al. (2006)
Respiratory and immune (incl. allergy and asthma)	Males	Decreased FSH	MBzP	Duty et al. (2005a, b)
	Males	Decreased motility Reduced LH	MEP	Jonsson et al. (2005)
	Males	Decreased pulmonary function	MEP, MBP	Hoppin et al. (2004)
Metabolic	Males	Increased waist circumference Increased insulin resistance	MBzP, MEHHP, MEOHP, MEP MBP, MBzP, MEP	Stahlhut et al. (2007)
Thyroid	Males	Thyroid (decreased T3 and T4)	MEHP	Meeker et al. (2007)

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl