

RIVM rapport 630920 001

Binnenmilieu-kwaliteit: ventilatie en vochtigheid

Een studie voor Milieuverkenning 5

M.P. van Veen, L.E.M. Crommentuijn, M.P.M.
Janssen en A.E.M. de Hollander

april 2001

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het ministerie van VROM, Directoraat Generaal Milieubeheer, directie Strategie en Bestuur, in het kader van project 630920, Modellen en Informatiesystemen Volksgezondheid.

Abstract

The quality of the indoor environment is described in terms of chemical agents, as indicated by ventilation, and biological agents, as indicated by moisture. Ventilation is a general factor that determines levels of chemicals from consumer products, appliances and building materials in indoor air. Health effects that are caused by peak levels of chemicals are expected to be related to odour, irritation of mucous membranes and eyes, total volatile organic compound concentrations. In addition, chronic exposure may be linked to effects like carcinogenicity. These health effects are expected to increase towards 2020-2030 because an increasing number of houses will have an intrinsic low ventilation rate. Moisture is a general factor related to health effects caused by biological agents such as house dust mite and moulds. The expected development in the Dutch housing stock is that moisture problems will be decreasing towards 2020-2030. The present study serves as background for Environmental Outlook 5.

Inhoud

Samenvatting 4

1 Inleiding 5

1.1 Woningvoorraad 5

2 Factor Ventilatie 6

2.1 Relevantie ventilatie 6

2.2 Beeld 1970 - 2030 7

2.3 Gezondheidseffecten als gevolg van blootstelling aan chemische stoffen 8

3 Factor Vocht 10

3.1 Relevantie vocht 10

3.2 Beeld 1970-2030 10

3.3 Gezondheidseffecten: vochtige woningen en de luchtwegen 11

3.4 Dankwoord 13

4 Referenties 14

Bijlage 1 Achtergronden bij emissie consumentproducten en bouw materiaal 16

Bijlage 2 Achtergronden bij ventilatiekarakteristieken Nederlandse woningen 18

Bijlage 3 Achtergronden bij vocht karakteristieken Nederlandse woningen 19

Bijlage 4 Verzendlijst 20

Samenvatting

De kwaliteit van het binnenmilieu hangt samen met chemische factoren, die van de woningventilatie afhankelijk zijn en met biologische factoren, die samenhangen met ventilatie van en vocht in de woning. Ventilatie is van belang omdat het de binnenlucht-concentratie van stoffen uit consumentenproducten, apparaten en bouwmaterialen bepaalt. Als chemische stoffen in voldoende hoge concentratie voorkomen kunnen ze nadelige effecten voor de gezondheid veroorzaken door geurhinder, irriterende effecten en via het totaal aan vluchtige organische koolwaterstoffen. Ook kunnen bepaalde stoffen de kans op kanker verhogen. Doordat het aantal huizen met een dichte bouwschil toeneemt en daarmee de intrinsieke ventilatie af, wordt de ventilatie een kritische factor ten aanzien van blootstelling aan chemische stoffen. Daarom wordt verwacht dat daaraan gerelateerde gezondheidsproblemen toenemen in de toekomst. Vochtigheid is een factor die via biologische agentia als huisstofmijt en schimmel de gezondheid nadelig beïnvloedt. Op basis van het Nederlands huizenbestand wordt verwacht dat de vochtigheid van de huizen, en daarmee de volksgezondheidseffecten, afneemt in de toekomst. Deze studie is uitgevoerd voor de Milieuverkenning 5.

1 Inleiding

We brengen 80% van ons leven binnenshuis door en de kwaliteit van het binnenmilieu bepaalt daarmee voor een groot deel de kwaliteit van onze directe leefomgeving. De kwaliteit van het binnenmilieu wordt in belangrijke mate bepaald door chemische en biologische factoren (Wolkoff et al., 1991; Fraanje et al., 1993; Van Strien et al., 1994; Slob, 1996). De chemische factoren zijn mede afhankelijk van de ventilatie in een woning, terwijl de biologische factoren daarnaast afhankelijk zijn van de vochtigheid van de woning. Het woningbouwbeleid richt zich vanuit het oogpunt van energiezuinigheid op een dichtere bouwschil met een lagere natuurlijke ventilatie. De vraag is welke implicaties dit voor de binnenluchtkwaliteit heeft. Bij enquêtes uitgevoerd door het RIVM onder GGD's blijken meer klachten over het binnen- dan over het buitenmilieu gemeld te worden en worden bezorgdheid en ongerustheid over factoren in het binnenmilieu spontaan gemeld (Van Poll en Drijver, 1999). Chemische (38%) en biologische factoren (34%) worden ongeveer even vaak als oorzaak van een binnenmilieuklacht aangewezen.

In het onderhavige overzicht wordt de kwaliteit van het binnenmilieu besproken aan de hand van ventilatie en vocht. Wij kiezen voor deze indeling omdat het een breed scala aan chemische en biologische factoren vangt in termen van kenmerken van huizen, namelijk ventilatiemogelijkheden en vochtigheid. Onder ventilatie komen vooral bronnen van chemische stoffen en bewonersgedrag aan bod, terwijl onder vocht vooral biologische factoren aan bod komen. Voor beide wordt een overzicht van de relevantie, toestand van de woningvoorraad en te verwachten gezondheidsproblemen gegeven. Ook spelen voor beide factoren woningkenmerken een rol. Daarom wordt allereerst de woningvoorraad kort toegelicht.

1.1 Woningvoorraad

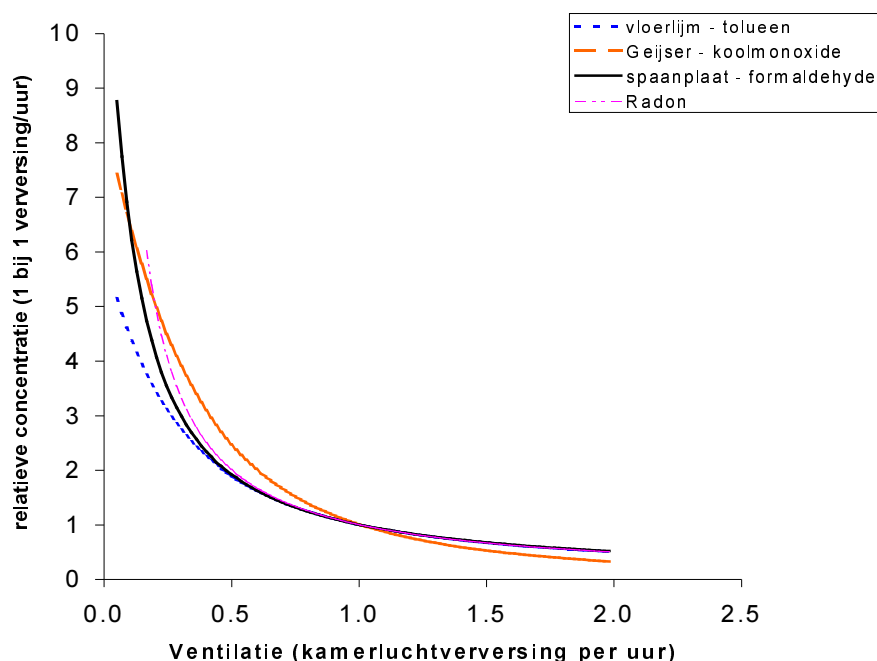
In 1971 stonden er in Nederland bijna 3,8 miljoen woningen. Ruim tweederde (68%) hiervan waren eengezinswoningen. Verder bestond de woningvoorraad voor ongeveer 35% uit koopwoningen. In 1995 is de woningvoorraad toegenomen tot ruim 6,2 miljoen woningen (CBS, 1997). Hiervan is 71% een eengezinswoning. Ongeveer de helft van alle woningen (48%) is in dit jaar een koopwoning. In 2020 zal de woningvoorraad uit ruim 7,6 miljoen woningen bestaan (DGVH, te verschijnen). Het percentage eengezinswoningen blijft gelijk aan 1995. Wel zal het percentage koopwoningen zijn toegenomen tot 64% in 2020. In 2020 zal 58% van de totale woningvoorraad gebouwd zijn na 1971. De verhouding tussen nieuw te bouwen eengezins- en meergezinswoningen is tussen 1995 en 2020 betrekkelijk stabiel. Wel is er een duidelijke trend zichtbaar naar een hoger percentage koopwoningen dan momnteel aanwezig.

2 Factor Ventilatie

2.1 Relevantie ventilatie

Ventilatie is het aan- en afvoeren van lucht in huis. Als er sprake is van een bron in huis, zoals bij een afvoerloze geiser, emissie vanuit tapijt of het verven van een plank, bepaalt de ventilatie hoe snel stoffen afgevoerd worden. Als er sprake is van bronnen buitenshuis, zoals verkeer, bepaalt de ventilatie hoe snel stoffen aangevoerd worden. Naast weersomstandigheden bepalen karakteristieken van de woning, zoals ligging en luchtdoorlatendheid van de bouwschil en bewonersgedrag (het openen van ramen en deuren) de hoeveelheid ventilatie. Bij de bepaling van de jaargemiddelde ventilatie wordt aan de luchtdoorlatendheid van een huis een belangrijke rol toegekend, bewonersgedrag is op dagbasis van belang maar tamelijk onvoorspelbaar.

Producten of apparaten die in huis gebruikt worden, zorgen voor piekblootstellingen die bij onvoldoende ventilatie de binnenlucht langdurig kunnen verontreinigen (zie bijvoorbeeld Van der Wal et al., 1997; Van Veen et al., 1999). Voor een viertal voorbeelden is in Figuur 1 het verband gegeven tussen de momentane ventilatiesnelheid en de berekende gemiddelde binnenluchtconcentratie bij gebruik van een product of apparaat (tolueen, koolmonoxide) en ten gevolge van emissie uit bouw materiaal (formaldehyde, radon). De concentratie die optreedt bij een ventilatie die eens per uur de lucht in de kamer ververst is op 1 genormeerd. Deze berekeningen volgen uit consumentenblootstellings- en radonmodellen die ontworpen zijn voor voorspellingen binnenshuis en ze sporen met daadwerkelijke metingen (zie Bijlage 1). Theoretisch is het verband tussen ventilatiesnelheid en concentratie hyperbolisch bij een vaste bronnel-



Figuur 1. Gemiddelde gemodelleerde binnenluchtconcentratie in Nederlandse kamers als functie van de ventilatie tijdens gebruik van consumentenproducten, verbrandingsapparatuur en formaldehyde en radon afkomstig uit bouw materiaal. Woningen met zeer lage ventilatie zullen zonder aanwezigheid van bewoners en met gesloten ramen en deuren een ventilatie tussen de 0,2 en 0,5 verversingen per uur hebben. Bijlage 1 geeft details over de berekening.

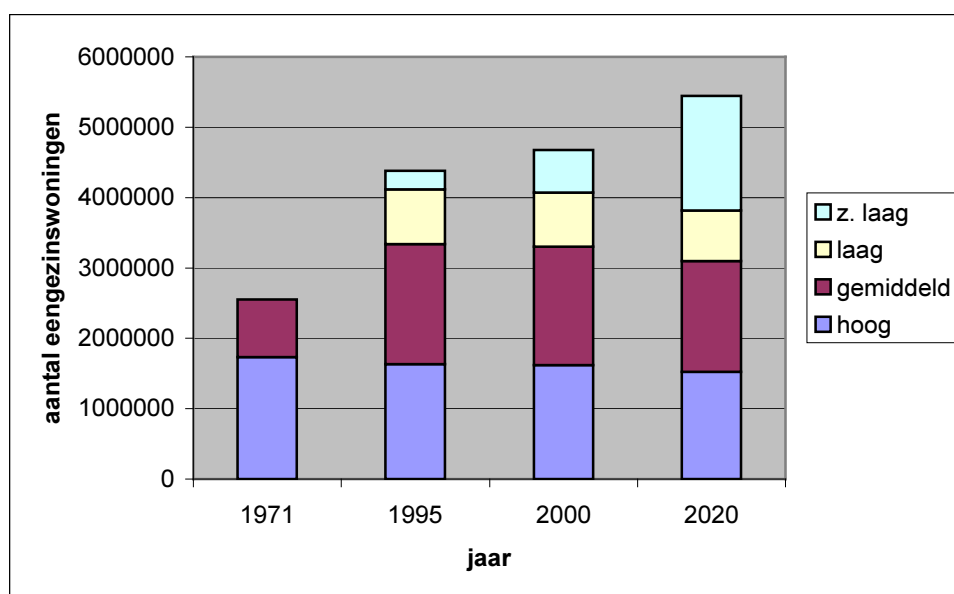
heid. Dit verband is ook bij meer realistische scenarios zoals afgebeeld in Figuur 1 herkenbaar. Bij lage ventilatie stijgt de concentratie snel, onafhankelijk van het type product en de stof.

Figuur 1 geeft slechts het verwachte verband tussen daadwerkelijke, momentane ventilatie en gemiddelde concentratie. De geconstateerde snelle stijging van de concentratie bij lage ventilatievouden betekent dat situaties die in huizen met een gemiddelde of hoge luchtdoorlatendheid niet kritisch zullen zijn, wel kritisch kunnen worden in huizen met een zeer lage of lage luchtdoorlatendheid. Of een kritische situatie in een woonruimte tot ongewenste effecten leidt hangt daarnaast af van factoren als actieve ventilatie door bewoners, aanwezigheid en gebruik van mechanische ventilatie en de aard van de chemische stof.

Bouwmaterialen kunnen voor een constante aanvoer van stoffen zorgen. Zo komt radon permanent vrij uit bouwmaterialen in wanden en vloeren (70% van totale radonemissie) en uit de bodem. Omdat effecten eerder gerelateerd kunnen worden aan jaargemiddelde concentraties dan aan piekconcentraties is niet de dagelijkse maar de jaargemiddelde ventilatie van belang. De gemiddelde radonconcentratie voor het totale Nederlandse woningbestand is tussen 1970 en 1995 gestegen van 19 tot 23 Bq m⁻³.

2.2 Beeld 1970 - 2030

Sinds de oliecrisis in 1973 heeft energiezuinig bouwen een grote vlucht genomen. Dit heeft geleid tot een geringere luchtdoorlatendheid van de bouwschil en toepassing van isolerende materialen en van dubbel glas. In woningen die momenteel gebouwd worden is de luchtdoorlatendheid van de bouwschil een factor drie tot vier kleiner dan die in woningen uit het begin van de jaren zeventig. De luchtdoorlatendheid zal onder invloed van het door de Rijksoverheid ingezette beleid ten aanzien van de energiepres-



Figuur 2. Aandeel van verschillende luchtdoorlatendheidsklassen over de gehele populatie eengezinswoningen voor de periode 1971-2020. De gemiddelde luchtdoorlatendheid voor de gehele woningpopulatie (eengezinswoningen) is uitgerekend op basis van het aantal woningen uit de verschillende bouwperiodes en de bijbehorende luchtdoorlatendheid. De woningen zijn ingedeeld in vier luchtdoorlatendheidsklassen lopend van 0-125 (zeer laag), van 125-250 (laag), 250-375 (gemiddeld) en 375-500 dm³ s⁻¹ (hoog). Bijlage 2 geeft details over de berekening.

taties van nieuwbouwwoningen nog verder afnemen (Crommentuijn en Verbeek, 1999; www.dubo-centrum.nl). Ten aanzien van bestaande woningbouw voert de Rijksoverheid eveneens een actief beleid om energiebesparingen te stimuleren via het EnergiePrestatieAdvies (EPA). Verwacht mag worden dat de luchtdoorlatendheid van woningen gebouwd in eerdere periodes daardoor ook af zal nemen. De effecten hiervan zijn, zowel voor individuele woningen als voor de gehele woningpopulatie, echter moeilijk op voorhand in te schatten.

In Figuur 2 is het aandeel van verschillende luchtdoorlatendheidsklassen over de gehele populatie eengezinswoningen voor de periode 1971-2020 weergegeven. Hierin is de te verwachten reductie van de luchtdoorlatendheid van bestaande woningen nog niet meegenomen. Door een toename van het aantal (nieuwbouw)woningen met een lage tot zeer lage luchtdoorlatendheid zal de gemiddelde luchtdoorlatendheid over de periode 1971-2020 met ongeveer 35% dalen. De gemiddelde natuurlijke ventilatie van de Nederlandse woningvoorraad zal door deze ontwikkelingen in vergelijkbare mate afnemen.

De afname in natuurlijke ventilatie van de woning wordt enigzins ondervangen doordat in het merendeel van de nieuwbouwwoningen mechanische ventilatie wordt geplaatst. Deze is aangebracht op plekken waar vocht moet worden afgevoerd (badkamer, keuken) en garandeert een bepaalde minimumventilatie op die plekken in de woning. Het effect van mechanische ventilatie in overige ruimtes hangt sterk af van de ligging ten opzichte van de ventilator en varieert sterk. De daadwerkelijke ventilatie hangt daarnaast af van het gedrag van bewoners en de mate waarin ventilatievoorzieningen als roosters worden gebruikt en is vaak minder dan bedoeld bij de aanleg van de woning (Versteeg en Schaap, 1999). In oudere woningen wordt afvoer van (vochtige) lucht vaak passief geregeld via ventilatiekanalen in de badkamer en de keuken. Indien de isolatie van dergelijke woningen plaats vindt zonder aanpassingen aan het ventilatiesysteem dan zal dit zeker ten koste gaan van de aanwezige natuurlijke ventilatie.

2.3 Gezondheidseffecten als gevolg van blootstelling aan chemische stoffen

Bouwmaterialen, producten en apparaten die in huis gebruikt worden kunnen talloze chemische stoffen uitstoten (zie bijvoorbeeld Fraanje et al., 1993; Hoffmann et al., 1996; Wallace et al., 1987; Weerdesteijn et al., 1999). Veel van deze stoffen zullen niet in concentraties voorkomen waarbij gezondheidsklachten optreden. Waar wel klachten optreden is de oorzaak gerelateerd aan geur, aan irriterende stoffen en aan het totaal gehalte vluchtige organische stoffen, of een combinatie van deze factoren (Lebret, 1985; Rothweiler en Schlatter, 1993).

Daarnaast kunnen bepaalde stoffen, zoals radon, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) of benzeen, bij chronische blootstelling de kans op kanker verhogen, wat pas na langere tijd zichtbaar wordt (Slooff et al., 1989; Van Veen en Kroese, 1999). Een sterke verhoging van PAK's wordt gemeten bij gebruik van open haarden en ten gevolge van tabaksrook (Slooff et al., 1989). Tabaksrook geldt niet alleen als bron van PAK's, maar ook van benzeen en andere stoffen, en niet alleen voor de roker, maar ook voor medebewoners. De gemiddelde radonconcentratie voor het totale Nederlandse woningbestand is tussen 1970 en 1995 gestegen van 19 tot 23 Bq m⁻³. Uitgaande van voortzetting van de huidige nieuwbouwpraktijk zal de gemiddelde radonconcentratie stijgen naar 25 Bq m⁻³ in 2020. Dit resulteert in een stijging van ongeveer 360 longkankerdoden in 1970 tot ongeveer 500 longkankerdoden in 2020.

Bij een voortdurend lagere ventilatie treden zowel een hogere maximale blootstelling als een langere duur van de blootstelling op. Dit betekent dat situaties die in huizen met een gemiddelde of hoge luchtdoorlatendheid niet kritisch zullen zijn, wel kritisch kunnen worden in huizen met een zeer lage of lage ventilatie. Of een kritische situatie tot ongewenste effecten leidt hangt daarnaast af van factoren als actieve ventilatie door bewoners en de aard van de chemische stof. Het is bijvoorbeeld niet uitgesloten dat formaldehyde in slecht geventileerde kamers van huizen met een zeer lage doorlatendheid problemen op zal leveren. Juist onder een ventilatie van 0,5 verversingen per uur, waarop de huidige norm is gebaseerd (Slob, 1996), stijgt de verwachte concentratie sterk (Figuur 1, Appendix 1).

Dit wordt ondersteund door analyses van ongevallen met koolmonoxide die laten zien dat een stapeling van kritische factoren nodig is om tot dodelijke effecten te leiden. Zo heeft een incident met bijna fatale afloop plaatsgevonden in een kleine, energiezuinig gebouwde woning, welke was voorzien van een open CV-installatie op de eerste verdieping. Een open CV-installatie onttrekt de benodigde verbrandingslucht aan de binnenlucht. Door gebruik van binnenlucht en achterstallig onderhoud bleek de ketel koolmonoxide te produceren. Door de geringe luchtdoorlatendheid van de woning bleek de afzuigkap voldoende onderdruk in de woning te creëren om terugslag van de met koolmonoxide vervuilde verbrandingsgassen te veroorzaken. De combinatie energiezuinig/open CV-installatie komt voor in de generatie huurwoningen vóór 1984. Daarna zijn vrijwel uitsluitend huurwoningen gebouwd met gesloten CV-systemen. In het segment koopwoningen worden op dit moment nog steeds op ruime schaal open CV-toestellen verkocht. Overigens kunnen ook geijsers of kerosinebranders oorzaak van koolmonoxide-vergiftiging zijn (Hegger et al., 1991; IPCS, 1999).

3 Factor Vocht

3.1 Relevantie vocht

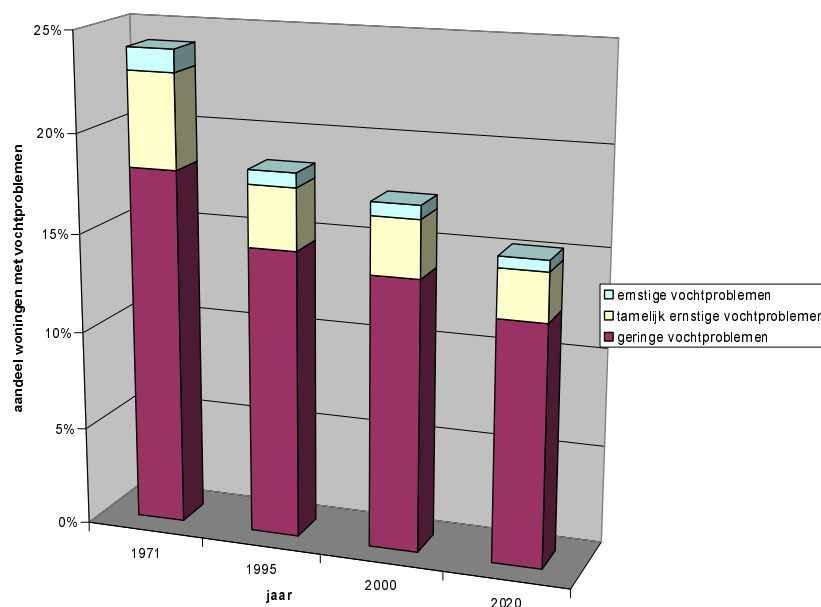
De aanwezigheid van vocht in de woning wordt door een aantal kenmerken bepaald. Als bron voor vocht dienen lekkages, optrekkend of doorslaand vocht (vloeren en muren), lokale verwarming (gaskachels en –geisers), mensen en menselijke activiteiten, zoals koken en badkamergebruik. De relevantie van vocht via lekkages hangt vrijwel direct samen met de staat van onderhoud van de woning. De relevantie van vocht via de bodem en muren hangt af van constructie- en andere bouwkenmerken en de bodemgesteldheid. De relevantie van vocht door lokale verwarming, mensen en menselijke activiteiten is gerelateerd aan de mate van ventilatie in woningen. Het grootste gedeelte van de vochtproblemen in een woning hangt samen met de staat van onderhoud. Verhoudingsgewijs komen de meeste vochtproblemen voor in oudere meergezinswoningen. Een duidelijke correlatie kan gevonden worden met bouwjaarklasse en type woning (een- of meergezins).

Ventilatie zorgt voor afvoer van vocht uit huis. Naast algemene bouwtechnische ontwikkelingen, maar ook op basis van beleid ten aanzien van duurzaam bouwen, is er sprake van een toenemende mate van isolatie van woningen. Een ander resultaat van deze ontwikkeling is dat de totale mate van ventilatie in een huis afneemt, los van mechanische ventilatie en ventilatie door bewoners. Met andere woorden, de verbeterde isolatie zorgt voor een afname van het warmteverlies in een woning, maar ook voor een afname van de mate van natuurlijke ventilatie.

Uit een groot aantal onderzoeken blijkt dat volwassenen en kinderen die in vochtige huizen wonen vaker last hebben van luchtwegklachten dan bewoners van huizen zonder vochtproblemen (Peat et al., 1998; Verhoeff, 1994). De toename wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door biologische allergenen die door de huisstofmijt en door schimmels worden geproduceerd. Schimmels ontstaan op allerlei plekken in de woning, mits de vochtigheid maar hoog genoeg is. Huisstofmijt komt vooral voor in materialen als stoelbekleding, matrassen, vloerbedekking en verblijfplaatsen van huisdieren. Hun voorkomen hangt af van de luchtvochtigheid en de hoeveelheid vocht die door mensen wordt aangevoerd, bijvoorbeeld als zweet in stoelen en matrassen.

3.2 Beeld 1970-2030

Gezien de bouwtechnische ontwikkeling van de woningvoorraad is de verwachting dat het aantal woningen met vochtproblemen in de toekomst zal afnemen. Op basis van waargenomen ontwikkelingen (DGVH, 1999; Ministerie van VROM, 1995) blijkt dat met name het aantal woningen met ernstige vochtproblemen flink is afgenomen (Figuur 3). De verwachting is dat het aandeel woningen met vochtproblemen in 2020 zal zijn afgenomen tot ongeveer 15%. Het aandeel woningen met ernstige vochtproblemen zal zijn gedaald tot minder dan 1%. Toch gaat het hier nog om bijna 50.000 woningen. Een recentelijk vaker gemelde verwachting (Van der Heijden, 1999) is dat door de sterk verbeterde isolatie er op termijn wellicht een toename van mogelijke vochtproblemen waar te nemen zal zijn door het gebrek aan ventilatie. Op basis van de huidige inzichten en historische trends kan deze verwachting niet aangetoond worden (Figuur 3).



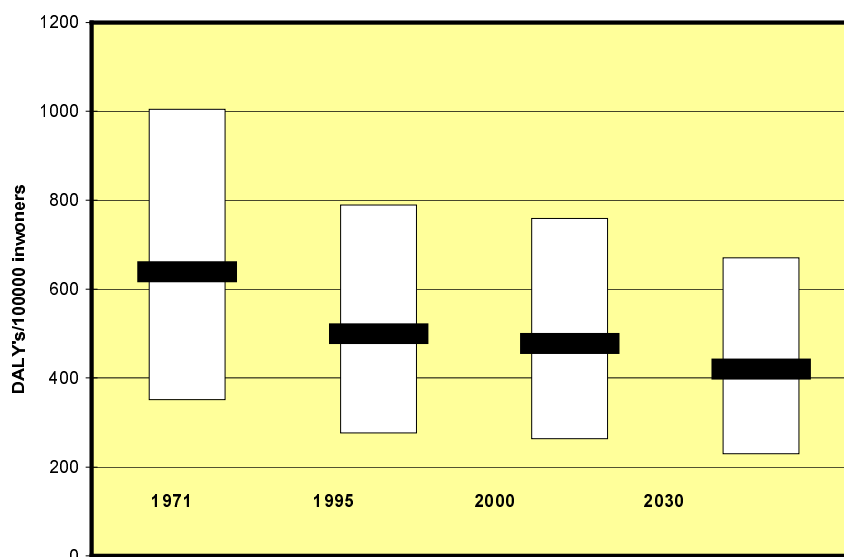
Figuur 3. Het voorkomen en de mate van vochtproblemen voor de totale woningvoorraad, berekend voor de jaren 1971, 1995, 2000 en 2020. De woningen zijn ingedeeld in woningen zonder vochtproblemen (niet weergegeven), met geringe vochtproblemen, met tamelijk ernstige vochtproblemen en met ernstige vochtproblemen. Bijlage 3 geeft details over de berekening.

Concluderend is er een afname van het aantal en aandeel woningen met vochtproblemen. Het voorkomen van vochtproblemen hangt samen met de staat van onderhoud van woningen. Oudere woningen vertonen vaker gebreken, wat lekkages tot gevolg kan hebben. De mogelijkheid bestaat dat in de toekomst door de toenemende mate van isolatie (en als gevolg het afnemen van ‘natuurlijke’ ventilatie) er toch weer vaker sprake zal zijn vochtproblemen in de woning. Vooral nog is deze trend (nog) niet zichtbaar.

3.3 Gezondheidseffecten: vochtige woningen en de luchtwegen

Uit een groot aantal onderzoeken blijkt dat mensen die in vochtige huizen wonen vaker last hebben van luchtwegklachten dan bewoners van huizen zonder vochtproblemen. Het gaat meestal om aanhoudende symptomen zoals piepen en hoesten bij mensen met erfelijke aanleg voor astma. In enkele studies betreft het door de arts gediagnosticeerde astma. Bij kinderen is een verband tussen luchtwegklachten en vochtige of schimmelplekken in huis duidelijker en vaker waargenomen dan bij volwassenen. Bij hen wordt het verband niet vertekend door roken, ander ongezond gedrag of beroep. Bij kinderen neemt de kans op astmaklachten in vochtige woningen met een factor 1,5 tot 3,5 toe. Bij volwassenen is een wat geringere toename gezien met een factor 1,5 à 2 (Peat et al., 1998; Verhoeff, 1994).

De toename wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door biologische allergenen die door de huisstofmijt en door schimmels worden geproduceerd. Personen met aanleg voor astma -en dat is zeker 10% van de Nederlanders- kunnen een overgevoeligheid voor dergelijke stoffen ontwikkelen. Ze reageren dan vaker en heftiger op luchtwegprikkelers met symptomen zoals piepen, hoesten, het opgeven van slijm en kortade-



Figuur 4. Aan vochtproblemen in woningen toe te schrijven jaarlijks gezondheidsverlies in gezondheidsgewogen jaren ('disability adjusted life years') per miljoen inwoners: gemiddelde, 5 en 95-percentie.

migheid. Huisstofmijten en schimmels groeien alleen in een vochtige omgeving. Uit verschillende studies blijkt dat zichtbare vocht- of schimmelplekken een behoorlijke indicator zijn voor verhoogde concentraties van deze biologische allergenen in het binnenmilieu (Van Strien et al., 1994).

Uit onderzoek en registraties van huisartsen blijkt dat 4 tot 10 procent van de Nederlandse kinderen last heeft van aanhoudende astmatische klachten, een beetje afhankelijk van het soort van klacht. Bij volwassenen is dat 2,5 tot ongeveer 8 procent (het beeld is enigszins onduidelijk omdat bij volwassenen astma en chronische bronchitis moeilijk uit elkaar te houden zijn). Met behulp van de relatieve toename van de kans op luchtwegklachten in vochtige woningen en het percentage vochtige woningen kan men de aan vochtige woningen toe te schrijven ziektelast schatten. Hierbij is tevens gebruik gemaakt van de inschatting van de ernst van astmatische klachten die volgens een uitgebreid protocol werd gemaakt in het kader van het Nederlandse 'Burden of Disease' project (Stouthard et al., 1997). Een jaar doorgebracht met regelmatige episoden van milde tot bij uitzondering ernstige astmaklachten moet met 7,8 procent (95% BI: 5,4-10,3) worden 'gecorrigeerd'.

In 1995 zouden jaarlijks bijna 100.000 personen vaker en heftiger luchtwegklachten hebben gehad, volgens de projecties zou dat in 2020 met enkele duizenden zijn afgenomen, ondanks een flinke bevolkingsgroei. Figuur 4 laat de ziektelast in 'gezondheidsgewogen' jaren per miljoen inwoners zien die jaarlijks kan worden toegeschreven aan vochtproblemen in woningen. Onzekerheden in de schattingen van de verschillende onderdelen van de rekensom zijn verdisconteerd in de uitkomststrategie die loopt van het 5 tot het 95-percentiel. Met name de schattingen van de prevalentie van luchtwegklachten kennen een flinke spreiding. Bij deze berekening is ervan uitgegaan dat in alle vochtige woningen de blootstelling aan allergeen zo hoog is dat gezondheidseffecten kunnen optreden.

3.4 Dankwoord

Wij willen Jan Kliet, Erik Lebret, Janneke Hoekstra, Dhr. Honstede, Aarnout Verhoeff, Johan Lembrechts bedanken voor het kritisch doorlezen van het manuscript.

4 Referenties

- Bremmer H. en Van Veen M.P. 2000. Factsheet Algemeen. RIVM, Bilthoven, RIVM rapport 612810 010.
- CBS, 1997, Statistisch Jaarboek. SDU, Den Haag.
- Cornelissen H.J.M. en W.F. de Gids. 1997. Overzicht luchtdoorlatendheidsgegevens eengezinswoningen. rapport 97-BBI-R1295, TNO-Bouw, Delft.
- Crommentuijn L.E.M. en E.D.M. Verbeek. 1999. Prognose Milieu-effecten Duurzaam Bouwen. RIVM Bilthoven RIVM rapport 771404002,.
- DGVH, 1999, Kwalitatieve WoningRegistratie. (Internet-site Ministerie van VROM).
- DGVH, te verschijnen, Nota Wonen in de 21e eeuw, Ministerie van VROM.
- Fraanje P., F. Steenhuisen, K. van Velze, H. Laan, J. Janus. 1993. Vluchtige organische stoffen in het binnenmilieu. RIVM Bilthoven en Uva Milieukunde, Amsterdam, RIVM rapport 222302 002.
- Hegger, C. , T.J.F. Savelkoul en B. Sangster, 1991. Intoxicatie met koolmonoxide. Ned. Tijdschrift Geneesk.; 135, nr4
- Heijden, René van der, 1999, zilvervisjes onder het zonnedak, In: Intermediair 14/1/99 p. 41
- Hoffmann K., Schwabe R., Krause C., Schulz C., Seifert B., Ullich D. 1996. Personenbebundene exposition gegenüber flüchtigen organischen verbindungen in den alten bundesländern. WaBoLu hefte 4/96.
- International Commission on Radiological Protection. 1993. Protection against Radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65, Elsevier Science, Oxford, 45 p.
- International Programme for Chemical Safety. 1999. Carbon monoxide. Environmental Health Criteria 213. WHO, Geneva.
- Janssen, M.P.M., De Vries, L, Phaff, JC, Van der Graaf, ER., Blaauboer, RO, Stoop, P., Lembrechts, J. 1998. Modelling radon transport in Dutch dwellings. RIVM, Bilthoven. RIVM report 610050005.
- Ministerie van VROM. 1996. De kwaliteit van de Nederlandse woningvoorraad 1995. Resultaten van de Kwalitatieve WoningRegistratie 1994-1996, Den Haag
- Peat J.K., Dickerson J., Li J. 1998. Effects of damp and mould in the home on respiratory health: a review of the literature. Allergy 53: 120-8.
- Poll, R. van & M. Drijver. (1999). Inventarisatie van milieu-gerelateerde klachten en ziekteclusters bij Nederlandse Gezondheidsdiensten (GGD-en). RIVM Bilthoven. RIVM rapport 268826 001.
- Rothweiler and Schlatter, 1993. Human exposure to volatile organic compounds in indoor air – a health risk ? Toxicol. and environm. Chem. 40: 93-102.
- Slob R. 1996. Handboek binnenmilieu. GG&GD Amsterdam.

- Slooff W., Janus J.A., Mathijssen A.J.C.M., Montizaan G.K., Ros J.P.M. 1989. Basisdocument polycyclische aromatische koolwaterstoffen. Publicatierreeks Milieubeheer 8.
- Stoop, P., Glastra, P., Hiemstra, Y., De Vries, L., Lembrechts, J. 1998. Results of the second Dutch national survey on radon in dwellings. RIVM, Bilthoven. RIVM report 610058006.
- Stouthard M.E.A., Essink-Bot M.-L., Bonsel G.J. 1997. Disability weights for diseases in the Netherlands. Department of Public Health, Erasmus University Rotterdam.
- Strien R.T. van, Verhoeff A.P., Brunekreef B., Wijnen J.H. van. 1994. Mite allergen in house dust: relationship with different housing characteristics in the Netherlands. *Allergy* 24: 843-53.
- Veen M.P. van 1997. CONSEXPO 2, consumer exposure and uptake models. RIVM, Bilthoven. RIVM rapport 612810 005.
- Veen, M.P. van, Fortezza F. Bloemen H.J.Th., Kliet J.J. 1999. Indoor air exposure to volatile compounds emitted by paints: experiment and model. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 9: 569-574.
- Veen M.P. van en Kroese D. 1999. Following the Source to Effect Chain using PAH as a lead. RIVM, Bilthoven. RIVM rapport 630040 001.
- Verhoeff A.P. 1994. Home dampness, fungi and house dust mite, and respiratory symptoms in children. Dissertatie, Erasmus Universiteit Rotterdam.
- Wal J.F van der., Hoogeveen A.W. en Wouda P. 1997. The influence of temperature on the emission of volatile organic compounds from PVC flooring, carpet and paint. *Indoor Air* 7:215-221.
- Wallace L.A., Pellizari E., Leaderer B., Zelon H., Sheldon L. 1987. Emissions of volatile organic compounds from building materials and consumer products. *Atmospheric Environment* 21: 385-393.
- Weerdesteijn M.C.H., Bremmer H.J., Zeilmaker M.J., Van Veen. M.P. 1999. Hygienic cleaning products used in the kitchen, exposure and risks. . RIVM, Bilthoven. RIVM report 612810 008.
- Wolkoff P., Clausen P.A., Nielsen P.A., Molhave L. 1991. The Danish twin apartment study; part I: formaldehyde and long-term VOC measurements. *Indoor Air* 4: 478-490.

Bijlage 1. Achtergronden bij emissie consumentenproducten en bouw materiaal

De in figuur 1 getoonde berekeningen zijn uitgevoerd door de concentratie in een kamer modelmatig te beschrijven. Met behulp van deze modellen werd de invloed van ventilatie op de gemiddelde concentratie berekend. De berekeningen zijn gebaseerd op de volgende modellen en scenarios.

Vloerlijm

Er wordt uitgegaan van het leggen van een vloer van 10 m² in een kamer van 20 m³, representatief voor een relatief kleine kamer in Nederland (Bremmer en Van Veen, 2000), waarbij 500 gram vloerlijm gebruikt wordt. In deze vloerlijm bevindt zich 10% toluen als onderdeel van het oplosmiddel. De toluen verdampt volgens een verdampingsproces waarbij de dampspanning als drijvende kracht optreedt. De verwerkingsduur is 4 uur, de totale tijd waarover de blootstelling wordt berekend is 8 uur. Het gebruikte model is het 'paint' model uit CONSEXPO (Van Veen, 1997) en het is middels experimenten gevalideerd (Van Veen et al., 1999).

Spaanplaat

De concentratie formaldehyde in binnenlucht ten gevolge van emissies uit spaanplaat wordt berekend met het 'source and ventilation' model uit CONSEXPO (Van Veen, 1997). Dit is een model dat de gasvormige emissie naar de kamer als een bronterm van constante snelheid modelleert en het gas via ventilatie afvoert. Als uitgangspunt voor de emissiesnelheid wordt de KOMO-norm genomen. Deze is bedoeld om onder normale omstandigheden, waaronder een ventilatie van 0,5 tot 1,0 luchtverversingen per uur, de concentratie onder de 120 µg/m³ te houden (Slob, 1996). Toegepast in het model levert dit bij een ventilatie van 0,5 verversingen en een kamergrootte van 20 m³ een bronterm van 0.02 mg/minuut op. Deze wordt in het model ingevoerd. Voor de berekeningen wordt een daggemiddelde blootstelling gebruikt.

Afvoerloze geysers

De blootstelling aan koolmonoxide is berekend met het 'exhaust gas' model uit CONSEXPO (Van Veen, 1997). Dit model deelt tijdens de brandduur van een verbrandingsapparaat de kamer op in drie zones: direct boven het apparaat, een bovenlaag tegen het plafond en een onderlaag bij de vloer. De warme laag tegen het plafond houdt door het warmteverschil met de onderlaag het koolmonoxide vast. Het model is door experimenten bij GasTec gevalideerd. Daar bleek dat bij lage ventilatievouden het model accurate voorspellingen gaf. Bij hogere ventilatievouden werden de voorspellingen slechter en worden tot een factor 5-10 hoger dan de meetgegevens. In de berekeningen is uitgegaan van een geiser van 10 kW in een kamer van 20 m³ en een brandduur van 20 minuten. De blootstelling werd gemiddeld over 4 uur.

Radon

De radonconcentratie in een modelwoning is berekend met het bronmodel RAETRAP en het ventilatiemodel COMIS. Radon komt vrij uit de bouwmaterialen en de bodem of wordt met de buitenlucht aangevoerd. Het vrijkomen uit bodem en bouwmaterialen is afhankelijk van de druk over deze materialen. Voor verschillende weersomstandigheden is per ruimte de radonconcentratie berekend. Deze resultaten zijn omgerekend

in jaargemiddelde radonconcentratie per ruimte. Het metamodel wordt uitvoerig beschreven in Janssen et al. (1998). In figuur 1 zijn de resultaten voor woning N₄ (figuur 12 in Janssen et al., 1998) overgenomen.

Het verloop van het aantal longkankerdoden ten gevolge van radon is berekend met gegevens uit de ICRP (1993). Voor de jaren 1970 is een concentratie van 19 Bq m⁻³ berekend, voor 2020 een concentratie van 25 Bq m⁻³ (Stoop et al., 1998). Het inwoneraantal voor beide jaren is gesteld op respectievelijk 14,5 en 16 miljoen. Aan de hand van de gegevens uit de ICRP (1993) werd het aantal longkankerdoden voor 1970 geschat op 360 en voor 2020 op 500 per jaar.

Bijlage 2 Achtergronden bij ventilatiekarakteristieken Nederlandse woningen

Voor de berekeningen van de gemiddelde luchtdoorlatendheid van het Nederlandse woningbestand is van twee datasets gebruik gemaakt.

De verdeling van het woningbouwbestand over verschillende bouwperiodes in de peiljaren 1971, 1995, 2000 en 2020 is ontleend aan Crommentuijn en Verbeek, 1999.

Voor de berekeningen zijn voor ieder van de vier peiljaren de aantallen eensgezinswoningen (=koop + huur particulier + huur sociaal) per periode gesommeerd.

De luchtdoorlatendheidsgegevens die gebruikt zijn in de berekeningen zijn ontleend aan Cornelissen en De Gids, 1997. Het betreft 92 eensgezinswoningen gebouwd in de periode 1950-1997. De luchtdoorlatendheid van deze woningen is uitgedrukt in de hoeveelheid lucht die via naden en kieren in de bouwschil ontsnapt bij oppompen van de woning tot 10 Pa. De luchtdoorlatendheidsgegevens zijn ingedeeld in vijfjaarsklassen en variëren van 93 tot 468 dm³ s⁻¹. Deze vijfjaarsklassen zijn vertaald naar de periodes van het woningbouwbestand. Voor woningbouwbestand-perioden waarvoor meerdere luchtdoorlatendheidsklassen aanwezig waren zijn deze gemiddeld. Bij de luchtdoorlatendheid van de bouwschil voor woningen uit de periode 1906-1944 is er vanuit gegaan dat deze hetzelfde is als voor woningen uit de periode 1945-1960. Voor de periode na 2000 is uitgegaan van de luchtdoorlatendheid in de periode 1990-1997 gecorrigeerd voor de te verwachten Energie Prestatie Coefficient (Crommentuijn en Verbeek, 1999).

Voor de jaren 1971, 1995, 2000 en 2020 is de gemiddelde luchtdoorlatendheid voor de gehele woningpopulatie (eensgezinswoningen) uitgerekend op basis van het aantal woningen uit de verschillende bouwperiodes en de bijbehorende luchtdoorlatendheid. De verandering in luchtdoorlatendheid van de nieuwbouw-eensgezinswoningen is getoond door middel van een grafiek. De woningen zijn ingedeeld in vier luchtdoorlatendheidsklassen 0-125 (zeer laag), 125-250 (laag), 250-375 (gemiddeld) en 375-500 dm³ s⁻¹ (hoog). Voor ieder van de peiljaren is de verdeling van het aantal eensgezinswoningen per luchtdoorlatendheidsklasse berekend.

Bijlage 3 Achtergronden bij vochtkenmerken Nederlandse woningen

Voor de berekening van het voorkomen en de mate van vochtproblemen is gebruik gemaakt van de volgende datasets:

1. Woningbehoefte Onderzoek 1994 (Bron CBS),
2. Ontwikkeling woningvoorraad 1971 – 1998 (Bron: Swing Informatiesysteem 1998, ABF Onderzoek & Informatie),
3. Woningvoorraad ontwikkeling conform Nota Wonen in de 21e eeuw (Bron: DG-VH, te verschijnen),
4. Kwalitatieve WoningRegistratie 1995. (Bron: DGVH).

Op basis van diverse bestanden is een verdeling van de woningvoorraad voor de peiljaren 1971, 1995, 2000 en 2020 geconstrueerd naar de kenmerken bouwjaar van de woning, soort woning (een- of meergezins) en eigendomssituatie (koop, particuliere huur en sociale huur).

De genoemde kenmerken komen naar voren uit de literatuur (Bronnen: DGVH, 1999, Kwalitatieve WoningRegistratie (Internet-site Ministerie van VROM), Ministerie van VROM, De kwaliteit van de Nederlandse woningvoorraad 1995. Resultaten van de Kwalitatieve WoningRegistratie 1994-1996, Den Haag) en uit eigen analyses als belangrijke determinanten voor de verklaring van de staat van onderhoud van de woning.

In het KWR-bestand worden 4 klassen onderscheiden in het voorkomen en de mate van vochtproblemen. Deze zijn overgenomen in de analyses. Deze verdeling van het voorkomen en de mate van vochtproblemen is gehanteerd voor het verloop in de tijd, er van uit gaande dat met name de ontwikkeling van de woningvoorraad (naar de kenmerken bouwjaar, type woning en eigendomssituatie) bepalend is voor het (in absolute aantallen) voorkomen van vochtproblemen in de woningvoorraad. De resultaten van deze berekeningen zijn gesommeerd en gerapporteerd voor de totale woningvoorraad in de desbetreffende peiljaren.

Bijlage 4 Verzendlijst

1. Mr. Ir. J.H. Enter, Directie SP
2. H.A.P.M. Pont, DG Milieubeheer
3. Dr. Ir. B.C.J. Zoeteman, plv. DG Milieubeheer
4. Drs. R.L.F. Brieskorn, DGM
5. Drs. R. Brinkman, DGM
6. Depot Nederlandse publicaties en Nederlandse bibliografie, Den Haag
7. Directie RIVM
8. M.P. van Veen (LBM)
9. A.E.M. de Hollander (MNV)
10. M.P.M. Janssen (LSO)
11. L. Crommentuijn (LAE)
12. F. Langeweg (S5)
13. G. de Mik (S3/4)
14. A. Opperhuizen (hLEO)
15. J. Kliet (hIEM)
16. E. Lebret (hLBM)
17. R. Smetsers (hLSO)
18. J. Hoekstra (hLAE)
19. R. Maas (hMNV)
20. B. Staatsen (LBM)
21. L. van Bree (LEO)
22. J.A. Oude Lohuis (LAE)
23. L. Brandes (MNV)
24. L. Braat (MNV)
25. M. Witmer (MNV)
26. Hoofd Bureau Voorlichting en Public Relations
27. Bureau Rapportenregistratie
28. Bureau Rapportenbeheer
33. Reserve-exemplaren
48. Bibliotheek RIVM