

TNO-rapport

2003-GGI-R057

Relatie EPC-niveau en gezondheidsrisico's als onderdeel van het kwaliteitsniveau van gebouwen

Datum	november 2003	
Auteur(s)	ir. C.E.E. Pernot, EurlIng dr. L.G.H. Koren drs. J.E.F. van Dongen prof. dr. J.E.M.H. van Bronswijk, EurProBiol	(TNO Bouw) (TU/e) (TNO INRO) (TU/e)
Aantal pagina's	102	
Aantal bijlagen	5	
Opdrachtgever	Ministerie van VROM t.a.v. ir. G.F.M. Brouwers, IPC 220 DG Wonen, Directie Beleidsontwikkeling Postbus 30941 2500 GX Den Haag	
Projectnummer	006.21165/01.01	
ISBN	90-5986-047-0	

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

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

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

© 2003 TNO

Inhoudsopgave

1	Samenvatting.....	5
2	Inleiding.....	9
2.1	Probleemstelling.....	9
2.2	Doel.....	10
2.3	De aard van het onderzoek.....	10
3	De opzet van het onderzoek.....	13
3.1	Inleiding.....	13
3.2	EPN-effecten.....	14
3.3	Gezondheidsrisico's.....	15
3.4	Kwantificeren van het gezondheidsrisico, DALY als kengetal.....	15
3.5	Resultaten/conclusies, de prijs van verlaagde EPC.....	16
4	Maatregelen die de EPC kunnen verlagen.....	17
4.1	Inleiding.....	17
4.2	Huidige bouwpraktijk bij woningen met een EPC=1.....	17
4.3	Combinaties van maatregelen voor een $EPC \leq 0,8$	18
4.4	Combinaties van maatregelen voor een $EPC = 0,5$	18
4.5	Maatregelen apart ter beperking van de EPC.....	19
4.6	Keuze van maatregelen en combinaties ten behoeve van dit onderzoek.....	21
5	Gezondheidseffecten.....	23
5.1	Inleiding.....	23
5.2	Bronnen van vervuiling.....	24
5.2.1	<i>Woning(biotoop)-gerelateerde allergenen.....</i>	<i>24</i>
5.2.2	<i>Voedingsbodems voor schimmels.....</i>	<i>25</i>
5.2.3	<i>Voedingsbodems voor bacteriën.....</i>	<i>25</i>
5.2.4	<i>Endotoxinen.....</i>	<i>26</i>
5.2.5	<i>Woning-, en woninggebruik gerelateerde bronnen.....</i>	<i>27</i>
5.2.6	<i>Hinder.....</i>	<i>30</i>
5.3	Afvoer van vervuiling.....	30
5.3.1	<i>Ventilatie.....</i>	<i>31</i>
5.3.2	<i>Ventilatiecapaciteit.....</i>	<i>32</i>
5.3.3	<i>Afname van de capaciteit.....</i>	<i>34</i>
5.4	Gezondheidsklachten.....	34
5.4.1	<i>Onderzoek in Nederlandse woningen.....</i>	<i>36</i>
5.5	Bewonersgedrag.....	38
5.5.1	<i>Ambient Intelligence.....</i>	<i>39</i>
5.5.2	<i>Domotica.....</i>	<i>39</i>
6	DALY als kengetal.....	41
6.1	Inleiding.....	41
6.2	Relevante ziekten en hun woninggerelateerde ziektelast.....	41

6.3	Schattingen en berekeningen van de ziektelast per bouwkundige en installatietechnische maatregel	46
6.3.1	<i>Isolatie</i>	48
6.3.2	<i>Overige bouwkundige maatregelen: kierdichting, noord-zuid oriëntatie, serre</i>	48
6.3.3	<i>Ventilatie</i>	49
6.3.4	<i>Verwarming</i>	51
6.3.5	<i>Warmwaterbereiding</i>	52
6.3.6	<i>Energie-Opslag/Opwekking</i>	54
6.3.7	<i>Foutendiscussie</i>	54
6.3.8	<i>Ten slotte</i>	55
6.4	Sommeren: Pakketten van maatregelen	58
7	Conclusies / aanbevelingen	61
7.1	Conclusies.....	61
7.1.1	<i>Omvang van de huidige ziektelast en de effecten van maatregelen</i>	62
7.1.2	<i>Het effect van het verlagen van de EPC</i>	63
7.1.3	<i>Het effect van de EPN gerelateerde en niet-EPN-gerelateerde aspecten in relatie met de gezondheidsrisico's</i>	63
8	Referenties	65
	Bijlage A	77
	Projecten met $EPC \leq 0,80$	77
	Bijlage B	81
	Mogelijkheden van woningbouw-projecten met $EPC = 0,50$	81
	Bijlage C	83
	C.1 Onderbouwing van woning-gerelateerde aandeel van ziekten en spreiding van de ziektelast.....	83
	C.2 Impact van maatregelen op de ziektelast	89
	C.3 Sommering van pakketten	98
	Bijlage D	99
	Jaarlijks risico en DALY	99
	Bijlage E	101
	Maatregelvarianten in installatie, onderhoud en gebruik ter beoordeling van blootstelling en ziektelast.....	101

Titel: Relatie EPC-niveau en gezondheidsrisico's als onderdeel van het kwaliteitsniveau van gebouwen

1 Samenvatting

Het Ministerie van VROM heeft TNO Bouw opgedragen een onderzoek uit te voeren naar de wisselwerking tussen (een verdere aanscherping van) de Energie Prestatie eis en gezondheidsrisico's. Hierbij wordt gezondheid gedefinieerd volgens de WHO: 'een toestand van algeheel lichamelijk, geestelijk en sociaal welbevinden en niet alleen de afwezigheid van ziekte en gebrek'. Een definitie waarin welzijn, welbevinden en comfort is opgenomen. Vanwege een verouderende bevolking, de groeiende behoefte aan productiviteit en kwaliteit van leven en de veranderde manier van omgaan met risico's in de Informatiemaatschappij, heeft de aandacht voor gezondheid de laatste jaren een nieuwe impuls gekregen.

Doel van dit onderzoek is om de wisselwerking tussen EPC-niveau en gezondheid vast te stellen, in het bijzonder in geval van aanscherping van de EPC-eis.

Uit dit doel komen de volgende onderzoeksvragen voort:

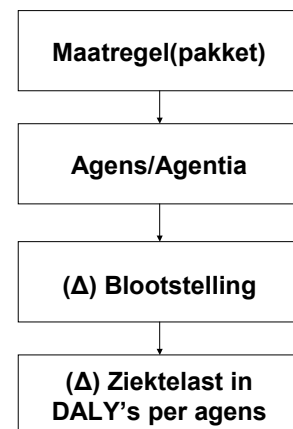
- Welke gebouwgerelateerde gezondheidsrisico's spelen een rol en hoe groot zijn deze risico's;
- Wat is het effect van de EPN-gerelateerde en niet-EPN-gerelateerde aspecten in relatie met deze gezondheidsrisico's.

Methodologie

In deze studie is voor het eerst de waaier aan bouwkundige en installatietechnische maatregelen waarmee het EPC-niveau kan worden beïnvloed beoordeeld op haar relatie met gezonde levensjaren van de bevolking. De gezondheidsrisico's die voorheen in het VROM-beleid in mortaliteit- en morbiditeitsfrequenties werden uitgedrukt, zijn in dit onderzoek bekeken vanuit het gezondheidsniveau van de bevolking. Het betreft voornamelijk aandoeningen als astma, chronische bronchitis, longkanker, infecties en chronische stress.

De relatie tussen de technologie en gezondheidspotentie is geanalyseerd aan de hand van de effecten die deze technologieën hebben op het woonmilieu, waarna de karakteristieken van dit woonmilieu zijn vergeleken met de bekende determinanten van relevante ziekten en aandoeningen.

Het construct DALY (Disability Adjusted Life Years) is een veelgebruikte maat in wetenschap en beleid om gezondheidseffecten van maatregelen te vergelijken en is door ons benut om de ziektelast van de waaier van technologieën te beoordelen. Dit betreft zowel afzonderlijke technologieën als pakketten van maatregelen. Bij de berekeningen is uitgegaan van een 100% toepassing van de betreffende technologie. Overigens moet worden benadrukt dat de vertaalslag van gemeten ziektelast naar



Relatie bouwkundige- en installatietechnische maatregelen met de ziektelast.

aandeel van een determinant naar huidig of nieuw aandeel van de betreffende maatregel op basis van vergelijking van (verwachte) blootstelling is gebeurd. Waar meetgegevens ontbraken is een inschatting gemaakt van het verschil van deze blootstelling met de bekende blootstelling bij nu veel in gebruik zijnde systemen. De ziektelast is vervolgens afgeleid uit de verandering van die blootstelling. Hierbij zijn drie varianten bekeken: een optimale variant, waarbij installatie, onderhoud en gebruik geen aanleiding geven tot extra ziektelast, een maximale (minst gunstige) variant, en een modale variant, waarin de meest waarschijnlijke situatie wordt weergegeven. De spreiding in de ziektelast per individuele maatregel wordt enerzijds veroorzaakt door de aannames in deze varianten, anderzijds door de onzekerheid in de grootte van de te verwachten blootstelling.

Resultaten

In dit onderzoek is berekend dat de jaarlijkse gemiddelde ziektelast 70.000 DALY bedraagt (voor het jaar 2000). Het belangrijkste woninggerelateerde gezondheidsrisico vormen astma (37%), COPD (bronchitis + longemfyseem) (21%) en coronaire hartziekten (25%). Samen vormen deze ziekten 83% van het gemiddelde totale gezondheidsrisico van ca. 70.000 DALY.

De huidige woninggerelateerde ziektelast van 70.000 DALY is een functie van ontwerp, installatie, onderhoud en (overig) gebruik van de bestaande bouwkundige materialen en installaties. Omdat de fysische, biologische en chemische kwaliteit van de lucht bij een aantal van de genoemde ziekten cruciaal is, is ook de kwaliteit van het ventilatiesysteem en zijn gebruik van groot belang. Van de huidige mechanische ventilatiesystemen wordt gewoonlijk een gering deel - ongeveer een derde - van de capaciteit gebruikt; verhoging van het gebruik - en niet in eerste instantie verhoging van de capaciteit - kan een middel zijn om de luchtkwaliteit te verbeteren en daarmee de ziektelast te verlagen. De verlaging is echter afhankelijk van uitvoering en gebruik van het systeem: kan men in de badkamer de ventilatiestand verhogen?; veroorzaakt meer ventilatie geen tocht en geen lawaai?; kost het gebruik en onderhoud geen moeite? Dit zijn facetten van de huidige systemen die ook bij de in te voeren maatregelen van belang zijn.

Van de maatregelen die genomen kunnen worden om de EPC te beïnvloeden is bepaald welke invloed deze zouden kunnen hebben op in dit kader relevante ziekten. De minimum en maximum grenzen per ziekte liggen ten grondslag aan de impact van een maatregel. Steeds is de meest waarschijnlijke (modus) als ook de minimale en maximale ziektelast ingeschat. Bij de berekeningen is uitgegaan van een 100% toepassing van de betreffende maatregelen.

Welke gebouwgerelateerde gezondheidsrisico's spelen een rol en hoe groot zijn deze risico's?

De ziektelast van woningen van vóór de regelgeving inzake energie prestatie leidt tot een DALY-niveau van 64.000 tot 75.000 (modus 69.000). Dat deze modus niet veel afwijkt van de huidige ziektelast is niet vreemd, het overgrote deel van de woningvoorraad maakt deel uit van deze categorie.

Technologieën waarmee het huidige EPC-niveau bereikt wordt (EPC = 1) zoals een betere thermische isolatie van de gebouwschil (glas, muur en dak), al dan niet in combinatie met mechanische afzuiging, kunnen een lichte verbetering van de gezondheidspotentie van de woning te zien geven: DALY-niveau 59.000-75.000 (modus 66.000).

Benut men echter voor dit EPC-niveau een andere weg met een betere kierdichting van ramen en deuren en de installatie van gebalanceerde ventilatie met warmte terugwinning, dan is de kans groot dat de gezondheidsrisico's sterk oplopen: DALY-range 54.000-138.000 (modus 85.000). De grote variatie in een beoordeling is naast de onzekerheid in de relatie ziekte-maatregel vooral te wijten aan de keuze van ontwerp- en uitvoering, instelling en mate van onderhoud.

Wanneer pakketten worden bekeken die een EPC-niveau 0,8 tot 0,5 realiseren dan varieert de DALY-modus van 69.000 tot 107.000 bij een range van 52.000 tot 183.000.

In pakketten waar systemen met vraaggestuurde ventilatie deel van uitmaken (roosters in de ramen, geen toevoerkanalen) en vloer- en wandverwarming ligt de DALY-modus op 56.000 tot 74.000, bij een range van 37.000 tot 135.000.

Wat is het effect van de EPN gerelateerde en niet-EPN-gerelateerde aspecten in relatie met de gezondheidsrisico's?

In de beoordelingssystematiek die is gebruikt voor dit onderzoek zijn de extra ziektelasten die ontstaan door niet gemiddeld gebruik, door fouten bij de oplevering, en door achterwege blijvend onderhoud meegeteld in de modale en vooral de maximale variant. Een deel van deze niet-EPN-gerelateerde effecten ontstaan juist door invoering van de betreffende maatregel en door het ontwerp ervan. De ziektelast van een maatregel in de optimale variant geeft aan welk (laagste) niveau van ziektelast kan worden bereikt bij uitsluiting van de niet-EPN gerelateerde aspecten.

Conclusies

Met systemen met vraaggestuurde ventilatie kan een gezondheidspotentie van woningen worden gerealiseerd die aanzienlijk beter is dan die van woningen van het huidige EPC niveau. Om dat te bewerkstelligen cq. optimaliseren moet voldaan worden aan de volgende eisen: (i) verhoging van het ventilatieniveau waarbij een onderscheid zou kunnen worden gemaakt naar risicogroep, (ii) gegarandeerd kwaliteitsbehoud gedurende de levensduur, (iii) per vertrek een of meer intelligente toevoerroosters (ambient intelligence), en (iv) een hoge mate van gebruiksgemak van het systeem. Hierbij moet worden opgemerkt dat de huidige vraaggestuurde systemen nog een verdere ontwikkeling behoeven, vooral op "intelligentie" gebied (domotica-technologie) voordat een lagere EPC gezond gerealiseerd kan worden. Toepassing van de principes van 'Ambient Intelligence' maakt het mogelijk de variatie in gezondheidspotentie van de pakketten te verkleinen, hetgeen voor sommige pakketten alsnog kan leiden tot volledige acceptatie voor een gezond binnennieuw.

Door het verhogen van de ventilatiestromen wordt ook het terugwinnen van warmte uit deze luchtstroom interessant door toepassing van bijv. warmtepomptechnologie. Hiermee kan het negatieve effect op het energiegebruik vanwege het verhogen van de ventilatiestroom weer (voor een deel) worden gecompenseerd.

Toepassing van sommige technologieën voor de energie/warmte opwekking zoals PV-cellen en warmtepompen hebben nauwelijks of geen een ziektelast tot gevolg. Voor deze systemen geldt, evenals voor de vraaggestuurde ventilatie, dat de kosten relatief hoog zijn. Zou echter in de berekening van kostenneutraliteit de ziektegerelateerde kosten worden meegenomen, dan zijn deze maatregelen vermoedelijk toch rendabel.

Dit is een van de eerste onderzoeken waarbij de gezondheidseffecten van bouwtechnische maatregelen in beeld zijn gebracht. In risico-gericht beleid zouden DA-

LY en hun relatie met gebouwkenmerken een vaste plaats moeten krijgen in gebouwkwaliteitssystemen. Met dit instrument kan zowel de technologische innovatie bevorderd worden als het beleid op haar effect getoetst.

2 Inleiding

2.1 Probleemstelling

De voortgaande energiebesparende maatregelen in woningen, zowel aan installaties als met betrekking tot constructies, kunnen invloed hebben op de gezondheid van de bewoner. Om deze veronderstelling te toetsen heeft het Ministerie van VROM aan TNO Bouw gevraagd een onderzoek uit te voeren naar de wisselwerking tussen een verdere aanscherping van de Energie Prestatie eis (EPC) en mogelijke gezondheidsrisico's.

In historisch perspectief gezien wordt aandacht voor de gezondheid van de bewoner pas in het begin van de 20^e eeuw onderkend en vastgelegd in de Woningwet. Hierbij wordt gezondheid gedefinieerd volgens de WHO, inclusief welzijn, welbevinden en comfort: 'Een toestand van geheel lichamelijk, geestelijk en sociaal welbevinden en niet alleen de afwezigheid van ziekte en gebrek'.

De overgang van de wettelijke bouwregelingen van het ministerie van Volksgezondheid (VWS) naar het ministerie van Volkshuisvesting (VROM), en de milieu-initiatieven uit de 90^{er} jaren van de vorige eeuw, hebben de gezondheidsaspecten van de gebouwde omgeving enigszins naar de achtergrond gedrukt. In de laatste jaren wordt de aandacht hernieuwd, onder andere vanwege een verouderende bevolking, de groeiende behoefte aan productiviteit en kwaliteit van leven, en de veranderde manier van omgaan met risico's in de Informatiemaatschappij.

Uitgangspunt bij het opleggen van strengere energieprestatie-eisen is dat overige regelgeving (zowel bouwregelgeving, maar ook milieuregelgeving, arbo etc.) van kracht blijft (ofwel: aanscherpen EPC mag niet leiden tot lagere ventilatiecapaciteiten dan in het Bouwbesluit als minimum is aangegeven, etc.). Onderzoekresultaten zouden echter wel kunnen uitwijzen in hoeverre aangescherpte eisen m.b.t. energieprestatie consequenties heeft voor dit 'aanpalend beleid'.

In het 'Actieprogramma Gezondheid en Milieu'[VROM et al. 2002] wordt in §3.6 aandacht gevraagd voor het thema 'Gezondheid in gebouwen':

“De overheid heeft tot taak een minimale kwaliteit van de gezondheidskwaliteitsaspecten van een gebouw te waarborgen. In de afgelopen decennia is op dat gebied veel onderzocht, gepubliceerd en is één en ander vastgelegd in onder andere wet- en regelgeving. Daarnaast zijn al veel gebouwgezondheidsaspecten verbeterd door innovaties in de bouwpraktijk. Ondanks deze maatregelen treden nog steeds ongewenste gezondheidseffecten op door gedrag van bewoners, gebruiksonvriendelijke installaties en nieuwe technologische ontwikkelingen. Ook ontbreken gegevens over blootstelling binnenshuis aan biologische agentia, geluid en elektromagnetische velden, evenals over de binnenluchtkwaliteit in energiezuinige woningen. Er is daarom een grote behoefte aan instrumenten en gegevens om hier meer inzicht in te krijgen. Daarnaast zullen stimulerende acties in gang gezet worden om bijvoorbeeld het ventileren te verbeteren.”

In de acties die VROM van plan is uit te voeren in de eerste 5 jaar staat voor actie 27 in het 'Actieprogramma Gezondheid en Milieu':

VROM (her)definieert gezondheidstechnische grenswaardes voor het binnenklimaat van gebouwen. Op basis hiervan wordt bezien of het noodzakelijk is de vereisten zoals opgenomen in het bouwbesluit, te herijken. Afronding wordt voorzien eind 2003.

2.2 Doel

Dit onderzoek richt zich op het samenbrengen van de informatie in de context van bovengenoemde wisselwerking tussen het EPC niveau en gezondheid. Er wordt een kwantitatieve benadering gegeven van de risico's voor de gezondheid en de invloed die een aanscherping van de EPC hierop heeft. Kwantificering van gezondheidsrisico's geschiedt met behulp van de DALY-methode (Disability Aadjusted Life Years) [Stouthard MEA et al. 2000].

In het onderzoek wordt een onderscheid gemaakt tussen EPN gerelateerde aspecten die invloed hebben op de gezondheid(srisico's) en niet EPN gerelateerde aspecten zoals gebruikersgedrag. (Bij het laatste wordt zowel gedacht aan vervuilingbronnen zoals huisdieren of inrichtings- c.q. afwerkingsmaterialen, maar ook aan bijdragen van buiten het gebouw/de woning of bijdragen binnen het gebouw/ de woning van bv. niet-verwarmde ruimten en kruipruimte).

Nadruk van het onderzoek betreft de wetenschappelijke onderbouwing van de te beantwoorden vragen en de kwantificering van gezondheidsrisico's in relatie tot de hoogte van energieprestatie-eisen.

De resultaten van het onderzoek zijn bedoeld om te gebruiken bij de discussies over EPC-beleid voor zowel de woning- als de utiliteitsbouw. In eerste instantie zal echter deze studie zich richten op de woonfunctie, in een vervolg kan de kantoor-, gezondheids-, onderwijsfunctie en anderen aan de orde komen.

Het onderzoek naar de correlatie tussen gezondheidsrisico's en energiezuinigheid van gebouwen/woningen past in het kader dat is aangegeven in het Actieprogramma Gezondheid en Milieu, bijlage II hoofdstuk 2.3: 'Speerpunten voor onderzoek'.

In hoeverre de aanscherping van de EPC leidt tot (verhoging) van de gezondheidsrisico's kan samenvattend met de volgende onderzoeksvragen worden beantwoord:

- Welke gebouwgerelateerde gezondheidsrisico's spelen een rol en welke risico's betreft het;
- Wat is het effect van de EPN gerelateerde en niet EPN gerelateerde aspecten in relatie met de gezondheidsrisico's.

2.3 De aard van het onderzoek

Het onderzoek wordt uitgevoerd als deskresearch en baseert zich o.a. op literatuurbronnen zoals wetenschappelijke en technische publicaties, rapporten en normbladen. Ofschoon het effect van een aanscherping van de EPC in de vraagstelling voorop staat, wordt dit aspect nadrukkelijk in samenhang bezien, en wel in relatie tot de betreffende doelgroep (demografische ontwikkeling: toenemende vergrijzing van de bevolking. Naast jonge kinderen vormen ouderen de belangrijkste risicogroep).

De benadering die wordt voorgestaan gaat uit van het gezondheidsrisico met bouwkundige of installatietechnische achtergronden. Het gezondheidsrisico wordt zoveel mogelijk uitgesplitst naar de afzonderlijke ziekten en aandoeningen. De bedoelde bouwkundige of installatietechnische oorzaken worden gevonden in de bestaande bouw en kunnen ontstaan of zich wijzigen door maatregelen ter aanscherping van de EPC.

3 De opzet van het onderzoek

Het resultaat van dit onderzoek beschrijft de mogelijkheid om de risico's die een gezond makend binnenmilieu bedreigen te kwantificeren. Het accent inzake de gezondheidspotentie (in termen van bescherming, ondersteuning en bevordering van de gezondheid) ligt bij dit onderzoek in de relatie met EPC gerelateerde aspecten. In het bijzonder gaat het dan om de consequenties van een verlaging van de EPC.

In de volgende subparagrafen wordt de opzet van het onderzoek geschetst en een overzicht gegeven van de indeling van deze rapportage.

3.1 Inleiding

De huidige situatie inzake regels en voorschriften in Nederlandse en Europese regelgeving kenmerkt zich door Europese voorschriften/documenten/richtlijnen [Council of Europe 2001; EC 1994] welke op nationaal niveau moeten zijn geïmplementeerd. In Nederland is dat de Woningwet [VROM 2002b], het Bouwbesluit 2003 [VROM 2001] de Regeling Bouwbesluit 2003 [VROM 2002a] en de bij het Bouwbesluit betrokken normen (NEN normen), die samen het juridisch kader vormen waaraan de te bouwen gebouwen moeten voldoen.

In het Bouwbesluit wordt veel aandacht gegeven aan het aspect veiligheid. Ten aanzien van gezondheid wordt vooral het aspect ventilatie belicht. In het rapport van de Gezondheidsraad waarop de huidige ventilatie-eis is gebaseerd [Gezondheidsraad 1984; Scholten NPM 2001] stelt de adviescommissie:

“Naar de mening van de Commissie dient een ventilatieminimum gebaseerd te zijn op onvermijdbare bronnen, te weten de mens zelf. De door de mens geproduceerde lichaamsgeurtjes blijken daarin maatgevend te zijn. De bestaande ventilatievoorschriften, die uitgaan van een minimum verse luchttoevoer van 25 m³/h per persoon, zijn gebaseerd op onderzoek naar de relatie tussen CO₂-concentratie en lichaamsgeurtjes dat reeds in 1936 werd gedaan door Yaglou en in het midden van de negentiende eeuw door Pettenkofer. Omdat ook op moderne leest geschied onderzoek naar CO₂ concentraties en hinder door lichaamsgeurtjes voor een minimum verse luchttoevoer van 25-35 m³/h per persoon pleit bij normale huiselijke activiteiten, adviseert de Commissie 25 m³/h per persoon aan te houden als minimum-capaciteit voor de in een woning aan te brengen ventilatievoorzieningen”.

Bij de uitgangspunten staat te lezen:

“De mens zelf wordt als enige verontreinigingsbron beschouwd. Alleen de CO₂- en geurstoffenproductie wordt bepalend geacht voor de ventilatie. Omdat CO₂- en geurstoffenproductie samengaan wordt op subjectieve gronden een CO₂ percentage van 0,10 of 0,15% in de woonruimte aanvaardbaar geacht. De ventilatie-eisen gaan uit van een minimum ventilatie van 25 m³/h per persoon (0,12% CO₂) per vertrek”.

Om een gezond binnenmilieu te realiseren is het niet voldoende om enkel te voldoen aan de regelgeving. Van de gebruiker van een woning of gebouw wordt verwacht dat deze een actieve rol speelt bij de realisatie van een gezond binnenmilieu. Als gevolg van de demografische ontwikkelingen is het van belang een onderscheid te maken tussen de verschillende groepen gebruikers, elk met hun eigen specifieke

noden. Naast kinderen (<20 jaar) vormen ouderen (>55 jaar) de belangrijkste risico groep [Koren LGH et al. 2002]. De gevoeligheid van ziekten varieert per leeftijd. Bij jonge kinderen is astma een van de belangrijkste chronische ziekten, tot 10% van de kinderen tot 6 jaar lijdt in enige mate aan astma, vergelijk met ongeveer 3% onder de gehele bevolking; COPD is een ziektebeeld dat vooral bij ouderen voorkomt, tot 15% bij de ouderen boven 65, en 'slechts' enkele procenten onder de gehele bevolking. Voor deze studie is desondanks de gemiddelde gevoeligheid genomen.

Vaak wordt voor het bepalen van de acceptatie van de totale kwaliteit van het binnenklimaat of een bepaald aspect ervan gebruik gemaakt van het percentage tevreden in een groep. Een grenswaarde van 70 tot 90% wordt vaak gehanteerd, afhankelijk van de beschouwde parameter¹. [ASHRAE 1999; Fanger PO et al. 1986; NEN-EN-ISO 7730 1996; prENV 1752 1997; Rijksgebouwendienst 1999]. Deze 70 tot 90% niet-klagers vormen de grootste groep van gebruikers. Het is aannemelijk dat deze grote groep de gezonde volwassenen omvat. De minderheidsgroep met aan het binnenmilieu (bouwkundige omgeving) gerelateerde klachten wordt zodoende genegeerd.

Ziekten die hoog scoren op de lijst van veelvoorkomende ziekten welke een relatie hebben met de bouwkundige omgeving zijn infecties, allergie/hyperreactiviteit, kankerachtige aandoeningen en chronische stress (inclusief thermisch en akoestisch uitgelokte beelden) [Bronswijk JEMH van et al. 1999; Ruwaard D et al. 1997]. Van deze ziekten zijn in dit onderzoek COPD² (Chronic Obstructive Pulmonary Disease), astma³ en longkanker meegenomen. Ook irritaties aan slijmvliezen (SBS klachten) en permanent hoge temperaturen in woningen worden in dit onderzoek waar mogelijk meegenomen.

Bij het kwantificeren van de gezondheidsrisico's gaat het in eerste instantie om het waarderen van de verschillende maatregelen waarmee een verlaging van de EPC wordt gerealiseerd. In eerdere studies zijn al maatregelen onderzocht die kunnen leiden tot een verlaging van de EPC, die bijna altijd worden gerealiseerd door een combinatie van verschillende maatregelen. Het is nodig om deze maatregelen te wegen in hun samenhang waarmee ze voor een woning zijn gekozen.

3.2 EPN-effecten

Voor de energieprestatie-eis voor woningen, bepaald met de NEN 5128 [NEN 5128 (nl) 2001], geldt momenteel het criterium EPC=1. De vraag is of een verlaging van de EPC - bij een overigens gelijkblijvend Bouwbesluit - extra gezondheidsrisico's inhoudt. Nu is de EPC de resultante van een berekening waarin allerlei bouwkundige en installatietechnische aspecten meespelen. De mogelijke combinaties zijn in principe erg groot. Het gaat erom die combinaties te vinden die voor de hand liggen. Deze combinaties moeten dan worden onderzocht op hun gezondheidsrisico. In tabel 1 staat de aanpak van deze methode weergegeven.

¹ Deze parameter kan bijv. zijn het thermisch binnenklimaat of de luchtkwaliteit.

² Chronische aandoeningen van de luchtwegen, betreffende chronische bronchitis en emfyseem, gekenmerkt door recidiverende klachten van hoesten, opgeven van sputum en/of kortademigheid.

³ Astma is een chronische ontsteking van de luchtwegen met vaak een allergische component.

In het ideale geval is een aanpak mogelijk zoals geschetst in tabel 1. In de praktijk zijn al combinaties gerealiseerd die een verlaging van de EPC opleveren. Hierop wordt in hoofdstuk 4 verder ingegaan.

Tabel 1. *Overzicht van de bouwkundige en installatietechnische aspecten die meespelen bij het gezondheidsrisico.*

		Combinaties die een bepaalde EPC opleveren						
Bouwtechnische aspecten	B1	x	x		x			x
	B2	x	x		x	x	x	
	...		x	x	x	x	x	x
	...		x	x		x		
	Bn	x		x	x	x		x
Installatietechnische aspecten	I1				x	x	x	x
	I2	x	x		x	x	x	
	I3		x	x	x			x
	...	x		x	x			
	...		x	x			x	x
	In	x		x		x	x	x
DALY	D1	D2	D3	D4	Dn	

3.3 Gezondheidsrisico's

In hoofdstuk 5 is een overzicht opgenomen met schattingen over de omvang van binnenmilieuproblemen en mogelijke gezondheidsrisico's in Nederland. Recente literatuur en inzichten worden gebruikt om een beeld te schetsen van de situatie in Nederland met betrekking tot de bronnen van vervuiling, de afvoer ervan en de gezondheidsklachten.

3.4 Kwantificeren van het gezondheidsrisico, DALY als kengetal

Een samengestelde gezondheidsmaat zoals de DALY, waarbij het gezondheidsverlies onder één noemer wordt gebracht, kan de vergelijking en interpretatie van beleid vergemakkelijken. Veelgebruikte samengestelde maten zijn tot nu toe: verloren levensjaren, verlies aan gezondheidsgewogen levensjaren (DALY) of kosten van aandoeningen.

In het DALY-construct zijn drie belangrijke aspecten van volksgezondheid verdisconteerd: het verlies aan levensduur door vroegtijdige sterfte gecombineerd met tijd doorgebracht in verminderde gezondheid, gestandaardiseerd naar de ernst hiervan.

Het gebruik van samengestelde maten zoals de DALY heeft als voordeel dat men risicofactoren kan vergelijken en beleidskeuzes kan vergemakkelijken (waar is de grootste gezondheidswinst te halen). Uit verschillende onderzoeken naar milieuge-relateerd gezondheidsverlies (hetzij in DALYS of geld) blijkt echter dat:

- de schattingen van het totale gezondheidsverlies cq kosten sterk uiteenlopen,
- de rangorde van de ernst van milieuproblemen enigszins afhankelijk is van de gekozen maat: De betalingsbereidheid (kosten van aandoeningen) is sterk afhankelijk van sterftecijfers, DALYs zijn gevoelig voor milde aandoeningen die grote bevolkingsgroepen treffen.

- Vooral leeftijd is een belangrijke factor van invloed op de gekozen maat en wordt ook verschillend meegewogen (bij de DALY heeft sterfte op jongere leeftijd een grotere impact dan vroegtijdige sterfte bij ouderen)

Bij de weging van ziekten en de berekening van de ziektelast volgens de DALY-methodiek wordt uitdrukkelijk niet de invloed van beleid en maatschappij meegenomen. Er is ook opzettelijk voor gekozen geen ander waarde-oordeel (zoals schade voor buitenmilieu door verbetering van binnenmilieu) mee te nemen.

In hoofdstuk 6 wordt de DALY-maat gebruikt om het gezondheidsrisico te kwantificeren. Er is een inschatting gemaakt welk deel van de ziektelast woninggerelateerd is, en dus zou kunnen worden beïnvloed door maatregelen in huis. Dit kunnen in principe zowel bouwkundige, installatietechnische als gebruikgerelateerde maatregelen zijn.

Voor een afweging van de ziektelast per EPC-variant wordt van de determinanten die de verschillende ziekten bepalen vastgesteld of er een verbetering of verslechtering optreedt en een inschatting gemaakt hoeveel dit zal zijn. Basis hiervoor is de variatie in ziekte(last) die vanuit de literatuur bekend is. Door een somming per variant kan duidelijk worden wat de winst of het verlies is in DALY van de keuze voor een bepaalde variant.

3.5 Resultaten/conclusies, de prijs van verlaagde EPC

In hoofdstuk 7 tenslotte worden de resultaten van het onderzoek besproken. Hier worden de consequenties aangegeven van een aanscherping van de EPC op de gezondheid cq de kwaliteit van het binnenmilieu, die redelijkerwijs op grond van de huidige kennis te verwachten zijn.

4 Maatregelen die de EPC kunnen verlagen

4.1 Inleiding

Bij de maatregelen spelen verschillende effecten een rol. Deze zijn onder te verdelen in:

- Gebouw aspecten:
 - o Consequenties van grotere thermische isolatiediktes voor detaillering (o.a koudebruggeffecten aansluitingen) en daarmee samenhangend de kritieke rol van luchtdichtheid en consequenties van lekstromen;
 - o De toenemende impact van de ventilatiecomponent en trends in ventilatie;
 - o Oriëntatie en glaspercentage (effecten in de zomersituatie);
 - o Effecten van thermisch hoogwaardig glas;
 - o De rol van afwerkmaterialen aan de binnenzijde van de schil, en daarmee samenhangende gevoeligheid voor groei van biologische organismen, alsmede emissies.
- Installatie aspecten:
 - o Installatie type voor warmteopwekking;
 - o Ventilatie installatie en warmte terugwinning (WTW) uit ventilatielucht;
 - o Zonneboiler (tapwater).

In de praktijk zijn al combinaties van de bouwkundige en installatietechnische maatregelen uitgevoerd waarmee een verlaging van de EPC⁴ is gerealiseerd. In bijlagen A en B zijn tabellen opgenomen met een overzicht van deze projecten met een EPC vanaf 0,5.

4.2 Huidige bouwpraktijk bij woningen met een EPC=1

De huidige bouwregelgeving is zodanig ingericht dat geen concrete maatregelen worden voorgeschreven (wel is er een bouwkundige basis-eis wat betreft de thermische isolatie en de luchtdichtheid), het Bouwbesluit stelt prestatie-eisen. Het staat ontwerpers vrij om naar eigen inzicht, onderbouwd via genormaliseerde bepalingmethoden of via een eigen berekening (gelijkwaardigheidbeginsel), aan deze eisen te voldoen.

In de praktijk blijkt echter, dat ondanks deze keuzevrijheid bij de huidige eis van EPC=1 met name door marktwerking een voorkeur bestaat voor bepaalde maatregelpakketten. Tabel 2 geeft de meest toegepaste maatregelen in woningen met een EPC van 1,0 in de huidige bouwpraktijk.

⁴ Deze berekening van de EPC is gebaseerd op de berekeningsmethodiek volgens de NEN 5128 versie december 2001. Het is nog onduidelijk of de voorgestelde nieuwe berekeningsmethodiek tot dezelfde waarde voor de EPC zal leiden.

Tabel 2: Algemeen toegepaste maatregelen in woningen die voldoen aan EPC=1.
Bron: [Bakker L et al. 2002]

categorie	Vaak toegepast bij EPC 1
bouwkundig	$R_c = 3,0 \text{ m}^2\text{K/W}$, HR ⁺⁺ -glas, verbeterde kierdichting (Basiseis voor wanden nu: $2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$)
verwarming / warm tapwater	HR-107 ketel (combiketel HR/CW)
ventilatie	Gebalanceerde ventilatie met hoogrendement warmteterugwinning

4.3 Combinaties van maatregelen voor een EPC ≤ 0,8

Uit de inventarisatie in [Bakker L et al. 2002] blijkt dat de strengere EPC-eis geleid heeft tot de toepassing van een aantal nieuwe additionele of vervangende technieken. Sommige maatregelen zijn daarbij populairder dan andere. In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de meest toegepaste maatregelen en van de incidenteel toegepaste maatregelen. Ter vergelijking zijn in tabel 3 tevens de 'standaard' maatregelen opgenomen ten behoeve van EPC=1. In de meeste EPC ≤ 0,8-projecten wordt een combinatie van 'standaard'-maatregelen en verdergaande maatregelen toegepast. In enkele van de projecten is de gunstige energieprestatie mede bereikt doordat de woningen zijn aangesloten op een stadsverwarmingnet.

Tabel 3: Veel toegepaste maatregelen in woningen met een lage EPC. Ten behoeve van EPC = 0,6 à 0,8 hoeft maar een deel van de onder EPC=0,5-0,8 genoemde maatregelen te worden opgenomen. Bron: [Bakker L et al. 2002].

	EPC = 1	EPC = 0,5 - 0,8 vaak toegepast	EPC = 0,5 - 0,8 incidenteel toegepast
bouwkundig	$R_c = 3 \text{ m}^2\text{K/W}$ HR ⁺⁺ -glas ($U_{\text{glas}} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) Standaard houten deuren Verbeterde kierdichting Alle oriëntaties	$R_c = 4 \text{ à } 5 \text{ m}^2\text{K/W}$ HR ⁺⁺ -glas ($U_{\text{glas}} = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$) Thermisch geïsoleerde buitendeuren zoals EPC=1 Noord-zuidoriëntatie	Thermisch geïsoleerde houten kozijnen Extra kierdichting Serre
Installatietechnisch			
- warmteopwekking	HR-107 ketel	Warmtepomp, vergrote zonneboiler	Miniwarmtekrachtkoppeling
- warmteafgifte	Radiatoren 90/70	Vloerverwarming, wandverwarming en/of vergrote radiatoren	
- warmtapwater	Combiketel HR/CW	Zonneboiler en/of combiwarmtepomp	Warmtepompboiler
- ventilatie	HR-warmteterugwinning	zoals EPC = 1	Vraaggestuurde mechanische afzuiging
- zonnecellen	Geen PV	PV	

4.4 Combinaties van maatregelen voor een EPC = 0,5

Bij een aantal projecten [Bakker L et al. 2002] is nagegaan met welke maatregelen een EPC van 0,5 zou zijn behaald. De betrokken woningen hebben in de uitgangspositie een energieprestatie tussen 0,65 en 0,8. In Bijlage B zijn de resultaten van die berekeningen gegeven. Uit de berekeningen komt naar voren dat bij deze woningen een EPC = 0,5 gerealiseerd kan worden met een combinatie van de maatregelen die genomen zijn bij de woningbouwprojecten met een EPC van gemiddeld

0,7. In Tabel 4 staan enkele voorbeelden van maatregelenpakketten waarmee een EPC van 0,5 behaald kan worden.

Tabel 4: Voorbeelden van maatregelenpakketten t.b.v. EPC = 0,5. Bron: [Bakker L et al. 2002].

categorie	maatregelenpakket woning 1	maatregelenpakket woning 2	Maatregelenpakket woning 3	Concept Anoniem *)
bouwkundig	Rc = 5 m ² K/W HR ⁺⁺ -glas (Uglas = 0,9 W/m ² K) thermisch geïsoleerde buitendeuren verbeterde kierdichting mogelijke (toekomstige) plaatsing van zonnecollectoren en zonnecellen			EPC < 0.7 t.a.v. warmteverliezen zonder actieve zonne-energie
Installatietechnisch				
- warmte-opwekking	HR107-ketel + vergrote zonneboiler	warmtepomp	warmtepomp + vergrote zonneboiler	HR 107 ketel
- warmte-afgifte	vloerverwarming, wandverwarming en/of vergrote radiatoren			Luchtverwarming met HR-WTW
- warmtapwater	zonneboiler en warmtepompboiler	zonneboiler en combi-warmtepomp	zonneboiler en combi-warmtepomp	via ketel
- ventilatie	vraaggestuurde mechanische afzuiging	vraaggestuurde mechanische afzuiging	HR-WTW	HR-WTW
- zonnecellen	enkele m ² PV	geen PV	enkele m ² PV	voldaks PV systeem (25 m ²)

*) Dit concept is anoniem gemaakt. Hier is sprake van een basis EPC van < 0,7 voor de woning zonder actieve zonne-energie. Dit kan alleen met een goed isolerende schil en goede kierdichtheid.

4.5 Maatregelen apart ter beperking van de EPC

Het overzicht in tabel 5 geeft een trend weer van de verlaging van de EPC als gevolg van verschillende mogelijke maatregelen. Hierin zijn geen combinaties van maatregelen bekeken. Deze tabel is gebaseerd op een onderzoek van DHV [Wichers Hoeth A et al. 2002]. De maatregelen die in dit onderzoek zijn besproken zijn kostenneutraal. Onder kostenneutraliteit wordt hier verstaan dat de energetische opbrengsten van een combinatie toereikend zijn om de kosten ervan te dekken binnen de levensduur van de maatregel.

Deze definitie zou verruimd kunnen worden door de kosten die samenhangen met het bestrijden, verminderen of voorkomen van ziekten en wellicht ook negatieve milieu effecten mee te wegen. Hiermee worden wellicht combinaties aantrekkelijk die dit eerst niet waren. Dit aspect wordt in het onderhavige onderzoek niet meegenomen.

In tabel 5 staan ook enkele maatregelen opgenomen uit een studie van G3 advies [Spruit FPM et al. 2002]. Uit de opvallende verschillen tussen de EPC effecten uit beide studies blijkt hoe gevoelig de berekening van dit effect kennelijk is voor de keuze van de referentiewoning.

In tabel 5 staan de maatregelen apart genoemd. In het algemeen is een combinatie van maatregelen nodig om een voldoende grote verlaging van de EPC te bewerkstel-

ligen. Het effect van de combinatie van maatregelen op de EPC is niet gelijk aan de som van de afzonderlijke effecten op de EPC. De verlaging als gevolg van een combinatie van maatregelen moet apart worden berekend met de in de NEN5128 gegeven methode.

Tabel 5: Overzicht van de verschillende maatregelen en hun EPC opbrengst (ΔEPC t.o.v. een referentie) voor de verschillende typen woningen [Spruit FPM et al. 2002; Wichers Hoeth A et al. 2002]. De cursieve getallen zijn uit Spruit et al.

maatregel	Woningtype (zie tekst)								
	EG plat	EG kap	Senior plat	Senior kap	Urban villa	Twee-kapper	portiek	galerij	vrij
Bouwkundig									
1 - vergroten isolatie (gevel, dak, vloer)									
RC = 3 m ² .K/W		0,04				0,03		0,04	
RC = 4 m ² .K/W	0,04	0,06 0,09	0,03	0,02	0,02	0,04 0,10	0,03	0,03 0,08	0,04
RC = 5 m ² .K/W	0,07	0,06 0,13	0,06	0,05	0,04	0,07 0,14	0,05	0,05 0,11	0,08
2 - HR ⁺⁺ glas									
Uraam = 1,5 W/m ² .K	0,05	0,03	0,04	0,03	0,06	0,04	0,06	0,02	0,05
Uraam = 1,7 W/m ² .K		0,07				0,11		0,13	
Installatietechnisch									
1 - verwarming									
- WP (diverse)	0,10 – 0,16	0,10 – 0,16	0,19 – 0,86	0,12 – 0,19	0,13 – 0,19	0,15 – 0,22	0,14 – 0,21	0,12 – 0,18	0,16 – 0,25
- vloerverwarming	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
- zonnecollectoren	0,13 – 0,26	0,10 – 0,19	0,15 – 0,22	0,10 – 0,18	0,17 – 0,25	0,08 – 0,15	0,17 – 0,25	0,18 – 0,25	0,08 – 0,15
2 - ventilatie									
- balansventilatie:									
effect HR WTW t.o.v. conventioneel	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
HR + kierdichting		0,28				0,26		0,28	
- vraaggestuurd (Vent-O-system*)	0,15 – 0,17	0,15 – 0,17	0,15 – 0,17	0,15 – 0,17	0,15 – 0,17	0,15 – 0,17	0,15 – 0,17	0,15 – 0,17	0,15 – 0,17
3 - warm tapwater									
- WP ventilatie	-0,01	-0,08	-0,21	-0,09	-0,01	-0,14	-0,13	-0,15	-0,11
- WP overig	-0,02	-0,04	-0,01	-0,04	-0,01	-0,04	-0,01	-0,01	-0,04
- zonneboiler	0,12 – 0,21	0,10 – 0,15	0,13 – 0,16	0,10 – 0,15	0,14 – 0,18	0,07 – 0,13	0,14 – 0,18	0,15 – 0,18	0,08 – 0,12

*) De hier gegeven inschatting van het effect op de EPC is door de fabrikant van het systeem gemaakt voor één woningtype (<http://www.alusta.nl/frame/system.htm>) en voor alle woningtypen in deze tabel gelijk verondersteld.

In de studie van DHV die ten grondslag ligt aan tabel 5 staan de volgende combinaties genoemd, afhankelijk van het woningtype:

1. *Eengezinswoning met plat dak*: gebalanceerde ventilatie met HR WTW + HR⁺⁺ glas + Rc dak = 5 m².K/W + vloerverwarming + Rc vloer = 4 m².K/W;
2. *Eengezinswoning met kap*: gebalanceerde ventilatie met HR WTW + HR⁺⁺ glas + Rc dak = 5 m².K/W + vloerverwarming;
3. *Seniorenwoning met plat dak*: gebalanceerde ventilatie met HR WTW + HR⁺⁺ glas + vloerverwarming;
4. *Seniorenwoning met kap*: gebalanceerde ventilatie met HR WTW + HR⁺⁺ glas + Rc vloer = 4 m².K/W + vloerverwarming;
5. *Twee onder een kap*: gebalanceerde ventilatie met HR WTW + HR⁺⁺ glas + Rc dak = 4 m².K/W + vloerverwarming + Rc vloer = 4 m².K/W;
6. *Vrijstaande woning*: gebalanceerde ventilatie met HR WTW + HR⁺⁺ glas + Rc vloer = 4 m².K/W + vloerverwarming;
7. *Urban villa*: gebalanceerde ventilatie met HR WTW + HR⁺⁺ glas + Rc dak = 5 m².K/W;
8. *Galerijwoning*: gebalanceerde ventilatie met HR WTW + HR⁺⁺ glas + Rc dak = 4 m².K/W;
9. *Portiekwoning*: gebalanceerde ventilatie met HR WTW + HR⁺⁺ glas + Rc vloer = 4 m².K/W;

De hierboven gebruikte combinaties lijken veel op elkaar. De combinaties zijn ook beperkt in die zin dat er maar één variatie in installatiemaatregel in voorkomt, namelijk vloerverwarming en dat overal balansventilatie is toegepast. De kostenneutraliteit die ten grondslag lag aan de keuzen heeft dit in de hand gewerkt.

4.6 Keuze van maatregelen en combinaties ten behoeve van dit onderzoek

Voor dit onderzoek zijn een aantal bouwkundige en installatietechnische maatregelen gekozen die als pakket in een aantal woningen zijn toegepast. Voor een deel betreft dit werkelijk gerealiseerde woningen.

In het kort is de indeling van de woningen als volgt

- een natuurlijk geventileerde woning (periode 1960-1980)
- een mechanisch geventileerde woning (periode 1970 – 1990),
- twee nieuwbouwwoningen volgens Bouwbesluit anno 2002 (EPC 1)
- drie daadwerkelijk gebouwde woningen EPC 0,8
- vier woningen EPC 0,5 op basis van een bestaand plan.

In hoofdstuk 6 wordt hier verder op ingegaan.

5 Gezondheidseffecten

5.1 Inleiding

Op basis van een reeks van onderzoeksgegevens is in het hoofdstuk Binnenmilieu [Passchier-Vermeer W et al. 2001] een overzicht opgenomen met schattingen over de omvang van binnenmilieuproblemen en mogelijke gezondheidseffecten in Nederland (tabel 6).

Tabel 6. Percentage woningen in Nederland met hinder en/of gezondheidseffecten en prevalenties van blootstelling (uit: [Passchier-Vermeer W et al. 2001])

Agens / factor	Prevalentie	Effect
geluid uit buurwoningen	tenminste maandelijks horen: in 76% van woningen	32% hinder (10% ernstig), slaapverstoring: 8% (3% ernstig)
geur uit buurwoningen	52% van woningen	
rioolucht	tenminste maandelijks ruiken: in 20% van woningen	hinder (4% ernstig)
tocht (4)	Tenminste maandelijks ruiken: in 9% van woningen	hinder (9% ernstig)
te warm ('s winters)	27% van woningen	hinder (6% ernstig)
te warm ('s zomers)	10% van woningen	hinder
te koud/ temperatuurhandhaving	onbekend	hinder, overlijden (van ouderen)
	18% van woningen	hinder, bij ca 65% ouderen (> 65 jaar) gevoeligheid voor hypothermie (onderkoeling) ontevreden
tekort aan daglicht	15% van woonkamers	ontevreden
ventilatie(mogelijkheden)	21% van woningen	ontevreden
zichtbare schimmelgroei	17% van woningen	hinder (7% ernstig)
vocht/vochtplekken	18% van woningen	hinder (4% ernstig) Indirect: sensibiliserend, allergische-, reumatische klachten
huisstofmijten > 100/g stof	80% van woningen	sensibiliserend, allergische reacties
te droog (ervaren)	Ca 20% van woningen	irriterend, luchtwegklachten
(zwevend) fijn-stof (< 10µm) >140 µg/m ³ /h	60% van woningen	verandering longfunctie, respiratoire aandoeningen, verergering astma, sterfte hart- en vaatziekte
NO ₂ > 150 µg/m ³ /24h	tabaksrook als voornaamste bron	veranderde longfunctie, verminderde afweer longstelsel
CO > 10 mg/m ³ /8h (2) [=WHO, Gezondheidsraad grenswaarde]	90% van woningen	verminderd uithoudingsvermogen bij fysieke inspanning; CO vergiftiging: ca 25 doden per jaar
CO ₂ > 1200 ppm [= grenswaarde] *)	Ca 5% van populatie niet-rokers	= indicator van onvoldoende ventilatie (slechte binnenluchtkwaliteit)
formaldehyde > 120 µg/m ³ /0,5h [=Nederlandse grenswaarde]	Ca 15% van woningen (in scholen >25%)	geurhinder, sensibiliserend, irriterend, luchtwegklachten, carcinogeen
benzeen > 12 µg/m ³ /jaar	10% van slaapkamers (niet-rokers)	carcinogeen, aantasting van functioneren beenmerg
(totaal van) vluchtige organische stoffen > 200 µg/m ³	2,5% van woningen (niet-rokers)	geurhinder, sensibiliserend, irriterend, luchtwegklachten, allergen, carcinogeen
ook wel: 300 µg/m ³ /0,5h	50% van woningen (in Duitsland) (12)	carcinogeen, 800 (100-1200) doden per jaar
ioniserende straling door de radioactieve afvalproducten van radon	0,5 mSv/jaar (13)	koorts, hoesten, longontsteking, ernstige buikklachten (> 25 000 per jaar)
<i>Legionella pneumophila</i> (in verneveld water)	Metingen in 400 woningen: in 23% wordt 60°C tapwater niet gehaald	sterfte: 35 (geregistreerd) – ongeveer 1000 (schattingen door experts) per jaar

*) Dit is de grenswaarde op basis van de huidige ventilatie-eis.

De omvang van de bevolkingsgroep met chronische luchtwegklachten is aanzienlijk. Momenteel lijdt 15-20% van de kinderen in Nederland aan een luchtwegziekte als gevolg van een allergie voor één of meer stoffen [Mackenbach JP et al. 1997b]. Soms verdwijnt of vermindert de allergie gedurende een bepaalde levensfase, maar slechts 20% van de mensen groeit geheel over een allergie heen. Naar verwachting zal het aantal mensen met COPD in Nederland tot 2010 met 35% toenemen: van 12 naar circa 16%. Daarmee komt COPD + astma, na gewrichtsslijtage, op de tweede plaats voor wat betreft de prevalentie van ziekten en aandoeningen en op de vijfde plaats als het gaat om verloren levensjaren (na coronaire hartziekten, beroerte, longkanker en borstkanker).

Bovengenoemde ontwikkeling lijkt nog eens bevestigd te worden uit een recent verricht onderzoek in een representatief deel van de Nederlandse woningmarkt waaruit bleek dat in één op de vijf huishoudens tenminste één persoon last heeft van COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease: chronische bronchitis en longemfyseem), astma en/of allergische aandoeningen [MarktTracé 2002].

In [ISSO et al. 2001] is voor het opstellen van eisen voor ontwerp of het beheer van nieuwe gebouwen of als checklist bij het saneren van bestaande gebouwen een pakket van samenhangende maatregelen beschreven die tot doel hebben woninggerelateerde gezondheidsklachten te voorkómen of te verminderen. Deze maatregelen zijn, complementair aan wat wettelijk is voorgeschreven, vooral bedoeld voor de bevolkingsgroep met chronische luchtwegproblemen, die níet gemiddeld en níet gezond is. Samengevat worden de volgende basiskennmerken van woningen genoemd die ‘gezond’ zijn voor mensen met allergische luchtwegklachten:

- droog
- warm en behaaglijk
- fris en hygiënisch
- gebruiks- en onderhoudsvriendelijk
- toegankelijk en aanpasbaar
- betaalbaar
- duurzaam en energiezuinig

5.2 Bronnen van vervuiling

Bronnen van vervuiling van het binnenmilieu zijn chemische, fysische en biologische agentia.

In het binnenmilieu komen naar schatting honderden chemische verbindingen voor. De meest schadelijke zijn stikstofdioxide (NO₂), koolmonoxide (CO), vluchtige organische stoffen (VOS), benzeen, PAK's, formaldehyde en fijn stof (PM₁₀). Tevens is voor het binnenmilieu de aanwezigheid en staat van asbest van belang.

Daarnaast kan in het binnenmilieu sprake zijn van ophoping van ioniserende straling van de radioactieve vervalproducten van radon en thoron die van nature voorkomen in de bodem en bouwmaterialen. Van de biologische agentia zijn vanuit het oogpunt van gezondheid is met name de allergene werking ervan van belang. Naast allergische en soms toxische effecten kunnen ook zogenaamde niet-allergische hyperreactiviteitsreacties optreden die worden veroorzaakt of versterkt door (relatief lage) concentraties of emissies van bepaalde (combinaties van) chemische agentia uit woninggerelateerde bronnen.

5.2.1 *Woning(biotoop)-gerelateerde allergenen*

Dit zijn vooral afvalstoffen van (huisstof)mijten, pissebedden, zilvervisjes en schimmels. Voor deze allergenen zijn basisvoorwaarden om te bestaan vooral

vocht (en bepaalde temperaturen. Ofschoon het percentage vochtige woningen de laatste decennia is afgenomen, werd in 1995 nog in ruim 15% van de Nederlandse woningen hinder ondervonden van vocht en schimmels. In 4% van de woningen ondervond men ernstige hinder [VROM 1998].

In vochtige woningen is bij kinderen de kans op astmaklachten een factor 1,5 tot 3,5 hoger dan in niet-vochtige woningen. Bij volwassenen is dit een factor 1,5 tot 2 [Mackenbach JP et al. 1997b]. Geschat wordt dat circa 80% van de allergische patiënten (mede) gesensibiliseerd zijn door de huisstofmijt en 45% door schimmelsporen.

Huisstofmijten voeden zich voornamelijk met huidschilfers van mens en dier, soms ook met schimmels. Optimale omstandigheden voor huisstofmijten zijn een waterdampconcentratie van 10 g.m^{-3} (bij een relatieve vochtigheid (RV) van 80% en een temperatuur van 15°C) tot 30 g.m^{-3} (bij een RV van 90% en een temperatuur van 33°C) [Adan OCG et al. 2000].

5.2.2 *Voedingsbodems voor schimmels*

Deze voedingsbodems (zoals *Aspergillus*, *Cladosporium* en *Epicoccum*) zijn met name hout, leer, (behang)papier, minerale wolvezels, organische materialen in coating en pleisters, de poreusheid van het materiaal, en vervuiling van ventilatie- en/of verwarmingsvoorzieningen. Voor oppervlakteschimmels zijn optimale omstandigheden een RV van de lucht aan het materiaaloppervlak van 90-100% (als ondergrens geldt een RV van 60-65% op zeer voedingsrijk materiaal), een temperatuur van $20\text{-}35^\circ\text{C}$, een pH waarde van 5-8 en een luchtsnelheid $< 5 \text{ cm/s}$. Voor een redelijk stabiel binnenklimaat (bijvoorbeeld in een slaapkamer) geldt, samengevat, dat de groei van oppervlakteschimmels afhangt van:

- de oppervlaktetemperatuur;
- de warmte-isolatie;
- de gemiddelde vochtigheid van de lucht in de ruimte;
- ventilatie;
- het afwerk materiaal

In ruimten met een fluctuerende vochtproductie, zoals in badkamers, is vooral de waterdampverspreiding in de lucht en de vochtopname en -afgifte door het afwerk materiaal van belang. De (warme) waterdamp wordt (onzichtbaar) opgeslagen in de decoratieve afwerking van pleisterwerk en verf en vormt, zelfs wanneer de lucht van de badkamer weer droog is, nog lange tijd (en mede afhankelijk van de schimmelgevoeligheid en poreusheid van de materialen) een gunstig klimaat voor schimmels. Anders dan in ruimten met een redelijk stabiel binnenklimaat is de warmte isolatie van de wanden hierbij niet of nauwelijks van invloed op de condensvorming.

5.2.3 *Voedingsbodems voor bacteriën*

Deze voedingsbodems zijn vaak dezelfde als die voor schimmels gelden. Spaanplaat is zo'n voedingsbodem, maar ook airconditioningsystemen en ventilatievoorzieningen (inclusief geluidwerende 'suskasten'). Met betrekking tot ventilatievoorzieningen zijn er aanwijzingen dat de vervuiling groot is. Uit onderzoek in een representatief deel van de Nederlandse woningvoorraad is gebleken dat in bijna de helft van de huishoudens (48%) ventilatievoorzieningen (zoals roosters) en systemen nooit zijn of worden schoongemaakt, noch filters worden vervangen. In ongeveer 10% van de woningen is dit meer dan 3 jaar geleden gebeurd [NIOSH 1991]. Recent onderzoek in 28 maximaal drie jaar oude woningen (de helft met balansventilatie) lijkt deze constatering te bevestigen. In 5 van de 14 woningen met balansventilatie was het langer dan een jaar geleden dat de filters waren schoongemaakt.

In de meeste van woningen met mechanische afzuiging was dit nog nooit gebeurd [Meijer G et al. 2002]. Uit een in 1989 verricht onderzoek is geconstateerd dat (afhankelijk van richting en lichtsnelheid) de concentratie fijne stofdeeltjes door opwerveling bij de invoeropeningen hoger kan zijn dan elders. Maar het aantal zeer kleine stofdeeltjes en allergenen bleek niet hoger te zijn dan in woningen met radiatoren [Kornaat W 1989]. Uit de analyse van de uitkomsten van [MarktTracé 2001] bleek er, naast vervuiling en verkleuring bij de luchtinlaatroosters, wel sprake te zijn van een licht verschil (net niet significant bij $p < 0,05$) in door de bewoners ervaren 'stoffigheid' te zijn tussen woningen met balansventilatie en luchtverwarming en woningen met mechanische afvoer en radiatoren (zie tabel 7) [Steenbekkers JHM et al. 2002]. Ook scores woningen met balansventilatie in combinatie met verwarming slechter voor wat betreft hinder door geluid (door de ventilator(en)), tocht (uit de toevoerkanalen), 'te droog' ervaren lucht, een te hoge temperatuur, temperatuurverschillen tussen voet- en hoofdhoogte, kookluchtjes van burens, open haarden of houtkachels in de buurt en geur van het wegverkeer. Uit een recent onderzoek waarbij metingen zijn verricht in 28 maximaal drie jaar oude woningen en appartementen, waarvan de helft met mechanische afvoer en de andere helft met gebalanceerde ventilatie, bleek dat in de appartementen met balansventilatie (seniorenwoningen) de temperatuur in de slaapkamers hoger is. Dit geldt ook voor het ventilatorgeluid (tot 45 dB(A) in een slaapkamer) en voor de hoeveelheid stof op de filters [Meijer G et al. 2002]. Geen verschil in meetresultaten tussen de woningen met mechanische afvoer en met gebalanceerde ventilatie is gevonden voor wat betreft de luchtvochtigheid (in geen van de woningen > 60% in de onderzoekswEEK (in winter)), lichtsnelheid, micro-organismen (endotoxinen, glucanen en extracellulaire polysacchariden (EPS); gecontroleerd op vloerbedekking). De appartementen met balansventilatie (niet in de eengezinswoningen met dit systeem) scoorden beter voor wat betreft de ventilatie en de radonconcentratie (ofschoon op basis van alle woningen geen correlatie is gevonden tussen radon en het gemeten ventilatievoud). Uit het onderzoek van [Meijer G et al. 2002] werden tevens bevindingen uit eerder onderzoek [Dongen JEF van 1985; ISSO 1995; Steenbekkers JHM et al. 2002] bevestigd dat balansventilatiesystemen moeilijker te bedienen zijn en kwetsbaar zijn voor storingen en tekortkomingen. Zo bleek een klep niet gesloten te zijn na schoonmaken, een warmtewisselaar scheef te zijn gemonteerd waardoor er een verbinding was tussen in- en uitgaande lucht. Verder geldt dat als het systeem uitvalt de woning onvoldoende ventilatiemogelijkheden biedt omdat 'normale' ventilatieroosters ontbreken. Een balansventilatiesysteem blijkt in de praktijk ook zeer gevoelig te zijn voor bevriezing bij temperaturen $< -10^{\circ}\text{C}$.

5.2.4 *Endotoxinen*

Een microbiologische bron in het binnenmilieu waarbij het vochtgehalte in de woning ook van invloed is zijn endotoxinen. Dit zijn bestanddelen van de celwand van zogenaamde Gram-negatieve bacteriën. Ze kunnen bij chronische blootstelling allergische en ontstekingsreacties teweeg brengen, met name aan de luchtwegen, maar ook oogirritaties en bovenmatige vermoeidheidsklachten veroorzaken. Vochtige voedingsrijke plekken in woningen zoals GFT-afvalbakken, maar ook luchtbevochtigers en waterreservoirs (radiator waterbakjes) kunnen bronnen zijn van deze 'vochtminnende' bacteriën. De endotoxinen komen vrij als deze bacteriën sterven en dit gebeurt bijvoorbeeld als ze terecht komen in een relatief droge leefomgeving, bijvoorbeeld in de lucht of droog huisstof in een goed verwarmde woonruimte.

Uit recente metingen in een steekproef uit een landelijk representatieve woningvoorraad (op basis van het bestand van [MarktTracé 2002]) blijkt dat de temperatuur in woningen gemiddeld hoger is dan tot dusver is aangenomen; zelfs met stookseizoengemiddelden van $> 20^{\circ}\text{C}$ [Gids de WF et al. 2003]. Verder blijkt dat

met name in de goed geïsoleerde woningen met balansventilatie verschillen in temperatuur tussen woonkamers en slaapkamers klein zijn [Meijer G et al. 2002]. Relatief hoge binnentemperaturen, gecombineerd met een relatief lage RV en 'stofberoerende' activiteiten als stofzuigen of stof afnemen kunnen behalve van endotoxinen en antigene afvalstoffen van de huisstofmijt ook de verspreiding van schimmelsporen veroorzaken. Sporen van schimmels komen juist vrij wanneer het droger wordt, zoals bij invallende vorstperiodes. Met te droge omstandigheden worden, behalve last van dorst en een droge mond, ook geassocieerd (tijdelijke) specifieke gezondheidsklachten als slijmvliesirritatie aan neus, keel en ogen, (jeuk)problemen met een te ruwe huid en neus- en keelinfecties.

Een grenswaarde voor relatieve vochtigheid waarbij klachten over te droge lucht gaan optreden is niet nauwkeurig aan te geven, maar ligt ergens in het gebied van 30 en 40% wanneer klachten van droge huid (dermatoses) en ogen worden beschouwd. Klachten over 'te droge lucht' hangen niet uitsluitend af van de waarde van de RV, maar ook van de temperatuur (hoe hoger, des te droger) en van de aanwezigheid van zwevende (fijne) stofdeeltjes in de lucht, bijvoorbeeld afkomstig van tabaksrook of van buitenbronnen. Deze kunnen de 'te droog' perceptie versterken. Deze deeltjes blijken dieper in de longen door te dringen naarmate de RV lager is. Personen die last hebben van COPD en/of astma en van eczeem zijn ook gevoeliger voor 'droge lucht' [Bronswijk JEMH van et al. 1994; Snijders MCL 2001].

Een hoge binnentemperatuur vormt ook een ideale omstandigheid voor onder meer (allergene) plaagdieren zoals kakkerlakken en faraomieren.

Hoge binnentemperaturen in combinatie met niet thermisch geïsoleerde leidingsystemen kunnen ook een bevorderende factor zijn voor de *Legionella* (pneumophila) bacterie in koud (lauw)-waterleidingsystemen. Bij een watertemperatuur van 35-42°C vermeerderd deze bacterie zich het snelst. In warmwaterleidingen moet een watertemperatuur van hoger dan 60°C kunnen worden gerealiseerd om deze bacterie snel te kunnen doden. Steekproeven in Duitsland en Nederland geven een aanwijzing dat een tapwatertemperatuur van hoger dan 60°C zeer vaak (in 20-50% van de gevallen) niet wordt gehaald [Dongen JEF van et al. 1993; Hasselaar E 2001].

Uiteraard zijn naast bovengenoemde woning(biotop)-gerelateerde bronnen ook huisdieren, plaagdieren en planten (potaarde) belangrijke bronnen van allergenen in woningen.

5.2.5 *Woning-, en woninggebruik gerelateerde bronnen*

Ioniserende straling

In woningen gebouwd na 1980 is de radonconcentratie gemiddeld 50% hoger dan in eerder gebouwde woningen. In deze 'nieuwe' woningen is 70% van de concentratie van radon het gevolg van emissies uit bouwmaterialen. Verwacht wordt dat de gemiddelde concentratie in de toekomst nog ongeveer 10% zal stijgen [RIVM 2000]. Deze stijging is voor het grootste deel toe te schrijven aan de aangebrachte materialen (beton- en steenachtige) in combinatie met een verbeterde kierdichting en luchtdichtheid van gebouwen. Voorheen zorgden de kieren door hun ongestuurde luchtverversing voor een bepaalde verdunning van de verontreiniging in de binnenlucht. Naast een bewuste materiaalkeuze komt er hierdoor ook meer nadruk te liggen op bewonersgedrag i.v.m. het bewust ventileren. In het meest recente rapport van de Gezondheidsraad over radon wordt geschat dat 100 tot 1200 (puntschatting: 800) gevallen van longkanker per jaar zijn toe te schrijven aan het inademen van de vervalproducten van radon en thoron [Gezondheidsraad 2000a]. Uit een nadere beschouwing van het gebruikte model is door RIVM geconcludeerd dat een aantal van 300 doden waarschijnlijker is [Leenhouts 2001]. Vooral rokers lopen een risico

omdat roken en blootstelling aan radon elkaar lijken te versterken bij het teweegbrengen van longkanker.

Vluchtige Organische Stoffen (VOS)

Woning-gerelateerde bronnen van vluchtige organische stoffen (VOS) zijn minerale vezels, isolatieschuim, hout en houtvezelplaten, anorganische bouwmaterialen (gips, cement, baksteen), verven en lakken en bouwlijmen en voeg- en afdichtkitten. Om zogenaamde chemo-sensorische waarnemingen zoals geur en prikkeling van het neusslijmvlies en van de ogen te beperken wordt door de Gezondheidsraad een maximale concentratie VOS van $0,2 \text{ mg/m}^3$ aanbevolen als advieswaarde [Gezondheidsraad 2000b]. Ofschoon geen goed beeld bestaat over blootstelling in woningen aan Totaal VOS (een overschrijding in 50% van de woningen van de advieswaarde is mogelijk), kan worden aangenomen dat in nieuwe goed geïsoleerde gebouwen de concentraties hoger zijn dan in oudere gebouwen. Toluëen, limoneen en xylenen zijn VOS'en uit bouwmaterialen, die de hoogste bijdrage leveren aan TVOS; en daarnaast n-decanen uit de PVC-rug van vloerbedekking.

Speciale (carcinogene en soms ook genotoxische) risicostoffen zijn onder meer Ftalaatesters (weekmakers in plastics, verven en lijmen) en pentachloorfenol (houtverduurzamingsmiddel) en broomhoudende verbindingen (bijvoorbeeld in brandvertragers in TV's, PC's, etc). Bronnen van benzeen zijn tabaksrook en het verkeer (inclusief geparkeerde auto in drive-in woning).

Formaldehyde

Een belangrijke bron van formaldehyde (HCHO) zijn (naast tabaksrook en emissies uit inrichtingsmaterialen, kleding, gordijnen) bouwmaterialen (zoals spaanplaat). Blootstelling aan formaldehyde leidt reeds bij vrij lage concentraties (vanaf $0,1 - 2,5 \text{ mg/m}^3$) tot (slijmvlies)irritatie aan de ogen, neus en keel, een 'warm' gevoel op de gezichtshuid, droge huidklachten, eczeem en irritatie aan de (bovenste) luchtwegen [Maroni M et al., eds. 1995]. Wat de concentratie van HCHO is in Nederlandse woningen, is niet bekend. Geschat is dat in circa 10% van de slaapkamers de grenswaarde van $0,12 \text{ mg/m}^3$ gemiddeld over 30 min. wordt overschreden. In de verschillende Europese landen varieert de concentratie tussen $0,05$ en $0,15 \text{ mg/m}^3$. Aangenomen wordt dat in nieuwbouw de emissie van formaldehyde uit bouwmaterialen beperkt is.

Emissies van chemische agentia zoals formaldehyde zijn doorgaans sterker uit vochtig materiaal dan uit droog materiaal. Zo blijkt door bijvoorbeeld optrekkend vocht of lekkages vochtig geworden isolatiemateriaal (UF-schuim, glas-, steenwol) in versterkte mate aldehyden, waaronder formaldehyde, te kunnen emitteren.

(Fijn) Stof

De 'stoffigheid' van een woning wordt voor een groot deel bepaald door huishoudelijk gedrag. Een aanzienlijk deel van fijn stof is afkomstig van het verkeer en van tabaksrook. Maar ook kunnen door gebruik en andere omstandigheden aangetaste bouwmaterialen (pleisterwerk) bronnen zijn van stof. Het werken met MMMF-vezels (steenwol, glaswol), dus niet als ze 'in ruste' zijn, leidt ook tot irriterende klachten (slijmvliesirritatie, jeuk).

Geluid

Geluid kan in woningen ook in aanzienlijke mate hinder en onder meer slaapverstoring veroorzaken. Woninggerelateerde geluidbronnen zijn met name de geluidisolatie t.o.v. buiten (buitenbronnen als weg-, rail- en vliegverkeer), belendende woningen en binnen woningen, alsmede mechanische ventilatiesystemen en verwarmingsinstallaties.

Geluidhinder uit buurwoningen (zie: [Dongen JEF van et al. 1998]) en geluidhinder en geurhinder afkomstig van buitenbronnen kunnen beiden aanzienlijke invloed hebben op het ventilatiegedrag van de bewoners: in circa 30% van de woningen in Nederland worden regelmatig ramen dicht gehouden vanwege geluid van het weg-, vlieg- of railverkeer, of buurtgenoten en in circa 10% van de woningen gebeurt dit door geurhinder [Passchier-Vermeer W et al. 2001]. Met betrekking tot de kwaliteit van de binnenlucht is het relevant te weten dat bij een geluidimmissie (in de woonkamer) van 30 dB(A) door een ventilator in lage stand reeds in circa 25% van de woningen hinder wordt ondervonden. Bij 34 dB(A) is dit het geval in circa 40% van de woningen [Dongen JEF van 1984]. Bij een achtergrondgeluid van 30 dB LAeq,8h blijken (onbewuste) slaapverstoringseffecten (verandering van slaapstadia, reductie van de REM slaap) reeds meetbaar te zijn [Berglund B et al. 2000]. Bij laag frequent geluid kan dit bij nog lagere niveaus het geval zijn. Deze verstoring kan, in het bijzonder bij kwetsbare groepen leiden tot chronische vermoeidheid en psycho-fysiologische effecten zoals verandering van stress hormoon niveaus en magnesium niveaus in het bloed, en verhoging van bloeddruk en hartslag.

Uit onderzoek in recent gebouwde kierdichte energiezuinige woningen met mechanische afvoer blijkt dat in 13% van de woningen altijd of vaak en in 38% soms hinder wordt ondervonden door het geluid van de ventilator. In woningen met een balansventilatiesysteem zijn deze percentages respectievelijk 28 en 37% [MarktTracé 2001]. Ten gevolge van dit geluid zegt 11% van de respondenten in woningen met mechanische afzuiging en 17% van de respondenten in woningen met gebalanceerde ventilatie minder te ventileren dan ze wensen. In de landelijk representatieve woningen met een mechanische afzuiging bleek dat 7% minder ventileerde dan gewent werd vanwege het geluid van de ventilator [MarktTracé 2002]. Overigens stond dit systeem in 17% van de woningen overdag uit en 's nachts in 24% van de woningen. Voorts blijkt uit [MarktTracé 2002] dat in 11% van de doorsnee Nederlandse woningen minder wordt geventileerd door het geluid in ventilatieroosters dat wordt veroorzaakt door winddruk (zoals fluiten, rammelen). Uit een landelijk onderzoek van de Woonbond blijkt dat in 11% van de woningen de mechanische afzuiging volgens de bewoners goed werkt maar daarbij, ook in lage stand en middenstand, wel te veel lawaai maakt. In 7% van de woningen wordt de mechanische afzuiging uitgeschakeld vanwege lawaai [Woonbond 2002].

NO₂

Bronnen van NO₂ zijn geisers (in Nederland 1,1 miljoen, de helft afvoerloos), (open) verwarmingsinstallaties, gasfornuizen en de buitenlucht, bepaald door onder meer het verkeer, maar ook door de emissies uit de afvoerkanalen van (de eigen-, en buur-) woningen. Te hoge NO₂ concentraties hebben invloed op de longfunctie en kan tot luchtwegklachten en een verminderde afweer van het longstelsel leiden. Vooral kinderen blijken hiervoor gevoelig te zijn. Uit dierproeven zijn er aanwijzingen dat blootstelling aan NO₂ concentraties het immuunsysteem zou kunnen beïnvloeden [Björkstén B et al. 1992]. Geschat wordt dat in zeer veel woningen (90%) de gezondheidkundige grenswaarden van maximaal 0,15 mg/m³/24 uur die door de WHO voor de binnenlucht wordt gehanteerd, wordt overschreden. Voor de buitenlucht geldt [Europese Raad van ministers 1999] overigens een aanzienlijk lagere grenswaarde, die op veel plaatsen in Nederland niet realiseerbaar zal zijn: 0,04 mg/m³/jaar.

CO

De oorzaak van een te hoge koolmonoxide (CO) concentratie is onvoldoende zuurstoftoetreding tot een verbrandingsinstallatie (geiser, verwarmingsketel, 'allesbranders', open haarden), veelal doordat deze vervuild zijn of doordat de toevoer van

zuurstof onvoldoende is. Onderdruk in ruimten van woningen door mechanische afvoer van binnenlucht terwijl onvoldoende lucht van buiten wordt aangevoerd door bijvoorbeeld afsluiting van ventilatiekanalen en kierdichte woningen versterkt dit risico (overigens geldt dit ook voor andere verontreinigende gassen, zoals NO₂ en radongas uit de kruipruimte). Geschat is dat in 10% van de woningen van niet-rokers de gezondheidskundige grenswaarde van 10 mg/m³/24uur wordt overschreden. Dit leidt tot aantasting van het haemoglobine (Hb) gehalte in het bloed en daardoor een hoge mate van vermoeidheid, verminderd uithoudingsvermogen, hoofdpijn, misselijkheid, cardiovasculaire aandoeningen en in het uiterste geval tot overlijden door CO vergiftiging (in Nederland circa 25 doden per jaar).

Bronnen van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) zijn (behalve het roken) met name houtkachels en open haarden, voedselbereiding en de buitenlucht (verkeer, open haarden van burens). PAK's hechten zich aan fijne stofdeeltjes en versterken (en wellicht veroorzaken) COPD en astmaklachten. In principe zijn ze ook carcinogeen.

5.2.6 Hinder

Terwijl tabel 6 in §5.1 een overzicht biedt met schattingen over de omvang van binnenmilieuproblemen en mogelijke gezondheidsrisico's op landelijk niveau, worden in tabel 7 uitkomsten gegeven van recent verrichte onderzoeken [MarktTracé 2001; MarktTracé 2002], met vergelijkbare gegevens uit eerdere onderzoeken.

Tabel 7. Binnenmilieu problemen (in percentages woningen)

	[Steenbekkers JHM et al. 1997] Nrd Holland N	[MarktTracé 2001] (EPC < 1,2)		[MarktTracé 2002] landelijk huur	[VROM 1997] landelijk (KWR)
		balans	mech.afz.		
muffe lucht	15	11	14	19	-
droge lucht	19	41	35	18	-
stoffige lucht	-	47	40	30	-
tocht (uit ramen, vent.roosters) / inblaasventiel)	21	17/42	53	30	27
schimmel	12	6	9	24	17
condensatie op ramen	(34)	15	18	30	-
geluidhinder ventilator	7 vaak 3 altijd	12 vaak 16 altijd	7 vaak 6 altijd	9 vaak 8 altijd	-

Uit tabel 7 kan worden afgeleid dat in de meest kierdichte en geïsoleerde woningen (de woningen waarvan wordt aangenomen dat ze de laagste EPC hebben), deels met mechanische afvoer, deels met gebalanceerde ventilatie, aanzienlijk meer hinder wordt ondervonden door tocht, droge lucht en stoffige lucht en minder sprake is van schimmel en condensatie op ramen. Ook wordt in met name in de woningen met balansventilatie [MarktTracé 2001] vaker geluidhinder ondervonden.

5.3 Afvoer van vervuiling

Allereerst wordt in deze paragraaf aandacht gegeven aan de belangrijkste parameter in het kader van de binnenluchtkwaliteit: de ventilatie. In §3.1 is al aangegeven waarop het huidige beleid van de overheid is gebaseerd en welke ventilatie-eis ten grondslag ligt aan de regelgeving.

5.3.1 Ventilatie

De uitgangspositie voor de ventilatie-eisen in de regelgeving [Gezondheidsraad 1984] zoals beschreven in §3.1 is van 1984. In de afgelopen 20 jaar is veel onderzoek gedaan op dit terrein en zijn de inzichten in de relatie tussen verontreinigingen in het binnenklimaat en de effecten op de gezondheid te nuanceren:

Met de introductie van de olf en de decipol gaf Fanger et al. [Fanger PO et al. 1988; Fanger PO 1988] inzicht en een gereedschap om ook andere emissies dan die van de mens zelf te verdisconteren in de berekening van de luchtkwaliteit. Het betrof hier weliswaar sensorisch onderzoek maar duidelijk werd dat bronnen anders dan de mens zelf een bijdrage leveren aan de vervuiling van de binnenlucht. Deze bronnen zijn niet altijd vermijdbaar, denk hierbij aan meubilair en vloer- en wandbekleding welke als gevolg van de toename van de vochtigheid binnen een goede plaats vormen waar micro-organismen kunnen groeien en allergene stoffen produceren die in de binnenlucht terechtkomen. Afvoeren van vocht heeft een tweeledig voordeel, (1) met de lucht verdwijnt tevens in de lucht verblijvende allergene verontreiniging uit de ruimte en (2) de micro-organismen zullen worden geremd in hun groei, hoewel het lokale effect van koudebruggen voor de groei van micro-organismen voornamelijk temperatuur gerelateerd is.

In de afgelopen 20 jaar is ook veel onderzoek gepubliceerd naar de relatie tussen de concentratie van CO₂ - als marker voor luchtverontreiniging - in de binnenlucht en de invloed hiervan op de gezondheid. CO₂ is afkomstig van mens, dier en plant, en van verbrandingsgassen en kan als maat dienen voor de totale luchtvervuiling in huis.

In bijlage C van het het GCW onderzoek uit 1997 [Luxemburg LCJ van et al. 1997] is aandacht besteed aan de veranderende inzichten inzake het te hanteren criterium voor de CO₂ concentratie in de binnenlucht. Ook in het ISIAQ-CIB TG 42 rapport [ISIAQ-CIB Task Group TG42 2003] wordt voor de CO₂ concentratie, als marker voor luchtverontreiniging, criteria gegeven die, afhankelijk van de ruimte en activiteit tussen 600 en 900 ppm⁵ liggen. Op basis van bovenstaande zou tegenwoordig een marge in het CO₂ criterium kunnen worden gehanteerd van 0,06 tot 0,08% (600 tot 800 ppm). Onder verder gelijke beleidsuitgangspunten als die de Gezondheidsraad in 1984 gebruikte, zou de ventilatie per persoon per vertrek op basis van de hierboven gegeven marge in CO₂ concentratie nu uitkomen op 45 tot 80 m³/h (12 tot 22 dm³/s) in plaats van 25 m³/h (7 dm³/s) nu. Deze marge is te differentiëren naar bevolkingsgroep zoals deze zijn onderscheiden in §3.1. Voor de meest gevoelige groep zou het criterium van 600 ppm kunnen gelden, voor de groep ouderen en kinderen 700 ppm en voor de gezonde volwassenen 800 ppm.

Interessant is in dit kader dat Pettenkofer al in 1858 [Pettenkofer M 1858] op basis van eigen onderzoek schreef dat een concentratie van 1000 ppm als hygiënische grenswaarde geldt:

“Aus diesen Versuchen geht zur Evidenz hervor, dass uns keine Luft behaglich ist, welche in Folge der Respiration und Perspiration der Menschen mehr als 1 pro mille Kohlensäure enthält. Wir haben somit ein Recht, jede Luft als schlecht und für einen beständigen Aufenthalt als untauglich zu erklären, welche in Folge der Respiration und Perspiration der Menschen mehr als 1 pro mille Kohlensäure enthält.”

⁵ ppm staat voor ‘parts per million’. In dit geval zijn het volume delen, waardoor bijv. 1000 ppm overeenkomt met 0,1 volume procent of 1 pro mille.

In zijn (Pettenkofer) onderzoek naar de noodzakelijk ventilatie in vertrekken schreef hij:

“...und der Kohlensäuregehalt einer guten Zimmerluft nach den oben angegebenen Untersuchungen durchschnittlich nicht über 0,7 pro mille.

...Wenn ein Mensch stündlich 300 Liter Luft in einem Zimmer ausathmet, so müssen demselben in dieser Zeit 60 Cubikmeter frischer Luft zugeführt werden. – So enorm diese Menge erscheint so hat sie sich in der Praxis dennoch als unumgänglich nothwendig und als richtig bemessen erwiesen.”

De huidige, minimale afvoercapaciteit-eis uit het Bouwbesluit ($42 \text{ dm}^3/\text{s}$) is - uit het oogpunt van gezondheid - in de ogen van de onderzoekers dan ook een absoluut minimum voor gezonde volwassenen: Bij een bezetting van de woning van 3 gezonde personen zou volgens de hierboven gegeven gewenste situatie voor ventilatie $36 \text{ dm}^3/\text{s}$ nodig zijn. Of met deze hoeveelheid ventilatie ook in voldoende mate vocht wordt afgevoerd als gevolg van wassen, gebruik van de badkamer, keuken etc. is nog niet duidelijk. Wanneer het 3 personen betreft uit de hoogste risico groep zou voor ventilatie meer dan $66 \text{ dm}^3/\text{s}$ nodig zijn. De recent over een stookseizoen gemeten gemiddelde ventilatie van $58 \text{ dm}^3/\text{s}$ [Gids de WF et al. 2003] zou voor 3 personen uit de hoogste risicogroep minstens de ondergrens aangeven voor de noodzakelijke ventilatie in de woning. Het hier geschetste beeld geeft weer welk ventilatieprobleem in het huidige woningbestand in Nederland speelt.

Dat deze materie weerbarstig is en op weerstand zal stuiten is ook niet nieuw. In de 19^{de} eeuw schreef Pettenkofer in zijn boek:

“Ich weiss allerdings, dass ich viel verlange, viel mehr als man für alle Fälle vorläufig wird leisten wollen und können; aber ich kann nicht umhin, dem, was ich für eine wichtige Wahrheit halte, seinen vollen und ungeschminkten Ausdruck zu geben.”

5.3.2 Ventilatiecapaciteit

Uiteraard bepaalt de ventilatiecapaciteit van woningen in hoge mate de kwaliteit van het binnenmilieu. In het Bouwbesluit zijn hierover voorschriften opgenomen. Zo geldt voor een keuken een (vaak mechanisch aangestuurde) afzuigcapaciteit van $21 \text{ dm}^3/\text{sec}$ (of $75 \text{ m}^3/\text{uur}$), voor een badkamer $14 \text{ dm}^3/\text{sec}$ (of $50 \text{ m}^3/\text{uur}$) en voor een wc $7 \text{ dm}^3/\text{sec}$ (of $25 \text{ m}^3/\text{uur}$).

In twee onafhankelijk van elkaar verrichte onderzoeken die (elk met circa 900 respondenten) representatief worden geacht voor het Nederlandse huurwoningenbestand, zijn aan de bewoners vragen gesteld over de kwaliteit van de ventilatie. Uit [MarktTracé 2001; MarktTracé 2002] blijkt dat men in 5% zeer ontevreden is over de toevoer van verse lucht en in 25% ontevreden. Verder is men in 13% van de woningen zeer ontevreden over de afzuiging (vanuit keuken, toilet en badkamer) en in 42% is men daarover ontevreden. In een onderzoek van de Woonbond is sprake van 34% van de woningen die matig tot zeer slecht scoren voor wat betreft de ventilatiemogelijkheden [Woonbond 2002]. De ventilatiemogelijkheid van de woonkamer (afvoer) wordt aan de hand van een toetslijst over aanwezigheid en eigenschappen van voorzieningen (ventilatioorosters, ramen, mechanische afzuiging) door de bewoners beoordeeld als zeer slecht in 10% en matig tot slecht in 54% van de woningen. Voor de slaapkamers zijn deze percentages respectievelijk 17% en 42% en voor de keukens 49% en 16%. In 26% van de badkamers is sprake van een zeer

slechte ventilatietoever omdat er geen sprake is van een rooster in de deur of spleet onder de deur. De mechanische afvoer in de keuken is volgens de criteria van de toetslijst in 26% van de woningen zeer slecht en in 49% matig tot slecht. Tenslotte blijkt dat in 13% van de woningen een open CV-ketel of badgeiser aanwezig te zijn die zijn toevoerlucht van een zolder haalt zonder luchttoever.

Uit metingen in de praktijk blijkt dat de hiervoor genoemde vereiste volumestromen veelal niet worden gehaald. In totaal voldoet, zo wordt door de Woonbond geconcludeerd, bijna tweederde van de huurwoningen (inclusief particuliere verhuur) in Nederland op tenminste één onderdeel niet aan de benodigde ventilatiecapaciteit die in het Bouwbesluit voor bestaande woningen als vereiste is aangegeven. Zo voldoen de toiletafvoer in 37% van de woningen, de af- en toevoer van de woonkamer in 27%, de badkamertoevoer in 22% en de keukenafvoer in 21% van de woningen niet aan de eisen.

Uit een steekproef uit een landelijk representatieve woningvoorraad (op basis van het bestand van [MarktTracé 2002]) bleek dat in circa 60% van de 100 woningen de totale mechanisch afgevoerde volumestroom van 42 dm³/sec niet werd gehaald [Gids de WF et al. 2003]. En uit metingen in 28 maximaal drie jaar oude kierdicht en goed geïsoleerde woningen (gestapeld en eengezins, en elk voor de helft voorzien van gebalanceerde ventilatie) bleek dat in 84% van de woningen de ventilatie-eis uit het Bouwbesluit niet werd gerealiseerd (alleen in seniorenappartementen met balansventilatie was dat wel het geval). Ook uit metingen van de concentratie CO₂, als maat voor de effectieve ventilatie, komt naar voren dat de grenswaarde⁶ (P98 < 1000 ppm) in veel woningen wordt overschreden. Bij het niet halen van de voorgeschreven afzuigcapaciteit is in 6 van de 7 (86%) woonkamers te veel CO₂ gemeten [Meijer G et al. 2002]. Ook uit ander onderzoek is gebleken dat voor het grootste deel van de bewoners de luchtkwaliteit in de winterperiode gezondheidskundig niet voldoet, zeker voor ouderen die lijden aan aandoeningen van de luchtwegen [Bronswijk JEMH van et al. 1999; Koren LGH et al. 2002].

Dat, landelijk beschouwd, in naar schatting 'slechts' 10% van de woningen in Nederland het ventilatievoud lager is dan 0,3 (21 dm³/sec) is te danken aan het bewonersgedrag met betrekking tot het ventileren. Gemiddeld blijkt door dit gedrag de ventilatie 58 dm³/sec per woning te bedragen. Door dit 'aanvullende' gedrag is er geen verband gevonden tussen de gemeten ventilatie en de luchtdichtheid van de woningen, noch tussen de gemeten mechanische afvoer en ventilatie van de woningen [Dongen JEF van et al. 2003; Gids de WF et al. 2003]. Kennelijk streven de bewoners (50%) het meest, zoals ook eerder reeds is gevonden [Dongen JEF van 1990], als dit mogelijk is, intuïtief naar een ventilatiestroom tussen de 40 en 60 dm³/sec. Maar dit neemt niet weg dat in ruim 20% van de woningen de ventilatiestroom ten hoogste circa 30 dm³/sec bedraagt.

Er zijn een groot aantal factoren die het ventilatiegedrag van de bewoners bepalen. Samengevat zijn dit met name: buitenklimaat (temperatuur, zon, wind), ervaren luchtkwaliteit (geur), thermisch comfort (kou, warmte, tocht), vochtigheid (condensatie), droogte van binnenlucht, kenmerken van de ventilatievoorzieningen (capaciteit), bedienbaarheid (regelbaarheid, scharniering, staat van onderhoud), geluid en geur van buitenbronnen en inbraakgevoeligheid. Daarnaast spelen persoons- en huishoudenskenmerken een rol: aanwezigheid in huis, het aantal bewoners, de levensfase, aanwezigheid van huisdieren, het schoonmaakgedrag, het kookgedrag,

⁶ Deze grenswaarde wordt ook door de Rijksgebouwendienst gehanteerd. Bij de arbo beleidsregel 6.2 maken zij de volgende opmerking: Voor de mate van verontreiniging door de aanwezigheid van personen wordt de CO₂-concentratie in de binnenlucht als maatstaf gehanteerd. Een goede kwaliteit binnenlucht bevat minder dan 0,1 volume procent CO₂ (1000 ppm). Zie: <http://www.rijksgebouwendienst.nl/bouwfys/Bkrh3.pdf>

baden/douchen, wassen en drogen van kleding, het rookgedrag, het kleedgedrag en energiebesparend gedrag [Dongen JEF van et al. 1993].

Maar ook de (ervaren) gezondheid van de bewoners is van invloed op het bewonersgedrag. In huishoudens met COPD of astma patiënten en/of allergische aandoeningen als hooikoorts wordt meer dan gemiddeld geventileerd en gelucht en verandert men ook vaker de ventilatiestromen, zo bleek uit [Steenbekkers JHM et al. 2002], gebaseerd op het onderzoek van [MarktTracé 2001] in kierdichte en energiezuinige woningen, deels met gebalanceerde ventilatie. COPD of astma patiënten klagen meer over 'te droge lucht' en te hoge binnentemperaturen (dit geldt ook voor ouderen). Verder bleek dat hoger opgeleiden en oudere mensen, en bewoners van huurwoningen meer klaagden over het 'minder kunnen ventileren dan gewenst'. Overigens bleek dat in 5% van deze kierdichte en energiezuinige woningen met mechanische afvoer de bewoners minder ventileerden dan gewenst en in 10% van de woningen met gebalanceerde ventilatie was dit het geval.

5.3.3 *Afname van de capaciteit*

Uit metingen is vastgesteld dat bij zwak of geen onderhoud de afzuigcapaciteit vijf jaar na oplevering tussen 15 en 25% kan afnemen. Na 15 jaar kan sprake zijn van 75% afname van de capaciteit [Månsson Lars-Göran, eds. 2000; Hasselaar E 2001]. Bij balansventilatiesystemen kan al na 7 jaar een capaciteitsvermindering van 50% door vervuiling optreden. Uit een landelijk onderzoek van de Woonbond in huurwoningen blijkt dat in 19% van de woningen meer dan 5 jaar geen onderhoud is gepleegd aan ventilator en afzuigventielen en in 10% van de woningen deze voorzieningen niet schoon te maken zijn en of makkelijk leiden tot ontregeling [Woonbond 2002]. Verder geeft 22% van de respondenten aan dat het afvoerkanaal wel werkt, maar de hoeveelheid lucht die daar doorheen stroomt gering is.

Uit een onderzoek in 343 kierdichte energiezuinige woningen met gebalanceerde ventilatie (gecombineerd met luchtverwarming) blijkt dat in 80% van de deze woningen de filters wel zijn vervangen of schoongemaakt, ofwel op verzoek van de bewoners (58%), ofwel in opdracht van de eigenaar (23%) [MarktTracé 2001]. In deze woningen wordt veel meer geklaagd over vervuiling of verkleuring op de muur rond de invoeropeningen: in de helft, tegenover 15% in woningen met uitsluitend mechanische afvoer.

5.4 **Gezondheidsklachten**

Ofschoon een causale relatie niet of nauwelijks aantoonbaar is zijn er een aantal gezondheidsklachten die worden geassocieerd met de kwaliteit van het binnenmilieu. Behalve COPD en astma klachten gaat het hier om gezondheidsklachten die ook wel worden aangeduid met de concepten Sick Building Syndrome (SBS) of Building Related Illnesses (BRI) (Gebouw Gerelateerde Klachten).

De omvang van deze klachten is in Nederland niet bekend. Wel blijkt op basis van een landelijke representatief huurwoningenbestand [MarktTracé 2001] dat in 12% van de woningen gezondheidsklachten zijn die door de respondenten worden geassocieerd met de woning. In Zweden wordt het aandeel 'risico woningen' geschat op 5% als ze vóór 1961 zijn gebouwd, op 10% als ze tussen 1976 en 1984 zijn gebouwd en op 15% in de meest nieuwe woningen [Engvall K et al. 2001]. Bij een oude schatting in Duitsland is geschat dat circa 6% van de bevolking klachten hebben die samenhangen met de woning [Seifert B 1990].

Uit [Steenbekkers JHM et al. 1997], [MarktTracé 2001] en [MarktTracé 2002] komt het volgende beeld naar voren, zie tabel 8.

Tabel 8. Percentages 'last van' gezondheidsklachten (SBS-symptomen) door respondent of huisgenoot tijdens verblijf in woning.

	[Steenbekkers JHM et al. 1997] Nrd Holland N 'wel eens last van in afgelopen 12 maanden'	[MarktTracé 2001] (EPC < 1,2) balans mech.afz.		[MarktTracé 2002] landelijk, huur
vermoeide of tranende ogen	27 (vermoeid)	15	8	21
droge neus of lippen	-	15	14	25
keelpijn, droge keel	25 (droog)	6	7	15
Uitdroging, jeuk of prikken van de huid	14 (prikken) 27 (droog)	12	14	21
hoofdpijn	31 (algemeen)	10	10	28
vermoeidheid	31 (algemeen)	10	7	20
COPD/astma/allergie	22 (pollen allergie)	17	18	22 (COPD)
goede algemene gezondheid	81	83		62

Uit tabel 8 blijkt dat bij een zelfde vraagstelling het aantal gezondheidsklachten hoger is in het onderzoek betreffende de landelijk representatieve huurwoningen dan in het onderzoek inzake de nieuwe woningen met balans- of mechanische afvoer-ventilatie. Tegelijkertijd blijkt echter dat de algemene ervaren gezondheid bij de bewoners in de nieuwe woningen (met lage EPC) significant beter is en de gemiddelde leeftijd van deze bewoners significant lager is, vooral in de woningen met mechanisch afvoer. De verschillen in opleidingsniveau zijn nog aanzienlijker. Omdat de vraagstelling enigszins verschilde is een zuivere vergelijking met [Steenbekkers JHM et al. 1997] moeilijk te maken. Wel bleek het opleidingsniveau van de respondenten overeen te komen met die uit de landelijke steekproef [MarktTracé 2002].

In het algemeen geldt dat vochtige woningen ongezond zijn. Uit een Zweeds onderzoek werd dit nog eens bevestigd [Engvall K et al. 2001]. Gecontroleerd op mediserende variabelen zoals leeftijd, geslacht, aantal bewoners en gebouw-gerelateerde risico's is in deze woningen meer sprake van SBS-klachten. Maar ook bleek dat een (grote) renovatie van oudere woningen leidt tot een toename van SBS klachten. Laatstgenoemde bevinding lijkt aan te sluiten op de ervaringen uit een Nederlands onderzoek dat in 1989 is verricht in woningen die erg vochtig waren en waarin om deze reden balansventilatie (met warmteterugwinning) en betere isolatie en kierdichting is aangebracht [Wal JF van der et al. 1989]. De bewoners ondervonden naar hun mening na deze maatregelen significant meer klachten over meer dan normale vermoeidheid, prikkelend gevoel in keel en neus (niezen), pijnlijke keel en (als werd gerookt) meer droge huidklachten en hoofdpijn-klachten.

In het algemeen vond [Engvall K et al. 2000] geen consistente relatie tussen type ventilatiesysteem en SBS klachten. Uit multiple regressie analyse bleek dat in woningen met mechanische afvoer bewoners minder klagen over oog-, en neusirritaties en minder hoesten, maar meer klagen over hun keel, huidproblemen en vermoeidheid. In woningen met balansventilatie werden minder problemen ervaren met ogen, neus, keel, huid en vermoeidheid, maar meer klaagden over hoesten en hoofdpijn [Engvall K et al. 2002]. Verandering van ventilatiesysteem (van natuurlijk naar mechanisch) bleek samen te hangen met een toename van neus-, keel- en vermoeidheidsklachten. Het (uitsluitend) kierdicht maken van raamkozijnen leidde niet tot veranderingen in SBS klachten.

5.4.1 *Onderzoek in Nederlandse woningen*

In Nederland is op basis van de gegevens uit [MarktTracé 2001] in woningen met een lage EPC en met mechanische afvoer of met balansventilatie nagegaan wat de rol is van gezondheid bij de bewoners van dergelijke woningen [Steenbekkers JHM et al. 2002]. Daarbij is gezondheid (op drie wijzen geoperationaliseerd) beschouwd als afhankelijke variabele en als onafhankelijke variabele. Het bleek dat als gezondheid wordt beschouwd als *afhankelijke* variabele:

de zelf gerapporteerde gezondheid samenhangt met:

- onvoldoende informatie over het ventilatiesysteem (onafhankelijk van het type systeem);
- temperatuur verschillen tussen hoofd en voeten;
- andere binnenluchtproblemen (bijvoorbeeld ervaren droge lucht en stoffigheid);
- openstaande binnendeur van badkamer (vanwege inpandige situering);
- algemene ontevredenheid over de woning;

de woning gerelateerde gezondheid hangt samen met:

- klachten over vocht;
- aanwezigheid van gebalanceerde ventilatie;
- andere binnenluchtproblemen (bijvoorbeeld ervaren droge lucht en stoffigheid);
- algemene onvrede met de woning;
- een hoog opleidingsniveau

de ervaren gezondheid van mensen met een COPD/astma diagnose hangt samen met:

- andere binnenluchtproblemen (bijvoorbeeld ervaren droge lucht en stoffigheid);
- aantal rokers in de woning;
- het veranderen van de ventilatie bij speciale omstandigheden

Als de drie gezondheidsindicatoren worden beschouwd als *onafhankelijke* variabelen, dan bleek dat:

de zelf gerapporteerde gezondheid samen te hangen met:

- klachten over vocht;
- minder ventilatie dan gewenst (vooral bij hoger opgeleide en bij ouderen);
- te hoge binnentemperatuur (COPD/astma patiënten en ouderen hebben meer problemen met een hoge temperatuur in woningen);
- temperatuurverschillen tussen hoofd en voeten (vooral bij vrouwen);
- andere binnenluchtproblemen (bijvoorbeeld ervaren droge lucht en stoffigheid);
- geurhinder door buitenbronnen (vooral bij ouderen)

de woning gerelateerde gezondheid hangt samen met:

- klachten over vocht;
- andere binnenluchtproblemen (bijvoorbeeld ervaren droge lucht en stoffigheid);
- geluidhinder door ventilator(en);
- een hoog opleidingsniveau;

de ervaren gezondheid van mensen met een COPD/astma diagnose hangt samen met:

- klachten over een te warme woning

Bovenstaande bevindingen in woningen met een lage EPC leiden tot een conclusie dat in het algemeen gezondheidsproblemen niet direct zijn gerelateerd aan het type ventilatiesysteem. Maar als bewoners gezondheidsproblemen ondervinden, hangen

deze problemen (behalve die samenhangen met tocht) vooral samen met die ervaren binnenlucht en binnenklimaat problemen die vaak speciaal in verband worden gebracht met gebalanceerde ventilatiesystemen.

Een analyse van de relaties tussen gezondheid en het binnenmilieu op basis van de gegevens met betrekking tot de landelijk representatieve huurwoningen [MarktTracé 2002] is als gevolg van deze studie uitgevoerd [Dongen JEF van et al. 2003]. Omdat de algemene zelfgerapporteerde gezondheid, de leeftijd en het opleidingsniveau van de respondenten aanzienlijk verschillen tussen [MarktTracé 2001] en [MarktTracé 2002] - dit heeft ook invloed op de verschillen in gezondheidsklachten, zoals deze in tabel 8 zijn aangegeven - is het wenselijk deze bestanden te integreren. Daarom is een integratie van beide MarktTracé bestanden gerealiseerd om een vergelijking mogelijk te maken tussen de uitkomsten van beide onderzoeken en om een relatie te kunnen leggen tussen de EPC waarden van woningen en de gezondheid van de bewoners.

In de rest van deze paragraaf worden van het onderzoek “*Relatie EPC-niveau en zelfgerapporteerde gezondheidseffecten. Analyse op basis van geïntegreerde data uit twee onderzoeken*” [Dongen JEF van et al. 2003] de conclusies weergegeven.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de hoogte van de EPC waarde in het algemeen geen invloed lijkt te hebben op de gezondheid van de bewoners. Van de onderzochte gezondheidseffecten lijkt alleen het last hebben van vermoeidheid en/of concentratieproblemen beïnvloed te worden door de EPC-waarde: hoe hoger de EPC waarde is (dus hoe minder energiezuinig de woning), des te meer wordt hier last van ondervonden. Maar tevens blijken hier andere aspecten dan het EPC-niveau een rol te spelen, zowel gerelateerd aan de woning (vocht-, ventilatieproblemen), als door omstandigheden buiten de woning (het wegverkeer).

De hoogte van de EPC waarde lijkt wel van invloed op gezondheidseffecten te zijn als de bewoners rokers zijn of CARA (COPD of astma) patiënt. Zo blijkt dat de zelf-gerapporteerde gezondheid minder goed is, naarmate het EPC van de woningen waarin wordt gerookt lager is (dus naarmate de woningen energie-zuiniger zijn). Ook blijkt dat naarmate het EPC van de woningen waarin een CARA patiënt woont lager is, er meer woninggerelateerde gezondheidsklachten optreden.

Dit suggereert dat woningen met een lage EPC waarde minder geschikt zijn voor rokers en CARA patiënten. Overigens, dit laat onverlet dat woningen met een hoge EPC-waarde en die tevens vochtig zijn, zeker ook minder geschikt zijn voor CARA patiënten.

Omdat hoge correlaties tussen roken en CARA en hun respectievelijke interactietermen met EPC een duidelijke conclusie in de weg staan, zou nagegaan kunnen worden of nadere analyses meer inzicht geven in de relaties tussen EPC en effecten voor twee specifieke groepen: rokers en CARA (COPD of astma) patiënten.

De bouwfysische kenmerken (relevant voor de EPC), het type ventilatiesysteem en andere eigenschappen van de woningen blijken in de meeste gevallen geen of slechts een zwakke en niet eenduidige invloed te hebben op de onderscheiden gezondheidseffecten.

Een woningkenmerk dat wel enige invloed blijkt te hebben is de aanwezigheid van een open keuken in de woning. Dit blijkt een voorspeller te zijn van het last hebben van vermoeide of tranende ogen en van klachten over vermoeidheid en concentratieproblemen.

De belangrijkste voorspeller van de onderscheiden gezondheidseffecten is het hebben van CARA (COPD of astma), deels omdat het gaat om effecten die hiermee mee verbonden zijn.

Daarnaast zijn de persoonskenmerken afkomst, opleidingsniveau, de frequentie van dat iemand thuis is en de leeftijd van de respondent van groot belang. Deze kenmerken blijken de enkelvoudige invloed van de verschillende (bouw fysische) woningkenmerken en ventilatiesystemen op de effectvariabelen af te zwakken of doen verdwijnen. Zo neigen woningen met een lage EPC ($< 1,6$) over het algemeen 'gezonder' te zijn, maar het blijkt dat in deze woningen, waartoe ook alle woningen met balansventilatie behoren, juist mensen wonen die gemiddeld jonger zijn, meer van Nederlandse afkomst en meer uithuizig zijn, alsmede een hoger inkomen hebben en vaker de woning hebben gekocht. De woningen met een hogere EPC waarde zijn in overgrote meerderheid huurwoningen uit de sociale sector met een meer 'gemengde' bevolking.

Voor wat betreft de ventilatie blijkt vooral het minder kunnen ventileren dan gewenst een voorspeller te zijn van het last hebben van vermoeide of tranende ogen, benauwdheid of piepen op de borst en het last ondervinden van vermoeidheid en concentratieproblemen.

Een uitkomst is ook, dat onvrede over de woning als geheel ook een voorspeller is van de zelf-gerapporteerde gezondheid, woninggerelateerde gezondheidsklachten en last van vermoeide of tranende ogen. Of deze onvrede over de woning deze klachten beïnvloedt, of omgekeerd, de gezondheidsklachten in belangrijke mate de onvrede over de woning bepalen is niet aan te geven.

Van de binnenmilieuaspecten blijken het last ondervinden van muffe lucht of van te droge lucht en stoffigheid het meest de voorspellers te zijn van de zelf-gerapporteerde gezondheid. Vooral als sprake is van muffe lucht wordt meer last ondervonden van vermoeidheid of concentratieproblemen en van benauwdheid of piepen op de borst en als de binnenlucht als te droog of als stoffig wordt ervaren treedt meer last op van vermoeide of tranende ogen of uitdroging, jeuk of prikken van de huid.

De uitkomsten blijken in sommige gevallen mede bepaald te worden door een zodanige specifieke ligging van de woningcomplexen (externe factoren zoals blootstelling aan wegverkeer) of door zodanig specifieke woningkenmerken en kenmerken van de bewoners, dat niet gesproken kan worden van een landelijke representativiteit van de uitkomsten.

Ook is een beperking van dit onderzoek dat van een deel van het totale bestand dat beschikbaar is woninggerelateerde gegevens ontbraken of onvoldoende waren. Zo is de staat van de ventilatiesystemen (nieuwheid, functioneren, vervuilingsgraad) niet in de modellering meegenomen.

Wel kan worden gesteld dat het databestand waarop dit onderzoek is gebaseerd het meest uitgebreide is van dat voorhanden is. Met het oog op mogelijk vervolgonderzoek verdient het aanbeveling dit databestand continu te actualiseren en aan te vullen met informatie over nieuwe of gerenoveerde woningen met een lage EPC waarde, met name uit de sociale huursector, en met duurzaamheids- of kwaliteitsgegevens over de tijd.

5.5 Bewonersgedrag

Bewonersgedrag speelt een grote rol bij het tot stand komen van de grote bandbreedte in woninggebonden parameters. Het trachten te veranderen van het gedrag

van bewoners is geen goede weg om deze bandbreedte te verkleinen. In plaats van de mensen te veranderen is het beter om technologie aan te reiken waarmee allerlei woningfuncties 'als vanzelf' goed worden geregeld. Hiertoe worden al initiatieven ondernomen op het gebied van de domotica, getuige de initiatieven van Uneto-VNI⁷ om woningautomatisering te promoten in het kader van levensloop bestendig wonen [Dijk KW van et al. 2002]. Binnen de wetenschap wordt aan dit thema aandacht geschonken in het domein Ambient Intelligence. Hieronder wordt dit domein kort toegelicht. Daarna, in hoofdlijnen, aandacht voor domotica.

5.5.1 *Ambient Intelligence*

Om de efficiency en het comfort te vergroten is het nodig dat technische deelsystemen in de woning zelfdenkend reageren op de wensen van de bewoner; dat ze zelflerend steeds beter rekening houden met de afzonderlijke wensen van personen die door het systeem worden herkend, en dat ze in hun serviceverlening meegroeien met de veranderende behoeften en competenties van de gebruiker. In de aanpak van 'Ambient Intelligence' worden hierbij ook de geleidelijk of snel veranderende gezonde of ongezonde binnenmilieu condities meegenomen. Het gaat daarbij om diensten die door de technologie worden geleverd, zonder dat die technologie opzichtig aanwezig is en met een eindcontrole door de bewoner indien deze dat wenst.

5.5.2 *Domotica*

Met het oog op de gebruikersvriendelijkheid van onder meer ventilatievoorzieningen is de ontwikkeling van domotica producten van belang, hoewel zij pas het begin zijn van de gerealiseerde mogelijkheden van 'Ambient Intelligence'. Domotica zijn technische voorzieningen/apparaten die huishoudelijke routines en diensten op een geïntegreerde en geautomatiseerde wijze kunnen overnemen. Rapportages over ervaringen met domotica voorzieningen in de praktijk zijn echter schaars. Een rapport dat wel beschikbaar is heeft betrekking op de toepassing van domotica in woningen voor ouderen [Dorrestein A et al. 2001]. Hoewel ventilatievoorzieningen geen deel uitmaakten van de domotica voorzieningen (functies waren: een alarmeringssysteem voor sociaal/medische redenen en inbraak, een automatisch verlichtingssysteem in de gang, slaapkamer en badkamer, een monitorsysteem bij de entree en een elektrische 'hulp' bij het openen en sluiten van de gordijnen), bieden de resultaten inzicht in bevorderende en belemmerende factoren bij de implementatie van automatische voorzieningen. Conclusies zijn dat:

- een domotica voorziening door de bewoners als nuttig moet worden ervaren (moet bijvoorbeeld veiligheid, gezondheid en comfort bieden). Met andere woorden: luisteren naar de 'vraag' is essentieel (een energiebesparend effect als enig argument, is voor een gebruiker niet voldoende);
- in principe een domotica voorziening moet worden aangepast aan de huishoudelijke routines;
- de voorziening moet werken zoals verwacht; kinderziektes en storingen zijn beslissend voor het al of niet gebruiken. Een voorziening moet ook sterk zijn, niet snel kapot (kunnen) gaan;
- de bewoners een keuzevrijheid moeten behouden en moeten kunnen ingrijpen in een automatisch systeem. Dit ingrijpen moet eenvoudig zijn: in de sfeer van 'aan' of 'uit' en voldoen aan een goed ontwerp;
- de implementatie van domotica altijd meer tijd kost dan verwacht; de bewoners moeten de tijd krijgen er aan te wennen;

⁷ Zie ook de website van Uneto-VNI: <http://www.vni.org>

een goed voorlichtingstraject om de bewoners (en installatiebedrijven) te informeren en goede feedbackmogelijkheden essentieel zijn. Als mensen verhuizen naar een nieuwe woning met domotica voorzieningen, zijn andere zaken dan domotica veel belangrijker.

6 DALY als kengetal

6.1 Inleiding

Van 49 ziekten is door enquêtering en bestudering van de mortaliteitsgegevens van het CBS bepaald hoe zwaar de ziekte ingrijpt op het dagelijks leven, in verschillende fasen van de ziekte [Hoeymans N et al. 2002; Melse JM et al. 2000]. Berekend over Nederland levert dit per ziekte een maat voor de ernst van de aandoening (in DALY), en tegelijkertijd kan een indicatie worden verkregen van de gezondheidswinst die te behalen valt wanneer (een deel van) de ziekte terug wordt gedrongen door relevante maatregelen.

Deze werkwijze is nu toegepast op de maatregelen in bouwkundige zin die betrekking hebben op EPC-verlaging. De uitwerking van de verschillende facetten is vrij omvangrijk; dit is de reden waarom de belangrijkste resultaten hieronder worden gepresenteerd, terwijl een groot deel van de onderbouwing in Bijlage C is verzameld.

In eerder onderzoek zijn de relevante ziekten voor de gebouwde omgeving geselecteerd [Bronswijk JEMH van et al. 1999; Koren LGH et al. 2001; Kort HSM et al. 1997]. Om het DALY-concept voor woningen te gebruiken is een inschatting gemaakt welk deel van de ziektelast woning-gerelateerd is, en dus zou kunnen worden beïnvloed door maatregelen in huis (§6.2; Bijlage C1). Dit kunnen in principe zowel bouwkundige, installatietechnische als gebruikgerelateerde maatregelen zijn.

Voor een afweging van de ziektelast per EPC-variant wordt van de determinanten die de verschillende ziekten bepalen vastgesteld of er een verbetering of verslechtering optreedt, en een inschatting gemaakt hoeveel dit zal zijn op basis van te verwachten verhoging of verlaging van blootstelling (§6.3; Bijlage C2). Basis hiervoor is de variatie in ziekte(last) die vanuit de literatuur bekend is. Ook de huidige technische maatregelen en installaties in referentiewoningen met EPC=1 en hoger worden hieraan onderworpen.

Tenslotte kan een sommering per variant duidelijk maken hoeveel DALY winst of verlies een bepaalde variant oplevert ten opzichte van de referentiewoning (§6.4).

Omdat bij elk van deze kwantificaties grote onzekerheden aanwezig zijn geldt dat de waarden die hier worden berekend een indicatief karakter hebben. Daarmee is niet gezegd dat de vergelijking van twee maatregelen op voorhand mank gaat: de fouten in de berekeningen werken in veel gevallen in gelijke richting. Het is noodzakelijk nader onderzoek in te stellen voor een nauwkeuriger vaststelling van de te verwachten afgeleide blootstellingen en ziektelasten.

6.2 Relevante ziekten en hun woninggerelateerde ziektelast

Reeds eerder zijn de meest relevante ziekten die ons in en vanwege de bebouwde omgeving bedreigen op rij gezet. De ziekten waarbij EPC-maatregelen een rol spelen zijn vooral de luchtwegziekten en legionellose vanuit inadequaat behandeld tapwater.

In dit onderzoek zijn de ziekten zoveel mogelijk gerangschikt naar gebouwgerelateerde determinant. Dit betekent dat in feite slechts met een paar fenomenen rekening hoeft te worden gehouden: de kwaliteit van de lucht, de fysische parameters temperatuur en relatieve vochtigheid op oppervlakken in de woning, temperatuur van tapwater, en geluid. De relatie tussen ziekten en deze determinanten is voldoende bekend om uitspraken te kunnen doen over de verbetering of verslechtering in ziektelast bij wijzigende omstandigheden.

Howarth et al [Howarth A et al. 2001] beschrijven de invloed van milieubeleid in Nederland op economische, sociale en gezondheidsparameters, waarbij ze ook gebruik maken van de DALY-systematiek. Ze geven bij binnenmilieu gerelateerde parameters als geluid, fijn stof en radon ook de gevolgen voor coronaire hartziekten, reden waarom deze hier zijn meegenomen.

In tabel 9 zijn de kengetallen van de huidige ziektelast voor deze ziekten weergegeven. Welk deel van de ziektelast woning-gerelateerd is en welk deel daarvan ook beïnvloedbaar is door bouwkundige of installatietechnische maatregelen, wordt uitgebreid per ziekte behandeld in Bijlage C1.

Tabel 9. Kengetallen gebouwgerelateerde ziekten. Verloren levensjaren, prevalentie (incidentie), weegfactor ten behoeve van ziektelast-bepaling en totale ziektelast in DALY in Nederland over het jaar 2000 [RIVM 2003]. Geschatte aandeel woninggerelateerde ziektelast (voor onderbouwing zie Bijlage C).

Ziekte	Ziektelast in:			Ziektelast in DALY (=A+B-C)	Aandeel woninggerelateerd	Woninggerelateerde ziektelast in DALY
	Verloren levensjaren A	Prevalentie / incidentie B	Ernst van ziekte (weegfactor) C			
Astma	1.742	444.900	0,08	37.334	70%	26.134
Constitutioneel eczeem	<1	160.900	0,07	11.263	20%	2.253
COPD (bronchitis + longemfyseem)	58.175	289.500	0,31	147.920	10%	14.792
Coronaire hartziekten ⁱ	186.746	556.600	0,29	348.160	5%	17.408
Extrinsieke allergische alveolitis ⁱⁱ	<1	200	0,3	60	10%	6
Mycosen	<1	200	0,2	40	10%	4
Longkanker ⁱ	119.607	19.900	0,44	128.363	4%	5.135
Longontsteking	49.448	638.600	0,04	74.992	5%	3.750
Respiratoire infecties	298	404.700	0,02	8.392	3%	252
Tuberculose	1.152	830	0,23	1.343	0,5%	7
Verstikking in huis	980	nvt	nvt	980	36%	353
Totaal	418.151	2.516.330		758.847		70.094

ⁱ Roken door de bewoner is bij het woninggerelateerde deel niet inbegrepen, wel de bijdrage van passief roken; ⁱⁱ EAA valt in ICD-10 onder astma en COPD, hier uitgesplitst.

In de verdere beoordeling worden astma en constitutioneel eczeem samengenomen, omdat ze in de woning door dezelfde oorzaken ontstaan. De bijdrage van tuberculose is, ook bij de nieuw toe te passen maatregelen, vermoedelijk zeer gering en daarom achterwege gelaten. Extrinsicke allergische alveolitis en mycosen zijn wel meegenomen omdat de kans op deze ziekten sterk kan toenemen bij een algemene verhoging van de aantallen organische deeltjes in het binnenmilieu..

De aangegeven woning-gerelateerde percentages zijn schattingen op basis van literatuurgegevens. In een aantal gevallen (bijvoorbeeld bij tuberculose, alveolitis en verstikking) is goed bekend welk aandeel de woning hierbij heeft, door registratie of epidemiologisch onderzoek. Voor het overige zijn deze afgeleid uit verschillen in blootstelling voor en na interventies, of door combinatie van case-studies en theoretische kansberekening (bijvoorbeeld Legionella).

Chronische bronchitis en longemfyseem worden voornamelijk door rookgedrag veroorzaakt; hier is alleen de bijdrage van roken voor niet-rokers beschouwd. Bij astma en constitutioneel eczeem is allergie door huisstofmijten, huisdieren en schimmels de grootste woninggerelateerde bijdrage. De erfelijke factor van de ziekte is hierin niet meegenomen, ongeveer 40% van de bevolking heeft aanleg voor de ziekten (atopie). De oorzaken van astma en constitutioneel eczeem liggen naast het gebouwgerelateerde deel aan allergenen in de voeding, aan allergenen in het buitenmilieu, en aan onbekende allergeenbronnen; oplossingen in de vorm van reinigings- en verdunning hebben – onder begeleiding - bij die individuen die het vermijdingsprogramma volledig volgden geleid tot aanmerkelijke verbetering [Kniest, F. M. 1990; Lynden - van Nes AMT 1999]. De maximale gezondheidswinst die te behalen valt is 40% (COPD) tot 50% (astma en constitutioneel eczeem), een deel hiervan is vooral gerelateerd aan individueel gebruik [Bronswijk JEMH van 1991]. De maximale extra ziektelast kan bij de allergische aandoeningen een factor 3 groter worden als de huidige ziektelast, vanwege de maximale grootte van allergische personen.

Het woning-gerelateerde deel van longkanker wordt voornamelijk veroorzaakt door passief roken en radon, en daarnaast door carcinogene stoffen in bouwmaterialen: VOC's en asbest. Allereerst kunnen emitterende materialen nog verder uitgebannen worden. Daarnaast kan het grootste deel van de concentraties naar een aanvaard peil worden gebracht door ventilatie, 80% verbetering is mogelijk, bij voorbeeld door sensorgestuurde ventilatie die de (basis)emissies voldoende afvoert en bij rookgedrag de ventilatie sterk verhoogt; hiervoor is wel een hogere mechanische ventilatiecapaciteit nodig dan nu gebruikelijk. Radon kan natuurlijk niet verder verminderd worden dan het ter plekke aanwezige buitenniveau.

Uit metingen tijdens het stookseizoen bleek dat in bijna 30% van de woningen de ventilatie lager is dan de capaciteits-eis uit het Bouwbesluit en bij woningen met balansventilatie bleek dat in circa 60% van de bementen woningen de totale mechanisch afgevoerde volumestroom (gemiddeld 37 dm³/s) niet voldeed aan de afvoercapaciteitseis uit het Bouwbesluit (42 dm³/s) [Gids de WF et al. 2003]. Overigens betekent dit niet dat deze woningen niet aan de wettelijke eisen op basis van de normen uit 1984 (Gezondheidsraad) voldoen.

Door voortgaande kierdichting, toenemend rookgedrag (bij vrouwen) en de lagere ventilatiehoeveelheid is een 50% hogere ziektelast ten opzichte van de huidige ook

mogelijk. Hierbij moet worden bedacht dat de huidige longkankerincidentie is ontstaan door de blootstelling van 15 tot 30 jaar geleden.

Het woning-gerelateerde deel van alveolitis en mycosen kunnen door kierdichting van beganegrondvloer en goede verwarming en ventilatie van de binnenruimte grotendeels worden voorkomen. Er is geen bovengrens aan te geven aan de potentiële verslechtering door eventueel vervuilde binnenlucht, in principe kan iedere Nederlander die voldoende wordt blootgesteld de ziekten krijgen. Voorwaarde lijkt steeds een hoge dosering aan organisch materiaal [Volpe BT et al. 1991].

Coronaire hartziekten worden voor wat betreft de woning bepaald door (passief) roken, radon en geluidshinder [Carter N et al. 2002; Villeneuve PJ et al. 1997]. Het woning-gerelateerde deel is niet heel duidelijk, in deze studie wordt uitgegaan van een relatief gering deel, namelijk 5%. Vooral de bijdrage van geluidshinder zou wel eens groter kunnen zijn dan geschat [Kempen van EE et al. 2002]. De bouwkundige oplossingen (betere woningscheidingen) hiervoor zijn echter vooralsnog niet voor de hand liggend in de Nederlandse bouwpraktijk, het betreft dus deels ook een bouwcultuurprobleem. Maximale gezondheidswinst is niet meer dan 40% van de huidige woninggerelateerde ziektelast, oftewel 2% van de totale ziektelast door coronaire hartziekten (0,5% door voorkoming van passief roken bij niet-rokers, 0,5% door vermindering van radon en 1% door vermindering van geluidsbronnen); vergroting van de ziektelast is mogelijk door vergroting van de geluidsbelasting (verkeer, dichter bouwen) en wanneer bij gelijkblijvende of groter wordende emissies tegelijk verhoging van de (gemiddelde) ventilatie in woningen plaatsvindt. Het totale effect is vermoedelijk niet meer dan 50%.

De woninggerelateerde longontstekingen worden onder andere veroorzaakt door *Legionella*. Er zijn geen goede cijfers over de aantallen *Legionella*-longontstekingen in woningen; van de geregistreerde longontstekingen neemt het aantal *Legionella*-longontstekingen sinds het ongeval bij de Westfriese Flora wel nog steeds toe. De oorzakelijke organismen bij longontsteking zijn nog steeds slechts in een gering percentage (maximaal 5%) van de gevallen bekend. [Boer JW den et al. 2002]. Er worden in Nederland wekelijks ongeveer 6 gevallen gemeld waarvan 2 à 3 als besmetting wordt vastgelegd [ISIS 2003].

Legionella-longontstekingen kunnen door juiste bouwwijze en installatie in eengezinswoningen volledig worden voorkomen, in appartementcomplexen wellicht lastiger. In totaal is derhalve zeker 50% verbetering mogelijk. Het toepassen van warm tapwatersystemen die een warmwatervoorraad in het traject 25 tot 50°C hebben, is een groot risico. De kortdurende verhoging van dit water naar 60°C is onvoldoende om volledige afdoding van *Legionella* te garanderen [Rogers J et al. 1994]. Bij volledige invoering van een dergelijk risicovol systeem zal de huidige ziektelast een factor tien tot honderd groter kunnen worden.

Door adequate warmwaterinstallaties die of vers, koud water direct voor gebruik opwarmen of water altijd boven 60°C houden, kan de ziektelast grotendeels worden opgelost, gesteld is hier 80% omdat rekening wordt gehouden met onjuiste installatie en uitval. Ook het koude water moet steeds koud blijven, isolatie van de leidingen ten opzichte van elkaar is belangrijk; dit is in goed geïsoleerde woningen een belangrijker punt dan voorheen.

De overige respiratoire infecties zijn weliswaar veel voorkomend maar hebben gemiddeld een veel betere prognose en een lagere weegfactor; deze ziekten zijn hier daarom niet verder beoordeeld.

Verstikking in huis door ongevallen met verbrandingstoestellen moeten volledig te voorkomen zijn. Door verdere kierdichting, zowel in bestaande woningvoorraad als in nieuwbouw, is enige verhoging van de huidige ziektelast wel mogelijk als geen maatregelen zijn getroffen voor ventilatie in geval van uitval van het mechanisch systeem; de verhoging is op maximaal 50% geschat.

In tabel 10 zijn de bouwkundige en installatietechnische maatregelen genoteerd die relevant zijn voor het berekenen van de woning-gerelateerde ziektelast. Tevens is vermeld in welk percentage van de huidige Nederlandse woningen (anno 2000) de betreffende maatregel aanwezig is.

Tabel 10. Voor DALY-berekeningen relevante bouwkundige en installatietechnische maatregelen en de aanwezigheid daarvan in Nederlandse woningen in 2000 [Veld P op 't et al. 1999]

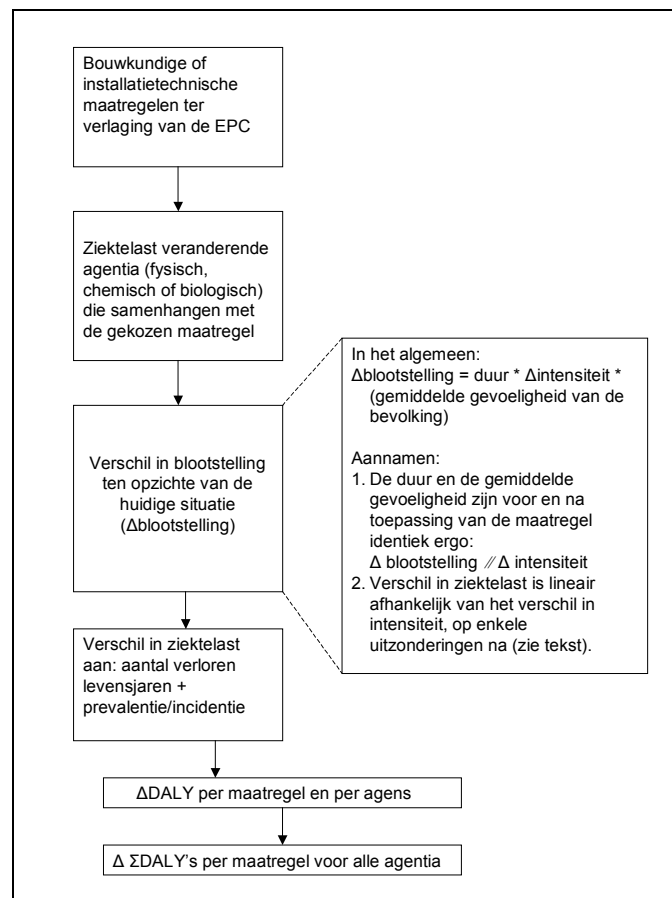
Maatregel	% woningen
Isolatie gevel, dak, vloer (Rc=3)	<1
Isolatie gevel, dak, vloer (Rc=4)	<1
Isolatie gevel, dak, vloer (Rc=5)	<1
Isolatie glas HR ++	2
Thermisch geïsoleerde buitendeuren	1
Thermisch geïsoleerde kozijnen	5
Extra kierdichting begane grondvloer	<1
Noord-zuid oriëntatie	60
Serre	<1
Verbeterde kierdichting ramen en deuren	<1
Balansventilatie WTW	<1]
Balansventilatie HR-WTW	<1] = 1
Natuurlijke ventilatie	46
Mechanische afzuiging (badkamer-keuken-toilet)	53
Vraaggestuurde ventilatie	<1
HR107 ketel	5
HR107 ketel + vergrote zonneboiler	<1
Luchtverwarming	5
Radiatorverwarming (LTV, HTV)	60
Vloer/wand- verwarming (LTV)	10
Warmtepompboiler	<1]
Warmtepomp + vergrote zonneboiler	<1] = 1
Zonneboiler type 1, korte opwarming	<1]
Zonneboiler type 2, continu opwarming	<1]
Mini WKK	<1
Zonnecellen (PV)	<1

De maatregelen zijn gerangschikt naar thema: i) isolatie, ii) overige bouwkundige maatregelen, iii) ventilatie, iv) verwarming, v) warmwaterbereiding, en vi) energie-opslag/opwekking. Uit hoofdstuk 4 en 5 is gebleken waarom deze maatregelen van belang zijn, zowel bij de gezondheidskundige als de energetische beschouwing van de woning.

6.3 Schattingen en berekeningen van de ziektelast per bouwkundige en installatietechnische maatregel

In de bovenstaande uiteenzetting per ziekte blijkt dat bouwkundige maatregelen effecten kunnen hebben op diverse determinanten van de gezondheid. Bij elke geselecteerde bouwkundige en installatietechnische maatregel moet daarom een inschatting worden gemaakt van de effecten op alle van belang zijnde ziekten. Dat kan voor de ene ziekte positief uitvallen, voor de andere negatief.

In figuur 1 staat de systematiek die gehanteerd wordt voor het schatten van de ziektelast schematisch weergegeven.



Figuur 1 Schematisch overzicht van de systematiek voor het schatten van de ziektelast.

Van elke maatregel uit tabel 10 is bepaald welke invloed deze zou kunnen hebben op de ziekten die in tabel 9 zijn genoemd. De minimum- en maximumwaarde van de ziektelast die bij een afzonderlijke ziekte kan voorkomen, zijn in Bijlage C1 uitgebreider behandeld en liggen ten grondslag aan de impact van een maatregel.

Om per maatregel te komen tot een ziektelast in DALY zijn verschillende aannames en vertaalslagen gedaan. Huidige ziektelast en blootstellingen aan agentia zoals radon, stof, allergenen en VOC's zijn vertaald naar te verwachten ziektelast door vergelijking van de effecten van maatregelparameters (in geval van ventilatie bij voorbeeld vorm en grootte vervuilingsooppervlak, materiaal, lichtsnelheid, verwachte onderhoudsfrequentie, andere emissies, etcetera). De vergroting en verkleining van blootstelling aan allergenen, irritantia (stof, voc's, bak- en braadluchtjes) en oncogenen in afhankelijkheid van omgevingsparameters is voor natuurlijke en mechanische ventilatie eerder beschreven in het MaNaPI project [Bronswijk JEMH van et al. 1991].

Bij het beoordelen van de impact van blootstellingen van lage concentraties stoffen op de gezondheid moet er rekening mee worden gehouden dat de achterliggende processen grotendeels onbekend zijn [Gezondheidsraad 1998]. Toch zijn er wel beoordelingen mogelijk wanneer uitgegaan wordt van bekende uitgangspunten en parameters. Door gebruik te maken van de daadwerkelijk ondervonden ziektelast via het berekenen van DALY wordt zo'n uitgangswaarde vastgelegd.

Aanvullende punten zijn de PAR's (populatie attributief risico's) die aangeven welk deel van de ziektelast door uitbanning van de betreffende stof kan worden vermindert. In het geval van maatregelen kan een soortgelijke benadering worden gebruikt: welk deel van de ziektelast wordt verminderd door de betreffende maatregel. Een maatregel kan echter ook een negatief effect hebben, en de ziektelast vergroten. Door het gebruik van dosis-effect relaties kan aannemelijk worden gemaakt welke maat zo'n negatief effect kan krijgen. Deze zijn echter slechts voor een beperkt aantal determinanten (o.a. radon [Brugmans MJP et al. 2002] beschikbaar. Hier zou nader onderzoek gewenst zijn. De in dit onderzoek gebruikte lineaire relatie is noodzakelijkerwijs een vereenvoudiging van de werkelijkheid.

De problematiek van combinaties van stoffen die invloed hebben op een zelfde ziektebeeld is onderkend. In dit onderzoek is aangenomen dat er geen katalyserende of remmende invloeden zijn, tenzij deze vermeld worden [Gezondheidsraad 2002].

Voor de ziektelastbepaling is tevens gebruik gemaakt van grenswaarden waarbeneden geen onaanvaardbare effecten optreden [Raw G et al. 2003; WHO 1997; WHO 2000] en gezondheidsklassen [Kort HSM et al. 1997; Luxemburg LCJ van et al. 1997] Hierbij is geschat in welk percentage van de gevallen de ondergrens wordt overschreden of onderschreden, of een klasse lager of hoger bereikt wordt dan nu, op basis van de te verwachten verandering in blootstelling.

De aanpak is per maatregel steeds dezelfde: drie cases worden beschouwd: een optimale variant waarbij installatie, onderhoud en gebruik weinig of geen bijdrage aan de ziektelast veroorzaken; de enige factor van belang is dan de maatregel zelf en zijn ontwerp. Een tweede case is de maximale variant waarbij alle voor de gezondheid nadelige aspecten van de maatregel bestaan en elkaar versterken: installatiefouten, gering onderhoud, 'foutief' gebruik. Tenslotte is de modale variant de situatie waarbij alle aspecten zoveel mogelijk overeenkomen met de huidige, wat betreft percentage installatiefouten, mate van onderhoud, gebruikersgedrag. De parameterwaarden van installatie, onderhoud en gebruik voor de optimale, maximale of modale variant zijn gegeven in Bijlage E. Voor de beoordeling van de te verwachten blootstelling zijn vooral de gegevens uit hoofdstuk 5 benut.

Bij elke berekening wordt verondersteld dat de beoordeelde maatregel wordt ingevoerd in alle woningen. De berekende ziektelast komt in de plaats van de huidige (in het jaar 2000: circa 70000 DALY) waarbij alleen de betreffende maatregel is toegevoegd of als vervanging van een andere maatregel is ingevoerd. In onderstaande deelparagrafen per maatregel is steeds de procentuele verhoging of verlaging van de ziektelast per ziekte aangegeven. Uitgebreidere onderbouwing is gegeven te vinden in Bijlage C2.

6.3.1 *Isolatie*

De huidige **isolatie van gevel, dak en vloer** in woningen is variabel, isolatie naar $R_c = 3$ of $4 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ kan een sterk positieve bijdrage leveren bij het voorkomen of verminderen van astmklachten door elimineren van mijten en schimmels op vloeren en wanden. Een maximale verbetering van 10% voor astma en mycosen moet in de praktijk mogelijk zijn.

Van de **thermische isolatie van buitendeuren en -kozijnen** is geen verbetering of verslechtering in ziektelast te verwachten, alleen in geval van ernstig achterstallig onderhoud zal het voorkomen van schimmels meetellen [Adan OCG et al. 2000].

Glas-isolatie zal door het verminderen van geluidshinder een beperkte positieve bijdrage kunnen leveren aan de reductie van coronaire hartziekten [Ouis D 2002].

Verdere onderbouwing van de effecten van bovenstaande bouwkundige maatregelen is beschreven in Bijlage C2.1.

6.3.2 *Overige bouwkundige maatregelen: kierdichting, noord-zuid oriëntatie, serre*

Extra **kierdichting van de beganegrond-vloer** zal een groot deel van de radonttoevoer vanuit kruipruimte kunnen voorkomen, en daarmee maximaal ongeveer 20% verlaging van woning-gerelateerde longkanker en coronaire hartziekten kunnen bewerkstelligen [Leenhouts HP et al. 2001].

Allergische ziekten en luchtwegziekten kunnen door kierdichting van de beganegrond-vloer profiteren van de reductie in hoeveelheid schimmels en bacterieel materiaal die vanuit de kruipruimte met de lucht in de woning wordt gevoerd, en het voorkomen van een hotspot voor mijten [Kort HSM 1994]. De vermindering van ziektelast is maximaal 10%.

De kans op verstikkingsongevallen wordt groter, maar hangt af van het aanwezige ventilatiesysteem, en de overige kierdichting van de woning. Vanwege de geringe incidentie nu is een verhoging van het risico met maximaal 50% mogelijk, maar in de praktijk zal dit vermoedelijk veel lager zijn.

De **noord-zuid-oriëntatie** van woningen heeft voor de berekende ziektelast geen bekende voor- of nadelen ten opzichte van andere oriëntaties.

De door **serres** naar de woning gevoerde lucht is voorverwarmd maar kan ook minder schoon zijn dan gewenst door groei van schimmels en mijten. De extra bijdrage aan de ziektelast voor astma, COPD en mycosen is maximaal twintig procent. Door het gebruik van serres wordt de totale ventilatie iets hoger [Veld P op 't et al. 1999] en is een vermindering van ziektelast van 5% bij astma, COPD, en mycosen, 10% bij coronaire hartziekten, en maximaal 30% bij verstikking mogelijk. Oververhitting

in zomer (niet opgenomen) is een extra risicofactor, vooral bij ouderen [Mackenbach JP et al. 1997a].

Kierdichting van ramen en deuren veroorzaakt plaatselijk minder tocht maar ook minder (onbewuste) ventilatie, waardoor enige extra ziektelast is te verwachten. Voor astma en COPD is deze op 5% gesteld; het effect hangt echter af van het aanwezige ventilatiesysteem, kierdichting van de begane grond, en gebruik van de voorzieningen.

Bij het huidige gemiddelde ventilatieniveau is enige verhoging van het radonniveau in de woning aannemelijk, vooral bij de woningen waar weinig wordt geventileerd. Ook het effect van passief roken wordt iets groter. De maximale verhoging van ziektelast voor longkanker is op 20% en voor coronaire hartziekten op 15% gesteld. Combinatie van deze maatregel met mechanische afzuiging kan een hoger effect geven dan berekend [Kokotti H et al. 1989].

De kans op verstikkingsongevallen wordt iets groter, vermoedelijk niet meer dan 10%.

Verdere onderbouwing van de effecten van bovenstaande bouwkundige maatregelen is beschreven in Bijlage C2.2

6.3.3 *Ventilatie*

Bij de beoordeling van de verschillende ventilatiesystemen is uitgegaan van een oplevering, gebruik en onderhoud van de systemen zoals in de praktijk. Dit houdt onder andere in dat inregeling geschiedt volgens de minimumeisen van het Bouwbesluit (maar niet hoger) en onderhoud gemiddeld minder frequent gebeurt dan gewenst [Hasselaar E 2001; MarktTracé 2002; Woonbond 2002].

De gezondheidsschade door ventilatiesystemen betreft een viertal soort problemen: 1. systeemfouten, 2. ontwerpfouten, 3. afstellingfouten en 4. ongunstig gebruik. Voor elk systeem kunnen deze problemen worden beoordeeld, waarbij de laatste twee alleen meetellen voor zover ze worden veroorzaakt of geïnduceerd door het systeem. Hier kan bij voorbeeld worden gedacht aan het afsluiten van klappramen omdat er geen goede kierstand is, of het opzettelijk uitschakelen van een ventilator omdat deze teveel lawaai maakt.

De huidige ziektelast is gerelateerd aan i) natuurlijke toevoer naar verblijfsgebieden en natuurlijke afvoer uit de natte ruimten (ventilatie type A), en ii) natuurlijke toevoer naar verblijfsgebieden en mechanische afvoer uit de natte ruimten (ventilatie type C). Deze twee hoofdsystemen, met hun varianten, bedienen de ventilatie in meer dan 95% van de huidige woningen. De bijdrage van gebalanceerde ventilatie (mechanische toevoer naar verblijfsgebieden en mechanische afvoer uit de natte ruimten, ventilatie type D⁸) in de huidige ziektelast is vanwege de geringe toepassing in de markt nog marginaal. De huidige ziektelast door ventilatie-aspecten is derhalve aan de typen A en C gelieerd.

Het fenomeen spui-ventilatie, dat wil zeggen het voor korte tijd openen van ramen heeft kortstondig een zeer positief effect op hoge concentraties vervuilde binnenlucht. Het gebruik hiervan is vooral in de winter marginaal, bovendien is het effect

⁸ Systeem D wordt in Nederland vrijwel uitsluitend met warmteterugwinning uitgevoerd.

op langere duur gering. Uit metingen gedaan gedurende een stookseizoen in 70 woningen [Gids de WF et al. 1985] blijkt dat voor een karakteristieke week in december slechts in 3% (galerijzijde) en 11% (balkonzijde) draairamen open staan. Als de draairamen opengaan wordt dit wel voor een periode van 3 à 4 uur gedaan. Uit metingen blijkt dat bij ongewijzigd gebruik van de ruimte ongeveer een half uur na sluiten van de ramen de binnenluchtconcentratie van waterdamp of CO₂ weer op het oude niveau is [Bronswijk JEMH van et al. 1994]. Een van de oorzaken is dat onder andere vocht en vettige stofdeeltjes niet alleen in de lucht maar ook gehecht of geabsorbeerd in en aan materialen voorkomt.

Wat betreft type A en C zijn lastig schoon te maken en vaak matig functionerende roosters en slecht in te stellen klappramen probleempunten. Op warme windstille dagen is bij type A de drijvende kracht achter de ventilatie minimaal. Alleen bij geopende ramen is in deze situatie ventilatie mogelijk, maar dat heeft weer een negatief effect op de binnentemperatuur. Sommige gebruikers compenseren de matige ventilatie door regelmatig een raam open te zetten.

Natuurlijke ventilatie op zich zou bij goed gebruik een behoorlijke gezondheidsverbetering kunnen bewerkstelligen ten opzichte van de huidige ziektelast, vooral op het gebied van astma en COPD. Het vraagt alleen veel van de gebruikers, en goed gebruik is in sommige gevallen (in de huidige situatie) lastig te realiseren vanwege inbraakonveiligheid en tochtproblemen. Om deze redenen is ingeschat dat natuurlijke ventilatie een gering verhoogde ziektelast heeft ten opzichte van mechanische ventilatie.

De grootste risico's liggen bij type C op het gebied van slechte afstelling en onderhoud van de huidige mechanische afzuigsystemen en aanzuiging van lucht uit de kruipruimte (zie ook hoofdstuk 5). Vanwege dit laatste aspect wordt ongeveer 15% van de woninggerelateerde longkanker-last door radon veroorzaakt, voor 60-80% is bouw materiaal verantwoordelijk [Lembrechts J 2001]. Het deel van de ziektelast van astma, COPD, en mycosen dat door een te geringe ventilatie nadelig worden beïnvloed [Bronswijk JEMH van et al. 1999] wordt bij natuurlijke ventilatie iets kleiner ingeschat dan bij mechanische ventilatie.

Vraaggestuurde ventilatie (type C) heeft veel potentieel positieve aspecten: een gegarandeerde hoeveelheid ventilatie die wordt afgenomen van de minst tochtgevoelige ventilatieopeningen en bijsturing van de ventilatie aan de belasting van de binnenlucht door extra personen of andere vervuilingbronnen. Vooral systemen die zowel een CO₂-sensor als een tijdelijk handmatige bediening toelaten hebben een ziektelast-verlagende potentie. Ook de korte weg van frisse lucht naar binnen (via raamroosters) is positief. De gezondheidswinst voor het meest gunstige systeem is geschat op 25% voor astma en COPD (ongeveer de helft van de maximale winst). De woninggerelateerde ziektelast van coronaire hartziekten en longkanker kan ongeveer 1/5 verminderen, door minder radon en passief roken. Het effect op mycosen en alveolitis wordt iets lager ingeschat, namelijk 15% vermindering.

De systemen waarbij verse buitenlucht een langere weg moet afleggen zijn intrinsiek riskanter dan systemen waarbij de toevoer naar binnen door een rooster geschiedt [Koren LGH et al. 2001]. In laboratoriumopstellingen is gebleken dat in schone filters geen bacteriën of schimmels groeien in een voortdurende luchtstroom [Maus R et al. 2001]. Juist door gebruik, na aantrekken van nutriënten en vocht-

vasthoudende materialen uit met stof vervuilde lucht, ontstaan de voorwaarden voor schimmel- en bacteriegroei [Elixmann JH et al. 1987]. In Denemarken werd in een kantooromgeving een aanzienlijke vermindering van symptomen gezien na een uitgebreide renovatie aan het luchtbehandelingssysteem [Pejtersen J et al. 2001], terwijl in een onbehandeld deel van hetzelfde gebouw de ernst van de symptomen gelijk bleven. Overigens is ook verslechtering van de situatie, vooral kort na reiniging waargenomen [Pasanen AL 1998], vermoedelijk door verstoring van de vuillagen en onvolledig reinigen.

Over geheel Europa gezien bleken astma-klachten van bewoners sterker geassocieerd met woningen met luchtverwarming of airconditioning (odds ratio⁹ van 1,43 resp. 1,46) dan met woningen zonder deze systemen [Zock JP et al. 2002]. Ook andere astmasymptomen ('piepen op de borst', benauwdheid) waren licht verhoogd (bereik 0,78-1,95). De verhoogde astma-odds ratio (ongeveer 40%) en de spreiding in de odds ratio's (minimum 80%, maximum 200% van de huidige ziektelast) zijn als basis voor het extra risico genomen. De vergrote kans op astmatische en COPD-klachten door ventilatiesystemen met kanalen is derhalve gesteld op 40%.

Omdat alveolitis en mycosen op dit moment slechts in kleine aantallen voorkomen (voornamelijk bij kantoren met slecht onderhouden systemen) en de kans op deze ziekten bij vervuilde filters en kanalen sterk verhoogd wordt, is als modus een verdubbeling van de huidige woninggerelateerde ziektelast geschat. De onzekerheid in deze beoordeling is groot, hiervoor zijn metingen in bestaande systemen noodzakelijk.

Bij balansventilatie wordt aanzuigen van radon en schimmelfragmenten uit de kruipruimte voorkomen. Hiertegenover staat een mogelijke verhoging aan myco- en endotoxinen uit de toegevoerde lucht, deze verhogen de kans op longkanker juist. Het netto effect is geschat op 10% verbetering, met een hoge onzekerheidsmarge.

Verdere onderbouwing van de effecten van bovenstaande bouwkundige maatregelen is beschreven in Bijlage C2.3

6.3.4 *Verwarming*

Ten opzichte van de huidige ziektelast kan een 100% benutting van centrale verwarming enkele procenten verbetering voor astma en COPD teweegbrengen. De nadelige effecten van luchtverwarming behelzen i) een mindere kwaliteit lucht, en ii) een minder warme vloertemperatuur dan bij vloer- of radiatorverwarming waardoor schimmels en mijten meer kans krijgen. Gezien de maximaal mogelijke verslechtering (300%) en de ruime blootstelling is een modale verhoging van 50% ingeschat.

Vloerverwarming en wandverwarming kunnen door vermindering van schimmels en mijten een verlaging van de ziektelast voor astma, COPD en woninggerelateerde mycosen veroorzaken. Aangezien de blootstelling vanuit vloertextiel in Nederland ongeveer een kwart van de totale blootstelling uitmaakt, is geschat dat 20% verbetering kan worden bereikt. Het gebruik van HR-107 ketels wordt wel in verband gebracht met problemen met binnenkomende afvoergassen. De grootte van dit pro-

⁹ Met de odds ratio wordt de significantie van een relatie aangeduid. Bij 1,0 is geen oorzakelijke relatie aanwezig, bij 0,95 wordt 5% minder aan symptomen verwacht bij toepassing van de betreffende maatregel.

bleem is niet bekend, er is daarom geen positieve of negatieve bijdrage aan de ziektelast door HR-ketels geteld.

Verdere onderbouwing van de effecten van bovenstaande bouwkundige maatregelen is beschreven in Bijlage C2.4

6.3.5 Warmwaterbereiding

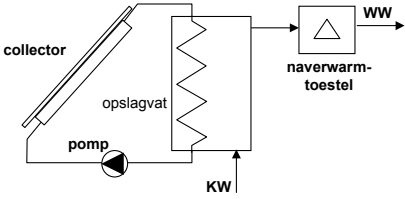
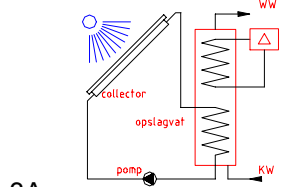
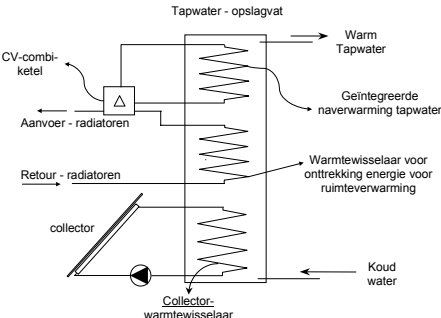
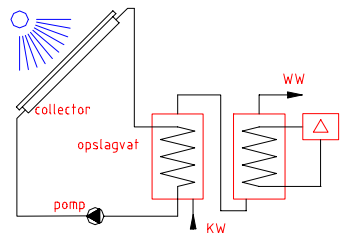
De huidige kans op Legionellose of veteranenkoorts is klein (in de orde van 10^{-5} of 10^{-6}) en wordt voornamelijk veroorzaakt door afstellings- of uitvoeringsfouten: de afstelling van boilers (lager dan 60°C) of te dicht of ongeïsoleerd naast elkaar geplaatste warm- en koud-waterleidingen [Hoebe CJ et al. 1999; Rietra PJ et al. 1984]. Het gebruik van warm water opgewarmd in een zonneboiler geeft een systeemrisico. Voor de duidelijkheid zijn in tabel 11 een aantal momenteel gebruikte zonneboilersystemen in Nederland weergegeven. Alleen type 4 wordt vooral in grote installaties gebruikt en is in de woningbouw daarom nauwelijks toegepast. Voor dit overzicht is gebruik gemaakt van [Naron DJ 2002].

In het samenvattend rapport van het onderzoek 'Microbiologische Veiligheid van Zonneboilers' [Naron DJ et al. 2003] is op grond van simulatieberekeningen, modelstudies en enkele praktijksituaties een set van ontwerp- en -aanbevelingen opgesteld voor *Legionella*-veilige huishoudelijke zonneboilers. Deze studie heeft een beperkte omvang voor wat betreft praktijksituaties waardoor geen statistisch inzicht ontstaat van het voorkomen van *Legionella* in zonneboilers. De ontwerp- en -aanbevelingen uit het rapport 'Microbiologische Veiligheid van Zonneboilers' minimaliseren de kans op *Legionella* in zonneboilers indien ze strikt worden toegepast. Echter, de installatie, afstelling en gebruik van zonneboiler installaties blijft een punt van zorg.

Op grond van deze studie en wetenschappelijke literatuur [Groothuis DG et al. 1985; Kusnetsov JM et al. 1997; Landeen LK et al. 1989; Lee TC et al. 1988; Makin T et al. 1991] is een risico-inschatting gemaakt van de verschillende systemen, waarbij ook de naverwarming is betrokken.

Tabel 11 Veelgebruikte zonneboilersystemen in Nederland. De typeaanduiding is gekozen voor deze rapportage en heeft geen relatie met een type-nummering in andere rapportages. Bron: [Naron DJ 2002]

<p style="text-align: center;"><i>Zonneboilersysteem type 1</i></p>	<p>Zonneboiler met in het vat geïntegreerde tapwater-warmtewisselaar.</p> <p>Door een voorraad-cv-combitoestel (als bovenmodule) boven de zonneboilermodule te installeren is de naverwarming gewaarborgd. In dit voorraad-combitoestel wordt tapwater op temperatuur gehouden ($60-65^{\circ}\text{C}$) door een geïntegreerd brander / naverwarmgedeelte. De tapwater-warmtewisselaar van de zonneboilermodule staat in open verbinding met (warme) tapwater van de bovenmodule. Bij het tappen komt het tapwater voorverwarmd in de bovenmodule.</p>
---	--

 <p style="text-align: center;"><i>Zonneboilersysteem type 2</i></p>	<p>Zonneboiler met tapwateropslag en naverwarming direct voor gebruik</p> <p>Het door zonne-energie opgewarmde water zal indien deze te laag in temperatuur is worden naverwarmd. Een externe cv-combiketel (of een andere instantane tapwaterverwarmer) kan deze naverwarming verzorgen. Dit naverwarmtoestel zal wel moeten garanderen dat te allen tijde de gewenste taptemperatuur (60-65°C) wordt bereikt.</p>
 <p style="text-align: center;">3A</p>  <p style="text-align: center;">3B</p> <p style="text-align: center;"><i>Zonneboilersystemen van type 3</i></p>	<p>Zonneboiler met tapwateropslag en geïntegreerde naverwarming.</p> <p>A: De warmtewisselaar van het zonneboiler-circuit bevindt zich in het onderste gedeelte van het vat. Het bovenste gedeelte van het vat kan direct via een elektrisch verwarmingselement worden verwarmd of indirect via een warmtewisselaar worden aangesloten op een cv-ketel.</p> <p>B: Een zonne-combi-systeem levert zijn (zonne)energie voor tapwaterbereiding alsmede voor ruimteverwarming. Het hart van het systeem is het opslagvat. Deze heeft drie warmtewisselaars: (1) een collectorwarmtewisselaar, (2) een warmtewisselaar die indien voldoende energie van een voldoende hoge temperatuur in het opslagvat aanwezig is, deze kan benutten voor ruimteverwarming en (3) een warmtewisselaar voor geïntegreerde naverwarming van het tapwater.</p>
 <p style="text-align: center;"><i>Zonneboiler systeem type 4</i></p>	<p>Zonneboiler met tapwateropslag en indirecte naverwarming met een cv-boiler. Dit houdt in dat naast het zonneboilervat een tweede opslagvat wordt geïnstalleerd, voorzien van een interne warmtewisselaar, welke is aangesloten op een cv-ketel. De cv-ketel zorgt ervoor dat het vat altijd op temperatuur wordt gehouden (meestal ±60-65°C).</p> <p>Dit systeem wordt vooral in grote installaties toegepast.</p>

Bij zonneboilers van het type 1 is het risico beperkt. De vergroting van de ziektelast is voor deze studie geschat op 10%.

De zonneboilersystemen van het type 2 die het midden-temperatuurtraject water kortdurend opwarmen zijn risicovol. De korte opwarming betekent dat *Legionella* in de biofilm niet wordt afgedood [Naron DJ et al. 2003].

Voor deze studie wordt een verhoging van de ziektelast geschat met een factor 2 tot 20 (modus 5).

Het type 3 systeem is vermoedelijk nog risicovoller omdat hierbij ook planktonische (vrij in de vloeistof voorkomende) *Legionella*-bacteriën in het vat kunnen overleven [Ohno A et al. 2003; Rogers J et al. 1994].

De verhoging van de ziektelast is geschat op 10 (range 5 tot 50x).

Een laatste zonneboilersysteem (type 4) waarbij de temperatuurverhoging van potentieel *Legionella*-rijk water niet in hetzelfde vat maar apart plaatsvindt is minder risicovol. Bij extreem gebruik en gelijktijdig vrijkomen van de biofilm inclusief *Legionellae* kan infectie optreden. Naar schatting is de kans op *Legionella*-infectie iets groter dan het systeem met de tapwater-warmtewisselaar (type 1). De beoordeling gaat uit van een verhoging van de woninggerelateerde Legionelloses met 20%.

Om de risico's van de verschillende zonneboilersystemen beter in te kunnen schatten is nader onderzoek noodzakelijk, waarbij vooral de groei in de voorraadvaten onder diverse realistische omstandigheden moet worden onderzocht.

Verdere onderbouwing van de effecten van bovenstaande bouwkundige maatregelen is beschreven in Bijlage C2.5

6.3.6 *Energie-Opslag/Opwekking*

Bij het gebruik van warmtekrachtkoppelingssystemen en warmtepompen kan voortdurende geluidshinder oorzaak zijn van extra ziektelast: hoge bloeddruk, coronaire hartziekten. Omdat deze niet bij iedereen even snel of ernstig zal zijn, is een maximale verhoging door slecht afgeschermd apparaten van 20% geschat en een modus van 10%.

Bij het toepassen van zonnecellen is geen extra ziektelast te verwachten. De detaillering van het dak waarop de PV-cellen worden geplaatst vraagt aandacht in verband met mogelijke lekkage en daaruit voortvloeiende schimmelvorming.

6.3.7 *Foutendiscussie*

Bij het berekenen van percentages verbetering of verslechtering van ziektelast is noodgedwongen gebruik gemaakt van (verwachte) blootstellingswaarden met soms grote onzekerheid. Door het maken van aannames over gebruik, onderhoud en installatie (bijlage E) zijn een deel van de onzekerheden vastgelegd; bij deze aannames wordt een minimalisering of maximalisering van blootstelling bereikt, in de modale variant worden de omstandigheden bereikt onder situaties met het huidige niveau van installatie en onderhoud en gebruikersgedrag.

Onder andere in de precieze grootte van blootstelling aan stof door ventilatielucht via serres, kanalen en filters *onder praktische omstandigheden* blijven grote onzekerheden. Onnauwkeurigheid in de blootstellingwaarden van een factor 2 (50% lager of 100% hoger) betekenen voor de eindwaarden aan ziektelast per maatregel een verschil van 10 tot 20%. Daarnaast bevatten de stappen van blootstelling naar ziektelast onnauwkeurigheden, bijvoorbeeld in de aanname dat ziektelasteffecten door diverse blootstellingen kunnen worden opgeteld; en in het lineair gedrag van dosis-effect-relaties bij lage concentraties en continue blootstelling. Omdat steeds de vergelijking met de huidige blootstelling en ziektelast is gemaakt, is de fout door deze stappen op de eindwaarde van de ziektelast vermoedelijk niet groter dan 10%.

De richting van de te verwachten modale ziektelast per maatregel blijft onder deze onnauwkeurigheden gelijk, behalve bij de serre, kierdichting ramen en deuren, warmte-

pompboiler en warmtepomp/zonneboiler; bij deze maatregelen is door bovengenoemde opgetelde onnauwkeurigheden ook een lichte vermindering van de ziektelast mogelijk.

6.3.8 *Ten slotte*

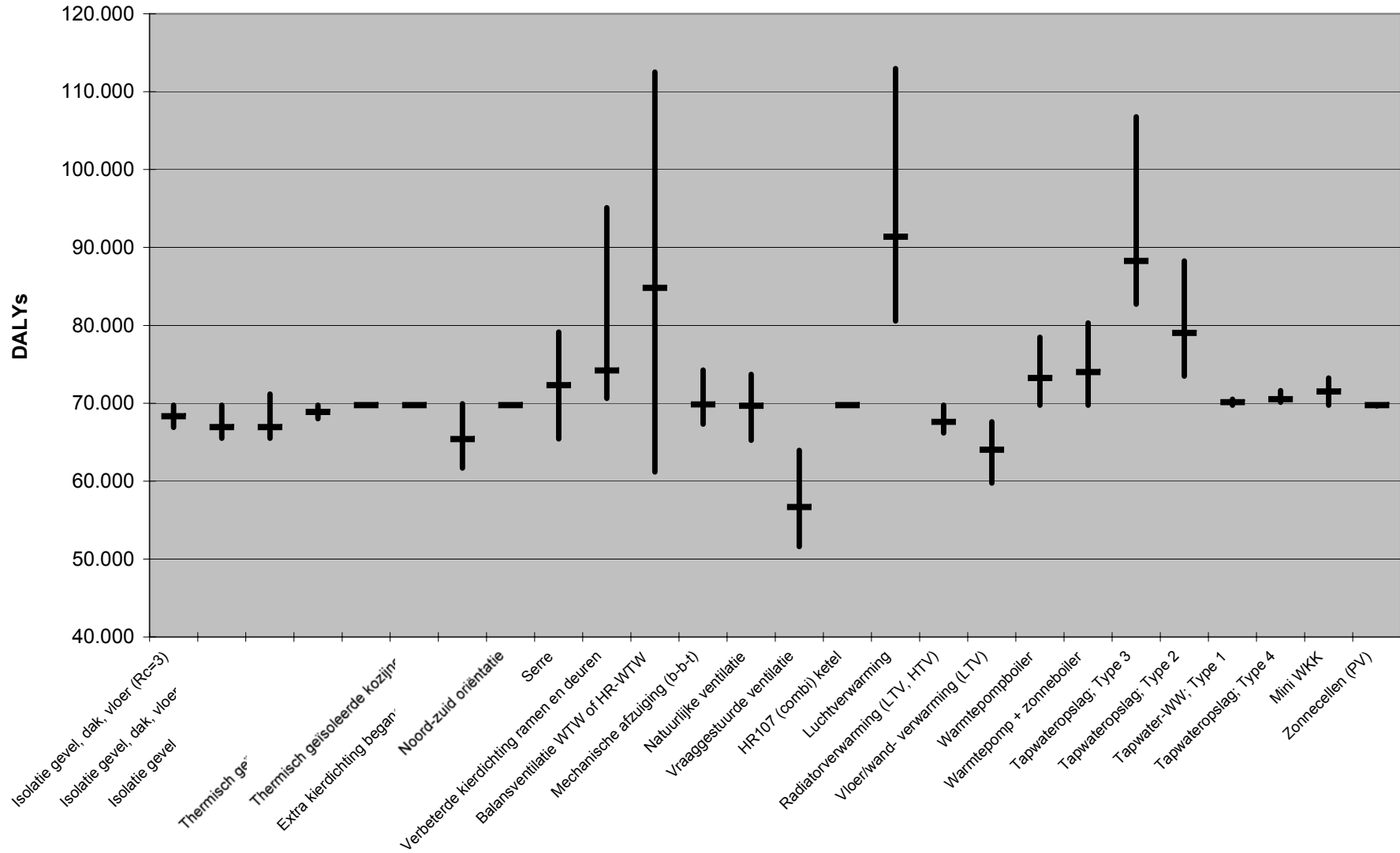
In tabel 12 is de verwachte vergroting of verkleining van de ziektelast (in percentage) gerelateerd aan Nederlandse woningen per woningkenmerk weergegeven. In deze tabel staat de verandering van ziektelast bij 100% toepassing van de betreffende bouwkundige of installatietechnische maatregel. De mate van onzekerheid in de schatting wordt aangegeven tussen haakjes (minimum en maximum).

In figuur 2 staat de ziektelast in DALY weergegeven per maatregel zoals deze zijn gegeven in tabel 10. De grafiek toont de ziektelast bij 100% toepassing van de maatregel. Het huidige niveau is ca. 70.000 DALY, zoals aangegeven in tabel 9.

Tabel 12. Verwachte modale vergroting of verkleining van de ziektelast (eronder: minimum en maximum) in %, gerelateerd aan Nederlandse woningen, per woningkenmerk. Bij 100% toepassing van de betreffende bouwkundige of installatietechnische maatregel. Voor onderbouwing van de gegeven waarden zie 6.3. Voor de beschrijving van de maatregelen onder 'zonneboilers' zie §6.3.5.

Ziekte	Isolatie gevel, dak, vloer (Rc=3)	Isolatie gevel, dak, vloer (Rc=4)	Isolatie gevel, dak, vloer (Rc=5)	Isolatie glas HR ++	Thermisch geïsoleerde buitendeuren en kozijnen	Extra kierdichting begane grondvloer	Noord-zuid oriëntatie	Serre	Verbeterde kierdichting ramen en deuren	Balansventilatie WTW en HR-WTW	Mechanische afzuiging (b-k-t)	Natuurlijke ventilatie	Vraaggestuurde ventilatie	HR107 (combi) ketel	Luchtverwarming	Radiatorverwarming (LTV, HTV)	Vloer/wand-verwarming (LTV)	Warmtepompboiler	Zonneboilers				Mini WKK	Zonnecellen (PV)	
																			Warmtepomp + zonneboiler	Met tapwateropslag Type 3	Met tapwateropslag Type 2	Met tapwater-WW Type 1			Met tapwateropslag Type 4
Astma en constitutioneel eczeem	-5 -10 ↔ 0	-10 -15 ↔ 0	-10 -15 ↔ 5	0	0	-5 -10 ↔ 0	0	10 0 ↔ 20	5 0 ↔ 50	40 -10 ↔ +100	-5 -10 ↔ 0	5 0 ↔ 10	-25 -35 ↔ -10	0	50 25 ↔ 100	-5 -10 ↔ 0	-15 -30 ↔ -5	0	0	0	0	0	0	0	0
COPD (chron. bronchitis + emfyseem)	0	0	0	0	0	-5 -5 ↔ 0	0	10 0 ↔ 20	5 0 ↔ 50	40 -5 ↔ +100	-5 -5 ↔ 0	5 0 ↔ 15	-10 -10 ↔ -5	0	50 25 ↔ 100	-5 -5 ↔ 0	-10 -10 ↔ -5	0	0	0	0	0	0	0	0
Coronaire hartziekten ⁱ	0	0	0	-5 -10 ↔ 0	0	-10 -20 ↔ 0	0	-10 -20 ↔ 0	10 5 ↔ 20	-10 -20 ↔ -5	10 5 ↔ 20	-10 -20 ↔ -5	-20 -30 ↔ -10	0	0	0	0	20 0 ↔ 50	20 0 ↔ 50	0	0	0	0	10 0 ↔ 20	0
Extrinsieke all. alveolitis en mycosen	-10 -20 ↔ 0	-15 -25 ↔ 0	-10 -25 ↔ 0	0	0	-5 -10 ↔ 0	0	10 0 ↔ 20	0	100 20 ↔ 1000	10 5 ↔ 20	-10 -20 ↔ -5	-15 -20 ↔ -10	0	0	0	-15 -30 ↔ -5	0	0	0	0	0	0	0	0
Longkanker ⁱ	0	0	0	0	0	-10 -20 ↔ 0	0	0	10 0 ↔ 20	-10 -30 ↔ +5	10 5 ↔ 20	-10 -20 ↔ -5	-20 -10 ↔ -30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Longontsteking	0	0	0	0	0	0	0	0 -20 ↔ 20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20 0 ↔ 50	500 350 ↔ 1000	250 100 ↔ 500	10 0 ↔ 20	20 0 ↔ 50	0	0
Verstikking in huis	0	0	0	0	0	10 0 ↔ 50	0	-10 -30 ↔ 0	10 0 ↔ 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ⁱ Roken door de bewoner is hier niet inbegrepen, wel de bijdrage van passief roken



Figuur 2. Ziektebelasting per maatregel bij 100% toepassing van de maatregel.

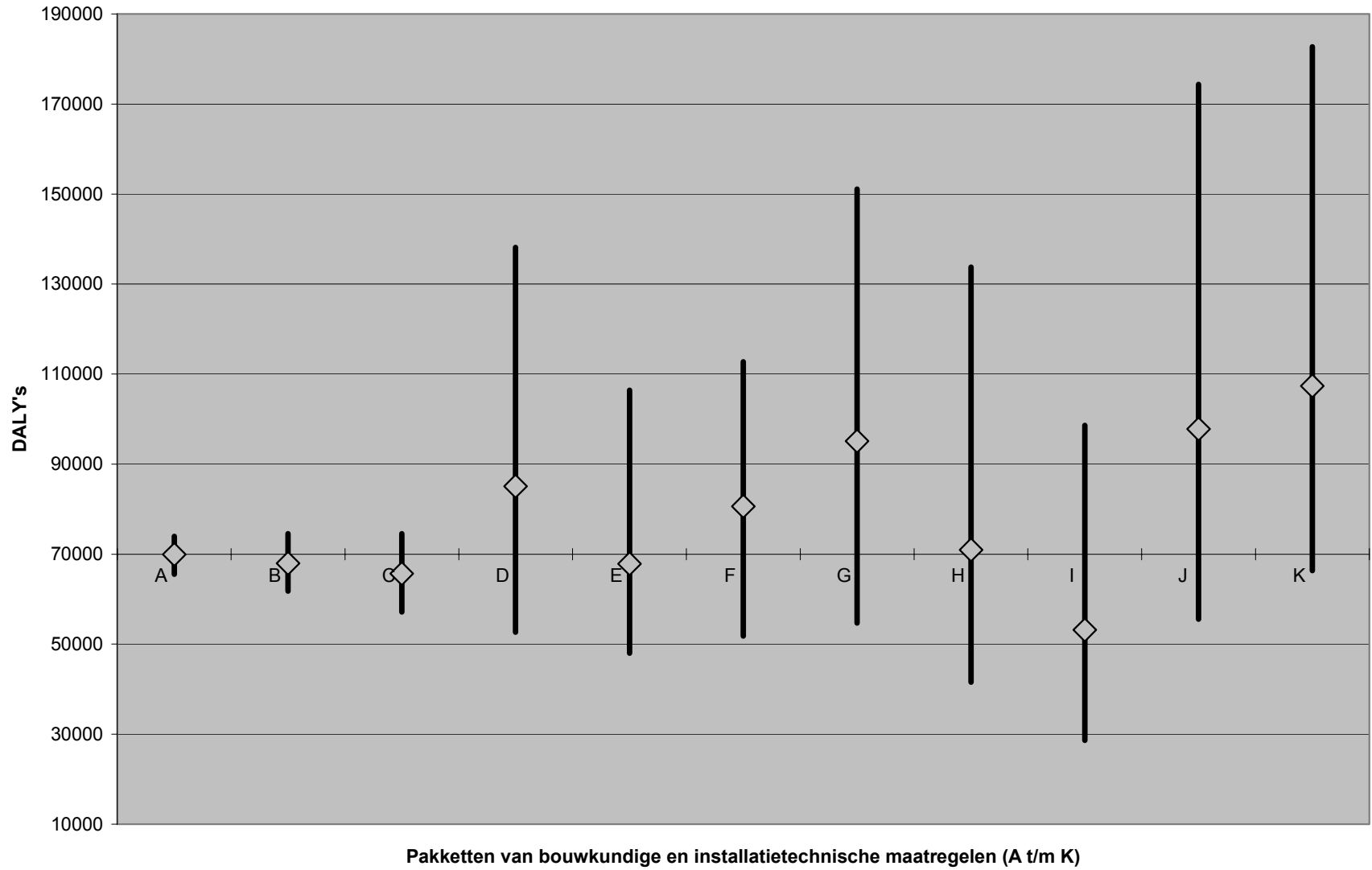
6.4 Sommeren: Pakketten van maatregelen

Er zijn 11 pakketten A tot en met K geselecteerd die voor een deel daadwerkelijk uitgevoerd zijn (zie ook de bijlagen A en B). Nadruk ligt op het bestrijken van een breed EPC-gebied en voldoende variatie in de maatregelen bij woningen in het EPC-gebied vanaf 0,8 en lager. Voor de berekening van de EPC waarde zie de voetnoot hieromtrent in §4.1. In tabel 13 volgt een korte beschrijving per pakket op hoofdlijnen. In tabel 14 is een verder uitsplitsing gegeven van de verschillende pakketten.

Tabel 13. Beschrijving per pakket op hoofdlijnen

pakket	omschrijving
A	Natuurlijk geventileerde woning. Traditionele bouw vóór de EPN (1995). Verwarming door gaskachels. EPC waarde niet van belang.
B	Woning met CV, mechanische afzuiging en natuurlijke toevoer. Traditionele bouw vóór de EPN. EPC waarde niet van belang.
C	Woning met mechanische afzuiging, betere isolatie glas, gevel en dak en verder volgens Bouwbesluit 2003. EPC = 1,0.
D	Woning met balansventilatie met HR-WTW, betere kierdichting ramen en deuren en verder volgens Bouwbesluit 2003. EPC = 1,0.
E	Woning met mechanische afzuiging, warmtepompboiler en PV. EPC = 0,8. Gebouwd in project Jan Olierookstraat Poeldijk.
F	Woning met balansventilatie en HR-WTW, HR ketel met grote radiatoren. EPC = 0,75. Gebouwd in project Tuindorp laag te Zoetermeer.
G	Woning met balansventilatie en HR-WTW, warmtekrachtkoppeling en PV. EPC = 0,65. Gebouwd in project seniorenwoning te Harderwijk.
H	Woning met verlaagde EPC op basis van project Buizengat Vlaardingen. EPC = 0,5 (vraaggestuurde ventilatie, HR107 ketel + vloer/wand verwarming, warmtepompboiler, zonneboiler, 2 m ² PV)
I	Woning met verlaagde EPC op basis van project Spoorwijk Den Haag. EPC = 0,5 (vraaggestuurde ventilatie, combi warmtepomp, vloer/wand verwarming, zonneboiler)
J	Woning met verlaagde EPC op basis van project Nieuw Terbregge Rotterdam. EPC = 0,5 (balans ventilatie + HR-WTW, combi HR107 ketel + vloer/wand verwarming, zonneboiler)
K	Woning met verlaagde EPC op basis van project VOS Projectontwikkeling. EPC = 0,5 (balans ventilatie + HR-WTW, combi warmtepomp, vergrote radiatoren, zonneboiler)

De ziektelast per pakket is berekend door te sommeren over de verandering in ziektelast (in DALY) van alle toegepaste maatregelen per pakket. Hierbij is verondersteld dat de maatregelen elkaar niet of weinig beïnvloeden. Bij sommige pakketten, waar per maatregelthema verschillende maatregelen zijn getroffen, zou dit enig verschil kunnen uitmaken. In figuur 3 is de ziektelast per pakket grafisch weergegeven. In figuur 3 is de bandbreedte zoals die volgt uit de gegevens in §6.3 aangegeven door een verticale lijn. Het ruitje geeft de modus van de ziektelast voor het betreffende pakket aan. In Bijlage C3 zijn de achterliggende waarden van de grafiek in een tabel opgenomen.



Figuur 3. Ziekte last per pakket

7 Conclusies / aanbevelingen

7.1 Conclusies

Uit de vele onderzoeken die zijn gedaan naar de kwaliteit van de binnenlucht in woningen en kantoren is wel duidelijk geworden dat goede regelgeving alleen geen garantie is voor een gezond binnenklimaat (zie ook hoofdstuk 5). De nog te vaak voorkomende fouten in ontwerp en bij de uitvoering zorgen ervoor dat ontwerpcriteria niet worden gehaald. Dat dit probleem niet alleen in Nederland speelt blijkt bij voorbeeld uit het verslag van een internationale workshop gehouden in Kopenhagen [Bakke JV et al. 1999]. Ook het gebruik van voorzieningen door bewoners geeft in grote bandbreedte in de kwaliteit van het binnenklimaat.

Het gebruik van de DALY als maat voor het gezondheidsniveau is aantrekkelijk omdat hiermee de (extra) ziektelast van verminderde gezondheid en de kans op voortijdig overlijden worden samengenomen. Vergelijkingen zijn daarmee eenvoudiger dan die van risicobeoordelingen die vooral op incidentie van mortaliteit en morbiditeit zijn geënt (zie nota Omgaan met risico's [VROM 1989]). In bijlage D wordt een overzicht gegeven van het jaarlijks risico in Nederland over 2000 voor een aantal ziekten en het afgeleide gezondheidsniveau in DALY, beide voor wat betreft het woninggerelateerde deel ervan.

Uit hoofdstuk 6.3 blijkt dat enkele maatregelen een sterke verhoging van de ziektelast tot gevolg kunnen hebben, wanneer deze algemeen worden ingevoerd. Tegelijkertijd blijkt uit 6.4 dat bij een goede keuze van maatregelen ook bij een EPC waarde lager dan 1 duidelijke gezondheidswinst is te behalen. In de optimale variant (onderkant van de kolom per maatregel) is er geen nadelige invloed van uitvoeringsgebreken, onderhoudsproblemen en gebruiksfouten (door onvoldoende gebruiksgemak of andere ontwerpfouten). De spreiding in het bereik van een beoordeling is naast de onzekerheid in de relatie ziekte-maatregel vooral te wijten aan de keuze van ontwerp- en uitvoering, instelling en mate van onderhoud.

Uit de aannames die zijn gedaan voor installatie, onderhoud en gebruik (Bijlage E) moge blijken dat er veel zal moeten worden gedaan om daadwerkelijk tot het optimale niveau te geraken.

Toepassing van sommige technologieën voor de energie/warmte opwekking zoals PV-cellen en warmtepompen hebben nauwelijks een ziektelast tot gevolg. Voor deze systemen evenals voor de vraaggestuurde ventilatie geldt dat de kosten relatief hoog zijn. Zou men echter in de berekening van kostenneutraliteit de ziektengerelateerde kosten meenemen, dan zijn deze maatregelen vermoedelijk toch rendabel.

Dit is een van de eerste onderzoeken waarbij de gezondheidseffecten van bouwtechnische maatregelen in beeld zijn gebracht. In risicogericht beleid zouden DALY en hun relatie met gebouwkenmerken een vaste plaats moeten krijgen in gebouwkwaliteitssystemen. Met dit instrument kan zowel de technologische innovatie bevorderd worden als het beleid op haar effect getoetst.

7.1.1 *Omvang van de huidige ziektelast en de effecten van maatregelen*

In dit onderzoek is berekend dat de jaarlijkse gemiddelde ziektelast 70.000 DALY bedraagt (voor het jaar 2000). Het belangrijkste woninggerelateerde gezondheidsrisico vormen astma (37%), COPD (bronchitis + longemfyseem) (21%) en coronaire hartziekten (25%). Samen vormen deze ziekten 83% van het gemiddelde totale gezondheidsrisico van ca. 70.000 DALY.

De huidige woninggerelateerde ziektelast van 70.000 DALY is een functie van ontwerp, installatie, onderhoud en (overig) gebruik van de bestaande bouwkundige materialen en installaties. Omdat de fysische, biologische en chemische kwaliteit van de lucht bij een aantal van de genoemde ziekten cruciaal is, is ook de kwaliteit van het ventilatiesysteem en zijn gebruik van groot belang. Van de huidige mechanische ventilatiesystemen wordt gewoonlijk een gering deel - ongeveer een derde - van de capaciteit gebruikt; verhoging van het gebruik - en niet in eerste instantie verhoging van de capaciteit - kan een middel zijn om de luchtkwaliteit te verbeteren en daarmee de ziektelast te verlagen. De verlaging is echter afhankelijk van uitvoering en gebruik van het systeem: kan men in de badkamer de ventilatiestand verhogen?; veroorzaakt meer ventilatie geen tocht en geen lawaai?; kost het gebruik en onderhoud geen moeite? Dit zijn facetten van de huidige systemen die ook bij de in te voeren maatregelen van belang zijn.

Van de maatregelen die genomen kunnen worden om de EPC te beïnvloeden is bepaald welke invloed deze zouden kunnen hebben op in dit kader relevante ziekten. De minimum en maximum grenzen per ziekte liggen ten grondslag aan de impact van een maatregel. Steeds is de meest waarschijnlijke (modus) als ook de minimale en maximale ziektelast ingeschat. de meest waarschijnlijke (modus) als ook de minimale en maximale ziektelast ingeschat. Bij de berekeningen is uitgegaan van een 100% toepassing van de betreffende maatregelen.

In hoofdstuk 6 is aangegeven dat de ziektelast van woningen van voor de regelgeving inzake energie prestatie leidt tot een DALY-niveau van 64.000 tot 75.000 (modus 69.000). Dat deze modus niet veel afwijkt van de huidige ziektelast is niet vreemd, het overgrote deel van de woningvoorraad maakt deel uit van deze categorie.

Technologieën waarmee het huidige EPC-niveau bereikt wordt (EPC=1) zoals een betere thermische isolatie van de gebouwschil (glas, muur en dak), al dan niet in combinatie met mechanische afzuiging, kunnen een lichte verbetering van de gezondheidspotentie van de woning te zien geven: DALY-niveau 59.000-75.000 (modus 66.000).

Benut men echter voor dit EPC-niveau een andere weg met een betere kierdichting van ramen en deuren en de installatie van gebalanceerde ventilatie, dan is de kans groot dat de gezondheidsrisico's sterk oplopen: DALY-range 54.000-138.000 (modus 85.000). Deze grote variatie wordt veroorzaakt door een combinatie van systeemkarakteristieken, uitvoeringsgebreken, onderhoudsproblemen en onvoldoende gebruiksgemak.

7.1.2 *Het effect van het verlagen van de EPC*

Wanneer pakketten van maatregelen worden bekeken die een EPC-niveau 0,8 tot 0,5 realiseren dan varieert de DALY-modus van 69.000 tot 107.000 bij een range van 52.000 tot 183.000.

In pakketten waar systemen met vraaggestuurde ventilatie deel van uitmaken (roosters in de ramen, geen toevoerkanalen) en vloer- en wandverwarming ligt de DALY-modus op 56.000 tot 74.000, bij een range van 37.000 tot 135.000. Met deze systemen kan een gezondheidspotentie van woningen worden gerealiseerd die aanzienlijk beter is dan die van woningen van het huidige EPC-niveau. Om dat te bewerkstelligen cq. optimaliseren moet voldaan worden aan de volgende eisen: (i) verhoging van het ventilatieniveau. Hier zou een onderscheid kunnen worden gemaakt naar risicogroep. Voor personen uit de hoogste risicogroep geldt dat bij een bezetting van 3 personen het gemeten huidige gemiddelde niveau van 58 dm³/s [Gids de WF et al. 2003] als ondergrens geldt [Luxemburg LCJ van et al. 1997]; Voor de groep gezonde volwassenen zou een ondergrens kunnen gelden van 36 dm³/s (zie §5.3.1), (ii) gegarandeerd kwaliteitsbehoud gedurende de levensduur, (iii) per vertrek een of meer intelligente toevoerroosters (ambient intelligence) en (iv) een hoge mate van gebruiksgemak van het systeem en zijn onderhoud.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de huidige vraaggestuurde systemen nog een verdere ontwikkeling behoeven, vooral op “intelligentie” gebied (domotica-technologie) voordat een lagere EPC gezond gerealiseerd kan worden. Toepassing van de principes van ‘Ambient Intelligence’ maakt het mogelijk de variatie in gezondheidspotentie van de pakketten te verkleinen, hetgeen voor sommige pakketten alsnog kan leiden tot volledige acceptatie voor een gezond binnenmilieu.

Door het verhogen van de ventilatiestromen wordt ook het terugwinnen van warmte uit deze luchtstroom interessant door toepassing van warmtepomptechnologie. Hiermee kan het negatieve effect op het energiegebruik vanwege het verhogen van de ventilatiestroom weer (voor een deel) worden gecompenseerd [Traversari AAL 2003]. Ook toepassing van foto voltaïsche cellen (PV) kan in de (nabije?) toekomst het primaire energiegebruik van de woning reduceren.

7.1.3 *Het effect van de EPN gerelateerde en niet-EPN-gerelateerde aspecten in relatie met de gezondheidsrisico's*

In de beoordelingssystematiek die is gebruikt voor dit onderzoek zijn de extra ziektelasten die ontstaan door niet gemiddeld gebruik, door onjuiste instelling bij oplevering of gebruik en door achterwege blijvend onderhoud, anders dan bij sommige meer theoretische risicogerichte beoordelingen, meegeteld. Dat dit van belang is blijkt uit woningonderzoek, waarbij juist deze zaken steeds opvallen [Dongen JEF van et al. 2003; Gids de WF et al. 2003; Hasselaar E 2001]. Afsplitsing van deze effecten ten opzichte van de direct EPN-gerelateerde effecten is niet goed mogelijk omdat een deel van de effecten ontstaan door toepassing van een bepaalde maatregel en door het ontwerp ervan. In Bijlage E is aangegeven welke aannamen zijn gemaakt als voorwaarden voor een optimaal niveau per maatregel en welke aspecten van installatie, onderhoud en gebruik extra blootstelling en daarmee ziektelast veroorzaakt.

Het moge duidelijk zijn dat door correcte installatie en onderhoud veel is te winnen. Frequent schoonmaakonderhoud door de bewoner en gebruik volgens het boekje hangen af van voldoende kennis van de maatregel en het gebruiksgemak; beide onderwerpen betreffen het ontwerp van de maatregel. Hoe beter het ontwerp in gezondheidstechnische zin, des te minder kennis is noodzakelijk, des te eenvoudiger

zijn de schoonmaaktaken, en des te gemakkelijker volgt men - zonder het te weten of bewust te willen - de gebruiksaanwijzing 'volgens het boekje'.

Delft, november 2003

dr I. Opstelten
Hoofd afdeling Gezonde Gebouwen en Installaties

ir C.E.E. Pernot, EurIng
projectleider

8 Referenties

Adan OCG, Gids WF de, Dongen JEF van (2000) *Handboek Vocht en Ventilatie; basis voor Ontwerp, Uitvoering en Beheer*. ISSO / SBR, Rotterdam. ISBN 90-5367-293-1

ASHRAE (1999) *ASHRAE Standard, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. ANSI/ASHRAE 62-1999. ASHRAE inc., Atlanta.

Bakke JV en Lindvall T (eds.) (1999) *For a better indoor climate. Economic, legal and user oriented decision base and procurement tools*. Report from a Nordic Workshop, Copenhagen 19-21 October 1999.

Bakker L, Oldengarm H, Borsboom W, en Ploeger T (2002) *Voorstudie nieuwe generatie zonnwoningen*. Rapport 2002-GGI-R049. TNO Bouw, Delft

Berglund B, Lindvall Th, Schwela DH, en Goh K-T (2000) *Guidelines for Community Noise. 2000*. WHO report / Ministry of the Environment. Singapore

Björkstén B, Munir A (1992) *Indoor pollution and allergic sensitization*. In: Chemical, microbiological, health and comfort aspects of indoor air quality - State of the art in SBS Knöppel H, Wolkoff P, eds (eds.) Brussels/Luxemburg: ECSC-EEC-EAEC; 181-200

Boer JW den, Friesema IHM, Hooi JD (2002) *Gemelde Legionella-pneumonie in Nederland, 1987-2000*. Ned Tijdschr Geneeskd 146(7):315-20.

Bonita R, Duncan J, Truelsen T, Jackson RT, Beaglehole R (1999) *Passive smoking as well as active smoking increases the risk of acute stroke*. Tob.Control 8(2):156-160.

Braam ITJ, Bus J, Hamel A, Hulshof CTJ, Laan van der G, Pal TM, Spreuwers D, en Stinis HPJ (2000) *Signaleringsrapport Beroepsziekten 2000*. Nederlands Centrum voor Beroepsziekten, Coronel Instituut, AMC Amsterdam
<http://www.ncberoepsz.nl/publicaties/acrobat/2000/signalering%202000.pdf>

Bronswijk JEMH van (1973) *Dermatophagoides pteronyssinus (Trouessart, 1897) in mattress and floor dust in a temperate climate (Acari: Pyroglyphidae)*. J.Med.Entomol. 10(1):63-70.

Bronswijk JEMH van (1981) *House dust biology for allergists, acarologists and mycologists*. NIB Publishers, Zeist. ISBN 90 275 3501 9

Bronswijk JEMH van (6-12-1991) *Tapijt, luchtbehandeling en het zieke gebouw. Intreerede uitgesproken op 6 december 1991 aan de Technische Universiteit Eindhoven*. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven.

Bronswijk JEMH van, Baart de la Faille H, Bruijnzeel-Koomen CAFM (1994) *Eczema and the Environment. On the 75th Anniversary of Dermatology at Utrecht University the Netherlands (1919-1994)*. Dept. Dermatology Utrecht University, Utrecht. ISBN 90-293-0782-2

Bronswijk JEMH van, Hansen EJ, Koren LGH, Pernot CEE, Phaff JC, en Rameckers EMAL (1991) *Managing Natural Pollutants Indoor*. Final Report; EC Project nr 2000/POL/107 MaNaPI

Bronswijk JEMH van, Koren LGH, Horst FAM, Laere MMLF van, Nillesen IPM, Pernot CEE, en Schober G (1999) *Gezond en Duurzaam Bouwen: GeDuBo*. Rapport TU/e, nummer BMGT99.083. Eindhoven
<http://www.phe.bwk.tue.nl/>

Brosseau LM, D Vesley, T H Kuehn, J Melson, Hee Siew Han (2000) *Methods and criteria for cleaning contaminated ducts and air-handling equipment*. ASHRAE Transactions 1:188-199.

Brugmans MJP, Leenhouts HP, Bijwaard H (2002) *Het risico op kanker bij lage doses*. NVS Nieuws 27(4):20-23.

Carter N, Henderson R, Lal S, Hart M, Booth S, Hunyor S (2002) *Cardiovascular and autonomic response to environmental noise during sleep in night shift workers*. Sleep 25(4):457-464.

Centraal Bureau voor Statistiek (2003) *Statline*.
<http://statline.cbs.nl/StatWeb/start.asp?lp=Search/Search>

Chiu AM, Fink JN (2002) *Fungal allergy and pathogenicity - Introduction*. Fungal Allergy and Pathogenicity 81:1-4.

Cornelissen HJM, Gids de WF (1996) *Luchtdoorlatendheid van woningen*. Bouwwereld 18:59-62.

Council of Europe Committee of ministers (eds.) (2001) *Resolution on the introduction of the principles of universal design into the curricula of all occupations working on the built environment*. ResAP(2001)1. EU

Dijk KW van, Willemsen A, en Vos FA (2002) *Installaties voor levensloopbestendig wonen: drie modellen*. Uneto-VNI
<http://www.vni.org>

Dongen JEF van (1984) *Horen en hinder van sanitaire geluiden in installatiegeluiden binnen en tussen nieuw gebouwde eengezinswoningen en gestapelde woningen*. Rapport D76, samengevat in rapport D 89. TNO-IMG, Delft

Dongen JEF van (1985) *Ervaringen en gedrag van bewoners in woningen met verschillende verwarmingssystemen; onderzoek in het demonstratieproject Westenholtte te Zwolle*. TNO-NIPG, Leiden

Dongen JEF van, (1990). *The influence of different ventilation devices on the occupants behaviour in dwellings*. Proceeding on 11 th AIVC Conference. Belgirate, Italy.

Dongen JEF van en Steenbekkers JHM (1993) *Gezondheidsproblemen en het binnenmilieu in woningen*. Publicatie nr 93.067 (ISBN 90-6743-271-7). TNO-NIPG, Leiden

Dongen JEF van en Vos H (2003) *Relatie EPC-niveau en zelf-gerapporteerde gezondheidseffecten. Analyse op basis van geïntegreerde data uit twee onderzoeken*. Rapport 2003-46. TNO INRO. ISBN: 90-5986-041-1, Delft

Dongen JEF van, Vos H, Luxemburg LCJ van, en Raijmakers TMJ (1998) *Dosis-effect relatie voor geluid van burelen*. Publicatierreeks Verstoring (MIG), nr. 2/1998. Publicatie Min. VROM, Den Haag

Dorrestein A en Daal P van (2001) *Een domoticahuis voor ouderen. De eerste ervaringen van vijf Brabantse domoticaprojecten. Tussentijdse rapportage*. PON; Instituut voor advies, onderzoek en ontwikkeling in Noord-Brabant, Tilburg

EC (1994) *Publikatieblad van de Europese Gemeenschap, Basisdocument betreffende het fundamenteel voorschrift nr. 3 "HYGIENE, GEZONDHEID EN MILIEU"*. Nr. C 62/73. European Commission

Elixmann JH, Jorde W, Linskens HF (1987) *Filters of an air-conditioning installation as disseminators of fungal spores*. *Experientia Suppl* 51:286-6.

Engvall K, Norrby C, Bandel J, Hult M, Norbäck D (2000) *Development of a Multiple Regression Model to Identify Multi-Family Residential Buildings with a High Prevalence of Sick Building Syndrome (SBS)*. *Indoor Air* 10:101-110.

Engvall K, Norrby C, Norbäck D (2001) *Sick building syndrome in relation to building dampness in multi-family residential buildings in Stockholm*. *Int Arch Occup Environ Health* 74(2):270-278.

Engvall K, Norrby C, Norbäck D, (2002). *Sick Building Syndrome (SBS) in relation to energy conservation, and reconstruction in older multi-family houses in Stockholm, Sweden*. *Proceedings Indoor Air 2002*.

EPA Environmental Protection Agency (eds.) (1992) *Respiratory health effects of passive smoking: lung cancer and other disorders*. Washington DC

Europese Raad van ministers (1999) *Richtlijn 1999/30/EG van de Raad van 22 april 1999 betreffende grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht*. (L163),41-60., Luxemburg

Fanger PO (1988) *Introduction of the olf and the decipol Units to Quantify Air pollution Perceived by Humans Indoors and Outdoors*. *Energy in Buildings* 12(1988):1-6.

Fanger PO, Christensen NK (1986) *Perception of draught in ventilated spaces*. *Ergonomics* 29(2):215-235.

Fanger PO, Lauridsen J, Bluysen P, Clausen G (1988) *Air Pollution Sources in Offices and Assembly Halls, Quantified by the olf Unit*. *Energy in Buildings* 12(1988):7-19.

Feenstra TL, Genugten ML van, Hoogenveen RT, Wouters EF, Rutten-van Molken MP (2001) *The impact of aging and smoking on the future burden of chronic obstructive pulmonary disease: a model analysis in the Netherlands*. Am J Respir Crit Care Med 164(4):590-6.

Foarde KK, VanOsdell DW, Chang JCS, (1995). *Susceptibility of Fiberglass Duct Lining to Fungal (Penicillium chrysogenum) Growth*. Proceedings of the Air and Waste Management Association Speciality Conference, Engineering Solutions to Indoor Air Quality Problems VIP:629-638.

Furuhata K TTDNOSKF (1994) *Contamination of hot water supply in office buildings by Legionella pneumophila and some countermeasures*. Nippon Koshu Eisei Zasshi 41(11):1073-83.

Gezondheidsraad (1984) *Advies inzake het binnenhuisklimaat, in het bijzonder een ventilatieminimum, in Nederlandse woningen*. publicatiernr U-5551/lw 163-V. Den Haag

Gezondheidsraad (1998) *HELLE; Gezondheidseffecten van lage blootstellingsniveaus*. publicatiernr 1998/18; ISBN: 90-5549-242-6. Den Haag

Gezondheidsraad (2000a) *Radon: toetsing rapport 'BEIR VI'*. publicatiernr 2000/05; ISBN: 90-5549-306-6. Den Haag

Gezondheidsraad (2000b) *Vluchtige organische stoffen uit bouwmaterialen in verblijfsruimten*. publicatiernr 2000/10; ISBN: 90-5549-320-1. Den Haag

Gezondheidsraad (2002) *Blootstelling aan combinaties van stoffen: systematiek voor het beoordelen van gezondheidsrisico's*. publicatiernr 2002/05; ISBN: 90-5549-430-5. Den Haag

Gids de WF, Phaff J.C., Dongen JEF van, en Schijndel LLM van (1985) *Bewonersgedrag en ventilatie*. Rapport C 581. IMG-TNO, Delft

Gids de WF en Veld P op 't (2003) *Onderzoek naar de bestaande situatie met betrekking tot de optredende luchtkwaliteit en het daarmee gepaard gaande energiegebruik in relatie tot gezondheidsaspecten voor een representatieve steekproef van het Nederlandse woningbestand*. Rapport 2003-GGI-R064. TNO Bouw, Delft

Groothuis DG, Veenendaal HR, Dijkstra HL (1985) *Influence of temperature on the number of Legionella pneumophila in hot water systems*. J.Appl.Bacteriol. 59:529-536.

Hasselaar E (2001) *Hoe gezond is de Nederlandse woning?* DUP Science, Delft. ISBN 90-407-2257-9

Hoebe CJ, Cluitmans JJ, Wagenvoort JH, Leeuwen WJ van, Bilkert-Mooiman MA (1999) *Cold tap water as a source of fatal nosocomial pneumonia due to Legionella pneumophila in a rehabilitation center*. Ned Tijdschr Geneesk 143(20):1041-5.

Hoeymans N, Poos MJJC (2002) *Sterfte, ziekte en ziektelast voor 49 geselecteerde aandoeningen*. In: Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid Bilthoven: RIVM;

Holopainen R, Asikainen V, Tuomainen M, Bjorkroth M, Pasanen P, Seppanen O (2003) *Effectiveness of duct cleaning methods on newly installed duct surfaces*. Indoor Air 13(3):212-22.

Howarth A, DW Pearce, E Ozdemiroglu, T Deccombe-Hett, K Wieringa, CM Streefkerk, en AEM de Hollander (2001) *Waardering van de baten van milieubeleid in Nederland*. RIVM Rapport 481505 024. EFTEC/RIVM, Bilthoven

ISIAQ-CIB Task Group TG42 (2003) *Performance criteria of buildings for health and comfort*. Final draft report January 9, 2003.

ISIS (2003) *Infectieziekten Surveillance Informatie Systeem*.
<http://www.rivm.nl/isis/>

ISSO (1995) *Rapport inzake een onderzoek naar de acceptatie van en besluitvorming over gebalanceerde ventilatiesystemen in de woningbouw*. Intern-Rapport 36.01. Rotterdam

ISSO, SBR (2001) *Praktijkboek Gezonde Gebouwen*. Rotterdam. ISBN 90-5044-055-X

Janssen MPM, Vries L de, Phaff JC, Graaf ER van der, Blaauboer RO, Stoop P, en Lembrechts J (1998) *Modelering van het transport van radon in Nederlandse woningen*. RIVM rapport 610050005. RIVM, Bilthoven

Kempen van EE, Kruize H, Boshuizen HC, Ameling CB, Staatsen BA, de Hollander AE (2002) *The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis*. Environ.Health Perspect. 110(3):307-317.

Kniest,FM, (1990) *The management of dust allergens* (PhD Thesis). University Nijmegen.

Kokotti H, Savolainen T, Raunemaa T, Kalliokoski P (1989) *Indoor radon in three similar two-story houses with different ventilation systems*. Environment International 15:289-292.

Koren LGH, (1995) *Allergen avoidance in the home environment. A laboratory evaluation of measures against mite, cat and fungal allergens* (PhD Thesis). Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.

Koren LGH, Pernot CEE, en Bronswijk JEMH van (2001) *Gezondheidsrisico's van ventilatiesystemen in woningen*. Rapport Allergo Consult AC-2000/2/WK, 30 juli 2001, Beusichem.

Koren LGH, Snijders MCL, Pernot CEE, Zeiler W, Schmid P, Bronswijk JEMH van (2002) *Lack of Pro-active Technology in Indoor Air Quality Protection*. Gerontechnology (submitted for publication).

Kornaat W (1989) *Recirculatie in woningen. Invloed van luchtverwarming op stofconcentraties in de binnenlucht*. Rapport R89/298. TNO-MT, Delft

Kort HSM, (1994) *A structured approach to allergen avoidance in dwellings with special emphasis on the ecosystem of humid indoor walls and room partitions* (PhD Thesis). Technische Universiteit Eindhoven.

Kort HSM, LGH Koren, CAFM Bruijnzeel-Koomen, IPM Nillesen, en Bronswijk JEMH van (1997) *Van binnenmilieu-klachten tot gezondheids-classificatie van nieuwe en te renoveren woningen (GCW) I: Van ziekten en klachten, naar bouwkundige kenmerken*. TUE-BMGT Rapport: BMGT96.508, Eindhoven
<http://www.phe.bwk.tue.nl/>

Kusnetsov JM, Tulkki AI, Ahonen HE, Martikainen PJ (1997) *Efficacy of three prevention strategies against legionella in cooling water systems*. J Appl Microbiol 82(6):763-8.

Landeen LK, Yahya MT, Gerba CP (1989) *Efficacy of copper and silver ions and reduced levels of free chlorine in inactivation of Legionella pneumophila*. Appl. Environ. Microbiol. 55:3045-3050.

Lee TC, Stout JE, Yu VL (1988) *Factors predisposing to Legionella pneumophila colonization in residential water systems*. Arch. Environ. Health 43:59-62.

Leenhouts HP, Brugmans MJP (2001) *Berekening van de longkankerincidentie in Nederland door roken en blootstelling aan radon: implicaties voor het effect van radon*. NVS Nieuws((sept)):13-16.

Lembrechts J (2001) *Blootstelling van de Nederlandse bevolking aan radon*. NVS Nieuws((sept)):23-26.

Lemus R, Abdelghani AA, Akers TG, Horner WE (1998) *Potential health risks from exposure to indoor formaldehyde*. Rev Environ Health 13(1-2):91-8.

Luxemburg LCJ van, CEE Pernot, en PGS Rutten (1997) *Van binnenmilieu-klachten tot gezondheids-classificatie van nieuwe en te renoveren woningen (GCW) 2: Van gezondheidsrisico naar bouwbesluit-systematiek*. Rapport 96-CBO-R1285. TNO Bouw, Eindhoven
<http://www.phe.bwk.tue.nl/>

Lynden - van Nes AMT, (1999) *Effective mite allergen avoidance in households with asthmatic children; Clinical, technical and behavioral aspects* (PhD Thesis). Technische Universiteit Eindhoven. ISBN 90-6814-097-3

Mackenbach JP, Borst V, Schols JM (1997a) *Heat-related mortality among nursing-home patients*. Lancet 349(9061):1297-1298.

Mackenbach JP, Verkleij H (1997b) *Volksgezondheid Toekomst Verkenning. Deel II Gezondheidsverschillen*. RIVM, Bilthoven. ISBN 90 352 1869 8

Mahmoudi M, Gershwin ME (2000) *Sick building syndrome. III. Stachybotrys chartarum*. Journal of Asthma 37(2):191-8 Review.

Makin T, Hart CA (1991) *The effect of a self-regulating trace heating element on Legionella within a shower*. J. Appl. Bacteriol. 70:258-264.

Månsson Lars-Göran, (eds.) (2000) *Simplified tools for evaluation of domestic ventilation systems handbook*. IEA, International Energy Agency

MarktTracé (2001) *Eindrapport onderzoek Balansventilatie*. Rapport dd juni 2001. Groningen

MarktTracé (2002) *Eindrapport TNO-enquête ventilatie en gezondheid*. Rapport dd februari 2002. Groningen

Maroni M, Seifert B, en Lindvall Th, (eds.) (1995) *Indoor Air Quality, A comprehensive reference book*. Elsevier Science BV, Amsterdam.

Maus R, Goppelsroder A, Umhauer H (2001) *Survival of bacterial and mold spores in air filter media*. Atmospheric Environment 35((1)):105-113.

Meijer G en Duijm F (2002) *Zuinig, warm en schoon; (balans)ventilatie en binnenmilieu, metingen in 28 woningen*. GGD Groningen. Rapport GGD Groningen, november 2002.

Melse JM, Essink-Bot ML, Kramers PGN (2000) *A national burden of disease calculation: Dutch Disability-Adjusted Life-Years*. Am J Public Health 2000(90):1241-7.

Mutius E von (1998) *The rising trends in asthma and allergic disease*. Clin Exp Allergy 28 Suppl 5:45-9.

Naron DJ (2002) *Huidige typen zonneboilers in Nederland; Inventarisatie t.b.v. project 'Microbiologische veiligheid van zonneboilers'*. Rapport 2002-DEG-R015. TNO Bouw, Delft

Naron DJ, Knol W, en Hartog B (2003) *Microbiologische Veiligheid van Zonneboilers*. Rapport 2002-DEG-R014. TNO Bouw, Delft

NEN-EN-ISO 7730 (1996) *Gematigde thermische binnenomstandigheden. Bepaling van de PMV- en de PPD-waarde en de specificatie van de voorwaarden voor thermische behaaglijkheid*. NNI, Delft.

NEN 5128 (nl) (2001) *Energieprestatie van woonfuncties en woongebouwen - Bepalingsmethode*. NNI, Delft

NIOSH (1991) *Current Intelligence Bulletin 54: Environmental tobacco smoke in the workplace; Lung cancer and other health effects*. National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati.

Norbäck D, Björnsson E, Janson C, Oman G (1995) *Asthmatic symptoms and volatile organic compounds, formaldehyde, and carbon dioxide in dwellings*. Occupational And Environmental Medicine 52(6):388-395.

Nurminen MM, Jaakkola MS (2001) *Mortality from occupational exposure to environmental tobacco smoke in Finland*. J.Occup.Environ.Med. 43(8):687-693.

Oers JAM van (ed) (2003) *Gezondheid op koers? Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2002*. RIVM rapportnr. 270551001. Bohn Stafleu Van Loghum, Houten

Ohno A, Kato N, Yamada K, Yamaguchi K (2003) *Factors influencing survival of Legionella pneumophila serotype 1 in hot spring water and tap water*. Appl. Environ. Microbiol. 69(5):2540-2547.

Ouis D (2002) *Annoyance Caused by Exposure to Road Traffic Noise: An Update*. Noise. Health 4(15):69-79.

Pal TM, (2001) *Humidifiers disease in synthetic fiber plants: an occupational health study*. (PhD Thesis). Rijksuniversiteit van Groningen.

Pasanen AL, (1998) *Emissions from filters and hygiene of air ducts in the ventilation systems of office buildings* (PhD Thesis). University of Kuopio.

Pasanen PO, Pasanen AL, Luoma M, Kalliokoski P (1993) *Effect of duct-cleaning detergents and disinfection substances on mould growth. Operating and maintaining buildings for health, comfort and productivity.*, Proceedings IAQ '93 Teichman K Y, ed (eds.) Philadelphia: ASHRAE; 139-142 ISBN 1 883413 13 3

Passchier-Vermeer W, Kluizenaar Y de, Steenbekkers JHM, Dongen JEF van, Wijnhuizen GJ, en Miedema HME (2001) *Milieu en Gezondheid 2001; Overzicht van risico's, doelen en beleid*. TNO rapport 2001.95. TNO Preventie en Gezondheid, Leiden

Pejtersen J, Brohus H, Hyldgaard CE, Nielsen JB, Valbjorn O, Hauschildt P, Kjaergaard SK, Wolkoff P (2001) *Effect of renovating an office building on occupants' comfort and health*. Indoor. Air 11(1):10-25.

Pettenkofer M (1858) *Über den Luftwechsel in Wohngebäuden*. Litterarisch-Artistische Anstalt der J G Cotta'schen Buchhandlung, München.

prENV 1752 (1997) *European prestandard: Ventilation for buildings - Design criteria for the indoor environment*. NNI, Delft.

Raw G et al. (2003) *A strategy for the assessment of indoor air quality in homes and office buildings. A contribution to the EU project 'Health optimisation Protocol for Energy-efficient buildings'*. HOPE. BRE 2002. 1-60

Rietra PJ, Adriaanse R, Zanen-Lim OG, Lelie J van der, Zanen HC (1984) *Legionella pneumonia from the home water faucet*. Ned Tijdschr Geneeskd 128(37):1765-7.

Rijksgebouwdienst (1999) *Bouwfysische kwaliteit Rijkshuisvesting. Wettelijke eisen en Rgd-richtlijnen*. MVRM, Den Haag
<http://www.rijksgebouwdienst.nl/bouwfys/Bouwfysica.htm>

RIVM (2000) *Milieubalans 2000. Het Nederlandse milieu verklaard*. Bilthoven

RIVM (2003) *Volksgezondheid Toekomst Verkenning, Nationaal Kompas Volksgezondheid*. versie 2.3. RIVM, Bilthoven
<http://www.nationaalkompas.nl>

Rogers J, Dowsett AB, Dennis PJ, Lee JV, Keevil CW (1994) *Influence of temperature and plumbing material selection on biofilm formation and growth of Le-*

Legionella pneumophila in a model potable water system containing complex microbial flora. *Appl. Environ. Microbiol.* 60:1585-1592.

Ruwaard D, Kramers PGN (1997) *Volksgezondheid Toekomst Verkenning 1997. De som der delen*. Elsevier / Tijdstroom, Maarssen.

Ruwaard D en Kramers PGN, (eds.) (1993) *Volksgezondheid Toekomst Verkenning. De gezondheidstoestand van de Nederlandse bevolking in de periode 1950-2010*. Sdu, Den Haag. ISBN 90 399 0505 3

Rylander R, Sorensen S, Goto H, Yuasa K, Tanaka S, (1989). *The importance of endotoxin and glucan for symptoms in sick buildings*. Present and future of indoor air quality. Amsterdam: Excerpta Medica 219-226.

Schaap LEJJ (1996) *Vochtproblemen en beganegrond vloeren*. De Bouwadviseur december.

Scholten NPM, (2001) *Technische en juridische grondslagen van de technische bouwregelgeving Woningwet en Bouwbesluit* (PhD Thesis). Technische Universiteit Delft. ISBN 90-806325-2-X

Seifert B (1990) *Man and the indoor environment*. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin

Simmons RB, Crow SA (1995) *Fungal colonization of air filters for use in heating, ventilating, and air conditioning (HVAC) systems*. *J. Ind. Microbiol.* 14(1):41-45.

Skogberg K, Nuorti JP, Saxen H, Kusnetsov J, Mentula S, Fellman V, Maki-Petays N, Jousimies-Somer H (2002) *A newborn with domestically acquired legionnaires disease confirmed by molecular typing*. *Clinical Infectious Diseases* 35(8):E82-E85.

Snijders MCL, (2001) *Indoor air quality and physical independence. An innovative view on healthy dwellings for individuals with chronic lung disease* (PhD Thesis). Technische Universiteit Eindhoven. ISBN 90-6814-122-8

Spruit FPM, Lange CAGM van, en Koster GCS (2002) *HR-ventilatie in de woningbouw*. A3 Advies rapport dd 25 maart 2002. Culemburg

Steenbekkers JHM en Dongen JEF van (1997) *Evaluatie van de effectiviteit van voorlichting naar een gezond binnenmilieu*. Publicatie nr. 97.030. TNO-PG, Leiden

Steenbekkers JHM, Miedema HME, en Vos H (2002) *Gezondheid en tevredenheid in energiedichte woningen*. Rapport nummer 2002.042. TNO Preventie en Gezondheid, Leiden

Stoop P, Glastra P, Hiemstra Y, Vries L de, en Lembrechts J (1998) *Results of the second Dutch national survey on radon in dwellings*. RIVM rapport 610058006. Bilthoven

Stouthard MEA, Essink-Bot ML, Bonsel GJ on behalf of the Dutch Disability Weights Group (2000) *Disability weights for diseases. A modified protocol and results for a Western European Region*. *Eur. J Public Health* 10:24-30.

Teeuw KB, (1993) *Sick Building Syndrome; the role of airborne microorganisms and endotoxin* (PhD Thesis). Universiteit Utrecht. ISBN 90-393-0136-0

Traversari AAL (2003) *(TNO MEP, afdeling Koudetechniek en Warmtepompen) Persoonlijke mededeling.*

Vaas LH, HB Kal, en P Jong (1991) *Basisdocument Radon*. RIVM, Bilthoven

Veld P op 't en Gids de WF (1999) *Techniekinventarisatie Ventilatie*. Novem, Sittard

Villeneuve PJ, Morrison HI (1997) *Coronary heart disease mortality among Newfoundland fluorspar miners*. Scand.J.Work Environ.Health 23(3):221-226.

Volpe BT, Sulavik SB, Tran P, Apter A (1991) *Hypersensitivity pneumonitis associated with a portable home humidifier*. Conn.Med. 55(10):571-573.

VROM (1989) *Omggaan met risico's: de Risicobenadering in het milieubeleid. Aanhangsel bij Nationaal Milieubeleidsplan 1990-1994*. VROM, Den Haag

VROM (1997) *Tweede Plan van Aanpak Duurzaam Bouwen*. Kamerstuk nr. 25720, nr 1. Den Haag

VROM (1998) *Nationaal Milieubeleidsplan 3*. VROM, EZ, LNV, VenW, F en BZ, Den Haag

VROM (2001) *Bouwbesluit 2003*. Staatsblad (410) Sdu Uitgevers, Den Haag
<http://www.vrom.nl/Docs/wonen/bouwbesluitSTB.pdf>

VROM (2002a) *Regeling Bouwbesluit 2003*. Staatsblad (241),15. Sdu Uitgevers, Den Haag
http://www.vrom.nl/Docs/wonen/REGELING_bouwbesluit.pdf

VROM (2002b) *Woningwet*. Staatsblad (590),1-60. Sdu Uitgevers, Den Haag
http://www.vrom.nl/Docs/wonen/tekst_woningwet2003.pdf

VROM en VWS (2002) *Actieprogramma Gezondheid en Milieu. Uitwerking van een beleidsversterking*. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag
<http://www.vrom.nl/docs/publicaties/milieu21767.pdf>

Wal JF van der en et al. (1989) *Onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit van gerenoveerde woningen te 's-Hertogenbosch. MT-TNO rapportnr. R 88/253c*. Rapport MT-TNO rapportnr. R 88/253c. Delft

WHO (1997) *Assessment of exposure to indoor air pollutants*. WHO regional publications. European series ; No. 78. World Health Organisation, Geneva ISBN 92 890 1342 7

WHO (2000) *Air Quality Guidelines for Europe*. Second edition. WHO regional publications. European series ; No. 91. World Health Organisation, Geneva ISBN 92 890 1358 3
<http://www.who.dk/document/e71922.pdf>

Wichers Hoeth A en Vierveijzer P (2002) *Regeleffecttoets EPC 0,8 voor de woningbouw*. DHV Huisvesting en Vastgoed, Memo 5 DHV, 29-10-2002.

Woonbond (2002) *Onderzoek naar ervaringen met de Toetslijst ventilatie*. bestelcode OP11, Februari 2002. Nederlandse Woonbond, Amsterdam

Zock JP, Jarvis D, Luczynska C, Sunyer J, Burney P (2002) *Housing characteristics, reported mold exposure, and asthma in the European Community Respiratory Health Survey*. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 110(2):285-292.

Bijlage A

Projecten met EPC \leq 0,80

(Bron: [Bakker L et al. 2002])

project	plaats	Type	EPC	R _c	U _{raam}	U _{deur}	ventilatie	verwarming	LTV	warmtapwater	zonne-boiler		PV	zon pass.	kier-dichting
				-	m ² K/W	W/m ² K					W/m ² K	type			
Buizengat	Vlaardingen	Bob van Reeth, E, basis	0,79	4,0	1,0	2,0			vloer/wand	warmtepomp-boiler					
Tuindorp hoog	Zoetermeer	Kloet, hoogbouw, optie 1	0,80	3,5-4,0	1,5			coll. el. warmtepomp	vloer/wand	hoog rend. HR					
		Kloet hoogbouw, optie 2	0,76	4,0	1,1	2,2	95% wtw		grote rad.	hoog rend. HR					
Spoorwijk	Den Haag	type 4a	0,78	4,0-5,0		2,0		combi warmtepomp	vloer/wand	combi warmtepomp					
		type 5	0,75	4,0-5,0		2,0		ind. combi warmtepomp	vloer/wand	ind. combi warmtepomp		5,4			
		type 5b	0,66	4,0-5,0		2,0		combi warmtepomp	vloer/wand	combi WP warmtepomp	2,8				
De Landerijen	Lelystad	Moes, type A	0,75	4,0-4,5	1,5	1,2		warmtelevering		warmtelevering					
Tuindorp laag	Zoetermeer	MvW, type B	0,77	3,0-4,0		2,0	95% wtw		grote rad.	hoog rend. HR					
		Splinter, type 1	0,75	3,0-4,0		2,0	95% wtw		grote rad.	hoog rend. HR					
Stadsvierkant	Zoetermeer	Groosman&Partners, type D2	0,80	3,0		2,0		coll. el. combi-warmtepomp	vloer/wand	coll. el. combi-warmtepomp					
		Groosman&Partners, hoogbouw	0,81	3,5		2,0		coll. el. combi-warmtepomp	vloer/wand	coll. el. combi-warmtepomp					
		Splinter, 2-laags tussen plat dak	0,80	5,0	1,5	2,0	vent-o-system		vloer/grote rad.						
		Splinter, woontoren	0,78	5,0	1,5	2,0		coll. el. combi-warmtepomp	vloer/grote rad.	coll. el. combi-warmtepomp					
Oosterheem	Zoetermeer	Singelwoning	0,75	3,5-4,0	1,4	1,3	95% wtw								
Nieuw Terbregge	Rotterdam	VHP, 2-onder-1-kap	0,56	3,5-4,0		1,4	95% wtw	ind. combi warmtepomp	vloer/wand	ind. combi warmtepomp		5,0			

project	plaats	Type	EPC	R _c	U _{raam}	U _{deur}	ventilatie	verwarming	LTV	warmtapwater	zonne-boiler		PV	zon pass.	kier-dichting
				-	m ² K/W	W/m ² K					W/m ² K	type			
fase 2		KOW, Singelwoningen	0,68	3,5-4,0		2,0	95% wtw		vloer/wand			2,8			
		KOW, Pleinappartementen	0,62	3,0-3,5		2,0	90% wtw	gebouwggeb. warmtekracht	vloer/wand	gebouwggeb. warmtekracht					
		Mecanoo, Waterwoningen	0,65	3,0-4,0		2,0	95% wtw		grote rad.			5,6			
De Keen	Etten Leur	geschakeld	0,48-0,58	8,0		2,0	hr-wtw	ind. warmtepomp	vloer/wand	warmtepomp	?		9,4	zuid	verbeterd
Boerenstreek	Soest	hoekwoningen	0,79	4,0		2,0	hr-wtw	individuele warmtepomp	LTV	warmtepompboiler					
		tussenwoningen	0,63-	4,0		2,0	hr-wtw	HR-ketel	radiatoren (HTV)	warmtepompboiler	2,8-4,1				
104 appartementen + parkeergarages	Zevenbergen	woongebouw	0,78	3,0			hr-wtw	HR-ketel	radiatoren	zonneboiler	29				
Jan Olierookstraat	Poeldijk	eeengezins	0,72-0,80	4,0			hr-wtw/mech. afzuiging	HR-ketel	vloer/wand	warmtepompboiler			8,1		verbeterd
		woongebouw	0,79	4,0			mech. afzuiging	warmtepomp	vloer/wand	warmtepompboiler			39 + 40		verbeterd
De Boomgaard, Noordhoeve	Zoetermeer	tuinkamer/2-onder-1-kap	0,75-0,80	4,0			hr-wtw	HR-ketel	radiator (70/40)	HR-combi	2,7		2,5-3,0	zw-zo	
EVA-Lanxmeer	Culemborg	rij	0,70-0,79	>5,0			hr-wtw + toevoerroosters	collectieve warmtepomp+wkk+hr-ketel	vloer/wand	gasboiler		4,2		70% zo/zw	
77 WNF woningen	Nieuwegein	rij	0,52 - 0,47	3,6-4,0			wtw (85%)	warmtenet	radiatoren (MTV)	warmtenet			4	serre; zuid	
Kersentuin	Utrecht	?	0,57-0,70	>5,0			vraaggestuurd	warmtenet	vloer/wand/radiatoren (<55C)	warmtenet					
Kleurrijke buurt	Doetinchem	tuinkamer	0,63-0,73			2,0	hr-wtw	HR-ketel	ltv-radiatoren	HR-combi		5,4		deels zuid, enkele serres	
Thiemsland	Hengelo	woongebouw	0,69-0,71	2,5			hr-wtw vraaggestuurd	collectieve warmtepomp+wkk+hr-ketel	radiatoren (MTV)	collectieve warmtepomp+wkk+hr-				70% zo	

project	plaats	Type	EPC	R _c	U _{raam}	U _{deur}	ventilatie	verwarming	LTV	warmtapwater	zonne-boiler		PV	zon pass.	kier-dichting
											m ² tap	m ² rv			
			-	m ² K/W	W/m ² K	W/m ² K	type	soort	soort	soort					
										ketel					
3 energiezuinige woningen	Valthe	vrijstaand	0,76	4,0-4,5	1,5		hr-wtw	HR-ketel	vloer/wand/radiatoren (<55C)	HR-combi	2,8			serre, zw	
een duurzame woning	Hengelo	vrijstaand	0,68	4,5-5,0			hr-wtw	HR-ketel	vloer-/wandverwarming	HR-combi	2,75		3,75		verbeterd
21 seniorenwoningen	Harderwijk	rij	0,60-0,65	3,0-5,0			hr-wtw	mini wkk + cv-ketels	?		2,75		4-7	zo	
15 energiebalanswoningen	Leeuwarden	geschakeld	0,23 (zonder pv ca. 0,50)	4,0-4,5			Wtw (75%)	collectieve warmtepomp+hr-ketel	vloer-/wandverwarming	HR-combi	2,7		34		
12 woningen plan Kloostertuinen	Assen	2-onder-1-kap	0,75	3,0		2,0	Wtw (75%)	HR-ketel	vloer-/wandverwarming		3,5				
16 vrije sector woningen	Klazienaveen	rij	0,75	3,0			hr-wtw	HR-ketel	luchtverwarming			4,3		zuid	

Bijlage B

Mogelijkheden van woningbouw-projecten met EPC = 0,50

(Bron: [Bakker L et al. 2002])

project	maatregelen									
	isolatie	raam	deur	ventilatie	verwarming	LTV	warmwater	zonneboiler	zonnecellen	passieve zon
	Rc m ² K/W	U W/m ² K	U W/m ² K	soort	soort	soort	soort	m ² collector per woning	m ²	oriëntatie
Vlaardingen, Buizen- gat, E, basis	5,0	1,0	2,0	vraag gestuurd	HR107	vloer/wand- verwarming	warmtepomp boiler	5,6	2	
Den Haag, Spoorwijk, type 4a	5,0	1,5	2,0	vraag gestuurd	combi warm- tepomp	vloer/wand- verwarming	combi warm- tepomp	2,8	0	z/n
Rotterdam, Nieuw Terbregge fase 2, Wa- terwoningen (woonge- bouw)	5,0	1,5	2,0	wtw 95%	HR107	vloer/wand- verwarming	combi ketel	HR- 5,6	0	
Zoetermeer, Tuindorp laag, type 1	5,0	1,5	2,0	wtw 95%	combi WP	vergrote radi- atoren	combi warm- tepomp	5,6	1	zo/nw

Bijlage C

C.1 Onderbouwing van woning-gerelateerde aandeel van ziekten en spreiding van de ziektelast

In tabel C1 staat van de gebouwgerelateerde ziekten aangegeven hoe groot de ziektelast is in Nederland, in hoeverre gezondheidswinst te behalen is, en welke maximale ziektelast reëel te verwachten is. De onderbouwing van deze percentages is beschreven in de volgende paragrafen.

Tabel C1. Gebouwgerelateerde ziekten. Verloren levensjaren, prevalentie (incidentie), weegfactor ten behoeve van ziektelastbepaling en totale ziektelast in DALY. Geschatte aandeel gebouwgerelateerde ziektelast.

Ziekte	Aandeel		Mogelijke winst	Maximale ziektelast
	Woninggerelateerd (NL, 2000)	Woninggerelateerde ziektelast (NL, 2000) in DALY		
Astma	70%	26.134	-50%	+300%
Constitutioneel eczeem	20%	2.253	-50%	+300%
COPD (bronchitis + emfyseem)	10%	14792	-20%	+200%
Coronaire hartziekten	5%	17.408	-40%	+50%
Extrinsieke allergische alveolitis	10%	6	-100%	+1000%
Longkanker	4%	5.135	-80%	+100%
Longontsteking	5%	3.750	-50%	+100 -10.000%
Mycosen	10%	4	-100%	+1000%
Respiratoire infecties	3%	252	niet beoordeeld	niet beoordeeld
Rinitis	5%	5	-50%	+300%
Tuberculose	0,5%	7	niet beoordeeld	niet beoordeeld
Verstikking in huis	36%	353	-100%	+50%

C.1.1 Astma, rinitis en constitutioneel eczeem worden deels door allergische reacties uitgelokt en in stand gehouden. Verhoogde concentraties van allergenen in de binnenlucht veroorzaken sensibilisatie (ontstaan van de gevoeligheid) en exacerbatie (de allergische reactie) van de ziekten bij maximaal 40% van Nederlandse bevolking. Momenteel is ruim 25% van de Nederlandse kinderen in enige mate allergisch. Symptomen worden ook uitgelokt door irritantia: stofdeeltjes, diverse vluchtige (geur)stoffen, aerosolen. Door irritantia worden longklachten versterkt; de mate van invloed is afhankelijk van de concentratie en de aard van de irritantia.

De relatie tussen de gebouwde omgeving en astma en andere atopische ziekten is sterk. In woningen in landen met een lage prevalentie van astma wordt vrijwel altijd, al dan niet bewust, een hoog ventilatievoud toegepast. In voormalig Oost Duitsland bleek dat astma na de hereniging toenam, onder andere door een ander stook- en ventilatie regime [Mutius E von 1998]. Eerdere schattingen geven aan dat de woninggerelateerde bijdrage 80 tot 90% is en dat een optimale ventilatie *een verbetering van ongeveer 50%* aan astmatische klachten zou kunnen opleveren [Bronswijk JEMH van et al. 1999; Kort HSM et al. 1997; Passchier-Vermeer W et

al. 2001]. In dit onderzoek is een iets voorzichtigere schatting van 70% *woninggerelateerde bijdrage* aangehouden. Maximale gezondheidswinst is op de helft hiervan gesteld, dat wil zeggen 35% van de totale ziektelast aan atopische ziekten. De winst ligt in de reductie van zowel allergenen als irritantia. Het absolute maximum aan allergische patiënten is 40%, zijnde de atopische bevolking. Nu is 10 tot 15% van de bevolking allergisch voor huisstofmijten en 1 tot 5% procent astmatisch en onder behandeling [RIVM 2003]. De extra DALY-last onder ongunstige omstandigheden kan derhalve enkele factoren belopen. *Gekozen is voor 300%, afgeleid als $40/13,33 \cdot 100\%$.*

C.1.2 Bronchitis en (long)emfyseem samen **COPD** genaamd, zijn ziekten die vooral maar niet uitsluitend door roken veroorzaakt worden. Irritantia van andere aard versterken de klachten. Ook passief roken kan leiden tot COPD. Roken is een belangrijke determinant van COPD, rokers hebben een 10 tot 13x grotere kans op deze ziekte. Voor ex-rokers wordt deze kans 7 tot 11x ten opzichte van niet-rokers, een geringe verbetering dus ten opzichte van rokers [Feenstra TL et al. 2001]. De bijdrage die het binnenmilieu aan ontstaan of voorkomen van COPD heeft, ligt in een snelle afvoer van rook waardoor i) de roker buiten de rookperioden gezonde lucht inademt en ii) de ook aanwezige niet-rokers zo weinig en zo kort mogelijk blootgesteld worden aan de schadelijke rookgassen en rookdeeltjes [Snijders MCL 2001].

Binnenlucht is vrijwel altijd van mindere kwaliteit dan buitenlucht, slechts bij een ventilatievoud van 2,5 is extra risico te vermijden [Bronswijk JEMH van et al. 1999]. In geval van roken binnenshuis zou ventilatie met nog een factor 10 hoger nodig zijn om (bij enige afstand van de roker) geen extra risico op te lopen [Snijders MCL 2001].

Stoffen in de binnenlucht kunnen al bij lage concentraties een bestaande COPD in stand houden en verergeren. Het vermijden hiervan kan de kwaliteit van leven aanzienlijk verbeteren. Blootstellingcoëfficiënten voor PM10 in de buitenlucht geven aan dat per extra $\mu\text{g stof/m}^3$ een verhoging van 0,005 tot 0,2% van ziektelast optreedt [Howarth A et al. 2001].

Uitgaande van de bovenstaande relatieve risico's en dosiseffecten wordt aangenomen dat ongeveer een vijfde van de niet-rokende COPD-lijdende (= circa 10% van alle COPD-patiënten) de ziekte niet zou hebben gekregen wanneer het passief roken kon worden vermeden. Een ander deel heeft de ziekte gekregen vanwege voortdurende luchtwegirritatie door op andere wijze vervuilde binnenlucht in te ademen. Hier wordt verondersteld dat ook hiervan ongeveer 20% te voorkomen is; deze tweede groep niet-rokers is naar schatting half zo groot als de eerste groep. Gezien het percentage van woningen met matige binnenluchtkwaliteit (10-20%) is dit goed mogelijk.

Ex-rokers hebben een kleinere kans op COPD dan rokers. Dit wordt veroorzaakt door herstelmechanismen, die zo'n 20-30% verbetering opleveren. Voor de grote groep van rokers en ex-rokers is aangenomen dat onder invloed van deze mechanismen verblijf in schone (buiten)lucht 5% winst kan betekenen, hetzij door uitgestelde ziekte, hetzij door een betere kwaliteit van leven met ziekte of uitstel van overlijden. Voor COPD als geheel is derhalve ongeveer 10% *woninggerelateerd*.

De maximaal te behalen vermindering van huidige ziektelast door woninggerelateerd COPD is uitgaande van de 20% verbetering bij niet-rokers en 5% bij

rokers *maximaal 10%*. Er is geen duidelijke bovengrens aan te geven wat betreft de te verwachten aantallen COPD-patiënten onder ongunstige omstandigheden. Door de toenemende vergrijzing van de bevolking (van 10% 65-plussers nu naar meer dan 25% in 2030 [Centraal Bureau voor Statistiek 2003]) en het meestal op latere leeftijd optreden van de ziekte zal vergroting van de ziektelast met een factor 2 mogelijk zijn, ofwel *200%*.

C.1.3 Extrinsiche allergische alveolitis (EAA) is een chronische ontsteking van longblaasjes, wordt o.a. veroorzaakt door bepaalde bacteriën en schimmels die kunnen voorkomen in ventilatiesystemen. Op dit moment is de ziekte weinig voorkomend, het gaat vooral om slecht onderhouden systemen waarbij tijdens inspectie blijkt dat onderhoud achterwege is gebleven en filters niet regelmatig zijn vervangen. De huidige frequentie in Nederland is gering en deels beroepsmatig of door hobby ontstaan (boeren, duivenmelkers) [Braam ITJ et al. 2000]. *Gebouwgerelateerd is naar schatting 10%*. De incidentie vanwege de gebouwde omgeving zou aanzienlijk kunnen oplopen wanneer een veel groter aandeel aan - slecht onderhouden - mechanische luchttoevoorzieningen in woningen bestaat [Pal TM 2001]. Hier wordt geschat dat dit een factor tien (10) hoger kan zijn dan wat nu geregistreerd wordt *oftewel 1000%*.

C.1.4 Mycosen zijn schimmelaandoeningen die onder andere door verspreiding van sporen en delen van pathogene bodemschimmels ontstaan. De incidentie is niet hoog, vooral mensen met een verzwakt immuunsysteem zijn gevoelig. Bij gezonde mensen is langere blootstelling noodzakelijk. Verwacht mag worden dat in geval van met gras of planten begroeide daken en vooral bij ondergronds wonen de incidentie zal toenemen. In woningen voorkomende schimmels op muren, vloeren en andere oppervlakken veroorzaken jaarlijks enkele tientallen (geregistreeerde) mycosen. In 17% van de woningen zijn schimmels zichtbaar [Hasselaar E 2001], schimmelgeur en overlast treden echter al eerder op [Bronswijk JEMH van 1981]. Beide ziektebeelden (EAA en mycosen) kunnen ontstaan door een voortdurende aanvoer van schimmels of bacteriën die in luchttoevoersystemen groeien [Chiu AM et al. 2002; Simmons RB et al. 1995]. De mate waarin de bacterie- of schimmelvorming optreedt hangt af van de luchtsnelheid, de vochtigheid ter plekke en de mate van vervuiling, vooral omdat deze de luchtsnelheid en vochtigheid beïnvloedt. Ook vanuit kruipruimten of andere beschimmelde plekken kunnen grote hoeveelheden schimmels in de binnenlucht geraken en mycosen of EAA veroorzaken. Bij ventilatiesystemen met alleen mechanische afzuiging, waarbij ook te weinig luchttoevoermogelijkheden aanwezig zijn, wordt door de onderdruk lucht van de kruipruimte in de woning gehaald. Het aantal kruipruimten waar in de lucht hoge schimmelsporenconcentraties aanwezig zijn, is vermoedelijk gering. Verondersteld wordt dat in 1 tot 10% van de kruipruimten deze concentraties in principe voldoende zijn om een mycose of alveolitis te kunnen veroorzaken. Of deze lucht de woning binnendringt hangt af van het ventilatiesysteem en het gebruik en onderhoud daarvan. In meer dan 50% van de woningen is (alleen) mechanische afzuiging aanwezig. Afhankelijk van het gebruik (dicht zetten en houden) van de luchttoevoorzieningen (roosters, klaprampen) kunnen schimmels vanuit de kruipruimte de woning bereiken. Deze situatie komt in zeker 10% van de woningen gedurende een deel van de tijd voor [Hasselaar E 2001].

In principe zouden alle woninggerelateerde mycosen door zorgvuldige isolatie en ventilatie niet hoeven voor te komen. Bij uitgebreid invoeren van ventilatiesystemen met filters zullen deze infecties echter, met het achterwege blijven van onder-

houd in een deel ervan, veel vaker kunnen optreden. Hier wordt het maximum gesteld op een factor 10 meer dan de huidige incidentie, *oftewel 1000% extra*.

C.1.5 Respiratoire infecties door influenza, adeno- en rhinovirussen en Haemophilus influenzae worden verspreid door de lucht. Overdracht vindt vaak binnen plaats waar nauw contact is, ook via ventilatiesystemen. Er zijn jaarlijks honderden gevallen, bij ouderen en jonge kinderen kan de afloop soms ernstig tot fataal zijn. De bacterie die tuberculose veroorzaakt, Mycobacterium tuberculosis, wordt makkelijker verspreid in omgevingen waar mensen dicht op elkaar leven (disco, internaat, verpleeghuis). Er zijn meer dan duizend gevallen jaarlijks, de mortaliteit is circa 1% bij tijdige behandeling. De invloed van (geringe) ventilatie, ongewenste recirculatie en dergelijke is niet bekend. Verwacht mag worden dat deze invloed aanwezig is maar dat andere verspreidingsroutes belangrijker zijn.

C.1.6 Longkanker wordt voornamelijk door roken veroorzaakt. Een tweede bron is de aanwezigheid van een radioactief gas, Radon, in bouwmaterialen en in de bodem. In Nederland wordt een jaarlijks aantal van 200-1000 doden door longkanker vanwege Radon geschat. Radongas kan zich verzamelen in de kruipruimte en via een niet geheel luchtdichte beganegrond-vloer de woning binnenkomen. Luchtverontreiniging buiten is een derde maar vermoedelijk minder belangrijke oorzaak.

Volgens de WHO zou 10% van de niet-rokers die longkanker krijgen deze ziekte hebben gekregen door passief roken [Ruwaard D et al., eds. 1993]. Andere bronnen melden een verhoogde kans op longkanker van 20% ten opzichte van niet-blootgestelden [EPA 1992]. Hier wordt *10% verbetering* als maximaal te behalen winst gesteld die niet-rokers (circa 70% van de bevolking) kunnen bereiken wanneer ze voortdurend in schone (buiten)lucht zouden verkeren.

Diverse andere vluchtige stoffen en stofdeeltjes zijn ook (potentieel) carcinogeen: formaldehyde, asbest. Woningconcentraties zijn vaak verhoogd. In de VS werd in 60% van de woningen formaldehydeconcentraties boven $0,123 \text{ mg/m}^3$ aangetroffen, terwijl bij $0,03 \text{ mg/m}^3$ gezondheidseffecten kunnen optreden [Lemus R et al. 1998]. Formaldehyde wordt veel gebruikt in meubilair en plaatmaterialen [Norbäck D et al. 1995; RIVM 2003].

In Nederland wordt een concentratie van $120 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ formaldehyde, gemiddeld over 30 minuten, als grenswaarde gehanteerd. Bij hoge temperatuur en hoge relatieve vochtigheid komt meer formaldehyde vrij. De hoeveelheid ongebonden of zwak gebonden formaldehyde in de platen is afhankelijk van het productieproces. De formaldehyde-afgifte van spaanplaat zal in de eerste maanden na de productie het grootst zijn. Daarna zal de afgifte minder zijn, maar deze kan soms jaren aanhouden. Het keurmerk voor spaanplaat (van 1978) garandeert dat onder normale omstandigheden bij het gebruik van niet meer dan $0,75 \text{ m}^2$ KOMO-gecertificeerd spaanplaat per kubieke meter woonruimte, de formaldehyde-concentratie in de binnenlucht onder de norm blijft [Slob, Handboek Binnenmilieu, GG en GD Amsterdam, 1996]. Oud spaanplaat, met een oorspronkelijk formaldehyde-gehalte van waarschijnlijk meer dan 50 mg per 100 gr spaanplaat, blijkt te leiden tot een overschrijding van de norm [Dongen JEF van et al. 1993].

Vermindering van deze concentraties kan in principe op twee manieren: vermijden van bronnen of verdunnen door ventilatie. Aan de bronzijde is al veel geregeld, bijvoorbeeld op het gebied van formaldehyde in spaanplaat. Onduidelijk is of de controle hierop dusdanig is dat deze overal (professionele bouw, bouwmarkten) lage

concentraties garanderen. Door de gemiddeld steeds lagere ventilatie sinds de jaren tachtig is het probleem niet kleiner geworden.

Onderdruk in woningen kan verhoging van de radonconcentratie vanuit de kruipruimte veroorzaken. Daarnaast is de bijdrage van radon uit bouwmaterialen (beton) sterk vergroot sinds 1984 [Stoop P et al. 1998]. Bewonersgedrag bepaalt nu, meer dan vroeger, de kans op een hoog radongehalte in de woning [Janssen MPM et al. 1998].

Het dosis-respons effect van radon mag in het concentratiegebied dat in Nederland te verwachten is lineair worden verondersteld [Vaas LH et al. 1991]. In Nederlandse woningen wordt gemiddeld 23 Bq/m³ aangetroffen. Het aantal slachtoffers daardoor wordt op 800 (200-2000) geschat, maar hierover is verdeeldheid. Omdat overschatting wordt vermoed komt men op een aantal DALY van 1700 (90%-waarschijnlijkheidsinterval 500-4100). Het eerste zou overeenkomen met een radonaandeel in longkanker van minimaal 6%, het tweede met ongeveer 1,5%. In deze studie wordt uitgegaan van het gemiddelde, 3%, overeenkomend met 3750 DALY in het jaar 2000. Daarnaast is de bijdrage aan woninggerelateerde longkanker van passief roken en overige kankerverwekkende stoffen in huis ook een kleine 1% per oorzaak. Vanwege de bekende overlap is het *totaal geschat op 4%*. Door verdergaande vermindering van het gemiddelde ventilatievoud zal een verslechtering van het binnenklimaat optreden die ruwweg omgekeerd evenredig is met de reductie in ventilatievoud. Deze betekent immers een verhoging van de concentraties van te vermijden stoffen.

Maximale winst is vooral gerelateerd aan een ruime verhoging van de ventilatie-efficiëntie, van het huidige ventilatievoud van 0,5 naar 1 gemiddeld, en verder aan de lage buitenluchtniveaus van radon (4 à 5 Bq/m³, ongeveer 80% lager dan het huidige binnenluchtniveau), tabaksrook, formaldehyde en andere carcinogenen. *Hiermee is een verlaging van de huidige woninggerelateerde longkanker-ziektelast met ongeveer 50% te bereiken.*

C.1.7 De door Legionella veroorzaakte longontsteking werd in Nederland tot 1999 ongeveer 40 keer per jaar geregistreerd. Sinds de epidemie bij de Westfriese Flora worden er jaarlijks meer dan 200 gevallen van vastgesteld, met een voorlopig hoogtepunt van 288 gevallen in 2002. Het werkelijke aantal zal vermoedelijk nog enkele honderden hoger liggen, omdat van alle longontstekingen bij slechts enkele procenten de oorzaak wordt vastgesteld.

Legionellose kan worden verwacht bij het gebruik van watersystemen waarbij men in aanraking komt met kraanwater,

- dat langer dan 1 dag in de woning verblijft, en
- dat opgewarmd is tot een temperatuur boven de 20°C en onder de 60°C of
- bewaard blijft in een opslagvat bij een temperatuur die niet voortdurend boven 60°C is.

Ongeïsoleerde koudwaterleidingen in woonblokken en (zonne-)boilers met opslag bij lagere temperatuur kunnen daarom aanleiding geven tot *Legionella*-longontsteking. In Nederland zijn enkele gevallen gedocumenteerd van deze huiseelijke besmetting. Vanwege de beperkte registratie ligt de incidentie in woningen vermoedelijk in de orde van tientallen tot honderdtallen per jaar. De mildere variant

van legionellose, de zogenaamde Pontiac-koorts komt veel meer voor, maar is moeilijk te onderscheiden van een griepje.

De huidige legionellose-gevallen in woningen worden veroorzaakt door boilers met een te lage temperatuurinstelling of verkeerd geplaatste waterleidingen [Hoebe CJ et al. 1999; Rietra PJ et al. 1984]. Bij één casus betrof het een boiler die het warmwater op ongeveer 50°C bewaarde. In de toekomst kunnen zonneboilersystemen met een verkeerd ontwerp een veel groter risico vormen. Vooral de systemen met tapwateropslag bij lage (30-40°C) temperatuur met kortdurende verwarming naar 60°C zijn riskant, omdat deze een reservoir met hoge concentratie *Legionella* in biofilm kan vormen, die slechts na langdurig verwarmen wordt afgedood [Furuhata K, Takayanagi T Danno N Okada S Kiya F 1994]. Met dit type zonneboiler kan het huidige risico op *Legionella*-longontsteking een factor 10 tot 1000 maal groter zijn dan boilers die bij 60°C zijn afgesteld. Zonneboilers die een warmtewisselaar met gering volume gebruiken voor het tapwater zijn minder riskant, wanneer dat water vervolgens continu bij temperaturen boven 60°C wordt opgeslagen. Overigens is vermindering mogelijk door warm tapwater stelselmatig tot 70°C of hoger te verwarmen en op te slaan. In het geval van lange leidingen, zoals in appartementencomplexen kunnen hiermee vermoedelijk 50% van de legionellose-gevallen worden vermeden. Het risico is het grootst voor ouderen, maar ook pasgeborenen zijn zeer gevoelig [Skogberg K et al. 2002].

C.1.8 Coronaire hartziekten en hoge bloeddruk kunnen door een veelheid aan oorzaken ontstaan, waaronder geluidshinder, radon en passief roken. Uit een recent onderzoek bleek dat veel ventilatoren in de praktijk een geluidsbelasting boven 30 dB geven [Veld P op 't et al. 1999]. Vanaf deze grens treden de eerste ziekte-effecten op. In enquêtes wordt hinder van ventilatie aangegeven zowel bij alleen mechanische afzuiging, als bij gebalanceerde ventilatie [Dongen JEF van et al. 2003]. De invloed van de gebouwde omgeving op deze ziekten is groeiende, omdat er meer huizen in de nabijheid van druk wegverkeer zijn, en omdat de verhoogde isolatie van de buitenschil maskerend geluid van buiten weghaalt waardoor geluid van burens, installaties en apparaten (Cv-ketel, koelkast, ventilatie) meer op de voorgrond komen. Het totale woning-gerelateerde deel is groot omdat men hier tracht te slapen en relaxen. Geluid van burens, wegverkeer en installaties behoren tot de belangrijkste bronnen van coronaire hartziekten. De bijdrage van het woninggerelateerde deel wordt *geschat op ongeveer 3%*. De bijdrage van radon wordt gesteld op 1% (vergelijk bij longkanker: 3%). De bijdrage van passief roken aan coronaire hartziekten wordt nog belangrijker geacht dan aan longkanker [Bonita R et al. 1999; Nurminen MM et al. 2001]. Ook hier wordt aangenomen dat in 1% van de gevallen passief roken de oorzaak was (dat wil zeggen bij 10% van de passief rokers, de actieve rokers worden hier niet meegeteld).

Verbetering van deze ziekte is beperkt mogelijk. Veel hindergeluid van burens bijvoorbeeld komt door onvoldoende isolatie van woningen ten opzichte van elkaar. Geluid van ventilatiesystemen kan technisch worden verminderd door ontwerp en via regelmatig (jaarlijks) onderhoud. Radon kan voor 80% worden uitgebannen, passief roken voor een klein deel en slechts bij continu uitgebreid ventileren.

C.1.9 Verstikking en/of vergiftiging door gassen komt in woningen regelmatig voor, koolmonoxide is een bekende oorzaak. In Nederland komen jaarlijks 100 tot 140 gevallen van verstikking en/of vergiftiging voor, waarvan een gering percentage door bouwkundige of installatietechnische oorzaken ontstaat, zoals ongevallen met

verbrandingsgassen uit cv-ketels en/of geisers. Het aantal dodelijke slachtoffers in 2000 hierdoor is ongeveer 10, het precieze aantal is niet vast te stellen vanwege onvolledige of onduidelijke registratie [Centraal Bureau voor Statistiek 2003]. Aangenomen wordt dat het gemiddelde slachtoffer 35 levensjaren verliest en de eventuele gevolgen worden bij de overlevenden niet meegeteld.

Er zijn algemeen gesteld twee woninggerelateerde oorzaken die de kans op ongevallen met gastoestellen betreffen: (i) de aanwezigheid van open verbindingen van en naar verbrandingstoestellen en (ii) de luchtdichtheid van woningen. In oudere woningen zijn nog open verbrandingstoestellen te vinden, in oude en nieuwe woningen kunnen door installatiefouten verbrandingsgassen in de woning terechtkomen. De kierdichtheid is bij oudere woningen matig, tenzij ze nageïsoleerd zijn. De nieuwe woningen zijn uiterst kierdicht [Gids de WF et al. 2003]. Door vervanging van open toestellen zal oorzaak (i) langzaam afnemen.

De infiltratie door kieren is ruim 3 keer lager dan in 1980 [Gids de WF et al. 2003]. Bij continuering van deze trend moeten hoge eisen worden gesteld aan ventilatiesystemen, vooral in geval van uitval of calamiteiten, om het aantal verstikkingsgevallen niet groter te laten worden. Omdat nog niet stelselmatig ventilatiesystemen zijn uitgerust met voorzieningen in geval van stroomuitval (automatisch open) of gifwolken (handmatig dicht), is een vergroting van het risico te verwachten; dit wordt geschat op *50% meer* dan het huidige.

C.2 Impact van maatregelen op de ziektelast

C.2.1 Isolatie

Voor de groei van huisstofmijten is de verlaging van de oppervlaktetemperatuur in woningen belangrijk. Bij lage oppervlaktetemperatuur kan namelijk een vochtigere micro-omgeving ontstaan waardoor overleving door mijten mogelijk is. De huidige **isolatie van gevel, dak en vloer** in woningen is variabel, isolatie naar $R_c = 3$ of $4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ kan echter een sterk positieve bijdrage leveren bij het voorkomen of verminderen van astmaklachten ten opzichte van de bestaande situatie (vooral voor de slecht geïsoleerde of verkeerd na-geïsoleerde woningen) [Bronswijk JEMH van 1973; Koren LGH 1995]. Aandachtspunt is het voorkomen van koudebruggen, die als “hot spot” voor de groei van mijten en schimmels dienen.

Uitgaande van een maximale verbetering van woning-gerelateerde astma van 50% kan een perfect uitgevoerde isolatie ongeveer 20% aan verbetering opleveren, door elimineren van mijten en schimmels op vloeren en wanden [Kort HSM 1994]; combinatie met een ventilatiesysteem dat ook piekbelastingen in vocht snel wegwerkt kan nog eens 20% opleveren, omdat dit mijten en schimmels in het textiel van woonkamer en slaapkamer voorkomt. Omdat de uitvoering van isolatie niet altijd perfect zal zijn, zal de winst in de praktijk maximaal zo'n 15% kunnen zijn; bij hogere R_c waarden wordt de detaillering lastiger waardoor hier geen extra verbetering valt te verwachten, eventueel zelfs een verslechtering. Door fouten in detaillering worden koudebruggen nu meer van invloed [Hasselaar E 2001].

Het vóórkomen van schimmels die mycosen veroorzaken zal door goede isolatie sterk verminderen. Naar schatting zijn hierdoor een kwart van de huidige gevallen van mycosen die woning-gerelateerd zijn, te voorkómen. In de praktijk zullen kou-

debruggen een deel van de verbetering teniet doen. Schimmelgroei in aanvoerkanalen van ventilatiesystemen kan een nieuwe oorzaak voor mycosen vormen.

Van de **thermische isolatie van buitendeuren en -kozijnen** is geen verbetering of verslechtering in ziektelast te verwachten, alleen in geval van ernstig achterstallig onderhoud zal het voorkomen van schimmels meetellen [Adan OCG et al. 2000].

Bij geluidshinder en daaruit voortvloeiende coronaire hartziekten zal het toepassen van **glas-isolatie** (vooral daar waar nog niet geïsoleerd is) een positieve bijdrage kunnen leveren aan de reductie van coronaire hartziekten [Ouis D 2002]. De invloed is beperkt, omdat de vermindering in geluidbelasting ook beperkt is, tot maximaal ongeveer 10 dB. Het maximale effect ten gevolge van geluid is gesteld op maximaal 10% voor de ziektelast van coronaire hartziekten. Astma en COPD kunnen enige baat hebben bij een gelijkmatige warmteverdeling, de odds ratio¹⁰ (OR) van astmasymptomen bij glasisolatie is 0,95 (0,79 tot 1,15) [Zock JP et al. 2002]. Vanwege de kleine OR en de grote spreiding is gekozen dit astma-effect niet mee te nemen in de beoordeling [Hasselaar E 2001].

C.2.2 Overige bouwkundige maatregelen: kierdichting, noord-zuid oriëntatie, serre
De huidige **kierdichting van de beganegrond-vloer** voldoet in de praktijk vaak niet aan het bouwbesluit, de uitvoering is slecht [Schaap LEJJ 1996]. Extra kierdichting zal een groot deel van de radontoevoer vanuit kruipruimte kunnen voorkomen. De bijdrage van radon uit de kruipruimte aan de longkanker-last is ongeveer 30%, dit is dus de maximale verlaging. In de praktijk zal slechts een deel hiervan, zeg 20%, verlaging kunnen worden behaald, omdat volledig luchtdicht maken van woningen lastig te verwezenlijken is. Vanwege het lineaire verband met de kans op longkanker zijn deze percentages ook gebruikt als winst in ziektelast. De verbeteringskans van coronaire hartziekten vanwege radon is gelijkgesteld aan die van longkanker.

Allergische ziekten en luchtwegziekten kunnen door kierdichting van de beganegrond-vloer profiteren van de reductie in hoeveelheid schimmels en bacterieel materiaal die vanuit de kruipruimte met de lucht in de woning wordt gevoerd, en het voorkómen van een hotspot voor mijten. De vermindering van ziektelast is behalve in individuele gevallen niet groot, deze wordt hier gesteld op maximaal 10%.

Door het afdichten van deze, meestal ongewenste ventilatiemogelijkheid wordt de kans op verstikkingsongevallen groter. Gesteld is dat alleen in geval van afsluiting van de afsluitbare roosters in een goed kierdichte woning een dergelijk ongeval kan voorkomen. Balansventilatie is in dit geval uitgezonderd, dit systeem wordt niet als mogelijke oorzaak van verstikking gezien. Aangezien de kans op verstikking ook afhangt van functioneren en gebruik van het ventilatiesysteem zal kierdichting op zich maximaal een verhoging van het risico met maximaal 50% met zich meebrengen; in de praktijk zal dit vermoedelijk veel lager zijn.

De **noord-zuid-oriëntatie** van woningen heeft voor de berekende ziektelast geen bekende voor- of nadelen ten opzichte van andere oriëntaties.

¹⁰ Met de odds ratio wordt de significantie van een relatie aangeduid. Bij 1,0 is geen oorzakelijke relatie aanwezig, bij 0,95 wordt 5% minder aan symptomen verwacht bij toepassing van de betreffende maatregel.

Serres worden gebruikt als isolatiemantel en als voorverwarmer van toevoerlucht ter vermindering van tochteffecten. Bij die tweede hoedanigheid is de aard van de aankleding van de serre belangrijk in verband met de kans op luchtwegziekten. Grote aantallen planten, open grond en gebruik van textiel is dan minder gewenst. Vanwege de lagere temperatuur is er kans op groei van schimmels en mijten in najaar en winter, hierdoor kan de doorgevoerde lucht minder schoon zijn dan gewenst. De kans op mijten aan de binnenwand is bij goede oplevering vermoedelijk iets minder ten opzichte van buitengevels. Uitgaande van de odds ratio voor woningen met en zonder luchtverwarming via kanalen (OR=1,43) [Zock JP et al. 2002] wordt de helft van dit effect als mogelijk geacht. De extra bijdrage aan de ziektelast voor astma, COPD en mycosen wordt derhalve geschat op maximaal twintig procent.

Een positieve bijdrage van serres is dat ventilatie-openingen het gehele jaar door beter worden gebruikt, waardoor de totale ventilatie iets hoger wordt [Veld P op 't et al. 1999]. Dit heeft een vermindering van ziektelast bij longkanker en coronaire hartziekten, en een vermindering van de kans op verstikking ten gevolg. De vermindering wordt geschat op ongeveer 5% bij astma, COPD, en mycosen, 10% bij coronaire hartziekten, en maximaal 30% bij verstikking.

Omdat het effect op longontstekingen zowel positieve als negatieve aspecten bevat, (vermindering van schimmels uit de kruipruimte door afnemende onderdruk versus mindere luchtkwaliteit vanuit de serre) is het gemiddelde netto-effect op nul gesteld. Oververhitting in zomer (niet opgenomen) is een extra risicofactor, vooral bij ouderen [Mackenbach JP et al. 1997a].

Kierdichting van ramen en deuren heeft weinig gezondheidsvoordelen behalve plaatselijk minder tochtproblemen. Door het afsluiten van deze ventilatiemogelijkheid zal er gemiddeld een (nog) lager ventilatievoud ontstaan. Bovendien zal bij sommige ventilatiesystemen extra onderdruk ten opzichte van de kruipruimte ontstaan waardoor lucht vanuit de kruipruimte wordt gezogen. Dit betekent gemiddeld meer radon en meer schimmels. Omdat de maatregel dit laatste nadelig effect slechts bij een deel van de woningvoorraad zal uitoefenen, en afhankelijk van het aanwezige ventilatiesysteem is de meest waarschijnlijke extra ziektelast voor astma en COPD op 5% gesteld. De onzekerheid in deze risicobeoordeling is echter groot.

Bij de huidige steeds dalende trend in ventilatieniveau kan de verhoging van het radonniveau in de woning aanzienlijk zijn. Gelijktijdig met de 3-voudige toename in kierdichtheid van woningen ($q_{v,10}$ van 300 naar 100 dm^3/s) van 1970 tot nu [Cornelissen HJM et al. 1996] is ook een verhoging van het radongehalte met 3Bq gemeten [Leenhouts HP et al. 2001]. Geschat wordt dat maximaal een halvering van deze $q_{v,10}$ -waarde en een verdere daling van de ventilatie met 20% zal leiden tot een extra 2 Bq in woningen. Deze 2 Bq veroorzaakt bij lineair verband ongeveer 300 DALY extra (circa 10%). Daarnaast zal de ziektelast door (passief) roken meertellen. Op grond van deze effecten is de maximale verhoging van ziektelast voor longkanker op 20% en voor coronaire hartziekten op 15% gesteld. Combinatie van deze maatregel met mechanische ventilatie moet apart worden berekend vanwege de elkaar versterkende werking [Kokotti H et al. 1989].

Door het afdichten van kieren van ramen en deuren, meestal een ongewenste ventilatiemogelijkheid, wordt ook de kans op verstikkingsongevallen iets groter, bij maximaal 1 op de 10 gevallen zou dit kunnen meespelen.

C.2.3 Ventilatie

De grootste risico's liggen bij type C op het gebied van slechte afstelling en onderhoud van de huidige mechanische afzuigsystemen en aanzuiging van lucht uit de kruipruimte. Vanwege dit laatste aspect wordt ongeveer 30% van de woninggerelateerde longkanker-last door radon veroorzaakt [Leenhouts HP et al. 2001]. Alle aspecten tezamen veroorzaken een deel van de ziektelast van astma, COPD, en mycosen, aangezien deze drie ziekten alle door een te geringe ventilatie nadelig worden beïnvloed [Bronswijk JEMH van et al. 1999]. Ten opzichte van het gemiddelde (dat bestaat uit ongeveer 50% natuurlijke ventilatie en 50% mechanische afzuiging) is de extra ziektelast bij 100% benutting van mechanische afzuiging minder. De te geringe ventilatie door slechte (huidige) instelmogelijkheden bij natuurlijke ventilatie wordt als een groter probleem beschouwd. De ziektelast vanwege mechanische ventilatie wordt voor astma en COPD 5% lager gesteld; voor longkanker en coronaire hartziekten 10% hoger vanwege het radonaandeel. Omdat beide typen algemeen gebruikt zijn en de hoeveelheid techniek gering, is de spreiding in de risicoschatting gering, max. 10% van de ziektelast.

Vraaggestuurde ventilatie (type C) heeft veel potentieel positieve aspecten: een gegarandeerde hoeveelheid ventilatie die wordt afgenomen van de minst tochtgevoelige ventilatieopeningen en bijsturing van de ventilatie aan de belasting van de binnenlucht door extra personen of andere vervuilingbronnen. Vooral systemen die zowel een CO₂-sensor als een tijdelijk handmatige bediening toelaten hebben ziektelast-verlagende potentie. Ook de korte weg van frisse lucht naar binnen (via raamroosters) is positief. In de praktijk zal op de korte termijn vanwege de kostprijs vooral de uitvoering zonder luchtkwaliteitsensor worden toegepast en een deel van de gezondheidswinst teniet doen. Op de lange duur kan door grootschalige fabricage de sensorgestuurde uitvoeringen met meerdere gestuurde ventilatieopeningen toegepast worden. De gezondheidswinst voor het meest gunstige systeem is geschat op 25% voor astma en COPD (ongeveer de helft van de maximale winst). De gezondheidswinst bij coronaire hartziekten ligt vooral op het gebied van verminderde radon en verbeterde afzuiging van tabaksrook; de winst zal iets minder dan maximaal zijn omdat het geluid van openende en sluitende roosters soms irriterend werken. In totaal moet 20% vermindering mogelijk zijn. Ook in geval van longkanker is veel gezondheidswinst te behalen, gemiddeld zeker 20% van de huidige woninggerelateerde ziektelast door radon en passief roken. Mycosen en alveolitis vanwege de woning kunnen ongeveer 15% verbeteren, door achterwege blijven van schimmels uit de kruipruimte en snellere afvoer van irriterende stoffen uit de binnenlucht.

Bij de luchtwegziekten astma, COPD en emfyseem en allergische alveolitis en bij constitutioneel eczeem is de ventilatie het meest kritisch. De systemen waarbij verse buitenlucht een langere weg moet afleggen zijn intrinsiek riskanter dan systemen waarbij de toevoer naar binnen door een rooster geschiedt [Koren LGH et al. 2001]. De gezondheidsschade wordt veroorzaakt door vervuilde kanalen, natte of gescheurde filters [Brosseau LM et al. 2000; Elixmann JH et al. 1987]. Bekend is dat deze aspecten, vooral in systemen met bevochtiging, leiden tot groei van schimmels en bacteriën en soms zelfs mijten [Foarde KK et al. 1995; Mahmoudi M et al. 2000] en als gevolg daarvan emissie van myco- en endotoxinen [Teeuw KB 1993] en allergenen [Chiu AM et al. 2002]. In Zweden zijn al in 1989 in 22 woningen (appartementen) verhoogde endotoxine- en b-glucaan-gehalten vastgesteld [Rylander R et al. 1989]. Verder veroorzaken vervuilde filters en kanalen geurbelasting die voor astmapatiënten bijdraagt aan instandhouden of verergeren van de ziektelast.

Bij oplevering zijn kanalen regelmatig al vervuild met bouwstof en olie, wat door reiniging kan worden teruggebracht tot 0,1 gram per m² kanaaloppervlak [Holopainen R et al. 2003]. Door recirculatie cq. gebruik van een warmtewiel voor warmteterugwinning (met gewoonlijk enkele procenten lekkage) wordt gebruikte lucht opnieuw in het systeem gebracht. Hierin bevindt zich huiselijke vervuiling: huidschilfers, vet, etc., welke een goed hechtmiddel voor de kanaalwand is en een voedingsbron voor schimmels en bacteriën.

Adequate reiniging en desinfectie bestaat nog niet [Pasanen PO et al. 1993]: Diverse desinfectia komen niet verder dan 70% afdoding op de korte termijn, terwijl borstel en vacuümreiniging voldoende materiaal overlaten voor kolonievorming [Holopainen R et al. 2003].

In laboratoriumopstellingen wordt duidelijk dat in schone filters geen bacteriën of schimmels groeien in een voortdurende luchtstroom [Maus R et al. 2001]. Juist door gebruik, na aantrekken van nutriënten en vochtvasthoudende materialen uit met stof vervuilde lucht, ontstaan de voorwaarden voor schimmel- en bacteriegroei [Elixmann JH et al. 1987].

Op dit moment is in Nederland het aandeel aan balansventilatiesystemen nog relatief gering, en zijn de mogelijke risico's van het gebruik van deze vorm van ventilatie in een gematigd nat klimaat nog niet voldoende onderzocht. De verschillen met airconditioningsystemen in andere landen is dat in Nederland buiten vrijwel het gehele jaar het dauwpunt wordt bereikt. De binnenkomende lucht is nat. In de Verenigde Staten heeft men, omdat het daar buiten vaak veel droger en warmer is, bevochtiging, hetgeen in Nederland in de woningen nog niet voorkomt, en eigenlijk ook niet nodig zou moeten zijn gezien het bovenstaande. Ontwerp-, installatie, en -gebruiksproblemen maken echter dat de kans op verontreinigde kanalen groot is, en tevens is de kans op hoge vochtigheid aanwezig. Deze combinatie zorgt er voor dat ook de kans op groei en emissie van ongewenste organismen en hun producten niet verwaarloosbaar is.

Regelmatig wordt in kantoorgebouwen met gebalanceerde ventilatie ontdekt dat door achterstallig onderhoud, een matig ontwerp en dito installatie of een in de loop der jaren veranderd gebruik ten opzichte van het ontwerp, het ventilatiesysteem vervuild is en aanleiding geeft tot klachten. In woongebouwen zullen deze menselijke cq. technische fouten niet anders zijn, en ook aanleiding geven tot klachten. Of een probleem even snel aan het licht komt als in kantoorgebouwen is te betwijfelen, omdat de klachten eerst geclusterd voor moeten komen om op te vallen. Langdurige blootstelling aan lichte verontreiniging is op de lange duur soms schadelijker dan korte, zware verontreiniging.

Over geheel Europa gezien bleken astma-klachten van bewoners sterker geassocieerd met woningen met luchtverwarming of airconditioning (odds ratio van 1,43 resp 1,46) dan met woningen zonder deze systemen [Zock JP et al. 2002]. Ook andere astmasymptomen ('piepen op de borst', benauwdheid) waren licht verhoogd (bereik 0,78-1,95). De verhoogde astma-odds ratio (ongeveer 40%) en de spreiding in de odds ratio's (minimum 80%, maximum 200% van de huidige ziektelast) zijn als basis voor het extra risico genomen. De spreiding geeft de variatie aan over 38 plaatsen of gebieden in Europa aan. Kennelijk is niet onder alle omstandigheden een verhoogde astmakans aanwezig en zijn er ook omstandigheden waaronder een verbetering van de binnenlucht door deze ventilatiesystemen mogelijk is. Hoewel

niet duidelijk is welke de zwaarste en welke de lichtere invloeden zijn, zijn de oorzaken voor een verhoogd risico al eerder aangegeven: toepassing van een of meer filters, groot hechtingsoppervlak in kanalen en moeilijke reinigbaarheid daarvan. In Nederland is de aanwezige vochtige buitenlucht en eventueel bevroering van belang.

Omdat alveolitis en mycosen op dit moment slechts in kleine aantallen voorkomen (voornamelijk bij kantoren met slecht onderhouden systemen) en de kans op deze ziekten bij vervuilde filters en kanalen sterk verhoogd wordt, is als modus een verdubbeling van de huidige woninggerelateerde ziektelast geschat. De onzekerheid in deze beoordeling is groot; het zou kunnen dat de overschrijding van het ziekteveroorzakende niveau in veel gevallen net niet wordt gehaald, dan is een verhoging van ongeveer 20% meer waarschijnlijk; wanneer de blootstelling steeds iets hoger ligt dan geschat, wordt de grenswaarde juist aanzienlijk vaker overschreden en is verhoging tot ongeveer het vijfvoudige niveau van nu aannemelijk.

Aangezien de filtersystemen door een deel van de bevolking onregelmatig of niet worden onderhouden [MarktTracé 2002; Woonbond 2002] is de kans op verontreiniging en langdurige blootstelling groot. Uit vergelijking met de kantoor situatie en het facilitair beheer, in het bijzonder het onderhoud, is op te maken dat problemen steeds daar ontstaan waar niet frequent wordt onderhouden. In tegenstelling tot de kantoor situatie wordt in woningen geslapen (men is dan gevoeliger onder andere door een lager metabolisme), is de blootstellingduur langer (10 tot 24 uur per dag) en wordt in woningen een lager ventilatievoud toegepast, hierdoor zijn de risico's groter.

In Nederland is de relatief hoge buitenluchtvochtigheid en dagelijkse dauw een extra reden tot zorg vanwege verhoogde vochtigheid in het ventilatiesysteem. De kans op astmatische en COPD-klachten door ventilatiesystemen met kanalen is daarom vermoedelijk groter dan de 40% verhoogde kans (gemiddelde over 38 centra) die in de Europese ECRHS studie is gevonden [Zock JP et al. 2002]. Er zijn veel drogere en warmere gebieden dan Nederland waar schimmels minder kans hebben.

Een positief aspect van balansventilatie is dat het aanzuigen van radon en schimmelfragmenten uit de kruipruimte niet voorkomt. Hierdoor wordt naar schatting 20% van de woninggerelateerde ziektelast aan longkanker en 10% aan allergische alveolitis voorkomen. De potentieel hogere hoeveelheid myco- en endotoxinen uit de toegevoerde lucht verhogen de kans op longkanker juist. Geschat is dat het netto effect modaal 10% verbetering is. Vanwege de tegenstrijdige effecten is de onzekerheid in de beoordeling groot.

C.2.4 Verwarming

Uit de ECHRS studie bleek dat woningen met centrale verwarming in geringe mate minder risico op astma en bronchiale klachten opleveren (OR=0,9, bereik 0,87-1,05) dan woningen zonder centrale verwarming. Bewoners met luchtverwarming via kanalen hebben een duidelijk hogere kans op astma (OR=1,43, bereik 0,81-1,82) [Zock JP et al. 2002]. In percentages ten opzichte van de huidige ziektelast kan een 100% benutting van centrale verwarming nog enkele procenten verbetering voor astma en COPD teweegbrengen. De nadelige effecten van luchtverwarming behelzen i) een mindere kwaliteit lucht, en ii) een minder warme vloertemperatuur dan bij vloer- of radiatorverwarming waardoor schimmels en mijten meer kans krijgen.

In totaal zal dit een verhoging van ongeveer 50% kunnen betekenen, met een ruime foutenmarge (factor 2).

Algemeen toepassen van vloerverwarming en (in iets mindere mate) wandverwarming zal een vermindering van schimmels en mijten betekenen, en daarmee een verlaging van de ziektelast voor astma, COPD en woninggerelateerde mycosen. Geschat is dat hiermee ongeveer 20% verbetering kan worden bereikt. De gelijkmatigere verspreiding van warmte kan, in combinatie met enkele radiatoren voor snelle opwarming, juist voor COPD-patiënten een hoger comfort betekenen. De bijdrage hiervan aan vermindering van de COPD-ziektelast is onduidelijk. Bij de beoordeling is geen bijdrage van deze comfortverhoging berekend.

Het gebruik van HR-107 ketels wordt wel in verband gebracht met problemen met binnenkommende afvoergassen. Deze sterk afgekoelde gassen vallen vanuit het rookkanaal over het dak naar beneden en kunnen dan via ramen of roosters in de binnenlucht geraken; de locatie van het rookkanaal ten opzichte van ramen en roosters is hierbij cruciaal. De grootte van dit probleem bij het versterken van luchtwegklachten van astma of COPD-patiënten is niet bekend. Bij de beoordeling is daarom geen positieve of negatieve bijdrage aan de ziektelast door HR-ketels geteld.

C.2.5 Warmwaterbereiding

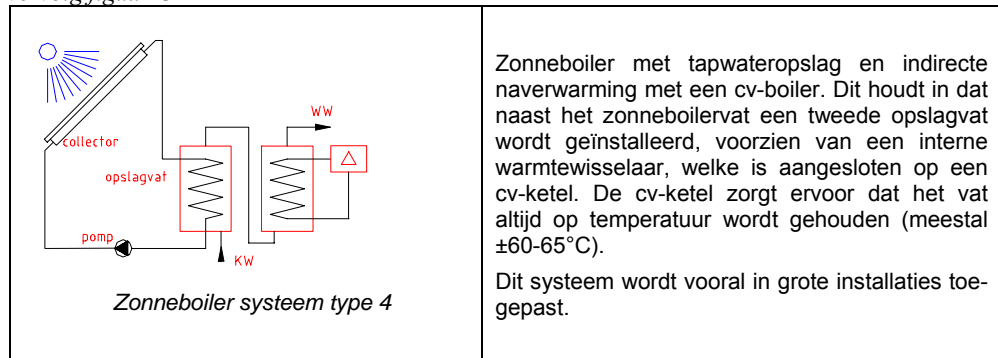
Ter verduidelijking van de hierna volgende beoordeling in de tekst zijn nogmaals de beschrijvingen van de zonneboilersystemen weergegeven.

Figuur C1 Veelgebruikte zonneboilersystemen in Nederland. De typeaanduiding is gekozen voor deze rapportage en heeft geen relatie met een type-nummering in andere rapportages. Bron: [Naron DJ 2002]

<p style="text-align: center;"><i>Zonneboilersysteem type 1</i></p>	<p>Zonneboiler met in het vat geïntegreerde tapwater-warmtewisselaar.</p> <p>Door een voorraad-cv-combitoestel (als bovenmodule) boven de zonneboilermodule te installeren is de naverwarming gewaarborgd. In dit voorraad-combitoestel wordt tapwater op temperatuur gehouden (60-65°C) door een geïntegreerd brander / naverwarmgedeelte. De tapwaterwarmtewisselaar van de zonneboilermodule staat in open verbinding met (warme) tapwater van de bovenmodule. Bij het tappen komt het tapwater voorverwarmd in de bovenmodule.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Zonneboilersysteem type 2</i></p>	<p>Zonneboiler met tapwateropslag en naverwarming direct voor gebruik</p> <p>Het door zonne-energie opgewarmde water zal indien deze te laag in temperatuur is worden naverwarmd. Een externe cv-combiketel (of een andere instantane tapwaterverwarmer) kan deze naverwarming verzorgen. Dit naverwarmtoestel zal wel moeten garanderen dat te allen tijde de gewenste taptemperatuur (60-65°C) wordt bereikt.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Zonneboilersystemen van type 3</i></p>	<p>Zonneboiler met tapwateropslag en geïntegreerde naverwarming.</p> <p>A: De warmtewisselaar van het zonneboilercircuit bevindt zich in het onderste gedeelte van het vat. Het bovenste gedeelte van het vat kan direct via een elektrisch verwarmingselement worden verwarmd of indirect via een warmtewisselaar worden aangesloten op een cv-ketel.</p> <p>B: Een zonne-combi-systeem levert zijn (zonne)energie voor tapwaterbereiding alsmede voor ruimteverwarming. Het hart van het systeem is het opslagvat. Deze heeft drie warmtewisselaars: (1) een collectorwarmtewisselaar, (2) een warmtewisselaar die indien voldoende energie van een voldoende hoge temperatuur in het opslagvat aanwezig is, deze kan benutten voor ruimteverwarming en (3) een warmtewisselaar voor geïntegreerde naverwarming van het tapwater.</p>

zie vervolg

vervolg figuur C1



Bij zonneboilers van het type 1 met een opslagvat-temperatuur hoger dan 60°C waarvan het tapwater alleen indirect, via een warmtewisselaar, in contact komt met midden-temperatuur water (tussen 20° en 60°C) is het risico beperkt. De inhoud van de warmtewisselaar is gering en wordt bij regelmatig gebruik dagelijks meermalen vervangen. De in te stellen temperatuur (altijd boven 60°C) hangt onder andere af van de lengte van de leidingen tot tappunten, en moet dus hoger dan 65°C kunnen zijn. Bij uitval van de naverwarming ontstaat enige kans op *Legionella*-infectie. De vergroting van de ziektelast is voor deze studie geschat op 10%.

De zonneboilersystemen van het type 2 die het midden-temperatuurtraject water kortdurend opwarmen zijn risicovol. De korte opwarming betekent dat alle vrije *Legionella* wordt afgedood, maar niet die in de biofilm. Onder ongunstige omstandigheden (bij voorbeeld na enige tijd ongebruikt te zijn, of plotseling langdurig extra grote vraag) kan een deel van de biofilm loslaten uit het opslagvat waardoor de hierin ingekapselde *Legionella* vrij kan komen. De kans op *Legionella*-groei in deze configuratie is (nog) niet bekend, maar deze kan vele malen groter zijn dan bij een gewone warmwaterboiler. Uit [Naron DJ et al. 2003] blijkt dat volledige afdoding niet wordt bereikt.

Voor deze studie wordt een verhoging van de ziektelast geschat met een factor 2 tot 20 (modus 5).

Het type 3 systeem waarbij in hetzelfde opslagvat het tapwater onderin door de zonneboiler wordt verwarmd en hogerop wordt naverwarmd (geïntegreerde naverwarming) is vermoedelijk nog risicovoller, omdat, gezien de variatie in temperaturen, hierbij ook planktonische *Legionella*-bacteriën in het vat kunnen overleven [Ohno A et al. 2003; Rogers J et al. 1994]. De verhoging van de ziektelast is geschat op 10 (range 5 tot 50x).

Als ervan wordt uitgegaan dat nu jaarlijks enkele tientallen boilers in woningen op enig tijdstip infectieuze aantallen *Legionella* bevatten, waarvan er enkele aanleiding geven tot veteranenkoorts, is het aannemelijk dat in een situatie met boilers die alle potentieel *Legionella*-groei kunnen geven, het risico enkele tientallen tot honderden malen groter kan zijn. Vanwege de grote onzekerheid is in de huidige beoordeling conservatief geschat op een modale verhoging van 10 keer voor het meest risicovolle systeem (geïntegreerde verwarming in hetzelfde vat) en 5 keer voor de korte naverwarming buiten het vat.

Een laatste zonneboilersysteem (type 4) waarbij de temperatuurverhoging van potentieel *Legionella*-rijk water niet in hetzelfde vat maar apart plaatsvindt is minder

risicovol. Bij extreem gebruik en gelijktijdig vrijkomen van de biofilm inclusief *Legionellae* kan infectie optreden. Naar schatting is de kans op *Legionella*-infectie iets groter dan het systeem met de tapwater-warmtewisselaar (type 1). De beoordeling gaat uit van een verhoging van de woninggerelateerde Legionelloses met 20%.

C.3 Sommering van pakketten

De per maatregel gegeven procentuele verlaging of verhoging van de ziektelast is omgerekend naar DALY, zowel de modale als de minimale en maximale waarde. Vervolgens is de ziektelast per pakket gesommeerd door de ziektelast per maatregel op te tellen. Voor de maatregelen die onveranderd zijn is de modale waarde van de referentiewoning (het gemiddelde van A en B) genomen.

Pakket	Modus	Minimum	Maximum
A	69924,4	65512,8	73950,2
B	67947,6	63981,8	74519,2
C	65656	59398,6	74519,2
D	85055,4	54136	138098,4
E	68577,8	52423	106395,8
F	80610,4	53266	112761
G	95847,2	58370,4	151080,2
H	73904,6	49652,4	134481
I	56144,6	36702,4	99331
J	98553	59240,4	174357,6
K	107395,4	67095,2	182718,4

Bijlage D

Jaarlijks risico en DALY

In onderstaande tabel wordt naast de ziektelast in DALY over 2000 ook het jaarlijks risico in Nederland gegeven voor een aantal ziekten [Oers JAM van (ed) 2003; RIVM 2003]; het jaarlijks risico en de ziektelast betreffen steeds alleen het woninggerelateerde deel.

Ziekte	Morbiditeit	Mortaliteit	Jaarlijks risico in Nederland per miljoen inwoners (woninggerelateerd)		Ziektelast in DALY (woninggerelateerd)
			Op ziekte	Op overlijden	
Astma	444.900	70	20.000	3,1	37.334
Constitutioneel eczeem	160.900	-	2.000	-	11.263
COPD (bronchitis + longemfyseem)	289.500	6.261	1.800	39	147.920
Coronaire hartziekten ⁱ	556.600	4.484	1.800	14	348.160
Extrinsieke allergische alveolitis ⁱⁱ	200	-	1,3	-	60
Mycosen	200	-	0,13	-	40
Longkanker ⁱ	19.900	8.559	50	22	128.363
Longontsteking	638.600	5012 ⁽²⁰⁰¹⁾	2.000	16	74.992
Respiratoire infecties	404.700	-	750	-	8.392
Tuberculose	830	91 ⁽¹⁹⁹⁹⁾	0,26	0,029	1.343
Verstikking in huis	-	30	-	0,68	1010
Totaal	2.516.330	20.507	28.413	95	70.094

ⁱ Roken door de bewoner is bij het woninggerelateerde deel niet inbegrepen, wel de bijdrage van passief roken; ⁱⁱ EAA valt in ICD-10 onder astma en COPD, hier uitgesplitst.

Bijlage E

Maatregelvarianten in installatie, onderhoud en gebruik ter beoordeling van blootstelling en ziektelast

Beschrijving installatie (INS), onderhoud (OND) en gebruik (GEBR)	Blootstellingsvariant		
	Optimaal	Modaal	Maximaal
Isolatie	INS Geen koudebruggen, berekende Q wordt gehaald	In ongeveer 10% van de gevels en daken ontstaan / blijven relevante koudebruggen	In 40% van de gevels en daken ontstaan / blijven relevante koudebruggen
Overige bouwkundige maatregelen	INS Vrijwel perfecte kierdichting (<1 cm ²)	Na verbeterde kierdichting restant kieroppervlak < 5 cm ²	Na verbeterde kierdichting restant kieroppervlak < 10 cm ²
	GEBR Serre maandelijks alle oppervlakken schoon gemaakt	Serre elke 6 maanden (of vaker) schoongemaakt, planten en aarde/vochtig materiaal	Serre met veel open grond, planten; <6maands reiniging
Ventilatie: natuurlijk	INS Roosters of klpraampjes, multistanden, op tochtvrije plek	Roosters of klpraampjes, twee standen, soms lastig bedienbaar	In > 20% van de gevallen plaatsing/ uitvoering roosters tochtveroorzakend; roosters lastig te bereiken en te verwijderen
	OND Roosters, raampjes worden tweewekelijks gereinigd	Roosters, raampjes worden <tweemaandelijks gereinigd	Roosters, raampjes worden niet of nauwelijks gereinigd
	GEBR Nooit dichtzetten roosters of raampjes	> 5% dichtzetten	> 20% dichtzetten
Ventilatie: mechanische afvoer / vraaggestuurd	INS Geluidsarm, afvoerrooster en toevoerroosters makkelijk te reinigen en te bedienen	In 5 tot 20% van de gevallen plaatsing/uitvoering toevoerroosters soms tochtveroorzakend, soms kanaalgeluid; vaak roosters lastig te bereiken; bediening onhandig (geen knop in badkamer)	In > 20% van de gevallen plaatsing/uitvoering toevoerroosters vaak tochtveroorzakend en kanaalgeluid; roosters lastig te bereiken en te verwijderen; staat altijd op laagste stand
	OND Jaarlijks reiniging van afvoerkanalen ventilator, toe- en afvoerroosters worden tweewekelijks gereinigd	Minder dan 1x per 3 jaar reiniging van afvoerkanalen en ventilator, toe- en afvoerroosters <tweemaandelijks gereinigd	Geen vervanging van filters, geen reiniging van kanalen, toe- en afvoerroosters jaarlijks of minder gereinigd

Beschrijving installatie (INS), onderhoud (OND) en gebruik (GEBR)	Blootstellingsvariant			
	Optimaal	Modaal	Maximaal	
GEBR	Bij hogere behoefte hogere stand ingezet, geen tussentijds stilzetten of dichtzetten	In >30% geen onderhoudscontract, in >5% gevallen tussentijds stilzetten, hogere standen niet regelmatig gebruikt.	In >80% geen onderhoudscontract, hoogste stand nooit gebruikt, in >20% gevallen tussentijds stilzetten.	
Ventilatie: mechanische toe- en afvoer (gebalanceerd)	INS	Kanalen glad uitgevoerd, geen vuil of olie geïntroduceerd, geen hoeken kleiner dan 120°, geen tocht, geen kanaalgeluid, filters makkelijk bereikbaar, bediening eenvoudig en duidelijk	In 5 tot 20% van de gevallen kanalen met rechte hoeken en rillen, soms vuil of olie geïntroduceerd, plaatsing/uitvoering toevoerroosters soms tochtveroorzakend, soms kanaalgeluid, filters soms lastig te bereiken; bediening soms onduidelijk	In > 20% van de gevallen kanalen met rechte hoeken en rillen, regelmatig vuil of olie geïntroduceerd, plaatsing/uitvoering toevoerroosters vaak tochtveroorzakend, regelmatig kanaalgeluid, filters lastig te bereiken; bediening onduidelijk
	OND	4x per jaar vervanging van filters, jaarlijks reiniging van kanalen, toe- en afvoerroosters worden tweeweekelijks gereinigd	Minder dan 1x per jaar vervanging van filters, geen reiniging van kanalen, toe- en afvoerroosters minder dan tweemaandelijks gereinigd	Geen vervanging van filters, geen reiniging van kanalen, toe- en afvoerroosters jaarlijks of minder gereinigd
	GEBR	Geen tussentijds stilzetten systeem of dichtzetten roosters	In >10% geen onderhoudscontract, in >5% gevallen tussentijds stilzetten.	In >20% geen onderhoudscontract, in >20% gevallen tussentijds stilzetten.
Verwarming	INS	Vrije instelling radiator, geluidarme opstelling (radiator, ketel, warmtepomp)	Radiator minder vrij instelbaar, in >20% geluidsproblemen, soms moeilijk reinigbaar	Niet instelbare radiator, in >20% geluidsproblemen, moeilijk reinigbaar
	OND	Wekelijkse reiniging luchtverwarming	>1-maandelijkse reiniging	>1-jaarlijkse reiniging
	GEBR	Radiatoren worden niet dichtgezet, wel op laagste stand (thermostatische ventielen)	In >30% worden radiatoren plaatselijk dichtgezet, jaarlijkse reiniging	In >80% worden radiatoren plaatselijk dichtgezet, geen reiniging
Warmwater-bereiding	INS	Geluidshindervrije opstelling, afgesteld op > 65°C	Geluidsarme opstelling, afgesteld op > 60°C	Geluidshinder, afstelling op 60°C
	OND	Jaarlijks	1 tot 2-jaarlijks onderhoud	minder dan 2-jaarlijks onderhoud
	GEBR	Regelmatig maar niet ruim gebruik van warm water	Onregelmatig en soms extreem gebruik van warm water	Zeer onregelmatig en extreem gebruik van warm water