

Handboek Binnenmilieu 2007

De meest actuele digitale versie van dit handboek staat op
<http://www.rivm.nl/milieuportaal/onderwerpen/binnenmilieu/handboek-binnenmilieu.jsp>

Rotterdam, oktober 2007

Redactie:

E. Peeters GGD Rotterdam-Rijnmond

Auteurs:

A. Boerstra	BBA adviesbureau
A. Gelderblom	GGD Rotterdam-Rijnmond
C. Hegger	GGD Rotterdam-Rijnmond
D. Jochems	GGD Rotterdam-Rijnmond
R. Kerkhoff	GGD Rotterdam-Rijnmond
J. Odink	GGD Rotterdam-Rijnmond
E. Peeters	GGD Rotterdam-Rijnmond
R. Slob	GGD Rotterdam-Rijnmond
R. van Strien	GGD Amsterdam

Totstandkoming

Voor u ligt het nieuwe Handboek Binnenmilieu. Het is gebaseerd op het Handboek uit 1996. De herziening is gefinancierd door het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Herziening is uitgevoerd door medewerkers van de GGD'en van Rotterdam en Amsterdam, het bureau Boerstra Binnenmilieu Advies en het Landelijk Centrum Medische Milieukunde, onder inhoudelijke supervisie van een Begeleidingscommissie die bestond uit de volgende personen:

A. Boerstra	BBA adviesbureau
C. van den Bogaard	VROM-Inspectie
F. van Buul	VROM, DG Milieubeheer
F. Duijm	Hulpverleningsdienst Groningen
A. Dusseldorp	RIVM, Steunpunt Medische Milieukunde
T. Fast	Fast Advies
P. van Luijk	VROM, DG Wonen
R. van Schie	Bouwfysica gemeente Den Haag
R. Slob	GGD Rotterdam-Rijnmond
R. van Strien	GGD Amsterdam

Het Landelijk Centrum Medische Milieukunde is inmiddels opgegaan in het Centrum voor Gezondheid en Milieu bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Uitgave van het Handboek Binnenmilieu is daarom gefinancierd door het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport.

Met dank aan alle anderen die een bijdrage aan dit handboek hebben geleverd.

Index

Totstandkoming	II
Index	III
Inleiding	IV
1 Aanpak binnenmilieuklachten	1
1.1 Inleiding	1
1.2 Protocol voor de behandeling van klachten over het binnenmilieu	1
1.3 Juridische aspecten van binnenmilieuproblemen	7
Bijlage 1.1 Normen	13
Bijlage 1.2 Voorbeeld Informed Consent	15
2 Ventilatie	17
2.1 Inleiding	17
2.2 Factoren die de ventilatie beïnvloeden	17
2.3 Inspectie	20
2.4 Meten	22
2.5 Referentiewaarden	24
2.6 Effecten op de gezondheid	26
2.7 Richtlijn GGD	26
2.8 Normen	28
2.9 Juridische aspecten	29
2.10 Verantwoordelijke partijen	30
2.11 Referenties	31
3 Vochtigheid	33
3.1 Inleiding	33
3.2 Bronnen van vocht	34
3.3 Inspectie	38
3.4 Meten van de vochtigheid van een woning	40
3.5 Referentiewaarden	41
3.6 Effecten op de gezondheid	42
3.7 Normen	43
3.8 Juridische aspecten	44
3.9 verantwoordelijke partijen	44
3.10 Referenties	44
Bijlage 3.1 Dagboek ventilatie	46
4 Biologische Agentia	47
4.1 Inleiding	47
4.2 Huisstofmijten	47
4.3 Huisdieren	50
4.4 Schimmels	52
4.5 Bacteriën	55
4.6 Andere allergenen	56
4.7 Hygiënehypothese	56
4.8 Referenties	57

5	Emissies uit bouw- en inrichtingsmaterialen	61
5.1	Inleiding	61
5.2	Overzichtstabel	61
5.3	Juridische aspecten	61
5.4	Referenties	64
6	Vos	65
6.1	Inleiding	65
6.2	Bronnen	66
6.3	Inspectie	72
6.4	Meten	75
6.5	Concentraties in woningen: referentiewaarden	78
6.6	Effecten op de gezondheid	81
6.7	Normen en advieswaarden	89
6.8	Juridische aspecten	91
6.9	Verantwoordelijke partijen	93
6.10	Referenties	93
6.11	Bijlage Bestrijding van te hoge formaldehydeconcentraties	98
7	Bestrijdings- en schoonmaakmiddelen	101
7.1	Inleiding	101
7.2	Bestrijdingsmiddelen	101
7.3	Houtverduurzamingsmiddelen	103
7.4	Schoonmaakmiddelen	106
7.5	Luchtverfrissers en andere (anti)geurmiddelen	108
7.6	Gevelreinigingsmiddelen	109
7.7	Hydrofoberingsmiddelen	110
7.8	Referenties	110
	Bijlage 7.1 CC(A)-geïmpregneerd hout	112
8	Verbrandingsproducten	113
8.1	Inleiding	113
8.2	Stikstofoxiden	113
8.3	Koolmonoxide	118
8.4	Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)	123
8.5	Fijn stof	128
8.6	Referenties	128
	Bijlage 8.1 Model hinderverklaring GGD	130
9	Stof	131
9.1	Inleiding	131
9.2	Bronnen van stof	132
9.3	Inspectie	133
9.4	Meten van stof	133
9.5	Referentiewaarden: Concentraties in woningen	134
9.6	Effecten op de gezondheid	135
9.7	Richtlijn GGD	139
9.8	Normen	139
9.9	Juridische aspecten	140
9.10	Referenties	140

10	Asbest en minerale kunstvezels	143
10.1	Inleiding	143
10.2	Asbest	143
10.3	Minerale kunstvezels	151
10.4	Referenties	154
	Bijlage 10.1 Asbest in stof	156
	Bijlage 10.2 Methode Hodgson & Darnton	157
11	Kwik, lood, cadmium en organotin	159
11.1	Inleiding	159
11.2	Kwik	159
11.3	Lood	164
11.4	Cadmium	167
11.5	Organotin	170
11.6	Referenties	171
12	Niet-ioniserende straling	175
12.1	Inleiding	175
12.2	Extreem laagfrequente elektromagnetische velden	176
12.3	Radiofrequente straling en microgolven	184
12.4	Referenties	190
13	Ioniserende straling	193
13.1	Inleiding	193
13.2	Bronnen van ioniserende straling	195
13.3	Inspectie	198
13.4	Metten van radon	199
13.5	Referentiewaarden: concentraties in woningen	200
13.6	Effecten op de gezondheid	201
13.7	Normen	203
13.8	Juridische aspecten	204
13.9	Verantwoordelijke partijen	204
13.10	Referenties	205
	Bijlage 13.1 Eenheden	207
14	Ionen	209
14.1	Inleiding	209
14.2	Bronnen van ionen	209
14.3	Metten van ionen	210
14.4	Referentiewaarden: concentraties in woningen	210
14.5	Effecten op de gezondheid	210
14.6	Normen	210
14.7	Referenties	211
15	Geurhinder	213
15.1	Inleiding	213
15.2	Bronnen van geurhinder	213
15.3	Inspectie	214
15.4	Metten van geur	217
15.5	Effecten op de gezondheid	217

15.6	Normen	219
15.7	Juridische aspecten	219
15.8	Referenties	219
	Bijlage 15.1 Gevaar Waarnemingsindex (5)	221
16	Geluid	223
16.1	Inleiding	223
16.2	Wat is geluid?	223
16.3	Bronnen van geluid	224
16.4	Inspectie	225
16.5	Meten van geluid	225
16.6	Referentiewaarden: Geluidniveaus in woningen	226
16.7	Effecten op de gezondheid	226
16.8	Richtlijn GGD	229
16.9	Normen en juridische aspecten	229
16.10	Referenties	233
17	Thermisch binnenklimaat	235
17.1	Inleiding	235
17.2	Thermische behaaglijkheid	236
17.3	Inspectie	237
17.4	Meten	240
17.5	Referentiewaarden	241
17.6	Effecten op de gezondheid	241
17.7	Richtlijn GGD	242
17.8	Normen	242
17.9	Juridische aspecten	244
17.10	Verantwoordelijke partijen	244
17.11	Referenties	245
18	Na brand in woningen	247
18.1	Inleiding	247
18.2	Vrijkomende verbrandingsproducten bij woningbrand	247
18.3	Bronnen van verbrandingsproducten	248
18.4	Inspectie	250
18.5	Het meten van verbrandingsproducten	251
18.6	Referentiewaarden: concentraties in woningen	252
18.7	Normen	252
18.8	Effecten op de gezondheid	252
18.9	Juridische aspecten	254
18.10	Referenties	255
	Bijlage 18.1 Verbrandingsproducten	256
	Bijlage 18.2 Concentraties verbrandingsproducten in woningen	257
	Bijlage 18.3 Concentraties PAK's	259
19	Verkleuring van materialen	261
19.1	Inleiding	261
19.2	Zwartverkleuring	261
19.3	Geelbruinverkleuring	262
19.4	Inspectie	262
19.5	Referentiewaarden: voorkomen van verkleuring in Nederland	263
19.6	Effecten op de gezondheid	263

19.7	Juridische aspecten	264
19.8	Referenties	264
20	Drinkwaterkwaliteit	265
20.1	Inleiding	265
20.2	Kwaliteit drinkwater	265
20.3	Bronnen van drinkwaterverontreiniging	266
20.4	Normen	270
20.5	Juridische aspecten	270
20.6	Verantwoordelijke partijen	270
20.7	Referenties	271
	Bijlage 20.1 Kwaliteitseisen drinkwater (Waterleidingbesluit).	272

Inleiding

Dit handboek dient als naslagwerk bij het behandelen van vragen en klachten over de kwaliteit van het binnenmilieu van woningen in relatie tot de gezondheid. Het handboek is in eerste instantie bedoeld voor medewerkers Medische milieukunde bij gezondheidsdiensten (GGD), maar ook anderen kunnen baat hebben bij de geboden informatie.

Het handboek geeft informatie over factoren die volgens literatuur en vragen binnengekomen bij GGD'en op het moment van schrijven in Nederland van belang zijn voor de kwaliteit van het binnenmilieu. Het handboek pretendeert niet volledig te zijn.

Naast dit handboek bestaan er voor verschillende onderwerpen op het gebied van milieu en gezondheid richtlijnen voor GGD'en. Deze richtlijnen zijn ontwikkeld door MMK-medewerkers, onder andere vanuit het Landelijk Centrum Medische Milieukunde dat nu is opgegaan in het centrum Gezondheid en Milieu van het RIVM. In dit handboek wordt regelmatig naar deze richtlijnen verwezen. De richtlijnen zijn te downloaden van GGD Kennisnet (www.ggd Kennisnet.nl) of van het Milieuportaal van het RIVM (www.rivm.nl/milieuportaal).

Het handboek bestaat uit twee delen. In het eerste deel, hoofdstuk 2, wordt in hoofdlijnen aangegeven op welke manier een (gezondheids)klacht die in verband wordt gebracht met de kwaliteit van het binnenmilieu, kan worden behandeld. Nogmaals, het gaat hierbij expliciet om klachten met betrekking tot het binnenmilieu van woningen. Het hoofdstuk is opgebouwd uit twee paragrafen:

- een protocol voor de behandeling van klachten over het binnenmilieu. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de aard van de klacht, de inspectie van de woning en woonomgeving en op het uitvoeren van metingen;
- een paragraaf met algemene juridische aspecten van binnenmilieu-problemen. In deze paragraaf worden enkele wettelijke regelingen besproken die van belang kunnen zijn voor de behandeling van klachten over het binnenmilieu.

Het tweede deel van het handboek, hoofdstuk 3 tot en met 21, geeft inhoudelijke informatie over diverse factoren die van invloed kunnen zijn op de kwaliteit van het binnenmilieu. Deze informatie is goed bruikbaar bij de beantwoording van de vraag of er een relatie mogelijk is tussen een binnenmilieufactor en (gezondheids)klachten. Deze hoofdstukken hebben in grote lijnen dezelfde opbouw:

- Inleiding
- Bronnen
- Inspectie
- Meten
- Referentiewaarden
- Effecten op de gezondheid
- Richtlijn GGD (indien beschikbaar)
- Normen
- Juridische aspecten
- Verantwoordelijke partijen

Het opzetten en de effectiviteit van voorlichtingscampagnes ter preventie van binnenmilieu problemen valt buiten het kader van dit handboek.

Belangrijke ontwikkelingen in de nabije toekomst zijn:

- In het najaar van 2007 worden de resultaten van drie verschillende onderzoeken naar het binnenmilieu in woningen, alsmede een beleidsstandpunt binnenmilieu in woningen aan de Tweede Kamer gezonden.
- Het RIVM heeft in 2004 een rapport met gezondheidkundige advieswaarden voor het binnenmilieu gepubliceerd. Deze advieswaarden, die verwerkt zijn in het handboek binnenmilieu woningen, hebben geen wettelijke of beleidsmatige status. Op dit moment wordt verder gewerkt aan de ontwikkeling van normen voor het binnenmilieu. Dit moet uiteindelijk leiden tot beleidsmatige vaststelling van normen die toepasbaar zijn in het binnenmilieu.

De bovenstaande informatie is niet in het handboek binnenmilieu woningen verwerkt. In 2008 zal worden beoordeeld of de bovengenoemde ontwikkelingen belangrijke gevolgen hebben voor de inhoud van het handboek binnenmilieu. Indien dit het geval is, zal in 2008 of 2009 een herziene versie van het handboek worden uitgegeven. Als dit aan de orde is, ontvangt u hierover bericht. De meest actuele versie kunt u ook altijd downloaden (zie pagina 1).

1

Aanpak binnenmilieuklachten

1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt in hoofdlijnen aangegeven op welke manier een (gezondheids)klacht die in verband wordt gebracht met de kwaliteit van het binnenmilieu kan worden behandeld. Het gaat hierbij expliciet om klachten met betrekking tot het binnenmilieu van woningen.

Het hoofdstuk is opgebouwd uit twee onderdelen:

- een protocol voor de behandeling van klachten over het binnenmilieu (paragraaf 2.2). In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de aard van de klacht, de inspectie van de woning en woonomgeving en op het uitvoeren van metingen. Dit proces wordt schematisch weergegeven in figuur 2.1;
- algemene juridische aspecten van binnenmilieuproblemen (paragraaf 2.3). In deze paragraaf worden enkele wettelijke regelingen besproken die van belang kunnen zijn voor de behandeling van klachten over het binnenmilieu.

1.2 Protocol voor de behandeling van klachten over het binnenmilieu

1.2.1 Inleiding

De binnenlucht wordt beïnvloed door een groot aantal chemische, biologische en fysische factoren. Iedereen ondervindt een zekere blootstelling hieraan. Meestal leidt blootstelling aan normaal in woningen voorkomende concentraties niet tot negatieve gezondheidseffecten. Dit is echter niet altijd het geval. Zo hebben de 'normaal' in woningen voorkomende concentraties aan radon en allergenen wel degelijk negatieve effecten op de gezondheid. Bij klachten over het binnenmilieu gaat het echter meestal om de situatie dat iemand wordt blootgesteld aan verhoogde concentraties van normaal in het binnenmilieu voorkomende stoffen of aan stoffen die normaal niet voorkomen in het binnenmilieu. In beide gevallen zijn negatieve effecten op de gezondheid niet uit te sluiten.

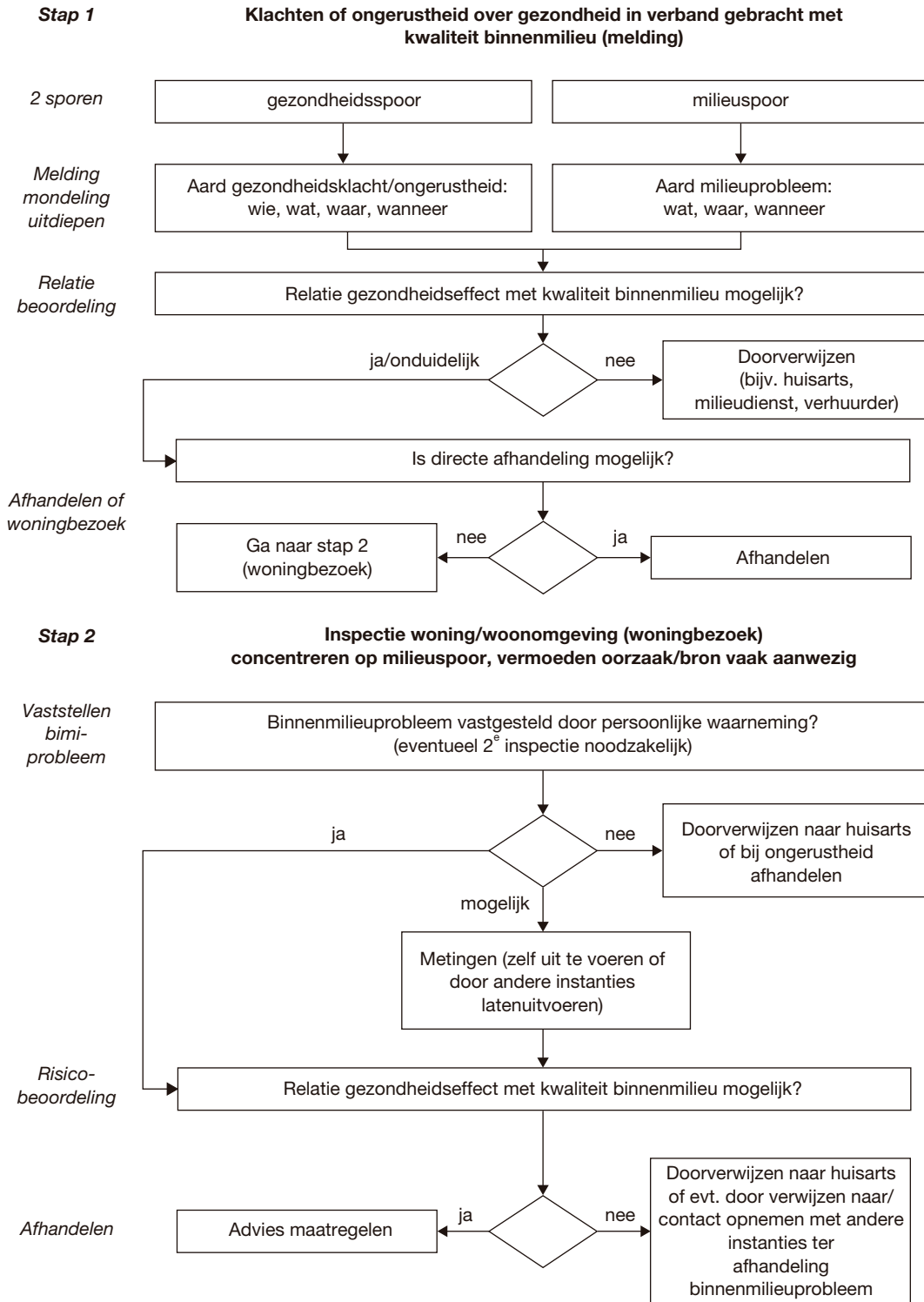
De meeste gezondheidseffecten zijn niet-specifiek. Dat wil zeggen dat het effect door verschillende factoren veroorzaakt kan worden. Bij klachten of ongerustheid over de gezondheid in relatie met de kwaliteit van het binnenmilieu moet het onderzoek dus gericht zijn op de blootstelling. Gezondheidsklachten geven meestal geen richting aan het onderzoek. Er wordt dus onderzocht of er een afwijking in het binnenmilieu is, of de blootstelling aan en/of emissie van fysische/chemische/biologische factoren anders is dan normaal.

Om een eventueel verband tussen gezondheidsklachten en een afwijking in het binnenmilieu te kunnen leggen, moet een aantal vragen beantwoord worden:

- Zijn er factoren in het binnenmilieu die de klacht kunnen veroorzaken?
- Is de blootstelling aan deze factor/factoren zo hoog dat deze effecten op de gezondheid kan/kunnen veroorzaken?
- Is de oorzaak bekend en zijn er maatregelen te treffen?

Voor het beantwoorden van deze vragen is kennis nodig over de aard en de concentratie van stoffen in het binnenmilieu en de toxiciteit van deze stoffen. Voor deze informatie wordt naar de diverse hoofdstukken verwezen.

Figuur 1.1 geeft een stappenschema voor de behandeling van klachten over het binnenmilieu in woningen. In de volgende paragrafen wordt dit stappenschema nader uitgewerkt. Het schema gaat uit van twee sporen die beide bewandeld moeten worden: het gezondheidsspoor en het milieuspoor. In het gezondheidsspoor wordt gekeken of de ervaren gezondheidsklachten te relateren zijn aan een bepaalde binnenmilieufactoor. Of anders gezegd: zijn er gezien de klachten aanwijzingen voor een bepaalde afwijking in het binnenmilieu? Het milieuspoor redeneert andersom. Hierin



Figuur 1.1 Schematische weergave afhandeling melding (gezondheids)klachten in relatie tot het binnenmilieu.

wordt gekeken naar een mogelijke afwijking in het binnenmilieu en vervolgens of deze afwijking kan leiden tot gezondheidseffecten. Anders gezegd: zijn er gezien de afwijking in het binnenmilieu bepaalde gezondheidseffecten mogelijk?

Wanneer het stappenschema goed wordt doorlopen, komen de drie bovenstaande vragen vanzelf aan bod.

1.2.2 Stap 1: melding van milieugerelateerde gezondheidsklachten of ongerustheid

Klachten in verband met het binnenmilieu van woningen kunnen schriftelijk (post, email), persoonlijk of (meest voorkomend) telefonisch ingediend worden. Voordat de melding definitief in behandeling wordt genomen, moet goed doorgevraagd worden over de aard van de klacht (zie paragraaf 1.2.3).

Indien uit de informatie blijkt dat er wel gezondheidsklachten zijn, maar dat een relatie met de kwaliteit van het binnenmilieu niet mogelijk is, moet de melding niet in behandeling worden genomen. Het gaat er immers om dat een relatie met het binnenmilieu aangetoond of afgewezen kan worden. De melder kan zo nodig geadviseerd worden contact op te nemen met de huisarts/specialist in geval van een gezondheidsklacht of met een instantie die kan helpen met het probleem in het binnenmilieu (bijvoorbeeld verhuurder, woningtoezicht, milieudienst).

Wanneer een relatie tussen de gezondheidsklachten en de kwaliteit van het binnenmilieu mogelijk is, wordt de melding in behandeling genomen.

In sommige gevallen, bijvoorbeeld bij ELF-velden of bij radon, is het mogelijk om telefonisch voldoende informatie te verkrijgen om de melding af te handelen. Vaak is dit niet mogelijk en is het noodzakelijk om een bezoek ter plaatse af te leggen (zie paragraaf 1.2.4).

1.2.3 Aard van de klacht

Om de melding in behandeling te kunnen nemen, moet informatie worden verkregen over zowel de gezondheidsklachten (gezondheidsspoor) en de binnenmilieuproblemen (milieuspoor).

De benodigde informatie kan worden verkregen door het stellen van de volgende vragen:

- *Wat is de gezondheidsklacht?*

Gezondheidsklachten zoals hoofdpijn, misselijkheid en irritatie van de ogen, neus, mond en luchtwegen worden door bewoners vaak in verband gebracht met de kwaliteit van het binnenmilieu. Het zijn veelal niet-specifieke klachten. Deze gezondheidsklachten wijzen maar zelden direct naar een oorzaak in het binnenmilieu.

Om een indruk te krijgen van de ernst van de klachten kan worden gevraagd of men daarvoor een huisarts of specialist heeft geconsulteerd. Zonodig kan bij deze meer informatie worden verkregen. Hiervoor moet wel toestemming worden verkregen van de melder. Het heeft de voorkeur dit schriftelijk vast te leggen. Een voorbeeld van een zogenaamd 'informed consent' is bijgevoegd in Bijlage 1-2.

Het kan ook zijn dat er geen directe gezondheidsklachten zijn, maar dat er ongerustheid bestaat over het eventueel krijgen van gezondheidsklachten door een mogelijke afwijking in het binnenmilieu.

- *Wat is de (vermoedelijke) binnenmilieufwijking?*

Bijvoorbeeld:

- vocht- en schimmelplekken
- geluid
- trillingen
- geelbruinkleuring van plafonds en muren
- roet
- straling
- stank

- *Wie hebben er klachten?*
Deze vraag kan informatie verschaffen over de omvang van het probleem. Zijn de klachten afkomstig van:
 - alleen de klager;
 - naast de klager ook huisgenoten;
 - naast de klager ook burens of bewoners van woningen in dezelfde wijk.

- *Waar treden de klachten op?*
Zijn de klachten verbonden aan het verblijf binnenshuis of aan een bepaalde ruimte in de woning?

- *Wanneer treden de klachten op?*
Hierbij moet informatie worden verkregen over:
 - een mogelijke relatie met het tijdstip van de dag/week/jaargetijde;
 - een mogelijke relatie met weersomstandigheden;
 - een mogelijke relatie met een verandering in de woonomgeving;
 - de duur van de klacht (hoe lang bestaat de klacht al?).

- *Welke instanties zijn al betrokken bij het probleem?*
Bijvoorbeeld:
 - milieudienst
 - politie
 - verhuurder
 - andere gemeentelijke instantie

- *Waarom is de GGD ingeschakeld?*
Het is nuttig te vragen waarom de klacht bij de GGD gemeld is en wat er van de GGD verwacht wordt. Valse verwachtingen kunnen op deze manier zoveel mogelijk in een vroeg stadium uit de wereld worden geholpen.

1.2.4 Stap 2: inspectie van de woning en woonomgeving

De inspectie van de woning en de directe woonomgeving is erop gericht om mogelijke binnenmilieu-afwijkingen op te sporen/te verifiëren en mogelijke bronnen op te sporen. Bij stank- en/of geluidklachten kan het nodig zijn om bij uitzondering op een ander moment een tweede bezoek af te leggen om de klacht waar te nemen.

Hieronder volgt een lijst van aandachtspunten die bij deze inspectie van belang zijn. Op welke wijze deze factoren invloed kunnen hebben op de kwaliteit van het binnenmilieu wordt aangegeven in het desbetreffende hoofdstuk van dit handboek.

- *Inspectie van de woning*
Bij de inspectie van de woning dient gelet te worden op de volgende punten:
 - type woning;
 - staat van onderhoud van de woning (hoofdstuk 2, 3, 8);
 - indeling van de woning (hoofdstuk 2);
 - ventilatievoorzieningen (hoofdstuk 2);
 - type verwarming (hoofdstuk 8);
 - warmwatervoorziening (hoofdstuk 8);
 - toegepaste bouw-, isolatie- en verduurzamingsmaterialen (hoofdstuk 5, 6, 7, 10, 13, 15);
 - geur (hoofdstuk 15);
 - vochtverschijnselen (hoofdstuk 3);
 - schimmelplekken (hoofdstuk 4);
 - geluid (hoofdstuk 16).

- *Inspectie van de woonomgeving*

Bij de inspectie van de woonomgeving gaat het onder andere om de ligging van de woning ten opzichte van:

- de overheersende klimatologische omstandigheden in Nederland (bezonning, lichtinval, windrichting, enzovoort);
- bedrijfsactiviteiten (industriegebied, kleinschalige of agrarische bedrijven in de directe nabijheid van de woning);
- andere tijdelijke activiteiten in de directe omgeving van de woning (bijvoorbeeld: gevelreiniging, tijdelijke installaties, bodemsanering);
- verkeerswegen;
- locaties van bodemverontreiniging.

Een deel van de informatie met betrekking tot de woonomgeving zal bij andere overheidsdiensten verkregen moeten worden.

- *Bewonersgedrag*

Hierbij dient gelet te worden op het gebruik van de ventilatievoorzieningen, rookgedrag, huishoudelijke activiteiten, hygiëne, thuiswerk, hobby's, de aanwezigheid van huisdieren, etc.

1.2.5 Metingen

Bij de melding van een klacht wordt nogal eens direct om een meting gevraagd. In de meeste gevallen heeft meten echter geen zin, omdat de metingen niet de gewenste gegevens opleveren. Dit zal duidelijk uitgelegd moeten worden aan de melder.

Soms kan echter een meting toegevoegde waarde bieden. Metingen zijn alleen nuttig wanneer er een bepaalde bron en/of afwijking wordt vermoed, en dus specifiek naar een bepaalde afwijking kan worden gezocht (bijvoorbeeld blootstelling aan CO, PER, LFG, zie hoofdstuk 8, 6, 16). Kortom, het doel van de meting moet duidelijk zijn. Dit bepaalt namelijk hoe en wat er gemeten moet worden. Een meting kan in dit geval helpen de mate van blootstelling van de bewoners vast te stellen.

De aard van de vermoede afwijking of bron bepaalt welke factor gemeten zou moeten worden. Aan de hand van informatie over de productsamenstelling (bijvoorbeeld bij hydrofoberingsmiddelen) of emissiegegevens (bijvoorbeeld bij verbrandingsapparatuur) van de vermoedelijke bron kan vaak gekozen worden welke stoffen gemeten moeten worden. Soms is het mogelijk om de aanwezigheid van een stof te bepalen door een andere stof, een indicator, te meten. Dit is een gemakkelijk te meten stof die samen voorkomt met een moeilijk te bepalen stof. Een voorbeeld hiervan is het meten van pentachloorfenol om de vaak in dit houtverduurzamingsmiddel voorkomende, maar lastiger te bepalen, dioxinen te meten. Een ander voorbeeld is het meten van kooldioxide als maat voor ventilatie.

Of de betreffende factor gemeten moet worden, hangt af van de beschikbaarheid van gegevens over achtergrondwaarden, dosis-responsrelatie en normen. Zonder deze gegevens is het immers niet mogelijk om te beoordelen of een bepaalde stof in een hogere concentratie/intensiteit dan normaal voorkomt of om een schatting van het gezondheidsrisico te maken.

De meetbaarheid van een factor hangt of af van de beschikbaarheid van monsternamen- en analysemethoden.

In de volgende hoofdstukken staat per factor vermeld of en hoe metingen verricht kunnen worden.

Op welke plaats, hoelang en met welke methode gemeten wordt, oftewel de meetstrategie, is erg belangrijk en wordt bepaald door het doel van de meting:

- bronopsporing: meten bij een vermoedelijke bron om dit vermoeden te verifiëren.

Metingen dienen dan plaats te vinden zo dicht mogelijk bij de vermoede bron en bijvoorbeeld in verschillende ruimten tegelijk. Zo kan een gradiënt bepaald worden. De meting in de ruimte bij de bron zal een hogere concentratie of intensiteit opleveren.

Het kan ook gaan om het tijdpatroon: verandert de concentratie of intensiteit in samenhang met de activiteit van de vermoedelijke bron?

- blootstellingsbepaling: vaststellen van een relatie tussen klachten en mogelijke bron, bepaling van een gezondheidsrisico.

Hier dient de meting plaats te vinden in de ademzone op circa 1,5 meter hoogte. Er moet niet boven een kachel of bij een raam gemeten worden, omdat daar sterke luchtstromen kunnen heersen. Verder moet de meting plaatsvinden in de meest bewoonde ruimte, meestal de woonkamer, of in een andere ruimte waar klachten optreden, bijvoorbeeld een slaapkamer met spaanplaat.

Het is aan te raden altijd ook een buitenluchtmeting uit te voeren. Het is een controlemeting voor de metingen binnenshuis. Hiermee kan de eventuele invloed van buiten uitgesloten worden of juist een bron van buiten opgespoord worden. Bovendien is het een controle voor de meetmethode. Ter controle een meting doen in een andere woning in de buurt heeft geen zin. Over het algemeen variëren de concentraties tussen woningen en binnen één woning namelijk vrij sterk. De meetresultaten kunnen dus alleen vergeleken worden met de gegevens van een groot aantal woningen. Voor een groot aantal stoffen zijn deze gegevens voorhanden. De gemeten concentraties kunnen dus vergeleken worden met deze referentiewaarden. In de volgende hoofdstukken staan referentiewaarden, voor zover beschikbaar, per factor vermeld.

De meetmethode wordt bepaald door:

- detectiegrens: kan een methode lage concentraties nog meten?
- gewenste betrouwbaarheid: wat is de afwijking van een methode?
- monsternameduur: hoe lang moet gemeten worden en kan dat met de methode?
- middellingsduur: is het nodig de verandering van de concentratie of intensiteit waar te nemen?
- referentiewaarden: hoe zijn deze gemeten? De gemeten waarden zijn alleen te vergelijken met referentiewaarden als dezelfde methode en monsterduur zijn gebruikt;
- normen: op welke tijdsfactor zijn deze gebaseerd?

De monsternameduur hangt af van de tijdsvariatie in blootstelling/emissie, het belang van piek-blootstellingen en wederom de referentiewaarden en normen. Over het algemeen wordt er een week of eventueel 24 uur gemeten.

Sommige metingen kunnen zelf uitgevoerd worden (bijvoorbeeld CO, temperatuur), in andere gevallen kan het nodig zijn andere instanties in te schakelen.

1.2.6 Relatie gezondheidseffect met kwaliteit binnenmilieu mogelijk?

Vervolgens moet wederom de vraag worden beantwoord of een relatie tussen (gezondheids)klachten en de kwaliteit van het binnenmilieu aannemelijk is. In veel gevallen zijn de gemelde gezondheidsklachten niet-specifiek, wat wil zeggen dat ze ook het gevolg kunnen zijn van een groot aantal andere oorzaken. Toch is het mogelijk dat afwijkingen in het binnenmilieu de oorzaak zijn. Een relatie tussen klachten en een bron kan alleen met zekerheid worden gelegd als de concentratie van een verontreiniging bekend is (voor stankproblemen is niet de concentratie van belang, maar de aard en sterkte van de geur). Als slechts geringe afwijkingen worden gevonden, blijft een relatie onzeker.

Als metingen zijn uitgevoerd, dan moet er eerst worden nagegaan of de concentraties van verontreinigende stoffen hoger zijn dan normaal. Hiervoor kunnen de gemeten concentraties vergeleken worden met de concentraties in de buitenlucht en met referentiewaarden voor de binnenlucht. Ter opsporing van een bron kunnen de meetresultaten in de verschillende ruimten met elkaar worden vergeleken. Ook kan gelet worden op het patroon van de verontreiniging. Als de vermoedelijke

bron bijvoorbeeld een hydrofoberingsmiddel is dan moet het patroon van de componenten van dat middel terug te vinden zijn in de binnenlucht. Hieruit kan bepaald worden of de vermoede relatie tussen de bron en de gemeten stoffen aannemelijk is.

Is er sprake van duidelijk verhoogde concentraties dan kunnen vervolgens de gezondheidsrisico's worden geschat aan de hand van toxicologische informatie en de daarop gebaseerde advieswaarden en normen.

Er zijn voor weinig stoffen luchtnormen met een wettelijke status. Een overzicht van de soorten normen die men met betrekking tot stoffen in de lucht kan tegenkomen, wordt gegeven in bijlage 1.1.

1.2.7 Registratie van vragen en klachten

Voor het digitaal registreren van vragen en klachten over gezondheid in relatie tot milieu heeft het RIVM voor GGD'en een registratieprogramma ontwikkeld. Veel GGD'en hadden een eigen systeem voor deze registratie, maar er bleek behoefte te bestaan aan een landelijk uniforme wijze van registreren. In 2002 is dan ook in overleg met de ministeries van VWS en VROM en de Vakgroep Milieu en Gezondheid besloten om een uniform registratiesysteem op te zetten. Het systeem dient drie verschillende doelen:

1. Elke GGD kan een elektronisch dossier van de milieugezondheidsklachten bijhouden.
2. MMK-medewerkers kunnen snel nagaan of bij een andere GGD al eens een bepaald type klacht is behandeld, wanneer en door wie.
3. Het RIVM kan periodiek een rapportage voor VWS maken om inzicht te geven in het aantal en de aard van de gemelde klachten en de ontwikkeling hierin in tijd.

In het hiertoe ontwikkelde programma 'MGK' (Milieugerelateerde GezondheidsKlachten) kunnen in de volgende drie categorieën gegevens worden geregistreerd: 'personalia en locaties', 'gezondheidsklacht en milieufactor' en 'afhandeling en betrokken instanties'. Het programma is voorzien van een functie om gegevens voor eigen gebruik uit te draaien, bijvoorbeeld voor het opstellen van een jaarrapportage. Een dergelijke rapportage kan ook voor de betreffende gemeenten interessant zijn. Geanonimiseerde gegevens ten bate van een landelijke database kunnen in een apart bestand opgeslagen worden. Deze bestanden worden periodiek door het RIVM verzameld en samengevoegd tot een landelijk bestand. Dit landelijke bestand wordt beschikbaar gesteld aan de GGD'en. Tevens kan het RIVM op basis hiervan een landelijke rapportage opstellen.

De meeste GGD'en maken gebruik van het hier beschreven registratieprogramma. Uniforme registratie van vragen en klachten speelt een belangrijke rol in de HKZ-normering van de Medische milieukunde. Het programma wordt mogelijk verder aangepast om ook in de toekomst aan de eisen van registratie te kunnen voldoen.

1.3 Juridische aspecten van binnenmilieuproblemen

1.3.1 Inleiding

Als de oorzaak van een afwijkende situatie in het binnenmilieu wordt gevonden, moeten maatregelen ter verbetering worden uitgevoerd. Deze maatregelen zullen moeten worden genomen door de veroorzaker of de verantwoordelijke persoon of instantie. De snelheid waarmee deze maatregelen moeten worden uitgevoerd zal in de praktijk afhangen van de ernst van de situatie. In het algemeen zal men krachtiger aandringen op het snel nemen van maatregelen als een oorzakelijk verband met gezondheidsklachten vrij duidelijk is. Uit ervaring blijkt dat in dergelijke situaties maatregelen meestal snel worden uitgevoerd. Soms moeten maatregelen, die noodzakelijk zijn, worden afgedwongen. Binnen de Wet Collectieve Preventie Volksgezondheid (WCPV) zijn hier geen mogelijkheden voor. Het afdwingen van maatregelen moet altijd geschieden via andere instanties die het bevoegd gezag vertegenwoordigen.

Op rijksniveau zijn er wetten, besluiten en ministeriële regelingen. Wetten worden gemaakt door de Kroon (koning(in) + minister(s)). Besluiten vallen onder een wet en worden ook door de Kroon opgesteld. Ministeriële regelingen (binnen een wet of besluit) worden door de ministers alleen opgesteld. Op gemeentelijk niveau zijn er verordeningen.

In deze paragraaf worden in het kort enkele wettelijke regelingen besproken die van belang zijn voor de behandeling van klachten over het binnenmilieu.

1.3.2 Wetgeving

Burgerlijk Wetboek

Op het gebied van de woning worden in het Burgerlijk Wetboek de verplichtingen van de huurder en verhuurder beschreven. Het Burgerlijk Wetboek (B.W.) meldt dat de huurder verplicht is om:

1. *het gehuurde als een 'goed huurder' te gebruiken en behandelen (artikel 1596, B.W. lid 1, boek 7A);*
2. *de huurprijs op de afgesproken termijnen te voldoen (artikel 1596, B.W. lid 2, boek 7A).*

Tevens is de huurder aansprakelijk voor alle schade aan het verhuurde toegebracht, tenzij hij kan bewijzen dat de schade buiten zijn schuld heeft plaatsgehad (artikel 1600 B.W., boek 7A).

De verhuurder is verplicht om:

1. *het verhuurde te onderhouden in zodanige staat dat het tot het gebruik waartoe het verhuurd is, dienen kan (artikel 1586 B.W. lid 2, boek 7A).* Op grond van dit artikel kan bijvoorbeeld een voorziening worden gevorderd om vochtoverlast te verhelpen. Wanneer niet aan de onderhoudsplicht is voldaan, kan op grond van dit artikel ook schadevergoeding worden gevorderd;
2. *de huurder het rustig genot van het verhuurde te doen hebben, zolang de huur duurt (artikel 1586 B.W. lid 3, boek 7A).* Verstoring van het rustig genot is natuurlijk een vaag begrip. In de rechtspraak tot nu toe is aangenomen dat het woongenot ondermeer wordt verstoord wanneer er sprake is van rioollucht, gezondheidsondermijning en een ongedierteplaag;
3. *in te staan voor alle gebreken van het verhuurde goed, welke het gebruik daarvan verhinderen. Indien door die gebreken enig nadeel voor de huurder ontstaat, is de verhuurder gehouden hem daarvoor schadeloos te stellen (artikel 1588 B.W., boek 7A).* Hebben beide partijen niets afgesproken, dan gelden bovengenoemde wettelijke bepalingen. In een contract kan wel van deze bepalingen worden afgeweken. De verhuurder mag echter aansprakelijkheid voor schade, veroorzaakt door opzet of grove schuld, niet uitsluiten.

Op grond van artikel 37, boek 5, kunnen allerlei vormen van onrechtmatig toegebrachte hinder aan burens door onder meer geluid, trillingen, stank en rook of gassen worden aangepakt. Artikel 162, boek 6, is van toepassing als het geen buurerven betreft, maar daarbuiten hinder wordt ondervonden.

De herziene Woningwet (1991)

De Woningwet geeft voorschriften die ten doel hebben woningen en andere gebouwen aan door de Overheid gestelde kwaliteitseisen te laten voldoen. De Gemeente moet controle uitoefenen op het woningbestand; dit gebeurt meestal door de Gemeentelijke Dienst Bouw- en Woningtoezicht. Op grond van de Woningwet kan de Gemeente een woning of standplaats onbewoonbaar verklaren (artikel 29-39, Woningwet) of de eigenaar van de woning, standplaats, open erf of terrein aanschrijven om verbeteringen aan te brengen (artikel 14-16, 19-28 Woningwet). Indien bouwkundige aspecten oorzaak zijn van een binnenmilieuprobleem en de verhuurder dit niet wil oplossen, kan men zich dus wenden tot de Gemeentelijke Dienst Bouw- Woningtoezicht. Reageert Bouw- en Woningtoezicht niet naar behoren, dan kan de Inspectie Volkshuisvesting worden ingeschakeld. De Woningwet wijzigt per 1 april 2007. De wijziging heeft vooral betrekking op een betere naleving, handhaving en handhaafbaarheid van de bouwregelgeving.

Bouwbesluit

Het Bouwbesluit is een Algemene Maatregel van Bestuur als bedoeld in artikel 2 van de Woningwet. Het Bouwbesluit bevat minimale eisen. Het uitgangspunt hierbij is dat er geen nadelige effecten voor de mens optreden. Echter, de minimumeisen uit het bouwbesluit kunnen negatieve effecten op de gezondheid niet altijd uitsluiten.

Het Bouwbesluit bevat bouwtechnische voorschriften waaraan alle bouwwerken (woningen, woongebouwen, woonwagens, standplaatsen en andere gebouwen) in Nederland minimaal moeten voldoen. Ook verbouwingen vallen onder het Bouwbesluit. De eisen hebben betrekking op veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieu.

Er wordt hierbij onderscheid gemaakt in nieuwbouw en bestaande bouw. In het Bouwbesluit wordt gesproken over verblijfsgebieden, verblijfsruimten en verkeersruimten. Een verblijfsgebied is een met constructieve wanden omsloten ruimte van één woonlaag, met uitzondering van toilet, badkamer, gesloten galerij of trappenhuis. De slaapetage van een eengezinswoning is een voorbeeld van een verblijfsgebied. Binnen één verblijfsgebied kunnen zich meerdere verblijfsruimten bevinden. Een verblijfsruimte is een besloten ruimte voor het verblijf van mensen, zoals slaap-, hobby- en woonkamer. Een keuken (open of gesloten) heet in het Bouwbesluit een verblijfsruimte met een opstelplaats voor een aanrecht en kooktoestel. Een zolder kan een verblijfsruimte zijn of bevatten, maar kan ook een 'onbenoemde ruimte' zijn. Een verkeersruimte is een ruimte in een bouwwerk bestemd voor het bereiken van een andere, van het gebouw deel uitmakende, ruimte (bijvoorbeeld een gang).

Het eerste Bouwbesluit is in 1992 in werking getreden en daarmee werden de technische bouwvoorschriften voor het hele land gelijk. Op 1 januari 2003 is een nieuw Bouwbesluit in werking getreden (Bouwbesluit 2003). De laatste wijzigingen van het Bouwbesluit 2003 zijn van 1 september 2005 en van 1 januari 2006.

Het Bouwbesluit biedt de mogelijkheid tot het geven van voorschriften bij ministeriële regeling. Op deze manier kan op nieuwe ontwikkelingen worden ingespeeld.

Wanneer de voorschriften van het Bouwbesluit niet worden nageleefd, kan de gemeente op grond van artikel 14 van de Woningwet maatregelen ter verbetering van de situatie afdwingen. In situaties waarin geen strijd bestaat met de voorschriften van het Bouwbesluit, maar waarin wel sprake is van gebreken die uit oogpunt van veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid en energiezuinigheid moeten worden opgeheven, wordt in dit artikel de mogelijkheid geboden voor het aanschrijven 'uit andere hoofde'.

Als een bouwvergunning is verleend, moet een gebouw blijven voldoen aan de eisen die van kracht waren tijdens of door die bouwvergunning. Dit heet rechtens verkregen niveau.

NEN- en NPR-normen

NEN- en NPR-normen zijn opgesteld door de Stichting Nederlands Normalisatie Instituut. Deze normen hebben geen wettelijk status; het zijn slechts richtlijnen.

In het Bouwbesluit worden NEN-normen genoemd wanneer de bepaling van een bepaalde prestatie-eis een verdere uitleg vergt. Daarin staan één of meerdere methoden om aan het betreffende voorschrift te voldoen. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van de NEN-norm is het dus zeker dat op dat onderdeel aan het Bouwbesluit zal worden voldaan. Het gebruik van NEN-normen is echter niet verplicht.

Het Bouwbesluit biedt drie andere mogelijkheden. Ten eerste biedt het Bouwbesluit de mogelijkheid om een 'gelijkwaardige oplossing' toe te passen. Dat betekent dat een andere invulling mag worden gegeven aan de prestatie-eis, als er maar voldaan wordt aan de doelstellingen van die eis. De gekozen oplossing wijkt in dat geval af van de voorgeschreven eis, maar biedt tenminste dezelfde mate van veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en bescherming van het milieu als de oorspronkelijke eis.

Ook is het mogelijk gebruik te maken van een Nederlandse Praktijkrichtlijn (NPR). NPR-en worden, evenals de NEN-normen, uitgegeven door het Nederlands Normalisatie Instituut. Een NPR kan bestaan uit bijvoorbeeld een computerprogramma, een vereenvoudigde bepalingsmethode of een

reeks concrete voorbeelden die voldoen aan een bepaalde Bouwbesluit-eis. Bij het volgen van de aanwijzingen mag worden verwacht dat aan de minimale eisen van het Bouwbesluit zal worden voldaan. Verder wordt in het Bouwbesluit gerefereerd aan kwaliteitsverklaringen afgegeven door erkende certificeringsinstellingen. Hierbij gaat het om een verklaring waarin is aangegeven dat een bouw-materiaal of bouwdeel, mits toegepast op de omschreven manier, voldoet aan de eisen die aan zulke materialen of delen worden gesteld in het Bouwbesluit.

Bouwverordening

Elke gemeente behoort een Bouwverordening aan de Woningwet te koppelen (artikel 8, Woningwet). De Bouwverordening moet onder andere voorschriften bevatten omtrent het gebruik van woningen, woongebouwen, woonwagens en standplaatsen met betrekking tot:

- de beschikbaarheid van drinkwater en energie;
- de reinheid;
- het bestrijden van schadelijk of hinderlijk gedierte;
- de brandveiligheid;
- het aantal personen dat in een gebouw mag wonen;
- sloopvoorschriften.

Ook voorschriften omtrent het gebruik en de staat waarin open erven en terreinen zich moeten bevinden moeten zijn opgenomen in de Bouwverordening.

Een belangrijk artikel in de Bouwverordening is artikel 7.3.2. Op grond van dit artikel kunnen allerlei vormen van hinder, bijvoorbeeld rookoverlast, stank- en geluidsoverlast, worden aangepakt.

Naast de door de Woningwet verplicht voorgeschreven inhoud, blijft de gemeente op grond van de Gemeentewet bevoegd om specifieke voorschriften vast te stellen die zijn ingegeven door, of geënt op, de lokale situatie (artikel 121 Woningwet).

De Warenwet

Deze wet regelt de voorwaarden waaraan bepaalde waren moeten voldoen. De Warenwet stamt uit 1919 en is in september 1988 ingrijpend herzien en sindsdien enkele malen aangepast. Het is een zogenaamde raamwet, dat wil zeggen dat de wet een raamwerk biedt waarbinnen door de Kroon of door de minister(s) nadere regels mogen worden gesteld.

De Warenwet richt zich op de deugdelijkheid van levensmiddelen en andere consumentenproducten.

Voor bouwmaterialen zijn slechts twee besluiten geformuleerd: het Spaanplaatbesluit en het Warenwetbesluit Asbest.

Bouwmaterialen en consumentenproducten hoeven niet tevoren beoordeeld te worden. Producenten kunnen nieuwe bestanddelen toevoegen. Zij hoeven dat slechts te vermelden voor zover dat specifiek verplicht is. Deze verplichting geldt niet voor alle bestanddelen die de gezondheid kunnen bedreigen.

De Warenwet valt onder eindverantwoordelijkheid van het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport. Op de naleving wordt toegezien door de Voedsel en Waren Autoriteit.

Bestrijdingsmiddelenwet

De regels voor de handel, toelating en het gebruik van bestrijdingsmiddelen zijn vermeld in de Bestrijdingsmiddelenwet. Een middel dat is toegelaten krijgt een N-nummer. Onder dit nummer wordt het middel geregistreerd bij het College voor de Toelating van Bestrijdingsmiddelen in Wageningen. De volgende gegevens worden geregistreerd: werkzame stoffen en concentratie, naam en adres van fabrikant, de termijn van toelating en de toegestane toepassing. Deze gegevens kunnen door iedereen worden opgevraagd.

De toelating als bestrijdingsmiddel is alleen nodig voor toepassing als zodanig. Een stof is alleen een bestrijdingsmiddel als hij verkocht of gebruikt wordt met als nadrukkelijk doel om iets te be-

strijden. Zelfs stoffen die in sommige producten als bestrijdingsmiddel aanwezig zijn, mogen zonder toelating aan andere producten worden toegevoegd zolang deze stoffen niet expliciet bedoeld zijn als bestrijdingsmiddel.

Een bedrijf dat een bestrijding uitvoert in opdracht van derden is volgens deze wet verplicht de opdrachtgever schriftelijk op de hoogte te stellen van het gebruikte middel en de voorschriften op de verpakking. Als dat niet gebeurt, is het bedrijf strafbaar. Een dergelijke situatie kan zich voordoen wanneer bewoners een bedrijf opdracht geven om bijvoorbeeld houtworm te bestrijden.

Met de opsporing van overtredingen van de Bestrijdingsmiddelenwet zijn de volgende instanties belast:

- Algemene Inspectie Dienst van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
- Arbeidsinspectie
- Inspectie Gezondheidsbescherming, Voedsel en Waren Autoriteit
- Regionale Inspectie Milieuhygiëne
- Waterkwaliteitbeheerders
- Politie

Wet Milieubeheer

De Wet Milieubeheer (Wm) bevat voorschriften ter bescherming van het milieu. De Wm is sinds 1980 van kracht. Het is een zogenaamde raamwet. De Wm bevat het algemene kader van de milieuwetgeving. Onderdelen worden in algemene maatregelen van bestuur (AMvB's) of ministeriële regelingen verder uitgewerkt. Milieuregels voor bedrijven zijn vooral gebaseerd op de Wm. Een van de belangrijkste elementen van deze wet is de integrale milieuvergunning. Bedrijven hebben een milieuvergunning nodig, tenzij ze voldoen aan algemene regels die staan in zogenaamde 8.40-AMvB's. Dit zijn AMvB's op basis van artikel 8.40 van de Wm. Deze AMvB's bevatten milieuregels voor bepaalde bedrijfssectoren zoals de horeca, transportbedrijven en detailhandel. Bedrijven die onder zo'n 8.40-AMvB vallen (ongeveer 300.000), hebben geen milieuvergunning nodig, maar moeten hun activiteiten wel melden bij de gemeente. Zo'n 8.40-AMvB is er bijvoorbeeld voor chemische wasserijen (Besluit textielreinigingsbedrijven milieubeheer). Toezichthoudende ambtenaren aangewezen krachtens deze wet of andere milieuwetten (zoals de Wet geluidhinder) handhaven de naleving van de wet. Voor meer informatie, zie de website van infomil: www.infomil.nl.

Arbeidsomstandighedenwet (Arbowet)

Deze wet bevat voorschriften ter verzekering van de veiligheid, ter bescherming van de gezondheid en ter bevordering van het welzijn van werknemers in verband met arbeid. Het bij deze wet behorende Arbobesluit bevat meer specifieke voorschriften die betrekking hebben op het bestrijden van bepaalde risico's, zoals de omgang met gevaarlijke stoffen, het werken met beeldschermen, het inrichten van arbeidsplaatsen, enzovoort.. Soms treedt er een menging op van wonen en werken, bijvoorbeeld bij het slopen van asbest in woningen. In die gevallen zijn de bepalingen van het Arbobesluit van belang voor de behandeling van klachten over de kwaliteit van het binnenmilieu. Voor de onderwijssector biedt de Arbowet de werknemers/leerkrachten én leerlingen en studenten een vergelijkbaar niveau van bescherming. De Arbeidsinspectie is belast met het toezicht op de naleving van de Arbowet.

Wetboek van Strafrecht

Deze wet is toepasbaar op ieder die zich in Nederland, en in sommige gevallen daarbuiten, aan een strafbaar feit schuldig maakt. De wet bepaalt welke feiten strafbaar zijn.

Verontreiniging van het binnenmilieu kan in een enkel geval aangepakt worden met behulp van artikel 173a/b. Dit artikel bepaalt dat het opzettelijk en wederrechtelijk in de lucht (laten) brengen van een stof strafbaar is wanneer de dader weet of vermoedt dat deze daad gevaar voor de openbare gezondheid of levensgevaar voor een ander oplevert en/of weet of vermoedt dat het feit iemands dood ten gevolge heeft.

De politie houdt toezicht op de naleving van deze wet.

Algemeen Plaatselijke Verordening (APV)

De Algemeen Plaatselijke Verordening bevat voor het overgrote deel bepalingen die door de gemeenteraad autonoom in het belang van de stedelijke 'huishouding' zijn vastgesteld. Daarnaast zijn er bepalingen die berusten op landelijke wetgeving. De APV bevat onder andere voorschriften ter handhaving van de openbare orde en veiligheid, voor horecabedrijven, voor het beheer van openbare ruimte en voor het leefmilieu. Politie en speciaal hiervoor aangewezen ambtenaren zijn belast met de handhaving van de APV.

1.3.3 Rol van klachtenbehandelende instanties

De meeste instanties die klachten op het gebied van binnenmilieu behandelen, zoals gezondheidsdiensten, kruisverenigingen en wetenschapswinkels, hebben geen directe juridische mogelijkheden om maatregelen ter verbetering af te dwingen. Zij zijn slechts adviserend. Ze kunnen echter wel bevoegde instanties, bijvoorbeeld Bouw- en Woningtoezicht of een Milieudienst, verzoeken om op te treden. De praktijk leert dat met name de gezondheidsdiensten dit middel vaak met succes kunnen toepassen.

Bijlage 1.1 Normen

Normen en advieswaarden voor factoren in het binnenmilieu die in dit handboek genoemd worden, zijn afgeleid door de World Health Organization (WHO) of door het RIVM en/of vastgesteld door de Gezondheidsraad. Bij deze organisaties kan meer informatie verkregen worden over bepaalde normen en advieswaarden. Zie hiervoor onder andere hun websites (www.rivm.nl, www.gr.nl, www.who.int/en/).

Wetenschappelijk vastgestelde risicogrenzen:

TCL:	De Toxicologisch Toelaatbare Concentratie in Lucht (TCL), gedefinieerd als die concentratie in de lucht, die gedurende het hele leven dagelijks door de mens kan worden opgenomen bij inhalatoire blootstelling, zonder dat schadelijke effecten op de gezondheid te verwachten zijn. In het kader van normstelling voor bodemverontreiniging worden door het RIVM TCL-waarden opgesteld, noodzakelijkerwijs vaak op grond van beperkte toxicologische informatie.
TDI:	Toxicologisch Toelaatbare Dagelijkse Inname (TDI). De hoeveelheid van een stof, uitgedrukt op basis van het lichaamsgewicht voor orale blootstelling en op basis van luchtvolume voor inhalatoire blootstelling, die dagelijks door de mens kan worden ingenomen gedurende het hele leven zonder dat schadelijke effecten op de gezondheid te verwachten zijn. De TDI is eveneens noodzakelijkerwijs vaak op grond van beperkte toxicologische informatie door het RIVM opgesteld.
ADI:	De 'Acceptabele Dagelijke Inname' (ADI) is de hoeveelheid van een stof, uitgedrukt op basis van het lichaamsgewicht voor orale blootstelling en op basis van luchtvolume voor inhalatoire blootstelling, die dagelijks door de mens kan worden opgenomen gedurende het hele leven zonder dat er nadelige effecten op de gezondheid te verwachten zijn. De ADI is door de World Health Organization (WHO) opgesteld. Bij het opstellen van de ADI wordt gebruikgemaakt van alle beschikbare toxicologische kennis. Hiertoe behoren de gegevens uit dierproeven, epidemiologische gegevens en eventuele medisch-klinische gegevens over vergiftigingsgevallen.
MTR:	Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR). Door het Ministerie van VROM (1988) is vastgesteld dat het MTR gelijk is aan de ADI, TDI of TCL van een stof. Het MTR is de concentratie van een stof in lucht, water of bodem waarbeneden geen negatief effect te verwachten is of, bij kankerverwekkende stoffen, de kans op sterfte voor de mens kleiner is dan 1 op miljoen per jaar.
Geurdrempel:	Concentratie van een stof in lucht die door de helft van de leden van een geselecteerd panel nog net onderscheiden wordt van geurvrije lucht.
Gezondheidskundige advieswaarden binnenmilieu:	Deze advieswaarden zijn gebaseerd op het MTR. Voor het compartiment lucht wordt dit meestal aangeduid als de TCL. De advieswaarden zijn opgesteld als toetsingswaarden voor de kwaliteit van de binnenlucht in woningen. De advieswaarden zijn opgesteld door het RIVM en hebben geen wettelijke status.

Arbeidsnormen:

MAC:	Maximaal Aanvaarde Concentraties (MAC-waarden) zijn normen voor de luchtkwaliteit op de werkplek. Een MAC-waarde komt tot stand na afweging van gezondheidsrisico's voor werknemers tegen maatschappelijke en economische haalbaarheid. De MAC geldt voor gezonde werknemers
------	--

en is niet zondermeer toepasbaar voor de algemene bevolking. Zo gelden de MAC-waarden voor een blootstellingsduur van 40 uur per week, terwijl de blootstellingsduur van de algemene bevolking veel langer kan zijn. Ook is bij het opstellen van de MAC-waarden meestal geen rekening gehouden met interindividuele verschillen in gevoeligheid.

MAC-TGG: Maximaal Aanvaarde Concentratie Tijdgewogen Gemiddelde (MAC-TGG). Dit is de gemiddelde maximaal aanvaarde concentratie op de werkplek bij een bepaalde blootstellingsduur, tot acht uur per dag en maximaal veertig uur in de week.

MAC-C: Maximaal Aanvaarde Concentratie 'Ceiling' (MAC-C). Overschrijding van deze concentratie van een stof moet in alle gevallen voorkomen worden

Bijlage 1.2 Voorbeeld Informed Consent

Ondergetekende,

Naam: _____

Adres: _____

Geboortedatum: _____

Verklaart hierbij geen bezwaar te hebben tegen het verstrekken van inlichtingen van medische aard betreffende hem/haarzelf door de behandelend geneeskundigen en/of andere in de gezondheidszorg werkzame hulpverleners aan een medewerker van de Gemeentelijke Gezondheidsdienst {naam}.

Datum: _____

Handtekening: _____

2 Ventilatie

2.1 Inleiding

Ventilatie is het proces waarbij ‘verse’ lucht van buiten naar binnen wordt toegevoerd en ‘gebruikte’ lucht van binnen naar buiten wordt afgevoerd. In de meeste gevallen is de lucht in de woning meer verontreinigd dan de buitenlucht. Met ventilatie kan worden voorkomen dat hinderlijke en schadelijke stoffen en gassen, gevormd in het binnenmilieu, zich in de woning ophopen. Verder zorgt ventilatie voor de afvoer van vocht, de afvoer van door het menselijk lichaam geproduceerde afvalstoffen (bio-effluenten) en de toevoer van zuurstof. Door ventilatie worden ook de emissies afkomstig uit processen en materialen afgevoerd. Daarnaast worden verontreinigingen van buiten naar binnen getransporteerd.

Als we het over ventilatie hebben, dan maken we onderscheid tussen basisventilatie (permanente toevoer van normaliter benodigde hoeveelheid verse buitenlucht door mechanische en/of natuurlijke ventilatie) en spuien/luchten (extra ventilatie door het openzetten van ramen tijdens of na vochtpieken, roken, het oplopen van de temperatuur, enzovoort). Basisventilatie en spuiventilatie vindt meestal plaats door bewuste ventilatie (ventilatiegedrag). De lucht in de woning kan worden toegevoerd via gevelroosters, (klap)ramen of luchttoevoerkanalen. De lucht kan worden afgevoerd via ramen, afvoerkanalen aangesloten op mechanische afzuiging, of kanalen door het dak of door de muur zonder mechanische afzuiging. Daarnaast vindt luchtverversing plaats door infiltratie (zogenoemde onbewuste ventilatie): luchtstromen via naden en kieren.

2.2 Factoren die de ventilatie beïnvloeden

De hoeveelheid ventilatie in een woning wordt beïnvloed door:

- omgeving: windbelasting, oriëntatie, verontreinigingsbronnen rond het gebouw (snelwegen, vliegveld, spoor);
- bouwkundige constructie: vertrekhoogte, luchtdichtheid gevel, aantal en type te openen ramen, aantal en type (gevel)ventilatie-roosters;
- installaties: type ventilatiesysteem, capaciteit ventilatiesysteem, type verwarmingssysteem (zie ook paragraaf 2.2.1);
- beheer & onderhoud: technisch en hygiënisch onderhoud van het ventilatiesystemen (vervanging filters, reiniging kanalen);
- gebruik: bewonersgedrag, gebruik van ventilatievoorzieningen.

Vooraf het type ventilatiesysteem is van groot belang. Vandaar dat hier dieper op wordt ingegaan.

2.2.1 Ventilatiesystemen

Er worden in principe vier systemen onderscheiden (figuur 2.1):

A Natuurlijke ventilatie: natuurlijke toe- en afvoer van lucht.

Toe- en afvoer van lucht zonder mechanische ventilatoren. Toevoer vindt meestal plaats via ramen of roosters in de gevel (bij voorkeur regelbare ventilatievoorzieningen) en/of infiltratie (via lekken in de gevel). Afvoer bijvoorbeeld via verticale kanalen (‘shuntkanalen’) die niet zijn voorzien van een ventilator.

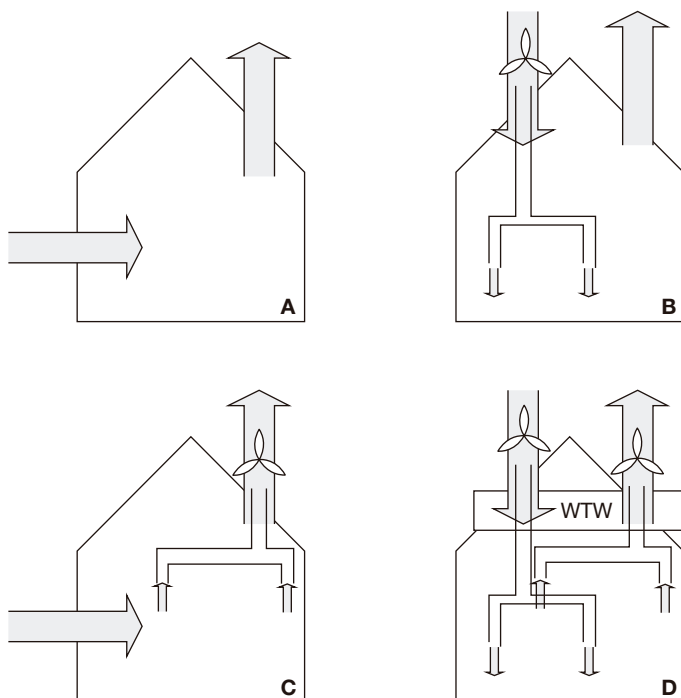
B Mechanische toevoer en natuurlijke afvoer van lucht.

Dit systeem komt in de praktijk zo goed als nooit voor in woningen.

C Natuurlijke toevoer en mechanische afvoer van lucht.

Bij dit type systeem is sprake van ventilatieopeningen in de gevels voor de toevoer van lucht. Het kan dan gaan om gevelroosters (al dan niet zelfregelend/op de winddruk reagerend) of klappaampjes. De afvoer vindt plaats middels een mechanisch afzuigsysteem waarvan de afzuigpunten zich bijvoorbeeld in keuken, badkamer en toilet bevinden.

D Mechanische toe- en afvoer, ook wel balansventilatie genoemd. Hierbij is sprake van geforceerde luchtverplaatsing gebruikmakend van ventilatoren (1 voor toevoer en 1 voor afvoer). Balansventilatie wordt vaak gecombineerd met een warmteterugwinstsysteem (wtw-systeem).



Figuur 2.1 ventilatieprincipes A: natuurlijk toe- en afvoer, B: mechanische toevoer en natuurlijke afvoer, C: natuurlijke toevoer en mechanische afvoer, D: mechanische toe- en afvoer met warmteterugwinning.(1)

Voor woningen gebouwd voor circa 1995 geldt dat ongeveer tweederde mechanisch afgezogen wordt (met natuurlijke toevoer, type C). Eenderde van de woningen van voor 1995 heeft de van oudsher bekende natuurlijk toe- en afvoervoorzieningen (type A).

Nieuwere woningen (gebouwd na 1995) zijn vaak van het type D. Anno 2006 wordt circa 50% van de nieuwbouwwoningen voorzien van een gebalanceerd ventilatiesysteem.(2)

Een inmiddels ook af en toe toegepast systeem is de zogenaamde hybride ventilatie. De ventilatie (toevoer en afvoer) in een dergelijk systeem is in beginsel natuurlijk, maar als via sensoren (voor CO₂, en vocht) gemeten wordt dat de luchtkwaliteit onvoldoende is, wordt een (afzuig)ventilator bijgeschakeld.

Tabel 2.1 de voor- en nadelen van ventilatie type A, C en D

Ventilatiesysteem	Voordelen	Nadelen
A. Natuurlijke toe- en afvoer	<ul style="list-style-type: none"> • simpel systeem, wordt door iedereen begrepen • in de praktijk vaak veel luchtwisselingen = gunstig voor gezondheid • geen installatiegeluid 	<ul style="list-style-type: none"> • verse luchttoevoer weersafhankelijk en niet altijd gegarandeerd • grote kans op tochtthinder bij koud weer • onnodig hoog energiegebruik • kans op hinder door geluid van buiten (bij openstaand raam e.d.)
C. Natuurlijke toevoer, mechanische afzuiging	<ul style="list-style-type: none"> • relatief robuust systeem • verse luchttoevoer redelijk gegarandeerd 	<ul style="list-style-type: none"> • enige kans op tochtthinder bij koud weer • kans op hinder door geluid van buiten (tenzij er sprake is van gevelroosters met suskasten)
D. Balansventilatie	<ul style="list-style-type: none"> • verse luchttoevoer niet weersafhankelijk en (op papier) altijd gegarandeerd • enige filtering van buitenlucht is mogelijk 	<ul style="list-style-type: none"> • kans op hinder door installatiegeluid • in de praktijk soms relatief weinig luchtwisselingen – ongunstig voor gezondheid (m.n. als systeem niet is 'ingeregeld' bij ingebruikname) • risico op verkeerd gebruik door bewoner t.g.v. complexiteit systeem • systeem kan vervuilen en dus zelf een vervuilingsbron worden (m.n. bij onvoldoende onderhoud)

Over variant C en het risico op tochtthinder bij natuurlijke ventilatie nog de volgende opmerking: sinds een aantal jaren zijn gevelroosters op de markt die zelfregelend zijn. De ventilatiespleet in het gevelrooster wordt dan automatisch aangepast aan de winddruk op de gevel. Voordeel van dergelijke zelfregelende roosters is dat het warmteverlies en de kans op tochtthinder bij harde wind beduidend lager is dan bij reguliere (open – dicht) roosters.

Balansventilatie

Op variant D (balansventilatie) gaan we hieronder nog wat verder in, aangezien daar in de praktijk veel vragen over komen.

Bij balansventilatie komt de verse lucht niet binnen via raampjes of roosters, maar via een kanalenstelsel. De toe- en afvoer vindt geforceerd plaats middels mechanische ventilatie (ventilatoren). In woonkamer, slaapkamers en andere verblijfsruimten zit in het plafond of hoog dan wel laag in binnenmuren een inblaasventiel(rooster), waardoor de lucht wordt ingeblazen. Er wordt (bij benadering) evenveel lucht de woning in gebracht als er wordt afgevoerd uit keuken, badkamer, toilet en eventueel uit de verblijfsruimten zelf (als die ook van afvoerventielen zijn voorzien). Daar komt de naam balansventilatie vandaan.

De gevels kunnen het gros van de tijd gesloten blijven (uitgezonderd spuivoorzieningen) wat bij geluidsbelasting een groot voordeel is. Overigens is het een misvatting dat woningen met balansventilatie geen te openen ramen nodig hebben. Spuiventilatievoorzieningen zijn altijd nodig (bijvoorbeeld om tijdelijk overtallige warmte af te kunnen voeren), ongeacht het type systeem dat voor basisventilatie gebruikt wordt.

Ventilatie vindt in de regel plaats via een ventilatiebox. Deze zuigt verse buitenlucht aan waarna deze door een filter geleid wordt. Afhankelijk van het type systeem kan de lucht daarna nog voorverwarmd worden ('s winters) waarna de lucht over de diverse ruimten verdeeld wordt middels het kanalenstelsel.

Soms is niet voorzien in een verwarmingsblokje, maar in een zogenaamde warmteterugwinunit (wtw-unit). Een wtw-unit haalt via een platenwisselaar warmte uit de retourlucht en staat deze

(deels) af aan de toevoerlucht. Dit is dus een energetisch gunstige manier van voorverwarming van ventilatielucht. In de zomermaanden is voorverwarming van de toevoerlucht juist ongunstig. Een goed ventilatiesysteem is dus voorzien van een 'bypass' die ervoor zorgt dat bij hoge temperaturen de ventilatielucht *niet* voorverwarmd wordt door de retourlucht en de wtw-unit.

Het grote voordeel van balansventilatie is dat er ook 's winters voldoende geventileerd wordt (bij natuurlijke ventilatie doen bewoners vaak roosters en ramen dicht bij koud weer in verband met tochtoverlast). Toch gaat er ook vaak van alles mis met balansventilatie. De belangrijkste problemen worden hier opgesomd.⁽³⁾

- De luchtstroom is te gering, m.n. als systemen niet goed ingeregeld zijn en/of niet goed onderhouden.
- De verdeling van de luchtstromen over de ruimten is niet goed ingeregeld.
- Tocht door koude lucht of hoge luchtsnelheden. Dit kan een probleem zijn wanneer de ventielen zijn aangebracht dicht boven bed, bank of stoelen.
- De installatie maakt te veel geluid. Dit kan vooral in de woon- en slaapkamer hinderlijk zijn.
- Het inblazen van te warme lucht in de zomer. De wtw heeft soms geen bypass. In de zomer kan lucht dan ongewenst worden voorverwarmd.
- Er is niet altijd een alternatieve ventilatiemogelijkheid, zoals te openen ramen of roosters, wanneer de balansventilatie uitvalt.
- Bewoners weten niet goed hoe het ventilatiesysteem werkt; de aangeboden gebruiksinformatie is onvoldoende.
- De capaciteit van het ventilatiesysteem neemt af, omdat filters niet vaak genoeg gereinigd of vervangen worden.

2.3 Inspectie

Er zijn diverse zaken die kunnen wijzen op een ventilatieprobleem in een woning:

- condens op de ramen;
- schimmelgroei op muren, plafonds, enzovoort;
- muffe/bedompte of 'chemische' geur;
- niet-specifieke klachten van bewoners, zoals hoofdpijn, slijmvliesirritaties, vermoeidheid, 'droge lucht'-klachten (zogenaamde Sick Building Syndrome- of SBS-klachten).

Voor deze problemen zijn van geval tot geval verschillende oorzaken aan te wijzen. Veel voorkomende oorzaken zijn: onjuist gebruik van de ventilatievoorzieningen, ontbrekende ventilatievoorzieningen en onvoldoende kwaliteit van (op zich wel aanwezige) ventilatievoorzieningen.

Om te bepalen of er een ventilatieprobleem is in een woning dienen middels een visuele inspectie de volgende vragen beantwoord te worden.

Algemeen:

- Zijn er duidelijke verontreinigingsbronnen aanwezig in de woning als bijvoorbeeld grote huisdieren, rokers, afvoerloze geisers, houtkachels of net nieuw gelegde (sterk geurende) vloerbedekking?
- Zijn er oorzaken buiten aan te wijzen die maken dat bewoners weinig zouden kunnen ventileren (verkeersgeluid, inbraakrisico, luchtverontreiniging buiten)?
- Hoeveel bewoners telt de woning in relatie tot het aantal kamers en de grootte van de woning (als het aantal bewoners groter is dan het aantal slaapkamers, is er vaak een probleem)?
- Hoe kierdicht en 'luchtig' is de woning (afhankelijk van met name het bouwjaar van de woning)?
- Zijn er voldoende spuiventilatievoorzieningen (te openen ramen)?
- Hoe wordt er geventileerd (type ventilatiesysteem)?

- Hoe is het ventilatiegedrag van bewoners te omschrijven (wel/niet bewust ramen openen en dergelijke)?

Ruimteniveau:

- Is in iedere ruimte een ventilatievoorziening (toevoer en afvoer) aanwezig, natuurlijk of mechanisch?
- Zijn de ventilatievoorzieningen goed en eenvoudig bereikbaar en bedienbaar?
- Zijn de ventilatievoorzieningen (roosters, filters en eventuele ventilatiekanalen) voldoende schoon?
- Is er een luchtstroom voelbaar bij de toevoeropeningen (controleer dit met een natgemaakte hand)?
- Wordt er lucht vanuit de kruipruimte, badkamer of andere vochtige ruimte de woon- en slaapkamers ingezogen?

Mechanische afzuiging:

- Kunnen gebruikers de capaciteit van een eventueel mechanisch ventilatiesysteem (of afzuigsysteem) beïnvloeden met een 3-standenknop?
- Is het geluidsniveau (bij ingeschakelde ventilatie) te hoog (waardoor men het systeem altijd uit heeft staan)?
- Wordt er voldoende lucht afgezogen via de afzuigventielen in bijvoorbeeld toilet, keuken en badkamer (controleer dit door een stukje toiletpapier voor de afzuigroosters te houden)?
- Wordt het afzuigsysteem minimaal één keer per jaar onderhouden door een vakman?

Balansventilatie:

- Kunnen gebruikers de capaciteit van het balansventilatiesysteem beïnvloeden met een 3-standenknop?
- Is het geluidsniveau (bij ingeschakelde ventilatie) te hoog (waardoor men het systeem altijd uit heeft staan)?
- Wordt er voldoende lucht afgezogen via de afzuigventielen in bijvoorbeeld toilet, keuken en badkamer (controleer dit door een stukje toiletpapier voor de afzuigroosters te houden)?
- Is elke verblijfsruimte voorzien van minimaal één toevoerrooster?
- En wordt er daadwerkelijk lucht ingeblazen via die roosters?
- Waar bevindt zich de ventilatiebox?
- Wordt de buitenlucht door de ventilatiebox op een schone, hoge, koele plek aangezogen?
- Wordt het luchtfilter in de ventilatiebox minimaal één keer per zes maanden vervangen?
- Wordt de ventilatiebox minimaal één keer per jaar onderhouden door een vakman?
- Is de ventilatiebox voorzien van een warmteterugwinunit? Zo ja, heeft deze een bypass-mogelijkheid?
- Hebben bewoners voorlichting gehad over het gebruik van het mechanisch ventilatiesysteem?

Op internet is de Ventilatietoets van de Woonbond te raadplegen (te vinden op www.woonbond.nl). Dit is een snelle checklist aan de hand waarvan werking en gebruik van de ventilatievoorzieningen te controleren zijn. De checklist is ook goed bruikbaar door GGD-professionals.

2.3.1 Maatregelen

Hieronder wordt een aantal voorbeelden gegeven van maatregelen die ventilatieproblemen op kunnen lossen (of verminderen). Het betreft met name adviezen die aan bewoners kunnen worden gegeven. Van geval tot geval zal bekeken moeten worden welke maatregelen het geschiktst zijn:

Bewonersgedrag:

- Adviseer bewoners om tijdens vervuilende activiteiten als koken, douchen en dergelijke extra te ventileren (raampje open, wasemkap aan, mechanische ventilatie op stand 3).
- Adviseer bewoners om voor en na het slapen de slaapkamers circa 15 minuten door te luchten middels het openzetten van ramen en (buiten)deuren.
- Adviseer bewoners om klappaampjes, gevelroosters en andere basisventilatievoorzieningen niet helemaal dicht te zetten (bijvoorbeeld halfopen stand bij koud weer, open stand bij warm weer).
- Bij een relatief complex ventilatiesysteem: adviseer bewoners om extra uitleg te vragen (bijvoorbeeld aan de woningcorporatie) over de werking van het systeem.

Bouwkundige voorzieningen:

Aanpassingen in bouwkundige voorzieningen kunnen alleen door woningeigenaren (particuliere kopers of woningcorporaties) worden uitgevoerd. Huurders kunnen (schriftelijk) om aanpassingen vragen bij de verhuurder. Een GGD-medewerker kan eventueel helpen bij dit verzoek.

- Als te openen ramen onvoldoende gebruikt blijken te worden ten gevolge van inbraakrisico: adviseer of vraag om klepramen inbraak-proof te maken.
- Indien er onvoldoende te openen ramen zijn: adviseer of vraag de woningeigenaar om extra te openen delen aan te brengen (met een uitzetmechanisme inclusief kierstand).
- Indien er (vochtige) lucht uit de kruipruimte aangezogen lijkt te worden (alleen relevant in woningen op de begane grond): adviseer of vraag om kieren en spleten in de begane- grondvloer dicht te maken.
- Bij natuurlijke toevoer in een lawaaige omgeving: adviseer of vraag om te voorzien in (nieuwe) gevelroosters met suskasten.
- Bij natuurlijke toevoer via gevelroosters die vaak tochtklachten geven: adviseer of vraag om de roosters te vervangen door (nieuwe) zelfregelende roosters.

Mechanische ventilatie:

Ook hier geldt dat aanpassingen alleen door woningeigenaren kunnen worden doorgevoerd. Huurders kunnen (eventueel met hulp van de GGD) vragen om aanpassingen aan de verhuurder.

- Indien er gebreken blijken te zijn (afzuigsysteem maakt te veel lawaai, nauwelijks merkbare luchtinblaas via toevoerroosters, en dergelijke): adviseer of vraag om het ventilatiesysteem door een installateur of andere vakman te laten nakijken.
- Adviseer of vraag indien nodig het systeem te laten doormeten (toevoer- en/of afvoer-hoeveelheden per rooster).
- Adviseer of vraag de onderhoudsfrequentie van het ventilatiesysteem te verhogen (naar minimaal één keer per jaar, één keer per zes maanden bij een balansventilatiesysteem).

2.4 Meten

Voordat een meetplan opgesteld wordt voor een 'probleemwoning' dient eerst de vraag gesteld te worden of het probleem door onvoldoende verse luchttoevoer komt of door sterke bronnen in de woning (denk aan emissies van materialen, roken en dergelijke). Dit kan op basis van de inspectie worden bepaald. Bij twijfel altijd eerst beginnen met een ventilatiemeting; de eerste vraag bij meer niet-specifieke (maar waarschijnlijk binnenmilieu gerelateerde) gezondheidsklachten is altijd: is de verse luchttoevoer wel voldoende?

Voor ventilatiemetingen in woningen onderscheiden we drie soorten metingen:

1. ventilatiecapaciteit (kan alleen bij mechanische toevoer en/of afvoer);
2. CO₂-concentratie (bijvoorbeeld in woonkamer en/of slaapkamer);
3. tracergasmeting.

De eerste methode houdt in dat je de gemiddelde luchtsnelheid bepaalt in een 'meettoeter' (gestandaardiseerde uitstroomopening) die je voor of over een toevoer- of afvoerrooster zet. Hiermee bepaal je vervolgens de hoeveelheid verse lucht die in een bepaalde tijd door het rooster wordt toe- of afgevoerd, ofwel het luchtdebiet (vermenigvuldig de oppervlakte van de opening van de meettoeter (in vierkante meter) met de gemeten luchtsnelheid (in meter per seconde)). Hieruit is (per rooster) af te leiden hoeveel (verse) lucht er toegevoerd wordt of afgevoerd. In woningen met mechanische afzuiging en natuurlijke toevoer via gevelroosters (en verder een relatief luchtdichte gevel) kan indirect door meting van de afvoercapaciteit ook de hoeveelheid toevoer bepaald worden, want per saldo is de toevoer gelijk aan de afvoer.

In de tweede methode wordt ventilatie beoordeeld door het meten van de koolstofdioxide (CO_2)-concentratie. CO_2 is een stof die in het lichaam wordt gevormd bij de verbranding van voedingsstoffen. Via de uitademinglucht wordt het geproduceerde CO_2 uit het lichaam verwijderd. Indien men verblijft in een ruimte die niet of te weinig wordt geventileerd, zal het CO_2 -gehalte in de ruimte oplopen. Naast het uitademen van CO_2 geeft ieder menselijk lichaam allerlei geurstoffen af. De hoeveelheid CO_2 die door het menselijk lichaam geproduceerd wordt, loopt min of meer parallel aan de hoeveelheid geurstoffen die afgegeven worden. CO_2 wordt daarom gezien als indicator voor de luchtkwaliteit in ruimten waarin mensen de belangrijkste verontreinigingsbronnen vormen. De beoordeling van de CO_2 -concentratie vindt plaats tijdens representatief gebruik van de ventilatievoorzieningen. Voor een CO_2 -meting zijn verschillende methoden beschikbaar, van kortdurend met een handmeter (enkele minuten) tot langdurend met een datalogger (enkele dagen). Voor een goede objectivering van de binnenmilieukwaliteit is een meting van minimaal één dag nodig, maar liefst van meerdere dagen.

Het CO_2 -gehalte wordt het best vastgesteld met een meetapparaat op hoofdhoogte dat niet te dicht bij een ventilatieopening is geplaatst. Tegelijk wordt ter plaatse het CO_2 -gehalte buiten gemeten, of dit wordt op 350 of 400 ppm gesteld. De meting dient plaats te vinden in ruimten waar regelmatig (veel) personen aanwezig zijn, bijvoorbeeld de slaapkamer of woonkamer.

Het onderzoek naar de CO_2 -concentratie wordt bij voorkeur uitgevoerd conform de bepalingen in de Duitse richtlijn VDI 4300 (er bestaan nog geen Nederlandse normen voor CO_2 -meting). Eventueel kan een andere in de branche gehanteerde norm gehanteerd worden. Zie tevens de GGD-richtlijn 'Meting kooldioxide in scholen en kinderdagverblijven' voor enkele adviezen omtrent de apparatuur, methode en de verslaglegging van de kooldioxidemeting.(4)

Om een beeld te krijgen van het bewonersgedrag tijdens een (CO_2 -)duurmeting, kan het zinvol zijn om de bewoners gedurende de meetperiode een dagboekje bij te laten houden. Hierin kunnen de bewoners aangeven op welke momenten er op welke manieren geventileerd wordt (bijvoorbeeld twee ramen geopend of het ventilatiesysteem op stand 3). Ook kunnen zij in het dagboekje bepaalde activiteiten noteren (bijvoorbeeld koken of was drogen), aangeven hoeveel personen zich in de ruimte bevinden en een eigen beoordeling geven van de binnenmilieukwaliteit (bijvoorbeeld benauwd of aangenaam). Als in de meetperiode bijvoorbeeld net een feestje wordt gegeven en er veel mensen in de ruimte aanwezig zijn, kan dit tijdelijk zorgen voor een flinke CO_2 -stijging. Een bijgehouden dagboekje kan dan meer inzicht geven bij de interpretatie van de verkregen meetgegevens.

De derde methode is een tracergasmeting. Hierbij wordt de mate waarin een kunstmatig verhoogde concentratie gas (die van nature niet in lucht voorkomt) wordt afgevoerd als maat voor ventilatie gebruikt. Deze methode is erg nauwkeurig, maar in de regel te complex en te duur voor woningbouw. Op deze methode zal hier daarom niet dieper worden ingegaan.

De eerste methode (ventilatiecapaciteitsmeting) is in de regel de snelste en goedkoopste methode in woningen met een ventilatiesysteem van het type C of D (alleen mechanische afzuiging of

balansventilatie). Duurmeting van de CO₂-concentratie is de enige optie in type A-woningen met natuurlijke toevoer en afvoer en kan ook een goed alternatief zijn in type C- en D-woningen.

Voor een indicatie van de werking van bijvoorbeeld roosters en afzuigpunten kan men rookbuisjes gebruiken, bijvoorbeeld van Dräger. Het gedrag van de rookpluim geeft een indruk van de richting en de intensiteit van luchtstroom. Let op: bij natuurlijke ventilatie geven rookbuisjes alleen een indruk van de luchtstroming op het bewuste moment vanwege grote afhankelijkheid van de momentane weersomstandigheden.

2.5 Referentiewaarden

In het kader van een onderzoek naar formaldehydeconcentraties in 49 woningen werd het ventilatievoud van de woonkamer, de keuken en één slaapkamer bepaald.⁽⁵⁾ Met behulp van een tracer-gas onder 'normale' omstandigheden werd het ventilatievoud momentaan bepaald. Het ventilatievoud is gedefinieerd als het aantal malen per uur dat er een hoeveelheid verse lucht in een ruimte wordt gebracht die gelijk is aan de inhoud van de ruimte. Een ventilatievoud van bijvoorbeeld 2 betekent dus dat de luchtkubus van de bewuste ruimte twee keer ververscht wordt in een uur. De resultaten van het onderzoek van de Keuringsdienst van Waren worden samengevat in Tabel 2.2. De onderzoekers concludeerden dat de voorziening van verse lucht in een deel van de woningen nogal tekortschiet.

Tabel 2.2 Ventilatievoud (per uur), gemeten in de woonkamer, keuken en slaapkamer van 49 woningen.⁽⁵⁾

Locatie	Gemiddeld	Mediaan	Bereik
Woonkamer	0,9	0,7	0,1 - 3,0
Keuken	1,9	1,0	0,2 - 11,0
Slaapkamer	0,9	0,6	0,2 - 3,8

In vooroorlogse woningen in Rotterdam en naoorlogse woningen in Ede is het ventilatievoud bepaald van keukens en, als er een open keuken was, van de woonkamers.⁽⁶⁾ Ook dit onderzoek maakte gebruik van metingen met een tracergas. De resultaten van dit onderzoek worden in Tabel 2.3 samengevat.

Tabel 2.3 Ventilatievoud (per uur), gemeten in de keuken en woonkamer van 69 vooroorlogse en 72 naoorlogse woningen.⁽⁶⁾

Locatie	Vooroorlogse woningen		Naoorlogse woningen	
	gemiddeld	bereik	gemiddeld	bereik
Keuken	6	0,9 - 47	4	0,5 - 24
Woonkamer	1	0,3 - 3	2	0,5 - 7

In een onderzoek van het RIVM in samenwerking met de GG&GD Amsterdam en de GGD Rotterdam en omstreken werd het ventilatievoud van negentien Rotterdamse woningen bepaald. In het onderzoek waren zes flatwoningen en vijf eengezinswoningen uit de jaren zestig betrokken en vier flatwoningen en vier eengezinswoningen uit de jaren tachtig. Er werd in de woonkamer een ventilatievoud van gemiddeld 1,0 gevonden. In de slaapkamer was het gemiddelde ventilatievoud 1,8. Het ventilatievoud van de woonkamer was hoger in oudere woningen en/of indien er in de woning werd gerookt. Het ventilatievoud van de slaapkamer was hoger in een flatgebouw dan in een

eengezinswoning. Het was ook hoger in een oudere woning als er in huis gerookt werd en bij een groter aantal bewoners. Het ventilatievoud werd bepaald met de tracergasmethode van Dietz.(7)

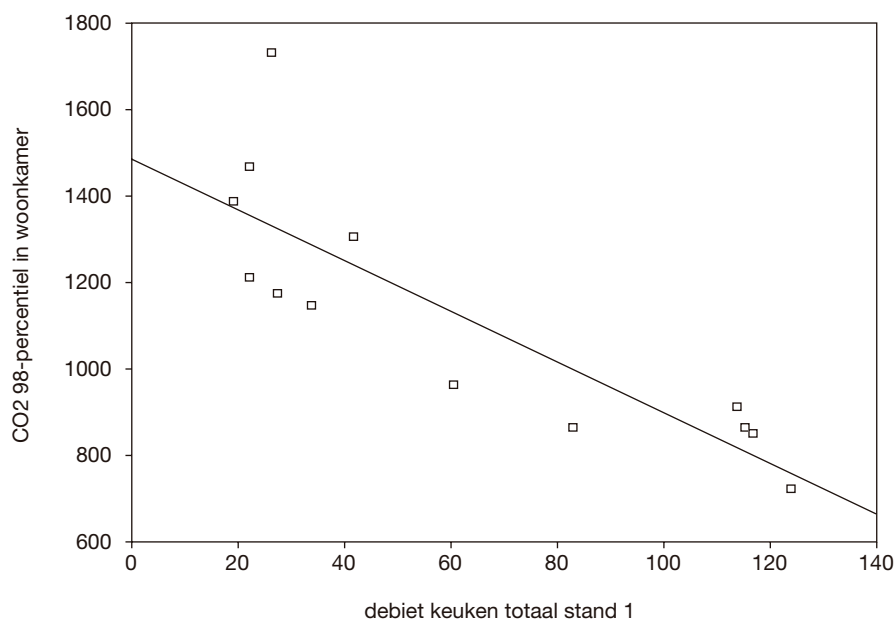
In een onderzoek van het RIVM in samenwerking met de GGD Zuid-Kenmerland werd eveneens met deze methode het ventilatievoud in 37 woningen bepaald. Van deze woningen lagen er negentien aan een drukke straat en achttien aan een rustige straat. Het ventilatievoud van woonkamers aan rustige wegen was iets hoger dan dat in woningen aan drukke wegen.(8)

In een geluiddichte woning kan het ventilatievoud gering zijn. Metingen in een dergelijke woning wezen uit dat het ventilatievoud zonder gebruik van ramen niet boven 0,2 per uur uit kwam. Gedurende vele uren lag het zelfs beneden 0,05 per uur.(9)

De GGD Groningen heeft in de periode 2000-2002 onderzoek gedaan naar klachten in woningen van na 1998. De onderzochte woningen zijn zodanig gekozen dat de helft balansventilatie had en de andere helft natuurlijke luchttoevoer en mechanische afzuiging. Het onderzoek bestond uit metingen in 28 woningen in de winter in en bij Groningen.(10)

Uit het onderzoek blijkt dat de ventilatie in veel woningen onvoldoende is. Dit geldt zowel voor het debiet van de mechanische afzuiging als voor de gemeten effectieve ventilatie. Van de 25 woningen met voldoende gegevens over de afzuigcapaciteit, voldeden er slechts 4 (alle seniorappartementen met balansventilatie) aan de debieteisen voor zowel keuken, badkamer als wc. Balansventilatie ging in seniorwoningen gepaard met een hoger ventilatievoud in woonkamers en een lager CO₂-gehalte (betere effectieve ventilatie) in woon- en slaapkamers. In eensgezinswoningen leek echter het omgekeerde het geval. Er is een duidelijke negatieve correlatie tussen het debiet van de afzuiging in de keuken en het CO₂-gehalte in de woonkamer: een hoger debiet geeft een lager CO₂-gehalte dus een betere effectieve ventilatie, los van bewonersgedrag.

Zie ter verduidelijking onderstaande figuur waarin de correlatie tussen het debiet in de keuken (stand 1) en het CO₂-gehalte (98-percentiel) grafisch weergegeven is.



Figuur 2.2 Correlatie debiet keuken (stand 1) en CO₂-gehalte (p98).(10)

2.6 Effecten op de gezondheid

Wanneer er onvoldoende geventileerd wordt, kunnen zich in de binnenlucht hinderlijke en schadelijke stoffen die in de woning gevormd worden, ophopen. Voor de gezondheidseffecten van deze stoffen wordt verwezen naar de desbetreffende hoofdstukken:

- verbrandingsproducten hoofdstuk 8
- vluchtige organische stoffen (waaronder formaldehyde en overige aldehyden) hoofdstuk 6
- vocht hoofdstuk 3
- radon hoofdstuk 13

Onvoldoende verse luchttoevoer an sich leidt niet tot gezondheidseffecten, toch kan algemeen gesteld worden: minder verse luchttoevoer = verhoogde kans op gezondheidsklachten. Zo toonde bijvoorbeeld een Zweeds veldonderzoek een duidelijk verband tussen astma bij kinderen en ventilatievoud. Conclusie: in slecht geventileerde woningen worden jonge kinderen eerder gesensibiliseerd en krijgen eerder astma en chronische bronchitis dan in goed geventileerde woningen.(12)

Uit ander onderzoek is verder bekend dat onvoldoende verse luchttoevoer (in de regel minder dan 10 liter/seconde of minder dan 36 m³/uur per persoon) kan leiden tot:

- 'Sick Building-klachten' als slijmvliesirritaties, 'droge lucht', verstopte neus of loopneus, keelirritaties en niet-specifieke klachten als hoofdpijn en vermoeidheid (11);
- Verhoogde kans op overdracht van infectieziekten als bijvoorbeeld influenza (13);
- Verhoogde kans op longkanker. (14)

Los daarvan is natuurlijk al jaren bekend dat bij onvoldoende verse luchttoevoer de kans op geurhinder (met name bij binnenkomst) groot is, waarbij de lucht als benauwd en bedompt ervaren zal worden. (15)

In Tabel 2.4 is een kwalitatieve relatie weergegeven tussen de hoeveelheid verse luchttoevoer en de kans op gezondheidsklachten. Uitgangspunt bij het opstellen van deze tabel was: er wordt niet gerookt in de woning, enige normale verontreinigingsbronnen binnen zijn aanwezig maar niet excessief. Dus er is geen notoir vochtprobleem, rookgassen van verbrandingstoestellen worden conform de eisen afgevoerd, er is niet recent sterk emitterende nieuwe vloerbedekking gelegd, etc.

In de context van ventilatie en verse luchttoevoer is de CO₂-concentratie van belang, waarbij CO₂ dan dient als indicator voor het aantal bio-effluenten in de lucht (door het menselijk lichaam afgegeven afvalstoffen). Blootstelling aan bio-effluenten kan leiden tot geurhinder (bedompt, muf) en irritatie van ogen, keel en neus bij een CO₂-concentratie van 1.000 tot 1.500 ppm.(16)

2.7 Richtlijn GGD

Er zijn geen GGD-richtlijnen over maximaal toegestane ventilatiehoeveelheden en CO₂-concentraties in woningen. Er is wel een LCM-richtlijn getiteld Voorlichting Gezond Wonen waarin ook het verbeteren van ventilatie aan de orde komt.(17) Ten aanzien van nieuwe woningbouw en vooral het binnenmilieu van nieuwe woningen is in 2005 de richtlijn Gezonde Woningbouw door het LCM opgesteld.(18) Aangezien gezondheid steeds meer aandacht krijgt bij ruimtelijke ordening en bouwen, worden GGD'en steeds vaker om advies gevraagd bij ruimtelijke plannen en bouwplannen.

Tabel 2.4 Relatie ventilatievoud en verse luchttoevoer met risico op gezondheidseffecten (uitgangspunt is een woning van 100 m² waarin 4 personen wonen).(16, 14, 11)

Categorie	Verse luchttoevoer in woon- en slaapkamer (l/s/m ²)	Verse luchttoevoer per persoon (l/s pp)	Ventilatievoud	Gezondheidseffecten
O	2,0	ca. 14	ca. 1,6	<ul style="list-style-type: none"> • 10% kans op geurhinder bij binnenkomst • nihil risico op 'SBS-klachten' en slijmvliesirritaties • zeer beperkt risico op overdracht infectieziekten via lucht • geen hyperreactiviteit luchtwegen (kortademigheid e.d.) • geen sensibilisatie tegen allergenen • geen verhoogd risico op longkanker
I	1,4	ca. 10	ca. 1,3	<ul style="list-style-type: none"> • 15% kans op geurhinder bij binnenkomst • zeer beperkt risico op 'SBS-klachten' en slijmvliesirritaties • beperkt risico op overdracht infectieziekten via lucht • enige hyperreactiviteit luchtwegen, meestal zonder dat dit subjectieve klachten geeft • enige sensibilisatie tegen allergenen kan optreden • gering risico op longkanker
II	1,0	ca. 7	ca. 0,8	<ul style="list-style-type: none"> • 20% kans op geurhinder bij binnenkomst • beperkt risico op 'SBS-klachten' en slijmvliesirritaties • risico op overdracht infectieziekten via lucht • enige hyperreactiviteit luchtwegen, met subjectieve klachten • sensibilisatie tegen allergenen kan optreden • gering risico op longkanker
III	0,6	ca. 4	ca. 0,5	<ul style="list-style-type: none"> • 30% kans op geurhinder bij binnenkomst • risico op 'SBS-klachten' en slijmvliesirritaties • verhoogd risico op overdracht infectieziekten via lucht • hyperreactiviteit luchtwegen, met subjectieve klachten • verhoogde kans op sensibilisatie tegen allergenen • verhoogd risico op longkanker
IV	0,4	ca. 2,5	ca. 0,35	<ul style="list-style-type: none"> • 50% kans op geurhinder bij binnenkomst • verhoogd risico op 'SBS-klachten' en slijmvliesirritaties • hoog risico op overdracht infectieziekten via lucht • extra hyperreactiviteit luchtwegen, met subjectieve klachten • hoge kans op sensibilisatie tegen allergenen • verhoogd risico op longkanker

NB: Categorie-indeling afgestemd op de indeling in EN PR 15251; Voor omrekeningsdoeleinden geldt: 1 l/s = 3,6 m³/h; In de 2^e kolom is bedoeld: luchttoevoer direct van buiten of via een mechanisch ventilatiesysteem (inblaasroosters), afvoer vindt plaats in keuken, badkamer, toilet, al dan niet mechanisch ondersteund (afzuiging); de voor categorie II weergegeven waarden betreffen ongeveer het niveau Bouwbesluit nieuwbouw.

2.8 Normen

Er bestaan (nog) geen NEN-normen die specifiek beschrijven hoeveel er in een woning (bestaand of nieuw) geventileerd dient te worden. Wel zijn er minimum ventilatie capaciteiten beschreven in het Bouwbesluit (zie paragraaf 2.9). Ook bestaat er een (nog niet geratificeerde) CEN-norm (PrEN 15251) die ventilatie-eisen voor woningen geeft in drie kwaliteitsniveaus. Zie hiervoor Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Woningventilatie eisen PrEN 15251 'Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics'.

Categorie	Woon- en slaapkamers (verse luchttoevoer)		Keuken (afvoer)	Badkamer (afvoer)	Toilet (afvoer)
	l/s/p.p.	l/s/m ²	l/s	l/s	l/s
I	10	1,4	28	20	14
II	7	1,0	20	15	10
III	4	0,6	14	10	7

Indirect wordt de CO₂-concentratie ook wel gebruikt ter objectivering van ventilatie en verse luchttoevoer. Er bestaat geen specifieke norm voor de maximale CO₂-concentratie in woningen. Wel wordt in NEN 1089 een grenswaarde van 1200 ppm voor schoolgebouwen genoemd. Daarnaast zijn er informele richtlijnen in omloop waarin CO₂-grenswaarden voor woningen worden genoemd. Zie bijvoorbeeld Tabel 2.6 voor de in cahier T1 'Luchtkwaliteit woningbouw' van het Praktijkboek Gezonde Gebouwen van ISSO/SBR gepresenteerde toetswaarden.(19)

Tabel 2.6 Gezondheidskundige richtwaarden cahier T1 'Luchtkwaliteit woningbouw' Praktijkboek Gezonde Gebouwen.

Klasse	Omschrijving	CO ₂ -concentratie	Verse luchttoevoer p.p.
A	zeer goed	< 500 ppm	19 l/s = 70 m ³ /h
B	goed	500 - 750 pmm	14 l/s = 50m ³ /h
C	minder goed	750 - 1000 ppm	8 l/s = 30m ³ /h

NB: de absolute CO₂-concentraties zijn weergegeven. Soms ook werkt men met relatieve waarden (verschil binnen – buiten).

Verder: de klasse A, B, C-indeling in deze tabel komt niet 100% overeen met de klasse I, II, III- indeling genoemd in de voorgaande tabel.

Er bestaan tot slot een aantal ventilatiegerelateerde normen die betrekking hebben op de wijze waarop ventilatiecapaciteiten en bijvoorbeeld infiltratiehoeveelheden bepaald worden. Het betreft hier onder andere:

- NEN 1087 Ventilatie van gebouwen. Bepalingsmethoden voor nieuwbouw;
- NEN 8087 Ventilatie van gebouwen. Bepalingsmethoden voor bestaande bouw;
- NEN 2686 Luchtdoorlatendheid van gebouwen. Meetmethode;
- NEN 2690 Luchtdoorlatendheid van gebouwen. Meetmethode voor specifieke luchtvolume-stromen tussen kruipruimte en woningen;
- NEN 2757 Toevoer van verbrandingslucht en afvoer van rook van verbrandingstoestellen. Eisen en bepalingmethoden;
- NPR 1088 Ventilatie van woningen en woongebouwen. Aanwijzingen voor en voorbeelden van de uitvoering van ventilatievoorzieningen.

2.9 Juridische aspecten

In het Bouwbesluit is te vinden welke ventilatiecapaciteit vereist is in zowel nieuw te bouwen als bestaande woningen. Ook zijn er in het Bouwbesluit eisen gesteld aan de uitvoering van ventilatievoorzieningen. Het Bouwbesluit kent het begrip ventilatie als zodanig niet. Ventilatie wordt behandeld onder de noemer 'luchtverversing'. Voor bestaande woningen wordt in het Bouwbesluit alleen gesproken over eisen op verblijfsruimteniveau. Voor nieuwbouwwoningen gelden aparte eisen voor verblijfsgebieden en verblijfsruimten. (Zie voor definities van verblijfsruimte en verblijfsgebieden hoofdstuk 1 'Aanpak binnenmilieuklachten', paragraaf 1.3.2).

De capaciteit van ventilatievoorzieningen in bestaande woningen moet voldoen aan de in Tabel 2.7 vermelde eisen.

Tabel 2.7 Minimaal vereiste capaciteiten Bouwbesluit voor BESTAANDE woningen.(20)

	Capaciteit	Toe- en afvoer hoedanigheid
Verblijfsruimte (woonkamer, slaapkamer, hobbykamer e.d.)	<ul style="list-style-type: none"> 0,7 l/s (2,5 m³/uur) per m² vloeroppervlakte minimaal 7 l/s (25 m³/uur) per ruimte 	
Verblijfsruimte met opstelplaats kooktoestel (keuken)	<ul style="list-style-type: none"> 0,7 l/s (2,5 m³/uur) per m² vloeroppervlakte minimaal 21 l/s (75 m³/uur) totaal 	<ul style="list-style-type: none"> afvoer van minimaal 21 dm³/s direct naar buiten
Badruimte, al dan niet met toilet	<ul style="list-style-type: none"> minimaal 14 l/s (50 m³/uur) 	<ul style="list-style-type: none"> afvoer rechtstreeks naar buiten
Toiletruimte	<ul style="list-style-type: none"> minimaal 7 l/s (25 m³/uur) 	<ul style="list-style-type: none"> afvoer rechtstreeks naar buiten

De eisen voor nieuwbouwwoningen staan vermeld in Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Minimaal vereiste capaciteiten Bouwbesluit voor NIEUW te bouwen woningen.(20)

	Capaciteit	Toe- en afvoer hoedanigheid
Verblijfsgebied	<ul style="list-style-type: none"> 0,9 l/s (3 m³/uur) per m² vloeroppervlakte minimaal 7 l/s (25 m³/uur) 	<ul style="list-style-type: none"> toevoer tenminste de helft direct van buiten: de andere helft via ander verblijfsgebied en/of verkeersruimte afvoer naar een ander verblijfsgebied en/of verkeersruimte (met uitzondering van keuken) of naar buiten
Verblijfsruimte (woonkamer, slaapkamer, hobby- kamer e.d.)	<ul style="list-style-type: none"> 0,7 l/s (2,5 m³/uur) per m² vloeroppervlakte minimaal 7 l/s (25 m³/uur) 	
Verblijfsruimte met opstelplaats kooktoestel (keuken)	<ul style="list-style-type: none"> 0,7 l/s (2,5 m³/uur) per m² vloeroppervlakte minimaal 21 l/s (75 m³/uur) 	<ul style="list-style-type: none"> afvoer van minimaal 21 dm³/s direct naar buiten
Badruimte, al dan niet met toilet	<ul style="list-style-type: none"> minimaal 14 l/s (50 m³/uur) 	<ul style="list-style-type: none"> afvoer rechtstreeks naar buiten
Toiletruimte	<ul style="list-style-type: none"> minimaal 7 l/s (25 m³/uur) 	<ul style="list-style-type: none"> afvoer rechtstreeks naar buiten

Het is een aanvaarde praktijk om bij bestaande woningen de ventilatievoorzieningen en capaciteiten te eisen die van kracht waren ten tijde van het opleveren van de woningen (of meer precies: de eisen golden bij het verkrijgen van de bouwvergunning voor de woning).

Voor nieuw te bouwen woningen moet de inrichting van de ventilatievoorzieningen in strikte zin voldoen aan de eisen uit het Bouwbesluit. Zo zal men middels berekeningen aan moeten kunnen tonen dat bijvoorbeeld de toegepaste gevelroosters zo gedimensioneerd zijn dat de vereiste capaciteiten gehaald worden. Voor bestaande woningen worden geen strikte eisen gesteld aan de inrichting van de ventilatievoorzieningen, als de vereiste volumestromen (op papier) maar gehaald kunnen worden. Kan bijvoorbeeld een draairaam eigenlijk zelden open vanwege kou, tocht of inbraak, dan voldoet dit (in bestaande woningen) toch als een ventilatievoorziening. Als het raam opengezet wordt, worden de vereiste volumestromen immers ruimschoots gehaald. Ook naden en kieren kunnen bij bestaande woningen ook als ventilatievoorziening worden aangemerkt.

Er dienen naast de vaste ventilatievoorzieningen ook grotere beweegbare delen in de gevel aanwezig te zijn voor het doorspuien van de woning. Dit doorspuien is nodig voor het afvoeren van kookgeuren, overtollige warmte en bijvoorbeeld bij hobbyactiviteiten ontstane emissies. De prestatie-eisen uit het Bouwbesluit (artikel 3.62) voor spuivoorzieningen in nieuwbouw luiden:

- 6,0 l/s per m² vloeroppervlakte van het verblijfsgebied;
- 3,0 l/s per m² vloeroppervlakte van de verblijfsruimte.

Op basis van deze eisen kunnen de maten van de te openen delen bepaald worden.

De luchttoevoer in nieuwbouw moet zich in beginsel ten minste 1,8 meter boven de vloer bevinden, om tocht te voorkomen. De luchtsnelheid in de leefzone bij nieuwbouw mag niet meer zijn dan 0,2 m/s. Er worden daarnaast ook nog inrichtingseisen gesteld aan het ventilatiesysteem (artikel 3.50) die direct van invloed zijn op de regelbaarheid en de plaatsing (ligging ten opzichte van ventilatie- en rookgasafvoeren) van ventilatievoorzieningen. Dit geldt alleen voor nieuwbouwwoningen. Zo dienen de natuurlijke toevoeren voor ventilatie afsluitbaar en regelbaar te zijn.

Verder moeten natuurlijke toevoeren (gevelroosters, klappaampjes en dergelijke) twee regelstanden hebben tussen de 0 en 25% van de totale capaciteit (dus bijvoorbeeld 0, 10, 20 en 100%). De regelstanden moeten onderling ten minste 10% verschillen. In de praktijk wordt vaak voor traploze regelbaarheid gekozen.

Om kortsluiting tussen de toevoer en de afvoer te voorkomen, dienen de toevoer en de afvoer op voldoende afstand van elkaar geplaatst te zijn.

De letterlijke teksten van het Bouwbesluit zijn te vinden op www.bouwbesluitonline.nl. Ook op www.gezondegebouwen.nl zijn wetteksten te vinden.

2.10 Verantwoordelijke partijen

Om bij nieuwbouw en renovatie in één keer een goed ventilatiesysteem te maken, moeten de ontwikkelaar, de architect en de installateur er om te beginnen voor zorgen dat een systeem voldoet aan de eisen uit het Bouwbesluit. Vanuit gezondheid gezien is dit echter een magere niveau, dus het advies is om de installatie nog wat beter te maken. Dit is ook belangrijk voor een blijvend goede werking in de loop van de jaren. Het ventilatiesysteem moet goed functioneren doordat de toe- en afvoeropeningen goed ontworpen, geïnstalleerd en afgesteld zijn. Bovendien moet het systeem gebruiksvriendelijk zijn. Dit is de verantwoordelijkheid van ontwerper en installateur.

De plannen en tekeningen moeten worden getoetst door Bouw- & Woningtoezicht. Zij zijn verantwoordelijk voor het afgeven van de bouwvergunning. De kwaliteit van de opgeleverde woningen wordt echter nauwelijks gecontroleerd.

Na de oplevering van het gebouw moet de gebruiker dit ventilatiesysteem gebruiken en reinigen zoals in de gebruiksaanwijzing staat. Juist gebruik is de verantwoordelijkheid van de bewoner. Adequaat onderhoud (zoals vervanging van de ventilator na 15 jaar) is bij huurwoningen de verantwoordelijkheid van de verhuurder (bijvoorbeeld woningbouwcorporatie). Van huurders kan wel verwacht worden dat zij bijvoorbeeld de roosters goed schoon houden.

Als er daadwerkelijk sprake is van een gezondheid- of comfort-risico kunnen diverse verantwoordelijke partijen door de gemeente worden aangeschreven om het probleem in de (huur)woning te verhelpen. De GGD kan hierin een adviserende rol spelen.

2.11 Referenties

1. Nederlands Normalisatie Instituut. Ventilatie van gebouwen – Bepalingsmethoden voor nieuwbouw. NEN 1087. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2001.
2. Hasselaar E. Hoe gezond is de Nederlandse woning? Onderzoeksinstituut OTB, serie Duurzaam Bouwen en Beheren. Delft, 2001.
3. ISSO Thematech. Gebalanceerde ventilatie in woningen zonder zorgen. ISSO. Rotterdam, 2006.
4. GGD. GGD-Richtlijn Meting kooldioxide in scholen en kinderdagverblijven. GGD Nederland. Utrecht, 2002.
5. Keuringsdienst van Waren. Resultaten en conclusies van het onderzoek naar formaldehyde in woningen en bejaardenhuizen, waarin geen spaanplaat als bouw materiaal verwerkt is. Keuringsdienst van Waren. Haarlem, 1982.
6. Lebret E, Boleij J, Brunekreef B. Home ventilation under normal living conditions. In: Indoor Air '90, Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate. ed. D.S. Walkinshaw, Canada Mortgage and Housing Corporation. Ottawa. Indoor Air 1990; 4: 413-418.
7. Bloemen HJTh, Balvers TTM, Verhoeff AP, Wijnen JH van, Torn P van der, Knol E. Ventilatievoud en uitwisseling van lucht in woningen; Ontwikkeling meetmethode en pilotstudie. GG&GD Amsterdam. Amsterdam, 1992.
8. Bloemen HJTh, Balvers TTM, Scheindelen HJ van, Lebret E, Oosterlee A, Drijver M. Het benzeen-onderzoek Zuid-Kennermerland. Een oriënterende studie naar blootstelling aan benzeen in en rondom woningen langs drukke verkeerswegen. GGD Zuid-Kennermerland. Haarlem, 1993.
9. Phaff JC, Gids WF de. Ventilatie-onderzoek geluidsdichte woningen Amsterdam, 1984. Rapportnr. R85/362. MT-TNO. Delft, 1985.
10. Meijer G, Duijm F. Zuinig warm en schoon; (balans)ventilatie en binnenmilieu, metingen in 28 woningen. GGD Groningen. Groningen, 2002.
11. Mendell MJ. Non-specific symptoms in office workers: a review and summary of the epidemiological literature. Indoor Air 1993; 3:227-236.
12. Naydenov K, Hägerhed Engman L, Sundell J, Bornehag CG, Melikov A, Popov T. DBH and ALLHOME Research Groups. Housing characteristics in Sweden and Bulgaria: Two Questionnaire Studies. Proceedings Indoor Air 2005. Beijing, China, 2005.
13. Milton D. Keynote speaker: Pandemic Influenza: Modes of Transmission and Implications for Indoor Environments. Proceedings Healthy Buildings 2006, Lissabon, Portugal, 2006.
14. Kort HSM, Koren LGH, Bruijnzeel-Koomen CAFM, Nillesen IPM, Bronswijk JEMH van. Van Binnenmilieu-klachten tot GezondheidsClassificatie van nieuwe en gerenoveerde Woningen (GCW). 1: Van ziekten en klachten, naar bouwkundige kenmerken. Centrum Bouwonderzoek TNO-TUE. Eindhoven, 1997.
15. ISSO. ISSO-researchrapport 1. Onderzoek naar minimum verse luchttoevoer. ISSO. Rotterdam, 1981.
16. Dongen JEF van, Steenbekker JHM. Gezondheidsproblemen en het binnenmilieu in woningen. Nederlands Instituut voor Preventieve Gezondheidszorg TNO. Leiden, 1993.
17. Jochems D. GGD-Richtlijn Voorlichting Gezond Wonen. Landelijk Centrum Medische Milieukunde / GGD Nederland. Utrecht, 2005.
18. Weterings M. GGD-Richtlijn Gezonde Woningbouw. Landelijk Centrum Medische Milieukunde / GGD Nederland. Utrecht, 2005.

19. Slob R, Habets T. Cahier 1: Luchtkwaliteit woningbouw. Praktijkboek Gezonde Gebouwen. SBR/ISSO. Rotterdam. 2002.
20. Website Bouwbesluit, ministerie van VROM. www.bouwbesluitonline.nl.
21. Nederlands Normalisatie Instituut. Ventilatie van gebouwen – Bepalingsmethoden voor bestaande bouw. NEN 8087. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2001.
22. Nederlands Normalisatie Instituut. Luchtdoorlatendheid van gebouwen – Meetmethode. NEN 2686. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 1997.
23. Nederlands Normalisatie Instituut. Luchtdoorlatendheid van gebouwen – Meetmethode voor specifieke lucht volumestroom tussen kruipruimte en woningen. NEN 2690. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 1997.
24. Nederlands Normalisatie Instituut. Toevoer van verbrandingslucht en afvoer van rook van verbrandingstoestellen – Bepalingsmethoden. NEN 2757. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2001. Nederlands Normalisatie Instituut. Ventilatie van woningen en woongebouwen – Aanwijzingen voor, en voorbeelden van de uitvoering van ventilatievoorzieningen. NPR 1088. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 1999.

3 Vochtigheid

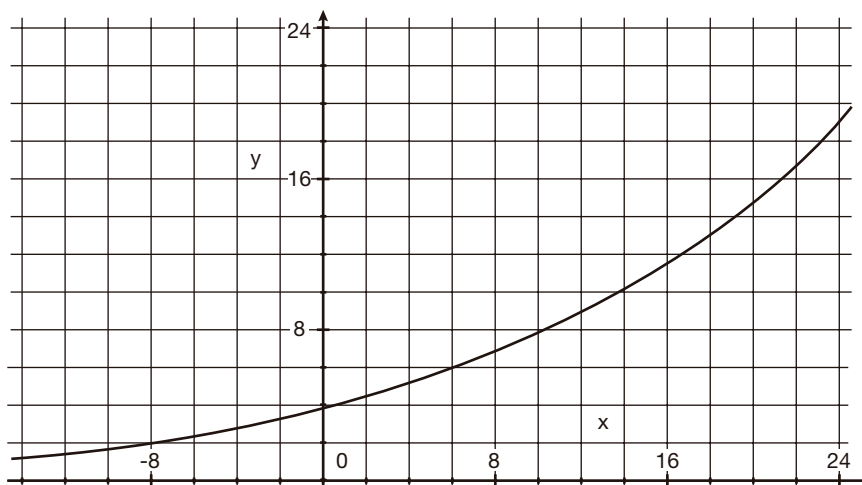
3.1 Inleiding

In Nederland hebben veel woningen te kampen met vochtproblemen. Dat heeft deels te maken met het feit dat het grondwater vaak vrij dicht onder het maaiveld staat in bepaalde delen van het land. Verder wordt het klimaat in Nederland sterk beïnvloed door de nabijheid van de zee, waardoor het bijna het gehele jaar vrij vochtig kan blijven. In veel landen waar die invloed minder duidelijk is, is bijvoorbeeld de winter zeer droog (Midden-Europa, Scandinavië). Problemen die te maken hebben met vocht in huis zijn onder andere zichtbare vochtplekken, schimmelgroei en een muffe lucht in de woning. Naast vermindering van het woongenot, kan vocht indirect gezondheidsklachten veroorzaken bij personen die overgevoelig zijn voor huisstofmijt of schimmels.

De vochtigheid van de lucht in een woning kan gekarakteriseerd worden met verschillende maten, die verschillend afhankelijk zijn van temperatuur of luchtdruk.

- Relatieve luchtvochtigheid:
de meest gebruikte, want gemakkelijk te meten maat voor de hoeveelheid waterdamp in de lucht, uitgedrukt als percentage van de maximale hoeveelheid waterdamp die de lucht bij de gegeven temperatuur kan bevatten. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer vocht de lucht kan bevatten. Deze maat is dus afhankelijk van de temperatuur. Dat betekent ook dat de relatieve vochtigheid zonder kennis van de temperatuur eigenlijk vrij weinig betekenis heeft.
- Absolute luchtvochtigheid:
de massa water in de lucht (gram water per m³ lucht). Deze maat heeft als nadeel dat hij lastig te bepalen is, en ook nog steeds afhankelijk van de luchtdruk, omdat luchtvochtigheid per m³ lucht uitgedrukt wordt.
- Mixing ratio:
de massa water per kg droge lucht (gram water/kg lucht). Deze maat is niet afhankelijk van de temperatuur en is daardoor eigenlijk beter bruikbaar dan de relatieve vochtigheid. De mixing ratio hangt als volgt samen met relatieve vochtigheid en de saturation mixing ratio (de maximale mixing ratio bij een bepaalde temperatuur):

$$\text{Mixing ratio/Saturation mixing ratio} * 100 = \text{Relatieve Vochtigheid (\%)}$$



Figuur 3.1 Saturation mixing ratio vs temperatuur.
y= mixing ratio (g/kg); x= temperatuur (°C)

De grafiek geeft het verband weer tussen de 'saturation mixing ratio' en de temperatuur. Hiermee is uit een relatieve vochtigheid en de temperatuur de mixing ratio te berekenen.

Voorbeeld: Bij een temperatuur van 14 graden °C hoort een saturation mixing ratio van 10 g/kg (Figuur 3.1. Als de relatieve vochtigheid 50% is, is de mixing ratio gelijk aan $0.5 \cdot 10 = 5$ gram/kg. Als lucht met deze hoeveelheid vocht kouder wordt, gaat de relatieve vochtigheid omhoog, terwijl de mixing ratio hetzelfde blijft. Bij 4 °C is de Saturation mixing ratio iets meer dan 5 g/kg en zal de relatieve vochtigheid in de buurt van de 100% komen.

Het bovenstaande is eventueel ook op de volgende website te berekenen met behulp van de Clausius-Clapeyronvergelijking: <http://home.fuse.net/clymer/water/rh.html>.

3.2 Bronnen van vocht

Verschillende factoren kunnen een rol spelen bij het ontstaan van vochtproblemen. In hoofdlijn kunnen twee groepen worden onderscheiden: bouwtechnische aspecten en bewonersgedrag. Hier zal kort op beide aspecten worden ingegaan, waarbij ook het relatieve belang van beide aspecten zal worden besproken.

3.2.1 Bouwtechnische aspecten

Bouwvocht

Tijdens de traditionele bouw van een woning wordt vrij veel water gebruikt in bindmiddelen, beton, cement, stucwerk, en dergelijke.. Na het gereedkomen van de woning is dus in de constructie veel water aanwezig. Bij een gemiddelde eengezinswoning kan het gaan om circa 4.000 liter water. Al dit vocht moet door natuurlijke droging verdwijnen. Dit proces kan tot een paar jaar in beslag nemen.

Optrekkend vocht

Grondwater kan door capillaire krachten (het vermogen van poreuze materialen om vloeistoffen op te zuigen en vast te houden) in de muren naar boven worden gezogen. Het gaat dan om dragende muren waarvan de fundering in het grondwater staat. Het opgezogen water kan, nadat het vocht (tot maximaal ongeveer een meter) door het metselwerk is opgetrokken alleen door verdamping de muren weer verlaten. Dit effect treedt niet op als een goede trasraamconstructie of waterkerende laag (bijvoorbeeld een loodslab) is aangebracht. Een trasraam is een laag waterdicht metselwerk in muren tegen het optrekken van grondwater. Het trasraam bevindt zich ter hoogte van het maaiveld en is enkele lagen steen hoog. De laag is over het algemeen anders van kleur dan de rest van de muur.

Vochtige kruipruimte

Een vochtige kruipruimte kan een belangrijke bron van waterdamp zijn voor de bovenliggende woning. Door openingen in de vloer kan vochtige lucht vanuit de kruipruimte naar de woonvertrekken opstijgen. Houten vloeren vertonen naden en kieren en zijn dus niet dampdicht, maar ook steenachtige vloeren zijn niet dampdicht. Daarnaast lopen vanuit de kruipruimte gas-, water- en elektriciteitsleidingen naar de woning. De daarvoor benodigde openingen in de vloer zijn meestal niet afgedicht. De mate waarmee waterdamp door die openingen in de woning komt, hangt ondermeer af van luchtdrukverschillen tussen de kruipruimte en de woning, de temperatuur, de (water)dampdruk en de ventilatie van de kruipruimte. Bij een betonnen vloer is de lucht in woonkamers voor circa 10% afkomstig uit de kruipruimte. Dit kan echter oplopen tot meer dan 50%. Bij een houten vloer is de lucht in woonkamers voor gemiddeld circa 20% afkomstig uit de kruipruimte. Dit kan oplopen tot meer dan 65%. Als het ventilatievoud van de kruipruimte verhoogd wordt om het vocht af te voeren, moet men gelijktijdig de vloer dampdicht maken. Gebeurt dat

niet, dan kan de hoeveelheid lucht die vanuit de kruipruimte de woning binnenkomt, juist groter worden, zodat er ook meer vocht de woning kan binnenkomen. In de meeste gevallen is het effectiever om de begane-grondvloer goed dicht te maken dan om de vochtigheid in de kruipruimte omlaag te krijgen.

De voornaamste oorzaken voor een vochtige kruipruimte zijn:

- hoge grondwaterstanden;
- capillaire werking van de bodemstructuur waardoor het opgezogen water de oppervlakte van de kruipruimte kan bereiken. Een dergelijk proces vindt met name plaats in bodems van veen en fijn zand. Hierbij kan de grond er droog uitzien, maar kan de luchtvochtigheid toch 90-100% bedragen;
- regenwater dat via de bestrating of via een ondergronds gelegen afsluitende bodemlaag (bijvoorbeeld klei) in de kruipruimte terechtkomt;
- een lekke waterleiding, vooral na een vorstperiode;
- een gebroken riolering.

Oppervlaktecondensatie

Oppervlaktecondensatie is een veel voorkomende oorzaak van vochtproblemen. Lucht kan een bepaalde hoeveelheid waterdamp bevatten. Wanneer de temperatuur hoger is, kan de lucht meer waterdamp bevatten. Wanneer lucht afkoelt, zal bij een bepaalde temperatuur condensatie optreden. De temperatuur waarbij condensatie begint op te treden wordt het dauwpunt genoemd. De relatieve luchtvochtigheid is dan 100%.

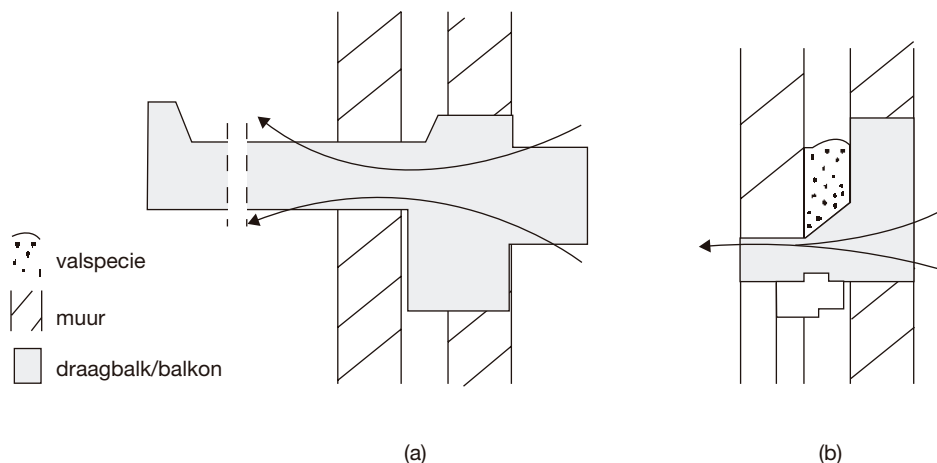
Het komt regelmatig voor dat de temperatuur achter meubels die tegen een buitenmuur zijn geplaatst, lager is dan de dauwpunttemperatuur. Op de buitenmuur vindt dan condensatie plaats (oppervlaktecondensatie). Ook op het koude oppervlak van enkelglas treedt vaak condensatie op. Bij vervanging van enkelglas door dubbelglas is dit probleem vaak opgelost. Het is echter mogelijk dat hierdoor condensatie op de buitenmuren in plaats van op de ramen gaat optreden.

Hoeken waar buitenmuren en vloeren of balkons op elkaar aansluiten zijn vaak koudebruggen. Het gaat daarbij dus vooral om bouwkundige elementen die contact met binnen en buiten hebben, zoals in Figuur 3.2 te zien. Figuur 3.2a laat een balkonelement zien, in de hier getoonde tekening loopt het element helemaal door, waardoor het een koudebrug creëert, waarop condensatie op kan treden. Bij spouwmuren kunnen koudebruggen ook ontstaan doordat bij het metselen specie in de spouw is gevallen (Figuur 3.2b bovenaan). Verder kunnen ook andere bouwkundige elementen, zoals draagbalken (Figuur 3.2b onderaan) die zowel in contact met de binnen- als de buitenlucht staan, een koudebrug veroorzaken. Bij koudebruggen kan de kou naar binnen doorslaan. De binnenlucht dicht bij een koudebrug koelt daardoor af, waardoor de relatieve luchtvochtigheid stijgt en er condensatie kan plaatsvinden. Condensatie kan ook plaatsvinden op grote oppervlakken in onverwarmde ruimtes, zoals slaapkamers.

Herhaalde oppervlaktecondensatie leidt uiteraard tot een hoog vochtgehalte van de ondergrond en dat is weer een belangrijke voorwaarde voor schimmelgroei. Ook condensatie van vocht op een ongeïsoleerde vloer kan aanleiding geven tot verhoogde groei van huisstofmijten en schimmels.

Lekkages en regendoorslag

Lekkages kunnen het gevolg zijn van gebreken in bijvoorbeeld de dakconstructie. Ook door leidingbreuken, bijvoorbeeld na bevestiging of tijdens vorstperioden, kunnen lekkages ontstaan. Regendoorslag van de gevel bij massieve muren is niet ongebruikelijk. Deze doorslag wordt veroorzaakt door het krimpen van voegen en door het poreus worden van stenen (capillaire werking). Bij spouwmuren kan zich regendoorslag voordoen in situaties waarbij 'bruggen' zijn gevormd tussen de binnen- en buitenmuur. Deze bruggen kunnen ontstaan door stukken steen, specie, hout of andere materialen of door onjuist aangebracht of ongeschikt isolatiemateriaal in de spouw. In souterrains kunnen lekkages optreden doordat de waterdichte bak gebreken vertoont.



Figuur 3.2 Koudebruggen ten gevolge van doorgestort balkon (a) en door draagbalk en valspectie (b) (6).

Gebrekkige ventilatievoorzieningen

Vochtproblemen kunnen ontstaan door een te gering aantal of niet juist te gebruiken ventilatievoorzieningen. Het effect van ventileren op de relatieve luchtvochtigheid hangt af van het temperatuurverschil tussen de binnen- en de buitenlucht. Als een woning in de winter geventileerd wordt, wordt warme binnenlucht vervangen door koude buitenlucht. De buitenlucht bevat in de winter minder vocht dan in de zomer. Wanneer de koude (minder vochtige) buitenlucht wordt opgewarmd tot kamertemperatuur, daalt de relatieve vochtigheid van deze lucht.

Het is zeer belangrijk om goed te ventileren, omdat als er onvoldoende geventileerd wordt, er condensatie op kan treden (de lucht is dan verzadigd met waterdamp). Wanneer warme, vochtige binnenlucht afkoelt, bijvoorbeeld in de buurt van enkelglas ramen of koude buitenmuren, kan oppervlaktecondensatie optreden. Wanneer dit vaak gebeurt op dezelfde plaats kan hier (lokaal) schimmeligroei optreden (zie hoofdstuk 4 'Biologische agentia').

3.2.2 Bewonersgedrag

Naast bouwtechnische aspecten is uiteraard ook het gedrag van de bewoners van invloed op de vochtthuishouding binnenshuis. Het gaat hierbij vooral om de vochtproductie door en het ventilatie- en stookgedrag van de bewoners (zie ook hoofdstuk 2 'Ventilatie').

Vochtproductie

In de woning vinden allerlei vochtproducerende activiteiten plaats, zoals koken, afwassen, was drogen, baden, douchen en het gebruik van (gas)verbrandingsapparaten. Daarnaast wordt vocht geproduceerd door de aanwezigheid van mensen, planten en huisdieren. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de in de literatuur aangetroffen waarden voor de vochtproductie bij diverse activiteiten. Gemiddeld wordt er ongeveer 300 tot 700 gram waterdamp per uur in huis geproduceerd. Hierbij wordt de vochtproductie vooral bepaald door het aantal bewoners.(1) Vochtvreters en dergelijke hebben slechts zeer beperkt nut. Dat is simpelweg al te zien aan de capaciteit van dit soort producten. Alleen in kleine afgesloten ruimtes zoals kasten kan het helpen dit soort dingen te gebruiken.

Ventilatie- en stookgedrag

Ventilatie speelt een centrale rol bij de beheersing van de hoeveelheid vocht binnenshuis. Verkeerd ventileren, overdreven 'kierenjacht' (zonder aanpassing van de ventilatie), afsluiten van de woning tegen inbraak en gebrekkige ventilatievoorzieningen kunnen de vochtafvoer belemmeren (zie ook hoofdstuk 2 'Ventilatie'). Bewoners zelf krijgen vaak de schuld van vochtproblemen, terwijl de oorzaak van de problemen van bouwtechnische aard is.

Ook de wijze waarop de woning verwarmd wordt, kan een rol spelen bij het ontstaan van vochtproblemen. Wie spaarzaam stookt in alleen de woonkamer, loopt meer kans op vochtproblemen

Tabel 3.1 Vochtproductie. (2-4)

Activiteit	Vochtproductie
Persoon in rust	40-70 g/uur
Actief persoon	100-150 g/uur
Koken (3 maaltijden)	2000 g/dag (geen afzuigkap) 500 g/dag (wél afzuigkap)
Afwassen	750 g/dag
Douche	300 g/keer
Bad	1000 g/keer
Planten	5-20 g/uur/plant
Wassen (drogen binnenshuis)	1000 g/kg was (ongecentrifugeerd) 500 g/kg was (gecentrifugeerd)

dan iemand die het hele huis verwarmt. In goed verwarmde huizen zal er minder condensatie optreden.

Vochtproblemen ontstaan meestal als gevolg van een combinatie van bouwtechnische aspecten van de woning en bewonersgedrag. In de meeste gevallen vormen de bouwtechnische aspecten de hoofdoorzaak. In het algemeen geldt dat er voor vochtproblemen geen standaardoplossingen zijn. Elk vochtprobleem zal afzonderlijk onderzocht en beoordeeld moeten worden.

Tabel 3.2 Vochtproblemen per categorie met bijbehorende verschijnselen en oorzaken.

Categorie	Verschijnsel	Oorzaak
Optrekkend vocht uit de grond	Vocht- en schimmelplekken op gefundeerde buiten- en binnenwanden, aan de onderzijde van de wanden (begane grond). Langgerekte, vaag begrensde, continue vocht/schimmelplek.	Geen gebruikgemaakt van trasraamklinkers en/of waterdichte mortel, geen loodslabben ingemetseld.
	Vocht- en schimmelplekken op strook van buitenwand boven de begane-grondvloer of buitenwand grenzend aan galerij of balkon.	overmatige wateraanvoer door onvoldoende afvoer als gevolg van afwatering naar de gevel toe of lekkende dakgoot.
	Vocht- en schimmelplekken op een direct op zand gestorte begane-grondvloer. Willekeurige, vaag begrensde vrij continue vocht-/schimmelplek, verdwijnt bij het zakken van het grondwater.	Geen gebruik waterdichte folie onder de vloer, gebruik van poreus, niet voldoende verdicht beton.
Regendoorslag	Grote al dan niet lokale wolkachtige bruine vlekken op massieve buitenwanden. Vlekken worden groter afhankelijk van regenval. Treden op na regen. Met name zuidwest-, west- en noordwestgevel.	Poreus materiaal buitenwand, ontbreken van waterdichte laag in de muur.
	Lokale, wolkachtige bruine vlekken op massieve buitenwanden. Vlekken worden groter afhankelijk van regenval. Treden op na regen.	Scheuren in metselwerk, slecht (geworden) metsel- en voegwerk.
	Lokale vochtplekken op buitenwanden met spouw. Vlekken worden groter afhankelijk van regenval, treden op na regen.	Verkeerd geplaatste spouwankers (geven steun aan muur, soms is een patroon herkenbaar), vervuiling van de spouw, verkeerd aangebracht isolatiemateriaal.
	Vochtplekken bij aansluiting kozijn-wand. Treden vooral op bij veel regen en veel wind.	Aansluiting onvoldoende waterdicht, mogelijk gevolg van krimp (na droge periode).
	Vocht- en schimmelplekken op buitenwand boven plint begane-grondvloer of op draagbalk boven raam (NB laatste kan ook gevolg zijn van condensatie!). Treden op bij en na regen. Vlekken zijn beperkt van lengte en scherp begrensd.	Verstopte spouwafvoer: stootvoegen verstopt door valspecie of bouwvuil.

Categorie	Verschijsel	Oorzaak
Lekkage	Ronde, scherp begrensde vochtplekken op plafond onder het dak en de bovenzijde van aan het dak grenzende wanden. Treden op enige tijd na aanvang regen (bij naden tussen prefab-platen langgerekte vorm).	Daklekkage door: <ul style="list-style-type: none"> • scheuren in dakbedekking (plat dak) • ontstaan koudebrug door na-isolatie • ontbreken dakpannen na storm
	Langgerekte, scherp begrensde vochtplekken op wanden en nabij de dakrand. Treden op of verergeren enige tijd na aanvang van regen.	Lek in dakrandconstructie: <ul style="list-style-type: none"> • losse daktrim • losse loodslabben • losraken kitvoeg
	Vochtplekken op binnenwanden en plafonds, scherp begrensd.	Leidinglekkage (bijvoorbeeld na bevestiging of vorst), defecte hemelwaterafvoer
Bouwvocht	Veel en vaak condens op (dubbel) venster-glas. Snel vergelen van behang (ook op binnenwanden).	Vrijkomend bouwvocht
Oppervlakte-condensatie	Vaag begrensde, vrij permanente vocht-/schimmelplekken op buitenwanden. Vooral vatbaar zijn dode hoeken van een vertrek, waar weinig of geen luchtcirculatie optreedt. Ook op meubels kan schimmelvorming optreden, met name wanneer geplaatst voor een buitenwand of op de begane-grondvloer. Veelvuldig en lang optreden van condenswater op enkelglas van ramen en deuren.	Eén of meerdere oorzaken: <ul style="list-style-type: none"> • hoge vochtconcentratie • geringe ventilatie • (te) lage oppervlaktetemperatuur
Inwendige condensatie	Bij gelaagde buitenwandconstructies. Geen eenduidige omschrijving van vochtplek mogelijk, lijkt vaak op lekkage. Kan op andere plekken optreden dan waar condens optreedt.	Te hoge dampdichtheid van de buitenste laag ten opzichte van de binnenste laag, eventueel in combinatie met hoge vochtconcentratie.

3.2.3 Luchtbevochtigers

Fabrikanten geven vaak hoog op over de effectiviteit van luchtbevochtigers voor het verhogen van de vochtigheid in woningen en in extreme gevallen ook over de luchtreinigende eigenschappen van dit soort apparaten. Het Amerikaanse astmafonds (American Lung Association) heeft een zogenaamde 'TipSheet' over luchtbevochtigers (www.healthhouse.org: zoek in tipsheets). Er zijn verschillende systemen die toegepast worden bij luchtbevochtiging. Vooral bij ultrasone en 'cool mist'-systemen bestaat het risico dat deeltjes (zoals micro-organismen en in het water aanwezige mineralen) in de lucht terechtkomen. Dat kan betekenen dat een luchtbevochtiger een ongewenste bron van potentieel schadelijke stoffen kan zijn. Het gebruik van water met weinig mineralen (bijvoorbeeld gedestilleerd water) wordt aangeraden. Of er echt gezondheidsrisico's verbonden zijn aan het gebruik van luchtbevochtigers is niet duidelijk volgens de Amerikaanse 'Environmental Protection Agency' (EPA). Vooral de groei van micro-organismen dient zoveel mogelijk voorkomen te worden. Als de aanwijzingen van de producent nauwgezet gevolgd worden, zouden zich wat dat betreft geen problemen voor moeten doen. Incidenteel worden bepaalde klachten echter wel toegeschreven aan luchtbevochtigers.

3.3 Inspectie

Om een beter beeld van de vochtigheid van een woning te krijgen is het wenselijk een inspectie te doen. Dit is zo mogelijk belangrijker dan het doen van vochtigheidsmetingen. Een inspectie geeft aanwijzingen voor de oorzaken van de vochtproblemen. Veelal ligt het buiten de competentie van diegene die de woning inspecteert om de precieze oorzaken van vochtproblemen in een woning te kunnen aanwijzen. Daar is veel bouwkundige en fysische kennis voor nodig. Toch moet een

aanwijzing voor de oorzaken verkregen worden om zonedig maatregelen te kunnen afdwingen. Als de oorzaak door bewonersgedrag gevormd wordt, is de eigenaar van de woning immers niet verantwoordelijk voor de vochtproblemen.

Aandachtspunten bij een inspectie kunnen in de onderstaande lijst worden gevonden.

Toevoer van vocht:

- bouwjaar van de woning (oudere woningen hebben een hogere kans op vocht);
- hoogte onderste vloer boven het maaiveld (hoe hoger, hoe kleiner de kans op optrekkend vocht);
- maatregelen tegen optrekkend vocht (bijvoorbeeld gewapend beton, trasraam, loodslab);
- ondervloersruimte. De kans op vocht neemt toe in de reeks: 1) kelder/kruipruimte met dwarsventilatie, 2) kruipruimte zonder dwarsventilatie, 3) ruimte zonder ventilatie, 4) vloer direct op de bodem;
- bodemafluiting. De kans op vocht neemt toe in de reeks: 1) gewapend beton, 2) stampbeton, 3) gewassen zand, 4) grond, 5) organisch materiaal, 6) geen bodemafluiting, 7) veen/klei;
- buitenmuren. De kans op vocht neemt toe in de reeks: 1) spouwmuur, 2) betoncasco + halfsteensmuur, 3) steensmuur;
- isolatie buitenmuren;
- wordt er binnen was gedroogd, aan lijnen of met een wasdroger zonder afvoer?
- staat van onderhoud van de woning (algemene indruk van de opnemer). Hoe beter, hoe kleiner de kans op vocht.

Afvoer van vocht:

- ventilatiemogelijkheden. Welke mogelijkheden zijn er aanwezig? Werken de systemen? Zijn de ventilatievoorzieningen wel te gebruiken (bijvoorbeeld: Kunnen de ramen makkelijk open?)? Is er een mogelijkheid tot dwarsventilatie? Hoe beter de ventilatie, hoe beter de afvoer van vocht;
- verwarming. De kans op vocht neemt toe in de reeks: 1) C.V., 2) kachel met afvoer, 3) incidentele verwarming (straalkachel en dergelijke), 4) kachel zonder afvoer, 5) geen verwarming. Ook altijd vragen naar het gebruik;
- toegang van zonlicht. Hoe beter de toegang van zonlicht, hoe kleiner de kans op vocht.

Vochtverschijnselen:

- water onder de vloer;
- vochtplekken op wand-vloer-plafond;
- schimmels op wand-vloer-plafond, kleding, meubilair;
- reuk en luchtjes (een muffe lucht/grondgeur/champignonlucht kan op vocht duiden);
- houtrot;
- vochtminnende insecten;
- condensatie van vocht op enkelglasruiten en op muren;
- algemene indruk van de opnemer.

Deze punten kunnen een richting aangeven voor het vinden van een mogelijke oorzaak. Zijn er weinig toevoermogelijkheden voor vocht en zijn de afvoermogelijkheden groot, dan is bewonersgedrag vermoedelijk de oorzaak van de vochtproblemen. Ook de plaats van de vochtverschijnselen kan wijzen naar een oorzaak. Tabel 3.2 geeft een overzicht van deze verschijnselen en de mogelijke oorzaken.

3.4 Meten van de vochtigheid van een woning

Er zijn op dit moment nog geen meetmethoden beschikbaar die op zinvolle wijze kunnen worden gebruikt bij de dagelijkse behandeling van klachten over vochtoverlast. Daarom wordt vooralsnog het uitvoeren van een inspectie (zie paragraaf 3.3) aanbevolen. Bovendien levert de inspectie vaak voldoende informatie op en maakt daarmee een meting overbodig. Hieronder wordt besproken wat voor metingen wel kunnen worden uitgevoerd.

3.4.1 Bepaling absolute en/of relatieve luchtvochtigheid

Wil men met behulp van metingen de luchtvochtigheid van een woning karakteriseren, dan is de mixing ratio (gram waterdamp per kg lucht) de meest interessante maat, omdat die niet afhankelijk is van de temperatuur (zie paragraaf 3.1). De mixing ratio is alleen moeilijk direct te meten. Als echter de relatieve vochtigheid en de temperatuur tegelijk worden gemeten, is daaruit de absolute vochtigheid te berekenen. Absolute luchtvochtigheidsgehalten worden in de bouwwereld gebruikt voor de indeling van ruimten in klimaatklassen.⁽⁵⁾ Er worden vier klimaatklassen onderscheiden, van droog (I) naar zeer vochtig (IV). De klimaatklassen gaan uit van de absolute luchtvochtigheid en zijn gebaseerd op langdurige gemiddelden (maand en jaar). De meeste verblijfsruimten in woningen passen in de klimaatklassen II en III.

De luchtvochtigheid binnen varieert met de luchtvochtigheid buiten en met de activiteiten binnenshuis. Dit betekent dat een kortdurende bepaling van de relatieve luchtvochtigheid niet meer is dan een momentopname en geen informatie geeft over de vochtigheidstoestand van een woning. Hiervoor zouden continue metingen over langere perioden (bijvoorbeeld een week) nodig zijn. Daarnaast kunnen de metingen alleen op zinvolle wijze worden uitgevoerd gedurende het 'koude' jaargetijde, dat wil zeggen van november tot begin maart. Gedurende de overige maanden van het jaar wordt het vochtgehalte van de binnenlucht namelijk vrijwel volledig bepaald door het vochtgehalte in de buitenlucht.

Wanneer wordt gemeten is het belangrijk dat ook de vochtigheid van de buitenlucht geregistreerd wordt. Verder dient ook de temperatuur binnen en buiten geregistreerd te worden. Met de relatieve vochtigheid en temperatuur is het mogelijk de mixing ratio te bepalen. Vervolgens kunnen de mixing ratio van binnen- en buitenlucht met elkaar vergeleken worden, wat weer een beeld geeft van de vochtproductie in de woning zelf.

De luchtvochtigheid verschilt met de locatie in een vertrek of woning. Voor een goed inzicht kan het nodig zijn tegelijkertijd op meer dan één plaats te meten, bijvoorbeeld in de woonkamer en in een slaapkamer. Voor een representatief beeld zou een meter niet op de vloer moeten staan, maar wat hoger (bijvoorbeeld op een tafel of kastje) en moet de locatie van de meter zo gekozen worden dat extreme invloeden op temperatuur en luchtvochtigheid gemedend worden (dus niet naast een verwarming of raam). Daarnaast is het nuttig als bewoners bijhouden wanneer ze ventileren en luchten, hoeveel mensen er aanwezig zijn en wanneer er wordt gekookt, gedouched, gedweild en wanneer er was te drogen hangt. Dit kan pieken en dalen in de metingen verklaren. Een voorbeeld van een 'dagboekje' is opgenomen in een bijlage bij dit hoofdstuk.

3.4.2 Bepaling vochtgehalte in bouwmaterialen

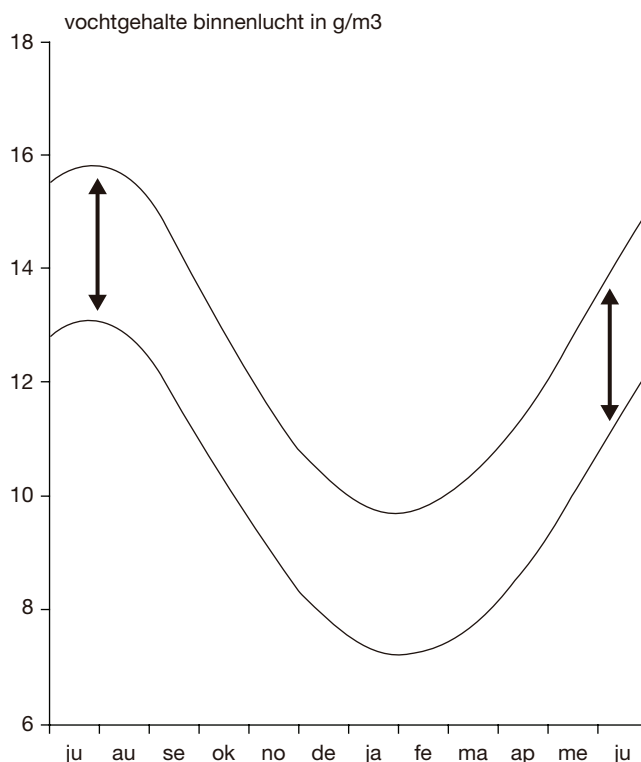
Er is apparatuur op de markt voor het bepalen van het vochtgehalte van bouwmaterialen. Het meetinstrument heeft twee elektroden die op of in het materiaal worden geplaatst. Dan wordt de elektrische geleiding gemeten. In vochtig materiaal ondervindt een elektrische stroom minder weerstand dan in droog materiaal. Deze methode wordt echter niet vaak gebruikt. Het is bovendien niet duidelijk in hoeverre deze methode resultaten oplevert die representatief zijn voor de vochtigheidstoestand van een woning. Deze methode kan wel gebruikt worden voor het onderscheiden van condensatie en optrekkend vocht. Bij condensatie is alleen het oppervlak erg vochtig.

3.5 Referentiewaarden

In veel woningen in Nederland is sprake van vocht- en schimmeloverlast. Uit een inventarisatie van het Ministerie van VROM bleek bijvoorbeeld ruim 19% van de Nederlandse woningen last te hebben van vochtproblemen.(6) In twee vragenlijst-onderzoeken onder 1051 en 3344 respondenten in Zuidoost-Nederland gaf 14,8 respectievelijk 23,6% aan vochtplekken in de woning te hebben.(7,8) In een enquête gehouden onder 212 inwoners van Drenthe gaf 25% van de respondenten aan een vochtige woning te hebben. Wanneer naar vochtverschijnselen (bijvoorbeeld vochtplekken, schimmel, vochtminnende insecten) werd gevraagd, gaf 48,6% aan die te hebben.(9) In een onderzoek in Maastricht onder 470 respondenten rapporteerde 31,5% van de respondenten vochtplekken.(10)

Vochtgehalte van de binnenlucht

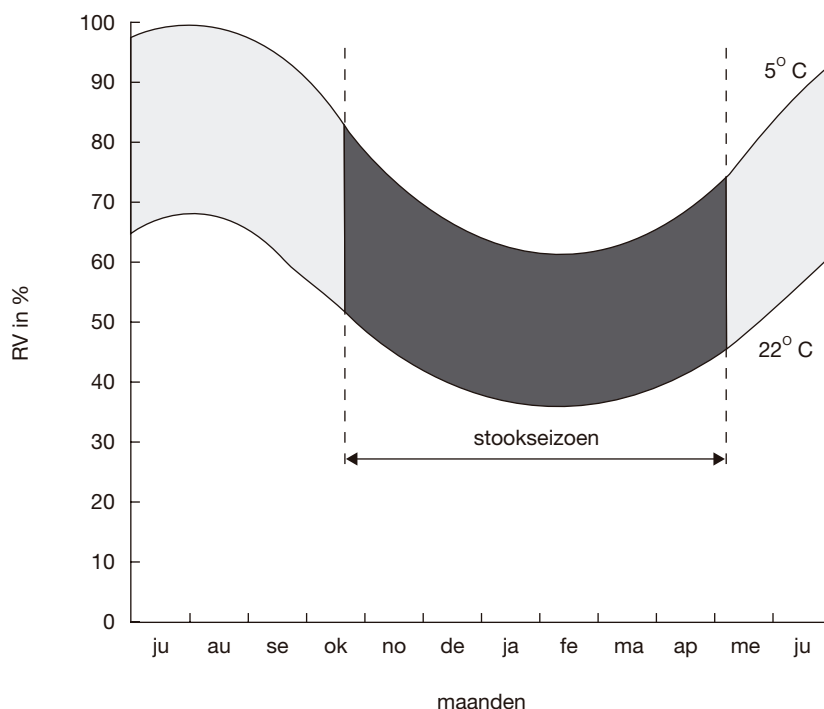
In het algemeen kan gesteld worden dat de luchtvochtigheid (zowel absoluut als relatief) in woningen in Nederland in de zomer op z'n hoogste is en in de winter op z'n laagst. Vooral in de zomer bestaat dus de grootste kans op hoge luchtvochtigheid in huis. Figuur 3.3 geeft het absolute vochtgehalte in de binnenlucht weer in de loop van een jaar, zoals dat in 50% van de woningen in Nederland verwacht kan worden. Hieruit blijkt duidelijk dat het absolute vochtgehalte sterk kan variëren tussen verschillende woningen en tussen verschillende seizoenen. Zo is het absolute vochtgehalte gedurende de zomermaanden gemiddeld circa 1,5 keer zo hoog als gedurende de wintermaanden.



Figuur 3.3 Het absolute vochtgehalte in de binnenlucht (g/m³) in de loop van een jaar, zoals dat in 50% van de woningen in Nederland verwacht kan worden.(1)

Relatieve vochtigheid van de binnenlucht

De relatieve vochtigheid van de binnenlucht is afhankelijk van het absolute vochtgehalte en de temperatuur. Figuur 3.4 geeft de theoretisch bepaalde relatieve luchtvochtigheid in woningen, gebaseerd op het absolute vochtgehalte, zoals te verwachten in 50% van de woningen en bij binnentemperaturen tussen de 18 en 22 °C. Uit figuur 3.4 blijkt dat ook de relatieve luchtvochtigheid sterk kan variëren. Dit is mede het gevolg van de grote spreiding in de absolute luchtvochtigheid en in de binnenluchttemperatuur. Een relatieve luchtvochtigheid van 70% kan langdurig worden overschreden.



Figuur 3.4 De theoretisch bepaalde relatieve luchtvochtigheid in woningen, gebaseerd op het absolute vochtgehalte in 50% van de woningen bij binnentemperaturen tussen 18 en 22 °C.(11)

3.6 Effecten op de gezondheid

In Nederland zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd naar het verschil in voorkomen van gezondheidsklachten van de bewoners van droge en vochtige woningen. Voor een uitgebreid overzicht van de internationale literatuur wordt verwezen naar het proefschrift van Verhoeff en het rapport van een expertcommissie over deze problematiek van het Amerikaanse Institute of Medicine.(12,13) In het kort concludeert Verhoeff uit een veelheid aan onderzoek dat er een samenhang bestaat tussen de aanwezigheid van vocht en schimmel in de woning en een verhoogde prevalentie van respiratoire symptomen bij kinderen en volwassenen. Ook in Nederlands onderzoek is aangetoond dat er een relatie is tussen vochtigheid in de woning en het voorkomen van astma en chronische bronchitis bij kinderen.(14-17,8,9,11) Deze relatie is tevens bij volwassenen gevonden.(16,17,8,9)

Het Amerikaanse rapport komt tot de conclusie dat er voldoende bewijs is dat vocht en schimmel in woningen kan leiden tot meer luchtwegklachten (niezen, hoesten, piepen op de borst). Ook werd geconcludeerd dat vooral onder gesensibiliseerde mensen met astma blootstelling aan een vochtige of schimmelige woning een verhoogde prevalentie van astmasymptomen op kan leveren.(13)

De vermoedelijke oorzaak van het verhoogd voorkomen van luchtwegklachten bij personen die in vochtige woningen wonen, is extra blootstelling aan allergenen en/of andere biologische contaminanten.(16,17) Een vochtige omgeving is een voorwaarde voor het voorkomen en de ontwikkeling van allergeen producerende organismen, zoals huisstofmijten en schimmels (zie hoofdstuk 4 'Biologische agentia'). In vochtige woningen zal de hoeveelheid biologische bestanddelen van het huisstof in het algemeen dan ook groter zijn dan in niet-vochtige woningen. Mensen die blootgesteld worden aan allergenen lopen een groter risico om ook gesensibiliseerd te raken. De gangbare denkwijze ('the allergic march') veronderstelt dat gevoelige kinderen eerst na blootstelling een allergie oplopen, en dat astma zich vaker bij die personen zal manifesteren. Op dit moment zijn een aantal cohortstudies gaande die duidelijkheid in dit proces zouden kunnen verschaffen. (18-21). Tot nu toe lijkt het verband tussen vroege blootstelling aan allergenen en het ontwikkelen van een allergie wel te vinden te zijn. Het blijkt echter niet zo gemakkelijk om aan te tonen dat kinderen met een hoge blootstelling aan allergenen ook vaker astma ontwikkelen. Een groot deel van de Nederlandse bevolking heeft een erfelijke aanleg voor chronische luchtwegaandoeningen. Of al deze mensen inderdaad bijvoorbeeld hooikoorts of astma krijgen is dus niet zo gemakkelijk te voorspellen. Wat wel waarschijnlijk is, is dat gesensibiliseerde personen met astma meer gezondheidsproblemen zullen hebben bij blootstelling aan specifieke allergenen.

Een relatie tussen vocht en reuma wordt vaak verondersteld, en in een Finse studie werd geconcludeerd dat blootstelling aan inflammatoire componenten afkomstig van schimmels mogelijk de oorzaak was van een cluster van mensen met reumatische gezondheidsklachten in een gezondheidscentrum met vochtproblemen.(22) Het Amerikaanse Institute of Medicine concludeert echter dat er niet voldoende bewijs is voor een samenhang tussen vocht in woningen en reuma of reumatische symptomen.(13) De ervaring van reumapatiënten is echter dat kilte en vocht de pijn versterken.

Ook een te droge woning kan klachten veroorzaken. Op zich heeft de relatieve luchtvochtigheid over een groot traject van 30-70% weinig invloed op het behaaglijkheidsgevoel. Mensen kunnen de lucht echter als droog ervaren wanneer zij irritatie of prikkeling van de slijmvliezen van de keel, de neus en de ogen en soms ook de huid ondervinden. Mensen voelen dit aan als 'droogheid' en ervaren dit alsof het veroorzaakt wordt door lage vochtigheid van de lucht. Het droge gevoel wordt echter veroorzaakt door irritatie van de slijmvliezen en deze irritatie wordt op zijn beurt weer veroorzaakt door verontreinigingen in de lucht (stof, gassen en dampen), soms in combinatie met een te hoge luchttemperatuur. Uit wetenschappelijk onderzoek blijkt dat voor proefpersonen geldt dat hoe lager de luchtvochtigheid, hoe beter de ervaren luchtkwaliteit, mits de relatieve luchtvochtigheid niet onder de 15% kwam. Ook onder een relatieve luchtvochtigheid van 15% hadden de meeste personen geen klachten, maar personen met contactlenzen, huidproblemen of hooikoorts hebben bij een relatieve luchtvochtigheid onder 15% iets meer klachten dan andere personen.(23)

Hierbij gaat het om reversibele effecten. Klachten over een droge lucht en last van kunstlenzen zijn vaak te verhelpen door toevoer van schone lucht, zelfs als daarbij de luchtvochtigheid wat daalt. In landen met koude winters veroorzaakt de vaak zeer droge binnenlucht weinig klachten.

3.7 Normen

Er zijn geen grenswaarden beschikbaar voor de hoeveelheid vocht in de binnenlucht, c.q. de vochtigheid van woningen. In het algemeen echter geldt een relatieve luchtvochtigheid van 70% of hoger als 'te vochtig'. Wanneer deze omstandigheid in een woning gedurende langere tijd bestaat, wordt schimmeligroei mogelijk.(6) Een lagere luchtvochtigheid in de winter kan het aantal huisstofmijten sterk beperken.

3.8 Juridische aspecten

De artikelen 3.22 t/m 3.23 en 3.24 t/m 3.2589 van het Bouwbesluit betreffen 'Wering van vocht van buiten' voor respectievelijk nieuw te bouwen woningen en bestaande woningen. Er worden eisen gegeven voor de waterdichtheid van uit- en inwendige scheidingsconstructies. Alleen voor nieuw te bouwen woningen wordt de eis gesteld dat de vloer van de begane grond goed luchtdicht is. In het vierde lid van artikel 3.23 is vastgelegd dat de luchtvolumestroom maximaal $20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{s})$ mag zijn.

De artikelen 3.26 t/m 3.28 en 3.29 t/m 3.30 van het Bouwbesluit betreffen 'Wering van vocht van binnen' voor respectievelijk nieuw te bouwen woningen en bestaande woningen. Er worden regels gesteld voor de maximale wateropname van een oppervlak in de toilet-/badruimte. Voor nieuw te bouwen woningen zijn er ter beperking van allergenen tevens regels gesteld die bij een normaal stookgedrag zorgen voor een temperatuur op diverse binnenoppervlakken waarbij de kans op condensatie beperkt is.

3.9 verantwoordelijke partijen

Gemeenten kunnen lokaal de grondwaterstand verlagen middels horizontale drainage. Op basis van de Grondwaterwet is de provincie verantwoordelijk voor het beheer van het grondwater binnen de provinciegrenzen.

Woningeigenaren/woningcorporaties zijn verantwoordelijk voor de bouwtechnische aspecten die met vochtigheid in een woning te maken hebben (zie paragraaf 3.2.1). Bewoners zijn verantwoordelijk voor ventilatie- en stookgedrag (zie paragraaf 3.2.2).

3.10 Referenties

1. Huybregts P. Vocht en bewonersgedrag. *Bouwwereld* 1986; 82: 39-42.
2. Cox CWJ. Oppervlakte condensatie in woningen. TNO, Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie. Delft, 1986.
3. Nationale Woningraad. Analyse van 72 vochtonderzoeken. 1984.
4. Pleysier JA. Luchtvochtigheid in woningen. *Bouwwereld* 1984; 80: 30-33.
5. Adan OCG. Schimmels de baas? Stichting Bouwresearch, SBR-publicatie 356. Rotterdam, 1995.
6. Ministerie van VROM. Kwalitatieve Woningregistratie 1989-1991. Resultaten landelijk steekproef. Den Haag, 1993.
7. Brunekreef B. Associations between questionnaire reports of home dampness and childhood respiratory symptoms. *Sci Total Environ* 1992; 127: 79-89.
8. Brunekreef B. Damp housing and adult respiratory symptoms. *Allergy* 1992; 47: 498-502.
9. Paman CM. Het binnenmilieu onder de loep. Een onderzoek naar de determinanten van ventilatiegedrag. Afstudeerscriptie Rijksuniversiteit Limburg, Faculteit der Gezondheidswetenschappen. Maastricht, 1993.
10. Cuijpers CEJ, Swaen GMH, Wesseling, et al. Adverse effects of the indoor environment on respiratory health in primary school children. *Environ Res* 1995; 68: 11-23.
11. Ministerie van VROM. Aanpak van vochtproblemen in woningen. Ministerie van VROM. Zoetermeer, 1987.
12. Verhoeff AP. Home dampness, fungi and house dust mites, and respiratory symptoms in children. Proefschrift Erasmus Universiteit Rotterdam. Rotterdam, 1994.
13. Institute of Medicine. Damp Indoor Spaces and Health. The National Academies Press. Washington DC, USA, 2004.

14. Varekamp J, Leupen MJ. Vochtige woningen en astma. Onderzoek naar het verband tussen vochtigheid en klachtenpresentatie, uitgevoerd in 580 woningen te Leiden. IMG-TNO. Delft, 1973.
15. Maas PJ van der. Cara bij kinderen in verband met luchtverontreiniging en andere factoren. Proefschrift Erasmus Universiteit Rotterdam. Rotterdam, 1979.
16. Waegemaekers M, Wageningen N van, Brunekreef B, et al. Respiratory symptoms in damp homes: a pilot study. *Allergy* 1986; 44: 192-8.
17. Strien RT van, Verhoeff AP, Wijnen JH van, et al. Vochtverschijnselen in woningen en CARA bij kinderen; een patiënt-controle onderzoek. *TSG* 1994; 72: 786-793.
18. Brunekreef B, Smit J, Jongste J de, et al. The Prevention of Asthma and Mite Allergy (PIAMA) birth cohort study: design and first results. *Pediatr Allergy Immunol* 2002; 13(Suppl 15): 55-60.
19. Nickel R, Lau S, Niggemann B, et al. Messages from the German Multicentre Allergy Study. *Pediatr Allergy Immunol* 2002; 13(Suppl 15): 7-10.
20. Woodcock A, Lowe LA, Murray CS, et al. Early life environmental control: effect on symptoms, sensitization, and lung function at age 3 years. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 170: 4339.
21. Keil T, Kulig M, Simpson A. European birth cohort studies on asthma and atopic diseases: I. Comparison of study designs – a GALEN initiative. *Allergy*: 2006; 61: 221-8.
22. Luosojärvi RA, Husman TM, Seuri M, Pietikäinen MA, Pollari P, Pelkonen J, Hujakka HT, Kaipainen-Seppänen OA, Aho K. Joint symptoms and diseases associated with moisture damage in a health center. *Clin Rheumatol* 2003; 22: 381-5.
23. Fang L, Wyon DP, Fanger PO. Sick Building Syndrome symptoms caused by low humidity. *Proceedings of Healthy Buildings 2003, Singapore, Vol. 3, pp. 1-6. 2003.*

Bijlage 3.1 Dagboek ventilatie

Locatie:

Dit dagboek zorgt ervoor dat de meetgegevens gekoppeld kunnen worden aan de situatie binnen. **Het is belangrijk dat u de gegevens regelmatig bijhoudt.**

Datum	Tijd	Aantal personen	Gebruik ventilatie (aantallen)				Activiteiten (aankruisen)				Klimaat (aankruisen)						
			Stand mechanische ventilatie	Roosters	Klap-raampjes	Ramen	Deuren	Eten koken	Dweilen	Afwassen	Douchen	Was drogen	Anders, namelijk...	Koud	Warm		
													<input type="checkbox"/> Koud	<input type="checkbox"/> Fris	<input type="checkbox"/> Aangenaam	<input type="checkbox"/> Warm	<input type="checkbox"/> Benaauwd
													<input type="checkbox"/> Koud	<input type="checkbox"/> Fris	<input type="checkbox"/> Aangenaam	<input type="checkbox"/> Warm	<input type="checkbox"/> Benaauwd
													<input type="checkbox"/> Koud	<input type="checkbox"/> Fris	<input type="checkbox"/> Aangenaam	<input type="checkbox"/> Warm	<input type="checkbox"/> Benaauwd
													<input type="checkbox"/> Koud	<input type="checkbox"/> Fris	<input type="checkbox"/> Aangenaam	<input type="checkbox"/> Warm	<input type="checkbox"/> Benaauwd
													<input type="checkbox"/> Koud	<input type="checkbox"/> Fris	<input type="checkbox"/> Aangenaam	<input type="checkbox"/> Warm	<input type="checkbox"/> Benaauwd
													<input type="checkbox"/> Koud	<input type="checkbox"/> Fris	<input type="checkbox"/> Aangenaam	<input type="checkbox"/> Warm	<input type="checkbox"/> Benaauwd
													<input type="checkbox"/> Koud	<input type="checkbox"/> Fris	<input type="checkbox"/> Aangenaam	<input type="checkbox"/> Warm	<input type="checkbox"/> Benaauwd
													<input type="checkbox"/> Koud	<input type="checkbox"/> Fris	<input type="checkbox"/> Aangenaam	<input type="checkbox"/> Warm	<input type="checkbox"/> Benaauwd
													<input type="checkbox"/> Koud	<input type="checkbox"/> Fris	<input type="checkbox"/> Aangenaam	<input type="checkbox"/> Warm	<input type="checkbox"/> Benaauwd
													<input type="checkbox"/> Koud	<input type="checkbox"/> Fris	<input type="checkbox"/> Aangenaam	<input type="checkbox"/> Warm	<input type="checkbox"/> Benaauwd

4 Biologische Agentia

4.1 Inleiding

Biologische agentia in het binnenmilieu kunnen verschillende soorten gezondheidsklachten veroorzaken. Aan de gezondheidseffecten kunnen allergische of andersoortige mechanismen ten grondslag liggen.(1) Allergieën kunnen verergeren door blootstelling aan allergenen, maar het is niet duidelijk wat de rol is van allergenen bij het ontstaan van allergieën. Er zijn aanwijzingen dat sommige biologische agentia zelfs kunnen leiden tot een lagere prevalentie van allergieën.

Allergenen zijn meestal hoogmoleculaire bestanddelen (zoals eiwitten of koolhydraten) van uitscheidingsproducten van schimmels, bacteriën, huisstofmijten, huisdieren of insecten. Een persoon die allergenen inademt, kan allergisch reageren. Bij allergische mechanismen gaat het meestal om een reactie waarbij specifiek IgE wordt geproduceerd tegen een bepaald allergeen. Door middel van een IgE-test of een huidpriktest kunnen specifieke allergieën bij individuen worden vastgesteld. Dit soort respiratoire allergieën komen vrij veel voor, vooral onder kinderen. Personen met astma zijn vaak allergisch, maar niet iedereen met een allergie heeft ook daadwerkelijk luchtwegklachten of astma.(2-4) In Nederland zijn allergieën tegen huisstofmijt het frequentst, gevolgd door allergieën tegen huisdieren en in iets mindere mate allergieën tegen schimmels. In specifieke gevallen kunnen ook andere bronnen zorgen voor allergische reacties.

Behalve van allergische aandoeningen kunnen vooral schimmels en bacteriën ook de oorzaak zijn van gezondheidsklachten via andere mechanismen.

In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens ingegaan op huisstofmijten, huisdieren, schimmels en bacteriën.

4.2 Huisstofmijten

Huisstofmijten (familie Pyroglyphidae) zijn tot maximaal 0,5 mm lang (meestal kleiner) en doorschijnend, waardoor ze met het blote oog eigenlijk nauwelijks te zien zijn. Er zijn verschillende soorten huisstofmijten, waarvan er voor Nederland twee echt van belang zijn: *Dermatophagoides pteronyssinus* (*Dp*) en *Dermatophagoides farinae* (*Df*). Deze soorten komen wereldwijd voor. In vochtigere gebieden, zoals Nederland, overheerst *Dp* en in drogere gebieden overheerst *Df*. Incidenteel en in tropische gebieden komen nog verschillende andere soorten voor. De belangrijkste beperkende factor voor het tot ontwikkeling komen van een huisstofmijtenpopulatie is de hoeveelheid vocht in de lucht. Bij een hoge relatieve luchtvochtigheid en temperatuur (75-80% bij 25°C) kan de huisstofmijt zich goed ontwikkelen. Bij een lagere luchtvochtigheid gedijen huisstofmijten minder goed, hoewel ze een drogere situatie wel kunnen overleven. Mijten nemen actief water op uit de lucht in hun omgeving. Huisstofmijten voeden zich voornamelijk met menselijke huidschilfers, maar ook met bijvoorbeeld pollen, sporen, bacteriën, schimmels, plantenvezels en dierenharen. Voedsel is vrijwel nooit de beperkende factor. Huisstofmijten produceren verschillende huisstofmijtallergenen, die zich vooral in hun uitwerpselen bevinden. De mijten zelf zijn echter ook een bron van allergenen. De ontwikkeling van huisstofmijtenpopulaties en de hoeveelheid huisstofmijtallergeen in huisstof volgen een seizoensgebonden patroon. In de zomer (het natste jaargetijde in Nederland) groeit de populatie, en als het stookseizoen begint (in de herfst) bereikt de populatie z'n hoogtepunt. De hoeveelheid huisstofmijtallergeen in huisstof ijlt wat na en bereikt in de winter z'n hoogste niveau.

4.2.1 Bronnen van huisstofmijten

In elke woning komen huisstofmijten voor. Huisstofmijten worden het meest aangetroffen op plaatsen waar zich stof kan verzamelen, zoals in textiele vloerbedekking, in vloerkleden, in gestoffeerd meubilair en in matrassen. Gladde of harde oppervlakken, zoals zeil, parket en laminaat vormen een minder geschikte leefomgeving. Dit heeft deels ook te maken met het microklimaat dat in een matras of vloerkleed kan ontstaan. Als de lucht in een kamer droger wordt tijdens het stookseizoen, kan in een dergelijk microklimaat de vochtigheid op een dusdanig peil blijven dat huisstofmijten precies daar de 'barre' droge tijden kunnen overleven.

4.2.2 Meten van allergeen van huisstofmijten

De nauwkeurigste methode voor het bepalen van allergeen van huisstofmijten is het nemen van stofmonsters en deze in een specialistisch laboratorium immuno-chemisch laten analyseren. Dan gaat het vooral om de eiwitten die 'Der p 1' en 'Der f 1' zijn genoemd. Dit zijn de belangrijkste allergenen, afkomstig van de twee al eerder genoemde huisstofmijten. Deze methode wordt vaak gebruikt in onderzoeken. De methode is echter niet geschikt voor de dagelijkse GGD-praktijk. Een eenvoudige en goedkope semi-kwantitatieve test voor het bepalen van de hoeveelheid huisstofmijt in huisstof is de Acarex-test. Deze test is gebaseerd op een kleurreactie met guanine. Guanine is een bestanddeel van de uitwerpselen van de mijt. Het is daardoor een indicator voor de aanwezigheid van mijten. De testset bestaat uit een hulpstuk voor de stofzuiger om stof te verzamelen, teststrookjes en testvloeistof. Het stof moet vermengd worden met de vloeistof, waarna het teststrookje erin gestoken moet worden. De kleurverandering geeft aan of er veel of weinig mijten aanwezig zijn. Een Acarex-test met tien teststrookjes kost ongeveer 15 euro en is verkrijgbaar bij apotheken, thuiszorg- en allergiewinkels (www.astmafonds.nl). De uitslagen van de Acarex-test zijn vergeleken met de hoeveelheid Der p 1 in matrasstof, en daaruit bleek dat ze matig met elkaar correleerden en dat een lage of hoge Acarex-uitslag goed interpreteerbaar was als afwezigheid dan wel aanwezigheid van huisstofmijten. Een uitslag in het tussengebied bleek echter lastig interpreteerbaar.⁽⁵⁾

4.2.3 Referentiewaarden: huisstofmijten in woningen

Het is niet eenvoudig om algemeen geldende referentiewaarden te geven. In het verleden werden wel waarden gehanteerd van 2 µg Der p 1 per gram stof als grenswaarde voor sensibilisatie en van 10 µg per gram stof voor het ontstaan van astma-aanvallen bij gesensibiliseerde personen. De meetmethode bleek echter zo lastig te standaardiseren te zijn, dat allergeenconcentraties gevonden in verschillende studies eigenlijk nauwelijks te vergelijken zijn. Binnen een studie is het vergelijken van allergeenconcentraties (na goede standaardisering) wel mogelijk. Verder is het gebruik van de concentratie allergeen in stof van een vloer of uit een matras maar een ruwe indicatie van wat iemand echt binnenkrijgt. De deeltjes die veel mijtallergeen bevatten zijn relatief groot, waardoor de blootstelling voornamelijk in pieken tijdens activiteit plaats zal vinden. Mede daardoor is het meten van de daadwerkelijke blootstelling aan mijtallergeen zeer lastig.

In een onderzoek uit 1990 werd in ruim 500 woningen in Noord-Holland en Gelderland het gehalte aan Der p I in stofmonsters bepaald. De resultaten van dit onderzoek laten zien dat de allergeenconcentratie in stof van textiele vloerbedekking in de woonkamer gemiddeld tien keer zo hoog was als in stof van gladde vloerbedekking. Stof van kindermatrassen bevat ook vrij hoge concentraties mijtallergeen. In latere studies, zoals het PIAMA-onderzoek, bleken deze vrij hoge concentraties niet meer voor te komen en was de gemiddelde huisstofmijtallergeenconcentratie in stof van matrassen tot een factor 10 lager.⁽⁶⁻⁹⁾

In woningen met gladde vloerbedekking, met een geïsoleerde vloer, met mechanische afzuiging, en zonder zichtbare vocht- en schimmelplekken bleek het stof minder huisstofmijtallergeen te bevatten. In stof van oudere vloerbedekking en van oudere matrassen bleken de mijtallergeenconcentraties hoger te zijn. Een mogelijke verklaring voor het feit dat in latere studies lagere allergeenconcentraties werden gevonden zou kunnen liggen in het feit dat veel van de woningen in de latere studies relatief nieuw waren, en dus goed geïsoleerd en veel droger.

4.2.4 Effecten van huisstofmijten op de gezondheid

Pas in de jaren zestig van de vorige eeuw werd aangetoond dat huisstofmijten grotendeels verantwoordelijk waren voor het verschijnsel dat tot dan toe huisstofallergie werd genoemd.(10) Uit verschillende studies blijkt steeds weer dat vooral onder kinderen, maar ook onder volwassenen veel mensen met astma een allergie voor huisstofmijt hebben. Verder bleek dat kinderen met meer huisstofmijtallergieën in huis vaker een allergie voor huisstofmijten ontwikkelden.(11-12) Tot nu toe bleek het echter erg lastig om aan te tonen dat kinderen in woningen met meer huisstofmijtallergenen ook daadwerkelijk meer astma ontwikkelden.(13-14)

Wat wel vrij duidelijk is, is dat mensen die astma én een huisstofmijtallergie hebben meer astmatische klachten hebben wanneer ze in een omgeving met meer huisstofmijtallergenen vertoeven.(15) Er is dan ook een vestiging van het Nederlands Astmacentrum in Davos opgericht. In bergachtige gebieden en in het noorden van Scandinavië zijn de winters zo streng, en als gevolg daarvan de lucht zeer droog, dat huisstofmijten daar niet kunnen overleven. Dat betekent dus dat dat soort gebieden voor astmapatiënten met een huisstofmijtallergie zeer heilzaam kunnen zijn, maar het betekent ook dat in dat soort gebieden vrij weinig personen allergisch zijn voor huisstofmijten.(16) Omdat het natuurlijk niet mogelijk is om iedereen met een huisstofmijtallergie naar Zwitserland te sturen, worden er ook methoden bedacht om in Nederland de blootstelling aan huisstofmijten terug te brengen. Eén mogelijkheid daarvoor is het gebruik van matrashoezen. Deze hoezen zorgen ervoor dat bij juist gebruik de matras als bron van huisstofmijtblootstelling wordt uitgeschakeld. Bij mijtallergische astmapatiënten lijkt dit inderdaad wel wat invloed te hebben op symptomen en longfunctie (secundaire preventie). Een aantal wetenschappelijke studies in binnen- en buitenland bestudeert ook of het gebruik van dergelijke methoden invloed heeft op het ontstaan van allergie en astma (primaire preventie), maar de eerste resultaten laten geen duidelijke conclusies toe. (17-18) Al met al is het om verschillende technische en gezondheidskundige redenen zeer lastig om duidelijke grenswaarden vast te stellen voor blootstelling aan huisstofmijten. Bij hoge blootstelling aan mijtallergenen is het wel aan te bevelen deze blootstelling te verlagen op plaatsen waar allergische personen verblijven (zie paragraaf 4.2.5).

4.2.5 Maatregelen ter bestrijding van huisstofmijten

Vochtbestrijding is van essentieel belang voor het verminderen van de huisstofmijtallergenenconcentraties. Hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 3 'Vochtigheid'.

Algemene saneringsmaatregelen ten behoeve van het bestrijden van huisstofmijten in de woning kunnen zijn:

- Kies gladde vloerbedekking in plaats van textiele vloerbedekking.
- Kies meubels met gladde, afneembare bekleding.
- Neem gladde wanden en muren.
- Voorzie matrassen en kussens van een ondoordringbare hoes.
- Sluit kasten af met deuren (geen stofophoping).
- Maak gladde oppervlakken goed schoon: regelmatig vochtig afnemen van vloeren en meubels. Stofzuigen verspreidt veel stof, zelfs met een HEPA-filter. Dat komt waarschijnlijk door het bewegen van het mondstuk van de stofzuiger over de vloer.
- Was textiele materialen, zoals kleden, gordijnen, beddengoed en knuffeldieren, regelmatig en op ten minste 60 °C.

Er is geen duidelijkheid of het nut heeft textiel van natuurlijke herkomst te vervangen door synthetisch materiaal. Synthetische kussens bevatten volgens sommige onderzoekers meer huisstofmijtallergenen dan veren kussens. Hoge concentraties huisstofmijtallergenen in gestoffeerde meubels, vloerkleden en tapijt kunnen bestreden worden met een mijtdodendmiddel (een acaricide), zoals bijvoorbeeld het mijtdodende poeder Acarosan. Het effect van het gebruik van deze middelen op de langere termijn is echter omstreden.

Voor meer en uitgebreidere informatie wordt verwezen naar het Nederlands Astma Fonds. Hier kan men ook gratis brochures (bijvoorbeeld over saneren) aanvragen.

4.3 Huisdieren

4.3.1 Inleiding

In veel Nederlandse huishoudens worden één of meer huisdieren gehouden. In totaal telt Nederland dus miljoenen huisdieren, waaronder veel katten, honden, knaagdieren en vogels. Inhalatieallergenen van huisdieren zijn, naast die van huisstofmijten, een belangrijke bron van allergieën. Allergenen van katten, honden, vogels en knaagdieren zijn afkomstig van vacht of veren, huidschilfers, speeksel en urine. Het zijn in het algemeen vrij grote eiwitten (opmerkelijk vaak zijn het spijsverteringsenzymen). Allergenen van huisdieren kunnen nog lang nadat het dier verwijderd is, in een woning worden aangetoond.

In een onderzoek onder schoolkinderen (6-12 jaar) werd de prevalentie van verschillende allergieën vastgesteld door middel van het meten van specifiek-IgE in serum. De groep kinderen uit Noord-Holland en Gelderland bestond uit 248 kinderen met luchtwegklachten (patiënten) en 245 zonder deze klachten (controles). Op deze selectiecriteria na was het een voor de schoolkinderen van halverwege de jaren negentig van de vorige eeuw representatieve steekproef. In Tabel 4.1 worden de resultaten weergegeven.

Tabel 4.1 laat zien dat onder kinderen met luchtwegsymptomen een allergie voor huisstofmijt het vaakst voorkomt, gevolgd door een allergie voor kat. Opvallend genoeg komt onder schoolkinderen zonder luchtwegsymptomen een allergie voor huisstofmijt wel geregeld voor, maar de andere allergieën eigenlijk nauwelijks.

Tabel 4.1 Prevalentie (%) van specifieke sensibilisatie voor verschillende allergenen onder schoolkinderen met en schoolkinderen zonder luchtwegsymptomen.(19)

	Kinderen zonder luchtwegsymptomen (n=245)	Kinderen met luchtwegsymptomen (n=248)
Huisstofmijt	12 %	38 %
Kat	1 %	15 %
Hond	1 %	8 %
Penicillium, Aspergillus, Alternaria, Cladosporium	1 %	10 %
Vogels	0 %	2 %
Knaagdieren	1 %	4 %

Tabel 4.2 laat zien dat onder willekeurig gekozen volwassenen in verschillende Europese landen de prevalentie van verschillende allergieën eigenlijk vrij goed vergelijkbaar is.

Tabel 4.2 Prevalentie (%) van verschillende allergieën onder volwassenen in Europa.(3)

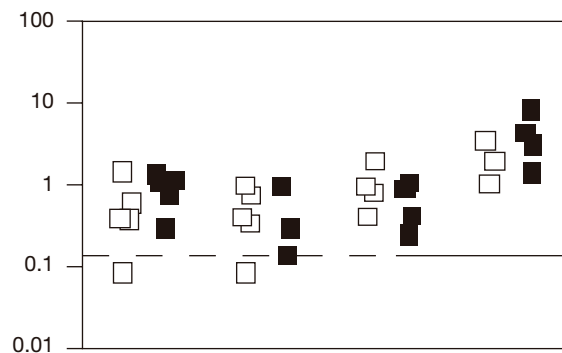
Volwassenen	Huisstofmijt	Kat
Nederland	27,1	8,0
België	24,0	8,6
Duitsland	16,9	9,6
Frankrijk	23,6	7,9
Verenigd Koninkrijk	23,4	8,9
Zweden	9,6	13,7

Alleen Zweden is hier een beetje een buitenbeentje, waarschijnlijk omdat het (vooral 's winters) droge klimaat in Zweden de groei van huisstofmijten hindert. Allergieën voor kat komen in Zweden juist weer iets vaker voor dan in de andere Europese landen. Verder is er in het zuiden van de Verenigde Staten (Arizona) een heel droog gebied waar huisstofmijten ook nauwelijks voorkomen en waar een schimmel (*Alternaria alternata*) de rol van de huisstofmijt lijkt te hebben overgenomen.(20) Daaruit zou geconcludeerd kunnen worden dat, afhankelijk van klimaat en andere omstandigheden, verschillende allergenen dezelfde rol kunnen innemen in de ontwikkeling van astma.

4.3.2 Katten

Kattenallergeen (ook wel Fel d 1 genaamd) lijkt van de door huisdieren geproduceerde allergenen het belangrijkste, omdat er veel mensen met astmatische klachten een kattenallergie hebben. Dit allergeen komt vooral uit het speeksel van de kat. Katten verzorgen zichzelf vaak door likken van de eigen vacht, waardoor Fel d I in vloerstof en in de lucht komt door het afschilferen van de huid en het verlies van haren. Het allergeen is deels op zeer kleine deeltjes ($< 2,5\mu\text{m}$) aanwezig en verspreidt zich daardoor gemakkelijk in de lucht (veel beter dan bijvoorbeeld huisstofmijtallergeen) en blijft ook veel langer in de lucht aanwezig. Dit zou kunnen verklaren waarom mensen met een kattenallergie daar vrijwel direct last van hebben als ze een huis met een kat binnenkomen, terwijl dat bij mensen met een huisstofmijtallergie meestal niet zo is.

Blootstelling aan allergenen wordt in epidemiologisch onderzoek vaak bepaald door in stof van matras of vloer de concentratie allergeen te meten. Het blijkt echter zeer lastig om een verband tussen de concentratie allergeen in de lucht (wat toch een directere blootstellingsmaat is) en de hoeveelheid allergeen in het stof vast te stellen. Stof met kattenallergeen komt waarschijnlijk niet aan de achterkant van de stofzuiger weer in de lucht, maar wordt vooral door de stof-opwerkende activiteit, die stofzuigen nu eenmaal is, in de lucht gebracht.(21) Het gebruik van centrale stofzuigsystemen zorgde in onderzoek namelijk niet voor lagere concentraties kattenallergeen in de lucht van woningen dan het gebruik van conventionele stofzuigers (zie Figuur 4.1).



Figuur 4.1 Vergelijking van concentraties kattenallergeen (Fel d 1) in de lucht in vier woningen na stofzuigen van de woonkamer met een centraal stofzuigstelsel (®) en met een conventionele stofzuiger (n)(--- = detectielimiet). (21)

Wanneer er een kat in huis aanwezig is, zijn de gehalten allergeen vrijwel altijd hoog. Het is niet duidelijk of de allergische reacties verschillen per ras. In Zweden bleek dat het stof in huizen van kinderen die thuis geen kat hebben meer kattenallergeen bevat naarmate ze meer klasgenootjes hebben die wel een kat thuis hebben.(22) Dat zou tot gevolg kunnen hebben dat het vermijden van kattenallergeen wel eens lastiger zou kunnen zijn dan we denken. Buiten het feit dat de allergenen nog lang aanwezig zijn nadat een kat de deur uit is gedaan, blijft er waarschijnlijk ook min of meer een constante toestroom van allergenen als men in een buurt woont waar veel mensen katten bezitten.

4.3.3 Honden

Het belangrijkste hondenallergeen is 'Can f 1'. Speeksel, haren en huid zijn de belangrijkste bronnen van dit allergeen. Sommige patiënten zijn allergisch voor één bepaald ras, hoewel er geen rasspecifieke allergenen zijn geïdentificeerd. Evenals bij katten geldt dat wanneer er honden in de woning aanwezig zijn, de gehalten allergeen in stof hoog zijn. Voor hondenallergeen geldt net als voor kattenallergeen dat het ook wordt aangetroffen in woningen waar geen honden werden gehouden.

4.3.4 Vogels

Vogels kunnen op verschillende wijzen de gezondheid van mensen beïnvloeden. Dit verloopt in het algemeen via inhalatie door mensen van uitscheidingsproducten:

- Verschillende infectieziekten kunnen via inhalatie van vogels op de mens worden overgedragen (zoönose). Voorbeelden hiervan zijn: psittacose, tuberculose, toxoplasmose en colibacillose. Psittacose is de meest voorkomende vogelzoönose en wordt veroorzaakt door de bacterie *Chlamydia psittaci*. Dit organisme kan verschillende vogelsoorten infecteren. Het komt het meeste voor bij de familie van de Psittacidae (waaronder papegaaien), maar komt ook voor bij bijvoorbeeld duiven.⁽²³⁾ Mensen kunnen besmet worden na direct contact met de vogel of na inademing van Chlamydia-bevattende deeltjes, afkomstig van de feces en neusexcretie van de vogels. Bij personen met een normaal immuunsysteem is de ziekte eenvoudig te behandelen met antibiotica. Bij personen met een gestoord immuunsysteem kan de ziekte echter dodelijk zijn.
- Hypersensitieve pneumonitis (de duivenmelkerslong) wordt veroorzaakt door een allergische reactie tegen eiwitten uit de faeces en het serum van vogels. De blootstelling vindt plaats via inhalatie van het gedroogde organisch materiaal.⁽²⁴⁾ Ook wanneer het contact met vogels minder intensief is zou de oorzaak in blootstelling aan vogels kunnen liggen.⁽²⁵⁾
- Mensen kunnen een allergie ontwikkelen voor veren, hoewel dit relatief weinig voor lijkt te komen. Veren vormen een goede habitat voor mijten, waaronder de huisstofmijt.⁽⁵⁾ Deze mijten produceren allergenen (zie paragraaf 4.2).
- Er zijn aanwijzingen voor een verhoogd risico op longkanker bij rokers, die geregeld met kooivogels in aanraking komen.^(26,27)

4.3.5 Knaagdieren

Hamsters, cavia's, konijnen, ratten en muizen worden gehouden als huisdieren. Ratten en muizen zijn tevens plaagdieren. Allergenen van knaagdieren zijn een belangrijke oorzaak van allergische rhinitis ('loopneus') en astma onder werknemers die met proefdieren werken. De allergie voor knaagdieren geeft ernstiger klachten dan de allergie voor katten of honden, wegens de grotere potentie van de allergenen.⁽²⁸⁾ In de Verenigde Staten werden in woningen in grootstedse binnensteden (Inner City Asthma Study) vrij veel huisallergenen gevonden. Onder kinderen die in deze studies onderzocht werden bleek allergie tegen muizen ook vrij vaak voor te komen (tot 18%), er waren echter relatief weinig kinderen exclusief tegen muizen gesensibiliseerd.⁽²⁹⁾ In Nederland is hier geen onderzoek naar gedaan.

4.4 Schimmels

4.4.1 Wat zijn schimmels?

Schimmels behoren tot het plantenrijk. In tegenstelling tot de meeste planten bevatten schimmels echter geen bladgroen, zodat zij niet van zonlicht kunnen leven. Schimmels hebben behoefte aan dood organisch materiaal of andere planten en dieren waarmee ze samenleven (symbiose) of waarop ze parasiteren. Over het algemeen bestaan schimmels uit draderige, vertakte structuren, de zogenaamde hyfen, die tezamen een mycelium vormen. Voor de voortplanting vormen

zij sporen. Een spore bestaat uit één tot enkele cellen, die onder gunstige omstandigheden kan uitgroeien tot een mycelium. Sporen zijn voor het oog niet zichtbaar.

Er zijn vele duizenden verschillende schimmelsoorten bekend. De bekendste zijn de schimmels die voor de voortplanting paddenstoelen vormen. De belangrijkste factoren die het leven van schimmels beïnvloeden zijn temperatuur, vochtgehalte van de lucht en de voedingsbodem (het substraat), beschikbaarheid van voedingsstoffen en zuurstof, en de zuurgraad van het substraat. Het vochtgehalte van het substraat is de meest beperkende factor voor schimmelgroei. Het weefsel van schimmels bestaat voor 95% uit water. In een droog klimaat maakt de schimmel sporen die bestand zijn tegen uitdrogen. Bij gunstiger (vochtiger) omstandigheden kunnen deze weer ontkiemen. Afhankelijk van de relatieve vochtigheid waarbij dit gebeurt, worden schimmels ingedeeld als hygrofiel (vochtminnend, relatieve luchtvochtigheid boven 90%), mesohygrofiel (matig vochtminnend, relatieve luchtvochtigheid 80-90%) en xerofiel (droogteminnend, relatieve luchtvochtigheid lager dan 80%).

De meest voorkomende schimmelsoorten in de binnenlucht van woningen behoren tot de geslachten *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Eurotium* en *Wallemia*, maar veel andere geslachten worden ook regelmatig aangetroffen. Deze schimmels komen overigens ook voor in de buitenlucht.

4.4.2 Bronnen van schimmels

Schimmels kunnen groeien op een groot aantal verschillende (bouw)materialen, mits er sprake is van de juiste temperatuur en het juiste vochtigheidsgehalte. Voor schimmelgroei is tevens de zogenoemde schimmelgevoeligheid van de materialen van belang. Sommige materialen blijken zeer schimmelgevoelig te zijn. Dit heeft twee oorzaken. Ten eerste kan het materiaal zelf als voedingsbodem dienen, zoals bij behang, of het heeft een zodanige ruwheid dat oppervlaktevervuiling kan optreden. Ten tweede kan het materiaal vloeibaar water en waterdamp opnemen. Dit water kan als reservoir dienen, zodat ook schimmelgroei kan optreden onder condities die normaal gesproken ongunstig (te droog) zouden zijn. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij gipsplaten.

Naast (bouw)materialen kan ook huisstof een belangrijk reservoir of zelfs een leefomgeving voor schimmels zijn. Dit is onder andere het geval op niet-gesloten verlaagde plafonds.

Ook groente/fruit en tuinafval (GFT)-bakken kunnen een bron van schimmels in de binnenlucht vormen. Onderzoek laat zien dat de concentratie schimmelbestanddelen in huisstof beduidend hoger is wanneer biologisch afval binnen wordt bewaard.(30)

4.4.3 Het meten van schimmels

Levende schimmelbestanddelen in de lucht kunnen worden gemeten door gedurende korte tijd (1 à 2 minuten) lucht over petrischalen (ronde, platte bakjes) met een bepaalde voedingsbodem te leiden. De petrischalen worden bij een bepaalde temperatuur geïncubeerd. De bemonsterde schimmels kunnen dan uitgroeien tot, voor het oog zichtbare, schimmelkolonies. Na de incubatieperiode wordt het aantal kolonies geteld en uitgedrukt in kolonievormende eenheden (KVE)/m³. Vervolgens worden de kolonies geïdentificeerd tot op soort. Het identificeren van schimmelsoorten is echter een lastig en tijdrovend karwei.

Uit verschillende studies blijkt dat het met deze methoden heel lastig is om een betrouwbare schatting te krijgen van de blootstelling. Bovendien varieert het voorkomen van schimmels in de binnenlucht sterk in de loop van de tijd.(31,32) Tot op heden is er nog geen algemeen geaccepteerde en eenvoudige methode voor het meten van schimmels in lucht.

In huisstof kunnen evenals huisstofmijtallergenen ook schimmels of bepaalde bestanddelen van schimmels bepaald worden. Evenals voor het meten van schimmels in de lucht is voor het meten van schimmels in huisstof nog geen algemeen geaccepteerde methode voorhanden.

Het is dus nog moeilijk de aanwezigheid van schimmels in lucht betrouwbaar te meten. De resultaten van metingen kunnen niet worden gebruikt voor het nagaan van een relatie tussen de mate van blootstelling aan schimmels en gezondheidseffecten. In de meeste gevallen zijn metingen echter

ook niet nodig. Wanneer er vochtverschijnselen in de woning worden aangetroffen (bijvoorbeeld schimmelplekken, vochtplekken en lekkage, zie hoofdstuk 2 'Vochtigheid'), is de kans groot dat de bewoners worden blootgesteld aan hogere concentraties schimmels. In dit geval moet er actie ondernomen worden om deze blootstelling te verminderen.

In enkele gevallen kan het echter toch nuttig zijn om schimmels te (laten) meten:

- om te kunnen evalueren of een ventilatie/airconditioning-systeem een bron is van schimmels;
- om te bepalen of er een specifieke schimmel in de binnenlucht aanwezig is. Dit wanneer die specifieke schimmel wordt beschouwd als de oorzaak van een allergische reactie.

Aangezien in de buitenlucht dezelfde schimmels kunnen voorkomen als in de binnenlucht moeten altijd ook metingen in de buitenlucht worden gedaan (zie hoofdstuk 1 'Aanpak binnenmilieuklachten').

4.4.4 Referentiewaarden: schimmels in woningen

Het is erg lastig om algemeen geldende referentiewaarden te geven voor de aanwezigheid van schimmels in de binnenlucht van woningen, of voor de aanwezigheid van schimmelcomponenten in huisstof. Het onderzoek dat gedaan werd in 1240 Nederlandse woningen geeft een doorsnee waarmee eventueel gemeten waarden vergeleken kunnen worden.

4.4.5 Effecten op de gezondheid

Schimmelgroei in huis geeft esthetische problemen: vieze plekken in huis en stank. Ook blijvende vlekken op leer, boeken of kleren, hardnekkige verkleuring en aantasting van de houtstructuur van onbeschermd hout, kunnen veel overlast veroorzaken. De droge houtrotschimmel, *Serpula lacrymans* of huiszwam, is hier een berucht voorbeeld van. De bestrijding ervan gaat met hoge kosten gepaard.

Medisch gezien is van belang dat verschillende schimmelsporen en -deeltjes allergenen zijn en daardoor overgevoeligheidsreacties kunnen veroorzaken. Inademing heeft allergische (long)aandoeningen, zoals neusverkoudheid (loopneus) en astma tot gevolg. Allergie voor schimmels lijkt minder voor te komen dan allergie voor pollen, huisstofmijten en huisdieren.(33,34)

De commerciële schimmelextracten welke gebruikt worden voor het vaststellen van een allergie (met behulp van huidpriktest of IgE test), bevatten niet altijd de relevante schimmelallergenen. De betekenis voor de gezondheid van de huidige beschikbare testen is hierdoor niet helemaal duidelijk.

Blootstelling aan schimmelbestanddelen kan echter ook andere gezondheidseffecten veroorzaken. Sporen kunnen soms infecties aan de luchtwegen veroorzaken (aspergillose). Verschillende schimmels produceren ook mycotoxinen (toxische bestanddelen), die ook een heel erg verschillende werking kunnen hebben. Het bekendste mycotoxine is aflatoxine, dat carcinogene eigenschappen heeft als het geconsumeerd wordt met besmette voedingsmiddelen. Er zijn weinig toxicologische gegevens bekend over mycotoxinen bij dermale en inhalatoire blootstelling.(35) Het belang van mycotoxinen in de binnenlucht is dan ook nog niet duidelijk.

Schimmels produceren ook bepaalde vluchtige verbindingen, zoals alcoholen, ketonen, aldehyden, esters en koolwaterstoffen. Deze zijn verantwoordelijk voor de 'schimmelgeur'. Niet-specifieke verschijnselen zoals keel-, neus- en oogirritatie worden in verband gebracht met blootstelling aan deze vluchtige verbindingen.(36) Maar ook hier geldt dat er op het moment te weinig informatie is voor een schatting van het gezondheidsrisico.(32)

EPS (extracellulaire polysachariden) en β -(1,3)-glucan zijn onderdelen van de celwand van schimmels. Deze stoffen kunnen mogelijk na inhalatie een lokale ontstekingsreactie veroorzaken. Bovendien hebben deze stoffen ook immunomodulerende werking (zie paragraaf 4.7 over de hygiënehypothese). Tot nu toe worden deze stoffen vooral gebruikt als 'markers' voor blootstelling aan schimmels.

Eind jaren negentig van de vorige eeuw ontstond in de Verenigde Staten grote ophef over de mogelijke gezondheidseffecten van blootstelling aan zogenaamde 'toxic molds'.⁽³⁷⁾ Hierbij werd uiteindelijk een specifieke schimmel (*Stachybotrys chartarum*, vroeger *S. atra*) verdacht van het veroorzaken van bloedingen in de longen (pulmonary hemorrhage) bij zeer jonge kinderen. Uiteindelijk is geconcludeerd dat in bepaalde situaties inhalatoire blootstelling aan dit soort toxische schimmels wel degelijk gevaarlijk kan zijn, maar dat de kans daarop eigenlijk alleen aanwezig is in zeer extreme situaties. Deze zwarte slijmerige schimmels groeien bijvoorbeeld alleen op plaatsen die continu nat zijn. Verder produceren ze ook niet in alle omstandigheden toxines en dient er natuurlijk ook nog daadwerkelijk inhalatoire blootstelling te zijn. Samenvattend kan geconcludeerd worden dat inhalatoire blootstelling aan *Stachybotrys* en andere giftige schimmels voornamelijk in de arbeidssituatie op zal treden en in de woonomgeving zeer onwaarschijnlijk is.⁽³⁸⁾

4.4.6 Het bestrijden van schimmels

Evenals bij het bestrijden van huisstofmijten geldt bij het bestrijden van schimmels dat vochtbestrijding van essentieel belang is. Hiervoor wordt verwezen naar hoofdstuk 3 'Vochtigheid'. Van gladde oppervlakken kunnen schimmels verwijderd worden met soda of chloor, opgelost in water, en een harde borstel. Van materialen waar de schimmeldraden in zijn doorgedrongen, zoals onder andere het geval kan zijn bij hout, kit en gips, kunnen de schimmels alleen verwijderd worden door het materiaal te verwijderen.

4.4.7 Juridische aspecten

Zie voor de juridische aspecten paragraaf 3.8 in het hoofdstuk 'Vochtigheid'.

4.5 Bacteriën

4.5.1 Wat zijn bacteriën?

Bacteriën zijn eenvoudige micro-organismen. Ze zijn eencellig en reproduceren zich door een simpele deling. De meeste bacteriën hebben dood organisch materiaal en water nodig voor hun groei. Bacteriën zijn op verschillende manieren in te delen. Een veelgebruikte methode maakt gebruik van de test van Gram. Deze methode verdeelt de bacteriën in twee groepen: de gram-positieve en de gram-negatieve bacteriën.

Sommige bacteriën worden via de lucht van mens tot mens verspreid. Lucht is echter een extreme omgeving voor bacteriën. Hun overlevingskansen in lucht worden sterk gelimiteerd door factoren als temperatuur en het vochtgehalte. Bacteriën verschillen in hun vermogen om te kunnen overleven bij verschillende vochtgehalten. Zo kan de *Escherichia coli* (*E.coli*) het best overleven bij een relatieve luchtvochtigheid tot 90%, terwijl de *Serratia marcescens* het best overleeft bij een relatieve luchtvochtigheid van 40% en lager.

4.5.2 Bronnen van bacteriën

De belangrijkste bronnen van voornamelijk gram-positieve bacteriën in de binnenlucht zijn mensen en dieren, direct of door het laten opwaaien van stof. Waterreservoirs zoals luchtbevochtigers kunnen bronnen zijn van gram-negatieve bacteriën. Groente/fruit en tuinafval(GFT)-bakken kunnen eveneens een bron van bacteriën in de binnenlucht vormen.⁽³⁰⁾

4.5.3 Het meten van bacteriën

Evenals bij schimmels is het moeilijk om het voorkomen van bacteriën in lucht betrouwbaar te meten. De resultaten van metingen kunnen niet gebruikt worden voor het nagaan van een relatie tussen de mate van blootstelling aan bacteriën en gezondheidseffecten. Bij het bepalen van bacteriën in huisstof wordt dezelfde methode gebruikt als bij het bepalen van schimmels in huisstof (zie paragraaf 4.4.3).

4.5.4 Referentiewaarden: bacteriën in woningen

Er is weinig informatie beschikbaar over de aanwezigheid van bacteriën in binnenlucht en huisstof, maar het aantal bacteriën kan aanzienlijk groter zijn dan het aantal schimmels. De bacteriën in de binnenlucht worden over het algemeen gedomineerd door micrococconen zoals *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus epidermidis* en in mindere mate *Staphylococcus aureus*. Er is wel steeds meer informatie beschikbaar over de aanwezigheid van bacteriebestanddelen, zoals endotoxine in de lucht binnenshuis en in huisstof. Toch is het lastig om referentiewaarden voor dit soort bestanddelen te geven, zodat metingen in individuele gevallen lastig te interpreteren zijn en daardoor weinig waarde hebben.

4.5.5 Effecten op de gezondheid

Sommige bacteriën kunnen infectieziekten bij de mens veroorzaken. Voornamelijk de gram-negatieve bacteriën zijn verantwoordelijk voor deze negatieve effecten op de gezondheid. Voorbeelden van bacterie-infecties, die door de lucht verspreid kunnen worden, zijn: tuberculose, wondinfecties, longontsteking, longpest, difterie, hersenvliesontsteking, legionella en psittacose.(25)

Bacteriën kunnen ook allergenen produceren. Blootstelling aan deze allergenen is in arbeidssituaties onder andere geassocieerd met astma, hypersensitieve pneumonitis en 'humidifier' koorts, of ODS (organic dust toxic syndrome). Symptomen van deze laatste ziektes zijn: koorts, rillingen, beklemmend gevoel in de borst en ademhalingsmoeilijkheden.

Gram-negatieve bacteriën bevatten endotoxine. Blootstelling aan endotoxinen kan verschillende ontstekingsreacties in de longen en luchtwegen veroorzaken.(39-41)

4.6 Andere allergenen

Verschillende geleedpotigen, die in het binnenmilieu voor kunnen komen, kunnen allergenen produceren. Van bijvoorbeeld zilversjies en pissebedden, welke naast huisstofmijten en schimmels vermoedelijk in verhoogde aantallen voorkomen in vochtige woningen, is bekend dat ze allergische rhinitis (neusverkoudheid) en astma kunnen veroorzaken.(42) Ook van kakkerlakken en rode muggenlarven is bekend dat zij allergenen kunnen produceren. Uit onderzoek bleek dat 30% van personen met een allergie tegen huisstofmijt, ook antilichamen in het bloed heeft tegen zilversjies, kakkerlakken of rode muggenlarven. Bij allergische personen zonder huisstofmijtallergie was 5% allergisch voor deze insecten.(43)

In 46 Amsterdamse woningen waarin een kakkerlakkenbestrijding was uitgevoerd, werden de gehalten kakkerlakkenallergeen (Bla g I) in stof bepaald. In 20 woningen werd dit allergeen in meetbare hoeveelheden aangetroffen. Slechts weinig mensen (één kind en zeven volwassenen) bleken ook daadwerkelijk gesensibiliseerd te zijn.(44) In de Verenigde Staten worden kakkerlakken echter vooral in de binnensteden gezien als een belangrijk allergeen.(45)

4.7 Hygiënehypothese

De afgelopen jaren is een hypothese ontstaan over de invloed van het milieu op het ontstaan van allergische aandoeningen. Er is namelijk in verschillende studies gevonden dat blootstelling aan bacteriële componenten zoals endotoxine (gram-negatieve bacteriën) en muraminezuur (gram-positieve bacteriën) een beschermende werking zouden kunnen hebben tegen sensibilisatie of misschien zelfs tegen astma. De hypothese veronderstelt een bepaalde verhouding tussen verschillende typen T-helpercellen (belangrijke cellen in ons afweersysteem). Bij mensen met een allergie lijken vaker meer T-helpercellen van het type 2 (Th2) voor te komen, terwijl mensen zonder allergie juist vaker meer Th1-cellen lijken te hebben. Nu blijkt ook dat verschillende microbiële componenten via ons aangeboren immuunsysteem een immunomodulerende werking kunnen hebben. Dat betekent dat dit soort componenten kunnen beïnvloeden hoe de T-helpercellen zich

ontwikkelen. Het hier geschetste model is een grove versimpeling van de theorie, het lijkt er bijvoorbeeld op dat blootstelling aan parasieten ook een belangrijke rol zou kunnen spelen bij het ontwikkelen van allergieën. Voor meer informatie hierover kunnen in het artikel van Yazdanbakhsh meer details gevonden worden.(46)

De hygiënehypothese is vooral ontstaan naar aanleiding van een aantal studies naar verschillende onderwerpen, zoals de studies van Strachan over de invloed van het aantal oudere broers en zussen op de prevalentie van hooikoorts in Engeland en de studie van Kramer et al. naar het verband tussen allergie en verblijf in kinderdagverblijven.(47,48) Daarna werd vooral in Midden-Europa veel onderzoek gedaan waarin kinderen uit boerenfamilies vergeleken werden met kinderen uit gewone families. Deze twee groepen kinderen verschillen enorm in de prevalentie van allergie, waarbij allergie bij de boerenkinderen veel minder vaak voorkomt. Daaruit kwam onder andere naar voren dat de blootstelling aan endotoxinen van deze twee groepen zeer verschillend was.(49) Ook verschillende andere studies onder niet-boeren lieten zien dat blootstelling aan endotoxinen en schimmelcomponenten geassocieerd leek te zijn met een lagere prevalentie van allergie en misschien ook van astma.(50,51) Er is ook wel kritiek op deze theorie, en die focust zich vooral op het feit dat het meeste bewijs afkomstig is uit dwarsdoorsnede-onderzoek en dat het allemaal het effect van selectie (misschien zelfs wel door de eeuwen bij bijvoorbeeld boeren) zou zijn. Misschien is het ook wel zo dat alle onderzoek te veel gericht is op iets dat we kunnen meten, zoals endotoxine, terwijl dat misschien slechts een marker is voor iets dat het effect veroorzaakt. Von Hertzen en Haahtela bijvoorbeeld opperen dat we het contact met de bodem zijn verloren en dat dat misschien de eigenlijke onderliggende oorzaak is voor het effect dat nu toegeschreven wordt aan endotoxine.(52) Dit alles kan worden samengevat onder de noemer hygiënehypothese, met de nadruk op het woord hypothese. Verschillende onderzoekers wereldwijd, dus ook in Nederland, zijn bezig om de hygiënehypothese verder te ontrafelen.(53)

4.8 Referenties

1. Pearce N, Pekkanen J, Beasley R. How much asthma is really attributable to atopy? *Thorax* 1999; 54: 268-72.
2. Mutius E von. The rising trends in asthma and allergic disease. *Clin Exp Allergy* 1998; Suppl 5: 45-9.
3. Chinn S, Burney P, Sunyer J, Jarvis D, Luczynska C. Sensitization to individual allergens and bronchial responsiveness in the ECRHS. European Community Respiratory Health Survey. *Eur Respir J* 1999; 14: 876-84.
4. Sunyer J, Jarvis D, Pekkanen J et al., Geographic variations in the effect of atopy in the European Community Respiratory Health Study. *J Allergy Clin Immunol* 2004; 114: 1033-9.
5. Brempel X van der, Haddi E, Michel-Nguyen A, et al. Comparison of the ACAREX test with monoclonal antibodies for the quantification of mite allergens. *J Allergy Clin Immunol* 1991; 86: 462-5.
6. Verhoeff AP, Strien RT van, Wijnen JH van, et al. Damp housing and childhood respiratory symptoms: the role of sensitization to dust mites and molds. *Am J Epidemiol.* 1995; 141: 103-10.
7. Strien RT van, Verhoeff AP, Brunekreef B, et al. Mite antigen in house dust: relationship with different housing characteristics in the Netherlands. *Clin Exp Allergy* 1994; 24: 843-53.
8. Strien RT van, Koopman LP, Kerkhof M, et al. Mite and pet allergen levels in homes of children born to allergic and non-allergic parents: the PIAMA study. *Environ Health Perspect* 2002; 110: A693-8.
9. Brunekreef B, Strien R van, Pronk A, et al. La mano de DIOS... was the PIAMA intervention study intervened upon? *Allergy* 2005; 60: 1083-6.

10. Voorhorst R, Spieksma-Boezeman MI, Spieksma FT. Is a mite (*Dermatophagoides* sp.) the producer of the house-dust allergen? *Allergy Asthma (Leiz)* 1964; 10: 329-34.
11. Sporik R, Holgate ST, Platts-Mills TA, et al. Exposure to house-dust mite allergen (Der p 1) and the development of asthma in childhood. A prospective study. *N Engl J Med* 1990; 323: 502-7.
12. Wahn U, Lau S, Bergmann R, et al. Indoor allergen exposure is a risk factor for sensitization during the first three years of life. *J Allergy Clin Immunol* 1997; 99: 763-9.
13. Lau S, Illi S, Sommerfeld C, et al. Early exposure to house-dust mite and cat allergens and development of childhood asthma: a cohort study. Multicentre Allergy Study Group. *Lancet* 2000; 356: 1392-7.
14. Brussee JE, Smit HA, Strien RT van, et al. Allergen exposure in infancy and the development of sensitization, wheeze, and asthma at 4 years. *J Allergy Clin Immunol* 2005; 115: 946-52.
15. Zock JP, Brunekreef B, Hazebroek-Kampschreur AA, et al. House dust mite allergen in bedroom floor dust and respiratory health of children with atshmatic symptoms. *Eur Respir J*. 1994; 7: 1254-9.
16. Wickman M, Nordvall SL, Pershagen G, et al. Sensitization to domestic mites in a cold temperate region. *Am Rev Respir Dis* 1993; 148: 58-62.
17. Woodcock A, Lowe LA, Murray CS, et al. Early life environmental control: effect on symptoms, sensitization, and lung function at age 3 years. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 170: 433-9.
18. Koopman LP, Strien RT van, Kerkhof M, et al. Placebo-controlled trial of house dust mite-impermeable mattress covers: effect on symptoms in early childhood. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 307-13.
19. Strien RT van, Brunekreef B, Verhoeff AP, et al. Vochtverschijnselen in woningen, huisstofmijtallergeen en CARA bij kinderen; Een patiënt-controle onderzoek. LUW, Vakgroep Humane Epidemiologie en Gezondheidsleer, rapport nr. 1992-463, 1992.
20. Halonen M, Stern DA, Wright AL, et al. *Alternaria* as a major allergen for asthma in children raised in a desert environment. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155: 1356-61.
21. Strien RT van, Driessen MN, Oldenwening M, et al. Do central vacuum cleaners produce less indoor airborne dust or airborne cat allergen, during and after vacuuming, compared with regular vacuum cleaners. *Indoor Air* 2004; 14: 174-7.
22. Almquist C, Larsson PH, Egmar AC, et al. School as a risk environment for children allergic to cats and a site for transfer of cat allergen to homes. *J Allergy Clin Immunol* 1999; 29: 626-32.
23. Heddemer ER, Sluis S ter, Buys JA, et al. Prevalence of *Chlamydomypha psittaci* in fecal droppings from feral pigeons in Amsterdam, the Netherlands. *Appl Environ Microbiol* 2006; 72: 4423-5.
24. Burge HA. *Bioaerosols*. Indoor Air Research Series, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA. 1995.
25. Marchie Sarvaas GJ du, Merkus PJFM, Jongste JC de. A Family with extrinsic allergic alveolitis caused by wild city pigeons: a case report. *Pediatrics* 2000; 105: 62-5.
26. Holst PAJ, Brand R. De sigaret en de huisvogel. Verslag van een aantal aspecten van een 10-jarige praktijksurvey naar relaties tussen rookgewoontes, huisdierbezit en morbiditeit. *T Soc Gezondheidsz* 1986; 64: 486-91.
27. Kohlmeier L, Arminger G, Bartolomeycik S, et al. Pet birds as an independent risk factor for lung cancer: a case-control study. *Br Med J* 1992; 305: 986-9.
28. Hollander A. Laboratory animal allergy ; allergen exposure assessment and epidemiological study of risk factors. Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1997.
29. Phipatanakul W, Eggleston PA, Wright EC, et al. Mouse allergen. II. The relationship of mouse allergen exposure to mouse sensitization and asthma morbidity in inner-city children with asthma. *J Allergy Clin Immunol* 2000 ; 106 : 1075-80.
30. Wouters IM, Douwes J, Doekes G, et al. Increased levels of markers of microbial exposure in homes with indoor storage of organic household waste. *Appl Environ Microbiol* 2000; 66 : 627-31.

31. Hunter CA, Grant C, Flannigan B, et al. Mould in buildings: the air spora of domestic dwellings. *Int Biodeterior* 1988; 24: 81-101.
32. Verhoeff AP. Home dampness, fungi and house dust mites, and respiratory symptoms in children. Erasmus Universiteit Rotterdam. Rotterdam, 1994.
33. Beaumont F. Aerobiological and clinical studies in mould allergy. Rijksuniversiteit Groningen. Groningen, 1985.
34. Niemijer NR, Monchy JGR. Age dependency of sensitization to aeroallergens in asthmatics. *Allergy* 1992; 47: 431-5.
35. Samson RA, Flannigan B, Flannigan ME, et al. Health implications of fungi in indoor environments. *Air quality monographs* 1992 Vol. 2. Elsevier. Amsterdam, 1992.
36. Samson RA. Occurrence of moulds in modern living and working environments. *Eur J Epidemiol* 1985; 1: 54-61.
37. Montana E, Etzel RA, Allan T, et al. Environmental risk factors associated with pediatric idiopathic pulmonary hemorrhage and hemosiderosis in a Cleveland community. *Pediatrics* 1997; 99: E5.
38. Bush RK, Portnoy JM, Saxon A, et al. The medical effects of mold exposure. *J Allergy Clin Immunol* 2006; 117: 326-33.
39. Michel O, Kips J, Duchateau J, et al. Severity of asthma is related to endotoxin in house dust. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154: 1641-6.
40. Park JH, Gold DR, Spiegelman DL, et al. House dust endotoxin and wheeze in the first year of life. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 163: 322-8.
41. Gehring U, Bolte G, Borte M. Exposure to endotoxin decreases the risk of atopic eczema in infancy: a cohort study. *J Allergy Clin Immunol* 2001; 108: 847-54.
42. Rijckaert G. Fast releasing allergens from some organisms living in house dust. Katholieke Universiteit Nijmegen. Nijmegen, 1981.
43. Witteman AM. Quantitative aspects of the IgE-mediated reaction in patients with asthma and rhinitis. Universiteit van Amsterdam. Amsterdam, 1995.
44. Wijnen JH van, Verhoeff AP, Mulder-Folkerts DK, et al. Cockroach allergen in house dust. *Allergy* 1997; 52: 460-4.
45. Rosenstreich DL, Eggleston P, Kattan M, et al. The role of cockroach allergy and exposure to cockroach allergen in causing morbidity among inner-city children with asthma. *N Engl J Med* 1997; 336: 1356-63.
46. Yazdanbakhsh M, Kremsner PG, Ree R van. Allergy, parasites and the hygiene hypothesis. *Science* 2002; 296: 490-4.
47. Strachan DP. Hay fever, Hygiene and household size. *BMJ* 1989; 299: 1259-60.
48. Kramer U, Heinrich J, Wjst M, et al. Age of entry to day nursery and allergy in later childhood. *Lancet* 1999; 353: 450-454.
49. Braun-Fahrlander C, Riedler J, Herz U. Environmental exposure to endotoxin and its relation to asthma in school-age children. *N Engl J Med* 2002; 347: 869-77.
50. Gehring U, Bischof W, Fahlbusch B, et al. House dust endotoxin and allergic sensitization in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 939-44.
51. Douwes J, Strien R van, Doekes G, et al. Does early indoor microbial exposure reduce the risk of asthma? The Prevention and Incidence of Asthma and Mite Allergy birth cohort study. *J Allergy Clin Immunol* 2006; 117: 1067-73.
52. Herten L von, Haahtela T. Disconnection of man and the soil: reason for the asthma and atopy epidemic? *J Allergy Clin Immunol* 2006; 117: 334-44.
53. Schram-Bijkerk D. Microbial agents, allergens and atopic diseases – contributions to the Parsifal study. Proefschrift Universiteit Utrecht. Utrecht, 2006.

5

Emissies uit bouw- en inrichtingsmaterialen

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt in tabelvorm weergegeven wat de meest voorkomende stoffen zijn die vrijkomen uit bouw- en woninginrichtingsmaterialen. Daarbij wordt vermeld uit welke materialen deze stoffen kunnen vrijkomen, welke klachten dit zou kunnen veroorzaken en in welk hoofdstuk in dit handboek meer informatie te vinden is over deze stoffen. Het doel van dit hoofdstuk is het geven van een overzicht en een wegwijzer in het handboek waar het emissies uit bouw- en inrichtingsmaterialen betreft. Het wijkt daarmee af van de andere hoofdstukken in dit handboek.

Gemiddeld brengen Nederlanders ongeveer 85% van hun tijd in gebouwen door, waarvan ongeveer 70% in de eigen woning.⁽¹⁾ Gezien het langdurige verblijf binnenshuis, is het van belang dat de kwaliteit van het binnenmilieu geen aanleiding geeft tot gezondheidsklachten. In het binnenmilieu van woningen kan een groot aantal verontreinigingen voorkomen die afkomstig zijn van bouw- en woninginrichtingsmaterialen. Hierbij kan worden gedacht aan bijvoorbeeld vluchtige stoffen uit vloer- en wandbekleding, vezels uit isolatiewollen en radon uit baksteen en beton. Blootstelling van de mens aan deze agentia kan leiden tot diverse gezondheidseffecten, waaronder geurhinder, irritatie van ogen en luchtwegen, astma, onderdrukking van het zenuwstelsel en kanker. Bij GGD'en komen met enige regelmaat meldingen binnen van mensen die in hun woning gezondheidsklachten ondervinden door emissies uit bouw- en inrichtingsmaterialen en/of hierover bezorgd zijn. Of stoffen uit bouw- en inrichtingsmaterialen daadwerkelijk tot hinderlijke of schadelijke effecten bij de mens kunnen leiden is afhankelijk van meerdere factoren, waaronder de aard, kwaliteit en samenstelling van het materiaal, de wijze waarop het materiaal is bewerkt of verwerkt, de toegepaste beschermende maatregelen, de toxiciteit van de stof en de gevoeligheid van de mens.

5.2 Overzichtstabel

Tabel 5.1 op de volgende pagina's geeft een overzicht van bouw- en inrichtingsmaterialen die kunnen leiden tot verhoogde concentraties van hinderlijke of schadelijke agentia in het binnenmilieu. Deze tabel bevat zowel stoffen die tijdens en kort na het bouwen of inrichten vrijkomen (bijvoorbeeld alifatische verbindingen uit verven en lakken, di-isocyanaten uit polyurethaanschuim), als stoffen die gedurende een aanzienlijk deel van de levensduur kunnen vrijkomen uit bouw- en inrichtingsmaterialen (bijvoorbeeld formaldehyde uit plaatmaterialen, ftalaten uit PVC-vloerbedekking). Uitgangspunt bij het opstellen van deze tabel was niet het weergeven van een uitputtende lijst van bouw- en inrichtingsmaterialen die kunnen leiden tot emissies naar het binnenmilieu, maar het benoemen van de meest voorkomende agentia en materialen die aanleiding kunnen geven tot bezorgdheid en/of gezondheidsklachten bij bewoners.

5.3 Juridische aspecten

Toepassing van bouwmaterialen, waaruit schadelijke of hinderlijke stoffen kunnen vrijkomen, is gebonden aan bepaalde voorschriften. Deze zijn vermeld in het Bouwbesluit 2003. Voor verdere informatie wordt verwezen naar het betreffende hoofdstuk dat in de Tabel 5.1 vermeld wordt.

Tabel 5.1 Agentia uit bouw- en woningrichtingmaterialen die aanleiding kunnen geven tot gezondheidsklachten

Agentia	Veelvoorkomende materialen	Gezondheidsklachten	Hoofdstuk
Flatalen	kunststof producten, bijvoorbeeld: <ul style="list-style-type: none"> • PVC-vloerbekleding • leidingen en buizen • kunststof dakbekleding • kabe ls • vinylbehang 	<ul style="list-style-type: none"> • associatie tussen concentraties ftalaten in huisstof en astma, rhinitis en eczeem bij kinderen • reproductietoxische (en carcinogene) eigenschappen in proefdieren 	6 VOS
Broomhoudende brandvertragers	<ul style="list-style-type: none"> • diverse bouw- en inrichtingsmaterialen • huishoudelijke apparatuur 	<ul style="list-style-type: none"> • verstoring van de hormoonhuishouding en neurologische effecten in proefdieren 	6 VOS
Asbest	<ul style="list-style-type: none"> • asbestcement • oude vloerbekleding • plaatmaterialen • huishoudelijke apparaten 	<ul style="list-style-type: none"> • mesothelioom (kanker longvlies/buikvlies) • asbestose • goedaardige ontsteking van het borstvlies met pleurale plaques • longkanker (in combinatie met roken) 	10 Asbest en minerale kunstvezels
Radon	<ul style="list-style-type: none"> • beton • cement • baksteen • (fosfo)gips • kalkzandsteen 	<ul style="list-style-type: none"> • longkanker (effect wordt versterkt door roken) 	13 Ioniserende straling
Aldehyden (waaronder formaldehyde)*	<ul style="list-style-type: none"> • plaatmaterialen (triplex, spaanplaat) • verven • ureumformaldehydeschuim • woningtextiel (meubelbekleding, gordijnen, tapijt) • PVC-vloerbekleding • hout 	<ul style="list-style-type: none"> • irritatie van ogen en luchtwegen • allergische reacties (formaldehyde): astma-achtige klachten, eczeem 	6 VOS
Terpenen*	<ul style="list-style-type: none"> • hout bewerkt met meubelolie of -was • (onbewerkt) hout 	<ul style="list-style-type: none"> • irritatie van huid, ogen en luchtwegen 	6 VOS
Zware metalen	<ul style="list-style-type: none"> • oude verflagen van voor 1980 (lood, kwik, cadmium) • hout bewerkt met houtverduur-zamingsmiddelen (CCA-zouten) • loden waterleidingen (voor 1945) • producten van PVC (organotinverbindingen) • textiel, luiers, maandverband, tentdoek, leer (organotinverbindingen) • glascoatings (organotinverbindingen) • interieurverf (organotinverbindingen) 	<ul style="list-style-type: none"> • neurologische effecten (kwik, lood, organotinverbindingen) • nierschade (kwik, cadmium, organotinverbindingen) • lever- en galproblemen (organotinverbindingen) • verstoring (schildklier) hormoonhuishouding, effecten op seksuele ontwikkeling en vruchtbaarheid (lood, cadmium, organotinverbindingen) • carcinogene effecten (arsen, chroom) • immunotoxische eigenschappen (organotinverbindingen) • irritatie van huid en ogen, anemie, misselijkheid, maagpijn, droge mond, verstoord zicht en kortademigheid (organotinverbindingen) 	11 Kwik, lood, cadmium en organotin 7 Bestrijdings- en schoonmaakmiddelen
Di-isocyanaten*	<ul style="list-style-type: none"> • polyurethaanschuim • lijmen en kittens • (parquet)lakken 	<ul style="list-style-type: none"> • irritatie van huid, ogen en luchtwegen • allergische reacties: astma-achtige klachten, huidirritatie 	6 VOS
Minerale kunstvezels (MMMF)	<ul style="list-style-type: none"> • isolatiewollen (o.a. glaswol, steenwol, slakkenwol) • glasvezelbehang 	<ul style="list-style-type: none"> • irritatie van huid, ogen en bovenste luchtwegen • longfibrose 	10 Asbest en minerale kunstvezels
Allifatische alkanen*	<ul style="list-style-type: none"> • verven • lakken • lijmen • hydrofobering van gevels 	<ul style="list-style-type: none"> • irritatie ogen en luchtwegen • onderdrukking centraal zenuwstelsel • (verdacht van) reproductietoxische eigenschappen 	6 VOS; 7 Bestrijdings- en schoonmaakmiddelen

Agentia	Veelvoorkomende materialen	Gezondheidsklachten	Hoofdstuk
Gechloreerde alkanen*	<ul style="list-style-type: none"> • verven • lakken • lijmen 	<ul style="list-style-type: none"> • irritatie ogen en luchtwegen • onderdrukking centraal zenuwstelsel (verdacht van) carcinogene eigenschappen • (verdacht van) reproductietoxische eigenschappen 	6 VOS
Gechloreerde benzenen*	<ul style="list-style-type: none"> • verven • lakken • lijmen 	<ul style="list-style-type: none"> • irritatie ogen en luchtwegen • onderdrukking centraal zenuwstelsel 	6 VOS
Aromatische koolwaterstoffen*	<ul style="list-style-type: none"> • verven • lakken • kneedbaar hout (styreen) • bitumenemulsies voor waterdicht maken van vloeren/muren (naffaleen) 	<ul style="list-style-type: none"> • irritatie ogen en luchtwegen • onderdrukking centraal zenuwstelsel • (verdacht van) carcinogene eigenschappen • (verdacht van) reproductietoxische eigenschappen 	6 VOS
Bestrijdingsmiddelen	<ul style="list-style-type: none"> • metselwerk (conserveringsmiddelen) • hout bewerkt met houtverduurzamingsmiddelen • verven, lijmen en muurpleister op waterbasis (schimmelwerende middelen) • textiele vloerbekleding, gordijnen (schimmel-, mot en huisstofmijtwerende middelen) • schimmelwerende verven 	<ul style="list-style-type: none"> • allergische reacties: irritatie van ogen, luchtwegen en huid (schimmelwerende middelen, bijvoorbeeld Kathon CG) • effecten op de stofwisseling, het immuunsysteem, de hormoonhuishouding, teratogene effecten (POP's) • effecten op het zenuwstelsel (POP's, pyrethroiden) • carcinogene effecten (CCA-zouten, POP's) 	7 Bestrijdings- en schoonmaakmiddelen 6 VOS (Kathon)
Polychloorbifenylen (PCB's)	<ul style="list-style-type: none"> • katten, verven, plafondplaten en muurpleister ('roughcast') van voor 1985 	<ul style="list-style-type: none"> • huidklachten (huidirritatie en chlooracne) • oogandoeningen • leverschade • verstoring van de schildklierhormoonbalans • afgenomen weerstand tegen infecties • (verdacht van) carcinogene eigenschappen • (verdacht van) reproductietoxische eigenschappen 	6 VOS
Dioxinen	<ul style="list-style-type: none"> • beton • verbranding van chloorhoudende materialen (kunststof) 	<ul style="list-style-type: none"> • voor een aantal dioxinen: carcinogene en reproductietoxische eigenschappen en effecten op het immuunsysteem in proefdieren • aanwijzingen voor effect op cognitieve en psychomotorische ontwikkeling bij kinderen • chlooracne 	9 Stof
(Fijn) stof	<ul style="list-style-type: none"> • slecht onderhouden filtersystemen • isolatiewollen • gevelreiniging (droog) 	<ul style="list-style-type: none"> • vermindering van de longfunctie • toename van luchtwegklachten zoals piepen, hoesten en kortademigheid • verergering astma (vooral bij kinderen) • verergering klachten gerelateerd aan hart- en vaatziekten zoals vaatvernauwing, verhoogde bloedstolling en verhoogde hartsnelheid 	9 Stof 7 Bestrijdings- en schoonmaakmiddelen
(Bouw)vocht*	<ul style="list-style-type: none"> • tot enkele jaren na de bouw van de woning, afkomstig uit: <ul style="list-style-type: none"> • bindmiddelen • beton • cement • stucwerk 	<ul style="list-style-type: none"> • luchtwegklachten, waarschijnlijk door verhoogde blootstelling aan allergenen en/of andere biologische contaminanten (vooral bij kinderen) 	3 Vochtigheid

* Sommige stoffen uit deze categorieën kunnen aanleiding geven tot geurhinder .

5.4 Referenties

1. Passchier-Vermeer W, Kluizenaar Y de, Steenbekkers JHM, Dongen JEF van, Wijlhuizen GJ, Miedema HME. Milieu & Gezondheid 2001: overzicht van risico's, doelen en beleid. Publ. nr. 2001.95. TNO Preventie en Gezondheid. Leiden, 2001.

6 Vos

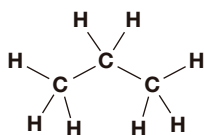
6.1 Inleiding

Organische stoffen zijn – in de letterlijke zin van het woord – koolstofbevattende stoffen die door de ‘levende’ natuur (door organismen) zijn gevormd. Als voorbeelden kunnen suiker, wol en penicilline worden genoemd. Kenmerkend voor organische stoffen is dat zij zijn opgebouwd uit koolstof (C) en vrijwel altijd uit waterstof (H). Daarnaast kunnen zij zuurstof (O), stikstof (N), chloor (Cl), broom (Br), jodium (I), fluor (F) en zwavel (S) bevatten. Tegenwoordig worden veel organische stoffen op kunstmatige wijze geproduceerd. De term ‘vluchtig’ geeft aan, dat het hier om een groep verbindingen gaat die in meer of mindere mate kunnen verdampen. De vluchtigheid van een stof wordt bepaald door de dampspanning. Bij een toename van de temperatuur stijgt de dampspanning van stoffen, en dus ook de vluchtigheid. Vluchtige organische stoffen (VOS) worden in dit hoofdstuk gedefinieerd als: organische (vloei)stoffen welke bij kamertemperatuur of temperaturen even daarboven vluchtig zijn. In het algemeen kan gezegd worden dat vanaf 10^{-5} mbar verzadigde dampspanning (bij kamertemperatuur) relevante concentraties van een stof in de binnenlucht kunnen optreden door verdamping¹.

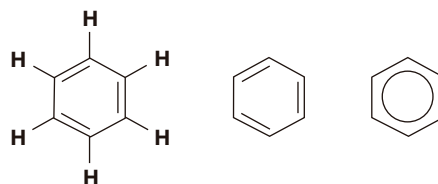
Er zijn zeer veel verschillende organische stoffen. Men onderscheidt in het algemeen twee hoofdgroepen:

1. de ‘alifatische’ koolwaterstoffen, die zijn opgebouwd uit al dan niet vertakte koolstofketens (zie Figuur 6.1);
2. de ‘cyclische’ verbindingen, waarbij ten minste een deel van de koolstofatomen in ringen is gerangschikt (zie Figuur 6.2).

Tot de alifatische verbindingen behoren de zogeheten alkanen en de gechloteerde alifatische koolwaterstoffen. De aromatische koolwaterstoffen en de gechloteerde benzenen zijn cyclische verbindingen. De alkanen, gechloteerde alifatische koolwaterstoffen, aromatische koolwaterstoffen, gechloteerde benzenen en aldehyden vormen veelvoorkomende groepen van VOS in het binnenmilieu. Echter, ook vluchtige stoffen die niet tot deze groepen behoren zoals terpenen, di-isocyanaten, ftalaten en brandvertragers, kunnen in voor de gezondheid relevante concentraties in het binnenmilieu voorkomen.(1-5)



Figuur 6.1 Voorbeeld van een alifatische verbinding: propaan



Figuur 6.2 Voorbeeld van een cyclische verbinding: benzeen (drie manieren voor het noteren van de structuurformule)

¹ Voor het achterhalen van de dampspanning kunnen de chemiekaarten van de desbetreffende stoffen worden nageslagen.

Een veelvoorkomende groep van VOS in het binnenmilieu wordt gevormd door de aldehyden. 'Aldehyden' is een verzamelnaam voor een grote groep van chemische stoffen die een carbonylgroep bevatten waaraan een waterstofatoom is gebonden. Aldehyden zijn van nature voorkomende gasen. De concentraties zijn gewoonlijk hoger in de binnenlucht dan in de buitenlucht. Het zijn relatief reactieve organische verbindingen die afwijken van de overige VOS wat betreft de meetmethode. Het bekendste aldehyde is formaldehyde. In de jaren zeventig ontstond er veel belangstelling voor formaldehyde in verband met de 'spaanplaatproblematiek'. Er kwamen veel klachten over irritatie van ogen en slijmvliezen doordat spaanplaat veelvuldig werd toegepast. Door eisen te stellen aan de maximale uitdamping van formaldehyde uit spaanplaat is de problematiek verminderd.

Vanwege de verschillen tussen aldehyden en andere VOS voor wat betreft de inspectie (bronopsporing) en meetmethoden, worden de aldehyden in dit hoofdstuk deels afzonderlijk van de andere VOS beschreven.

In het kader van dit handboek voert het te ver om alle VOS die in het binnenmilieu (kunnen) worden aangetroffen te bespreken. In 2004 heeft het RIVM een aantal VOS geselecteerd, die op grond van de literatuur of vanuit de praktijk in verband zijn of worden gebracht met (verontreiniging van) het binnenmilieu.⁽⁶⁾ De door het RIVM opgestelde lijst is in dit hoofdstuk gebruikt als leidraad voor de selectie van stoffen. Een aantal verbindingen is op grond van literatuur of praktijkbevindingen aan het hoofdstuk toegevoegd.

6.2 Bronnen

VOS komen voor in talloze producten die zowel in de industrie als in het huishouden veel worden toegepast. Door het grote aantal is het ondoenlijk om een volledige opsomming te geven van de producten die VOS bevatten. Bovendien is meestal niet de volledige productsamenstelling bekend, omdat ten eerste deze niet wordt vrijgegeven door de producent en ten tweede de samenstelling varieert per producent en per geproduceerde hoeveelheid ('batch'). De onderstaande lijst van producten geeft een indruk van de vele toepassingsgebieden van met name alifatische alkanen, gechlorideerde alifatische verbindingen, aromatische koolwaterstoffen en gechlorideerde benzenen:

- brandstoffen (benzine, kerosine, stookolie, petroleum, aardgas, lampenolie, enzovoort);
- verven en lakken (hout- en metaallakken, voorzover niet op waterbasis, olieverf, enzovoort);
- oplosmiddelen (terpentine, terpentijn, verfabijt, nagellakremover, enzovoort);
- schoonmaakmiddelen (schoenpoets, boenwas, vlekkenwater, chemische reiniging, gevelreiniging, enzovoort);
- hydrofoberingsmiddelen (middelen waarmee oppervlakken – zoals muren – waterafstotend worden gemaakt);
- bestrijdingsmiddelen;
- lijmen en kitten;
- spuitbussen (drijfgassen);
- luchtverfrissers (toiletspray's en -blokken, deodorant, elektrische luchtverfrissers in woonruimtes, enzovoort);
- inkten (bijvoorbeeld inkten toegepast bij offset- en zeefdruk).

Aldehyden die in het binnenmilieu kunnen voorkomen zijn onder andere formaldehyde, acetaldehyde, propanal, crotonaldehyde, butanal, benzaldehyde, 2-methylbutanal, hexanal, acroleïne (acrylaldehyde), chlooracetaldehyde, furfural (2-furaldehyde), glutaaraldehyde (succinaldehyde) en valerianaaldehyde (pentanal). Formaldehyde is één van de meest voorkomende aldehyden binnenshuis. Bronnen van aldehyden in het binnenmilieu zijn: (onvolledige) verbranding van gas of olie bij koken en verwarming, roken, parfum, haarlakspray, plaatmaterialen, houtproducten, ureumfoam, vloerbekleding, verf en uitlaatgassen vanuit de buitenlucht. Aldehyden (en andere irriterende verbindingen) kunnen ook ontstaan door een reactie van terpenen met ozon.⁽⁷⁻⁹⁾

Zachte onbewerkte houtsoorten zoals vuren, grenen en dennenhout vormen bronnen van terpenen in de woning, met name van limoneen, α -pineen en δ 3-carene.(10) Ondanks de grote verschillen in hun structuur, zijn alle terpenen afkomstig van het molecuul isopentenyl difosfaat (IPP), dat uit vijf koolstofatomen bestaat. Terpenen hebben vaak een harsachtige of bloemachtige geur en worden vanwege deze eigenschap toegevoegd aan luchtverfrissers, schoonmaakmiddelen, meubelwassen en -oliën.(9,11,12) Limoneen is bijvoorbeeld de belangrijkste component van citrusgeur. Terpenen zijn onverzadigde VOS en zijn daardoor reactief. Uit de reactie van terpenen met ozon kunnen, naast gasvormige verbindingen, ook zeer fijne deeltjes (aërosolen) worden gevormd.(12,9,7)

Twee categorieën van vluchtige stoffen die zeer algemeen worden toegepast, zijn de ftalaten (weekmakers) en de (broomhoudende) brandvertragers. Het is bekend dat deze stoffen gedurende lange tijd kunnen uitdampen naar de omgeving. Ftalaten zijn semi-vluchtige stoffen die kunststof soepeler maken en bovendien allerlei eigenschappen beïnvloeden, zoals de verwerkbaarheid, oplosbaarheid, koudebestendigheid en elektrische weerstand. Daarom worden ze aan talloze kunststof bouwmaterialen, polyvinylchloride (PVC) vloerbekleding (zeil, vinyl), vinylbehang, kisten en sommige verven toegevoegd. Ftalaten die op grote schaal zijn toegepast zijn di-2-ethylhexylftalaat (DEHP), diisodecylftalaat (DIDP), diisononylftalaat (DINP), dibutylftalaat (DBP), butylbenzylftalaat (BBzP) en diethylftalaat (DEP).(2,4) Een groot deel van de in de woning uitgedampte ftalaten condenseert en vormt aërosolen of slaat neer op oppervlakken zoals muren en ramen, en stofdeeltjes.(2) De uitdamping van ftalaten uit materialen in de woning speelt waarschijnlijk een rol bij het ontstaan van sommige zwartverkleuringen. Zie hiervoor het hoofdstuk 20. Hoge temperaturen bevorderen de uitdamping van ftalaten. Verder heeft het vochtgehalte van de omgeving invloed. Wanneer PVC-vloerbekleding bijvoorbeeld gelegd wordt op een vochtige, niet goed uitgeharde, betonvloer zal de uitdamping van ftalaten hoger zijn. Voor de afdichting van platte daken wordt tegenwoordig veel gebruikgemaakt van kunststof dakfolie. Dakfolie van PVC bevat ftalaten die kunnen uitdampen en via aan het dak grenzende ventilatieopeningen of ramen de woning kunnen binnenkomen. Verwarming van PVC-daken door de zon kan in theorie leiden tot een verhoogde uitdamping van ftalaten. Daarnaast wordt de uitdamping van ftalaten uit PVC-dakbedekking beïnvloed door de aanwezigheid van grind of vuil op het dak. Voor dakbedekking die DEHP bevat, wordt de uitdamping van DEHP geschat op 0,3 gewichtsprocent per jaar wanneer er geen grind gebruikt wordt. Wanneer er wel grind aanwezig is wordt de uitdamping geschat op 0,7 gewichtsprocent per jaar.(13)

Brandvertragers worden toegevoegd aan een groot aantal bouwmaterialen en talloze gebruiksvoorwerpen, zoals computers, televisies en kleding, om ervoor te zorgen dat de materialen minder snel vlamvatten. Gebromeerde brandvertragers worden zeer veel toegepast vanwege hun lage kosten en grote effectiviteit. De meest toegepaste gebromeerde brandvertragers zijn de polybroomdifenylethers (PBDE's, bijvoorbeeld decabromodifenylether, octabromodifenylether en pentabromodifenylether), tetrabromobisfenol A (TBBP-A) en hexabromocyclododecaan (HBCD).(14) Gebromeerde brandvertragers in producten kunnen uitdampen en kunnen worden aangetroffen in huisstof en in binnenlucht.(15-17)

Voor een aantal VOS die invloed kunnen hebben op de kwaliteit van het binnenmilieu, wordt in Tabel 6.1 een overzicht gegeven van de belangrijkste toepassingen. In het RIVM-rapport 'VOS in het binnenmilieu van woningen' uit 1993 wordt een vrij uitgebreid overzicht gegeven van bronnen van VOS in de woning.(18) Op een aantal bronnen wordt hieronder dieper ingegaan.

6.2.1 Verven en lakken

Er zijn veel soorten verven en lakken op de markt die binnenshuis worden gebruikt. Tijdens en kort na het schilderen of lakken binnenshuis, met producten op basis van organische oplosmiddelen, kunnen verhoogde concentraties VOS in de woning worden aangetroffen. De VOS die kunnen worden aangetroffen verschillen per verfsoort. Verven en lakken op basis van polyurethaan (bijvoorbeeld parketlakken) bevatten di-isocyanaten (zie ook het kopje 'Isolatiematerialen'). Twee-

componentenverven en lakken op basis van epoxyharsen, die door professionele schilders en sommige hobbyisten worden gebruikt vanwege hun goede hechting en slijtvastheid (onder andere toegepast als bescherm laag voor houten boten, surfplanken en in de modelbouw), bevatten snelverdampende amines. De traditionele verven, de alkydverven, zijn verven op basis van organische oplosmiddelen. Voorbeelden van oplosmiddelen zijn glycolen en glycolethers, terpentijn, alcoholen, xyleen, toluen en ethylbenzeen.

In een onderzoek naar het vrijkomen van VOS tijdens het drogen van verschillende alkydverven (die voor ongeveer 30% van het gewicht bestonden uit organische oplosmiddelen) bleek dat ongeveer 90% van de VOS (vooral alkanen en aromaten) vrijkomen gedurende de eerste tien uur na het aanbrengen van de verf. Twee weken na het aanbrengen waren vrijwel alle aanwezige VOS uitgedampt.(19)

Ter vervanging van verven op basis van organische oplosmiddelen worden steeds meer verfmaterialen op waterbasis gebruikt. De bekendste zijn de acrylverven en de latexverven. Hoewel deze verven veel lagere concentraties organische oplosmiddelen bevatten, zijn deze concentraties niet nul en kunnen ook hieruit vluchtige stoffen vrijkomen. Schimmelwerende verven en sommige verven, muurpleisters en lijmen op waterbasis bevatten schimmelwerende middelen die gedurende lange tijd kunnen vrijkomen in de woning en aanleiding kunnen geven tot gezondheidsklachten.(20) Meer informatie hierover is te vinden in het hoofdstuk 7 'Bestrijdings- en schoonmaakmiddelen'.

Ook hulpmiddelen bij het verven, zoals verfabijtmiddelen, terpentijn, kwastenreiniger en -ontharder, bestaan deels uit VOS. Traditionele afbijtmiddelen bestaan bijna volledig uit oplosmiddelen. Het meest gebruikte oplosmiddel in afbijtmiddelen is dichloormethaan. Andere gebruikte oplosmiddelen zijn methanol, N-methylpyrrolidon en 'dibasic esters'. Afbijtmiddel op waterbasis bestaat voor 'slechts' 30% uit organische oplosmiddelen, te weten 'dibasic esters' die langzaam verdampen. In plaats van de bovenstaande afbijtmiddelen kunnen sterk basische stoffen (logen) als afbijtmiddel worden gebruikt, bijvoorbeeld natronloog. Alleen watergedragen afbijtmiddel en afbijtmiddel op basis van logen mogen binnenshuis worden toegepast. Deze producten vormen met name tijdens het gebruik een gezondheidsrisico. Logen zijn zeer schadelijk voor huid en ogen en kunnen ernstige, zeer diepe, brandwonden veroorzaken.

6.2.2 Lijmen en katten

Er zijn veel soorten lijmen en katten ontwikkeld voor een groot aantal toepassingen. Sommige bevatten gechloreerde alifatische koolwaterstoffen en aromatische koolwaterstoffen, zoals dichloormethaan, trichloorethaan, trichlooretheen, toluen en xyleen. Montagekitten, PVC-kitten, PVC-lijmen, universeellijmen en contactlijmen bestaan vaak voor een groot deel uit organische oplosmiddelen. Tweecomponenten-polyurethaanlijmen bevatten di-isocyanaten (zie ook onder het kopje 'Isolatiematerialen' hierna); epoxylijmen bevatten amines. Ook lijmverwijderaars en ontvetters bestaan vaak deels uit VOS. Om de emissie van VOS te beperken wordt er tegenwoordig steeds meer gebruikgemaakt van lijmen en katten met een laag gehalte VOS of lijmen op waterbasis. Een nadeel van deze lijmen is dat het (natuurlijk) drogen soms beduidend langer kan duren dan bij lijmen op basis van organische oplosmiddelen.

In (publieke) gebouwen die gebouwd zijn voor 1985 kunnen polychloorbifenylen (PCB's)-bevattende katten of afdichtingsmaterialen zijn gebruikt. Deze werden in het verleden onder andere gebruikt om gebouwdelen aan elkaar te bevestigen en als afdichting rondom ramen. Vanwege hun brandwerende en weekmakerachtige eigenschappen werden PCB's ook verwerkt in andere bouwmaterialen, zoals verven, plafondplaten en muurpleister ('roughcast') en in elektrische apparaten zoals koelkasten en televisies.(21,22) In 1985 werden de productie en het gebruik van PCB's volledig verboden vanwege hun persistente eigenschappen en de bewijzen voor negatieve gezondheidseffecten. PCB's hebben echter een lage dampspanning. Ze kunnen gedurende lange perioden vrijkomen uit PCB's bevattende materialen en apparaten. Uit metingen in gebouwen waarin destijds (voor het verbod op het gebruik van PCB's in 1985) PCB's bevattende materialen

waren toegepast, blijkt dat PCB's nog steeds aangetoond kunnen worden in het huisstof en de binnenlucht.(21-25)

6.2.3 Isolatiematerialen

Tijdens en na het isoleren van spouwmuren kunnen VOS vrijkomen in de woning (zie ook paragraaf 6.3 'Inspectie'). Bij het aanbrengen van ureumformaldehyde-isolatieschuim (UF-isolatieschuim) voor spouwmuurisolatie komt formaldehyde vrij. Het vrijgekomen formaldehyde kan de woning binnendringen door openingen, naden of kieren in de spouwmuur. Over het algemeen is de formaldehydeafgifte het hoogst tijdens en tot enkele weken na het aanbrengen van het isolatieschuim. Een sterke zoninstraling bevordert de afgifte van formaldehyde.

Uit het bindmiddel van glas- en steenwol isolatiematerialen kan eveneens formaldehyde (en andere aldehyden) vrijkomen.

Een veelgebruikt isolatiemateriaal is polyurethaanschuim (PUR). Polyurethaan wordt geproduceerd door een polymerisatiereactie van di-isocyanaten met een polyol. Door de aanvankelijk stroperige vloeistof te mengen met een blaasmiddel kan PUR als schuim worden aangebracht, bijvoorbeeld bij reeds bestaande spouwmuren of vloeren. Bij het isoleren wordt meestal gebruikgemaakt van harde PUR-schuimen die methaan-difenyldi-isocynaat (MDI) bevatten. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen één-componentenschuim en twee-componentenschuim. Eén-componentenschuim is het basisproduct voor alle dichtings- en montagewerken en wordt geleverd in een spuitbus (of cilinder). Het schuim hardt uit door reactie van de aanwezige prepolymeren met vocht uit de omgeving (uitharding is dus afhankelijk van de luchtvochtigheid). Eén-componentenschuim bevat ongeveer 7-10% vrij MDI.(26) De tijdsduur van het uitharden van één-componentenschuim is afhankelijk van de temperatuur, de dikte van de aangebrachte isolatielaag en de luchtvochtigheid. Twee-componentenschuim wordt vooral door professionele isolatiebedrijven gebruikt, af en toe door hobbyisten. Ter plaatse worden twee cilinders, elk gevuld met een verschillende component (MDI en polyol met een katalysator), gedoseerd en gemengd in een speciaal hiervoor ontwikkeld pistool. Twee-componentenschuimen zijn niet afhankelijk van de aanwezige luchtvochtigheid en verharden sneller dan één-componentenschuimen. Omdat geen gebruik wordt gemaakt van prepolymeren is het risico op blootstelling aan MDI bij deze methode hoger dan bij gebruik van één-componentenschuim. Wanneer het op de juiste wijze aangebracht wordt, zal na het uitharden geen MDI meer uitdampen naar de omgeving.(26,5) Gedurende enkele dagen na vloerisolatie met PUR kan er sprake zijn van geurhinder. Geuroverlast komt vooral voor bij woningen waarvan de kruipruimte niet goed wordt geventileerd.

Bij verhitting van polyurethaanschuim komen weer di-isocyanaten vrij. Dit geldt ook voor verven, lakken en kisten met polyurethaan.(5) Verhitting kan optreden tijdens schoonbranden, maar ook bij slijpen, schuren of zagen.

6.2.4 Waterwerende materialen

Organische oplosmiddelen die aan de buitenkant van de gevel worden aangebracht voor gevelreiniging (onder andere dichloormethaan) en hydrofobering, kunnen door de gevel dringen en sporadisch aanleiding geven tot stankhinder en gezondheidsklachten door verhoogde concentraties VOS binnenshuis (zie ook de paragraaf 6.5 over referentiewaarden en hoofdstuk 7 'Bestrijdings- en schoonmaakmiddelen'). Tegenwoordig worden voor deze werkzaamheden waar mogelijk producten op waterbasis gebruikt. Om vloeren en muren water- en dampdicht te maken wordt soms een (teerhoudende) bitumenemulsie aangebracht op deze oppervlakken. De emulsie bevat ongeveer 1 tot 2% naftaleen en wordt na het aanbrengen afgedekt. Na het aanbrengen van deze producten kan er tijdelijk sprake zijn van geurhinder en kunnen de concentraties naftaleen in de woning verhoogd zijn.(27,28)

6.2.5 Plaatmaterialen

De aanwezigheid van onbedekte plaatmaterialen (vooral bouwspanplaat en meubelspanplaat) kan leiden tot verhoogde formaldehydeconcentraties in woningen. Spanplaat, 'Medium Density

Fiberboard' (MDF) en 'Oriented Strand Board' (OSB) worden gefabriceerd door platen te persen van een mengsel van houtspaanders en/of vlasvezels met een bindmiddel ('lijm'). Meestal wordt lijm op basis van ureumformaldehyde gebruikt, waaruit formaldehyde kan vrijkomen. De mate waarin formaldehyde uit deze plaatmaterialen vrijkomt, is van een aantal factoren afhankelijk. Van belang zijn onder andere het formaldehydegehalte in de gebruikte lijm, de persdruk, de perstijd, de perstemperatuur, de ouderdom van de plaat en de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid van de ruimte waarin het plaatmateriaal zich bevindt. In woningen, kantoren en scholen is sinds de jaren zestig veel spaanplaat verwerkt in daken, vloeren en tussenwanden. In een aantal gevallen is gebleken dat het gebruik van spaanplaat kan leiden tot verhoogde gehalten formaldehyde in de binnenlucht. Ook gelijkde houtproducten zoals parket, laminaat, meubelplaat, triplex en multiplex kunnen formaldehyde afgeven. Uit sommige plaatmaterialen kunnen dusdanige hoeveelheden formaldehyde vrijkomen dat de binnenlucht meer dan $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (het MTR voor 30-minuten) bevat. Er zijn twee keurmerken voor plaatmaterialen die weinig formaldehyde bevatten (minder dan 10 milligram per 100 gram materiaal) en daarmee tot klasse E1 gerekend worden: het Nederlandse KOMO en het Duitse U-merk. Het KOMO-keurmerk bestaat sinds 1978. De eis die volgens het KOMO-keurmerk aan spaanplaat wordt gesteld is dat per m^2 spaanplaat maximaal $1600 \mu\text{g}$ formaldehyde per uur mag worden afgestaan bij een temperatuur van 60°C . Dit moet ertoe leiden dat onder normale omstandigheden (temperatuur van circa $18\text{-}22^\circ\text{C}$, relatieve luchtvochtigheid van circa 50% en een ventilatievoud van circa 0,5-1,0 – zie hoofdstuk 2 en 3) en bij het gebruik van niet meer dan $0,75 \text{ m}^2$ KOMO-gecertificeerd spaanplaat/ m^3 woonruimte, de gehalten formaldehyde in de binnenlucht lager blijven dan $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bij gebruik van niet door KOMO gecertificeerd spaanplaat kan het gehalte formaldehyde hoger worden dan $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Meubelspaanplaat is vrijwel altijd voorzien van een afwerking in de vorm van houtfineer of kunststoffolie, zoals bijvoorbeeld toegepast voor keukenkastjes. Door de afwerklaag is de afgifte van formaldehyde lager dan die van niet-afgewerkt spaanplaat. Niet bedekte zijkanten of achterkanten van meubelspaanplaat kunnen het effect van de afwerklaag (deels) tenietdoen. De formaldehydeafgifte van spaanplaat en andere plaatmaterialen zal de eerste maanden na de productie het grootst zijn. Daarna zal de afgifte minder zijn, maar deze kan soms jaren aanhouden. Van plaatmaterialen is bekend dat de formaldehydeafgifte hoger wordt bij verhoging van de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid. Bij de aanwezigheid van lekkages en vochtige wanden/plaatmaterialen moet daarom rekening worden gehouden met een hogere formaldehydeafgifte uit plaatmaterialen. Om de formaldehyde-emissie bij ureumformaldehyde-lijmen te vermijden en de waterwerendheid te verhogen, kan bij de productie van MDF ook lijm op basis van MDI worden gebruikt als bindmiddel.(29) Net zoals bij polyurethaanschuimen en verven op basis van di-isocyanaten, kunnen daardoor bij verhitting van MDF (door bijvoorbeeld schoonbranden, slijpen, schuren of zagen) di-isocyanaten vrijkomen.

6.2.6 Woningtextiel en vloerbekleding

In de textielindustrie wordt formaldehyde gebruikt om de textielvezel krachtiger, zachter, duurzamer, kreukvrij, water- en olieafstotend, kleurvast, antistatisch, krimpvrij en vrij van bacteriën te maken. Ook bij synthetische garens wordt met hetzelfde doel gebruikgemaakt van formaldehyde. Gebleken is dat daardoor woningtextiel als gordijnen en vitrage kunnen bijdragen aan de formaldehydeconcentratie in de binnenlucht. Tevens kunnen gordijnen formaldehyde, afkomstig uit andere bronnen, opnemen en later weer langzaam afgeven. Dit zal waarschijnlijk niet leiden tot hoge concentraties in de binnenlucht.

In een onderzoek door de Rijkskeuringsdienst van Waren Drenthe (1988) naar formaldehyde in textiele vloerbekleding werden in 54 van 83 onderzochte tapijtmonters formaldehydeconcentraties van $10 \text{ mg}/\text{m}^3$ of hoger aangetoond. Bij drie van deze monsters ging het om formaldehydeconcentraties van $50 \text{ mg}/\text{m}^3$ of hoger.(18) Ook van niet-textiele vloerbekleding zoals zeil/vinyl (PVC), linoleum- en laminaatvloeren, is bekend dat ze formaldehyde kunnen afgeven.(30,31) Daarnaast kunnen triplex ondervloeren en lijmen voor het leggen van vloerbekleding bijdragen aan de formaldehydeconcentraties in woningen.(1,30) Uit PVC-vloeren en de onderlagen van textiele vloer-

bekleding kunnen ook tal van andere vluchtige stoffen uitdampen, waarvan sommige met een lage geurdrempel (bijvoorbeeld styreen en sommige van cyclohexeen afgeleide stoffen, met name fenylcyclohexeen, acetaten en dodecenen).(32)

6.2.7 Verbrandingsprocessen

Het VEG-Gasinstituut heeft onderzocht hoeveel formaldehyde wordt geproduceerd bij het gebruik van gasfornuizen en geisers. Formaldehyde komt bij de verbranding van aardgas vrij als secundair verbrandingsproduct, met name kort na de ontsteking van de vlam. Uit dit onderzoek is gebleken dat bij gebruik van deze apparatuur volgens een standaardgebruikspatroon, piekconcentraties van 40 µg/m³ kunnen ontstaan. Deze concentraties nemen snel af zodra de gastoestellen worden uitgezet. Het onderzoek werd uitgevoerd aan nieuwe, niet-vervuilde apparaten. Oudere apparaten veroorzaken waarschijnlijk hogere piekconcentraties. Ook bij andere verbrandingsprocessen, vooral bij roken en in mindere mate bij het branden van kaarsen en het stoken van een houtkachel of een open haard, komt formaldehyde vrij.

Tabel 6.1 Toepassing van een aantal VOS, algemeen aangetroffen in het binnenmilieu in Nederlandse woningen.

Verbinding	Toepassing/ bronnen
Alifatische verbindingen	brandstoffen (bijvoorbeeld olie, benzine, aardgas), koelvloeistoffen, drijfgas in spuitbussen, pesticiden, smeermiddelen, oplosmiddelen voor verven en lakken, coatings, plastics, additieven in voedingsmiddelen
Pentaaan	brandstoffen, oplosmiddel
Hexaaan	brandstoffen, oplosmiddel, additief in voedingsmiddelen
Heptaaan	brandstoffen, oplosmiddelen
Octaaan	petroleum, rubber- en papierindustrie
Hogere alkanen	petroleum, kerosine, oplosmiddel, rubber- en papierindustrie
Cyclohexaaan	oplosmiddel, synthese van andere verbindingen
Gechloreerde alifatische verbindingen	zeer geschikt als oplosmiddelen (bijvoorbeeld in verven en lakken, inkt, reinigingsmiddelen, lijmen en kitten)
Dichloormethaan	oplosmiddel (bijvoorbeeld verfabijt), drijfgas voor schuimen
Trichloormethaan (chloroform)	oplosmiddel, verdovingsmiddel
1,2-dichloorethaan	ontsmettingsmiddel, koelvloeistof, anti-klop middel, benzine, chemisch intermediair
1,1,1-trichloorethaan	oplosmiddel (zeer veel toegepast, bijvoorbeeld in correctievloeistof), drijfgas
1,2-dichloorpropan	oplosmiddel, ontsmettingsmiddel
Trichlooretheen (TRI)	oplosmiddel, anesthesiegas
Tetrachlooretheen (PER)	oplosmiddel, chemisch reinigingsmiddel van bijvoorbeeld kleding
Aromatische verbindingen	algemeen toegepast in veel industriële en huishoudelijke producten (bijvoorbeeld verven, lijmen en drukinkten)
Benzeen	oplosmiddel, benzine, tabaksrook
Tolueen	algemeen toegepast als oplosmiddel in de chemische-, grafische-, verf-, rubber-, en geneesmiddelenindustrie (bijvoorbeeld verven en lakken, lijmen (solutie) en kitten, drukinkten, parfums, terpentijn, wasbenzine), tabaksrook, brandstoffen
Xyleen (o-, m-, p-)	algemeen toegepast als oplosmiddel (bijvoorbeeld verven en lakken, terpentijn, lijmen en kitten, verfabijt, drukinkten, schoensmeer, kunsthars, rubber), tabaksrook
Trimethylbenzeen	oplosmiddel (bijvoorbeeld verven en lakken, drukinkten), benzine, productie andere chemicaliën

Verbinding	Toepassing/ bronnen
Styreen	brandstoffen, polyester kunsthars voor rioolrenovatie, kunststoffen (polystyreen), polystyreen-hardschuimplaat, kneedbaar hout, vloerbekleding
Ethylbenzeen	voornamelijk toegepast voor de productie van andere chemicaliën, oplosmiddel (bijvoorbeeld verven en lakken), benzine en kerosine, pesticiden, tapijtlijm, tabaksrook
Methylethylbenzeen	oplosmiddel (bijvoorbeeld verven en lakken, drukinkten)
n-Propylbenzeen (isocumeen)	oplosmiddel, benzine, petroleum
i-Propylbenzeen (cumeen)	oplosmiddel (bijvoorbeeld verven en lakken), geurstoffen (parfums), productie andere organische stoffen
Isopropylmethylbenzeen	komt voor in snel verdampende en sterk riekende oliën
n-Butylbenzeen	oplosmiddel, pesticiden, plastics, productie andere organische stoffen, benzine
Naftaleen	Mottenballen, emulsies voor het waterdicht/dampdicht maken van vloeren en muren, uitlaatgassen
Gechloroerde benzenen	algemeen toegepast in verven, desinfecterende middelen, insecticiden, ontsmettingsmiddelen voor zaden, deodorantia
Chloorbenzeen	oplosmiddel (met name toegepast in de industrie), ontvetter voor auto-onderdelen
1,4-dichloorbenzeen	deodorantia, desinfectans, insecticide
Trichloorbenzeen	ontsmettingsmiddelen, insecticiden, verven, niet-geleidende vloeistof
Aldehyden	roken, verbranding van gas en olie, parfum, haarlakspray, plaatmaterialen, lijmen, ureumfoam, vloerbekleding, gordijnen, hout
Terpenen	luchtverfrissers, schoonmaakmiddelen, hout, triplex
Di-isocyanaten	polyurethaan schuim, polyurethaanlakken, verven, lijmen
Ftalaten	kunststof bouwmaterialen, PVC-vloerbekleding, PVC-dakbekleding, speelgoed, leidingen, buizen, kabels
Gebromeerde brandvertragers	bouwmaterialen, inrichtingsmaterialen, elektrische apparaten, gebruiksgoederen (onder andere brandmelders)
PCB's	elektrische apparaten, katten, verven, plafondplaten en muurpleister ('roughcast') van voor 1985

6.3 Inspectie

In deze paragraaf zal eerst worden ingegaan op de inspectie van VOS algemeen en vervolgens specifiek van aldehyden.

6.3.1 Inspectie VOS

Een verhoogd voorkomen van VOS kan niet zonder meer herkend worden op basis van typische klachten over de gezondheid. De gezondheidsklachten – veelal irritatie van slijmvliezen, hoofdpijn en vermoeidheid – zijn niet-specifiek. In sommige gevallen is echter wél de typische geur van VOS (zuurtjeslucht, verflucht) waarneembaar. Dit kan de speurtocht naar een mogelijke bron van verontreiniging vereenvoudigen. De sterkte van de geur levert in veel gevallen een indicatie voor de concentratie van een vluchtige organische stof, maar dat geldt niet voor iedere stof. Bij het gebruik van geurdrempels als indicatie voor de concentratie van een stof, moet er rekening mee worden gehouden dat de vastgestelde geurdrempels in verschillende onderzoeken erg afwijkend kunnen zijn, door bijvoorbeeld verschillen in onderzoekspopulatie of methoden. Voor een aantal VOS zijn gestandaardiseerde geurdrempels beschikbaar, deze zijn weergegeven in Tabel 6.2. Geurdrempels voor andere vluchtige stoffen zijn onder andere te vinden in de uitgave 'Odor Thresholds for

Tabel 6.2 Gestandaardiseerde geurdrempels voor enkele VOS. (35)

Stof	Geurdrempel in mg/m ³
Aceton	1,7
Acroleïne	4,2
Benzeen	1,5
Chloroform	21,9
Crotonaldehyde (-trans)	0,3
Fenol	0,1
Tetrachloorethyleen	1,2
Tolueen	4,9
1,1,1-trichloorethaan	7,8
Trichloorethyleen	1,6
Xyleen	0,8

Chemicals with Established Occupational Health Standards' van de American Industrial Hygiene Association of in 'Standardized Human Olfactory Thresholds' van Devos et al.(33,34) Voor meer informatie over geurdrempels wordt verwezen naar hoofdstuk 15.

De inspectie van de woning moet gericht zijn op mogelijke bronnen van VOS in de woning of in de directe woonomgeving. Dit is niet eenvoudig. VOS zijn namelijk in zeer veel (huishoudelijke) producten verwerkt. De inspectie zal daarom ook gericht moeten zijn op de aanwezigheid van activiteiten in de woning of woonomgeving, waarbij overmatig gebruikgemaakt wordt van producten die VOS bevatten. Een aantal van deze activiteiten is hieronder beschreven. In verband met ophoping van stoffen is het goed om ook te letten op de aanwezigheid en het gebruik van de ventilatievoorzieningen in de woning. Zie hiervoor hoofdstuk 2.

Activiteiten in de woning (bewonersgedrag)

Bij tal van activiteiten die door de bewoners worden uitgevoerd, worden producten gebruikt waaruit VOS kunnen vrijkomen: hobby's (bijvoorbeeld schilderen, modelbouw, zeefdrukken), schoonmaakactiviteiten (schoonmaakmiddelen, schoenpoets, desinfectantia, insecticiden), 'doe-het-zelf' (verven, lakken, kwastenreinigers, lijmen, kitten) en het inrichten van de woning (vloerbekleding, gordijnen). Tijdens en tot enkele maanden na deze activiteiten zullen de concentraties organische oplosmiddelen in de binnenlucht hoger zijn dan gebruikelijk is in woningen (zie paragraaf 6.5). Men dient erop bedacht te zijn dat deze activiteiten ook verhoogde concentraties in de binnenlucht van de naaste burens kunnen veroorzaken.

Bouw, verbouw en renovatie

Tijdens bouw-, verbouw- en renovatiewerkzaamheden wordt veel gebruikgemaakt van producten waaruit VOS kunnen vrijkomen, zoals verven, lakken, lijmen, kitten, plaatmaterialen, reinigingsmiddelen (ook gevelreiniging) en hydrofoberingsmiddelen. Tijdens en tot enkele maanden na deze werkzaamheden kunnen verhoogde concentraties VOS voorkomen. Ook voor deze activiteiten geldt dat er verhoogde concentraties in de binnenlucht kunnen optreden bij naaste burens.

Bedrijfsactiviteiten

Er zijn diverse, meestal kleinschalige, bedrijfsactiviteiten waarbij veel organische oplosmiddelen worden gebruikt. Dergelijke bedrijven kunnen verhoogde concentraties organische stoffen in de binnenlucht van aangrenzende woningen veroorzaken. Hierbij zijn ondermeer de volgende bedrijfsp categorieën van belang: offset- en zeefdrukkerijen, auto- en andere verfspuiterijen, chemische wasserijen, schildersbedrijven en verfdepots, garagebedrijven, schoenreparatiebedrijven en houtbewerkingsbedrijven. In de meeste chemische wasserijen wordt nog gereinigd met chloorhoudende oplosmiddelen, zoals tetrachlooretheen (PER). Vanwege de schadelijke effecten van

PER op de gezondheid (waarschijnlijk kankerverwekkend) en het milieu wordt gezocht naar alternatieven. Eén daarvan is reiniging met KWL, een reinigingsmiddel op basis van alifatische koolwaterstoffen (C_{10} - C_{13}). Uit de branche-enquête van de Nederlandse vereniging van textielreinigers (Netex) blijkt dat in 2005 83% van de geënuquëeerde textielreinigingsbedrijven gebruikmaakte van PER en 39% van KWL.(36)

Bodemverontreiniging

Indien de bodem of het grondwater verontreinigd is met VOS kunnen deze uit de bodem verdampen en in de kruipruimte terecht komen. Omdat kruipruimtelucht in de bovenliggende woonvertrekken terecht kan komen (de mate waarin dit kan, is afhankelijk van de dampdichtheid van de begane-grondvloer en de ventilatie in de kruipruimte), kan de binnenlucht door bodemverontreiniging verontreinigd worden met VOS. Ook bij sanering van de bodem kunnen omwonenden tijdelijk aan hoge concentraties VOS worden blootgesteld.

Bodemverontreinigingen ontstaan vaak als gevolg van bedrijfsactiviteiten. Voorbeelden van branches waarbij dit kan voorkomen, zijn:

- bedrijven die oplosmiddelen gebruiken, zoals chemische wasserijen en metaalverwerkende bedrijven. Door lekkage van vluchtige gechloreerde organische verbindingen kan grondwater- en bodemverontreiniging plaatsvinden. De stoffen waar het om gaat zijn tetrachlooretheen (PER), trichlooretheen, 1,2-dichlooretheen en vinylchloride;
- benzinestations. Grondwaterverontreiniging met benzine kan plaatsvinden door lekkage van ondergrondse brandstoftanks. Benzine kan een drijf laag vormen op het grondwater en via verdamping leiden tot hoge concentraties aromatische koolwaterstoffen zoals benzeen, toluen, xylenen en ethylbenzeen;
- gasfabrieken. Hier gaat het vooral om verontreiniging van bodem- en grondwater met vluchtige polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's, met name naftaleen), fenol, cresol, styreen, benzeen, toluen, ethylbenzeen en xyleen.(37)

In de GGD-richtlijnen 'Bodemsanering' en 'Gezondheidsrisico's bij bodemverontreiniging' wordt dieper ingegaan op de risicobeoordeling van bodemverontreinigingen en -saneringen en de mogelijke saneringstechnieken.(38, 37)

Rioolwerkzaamheden

Bij rioolrenovaties, waarbij de zogenaamde kousmethode wordt toegepast, kunnen hoge concentraties styreen voorkomen in aangrenzende woningen. Bij deze methode wordt een, met styreenhoudende polyesterhars geïmpregneerde, kous van naaldvilt of glasvezel tegen de wand van een bestaande rioolbuis bevestigd. Het uitharden van de hars duurt één tot enkele uren. Styreen heeft een lage geurdrempel en kan herkend worden aan een zoete, scherpe geur. Er zijn incidenten geweest waarbij de styreendamp tot op grote afstand (200 meter) van de werkzaamheden in woningen kon worden gedetecteerd. Vaak betreft het (oudere) woningen met gebreken aan het rioolsysteem.(39) Voor verdere informatie over geurhinder bij rioolwerkzaamheden wordt verwezen naar hoofdstuk 15.

Wanneer blijkt dat er geen bijzondere potentiële bronnen van VOS aanwezig zijn, is er geen aanleiding te veronderstellen dat de binnenlucht extra verontreinigd zal zijn met deze stoffen. Als echter het vermoeden bestaat dat er wel een bron aanwezig is, zal dit vermoeden getoetst moeten worden met behulp van metingen.

6.3.2 Inspectie aldehyden

Formaldehyde (HCHO), de eenvoudigste der aldehyden, is een kleurloos gas met een scherpe, irriterende geur. Het soortelijk gewicht van formaldehyde komt overeen met het soortelijk gewicht van lucht. Formaldehyde zal dus niet uitzakken. Een verhoogd voorkomen van formaldehyde en andere aldehyden in de binnenlucht kan niet zondermeer herkend worden op basis van de geur of

specifieke klachten over de gezondheid. De gezondheidsklachten, veelal oog- en slijmvliesirritatie, zijn niet-specifiek, dat wil zeggen dat zij ook het gevolg kunnen zijn van vele andere oorzaken.

De inspectie van de woning zal zich moeten richten op de mogelijke bronnen van aldehyden binnenshuis en omstandigheden die de uitdamping kunnen verhogen. Hierbij moet gelet worden op:

- de aanwezigheid van onbedekt spaanplaat (bouwspaanplaat en meubelspaanplaat) in de woning. In het algemeen kan niet achterhaald worden of het aanwezige spaanplaat al dan niet is voorzien van het KOMO-keurmerk. Er moet daarom bekeken worden hoeveel spaanplaat is aangebracht en hoelang geleden dit werd aangebracht;
- de toepassing van ureumformaldehydeschuim als spouwmuurisolatie;
- de aanwezigheid van lekkages en vochtplekken.

Plaat- en isolatiemateriaal kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan de formaldehydeconcentraties in woningen. De overige bekende bronnen van aldehyden binnenshuis (gordijnen, vloerbekleding en verbrandingsgassen) leveren slechts een geringe bijdrage aan de hoeveelheid formaldehyde in de binnenlucht. Dergelijke bronnen zullen in het algemeen niet tot verhoogde gehalten formaldehyde leiden.

Als uit de inspectie van de woning blijkt dat er geen potentiële bronnen van aldehyden in de woning of directe woonomgeving aanwezig zijn, is er geen aanleiding te veronderstellen dat de binnenlucht extra verontreinigd zal zijn met aldehyden. Indien echter het vermoeden bestaat dat er wel een bron aanwezig is, zal dit vermoeden getoetst moeten worden met behulp van metingen. Maatregelen om te hoge formaldehydeconcentraties te bestrijden, worden gegeven in bijlage 6.1.

6.4 Meten

In deze paragraaf wordt eerst ingegaan op algemene VOS-metingen en tot slot op metingen specifiek voor aldehyden.

6.4.1 Het meten van VOS

Er zijn verschillende methoden voorhanden voor het meten van de concentraties VOS in de binnenlucht. In een situatie waarbij niet bekend is welke stoffen aanwezig kunnen zijn, zal eerst gekozen worden voor indicatieve metingen (identificatie en semi-kwantitatieve analyse). Daarna volgen dag- of weekbemonsteringen met vervolgens een analyse in een laboratorium. In hoeverre een GGD-medewerker zelf metingen kan uitvoeren hangt af van de apparatuur die de GGD tot haar beschikking heeft. Hierbij kan ook gedacht worden aan samenwerking met de milieudienst of met andere GGD'en. Indien een GGD deze mogelijkheid niet heeft, kan het RIVM om hulp worden gevraagd.

De hierna genoemde meetmethoden gelden niet voor di-isocyanaten, ftalaten, brandvertragers en PCB's. Deze stoffen zijn niet standaard te meten. Voor metingen van deze stoffen moet daarom altijd deskundige hulp ingeschakeld worden.

Opsporen plek met hoge gehalten

Voor het meten van de totale concentratie van verschillende VOS bestaan monitoren, zoals de PID- (Photo Ionization Detector) monitor. Deze monitoren zijn eenvoudig in het gebruik en ze kunnen continu meten. Ze zijn geschikt voor het opsporen van bronnen, maar niet om aan te geven welke stof het precies is. De meeste monitoren reageren ook op veranderingen in vochtigheid. Het meetbereik bedraagt >1 ppm (voor toluen komt dit overeen met > 4 mg/m³).

Opsporen onbekende stoffen

Om stoffen te identificeren kan een monster worden genomen met een luchtzak (Tedlarbag®). De monstername is zeer kort: de luchtzak wordt met lucht gevuld met behulp van een zogenaamde Vac-U-Tube®. Deze lucht wordt daarna met een gaschromatograaf met massaspectrometer geanalyseerd ter identificatie van de VOS. Daarbij kan tevens een indicatieve concentratie worden bepaald. Het meetbereik bedraagt 0,01 tot 2 ppm (voor toluen komt dit overeen met 0,04 tot 8 mg/m³).

Vaststellen gemiddelde concentraties

Voor het bepalen van de gemiddelde concentraties kan gebruikgemaakt worden van actieve en passieve 'sampling'-methoden. Bij actieve monsternamen wordt lucht aangezogen door middel van een pomp. Beide methoden zijn geschikt voor zowel een kwalitatieve als een kwantitatieve inventarisatie. Het nadeel van het actief monsternemen over absorptiemedia is dat ze overbeladen kunnen raken indien hoge concentraties aanwezig zijn. Buizen die overbeladen raken, kunnen niets meer opnemen waardoor de concentratie onderschat wordt. De meeste buizen hebben daarom een doorslagsectie, waardoor achteraf waargenomen kan worden of er doorslag heeft plaatsgevonden.

- De meest universele methode is om met pompjes lucht over buisjes te zuigen waarin zich een adsorptiemedium (actief kool) bevindt. De analyse van de buisjes kan door diverse laboratoria worden uitgevoerd. Met koolbuisjes kunnen stoffen worden gemeten met een kookpunt tot 300 °C. Koolbuizen zijn minder geschikt in vochtige omgevingen (relatieve luchtvochtigheid > 50 %). Het meetbereik bedraagt 0,005-50 ppm (voor toluen komt dit overeen met 0,02 tot 200 mg/m³).
- Met thermodesorbtiebuizen kunnen stoffen met een kookpunt van -30 tot 300 °C worden gemeten. Thermodesorbtiebuizen hebben een veel lagere detectiegrens dan koolbuizen en kunnen ingezet worden bij bijvoorbeeld stankklachten. Deze buizen kunnen wel gebruikt worden in vochtige omgevingen. Het meetbereik bedraagt 0,005 -1000 ppb (voor toluen komt dit overeen met $2 \cdot 10^{-5}$ tot 4 mg/m³).
- Voor de passieve monsternamen kan gebruikgemaakt worden van badges. VOS worden door middel van diffusie geadsorbeerd op badges met adsorptiemateriaal (actief kool, tenax). Deze badges zijn zeer geschikt om langetermijngemiddelden (2 tot 42 dagen) te bepalen. Voordeelen van deze methode zijn de relatief lage kosten en het eenvoudige gebruik. De badges zijn minder geschikt voor gebruik in bijvoorbeeld kruipruimten omdat er enige luchtstroming nodig is en ze gevoelig zijn voor vocht (ze zijn minder geschikt voor gebruik bij een relatieve luchtvochtigheid > 50%). De detectielimiet van de badges hangt sterk af van de monsternametijd. Een monsternametijd van twee dagen heeft een detectielimiet per component van ongeveer 1 mg/m³; wanneer de monsternametijd vier weken bedraagt, is de detectielimiet per component ongeveer 1 µg/m³.
- Stalen bollen ('canisters') kunnen onder vacuüm een ruimte worden ingebracht waar ze zich vullen met het luchtmonster om vervolgens in een (mobiel) laboratorium geanalyseerd te worden. Met deze methode is een grote verscheidenheid aan VOS te meten. Een nadeel is dat de middelen vooraf door het laboratorium klaar gemaakt moeten worden en niet altijd stand-by staan. Het meetbereik bedraagt 0,01 – 10 ppm (voor toluen komt dit overeen met 0,04 tot 40 mg/m³).

Voor het beoordelen van een situatie is het nodig goed na te denken over de bemonsteringsduur. Factoren die kunnen meespelen bij het bepalen van de bemonsteringsduur zijn de beoogde uitkomstwaarde (piekwaarden of een gemiddelde), de verwachte concentraties (bij hoge concentraties kan de detectiegrens mogelijk al worden gehaald bij kortdurende bemonstering) en de eventuele aanwezigheid van bestaande resultaten of metingen waarmee gegevens vergeleken kunnen worden (referentiewaarden). Over het algemeen verdient het aanbeveling om gedurende een langere periode aaneengesloten te bemonsteren (tenminste 24 uur, over het algemeen een

week), omdat de concentraties organische oplosmiddelen sterk kunnen variëren in de tijd. Naarmate de bemonsteringsduur korter is, zijn de meetwaarden steeds minder representatief voor de werkelijk voorkomende gemiddelde dagelijkse of wekelijkse concentraties.

Monitoren bekende stoffen

In situaties waarbij duidelijk is dat de concentraties wisselen in de tijd of waarbij bijvoorbeeld na een maatregel de afname van een concentratie vastgesteld moet worden, kan de concentratie in de tijd worden gevolgd.

- Met behulp van een draagbare gaschromatograaf (GC) zijn reeds geïdentificeerde individuele VOS te monitoren met korte intervallen. Het instrument geeft direct een concentratie weer en onderscheidt diverse VOS. Het voordeel is dat variaties in de concentratie in de loop van de bemonsteringsduur gevolgd kunnen worden. Het meetbereik bedraagt 1 - 500 ppm (voor toluen komt dit overeen met 4 tot 2000 mg/m³).
- Met een gaschromatograaf met massaspectrometer (GCMS) kunnen de individuele VOS gekwantificeerd en geïdentificeerd worden. Met een mobiele GCMS is het mogelijk om op locatie zowel individuele monsters (Tedlarbag[®]) als met korte intervallen (monitoring) te meten. Het meetbereik bedraagt 0,001 – 2 ppm (voor toluen komt dit overeen met 4·10⁻³ tot 8 mg/m³).

Voor het monitoren met een GC of een GCMS moeten specialisten ingeschakeld worden.

Het heeft bij een meting in een woning weinig zin om in een controlewoning te meten. De variatie tussen woningen is hiervoor te groot. Om de resultaten te kunnen vergelijken met concentraties in 'normale' woningen is een groot gegevensbestand nodig.

Indien de invloed van een bodemverontreiniging op de kwaliteit van de binnenlucht wordt nagegaan, dan moet een buitenlucht meting meegenomen worden. Als de kruipruimte met buitenlucht wordt geventileerd (zoals zou moeten), kan de kwaliteit van de kruipruimtelucht eerst vergeleken worden met die van de buitenlucht om na te gaan of uitdamping uit de bodem plaatsvindt, alvorens de hoogte van de concentraties in de binnenlucht te beoordelen. Informatie over de gradiënt van de concentratie kruipruimte – benedenverdieping – bovenverdieping kan helpen bij het beoordelen of de bodem een bron is.

6.4.2 Het meten van aldehyden

Een eenvoudige methode voor de bepaling van de formaldehydeconcentraties in de binnenlucht is het gebruik van de zogenaamde 'DNPH- (dinitrophenylhydrazine) cartridge'. Deze methode is speciaal ontwikkeld voor formaldehyde, maar kan ook voor de overige aldehyden worden gebruikt. De DNPH-cartridges worden op een pompje geplaatst en kunnen zowel kort (15 minuten op hoge 'flow') als lang (24 uur op lage 'flow') bemonsterd worden. De cartridges moeten na bemonstering koel bewaard worden en kunnen worden geanalyseerd door diverse laboratoria. Bij bepalingen door het RIVM liggen de detectiegrenzen lager dan 1 µg/m³ (gebaseerd op een bemonstering van minstens 22,5 liter). Het is mogelijk dat andere analyselaboratoria hogere detectiegrenzen aanhouden.

Het nadeel van de DNPH-cartridge is de beperkte houdbaarheid vanaf de productiedatum tot de bemonstering (buiten de koeling twee weken, in de koeling zes maanden). Een ander nadeel is dat de omzetting van formaldehyde op DNPH gevoelig is voor ozon. Bij ernstige smog wordt de ozonconcentratie hoger dan 240 µg/m³ waardoor de formaldehydeconcentratie 30% onderzakt wordt. Om dit probleem te verhelpen kunnen ozonscrubbers voor de cartridge worden geplaatst. Het meetbereik bedraagt 0,001- 5 ppm (voor formaldehyde komt dit overeen met 1·10⁻³ tot 6 mg/m³).

Er zijn voor formaldehyde ook badge-vormige passieve DNPH-samplers. Bij bemonstering gedurende acht uur kan een detectiegrens van 6 µg/m³ worden aangehouden, bij bemonstering gedurende 24 uur is dit 2 µg/m³ (gebaseerd op UME_x 100 passieve sampler van SKC Inc., USA).(40)

6.5 Concentraties in woningen: referentiewaarden

6.5.1 Referentiewaarden voor VOS (algemeen)

Tabel 6.3 op de volgende pagina geeft een overzicht van de weekgemiddelde concentraties van 43 verschillende VOS in woningen in Rotterdam en Ede, gemeten rond 1985.(41) Uit de tabel blijkt dat veel stoffen in vrijwel alle woningen werden aangetroffen, bijvoorbeeld de alkanen, benzeen, toluen en xyleen. Andere stoffen, zoals trichloorbenzeen en trichlooretheen, werden slechts in enkele woningen aangetroffen. De concentraties in de binnenlucht waren gemiddeld hoger dan de concentraties in de buitenlucht. De bronnen bevonden zich dus binnenshuis. Uit het onderzoek blijkt tevens dat er sprake was van een grote variatie in de weekgemiddelde concentraties van deze VOS in de binnenlucht. Het is niet duidelijk of dit te wijten is aan specifieke activiteiten in de betrokken woningen. In ieder geval geven de resultaten een beeld van de concentraties van een groot aantal VOS in 'normale' woningen, welke geen aanleiding tot klachten waren.(41)

Tabel 6.3 Vluchtige organische stoffen in woningen.(41)

Component	Boven detectielimiet (%)	Ede		Rotterdam		Ede		Buitenlucht	
		na-oorlogse woningen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		voor-oorlogse woningen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		< 6 jr. oude woningen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		N = 134		N = 89		N = 96			
		Med.	Max.	Med.	Max.	Med.	Max.	Med.	Max.
n- Hexaan	99	4	107	5	338	3	178	2	4
n-Heptaan	100	3	68	3	30	2	556	1	3
n-Octaan	98	2	60	1	36	1	533	<0,3	1
n-Nonaan	99	4	269	3	278	6	407	<0,3	8
n-Decaan	99	9	433	8	807	14	905	0,6	5
n-Undecaan	97	5	191	3	229	9	445	0,4	3
n-Dodecaan	95	2	118	1	40	4	96	<0,3	1
n-Tridecaan	92	1	18	1	13	2	38	<0,3	<0,3
n-Tetradecaan	97	2	8	1	7	2	46	<0,3	<0,3
n-Pentadecaan	95	1	4	0,9	3	2	5	<0,3	0,5
n-Hexadecaan	61	<0,3	3	0,8	2	1	4	<0,3	<0,3
3-methylpentaan	99	3	101	3	82	2	52	1	3
2-methylhexaan	99	2	54	3	19	2	278	1	4
3-methylhexaan	99	2	44	2	14	1	233	0,9	3
Cyclohexaan	98	1	22	2	26	1	355	0,4	2
Methylcyclohexaan	100	1	50	2	33	1	504	0,6	2
Dimethylcyclopentaaan isomeer	32	<0,3	3	<0,3	2	<0,3	60	<0,3	0,4
Dimethylcyclopentaaan isomeer	27	<0,3	2	<0,3	2	<0,3	29	<0,3	0,4
Dimethylcyclopentaaan isomeer	86	0,7	8	<0,7	5	<0,5	59	<0,3	0,9
Limoneen	98	26	216	18	773	45	693	<0,3	10
Benzeen	99	7	148	7	24	5	53	3	7
Tolueen	99	40	697	23	526	43	2252	5	17
Xylenen	99	12	178	9	159	10	753	3	30
Ethylbenzeen	94	3	45	2	117	2	138	0,4	14
n-Propylbenzeen	65	1	27	<0,3	18	0,4	15	<0,3	0,7
i-Propylbenzeen	45	0,3	11	<0,3	5	<0,3	10	<0,3	0,3

Component	Boven detectielimiet (%)	Ede		Rotterdam		Ede		Buitenlucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		na-oorlogse woningen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	72	voor-oorlogse woningen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	51	< 6 jr. oude woningen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	156		
o-Methylethylbenzeen	80	2	72	1	51	1	156	<0,3	2
m-Methylethylbenzeen	95	3	166	3	82	3	227	0,4	2
p-Methylethylbenzeen	82	2	77	1	54	1	94	<0,3	1
1,2,3-trimethylbenzeen	57	1	40	<0,3	24	<0,3	16	<0,3	0,9
1,2,4-trimethylbenzeen	98	6	276	4	165	4	400	0,7	4
1,3,5-trimethylbenzeen	92	2	99	1	37	1	93	<0,3	1
n-Butylbenzeen	72	0,9	40	0,8	30	0,8	20	<0,3	0,6
p-Methyl-i-propylbenzeen	76	0,7	32	0,6	11	0,6	10	<0,3	<0,3
Tetrachloormethaan	8	<4	6	<4	25	<4	25	<4	20
Trichlooretheen	2	<2	106	<2	11	<2	30	<2	<2
Tetrachlooretheen	30	<2	205	<2	49	<2	182	<2	<2
Chloorbenzeen	10	<0,4	<0,4	<0,4	3	<0,4	27	<0,4	<0,4
m-Dichloorbenzeen	4	<0,6	9	<0,6	6	<0,6	6	<0,6	<0,6
p-Dichloorbenzeen	50	2	138	<0,6	299	<0,6	240	<0,6	<0,6
1,2,3-trichloorbenzeen	2	<0,8	3	<0,8	3	<0,8	28	<0,8	<0,8
1,2,4-trichloorbenzeen	3	<0,8	15	<0,8	5	<0,8	33	<0,8	<0,8
1,3,5-trichloorbenzeen	1	<0,8	8	<0,8	<0,8	<0,8	5	<0,8	<0,8

NB: De woningen in dit onderzoek werden willekeurig gekozen. Monsternamen vond gedurende één week continu plaats in de woonkamer, met behulp van een pompje voor persoonlijke monsternamen in combinatie met een koolbuisje. De selectie van de 43 organische stoffen komt voort uit de gebruikte meet- en analysetechnieken, waardoor het overzicht niet volledig zal zijn.

In 1995 zijn in 36 woningen (18 woningen in straten met een hoge en 18 woningen in straten met een lage verkeersintensiteit) in Amsterdam de binnen- en buitenluchtconcentraties van VOS gemeten. De concentraties waren gemiddeld genomen hoger in de binnenlucht van woningen in straten met een hoge verkeersintensiteit dan in straten met een lage verkeersintensiteit. Verder waren de binnenluchtconcentraties van benzeen en andere VOS hoger dan de buitenluchtconcentraties, waarschijnlijk door bronnen in de woning.(42) Tabel 6.4 geeft een overzicht van de gemeten concentraties benzeen (als absolute waarden en als percentages van de totale concentratie VOS) in woningen in straten met een hoge en een lage verkeersintensiteit.

Tabel 6.4 Concentraties benzeen in woningen in straten met een hoge en lage verkeersintensiteit in Amsterdam.(42)

	Hoge verkeersintensiteit				Lage verkeersintensiteit			
	gemiddelde	mediaan	min	max	gemiddelde	mediaan	min	max
Benzeen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,7	7,3	2,2	18,8	5,7	6,3	1,5	10,5
Benzeen (% van de totale concentratie VOS)	17	14	15	29	18	22	22	18

NB: De concentratie van benzeen en de totale concentratie van VOS werden gemeten met behulp van koolstofbuizen in combinatie met een pomp. In totaal werden acht VOS in de analyse meegenomen. De metingen werden gedurende 19 dagen in de winter en in de lente van 1995 verricht.

Er zijn verscheidene onderzoeken gedaan naar concentraties VOS in woningen liggend boven en naast VOS-emitterende bedrijven. In 1987 bleek uit onderzoek dat het bouwmaterial van vloeren en plafonds en de staat van onderhoud van het pand belangrijke factoren waren voor de versprei-

ding van oplosmiddelen vanuit zeefdrukkerijen naar bovenliggende woningen. In woningen met betonnen vloeren en plafonds werden geen verhoogde concentraties gevonden. Zeefdrukkerijen in matig onderhouden panden met houten vloeren en plafonds waren een duidelijke bron van VOS voor de bovenliggende woningen. De hoogste tijdgewogen 8-uursgemiddelde concentratie in een woning direct boven een zeefdrukkerij werd gemeten voor toluen, 25 mg/m^3 .(43)

In 1993 is de blootstelling aan tetrachlooretheen in woningen naast en boven 20 chemische wasserijen in Amsterdam onderzocht. De metingen vonden plaats op actief kool. In de woningen direct boven chemische wasserijen werden de hoogste concentraties PER gemeten. De hoogste weekgemiddelde concentratie in zo'n woning was $29,9 \text{ mg PER/m}^3$. Ook in dit onderzoek had het type plafond van het bedrijf grote invloed op de concentratie PER in de bovenliggende woning. Maar ook bij een betonnen vloer kwam PER in alle gevallen in duidelijk verhoogde concentraties voor in de woningen. Ook in woningen op de tweede en derde verdieping werd de luchtkwaliteit duidelijk nadelig beïnvloed.(44)

In 2000 en 2001 heeft de toenmalige Inspectie Milieuhygiëne (nu VROM-inspectie) onderzoek gedaan naar de emissie van tetrachlooretheen (PER) door chemische wasserijen. Eerst werd een zogenaamde 'Quick Scan' uitgevoerd en hierna werd in 2001 een vervolgonderzoek gestart. De metingen werden uitgevoerd door passieve monsternamen met adsorptiebadges gedurende ongeveer één week. De metingen van de 'Quick Scan' en het vervolgonderzoek kwamen goed overeen. Het bleek dat in alle gevallen het binnenmilieu werd beïnvloed door de nabijheid van de stomerij. Bij de 'Quick Scan' en het vervolgonderzoek samen waren 107 gemeenten betrokken. In totaal werden er in 294 woningen (waarvan 33 bedrijfswoningen) bij 229 chemische wasserijen metingen uitgevoerd. Van de meetwaarden bevond zich 32% beneden de norm die voor levenslange blootstelling als veilige waarde wordt beschouwd ($250 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). In 68% van de woningen werd het MTR overschreden: 30% van de meetwaarden bevond zich tussen 250 en $1500 \text{ } \mu\text{g/m}^3$; 30% tussen 1500 en $10.000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en in 8% van de woningen werden concentraties gemeten die hoger waren dan $10.000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.(45,46)

In onderzoek naar het voorkomen van VOS in de binnenlucht van 14 woningen direct boven schoenmakerijen, uitgevoerd met pompen en actiefkoolbuisjes, werden toluen en cyclohexaan het meest frequent aangetroffen. De maximumconcentraties waren respectievelijk $6,86 \text{ mg/m}^3$ en $8,60 \text{ mg/m}^3$.(47).

Ook zijn VOS gemeten in woningen waarvan de gevels recent waren behandeld met een hydrofoberingsmiddel om vochtdoorslag tegen te gaan. Het gebruikte middel bevatte siloxanen opgelost in terpentijn. Er werd een uur lucht aangezogen over een adsorptiebuisje met actiefkool op circa 150 cm hoogte. In de woningen werden concentraties van het totaal aan aromatische koolwaterstoffen gevonden van 183 tot $366 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Alifatische koolwaterstoffen werden aangetroffen in concentraties van 221 tot $371 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Het concentratiepatroon kwam overeen met dat van het hydrofoberingsmiddel.(48)

6.5.2 Referentiewaarden voor aldehyden

Door het RIVM werden in 1994 in de woonkamer en de keuken van twee 'normale' woningen aldehydemetingen gedaan. De resultaten staan in Tabel 6.5 In de buitenlucht was de concentratie van acetaldehyde gemiddeld $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

De toenmalige Keuringsdienst van Waren Haarlem heeft in samenwerking met de Stichting Centrum voor Oppervlakte Technologie (COT) een onderzoek uitgevoerd naar de gehalten van formaldehyde in de binnenlucht van 49 woningen. In deze woningen waren geen of slechts geringe hoeveelheden spaanplaat als bouw materiaal verwerkt. Bovendien was er geen spouwmuurisolatie met ureumformaldehydeschuim toegepast. Het doel van het onderzoek was om inzicht te krijgen in de gebruikelijke concentraties formaldehyde in woningen, waarvan de bewoners géén klachten hadden geuit. Het formaldehyde in deze woningen was afkomstig van zelf in de woning gebracht spaanplaat (zoals in meubilair, ondervloeren en bij kleine verbouwingen), roken, vloerbekleding en gordijnen, gasgestookte toestellen, open haarden, enzovoort. Monsternamen en analyse vonden

Tabel 6.5 Concentraties aldehyden in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.(6)

Verbinding	Woonkamer 1	Keuken 1	Woonkamer 2	Keuken 2
Formaldehyde	16,5	14,9	12,1	12,7
Aceetaldehyde	76,2	53,4	38,1	38,5
Propanal	1,7	1,5	2,4	2,3
Crotonaldehyde	< 0,03	< 0,03	< 0,02	< 0,02
Butanal	7,5	6,0	6,2	7,8
Benzaldehyde	1,0	0,6	0,9	0,9
2-methylbutanal	0,8	0,6	1,6	1,9
Hexanal	6,4	5,3	3,4	3,4

plaats volgens een protocol opgesteld door de Interdepartementale Begeleidingswerkgroep Formaldehydeproblematiek. De resultaten worden gegeven in Tabel 6.6.(49)****

Tabel 6.6 Formaldehydeconcentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in 49 Nederlandse woningen, waarin géén of slechts geringe hoeveelheden spaanplaat als bouw materiaal en géén UF-schuim als spouwmuurisolatie zijn toegepast.(49)

Locatie	Formaldehydeconcentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				
	gemiddelde	mediaan	10-percentiel	90-percentiel	spreiding
Woonkamer	66	63	33	108	17-146
Keuken	69	64	26	121	7-203
Slaapkamer	77	59	26	161	9-280

De gemiddelde formaldehydeconcentratie bleek hoger in woningen waar regelmatig werd gerookt of waar meer dan 10 m^2 spaanplaat per 65 m^3 aanwezig was. Op grond van deze waarnemingen concludeerden de onderzoekers dat normale achtergrondconcentraties aan formaldehyde in woonkamers zullen variëren van 30 tot $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en in keukens en slaapkamers van 30 tot $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Van de 49 woningen die in dit onderzoek waren betrokken, werd in één woonkamer, drie keukens en in vijf slaapkamers de grenswaarde van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (zie paragraaf 'Normen') overschreden.(49)

De prestatienorm voor formaldehyde in het Bouwbesluit van $120 \text{ microgram}/\text{m}^3$ is gebaseerd op een blootstelling van maximaal 30 minuten. Het niet-wettelijke MTR voor formaldehyde, dat uitgaat van een jaargemiddelde blootstelling, bedraagt $10 \text{ microgram}/\text{m}^3$.

6.6 Effecten op de gezondheid

6.6.1 Gezondheidsrisico's van VOS

In deze paragraaf worden enige gegevens weergegeven over de giftigheid van een aantal groepen organische stoffen die gewoonlijk in de binnenlucht van woningen wordt aangetoond. De groepen die aan bod komen zijn:

- alkanen (alifatische en cyclische alkanen);
- gechloreerde alifatische koolwaterstoffen;
- aromatische koolwaterstoffen;
- gechloreerde benzenen;
- aldehyden;
- terpenen;
- di-isocyanaten;
- PCB's.

Hiermee wordt slechts een deel van de beschikbare informatie over de giftigheid van VOS behandeld. Het valt buiten het kader van dit handboek alle VOS te behandelen. In de praktijk zullen zich situaties voordoen waarbij het raadplegen van andere informatiebronnen nodig zal zijn.

In de meeste gevallen zal in het binnenmilieu blootstelling plaatsvinden aan mengsels van VOS, in plaats van aan individuele organische stoffen. De Gezondheidsraad stelde in 2000 vast dat concentraties van deze mengsels in het binnenmilieu van 0,2 tot 3,0 mg/m³ chemo-sensorisch worden waargenomen, wat tot klachten kan leiden over geur en prikkeling van neus en ogen.⁽⁵⁰⁾ In veel onderzoeken wordt een relatie gelegd tussen mengsels van VOS (en andere verontreinigingen) in het binnenmilieu en klachten over geur en irritatie van ogen en luchtwegen.⁽⁷⁾ In de Engelstalige literatuur wordt hierbij ook wel gesproken over het 'sick building syndrome'. De klachten die met het 'sick building syndrome' geassocieerd zijn gaan meestal snel over als men het gebouw verlaat en betreffen onder andere irritatie van ogen en bovenste luchtwegen, hoesten, kortademigheid, druk op de borst, hoofdpijn, misselijkheid, duizeligheid, droge huid en huidirritatie, overgevoeligheid voor geuren.⁽⁵⁰⁾

In het algemeen hebben vluchtige organische verbindingen een remmend effect op het centraal zenuwstelsel (CZS). Dit uit zich bij toenemende dosis in ondermeer hoofdpijn, lusteloosheid, duizeligheid en bewusteloosheid. Bij personen die gedurende lange perioden te veel organische oplosmiddelen inademen, bestaat het risico van Organisch Psychosyndroom (OPS). Dit syndroom komt vooral voor bij mensen die beroepsmatig blootstaan aan organische oplosmiddelen, zoals huisschilders. Klinische symptomen van dit syndroom zijn ondermeer snel geïrriteerd en vermoeid zijn, concentratieproblemen en het minder functioneren van het geheugen. Naast de effecten op het CZS zijn veel organische oplosmiddelen irriterend voor ogen, neus, keel en huid. Bij herhaalde irritatie van de huid door blootstelling aan organische oplosmiddelen (in bijvoorbeeld alkydverf of terpentijn) kan irritatie-eczeem ontstaan. Verven en lakken op basis van polyurethaan en epoxyhars kunnen, naast irriterende effecten, leiden tot allergieën die zich uiten in allergisch eczeem en astma-achtige klachten door blootstelling aan respectievelijk isocyanaten en snelverdampende amines. In zeldzame gevallen kan huidblootstelling aan drogers (siccatief), anti-velmiddelen en bindmiddelen uit alkydverven ook aanleiding geven tot allergisch eczeem. Een beperkt aantal onderzoeken wijst op een verband tussen de blootstelling van jonge kinderen aan VOS of formaldehyde in het binnenmilieu en de aanwezigheid van astma bij deze kinderen.^(51,52) Acute hoge blootstelling aan sommige organische stoffen kan leiden tot lever- en nierbeschadigingen. Bij proefdieren, maar ook bij werknemers, is waargenomen dat blootstelling aan VOS op den duur kan leiden tot blijvende afwijkingen van het CZS en lever- en nierbeschadigingen. Sommige VOS worden verdacht van reproductietoxische eigenschappen (effecten op de ontwikkeling en vruchtbaarheid). De Gezondheidsraad beoordeelde een aantal VOS als (mogelijk) schadelijk voor het ongeboren kind. Hoewel sommige onderzoeken een verband leggen tussen blootstelling aan sommige (mengsels van) VOS en een vermindering van de vruchtbaarheid, zijn er volgens de Gezondheidsraad onvoldoende geschikte (humane) gegevens om de door hen beschouwde VOS (trichlooretheen, PER, styreen, toluen en xyleen) te classificeren met betrekking tot effecten op de vruchtbaarheid.⁽⁵³⁻⁵⁷⁾ Sommige VOS worden door de International Agency for Research on Cancer (IARC) verdacht van carcinogene eigenschappen. Voor de stoffen waarvoor dit het geval is, wordt dit in de hieronder staande tekst weergegeven. Overigens zijn niet alle VOS door de IARC beoordeeld.

6.6.1 Alkanen

De giftigheid van alkanen is zeer gering, zeker wanneer de stoffen zich in gas- of vaste vorm bevinden. De vloeibare vorm is iets giftiger, omdat na het inslikken van deze stoffen als vloeistof de stoffen gemakkelijker via het maagdarmkanaal in het lichaam worden opgenomen.

De alkanen met één tot vier koolstofatomen (methaan, ethaan, propaan en butaan) zijn bij concentraties lager dan 12.000 mg/m³ vrijwel niet giftig. Het voornaamste toxische effect na inhalatie van deze stoffen is asfyxie (zuurstoftekort/verstikking) ten gevolge van verdringing van zuurstof in de inademingslucht.(58) Bij hogere concentraties hebben deze alkanen een remmend effect op het CZS en geven ze irritatie van de luchtwegen. Deze effecten verdwijnen volledig na beëindiging van de blootstelling. De hogere alkanen hebben een sterkere narcotische werking en zijn relatief giftiger voor het CZS.

Hexaan wordt gezien als de meest toxische verbinding in de reeks van de onvertakte alifatische alkanen. Blootstelling gedurende 15 minuten aan enkele duizenden mg/m³ veroorzaakt irritatie van ogen en luchtwegen. Onderdrukking van het CZS (duizelingen) doet zich voor bij blootstelling gedurende 10 minuten aan ongeveer 18.000 mg/m³.(58) De stof kan perifere neuropathie veroorzaken bij de mens, een effect waarvoor de metaboliet 2,5-hexaandion verantwoordelijk is.(6) Er zijn aanwijzingen dat blootstelling aan hexaan de vruchtbaarheid vermindert.(59) Uit tot nu toe verricht onderzoek komen geen aanwijzingen dat blootstelling aan de hier besproken alkanen kanker bij de mens tot gevolg kan hebben.

Cyclohexaan en methylcyclohexaan zijn cyclo-alkanen die vrij algemeen in de binnenlucht van woningen worden aangetroffen. Over het algemeen hebben cyclo-alkanen een remmende werking op het CZS met een lage acute en chronische toxiciteit. De lagere cyclo-alkanen, cyclobutaan en met name cyclopropaan, worden vaak als anesthesiegassen gebruikt. Bij cyclo-alkanen met meer koolstofatomen dan cyclopentaan is het verschil tussen de dosis die narcotisch werkt en de dosis die de dood tot gevolg heeft klein. Cyclo-alkanen worden na opname snel onveranderd uitgescheiden, deels via de uitademingslucht en deels via de urine. Contact met cyclo-alkanen als vloeistof ontvet de huid en daardoor kunnen deze stoffen huidirritatie geven.(60)

6.6.2 Aromatische koolwaterstoffen

Naftaleen wordt via inhalatie, oraal en via de huid goed opgenomen. Inademing kan leiden tot keelpijn, hoesten, hoofdpijn en misselijkheid. Herhaalde inhalatoire blootstelling kan leiden tot lokale schade aan de luchtwegen. Verder kan blootstelling aan naftaleen leiden tot ernstige hemolytische anemie. Er zijn gevallen bekend waarin dit werd veroorzaakt door inhalatie van naftaleen uit textiel (kleding en beddengoed) dat was opgeslagen in een ruimte met mottenballen.(13) Naftaleen is door de IARC geclassificeerd als mogelijk carcinogeen (klasse 2B: 'possibly carcinogenic').(61) Wanneer benzeen wordt ingeademd, wordt ongeveer de helft door het lichaam opgenomen. Het wordt voornamelijk opgeslagen in de vethoudende delen van het lichaam. Opname van de vloeistof door de huid is goed mogelijk. Via voedsel en drinkwater wordt ook benzeen opgenomen. Het opgenomen benzeen wordt uiteindelijk door het lichaam weer uitgedemd of wordt afgebroken en via de urine verwijderd. Dit proces vergt echter nogal wat tijd (meer dan een etmaal), zodat ophoping in het lichaam optreedt als men op achtereenvolgende dagen aan benzeen wordt blootgesteld. Benzeen heeft bij kortdurende blootstelling vooral effecten op het CZS. De snelheid van herstel is afhankelijk van de concentratie en blootstellingsduur. Symptomen kunnen enkele weken aanhouden. De belangrijkste symptomen zijn slaperigheid, duizeligheid, hoofdpijn, en delirium, wat kan leiden tot bewusteloosheid. Ook kan zich milde irritatie van de luchtwegen voordoen. Acute hoge blootstelling kan leiden tot kortademigheid, bedwelming met euforie, oorsuizingen en uiteindelijk bewusteloosheid.(60) Tabel 6.7 geeft een overzicht van de effecten van benzeen na blootstelling aan hoge concentraties gedurende korte perioden.

De effecten van benzeen na langdurige blootstelling aan lage concentraties zijn het gevolg van een afbraakproduct van benzeen. De effecten treden vooral op in het bloed. Het aantal witte en rode bloedlichaampjes kan afnemen en er kunnen storingen ontstaan in de bloedstolling. In een

Tabel 6.7 Overzicht van de effecten van benzeen na inhalatoire blootstelling aan hoge concentraties gedurende korte perioden.(60)

Concentratie benzeen in mg/m ³	Acute effecten bij de mens
80 (gedurende 8 uur)	geen effect, wel aantoonbaar in het bloed
160-480 (gedurende 5 uur)	hoofdpijn, matheid, vermoeidheid
1600 (gedurende 1 uur)	hoofdpijn
4800	'ziektesympptomen'
9600	verdraagbaar gedurende 0,5-1 uur
24.000	tekenen van vergiftiging in 0,5-1 uur (slaperigheid, duizeligheid, hoofdpijn, delirium, bewusteloosheid)
61.000-64.000	kan dodelijk zijn binnen 5-10 minuten

later (ernstiger) stadium zijn er ook effecten op het beenmerg, de plaats waar de bloedcellen worden gemaakt. Effecten op het beenmerg zijn verantwoordelijk voor het ontstaan van (vaak fatale) aplastische anemie en acute myelogene leukemie. Benzeen wordt door de IARC beschouwd als genotoxisch carcinogeen (klasse 1).(62) Er is onvoldoende bewijs voor het bestaan van een drempelwaarde waaronder geen kanker kan ontstaan. Blootstelling van de mens aan benzeen dient daarom zoveel mogelijk te worden vermeden. Chronische blootstelling aan benzeen heeft ook effecten op het CZS. Dit wordt vaak niet herkend omdat deze effecten minder specifiek zijn. Het gaat hier om verschijnselen als vermoeidheid, gehoorverlies en abnormale kleurwaarneming.

6.6.3 Alkylbenzenen

De effecten van de verschillende alkylbenzenen die kunnen voorkomen in het binnenmilieu komen sterk met elkaar overeen. Over het algemeen onderdrukken alkylbenzenen het CZS en veroorzaken ze irritatie van de slijmvliezen van ogen en luchtwegen. Bij langdurige of herhaalde blootstelling kunnen sommige alkylbenzenen lever- of nierbeschadiging veroorzaken. Trimethylbenzeen kan bij chronische blootstelling inwerken op de witte en rode bloedcellen met als gevolg bloedafwijkingen (bloedarmoede en toename van de stollingstijd).(59)

De bekendste alkylbenzenen zijn toluen, xyleen en styreen. Toluen wordt snel geabsorbeerd via inhalatie, maar kan ook via het maagdarmkanaal (als vloeistof) en in mindere mate via de huid door het lichaam worden opgenomen. Kortdurende inhalatoire blootstelling aan toluen kan leiden tot irritatie van de slijmvliezen, tranenvloed, vermoeidheid, slaperigheid en misselijkheid. Hoge concentraties kunnen gevoelloosheid en tintelingen van de huid, vertekend zicht, duizeligheid, misselijkheid en bewusteloosheid veroorzaken.(60) In Tabel 6.8 wordt een overzicht gegeven van de effecten van toluen na blootstelling aan hoge concentraties gedurende korte perioden. Toluen heeft, in tegenstelling tot benzeen, bij langdurige blootstelling geen effecten op het bloed of de bloedvormende organen. Na langdurige blootstelling aan hoge concentraties toluen treden irreversibele effecten op in het CZS en het binnenoer (gehoorverlies).(63) Bij langdurige blootstelling aan toluen kan ook schade optreden aan lever en nieren.(59) De Gezondheidsraad beschouwde toluen als mogelijk schadelijk voor het ongeboren kind.(64) Blootstelling aan hoge concentraties toluen tijdens de zwangerschap kan leiden tot het foetaal tolueensyndroom (tolueenembryopathie): kinderen van vrouwen die tijdens de zwangerschap toluen snoven, hebben karakteristieke fysieke en gedragsafwijkingen, waaronder een laag geboortegewicht, microcefalie, een brede neusbrug en vertraging in groei en ontwikkeling.(58)

Xyleen kan via het maag-darmkanaal (als vloeistof) maar vooral via de longen (als damp) door het lichaam worden opgenomen. Evenals de andere aromaten heeft xyleen voornamelijk effect op ogen en luchtwegen en het centraal zenuwstelsel. Tabel 6.9 geeft een overzicht van een aantal effecten van xyleen na blootstelling aan hoge concentraties gedurende korte perioden. Vergelijkbare effecten kunnen optreden na een langdurige blootstelling aan xyleen, maar zijn ernstiger. De

Tabel 6.8 Overzicht van de effecten van toluen na inhalatoire blootstelling aan hoge concentraties gedurende korte tijd.(63)

Concentratie toluen (mg/m ³)	Acute effecten bij de mens
< 375	subjectieve klachten over vermoeidheid, loomheid
750	milde oog- en keelirritatie, vermindering van cognitieve functies, hoofdpijn, duizeligheid, gevoel van intoxicatie; effecten na blootstelling zijn vermoeidheid, verwardheid, matige slapeloosheid
1125	waarneembare tekenen van coördinatieverlies bij blootstelling gedurende 8 uur
1500	irritatie van ogen en keel, tranenvloed, ongevoeligheid van de huid, duidelijke tekenen van coördinatieverlies, verwardheid bij blootstelling gedurende 8 uur
1875-2250	verminderde eetlust, onvaste gang, misselijkheid, rusteloosheid (tot en met de volgende dag), tijdelijk geheugenverlies, significante vermindering van de reactietijd
3000	langdurige misselijkheid na blootstelling gedurende 3 uur, verwardheid, gebrek aan zelfcontrole, extreme rusteloosheid, spierzwakte, slapeloosheid (houdt enkele dagen aan)
5625	waarschijnlijk niet dodelijk bij blootstellingen tot 8 uur, coördinatieverlies, extreme spierzwakte
15.000	snelle vermindering reactietijd, blootstelling gedurende 1 uur of langer kan leiden tot bewusteloosheid en overlijden
> 37.500	bewusteloosheid binnen enkele minuten, langere blootstelling kan dodelijk zijn

symptomen bij langdurige blootstelling betreffen effecten op het CZS. Blootstelling kan leiden tot excitatie van het CZS, gevolgd door onderdrukking van het CZS met spierzwakte, gevoelloosheid en tintelingen van de huid, tremor, nervositeit, duizeligheid, hoofdpijn, eetlustverlies, vermoeidheid en misselijkheid. Er kunnen zich anemie en bloedingen van slijmvliezen voordoen. Bij het vaststellen van de effecten van xyleen was het niet altijd exact bekend bij welke blootstelling aan xyleen deze effecten zijn ontstaan en of er niet tegelijkertijd sprake is geweest van blootstelling aan andere (soortgelijke) chemische stoffen.(60) De Gezondheidsraad beschouwt xyleen als mogelijk schadelijk voor het ongeboren kind.(55) Blootstelling aan xyleen tijdens de zwangerschap geeft een verhoogd risico op spontane abortus. Uit proefdieronderzoek blijkt dat xyleen niet duidelijk teratogeen is, maar wel embryotoxisch en foetotoxisch bij een dosering die toxiciteit bij het moederdier veroorzaakt.(58)

Tabel 6.9 Overzicht van de effecten van xyleen na blootstelling aan hoge concentraties gedurende korte perioden.(60)

Concentratie xyleen (mg/m ³)	Acute effecten bij de mens
860	irriterend voor neus, keel en ogen na een blootstelling van 3 - 5 minuten
475-1980	direct irriterend voor neus, keel en ogen
20.000	ernstige irritatie van bovenste luchtwegen en ogen
43.100 (gemiddeld)	na een blootstelling van 18,5 uur als gevolg van een ongeval veroorzaakte deze dosis bewusteloosheid en dood bij werknemers

Styreen veroorzaakt irritatie van ogen, huid en ademhalingswegen en onderdrukking van het CZS. Subjectieve klachten over irritatie van slijmvliezen en onderdrukking van het centraal zenuwstelsel (bijvoorbeeld duizeligheid, licht gevoel in het hoofd, hoofdpijn, slaperigheid) kunnen ontstaan bij blootstellingen tussen 420 en 840 mg/m³.(65) De effecten van styreen na blootstelling aan hoge concentraties gedurende korte perioden zijn weergegeven in Tabel 6.10. Bij langdurige blootstelling kan zich misselijkheid, braken, verminderde eetlust en algehele zwakte voordoen.(60) Chronische blootstelling kan leiden tot leverbeschadiging.(59) Volgens de Gezondheidsraad waren er

voor styreen onvoldoende gegevens om een beoordeling te geven van de reproductietoxiciteit.(53) Styreen is door de IARC geclassificeerd als mogelijk carcinogeen (klasse 2B: possibly carcinogenic).(61)

Tabel 6.10 Overzicht van de effecten van styreen na blootstelling aan hoge concentraties gedurende korte Perioden.(60,65)

Concentratie styreen (mg/m ³)	Acute effecten bij de mens
420 - 840	subjectieve klachten over irritatie van slijmvliezen en onderdrukking van het centraal zenuwstelsel (bijvoorbeeld duizeligheid, licht gevoel in het hoofd, hoofdpijn, slaperigheid)
1470	vermindering van reactietijd
1630 (1 uur)	verdere vermindering van neurologisch functioneren
2600	zeer sterk irriterend voor ogen en luchtwegen
3400 (3 uur)	directe oog- en keelirritatie, loopneus, metaalsmaak, slaperigheid, duizeligheid. Na afloop van de blootstelling milde spierzwakte met traagheid en neerslachtigheid

6.6.4 Gechloreerde alifatische koolwaterstoffen

De gechloreerde alifatische koolwaterstoffen werken remmend op het functioneren van het CZS. Dit resulteert in duizelingen, coördinatieverlies, gevoelloosheid en gevoel van dronkenschap. Deze effecten verdwijnen na beëindiging van de blootstelling. Daarnaast zijn deze verbindingen irriterend voor ogen, neus en keel en bij langdurig huidcontact ook voor de huid. Zowel kortdurende blootstelling aan hoge concentraties als langdurige blootstelling aan lagere concentraties kunnen effecten op de lever en nieren tot gevolg hebben. Dit kan zich uiten in een toename van het gewicht van deze organen en beschadiging van het orgaanweefsel. De Gezondheidsraad oordeelde dat trichlooretheen beschouwd moet worden als schadelijk voor het ongeboren kind en PER als mogelijk schadelijk voor het ongeboren kind.(57,56)

Een aantal van de gechloreerde alifatische koolwaterstoffen die in woningen kunnen worden aangetroffen wordt verdacht van kankerverwekkende eigenschappen. Zowel PER als trichlooretheen heeft volgens de IARC waarschijnlijk carcinogene eigenschappen (ingedeeld in klasse 2A: 'probably carcinogenic').(66) Verder worden trichloormethaan, 1,2-dichloorethaan en dichloormethaan door de IARC beschouwd als mogelijk carcinogeen (klasse 2B: 'possibly carcinogenic').(67,68)

6.6.5 Gechloreerde benzenen

De gechloreerde benzenen werken remmend op het functioneren van het CZS. Deze remmende werking van gechloreerde benzenen is minder sterk dan die van gechloreerde alifatische koolwaterstoffen. De effecten verdwijnen na beëindiging van de blootstelling.

Gechloreerde benzenen zijn irriterend voor ogen, neus en keel en bij langdurig huidcontact ook voor de huid. Zowel bij acute blootstelling aan hoge concentraties als bij langdurige blootstelling aan lagere concentraties kan beschadiging van de lever en in mindere mate van de nieren optreden. Omdat de gechloreerde benzenen veel toegepast worden in schoonmaakmiddelen, zijn er in de literatuur relatief veel gevallen beschreven van vergiftiging door het per ongeluk inslikken van schoonmaakmiddelen. Effecten waren remming van het CZS (bewusteloosheid), braken en beschadiging van lever en nieren. Aan welke stof of stoffen deze effecten precies zijn toe te schrijven, is niet duidelijk. Schoonmaakmiddelen zijn altijd samengesteld uit een mengsel van stoffen, waarin behalve gechloreerde benzenen ook andere stoffen aanwezig zijn.(69)

6.6.6 Aldehyden

Het belangrijkste effect van aldehyden in de lucht op de gezondheid is irritatie van ogen, neus en luchtwegen. De meeste aldehyden zijn nooit adequaat beoordeeld voor luchtexpositie.(6)

Formaldehyde

Formaldehyde is een reactieve stof en daardoor biologisch actief. Formaldehyde lost gemakkelijk op in water. Bij blootstelling aan formaldehydedamp wordt daarom een groot gedeelte gebonden aan de slijmvliezen van de ogen en bovenste luchtwegen. Een klein gedeelte wordt opgenomen in het bloed, waar het snel wordt afgebroken. De halfwaardetijd van formaldehyde bedraagt circa 1 minuut.

Irritatie van ogen, neus en keel en ook hoofdpijn treden meestal op bij blootstelling aan een formaldehydeconcentratie van meer dan $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en verdwijnen na beëindiging van de blootstelling. Sommige mensen rapporteren dergelijke effecten echter al bij concentraties vanaf circa $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De neus- en keelirritatie wordt versterkt door fysieke inspanning. Hoge concentraties veroorzaken ernstige beschadiging van de luchtwegen en longblaasjes (alveoli), met longontsteking en longoedeem.(58) In Tabel 6.11 worden de gerapporteerde acute effecten van blootstelling aan formaldehyde samengevat. Formaldehyde heeft sensibiliserende eigenschappen, waardoor in zeldzame gevallen een formaldehyde-allergie op kan treden. Dit kan resulteren in astma-achtige klachten (door inademing van formaldehyde) en eczeem (door huidcontact).

Tabel 6.11 Gerapporteerde acute effecten op de gezondheid door blootstelling aan formaldehyde.(70)

Concentratie (mg/m^3)	Geschatte mediaan (mg/m^3)	Acute effecten bij de mens
0,01 - 1,9	0,5	oogirritatie
0,1 - 3,1	0,6	keelirritatie
2,5 - 3,7	3,1	bijtende sensatie in neus, oog
5 - 6,7	5,6	tranende ogen
12 - 25	17,8	verdraagbaar tot 30 minuten, gedurende een uur sterk tranende ogen
37 - 60	37,5	longontsteking , oedeem, ademhalingsmoeilijkheden
60 - 125	--	dood

Formaldehyde wordt door de IARC geclassificeerd als carcinogeen.(71) Er zijn bewijzen voor een verband tussen inhalatie van formaldehyde en kanker van de neusholte. De genotoxiciteit van formaldehyde is bewezen in meerdere in-vitromodellen en in blootgestelde mensen en proefdieren. Waarschijnlijk spelen zowel genotoxiciteit als cytotoxiciteit (een verhoogde celproliferatie) een rol bij de carcinogene effecten van formaldehyde op de weefsels in de neusholte.

Acroleïne

Acroleïne (acrylaldehyde) is een van de sterkst irriterende aldehyden in de binnenlucht. Symptomen bij inademing zijn tranende ogen, hoesten, druk op de borst en kortademigheid. Bij eerder gesensibiliseerde personen kunnen zich overgevoelighedsreacties voordoen.(72) De effecten van inhalatie van verschillende concentraties acroleïne voor de mens zijn in Tabel 6.12 weergegeven.

Tabel 6.12 Gerapporteerde acute effecten op de gezondheid door blootstelling aan acroleïne.(72)

Concentratie (mg/m^3)	Blootstellingsduur	Acute effecten bij de mens
0,14	5 minuten	lichte oogirritatie
0,69	10 - 20 minuten	oog- en neusirritatie
1,9	10 minuten	ernstige irritatie van alle slijmvliezen

Aceetaldehyde

Blootstelling aan aceetaldehyde veroorzaakt oogirritatie en irritatie van de hogere luchtwegen, maar aceetaldehyde is duidelijk minder irriterend dan acroleïne. Symptomen van oogirritatie kunnen optreden bij blootstelling aan 92 mg/m³ gedurende 15 minuten. Er kan longoedeem ontstaan.(73) Aceetaldehyde heeft een algemeen narcotisch effect en versnelt de hartslag.(58) Aceetaldehyde is door de IARC geclassificeerd als mogelijk carcinogeen (klasse 2B: possibly carcinogenic).(74)

6.6.7 Terpenen

Terpenen kunnen irriterend werken op de ogen, de huid en de ademhalingsorganen. Door een reactie met ozon kunnen sterker irriterende aldehyden worden gevormd.

6.6.8 Di-isocyanaten

Tijdens het aanbrengen en uitharden van polyurethaanschuim of -lak, en later tijdens verhitting, kan er geurhinder en irritatie van ogen en luchtwegen optreden door inhalatie van di-isocyanaten als damp of als aërosolen. Irritatieklachten door inhalatie van methaan-difenyldi-isocyanaat (MDI) kunnen optreden boven concentraties van 0,5 mg/m³. Er zijn geen aanwijzingen voor uitdamping van di-isocyanaten nadat de uitharding van polyurethaanschuim is voltooid.(5,26) Door langdurige lage blootstelling of een incidentele hoge blootstelling aan isocyanaten (zowel via inademing als huidblootstelling) kan sensibilisatie van de luchtwegen plaatsvinden. Eenmaal gesensibiliseerde personen kunnen sterk reageren op blootstelling aan zeer lage concentraties, met ernstige astmatische klachten en huidirritaties. Luchtwegklachten die kunnen optreden, zijn een beklemmend gevoel op de borst, hoesten en benauwdheid. Verder kunnen zich soms intense systemische effecten voordoen, zoals spierpijn, rillingen, hoofdpijn en misselijkheid.(26)

6.6.9 Ftalaten

Over het algemeen slaan ftalaten, die uitdampen uit kunststofmaterialen, snel neer op oppervlakken of worden ze geabsorbeerd door huisstof. Inhalatie (van aërosolen en ftalaten gebonden aan stofdeeltjes in de lucht), ingestie van huisstof en dermale blootstelling worden als mogelijke blootstellingsroutes van ftalaten gezien. Met betrekking tot di-2-ethylhexylftalaat (DEHP) in het binnenmilieu wordt aangenomen dat de hoeveelheid die gebonden is aan deeltjes (onder andere aan huisstof en stofdeeltjes in de lucht), ongeveer drie keer zo hoog is als de hoeveelheid gasvormig DEHP.(13) In Scandinavië zijn verbanden aangetoond tussen de concentraties van ftalaten in huisstof en de aanwezigheid van astma, rhinitis en eczeem bij kinderen. Als belangrijkste bronnen van ftalaten werden PVC-vloerbekleding en vinylbehang genoemd.(4,75) In dierproefonderzoek zijn aanwijzingen gevonden voor reproductietoxische eigenschappen van een aantal ftalaten. Hoewel in knaagdieren ook carcinogene effecten aangetoond werden, zijn de mechanismen die hierbij een rol spelen waarschijnlijk niet van toepassing op de mens.(76)

6.6.10 Broomhoudende brandvertragers

De opname van brandvertragers kan plaatsvinden door inhalatie, huidcontact en consumptie van besmette voedingsmiddelen. Gebromeerde brandvertragers zijn over het algemeen vetoplosbaar. Daardoor kan bioaccumulatie plaatsvinden in vetweefsel. De kennis over de gezondheidsrisico's van blootstelling aan brandvertragers is nog zeer beperkt. Het belangrijkste gezondheidseffect van blootstelling aan gebromeerde brandvertragers lijkt de verstoring van de schildklierhormoonbalans te zijn. Verder zijn er aanwijzingen voor neurotoxische eigenschappen en verstoring van de oestrogeenhuishouding.(14)

6.6.11 PCB's

Blootstelling aan polychloorbifenylen (PCB's) kan plaatsvinden via de orale weg en via inhalatie. Voeding wordt gezien als de belangrijkste blootstellingsroute (PCB's zijn lipofiel en komen daarvoor voor in onder andere borstvoeding en vetweefsel van vette vissoorten). PCB's zijn geur- en smaakloos en kunnen in het binnenmilieu zowel in gasvorm als gebonden aan stofdeeltjes voor-

komen. Blootstelling aan PCB's wordt geassocieerd met een groot aantal gezondheidseffecten, waaronder huidklachten (huidirritatie en chlooracne), oogaandoeningen, leverschade, verstoring van de schildklierhormoonbalans, vermindering van de vruchtbaarheid, een afgenomen weerstand tegen infecties, kanker (door de IARC ingedeeld in klasse 2A: 'probably carcinogenic') en afwijkingen bij kinderen van blootgestelde moeders (een verlaagd geboortegewicht en neurologische afwijkingen).(77,78)

Uit bloedonderzoek bij leerlingen en leraren van met PCB's besmette scholen blijkt dat verhoogde concentraties van PCB's in de binnenlucht kunnen leiden tot een lichte stijging van de concentraties van PCB's in het bloed. In vergelijking met de achtergrondblootstelling van de leerlingen en leraren waren de gevonden toenames echter zo klein dat het niet aannemelijk is dat inademing van de binnenlucht in de onderzochte scholen leidde tot een additioneel gezondheidsrisico.(79-81,25)

6.7 Normen en advieswaarden

Bij het toetsen van de kwaliteit van het binnenmilieu, bijvoorbeeld bij metingen naar aanleiding van gezondheidsklachten van bewoners, kan gebruik worden gemaakt van de in deze paragraaf beschreven normen. Vrijwel altijd zal voor het toetsen van concentraties van stoffen in het binnenmilieu het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR), of een advieswaarde die op dezelfde manier kan worden geïnterpreteerd, de meest geschikte norm zijn. Het MTR heeft geen wettelijke status, maar kan dienen als uitgangspunt voor beleid ten aanzien van het binnenmilieu. Er zijn twee vluchtige organische stoffen waarvoor een wettelijke grenswaarde is vastgesteld, namelijk formaldehyde en benzeen. De prestatienorm voor formaldehyde in het Bouwbesluit van 120 microgram/m³ is gebaseerd op een blootstelling van maximaal 30 minuten. Het niet-wettelijke MTR voor formaldehyde, dat uitgaat van een jaargemiddelde blootstelling, bedraagt 10 microgram/m³. De officiële grenswaarde voor benzeen uit het Besluit luchtkwaliteit 2005 bedraagt 10 µg/m³. Vanaf 2010 wordt de wettelijke grenswaarde voor benzeen verlaagd van 10 µg/m³ naar 5 µg/m³. Voor de periode tussen 2005 en 2010 zijn plandrempels opgesteld. Voor een groot aantal VOS zijn ook maximaal aanvaarde concentraties (MAC's) voor de werkplek opgesteld; deze zijn echter niet van toepassing op de binnenlucht van woningen. In de rest van deze paragraaf zal een overzicht worden gegeven van de huidige advieswaarden voor VOS in het binnenmilieu.

De Gezondheidsraad is van mening dat vermeden moet worden dat de totale VOS-concentratie in verblijfsruimten hoger wordt dan 200 µg/m³. Het uitgangspunt bij deze bovengrens voor VOS is dat chemosensorische waarnemingen (prikkeling van neus en ogen) ten gevolge van blootstelling aan VOS in het binnenmilieu kunnen worden opgevat als kritisch effect. Kankerverwekkende, reproductietoxische en sensibiliserende eigenschappen van VOS zijn in het advies van de Gezondheidsraad buiten beschouwing gelaten. Het Gezondheidsraadadvies geldt niet voor alle VOS. De gegevens zijn ontleend aan onderzoek waarin VOS gemeten zijn met GCMS na bemonstering op actief kool of Tenax (zie paragraaf 6.4, 'Meten'). Zeer vluchtige organische stoffen, matig vluchtige stoffen met een kookpunt boven 260°C, sterk in water oplosbare stoffen, polaire stoffen en organische stoffen geassocieerd met vaste of vloeibare deeltjes zijn niet meegenomen in dergelijk onderzoek.(50)

Voor afzonderlijke VOS zijn door het RIVM gezondheidkundige advieswaarden voor het binnenmilieu vastgesteld. De selectie die is gemaakt in het RIVM-rapport (6) is gebaseerd op stoffen die in de literatuur of vanuit de praktijk vaak in verband zijn of worden gebracht met (verontreiniging van) het binnenmilieu. De advieswaarden van het RIVM zijn gebaseerd op het MTR. Ze kunnen gebruikt worden om de kwaliteit van het binnenmilieu te toetsen, bijvoorbeeld bij metingen naar aanleiding van gezondheidsklachten van bewoners of het beoordelen van bouwmaterialen.(6)

Voor een zeer beperkt aantal VOS zijn door de Wereld Gezondheids Organisatie (WHO) richtwaarden voor de binnen- en buitenlucht vastgesteld. De richtwaarden vertegenwoordigen de concentraties van stoffen met een bijbehorende blootstellingsduur, waaronder (met betrekking tot niet-carcinogene eindpunten) geen negatieve gevolgen voor de gezondheid worden verwacht. De richtwaarden van de WHO gelden, in tegenstelling tot de gezondheidkundige advieswaarden van het RIVM, niet voor levenslange blootstelling.

Daarnaast heeft de WHO richtwaarden voor geurhinder vastgesteld voor toluen, styreen en tetrachlooretheen, stoffen waarbij geurhinder kan ontstaan bij lagere concentraties dan de grenswaarden voor toxicologische effecten. Deze richtwaarden (geldend voor blootstellingen gedurende 30 minuten) bedragen respectievelijk 1 mg/m³, 0,07 mg/m³ en 8 mg/m³.⁽⁸²⁾

In Tabel 6.13 worden, tenzij anders aangegeven, de gezondheidkundige advieswaarden voor het binnenmilieu die zijn vastgesteld door het RIVM en de richtwaarden voor binnen- en buitenlucht van de WHO weergegeven. Voor een aantal stoffen, waarvoor deze waarden niet beschikbaar waren, zijn advieswaarden van andere instanties of advieswaarden uit onderzoeken weergegeven. Niet voor alle vluchtige stoffen die in dit hoofdstuk worden behandeld, zijn betrouwbare advieswaarden voor chronische inhalatie beschikbaar.

Tabel 6.13 Gezondheidskundige advieswaarden en WHO-richtwaarden van enkele gewoonlijk in de binnenlucht voorkomende organische stoffen. (6,82)

Component	Gezondheidskundige advieswaarde (µg/m ³)	Richtwaarden WHO (µg/m ³)
Alkanen		
Alkanen: som van pentaan, heptaan, octaan	18.400	
Alkanen: hogere alkanen (nonaan en hoger)	1000	
Hexaan	200	
Cyclohexaan	3000	
Gechloreerde alifatische verbindingen		
Dichloormethaan	3000	3000 (gemiddeld over 24 uur) 450 (gemiddeld over 1 week)
Trichloormethaan (chloroform)	100	
1,2-dichloorethaan	48 ^a	700 (gemiddeld over 24 uur)
Tetrachlooretheen (PER)	250	250 (gemiddeld over 1 jaar)
1,1,1-trichloorethaan	380	
Tetrachloormethaan	60 ^b	
1,2-dichloorpropaan	12	
Trichlooretheen (TRI)	200	
Aromatische verbindingen		
Benzeen	20 ^a	
Tolueen	400	260 (gemiddeld over 1 week)
Xyleen	870	
Ethylbenzeen	770	
High-Boiling-Aromatic Solvents: groep van aardolie afgeleide oplosmiddelen waarin hoge concentraties alkylbenzenen voorkomen (vooral methylethylbenzenen en trimethylbenzenen)	800	
Styreen	900	260 (gemiddeld over 1 week)

Component	Gezondheidskundige advieswaarde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Richtwaarden WHO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Alkylbenzenen: som van isopropylbenzeen (cumeen), trimethylbenzeen, methylethylbenzeen, n-propylbenzeen (isocumeen), n-butylbenzeen	870	
Naftaleen	25 ^c	
Gechloreerde aromatische verbindingen		
1,4-dichloorbenzeen (p-dichloorbenzeen)	670	
Chloorbenzeen (monochloorbenzeen)	500	
Trichloorbenzeen: 3 isomeren	50	
Aldehyden		
Formaldehyde	1,2 ^d	100 (gemiddeld over 30 minuten) ^d
Acroleïne	50 ^e	
Aceetaldehyde	9000 ^e 5200 ^f	
Propanal	4300 ^f	
Benzaldehyde	1200 ^f	
Hexanal	3400 ^f	
2-furaldehyde (furfural)	2 ^f	

^a concentratie waarbij één extra geval van kanker op 1 miljoen levenslang blootgestelde personen per jaar optreedt.

^b MTR afkomstig uit RIVM-rapport 'Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels'.(83)

^c RIVM-advieswaarde 2006.

^d Het MTR voor formaldehyde in lucht zoals in het verleden vastgesteld door het ministerie van VROM bedraagt $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als 30 minuten-gemiddelde of $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als jaargemiddelde.

^e Waarde is afkomstig uit 'Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality', Health Canada.(84)

^f Lowest concentration of interest = concentratie van een vluchtige stof in de binnenlucht die, voor zover bekend is, bij continue blootstelling geen consequentie heeft voor de gezondheid of het comfort (gebaseerd op sensorische prikkeling).(10)

6.8 Juridische aspecten

VOS kunnen stankoverlast veroorzaken. Voor de juridische aspecten van deze vorm van overlast wordt verwezen naar hoofdstuk 15, 'Geurhinder'.

Overlast door bedrijven

Wanneer er overlast wordt ondervonden van VOS afkomstig van bedrijven, dan kan geïnformeerd worden naar de juridische aspecten bij Infomil of de milieudienst. In het kader van de Arbeidsomstandighedenwet zijn bedrijven (werkgevers) verplicht doeltreffende voorzorgsmaatregelen te treffen en/of voorzieningen aan te brengen om werknemers én publiek te beschermen tegen met de werkzaamheden verband houdende gevaren voor de veiligheid of de gezondheid. Werknemers zijn verplicht de nodige voorzichtigheid en zorgvuldigheid in acht te nemen ter vermijding van gevaren voor de veiligheid, het welzijn of de gezondheid van henzelf of van anderen (dus ook van bewoners en omstanders).

Op basis van de Wet milieubeheer kunnen in geval van verhoogde concentraties VOS als gevolg van kleinschalige bedrijfsactiviteiten (zoals chemische wasserijen) door de gemeente eisen worden gesteld en gecontroleerd en gehandhaafd. Zo bestaat het Besluit Textielreinigingsbedrijven Milieubeheer (2001) waarin ondermeer is opgenomen dat de bouwkundige scheidingsconstructies (scheidingswanden of plafonds) naar ruimten van derden toe dampdicht moeten zijn. Verder mag de immiszie-concentratie van PER in niet tot de inrichting behorende inpannige of aanpannige ruimten van derden niet meer dan $0,25 \text{ mg}/\text{m}^3$ als weekgemiddelde bedragen.

Overlast door particulieren

Artikel 5.37 van het Burgerlijk Wetboek bepaalt dat personen geen onrechtmatige hinder mogen toebrengen aan eigenaren van andere erven (buren). Een dergelijk voorschrift is eveneens te vinden in de Modelbouwverordening van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG), die in de meeste Nederlandse gemeenten van toepassing is. De grondslag voor de plaatselijke bouwverordeningen ligt in de Woningwet.

Verven en vernissen

In 2002 zijn in een beschikking van de Europese Commissie (2002/739/EG) regels vastgelegd voor de maximale concentraties van VOS en formaldehyde in verven en vernissen.

Eind 2005 is het Oplosmiddelenbesluit omzetting EG-VOS-richtlijn milieubeheer van kracht geworden. Hierin staan regels met betrekking tot het gebruik van organische oplosmiddelen in verven en vernissen en producten voor het overspuiten van voertuigen. In het besluit worden eisen gesteld aan het maximale VOS-gehalte in decoratieve verven en vernissen die gebruikt worden in de bouw-, timmer- en doe-het-zelfsector en aan producten die gebruikt worden in de auto-schadeherstelsector. De eisen gelden voor de producten die in Nederland op de markt worden gebracht en zijn per 1 januari 2007 in werking getreden. Vanaf 1 januari 2010 gelden voor sommige producten strengere eisen. Het besluit regelt tevens dat op het etiket van de bovengenoemde producten moet zijn aangegeven tot welke subcategorie het product behoort, welke grenswaarde hierbij hoort en wat het maximale VOS-gehalte van het product in gebruiksklare vorm is. Onder het Besluit vallen ook verfproducten die door consumenten worden gebruikt.

Plaatmaterialen en formaldehyde

In 1986 is het Spaanplaatbesluit (onderdeel van de Warenwet) van kracht geworden. Het Spaanplaatbesluit heeft betrekking op plaatmaterialen, bestaande uit kleine deeltjes hout of andere lignocellulosehoudende materialen die met een organisch bindmiddel zijn samengebonden. Dit besluit bepaalt dat spaanplaat en andere plaatmaterialen, toegepast in de bouw en de doe-het-zelfsector, niet meer dan 10 mg formaldehyde per 100 g plaatmateriaal mogen bevatten. Plaatmaterialen in meubelen zijn hiervan uitgezonderd.

In het Bouwbesluit 2003 worden eisen gesteld aan de maximale concentratie formaldehyde in de binnenlucht. De voorschriften geven geen verbod op de toepassing van bouwproducten of bouwmaterialen die formaldehyde afgeven, maar bepalen dat in het binnenmilieu een bepaalde concentratie niet mag worden overschreden. Deze toegelaten concentratie is gerelateerd aan de concentratie in de buitenlucht. Bij de eis is een grenswaarde van 120 µg/m³ als in absolute zin maximaal toelaatbare concentratie in de binnenlucht (bij een binnenluchttemperatuur van 23 °C en een relatieve luchtvochtigheid van 50%) als uitgangspunt genomen. Om de concentratie aan formaldehyde in een verblijfsgebied van een gebruiksfunctie onder alle omstandigheden te kunnen meten, is de grenswaarde van de toelaatbare concentratie afhankelijk gesteld van de temperatuur en de relatieve vochtigheid.

PCB's

Sinds 1979 worden in Nederland wettelijke beperkingen gesteld aan het gebruik van PCB's. In 1985 werd een verbod van kracht op de handel in en het gebruik van nieuwe PCB's, ook in gesloten systemen, zoals transformatoren en condensatoren (EU-richtlijn 85/467). EU-richtlijn 96/59 en een ministeriële regeling uit 1998 (Regeling verwijdering PCB's) zijn gericht op het verwijderen van PCB's en apparaten die PCB's bevatten. Volgens de ministeriële regeling moesten apparaten met meer dan 5 mg/kg aan PCB's uiterlijk eind 2002 zijn gereinigd of verwijderd en apparaten met 0,5 - 5 mg/kg aan PCB's eind 2003. Deze regeling is niet van toepassing op PCB's bevattende apparaten in particuliere huishoudens.(85)

6.9 Verantwoordelijke partijen

Toezichthouders op het milieu kunnen boetes opleggen als een bedrijf of burger in strijd met de milieuwetgeving handelt. De organisaties die toezicht houden op het milieu zijn overheidsinstanties. Ze worden gefinancierd door de Europese, nationale of lokale overheid.

Gemeenten kunnen op basis van de Wet milieubeheer eisen opstellen en controleren en handhaven. Elke gemeente is op grond van de Woningwet verplicht te voorzien in een organisatie die werkzaamheden uitvoert op gebied van het bouw- en woningtoezicht. De organisatie Bouw- en Woningtoezicht heeft als taak het uitvoeren en handhaven van de Wet op de ruimtelijke ordening en de Woningwet en de daaruit voortvloeiende verordeningen.

De milieupolitie is een gemeentelijke instantie die toezicht houdt op de vervuiling van een stad of dorp. De milieupolitie behandelt klachten, spoort zelf overtredingen op en kan proces-verbaal opmaken. De milieupolitie werkt samen met de milieudienst.

De milieudienst werkt vaak voor diverse gemeenten en houdt toezicht op de naleving van milieuwetgeving. Ook verleent de milieudienst vergunningen en controleert de organisatie of bedrijven zich aan de milieuregels houden. De VROM-Inspectie ziet erop toe dat de wetten en regels van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) worden gehandhaafd. Sinds 1 januari 2002 valt de Inspectie Milieuhygiëne onder de algemene VROM-Inspectie. Andere beleidsterreinen die onderdeel uitmaken van de algemene VROM-Inspectie zijn volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en de inlichtingen- en opsporingsdienst. Meer dan de helft van de Nederlandse wetgeving is gebaseerd op Europese regelgeving. De Europese Commissie (EC) ziet toe op de handhaving van deze regelgeving, en kan de lidstaten boetes opleggen.

6.10 Referenties

1. Hodgson AT, Beal D, McIlvaine JER. Sources of formaldehyde, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house. *Indoor Air* 2002; 12: 235-42.
2. Wensing M, Uhde E, Salthammer T. Plastics additives in the indoor environment – flame retardants and plasticizers. *Science of the Total Environment* 2005; 339: 19-40.
3. Rudel RA, Camann DE, Spengler JD, Korn LR, Brody JG. Phthalates, alkylphenols, pesticides, polybrominated diphenyl ethers, and other endocrine-disrupting compounds in indoor air and dust. *Environ Sci Technol* 2003; 37(20): 4543-53.
4. Bornehag CG, Sundell J, Weschler CJ, Sigsgaard T, Lundgren B, Hasselgren M, Hägerhed-Engman L. The Association between Asthma and Allergic Symptoms in Children and Phtalates in House Dust: A Nested Case-Control Study. *Environ Health Perspect* 2004; 112: 1393-7.
5. Wolff T, Rosskamp E. Richtwerte für die Innenraumluft : Diisocyanate. *Bundesgesundheitsblatte* 2000; 43(heft 3): 300-6.
6. Dusseldorp A, Bruggen M van, Douwes J, Janssen PJCM, Kelfkens G. Gezondheidskundige advieswaarden binnenmilieu. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609021029. Bilthoven, 2004.
7. Wolkoff P, Wilkins CK, Clausen PA, Nielsen GD. Organic compounds in office environments – sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry. *Indoor Air* 2006; 16(1): 7-19.
8. Wolkoff P, Clausen PA, Wilkins CK, Nielsen GD: Formation of strong airway irritants in terpene/ozone mixtures. *Indoor Air* 2000; 10: 82-91.
9. Liu X, Mason M, Krebs K, Sparks L. Full-scale chamber investigation and simulation of air freshener emissions in the presence of ozone. *Environ Sci Technol* 2004; 38: 2802-12.

10. Kirkeskov Jensen L, Larsen A, Molhave L, Hansen MK, Knudsen B: Health evaluation of volatile organic compound (VOC) emissions from wood and wood-based materials. *Archives of Environmental Health* 2001; 56(5): 419-31.
11. Singer BC, Destailats H, Hodgson AT, Nazaroff WW. Cleaning products and air fresheners: emissions and resulting concentrations of glycoethers and terpenoids. *Indoor Air* 2006; 16: 179-91.
12. Wainman T, Zhang j, Weschler CJ, Liyo PJ. Ozone and limonene in indoor air: a source of submicron particle exposure. *Environ Health Perspect* 2000; 108: 1139-45.
13. European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection: draft European Union Risk-Assessment Report on bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP). *Draft March 2006*.
14. Birnbaum LS, Staskal DF. Brominated Flame Retardants: Cause for Concern? *Environ Health Perspect* 2004; 112: 9-17.
15. Harrad S, Hazrati S, Ibarra C. Concentrations of polychlorinated biphenyls in indoor air and polybrominated diphenyl ethers in indoor air and dust in Birmingham, United Kingdom: implications for human exposure. *Environ Sci Technol* 2006; 40(15): 4633-8.
16. Wilford BH, Shoeib M, Harner T, Zhu J, Jones KC. Polybrominated diphenyl ethers in indoor dust in Ottawa, Canada: implications for sources and exposure. *Environ Sci Technol* 2005; 39(18): 7027-35.
17. Wilford BH, Harner T, Zhu J, Shoeib M, Jones KC. Passive sampling survey of polybrominated diphenyl ether flame retardants in indoor and outdoor air in Ottawa, Canada: implications for sources and exposure. *Environ Sci Technol* 2004; 38(20): 5312-8.
18. Fraanje P, Steenhuizen F, Velze K van, Laan H, Janus J. VOS in het binnenmilieu van woningen. IVAM-onderzoeksreeks nr.61. RIVM-rapportnr. 222302002. Amsterdam/Bilthoven, 1993.
19. Fortmann R, Roache N, Chang JCS, Guo Z. Characterization of emissions of volatile organic compounds from interior alkyd paint. *J Air & Waste Manage Assoc* 1998; 48: 931-40.
20. Biggelaar M van den, Drijver M, Duijm F. Gezondheidsklachten door muurpleister en verf. *GGD nieuws*, jaargang 14, nummer 8. 2002.
21. Weis N, Köhler M, Zorn C. Highly PCB'S-contaminated schools due to PCB-containing rough-cast. *Proceedings: Healthy Buildings 2003*.
22. Herrick RF, McClean MD, Meeker JD, Baxter LK, Weymouth GA. An unrecognized source of PCB contamination in schools and other buildings. *Environ Health Perspect* 2004; 112(10): 1051-3.
23. Coghlan KM, Chang MP, Jessup DS, Fragala MA, McCrillis K, Lockhart TM. Characterization of polychlorinated biphenyls in building materials and exposures in the indoor environment. *Proceedings: Indoor Air 2002*.
24. Corner R, Sundahl M, Rosell L, Ek-Olausson B, Tysklind M. PCB'S in indoor air and dust in buildings in Stockholm. *Proceedings: Indoor Air 2002*.
25. Neisel F, Von Manikowsky S, Schumann M, Feindt W, Hoppe HW, Melchior U. Human bio-monitoring of polychlorinated biphenyls in 130 exposed elementary school children. *Gesundheitswesen* 1999; 61(3): 137-49.
26. European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection: European Union Risk-Assessment Report Vol. 59, 2005 on: methylenediphenyl diisocyanate (mdi), CAS#: 26447-40-5, EINECS#: 247-714-0. Publication: EUR 22104 EN. 2005.
27. European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection: European Union Risk-Assessment Report Vol.33, 2003 on: naphthalene, CAS#: 91-20-3, EINECS#: 202-049-5. Publication: EUR 20763 EN. 2003.
28. Sagunski H, Heger W. Richtwerte für die innenraumlufte: naphthalin. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 2004; 47: 705-12.
29. Jacobs A, Dijkmans R. Best Beschikbare Technieken (BBT) voor de productie van spaanplaten. Vlaams Kenniscentrum voor Best Beschikbare Technieken (VITO). 1998.
30. Wilke O, Jann O, Brödner D. VOC- and SVOC-emissions from adhesives, floor coverings and complete floor structures. *Indoor Air* 2004; 14(Suppl 8): 98-107.

31. Kim S, Kim HJ. Comparison of formaldehyde emission from building finishing materials at various temperatures in under heating system; *ONDOL. Indoor Air* 2005; 15(5): 317-25.
32. Umweltbundesamt. Implementation of Health and Environmental Criteria in Technical Specifications for Construction Products. Research Report 200 62 311. UBA-FB 000794/e. Nr.14/2006. 2006.
33. American Industrial Hygiene Association. Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards. American Industrial Hygiene Association. 1989.
34. Devos M, Patte F, Rouault J, Laffort P, Gemert LJ van. Standardized Human Olfactory Thresholds. Oxford University Press, New York, United States. 1990.
35. Doorn R van, Ruijten MW, Harreveld T van. Guidance for the Application of Odor in Chemical Emergency Response. Version 2.1; August 29, 2002. Presented at the NAC/AEGL-Meeting September 2002, Washington DC. 2002.
36. Stichting Technologisch Kenniscentrum Textielverzorging: Duurzame professionele textielverzorging. 2006.
37. GGD. GGD-richtlijn Gezondheidsrisico's bij bodemverontreiniging. GGD Nederland. Utrecht, 2002.
38. GGD. GGD-richtlijn Gezondheidsrisico's voor de omgeving bij bodemsanering. GGD Nederland. Utrecht, 2004
39. VROM-Inspectie. Informatieblad 'Rioolrenovatie met kousmethoden'. Ministerie van VROM. 2006.
40. Website SKC®, fabrikant en leverancier van luchtbemonsteringproducten. www.skcinc.com.
41. Lebret E. Air pollution in Dutch homes; an exploratory study in environmental epidemiology. Proefschrift Landbouwwuniversiteit Wageningen. Wageningen, 1985.
42. Fischer PH, Hoek G, Reeuwijk H van, Briggs DJ, Lebret E, Wijnen JH van, Kingham S, Elliot PE. Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam. *Atmospheric Environment* 2000; 34: 3713-3722.
43. Verhoeff AP, Suk J, Wijnen JH van. Organische oplosmiddelen in de binnenlucht van tien zeefdrukkerijen en de bovenliggende woningen in Amsterdam. GG&GD Amsterdam. Amsterdam, 1987.
44. Fast T. De blootstelling aan tetrachlooretheen (per) van omwonenden van chemische wasserijen voorzien van een gesloten systeem. GG&GD Amsterdam. Amsterdam, 1993.
45. Ministerie van VROM, IMH-Oost. Project 'Quickscan Chemische wasserijen in de woonomgeving'. Rapportage. Arnhem, 2000.
46. VROM-Inspectie Zuid-West. Rapportage m.b.t. nazorg 'Quick scan 2000' en 'Vervolgactie chemische wasserijen in de woonomgeving 2001'. Rijswijk, 2002.
47. Links I. VOS in de binnenlucht van woningen boven schoenreparatiebedrijven. GGD regio Arnhem. Arnhem, 1995.
48. Bloemen HJTh, Bos HP, Tonkelaar EM den, Kliet JGG. Onderzoek naar de binnenluchtverontreiniging als gevolg van hydrofobering van woningen te Capelle aan den IJssel. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapport nr: 748704028. Bilthoven, 1989.
49. Keuringsdienst van Waren. Resultaten en conclusies van het onderzoek naar formaldehyde in woningen en bejaardenhuizen, waarin geen spaanplaat als bouwkundig materiaal is verwerkt. Keuringsdienst van Waren Haarlem. Haarlem, 1982.
50. Gezondheidsraad. Volatile Organic Compounds in indoor environments. Gezondheidsraad rapportnr. 2000/10. Den Haag, 2000.
51. Rumchev K, Spickett J, Bulsara M, Philips M, Stick S. Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children. *Thorax* 2004; 59: 745-51.
52. Rumchev KB, Spickett JT, Bulsara MK, Philips MR, Stick SM. Domestic exposure to formaldehyde significantly increases the risk of asthma in young children. *Eur Respir J* 2002; 20: 403-8.

53. Gezondheidsraad. Styrene; Evaluation of the effects on reproduction, recommendation for classification. Gezondheidsraad 'Committee for Compounds toxic to reproduction'. Gezondheidsraad rapportnr. 2000/08OSH. Den Haag, 2000.
54. Gezondheidsraad. Toluene; Evaluation of the effects on reproduction, recommendation for classification. Gezondheidsraad 'Committee for Compounds toxic to reproduction'. Gezondheidsraad rapportnr. 2001/09OSH. Den Haag, 2001.
55. Gezondheidsraad. Xylene; Evaluation of the effects on reproduction, recommendation for classification. Gezondheidsraad 'Committee for Compounds toxic to reproduction'. Gezondheidsraad rapportnr. 2000/10OSH. Den Haag, 2000.
56. Gezondheidsraad. Trichloroethylene; Evaluation of the effects on reproduction, recommendation for classification. Gezondheidsraad 'Committee for Compounds toxic to reproduction'. Gezondheidsraad rapportnr. 2003/09OSH. Den Haag, 2003.
57. Gezondheidsraad. Tetrachloroethylene; Evaluation of the effects on reproduction, recommendation for classification. Gezondheidsraad 'Committee for Compounds toxic to reproduction'. Gezondheidsraad rapportnr. 2003/04OSH. Den Haag, 2003.
58. Ruijten M, Habets T. Interventiewaarden gevaarlijke stoffen, Beknopte stofdocumenten. *Voorlopige versie*, juni 2004.
59. Chemiekaarten[®]. Gegevens voor veilig werken met chemicaliën. 21^e editie 2006. Samenwerkingsverband-Chemiekaarten (TNO Kwaliteit en Leven, VNCl). Sdu Uitgevers. Den Haag, 2005.
60. Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. Volume II, 4th ed. Clayton GD, Clayton FE (ed.). New York, 1993/94.
61. World Health Organization. IARC Monographs Database on Carcinogenic Risks to humans: Volume 82 Some Traditional Herbal Medicines, Some Mycotoxins, Naphthalene and Styrene. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France, 2002.
62. World Health Organization. IARC Monographs Database on Carcinogenic Risks to humans: Volume 29 Some Industrial Chemicals and Dyestuffs. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France, 1982.
63. European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection: European Union Risk-Assessment Report Vol.30, 2003 on: toluene, CAS#: 108-88-3, EINECS#: 203-625-9. Publication: EUR 20539 EN. 2003.
64. World Health Organization. Environmental Health Criteria 52 Toluene. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1986.
65. World Health Organization. Environmental Health Criteria 26 Styrene. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1983.
66. World Health Organization. IARC Monographs Database on Carcinogenic Risks to humans: Volume 63 Dry cleaning, Some Chlorinated Solvents and Other Industrial Chemicals. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France, 1995.
67. World Health Organization. IARC Monographs Database on Carcinogenic Risks to humans: Volume 71 Re-evaluation of Some Organic Chemicals, Hydrazine and Hydrogen Peroxide. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France, 1999.
68. World Health Organization. IARC Monographs Database on Carcinogenic Risks to humans: Volume 73 Some Chemicals that Cause Tumours of the Kidney or Urinary Bladder in Rodents, and Some Other Substances. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France, 1999.
69. World Health Organization. Environmental Health Criteria 128 Chlorobenzenes other than hexachlorobenzene. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1991.
70. Cooke TF. Indoor Air Pollutants. A Literature Review. *Rev Environm Health* 1991; 9: 137-60.
71. World Health Organization. IARC Monographs Database on Carcinogenic Risks to humans: Volume 88 Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-*tert*-Butoxy-2-propanol. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France, *in preparation*.

72. European Chemicals Bureau, Institute for Health and Consumer Protection: European Union Risk-Assessment Report Vol.07, November 1999 on: acrylaldehyde, CAS#: 107-02-8, EINECS#: 203-453-4. Publication: EUR 19728 EN. 1999.
73. World Health Organization. Environmental Health Criteria 167 Acetaldehyde. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1995.
74. World Health Organization. IARC Monographs Database on Carcinogenic Risks to humans: Volume 36 Allyl Compounds, Aldehydes, Epoxides and Peroxides. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France, 1985.
75. Bornehag CG, Lundgren B, Weschler CJ, Sigsgaard T, Hägerhed-Engman L, Sundell J. Phthalates in Indoor Dust and Their Association with Building Characteristics. *Environ Health Perspect* 2005; 113: 1399-1404.
76. Shea KM, Committee on Environmental Health. Pediatric Exposure and Potential Toxicity of Phthalate Plasticizers. *Pediatrics* 2003; 111: 1467-74.
77. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for polychlorinated biphenyls (PCBs). ATSDR Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, USA, 2000.
78. World Health Organization. IARC Monographs Database on Carcinogenic Risks to humans: Volume 18 Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Biphenyls. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France, 1978.
79. Liebl B, Schettgen T, Kerscher G, Broding HC, Otto A, Angerer J, Drexler H. Evidence for increased internal exposure to lower chlorinated polychlorinated biphenyls (PCB) in pupils attending a contaminated school. *Int J Hyg Env Health* 2004; 207(4): 315-24.
80. Drexler H, Kerscher G, Liebl B, Angerer J: PCB in interiors – a relevant health risk? *Gesundheitswesen* 2004; 66(Suppl 1): S47-51.
81. Schwenk M, Gabrio T, Papke O, Wallenhorst T. Human biomonitoring of polychlorinated biphenyls and polychlorinated dibenzodioxins and dibenzofuranes in teachers working in a PCB-contaminated school. *Chemosphere* 2002; 47(2): 229-33.
82. World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe 2nd edition. Regional Office for Europe. 2000.
83. Baars AJ, Theelen RMC, Janssen PJCM, Hesse JM, Apeldoorn ME van, Meijerink MCM, Verdarm L, Zeilmaker MJ. Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 711701025. Bilthoven, 2001.
84. Health Canada. Exposure Guidelines for Residential Indoor Air Quality, ISBN: 0-662-17882-3, Cat. No.: H46-2/90-156E. 1987.
85. Website Ministerie van VROM. Informatie over wetten, besluiten en regelingen. www.vrom.nl.

6.11 Bijlage Bestrijding van te hoge formaldehydeconcentraties

Bij formaldehydeconcentraties tot 200-250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ is het vaak mogelijk met naar verhouding eenvoudige maatregelen de concentratie tot onder de grenswaarde terug te brengen. Bij gehalten tot 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ is het behandelen van het aanwezige spaanplaat met verf of folie een beproefde oplossing, veelal in combinatie met de verbetering van (het gebruik van) ventilatievoorzieningen. Bij blijvende concentraties boven 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zal het geheel of gedeeltelijk verwijderen van het aanwezige spaanplaat noodzakelijk zijn.

'Eenvoudige' maatregelen

- Het afdichten van onafgewerkte zijkanten van spaanplaat met de daarvoor in de handel zijnde stroken finer, folie of aluminiumplakband.
- Het schilderen van onafgewerkte spaanplaat in meubels, keukenkastjes en dergelijke met een normaal in de handel verkrijgbaar type lakverf. Onafgewerkt spaanplaat treft men met name aan bij de onder- en achterkanten van kasten, laden en kastplanken.
- Het aanbrengen van isolatiemateriaal tussen verwarmingsbronnen en spaanplaat op plaatsen waar directe verwarming van spaanplaat optreedt, bijvoorbeeld wanneer een c.v.-radiator is opgesteld voor een spaanplaatwand.
- Het aanbrengen van voldoende ventilatievoorzieningen en het regelmatig ventileren. Gedacht kan worden aan ventilatieroosters, een afzuigkap en het voorzien van afvoerloze geisers van een afvoer naar buiten.
- Bij het betrekken van een nieuw opgeleverde woning en, in mindere mate, ook bij het betrekken van een bestaande woning, kunnen tijdelijk hogere concentraties formaldehyde ontstaan ten gevolge van de inwerking van het vrijkomend bouwvocht, de aanwezigheid van nieuwe meubelen, gordijnen, vloerbekleding en door het gebruik van lijmen voor wandbekleding en vloerbekleding. Het verdient daarom aanbeveling in de eerste maanden de woningen gedurende 10 of 15 minuten extra per dag goed te luchten.

Het volledig behandelen van spaanplaat met verf of folie

Indien gebleken is dat a) klachten van bewoners veroorzaakt worden door een formaldehydeconcentratie in de woning tot 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, b) deze te hoge concentratie het gevolg is van de in de woning verwerkte spaanplaat, en c) eenvoudige maatregelen niet hebben geholpen, dan wordt het volgende aanbevolen om de formaldehydeconcentratie te verlagen:

- De te behandelen spaanplaat schoon en droog maken, veegvaste muurverven goed afwassen en drogen en behang zo mogelijk droog verwijderen.
- Indien mogelijk, binnendeurkozijnen en plinten die aan de spaanplaat aansluiten (tijdelijk) verwijderen.
- Radiatoren die voor spaanplaatwanden zijn geplaatst (tijdelijk) verwijderen.
- Het spaanplaatoppervlak schilderen in drie lagen met een goed afsluitend verfsysteem (op basis van alkydhars – synthetische lakverf – of op basis van een vinyltolueen/acrylpolymeer) of op de spaanplaat 'grondfolie' (kern van aluminiumfolie met aan weerszijden een laag polyetheen en een papierlaag) aanbrengen met een daarvoor beschikte formaldehydevrije lijm. Voor meer informatie over deze behandelingsmethoden wordt verwezen naar (11).
- De gedemonteerde plinten voorzien van zelfklevende geslotencellige schuimbanden (tochtstrip) en opnieuw plaatsen.
- De aansluitingen tussen spaanplaat en andere bouwdeelen (beton, gordingen en dergelijke) afdichten met een siliconenkit en waar mogelijk aftimmeren.
- Binnendeurkozijnen en radiatoren herplaatsen.

Wanneer te hoge concentraties van formaldehyde worden veroorzaakt door in plafonds of (platte) daken verwerkt spaanplaat, kan het aanbrengen van een verlaagd plafond in combinatie met een

ventilatievoorziening voor de ruimte tussen het oude en het verlaagde plafond een oplossing betekenen.

In veel gevallen zal het noodzakelijk zijn een volledige behandeling met verf of folie te combineren met enige van de eerder genoemde maatregelen.

Bij formaldehydeconcentraties hoger dan $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is het geheel of gedeeltelijk vervangen van de aanwezige spaanplaat door een ander materiaal veelal onontkoombaar.

Bron: Ministerie van VROM. De bestrijding van formaldehyde-overlast in woningen waarin spaanplaat is verwerkt. Ministerie van VROM. Den Haag, 1981.

7

Bestrijdings- en schoonmaakmiddelen

7.1 Inleiding

In 2005 zijn er in het landelijke registratiesysteem 34 meldingen over bestrijdingsmiddelen geregistreerd en 10 meldingen over schoonmaakmiddelen. Ook over verduurzamingsmiddelen zijn in 2005 enkele vragen binnengekomen bij GGD'en. In de meeste gevallen betreft het bezorgdheid van een bewoners over het product. In dit hoofdstuk worden achtereenvolgens de volgende onderwerpen (kort) behandeld: bestrijdingsmiddelen, houtverduurzamingsmiddelen, schoonmaakmiddelen, luchtverfrissers en spuitbussen, gevelreinigingsmiddelen en hydrofoberingsmiddelen.

7.2 Bestrijdingsmiddelen

7.2.1 Soorten bestrijdingsmiddelen

Bestrijdingsmiddelen kunnen op verschillende manieren worden ingedeeld. Een veel gebruikte indeling is die welke gebaseerd is op de groep van organismen die ermee bestreden moet worden. Zo spreekt men van insecticiden, herbiciden, fungiciden, algiciden, bactericiden, acariciden, nematiciden en rodenticiden. Dit zijn bestrijdingsmiddelen tegen respectievelijk insecten, planten (onkruiden), schimmels, algen, bacteriën, mijten, aaltjes en knaagdieren. Binnen elke groep zijn weer groepen te onderscheiden met een verschillend werkingsmechanisme. Ook zijn er stoffen die tegen verschillende groepen van organismen werkzaam zijn. Een aparte groep vormen de stoffen die de eigenschap hebben bepaalde dieren af te weren in plaats van te doden ('repellents').(1,2)

Binnenshuis worden voornamelijk insecticiden toegepast tegen:

- vliegende insecten, zoals vliegen, muggen en wespen;
- plaagdieren, zoals muizen, ratten, mieren, kakkerlakken en zilvervisjes;
- voorraadinsecten;
- insecten in textiel, zoals motten en tapijtkevers;
- insecten in hout, zoals houtworm en houtmoolm;
- insecten in planten zoals luizen, spint en thrips;
- insecten op/afkomstig van huisdieren, zoals vlooiën, luizen en teken.

Bestrijdingsmiddelen worden in diverse vormen aangeboden: poeder, vloeistof, in spuitbussen enzovoort. Bij vloeistoffen en spuitbussen moet de werkzame stof – ook wel de 'actieve' stof genoemd – worden opgelost. Als oplosmiddel worden onder andere vluchtige organische verbindingen toegepast, zoals alcohol, isopropanol, kerosine, xyleen en kookpuntbenzines.(3) Ook water is een veel gebruikt oplosmiddel. De in spuitbussen gebruikte drijfgassen bestaan voornamelijk uit butaan en propaan (zie hoofdstuk 6 'VOS'). De meestal kortdurende stankoverlast wordt vaak veroorzaakt door de oplosmiddelen.

Deltamethrin, tetramethrin en permethrin zijn pyrethroïden of pyrethrinen. Ze worden gebruikt om onder andere houtwormen of wespen te bestrijden en ook als insecticide op gewassen.(4) De bestrijdingsmiddelen endosulfen, lindaan, atrazine en DDT zijn zogenaamde POP's. POP staat voor persistent organic pollutants of persistent organische stoffen.(5)

Ook bestrijding van schimmels kan binnen plaatsvinden, bijvoorbeeld door middel van schimmelwerende verf. Verf bestaat uit verschillende bestanddelen: bindmiddel, oplos- en verdunningsmiddel, pigmenten, vulstoffen en hulpstoffen. Per verfsoort verschillen deze bestanddelen. Hulpstoffen worden ook wel additieven genoemd en worden aan verf toegevoegd om de verf te beschermen tegen bijvoorbeeld schimmel of roest of om de verf te verdikken of sneller te laten drogen. Aan veelgebruikte schimmelwerende verven zijn thiram, carbendazim en ziram als werkzame stof toegevoegd.(6) Deze verf is bedoeld voor een ondergrond die geneigd is te beschimmelen. In de meeste watergedragen verf wordt Kathon gebruikt als conserveringsmiddel om te voorkomen dat de verf zelf door schimmel bederft.(7)

7.2.2 Effecten op de gezondheid

De eventuele risico's voor de gezondheid van de mens hangen samen met de mate van blootstelling en de giftigheid van de verschillende stoffen. De mate van giftigheid varieert tussen bestrijdingsmiddelen. De blootstelling hangt onder andere af van de afbreekbaarheid en de vluchtigheid van de stoffen, kortom de contactmogelijkheden.

De gevolgen van blootstelling aan POP's kunnen ernstig zijn. POP's kunnen het immuunsysteem, de stofwisseling, het zenuwstelsel en de hormoonhuishouding van mensen en dieren aantasten. Ook kunnen ze leiden tot aangeboren afwijkingen, gedragsstoornissen en kanker.(5)

Een aantal pyrethroïden wordt verdacht van mogelijke neurotoxische effecten voor jonge kinderen. Daarom mogen wespenpoeders op basis van deze stoffen alleen buitenshuis worden toegepast, zodat de kans op blootstelling voor kleine kinderen gering is.(4) Deltamethrin, permethrin en ook piperonylbutoxide (bestanddeel van onder andere vliegen en muggenspray) zijn echter slechts in geringe mate vluchtig waardoor blootstelling aan deze stoffen via inhalatie waarschijnlijk laag is.(6)

Kathon en andere hulpstoffen in verf hebben een geringe vluchtigheid waardoor blootstelling aan deze stoffen via inhalatie waarschijnlijk laag is. Kathon is echter een mix van allergene isothiazolinonen ((methyl)chloroisothiazolinonen en (methyl)isothiazolinonen). Isothiazolinonen verdampen geleidelijk en slaan neer op stofdeeltjes. Hoge temperaturen versterken de uitdamping van isothiazolinonen. Door de relatief lage vluchtigheid kan het maanden tot jaren duren voor dat de stoffen geheel zijn uitgedampt. In Europa is 1 tot 8 procent van de mensen overgevoelig voor isothiazolinonen. Deze stoffen kunnen al bij lage concentraties ($0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) schadelijke effecten veroorzaken bij mensen met een allergie voor deze stoffen. Sensibilisatie voor Kathon treedt vooral op bij vrouwen (Kathon komt ook voor in cosmetica) en bij doe-het-zelvers. Volgend contact met Kathon kan dan leiden tot irritatie van de luchtwegen, ogen of door brandwondachtige vlekken op de huid. Contact van de huid met vrij hoge concentraties kan leiden tot eczeem. Dit hoeft niet het gevolg te zijn van een allergie, maar kan ook het gevolg zijn van een niet-allergische contactdermatitis. Bij lichte klachten door kathon, kan de uitdamping van de stof versneld worden door de woning te verwarmen en te ventileren. Bij ernstigere klachten kan er een coating worden aangebracht over de verf. (Een coating met natriumbisulfiet zorgt voor de afbraak van de moleculaire ringstructuur van isothiazolinonen, waardoor de stof zijn allergene werking verliest. Een coating met natriumthiosulfaat of glutathionine kan ook een goed alternatief zijn.) Ter preventie van gezondheidsklachten is het van belang geen verf (of lijm of pleister) met isothiazolinonen te gebruiken en met name niet met (methyl)chloroisothiazolinonen (CIT), want deze hebben de sterkste allergene werking. Benzyl-Kathon is een alternatief voor Kathon dat niet allergen lijkt te zijn.(7)

Bij vergiftiging door inname van bestrijdingsmiddelen kan het best direct contact worden opgenomen met het Nationaal Vergiftigingen InformatieCentrum (NVIC).

7.2.3 Normen

Het RIVM heeft zich gebogen over advieswaarden voor bestrijdingsmiddelen in het binnenmilieu. Voor twee stoffen is een advieswaarde vastgesteld: de advieswaarde voor chloorpyrifos bedraagt $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en voor propoxur $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Voor kathonmengsels bestaat een MAC-waarde van $0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$.(8)

7.2.4 Juridische aspecten

De regelgeving rond het toelaten van bestrijdingsmiddelen in Nederland is gebaseerd op de Bestrijdingsmiddelenwet 1962. Deze wet stelt algemene regels voor de handel in en het gebruik van bestrijdingsmiddelen in Nederland, zowel uit een oogpunt van deugdelijkheid voor het doel waarvoor zij bestemd zijn, als uit een oogpunt van veiligheid en gezondheid van mens en dier, waarvan instandhouding gewenst is. Deze wet is bij wet van 15 december 1994 gewijzigd ter uitvoering van richtlijn 91/414/EEG van de Raad van de Europese Gemeenschappen voor het op de markt brengen van gewasbeschermingsmiddelen. Bij wet van 20 juni 2002 is de Bmw 1962 gewijzigd ter uitvoering van richtlijn 98/8/EG van het Europese Parlement en de Raad van Europese Gemeenschappen voor het op de markt brengen van biociden.(9)

Het Bestrijdingsmiddelenbesluit stelt nadere voorschriften omtrent het verkopen, het in voorraad hebben, het vervoeren na aflevering en het gebruik van bestrijdingsmiddelen. Zo worden bijvoorbeeld nadere regels gesteld voor het bewaren en opslaan van bestrijdingsmiddelen. Daarnaast is het volgens het besluit verboden 'doodshoofdmiddelen' in particuliere tuinen, volkstuinten, en openbaar groen te gebruiken. Voor bepaalde bestrijdingsmiddelen geldt dat deze slechts mogen worden gebruikt door of onder toezicht van een deskundige.(9)

Het College voor de Toelating van Bestrijdingsmiddelen (CTB) in Wageningen beoordeelt of bestrijdingsmiddelen tot de Nederlandse markt mogen worden toegelaten en kijkt hierbij naar de werkzaamheid van het middel en de mogelijke schadelijke gevolgen voor het milieu, de volksgezondheid en degene die het middel toepast. Het CTB doet dit op basis van Europees wet- en regelgeving. Beperkte informatie over bestrijdingsmiddelen kan via de website van het CTB (www.ctb-wageningen.nl) opgezocht worden.

Er is echter geen beoordeling van het CTB nodig voor stoffen die niet beweren als bestrijdingsmiddel te werken, ook als deze stof dat wel kan. Dit betekent dat een stof die in andere producten als bestrijdingsmiddel wordt gebruikt, zonder toetsing mag worden toegevoegd aan een product als dit product niet claimt iets te bestrijden.

Om de emissie van POP's te beperken is in 1998 het POP-protocol tot stand gekomen, dat 16 POP's aanpakt. Verder is in mei 2001 het Verdrag van Stockholm gesloten, dat een algeheel verbod op de productie en gebruik van twaalf POP's regelt. Nederland heeft ze beide geratificeerd.(5)

Isothiazolinonen vallen ook onder de Bestrijdingsmiddelenwet. In 2002 is in een beschikking van de Europese Commissie (2002/739/EG) vastgesteld dat verven en vernissen voor gebruik binnenshuis niet meer dan 15 ppm (methyl)isothiazolinonen/(methyl)chloroisothiazolinonen mogen bevatten. Producten met concentraties hoger dan 15 ppm moeten voorzien worden van een etiket met een andreaskruis en de code R43 (kan allergie veroorzaken). In deze beschikking zijn tevens regels vastgelegd voor de maximale concentraties van vluchtige organische stoffen en formaldehyde in verven en vernissen.

7.2.5 Verantwoordelijke partijen

Sommige bestrijdingsmiddelen kunnen door particulieren zelf worden aangeschaft en gebruikt. Daarnaast is het mogelijk om professionele bedrijven (gemeentelijk of particulier) in te schakelen bij de bestrijding van ongedierte. Deze mogen ook de uitsluitend voor professioneel gebruik toegestane bestrijdingsmiddelen gebruiken.

7.3 Houtverduurzamingsmiddelen

7.3.1 Wat zijn houtverduurzamingsmiddelen?

Hout dat buiten gebruikt wordt, staat bloot aan weersinvloeden, schimmels en insecten. Zacht-hout is hier niet tegen bestand. Het moet worden beschermd. Houtverduurzaming is het behandelen van hout om het te beschermen tegen micro-organismen (bacteriën en schimmels) of insecten (bijvoorbeeld de huisboktor en de meubelkever). Dat kan door het te impregneren met chemische verduurzamingsmiddelen. Hout kan met verschillende stoffen worden verduurzaamd, bijvoorbeeld

met creosoot of koperhoudende middelen. Een voorbeeld van koperhoudende middelen zijn CCA-zouten of Wolmanzouten.

7.3.2 Soorten houtverduurzamingsmiddelen

Veel gebruikte middelen zijn: creosootolie, carbolineum, CCA-zouten, boraten, bifluoriden en azaconazole.⁽¹⁰⁾ Van deze middelen werden creosootolie en CCA-zouten het meest gebruikt.

De meeste middelen zijn inmiddels niet meer toegestaan (zie paragraaf 7.3.5)

- *Creosootolie*

Creosootolie was het meest gebruikte houtverduurzamingsmiddel in Nederland. Het middel bestaat uit een mengsel van polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's: zie hoofdstuk 8 'Verbrandingsproducten') met minder dan 2% stikstof- en zwavelverbindingen. De samenstelling van creosootolie is niet altijd constant, de diverse PAK's kunnen in verschillende percentages aanwezig zijn. De vluchtige PAK's, zoals naftaleen, kunnen nog lange tijd na het gebruik vervluchtigen uit het hout en stankhinder geven.

- *Carbolineum*

Carbolineum heeft een beschermingstijd van slechts 1 tot 2 jaar. Carbolineum bestaat, evenals creosootolie, uit een mengsel van polycyclische aromatische koolwaterstoffen met minder dan 2% stikstof- en zwavelverbindingen. Ook voor carbolineum geldt dat de vluchtige PAK's nog lange tijd, tot wel twee jaar, na het gebruik uitdampen naar de lucht en stankhinder kunnen geven.

- *CCA-zouten*

Deze zouten worden ook wel wolmanzouten genoemd en bevatten en chroom en koper (CC-mengsels) of chroom, koper en arseen (CCA-mengsels). Koper en arseen worden toegepast vanwege hun schimmel- en insectendodende werking, chroom is vooral belangrijk voor de fixatie. Gedurende het fixatieproces wordt chroom(VI) omgezet in chroom(III). Na fixatie kan een afveegbaar residu achterblijven, met daarin chroom(III), chroom(VI), koper en arseen. De hoeveelheid en samenstelling van het residu is afhankelijk van de kwaliteit van het fixatieproces, het soort hout dat wordt gebruikt, het CC(A)-product dat wordt toegepast en de tijdsduur na fixatie.

Na behandeling met koperhoudende middelen is geïmpregneerd hout te herkennen aan de blauwgroene kleur. Deze stoffen moeten met de nodige voorzorg voor gezondheid en milieu worden gebruikt. Deze middelen kunnen door contact met regen en grondwater uit het hout gaan lekken. Dit kan schadelijk zijn voor het milieu.

- *Boraten*

Onder boraten worden de middelen boorzuur en borax verstaan. Met boorzuur geïmpregneerd hout is bruikbaar voor dak en vloerconstructies. Borax wordt, alleen binnenshuis, gebruikt voor kozijnen, deuren, dorpels, balken onder de vloer, plafond en dak.

- *Bifluoriden*

Hieronder worden de stoffen ammonium- en kaliumbifluoride verstaan. Hout dat geïmpregneerd is met bifluoriden wordt alleen binnenshuis toegepast, met name voor geveltimmerwerk (kozijnen).

- *Azaconazole*

Azaconazole (werkzame stof) is een schimmelbestrijdingsmiddel. Het mag zowel binnen als buiten, door particulieren, worden toegepast. Het wordt vooral gebruikt voor het verduurzamen van wandbetimmeringen.

- *Deltamethrin en propiconazole*

Voor de behandeling van hout tegen houtworm, insecten en schimmels. Het wordt ook gebruikt als bestrijdingsmiddel tegen wespen en insecticide op gewassen, zie paragraaf 7.2.

7.3.3 Effecten op de gezondheid

CC(A)-zouten

Blootstelling aan CCA-zouten kan op meer manieren plaatsvinden. Dermale blootstelling aan CCA-mengsels kan optreden bij het vasthouden van geïmpregneerd hout. Inhalatoire blootstelling kan optreden bij het verweken of verbranden van geïmpregneerd hout – in bodem of water kunnen CCA-ingrediënten terecht zijn gekomen waaraan dermale of orale (kinder)blootstelling mogelijk is.(11)

In relatie tot de gezondheid zijn chroom(VI) en arseen de relevantste stoffen. Van chroom(III) en koper in geïmpregneerd hout worden geen problemen voor de gezondheid verwacht.

Chroom(VI) en arseen zijn kankerverwekkende stoffen (IARC-classificatie 1: carcinogeen voor mensen), chroom(VI) is daarnaast allergeen.(12) Meer informatie over gezondheidseffecten van CCA-zouten is te vinden in het RIVM-rapport 'Public Health Risk Assessment of CCA-Products' uit 1998.(11)

Overige verduurzamingsmiddelen

De inhalatoire blootstelling aan de stoffen die binnenshuis gebruikt mogen worden is zeer gering. Bifluoriden en azaconazole vervluchtigen in geringe mate. Boraten zijn helemaal niet vluchtig. Orale en dermale blootstelling aan deze stoffen is eveneens gering. Bij juist gebruik is het risico voor de gezondheid te verwaarlozen.(10)

7.3.4 Richtlijn GGD

In 2004 is vanuit het Landelijk Centrum Medische Milieukunde (LCM) een standpunt opgesteld over CC(A)-geïmpregneerd hout. Het LCM was van mening dat voor nieuwe speeltoestellen geen CC(A)-geïmpregneerd hout meer moet worden gebruikt, mede omdat er goede alternatieven zijn, zoals hardhout met FSC-keurmerk. Inmiddels is CCA-hout verboden voor de belangrijkste toepassingen (zie paragraaf 7.3.5).

De inhoud van het standpunt is verwerkt in dit hoofdstuk. Voor het volledige standpunt zie Bijlage 7.1 aan het eind van dit hoofdstuk.

7.3.5 Juridische aspecten

De overheid wil het verduurzamen van hout met wolmanzouten en creosoten aan banden leggen vanwege de gezondheids- en milieurisico's van dit hout door uitloging. Een aantal middelen is inmiddels verboden (zie ook Bijlage 7.1).(13,14)

- CCA-hout mag sinds juni 2004 niet meer gebruikt worden in de woningbouw, voor speeltoestellen en door particulieren, bijvoorbeeld in de tuin. Er is een etiketteringsplicht voor CCA-hout, zodat het is te herkennen. Op dit etiket staat dat er bij het omgaan met dat hout een stofmasker moet worden gedragen. Ook staat er op het label dat het afvalhout moet worden beschouwd als gevaarlijk afval. Dat betekent dat het apart moet worden afgevoerd naar een erkend verwerker.

Geïmpregneerd hout met het KOMO-keurmerk voldoet aan een aantal eisen. Het lekken, het uitloggen, van de wolmanzouten valt binnen bepaalde normen.

- Creosootolie voor het behandelen van hout mag in Nederland niet meer worden gebruikt. Het gebruik van al gecreosoteerd hout door particulieren is ook niet meer toegestaan. Voor de professionele markt zijn er nog een paar uitzonderingen voor hout dat al gecreosoteerd is, maar in de volgende gevallen is gecreosoteerd hout altijd verboden: voor hout dat in contact met grond- of oppervlaktewater komt, voor hout in gebouwen, voor speelgoed en speelplaatsen, in tuinen, parken en andere recreatievoorzieningen en voor opslag en verpakking van voedingsproducten.
- Carbolineum lijkt op creosoot. Hiermee behandeld hout is donkergroen of bruinzwart van kleur. Sinds 1 november 2001 is carbolineum verboden, ook voor gebruik door professionals.

Door houtverduurzaming wordt hout gedurende minimaal tien jaar beschermd tegen aantasting door houtrot verwekkende schimmels en insecten. Dit staat beschreven in de norm NEN 3274

(1977): Preventieve houtverduurzamingsmiddelen, kenmerken en minimumeisen. Houtverduurzamingsmiddelen zijn schimmel- en insectenbestrijdingsmiddelen. Ook voor deze middelen geldt dus dat de regels voor de handel, toelating en het gebruik zijn vermeld in de Bestrijdingsmiddelenwet (zie paragraaf 7.2.3).

7.4 Schoonmaakmiddelen

7.4.1 Soorten schoonmaakmiddelen en effecten op de gezondheid

Voor het schoonhouden van woningen is een scala aan reinigingsmiddelen op de markt. In 85% van de huishoudens worden bleekmiddelen, desinfectiemiddelen of ontsmettingsmiddelen gebruikt. Meestal is dit overbodig, werken ze niet of wordt er veel te veel gebruikt. De bedoeling van desinfectiemiddelen is om besmettingen te voorkomen. Met goed schoonmaken met een gewoon reinigingsmiddel is dit effect ook te bereiken. Door vuil, de voedingsbronnen voor bacteriën, weg te nemen is de belangrijkste stap naar ontsmetting genomen en zijn geen specifieke desinfectiemiddelen meer nodig. Volledige ontsmetting, het doden van alle bacteriën, is eigenlijk steriliseren. Dit is nodig op een operatietafel, maar niet in huis. Uit laboratoriumonderzoek blijkt dat door (veelvuldig) gebruik van desinfectantia huidirritaties kunnen optreden, verschuivingen in de normale microbiële flora van huid en slijmvliezen (met daardoor verhoogde kans op infecties door pathogenen) en resistentieontwikkeling. Het gebruik van desinfectantia kan bovendien bij de gebruiker een (misplaatst) gevoel van veiligheid oproepen, wat verwaarlozing van de normale hygiëne in de hand kan werken.(15)

Het is ondoenlijk om alle schoonmaakmiddelen te bespreken, maar een aantal waar een GGD'er mogelijk mee te maken krijgt, wordt hier besproken. Meer informatie over de bestanddelen van verschillende schoonmaakmiddelen is te vinden in de RIVM-factsheet Reinigingsmiddelen.(16)

Bleekmiddel en chloor

Het bekendste bleekmiddel is chloorbleekloog. De werkzame stof is natriumhypochloriet. Natriumhypochloriet bleekt en doodt micro-organismen (bacteriën en schimmels). Het is een krachtig middel en al in een lage dosering effectief. De milieubelasting van chloor wordt voornamelijk veroorzaakt door verkeerd en te overvloedig gebruik. Het verdwijnt dan ongebruikt in het riool. Bij vermenging met zuren of amines (uit zure schoonmaakmiddelen, maar ook uit urine, bij plassen in een toilet waar nog chloor in zit) wordt het schadelijke chloorgas gevormd. De zogenaamde chloorvrije bleekmiddelen zijn zuurstofbleekmiddelen en bevatten waterstofperoxide als werkzame stof. Omdat waterstofperoxide minder krachtig is dan hypochloriet, is een hogere dosering nodig voor hetzelfde effect. Doordat het geen chloor bevat, levert het minder risico's op in gebruik, alhoewel inhalatie van waterstofperoxide irritatie van de luchtwegen kan veroorzaken. De stof fosfonaat die in een hele kleine hoeveelheid in het zuurstofbleekmiddel zit (0,2%) is echter slecht afbreekbaar.

Zowel hypochloriet als waterstofperoxide ontvet en ontkalkt niet. Bleekmiddel is dus geen goede reiniger.(17)

Desinfectiemiddelen

De desinfectiemiddelen die voor huishoudelijk gebruik op de markt zijn, bevatten als werkzame stof didecyldimethyl ammoniumchloride. Dit behoort tot de groep stoffen met een sterke desinfecterende werking tegen bacteriën en schimmels, maar werkt minder goed tegen virussen. Omdat in deze middelen een licht ontvlambaar bestanddeel zit, is het kca-logo (klein chemisch afval) verplicht. Onnodig gebruik van deze middelen kan leiden tot het resistent worden van schadelijke micro-organismen, waardoor de effectiviteit afneemt.(17)

- Lysol: over dit middel zijn nogal eens gezondheidsklachten gemeld bij de GGD-en. Dit schoonmaakmiddel heeft een sterk prikkelende geur. Het bestaat uit cresolen en kaliumzeep. Cresolen

werken bijtend op de ogen, de huid en de ademhalingswegen. Bij gebruik van lysol in afgesloten ruimten zijn deze effecten waargenomen. Blootstelling aan hogere concentraties cresolen kan nadelige effecten veroorzaken op het zenuwstelsel en aan de nieren. Inademing van deze stoffen kan ademnood veroorzaken. In ernstige gevallen kan dit leiden tot bewusteloosheid en tot de dood.

- Dettol®: de werkzame stof hierin is chloorxylenol. Dettol® wordt gebruikt voor huidontsmetting en wondontsmetting. Er bestaat discussie over het nut van Dettol® voor ontsmetting van oppervlakken, omdat het niet tegen alle soorten bacteriën werkt. Er zijn weinig negatieve gezondheidseffecten te verwachten van Dettol®. Overgevoeligheid voor Dettol komt vrijwel niet voor en lokale irritatie is zeldzaam.

Overige middelen

- Middelen met ammoniak (veel gebruikt voor het ontvetten van materialen) kunnen schadelijk zijn voor de gezondheid bij aanraking van de vloeistof en bij inademing van de damp. Huidcontact kan leiden tot irritatie van de huid. Het gebruik van schoonmaakhandschoenen kan huidcontact voorkomen. Ammoniakdamp is in hoge concentraties (vanaf 100 ppm) irriterend voor ogen, keel en longen.⁽¹⁸⁾ Goed ventileren is dan ook zeer belangrijk. Klachten zullen verdwijnen na het inademen van frisse lucht. Mensen met astma kunnen gevoeliger zijn voor het inademen van ammoniakdamp dan andere mensen.
- Benzineachtige producten zoals reinigingsbenzine, boenwas en teakolie geven petroleumdampen af. Inhalatie van deze dampen irriteert de luchtwegen, wat leidt tot hoesten. Het opsnuiven van dampen tast zowel de ademhaling als het centraal zenuwstelsel aan, waardoor hallucinaties en soms ook stuipen kunnen optreden.
- Lekker ruikende schoonmaakmiddelen bevatten vaak terpenen. Terpenen zijn koolwaterstofverbindingen die bestaan uit aaneengeschakelde isopreenmoleculen. Ze komen van nature voor en zorgen in bloemen en vruchten voor de lekkere geur. Vanwege deze geur worden ze aan schoonmaakmiddelen toegevoegd. Terpenen zijn onverzadigde vluchtige organische stoffen en zijn daardoor reactief. Inademing van terpenen kan leiden tot verminderde longfunctie.⁽¹⁹⁾ Met ozon vormen ze aldehyden.
- Vaatwasmiddelen, ovenreinigers, afvoerontstoppers en ook krachtige allesreinigers (zoals 'Cillit bang®) bevatten toxische stoffen. Huidcontact en inname moeten daarom worden voorkomen en de etiketten moeten zeer goed gelezen worden.
- Oplosmiddelen komen veel voor in schoonmaakproducten, bijvoorbeeld om de wasactieve stoffen in het reinigingsmiddel op te lossen. Een allesreiniger bestaat voor 2 tot 5% uit oplosmiddelen. Sommige vlekverwijderaars bestaan voor een belangrijk deel uit oplosmiddelen, bijvoorbeeld gechlorideerde vluchtige koolwaterstoffen. Andere voorbeelden van oplosmiddelen zijn alcohol en isopropanol.⁽¹⁷⁾ Reinigende cosmetica kunnen ook oplosmiddelen bevatten, bijvoorbeeld aceton in nagellakverwijderaar. De oplosmiddelen worden deels via de huid opgenomen. Meer informatie over oplosmiddelen is te vinden in hoofdstuk 6 'VOS'.

7.4.2 Juridische aspecten

Schoonmaakmiddelen voor huishoudelijk gebruik vallen onder het wasmiddelenbesluit uit de Warenwet. Volgens dit besluit moeten schoonmaakmiddelen voorzien zijn van een gevarenetiket met de volgende informatie: de naam van de werkzame stof, gevaarssymbolen, aanwijzingen van het soort gevaar, veiligheidsaanbevelingen en de naam en adres van de fabrikant of leverancier. Schoonmaakmiddelen die claimen een desinfecterende werking te hebben vallen onder de Bestrijdingsmiddelenwet (zie paragraaf 7.2).

Allesreinigers vallen onder de Wet Milieugevaarlijke stoffen. Deze wet regelt de veiligheid, de verpakking en de etikettering van gevaarlijke stoffen. Consumenten worden door deze wet beschermd, doordat bepaalde voor mens en milieu gevaarlijke stoffen niet in consumentenproducten mogen voorkomen en doordat alle gevaarlijke stoffen goed verpakt en geëtiketteerd moeten

zijn.(20) De MAC-waarde voor cresolen is in 1998 ingetrokken, omdat er volgens de Gezondheidsraad onvoldoende informatie beschikbaar is.(8) Voor die tijd was de MAC-waarde 22 mg/m³.

7.5 Luchtverfrissers en andere (anti)geurmiddelen

7.5.1 Effecten op de gezondheid

In deze paragraaf worden gezondheidseffecten van luchtverfrissers, deodorant en spuitbussen in het algemeen vermeld, voor zover deze bekend zijn.

Luchtverfrissers en spuitbussen algemeen

Mensen met gevoelige luchtwegen, zoals astmapatiënten, kunnen vaak niet tegen geurstoffen. Ze prikkelen de luchtwegen en kunnen klachten verergeren; in sommige gevallen bestaat een specifieke allergie tegen bepaalde geurstoffen. Luchtverfrissers en andere (anti)geurstoffen vormen daarnaast een belangrijke bron van vluchtige organische stoffen in huis.(21) Sommige van deze producten zitten in spuitbussen. De in spuitbussen gebruikte drijfgassen bestaan voornamelijk uit butaan en propaan. In 2003 is een onderzoek gepubliceerd over het gebruik van luchtverfrissers en spuitbussen door zwangere vrouwen. In het onderzoek zijn de concentraties van diverse gemakkelijk meetbare vluchtige stoffen bij elkaar opgeteld omdat de afzonderlijke stoffen moeilijk te beoordelen zijn. Per maand lag de gemeten concentratie tussen 20 en 11.400 microgram per kubieke meter lucht. Per jaar gemiddeld per woning lag het gehalte tussen 63 en 1600 microgram/m³. Het gehalte was in de woonkamer niet duidelijk anders dan in een slaapkamer van dezelfde woning. Op 8 en 21 maanden na de bevalling zijn gezondheidsvragen gesteld aan alle moeders. De antwoorden leveren een aantal significante verschillen op na correctie voor allerlei versturende factoren, zoals werk, opleiding, leeftijd, aantal kinderen, aantal rokers, vocht in de woning en brandstof. Degenen die wekelijks of dagelijks luchtverfrissers of spuitbussen hebben gebruikt, melden meer hoofdpijn of migraine dan degenen die dat minder dan eens per week deden. Op 8 maanden na de bevalling melden degenen die (bijna) dagelijks luchtverfrissers gebruikten meer depressieve klachten dan de minder frequente gebruiksters. En op 21 maanden ging dagelijks of wekelijks gebruik van luchtverfrissers gepaard met meer diarree, terwijl bij dagelijks gebruik van spuitbussen meer urineweginfecties optraden. De baby's hadden vaker oorpijn naarmate vaker luchtverfrissers werden gebruikt. Ook hadden ze vaker braken en diarree bij regelmatig gebruik van luchtverfrissers of spuitbussen. De auteurs concluderen dat de gezondheidsklachten het gevolg kunnen zijn van het gebruik van de luchtverfrissers en spuitbussen. De Gezondheidsraad heeft geadviseerd om opgetelde concentraties van meer dan 200 µg/m³ VOS te vermijden. Overschrijdingen hiervan treden ook in ons land vaak op. (21,22)

Deodorant

Bepaalde merken deodorant bevatten aluminiumchlorohydraat. Dit middel werkt tegen transpiratie. Ten onrechte wordt gezegd dat dit middel verhindert dat gifstoffen het lichaam kunnen verlaten, zodat gifstoffen ophopen in de lymfeklieren onder de huid in de oksels. Hierdoor zou dan borstkanker ontstaan. Onderzoek toont geen verband tussen deodorant en borstkanker. Zweetklieren zorgen ook niet voor uitscheiding van gifstoffen, maar voor afkoeling en uitscheiding van geurstoffen. Gifstoffen worden elders in het lichaam afgebroken of uitgescheiden, vooral in de lever en de nieren.(23)

Oust®

Oust® Air Sanitizer is een relatief nieuw middel op de markt en claimt schadelijke stofjes in de lucht niet te verhullen, maar te verwijderen. Deeltjes hechten aan bacteriën in de lucht die daardoor sterven. Ook rookdeeltjes worden gevangen en afgevoerd.

Het product bevat ethanol, petroleumproducten en de werkzame stof is triethyleenglycol. Voor triethyleenglycol (Triglycol; TEG; C₆H₁₄O₄) is geen Mac-waarde vastgesteld. Volgens het NIOSH

(National Institute for Occupational Safety and Health, uit de V.S.) moet de concentratie altijd tot zo laag mogelijk worden beperkt en moet huidcontact worden vermeden. In de productinformatie staat vermeld dat het product bij inademing irritatie aan neus, keel en luchtpijp kan veroorzaken.

7.5.2 Juridische aspecten

Luchtverfrissers moeten aan Europese wetgeving voldoen. De Warenwet eist dat producten veilig zijn voor de consument. Een kankerverwekkende stof (volgens de stoflijst van de EU, behorende bij de richtlijn voor gevaarlijke stoffen 67/548/EEG) mag volgens de Warenwet niet in een percentage hoger dan 0,1 % in een consumentenproduct aanwezig zijn. Daarnaast moet het etiket van luchtverfrissers voldoen aan de eisen van de Wet milieugevaarlijke stoffen. Zo moet bijvoorbeeld op het etiket de naam van de geurstoffen worden vermeld die een allergische reactie kunnen veroorzaken. Dit is wettelijk verplicht als er meer dan 0,1% van een allergene stof in het product aanwezig is. De vermelding op het etiket stelt personen met een allergie voor een geurstof in staat om de stof te herkennen en eventueel te besluiten om een andere luchtverfrisser te kopen. De controle van etiketten is een reguliere taak van de VWA.(24)

7.6 Gevelreinigingsmiddelen

7.6.1 Soorten gevelreinigingsmiddelen

Gevelreinigingsmethoden kunnen in verschillende categorieën worden ingedeeld:

- mechanische methoden zoals polijsten, slijpen, schuren en hakken;
- straalmethoden met zand en/of water;
- chemische methoden gebaseerd op het chemisch afbreken of omzetten van vervuilingen. De meest gebruikte componenten zijn zuren, basen, chelaten (complexe zouten die zowel zuur als alkalisch kunnen worden 'ingesteld' en die een ionenwisseling kunnen doen plaatsvinden) en oplosmiddelen.(25)

Voor het binnenmilieu kan vooral het droog stralen van muren belastend zijn. Bij het droog reinigen van een gevel kan een grote hoeveelheid hinderlijk en schadelijk stof (zie hoofdstuk 10 'Stof') ontstaan. Via spleten, naden en ventilatieopeningen kan dit stof de woning binnendringen. Het stof kan verontreinigd zijn met onder andere lood en zink.(26)

Steen en beton bevatten siliciumoxide. Bij het droogstralen hiervan kunnen siliciumoxide bevattende kwartsdeeltjes (silica) vrijkomen. Siliciumoxide bevattende stofdeeltjes kunnen worden ingeademd. Ze werken irriterend op de ogen en ademhalingsorganen en kunnen ernstige longaandoeningen (silicose) en misschien longkanker veroorzaken.(27) Het is niet bekend dat deze langetermijneffecten optreden door een kortdurende blootstelling in het binnenmilieu.

7.6.2 Juridische aspecten

In het kader van de Arbeidsomstandighedenwet is een gevelreinigingsbedrijf verplicht voorzorgsmaatregelen te treffen en/of voorzieningen aan te brengen om werknemers en publiek te beschermen.

In de Algemene Plaatselijke Verordening (APV) kan een verbod opgenomen zijn op het gebruiken van toestellen op de openbare weg die op hinderlijke wijze rook, stank, stoom, vonken of stoffen verspreiden.

Vrij kwarts bestaat grotendeels uit siliciumoxide. Om deze reden is het verboden droog te stralen met een materiaal dat meer dan 0,5% vrij kwarts bevat. Een materiaal dat is toegelaten en veel wordt gebruikt is het, uit Noorwegen afkomstige, olivine-zand.(26) Olivinezand is ijzervrij en vrij van silicaat en voldoet aan de gestelde milieueisen.

7.7 Hydrofoberingsmiddelen

Hydrofoberingsmiddelen worden gebruikt om vochtdoorslag door buitenmuren tegen te gaan. Een hydrofoberingsmiddel bestaat uit een werkzame stof die is opgelost in een oplosmiddel, meestal met een gehalte tussen de 5 en 20 %. Er zijn diverse werkzame stoffen en verschillende oplosmiddelen, die in wisselende combinaties verkrijgbaar zijn. De werking wordt bepaald door het gehalte van de werkzame stof. De meest toegepaste groep werkzame stoffen is die van de siliconen, waaronder siloxanen en silanen. Dit zijn stoffen die diep in de poriën dringen, zich binden aan de ondergrond en het oppervlak van de poriën waterafstotend maken. Hierdoor wordt water tegengehouden, maar de siliconen laten de poriën in de steen open voor transport van waterdamp. Het oplosmiddel voor de werkzame stof bestond in het verleden meestal uit terpentijnachtige koolwaterstoffen. Daarbij zijn ernstige binnenmilieuproblemen opgetreden door het aanbrengen van te grote hoeveelheden op gevels. Als alternatief zijn alcoholen toegepast. Tegenwoordig wordt daar waar mogelijk gebruikgemaakt van water als oplosmiddel. Hierbij ontstaat tijdens verdamping geen hinderlijke geur en is er ook geen sprake van belasting voor het milieu.(28)

7.8 Referenties

1. Stichting Natuur en Milieu. Bestrijdingsmiddelen in en om het huis. Reeks 'Natuur en Milieu' nr.17, Stichting Natuur en Milieu, Utrecht. 1982
2. Ministerie van VROM. Bestrijdingsmiddelen Deel 1; Gids voor de huishouding. VROM. Den Haag, 1985
3. Fraanje P, Steenhuizen F, Velze K van, Laan H, Janus J. Vluchtige organische stoffen in het binnenmilieu van woningen. IVAM-onderzoeksreeks nr.61. RIVM-rapportnr. 222302002. Amsterdam/Bilthoven, 1993.
4. Website Milieu Centraal. www.milieucentraal.nl.
5. Website Ministerie van VROM. Dossier POP's. www.vrom.nl.
6. Dusseldorp A, Bruggen M van, Douwes J, Janssen PJCM, Kelfkens G. Gezondheidskundige advieswaarden binnenmilieu. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609021029/2004. Bilthoven, 2004.
7. Biggelaar M van den, Drijver M, Duijm F. Gezondheidsklachten door muurpleister en verf. GGD nieuws, jaargang 14, nummer 8, 2002.
8. Website Sociaal Economische Raad. MAC-Waarden. www.ser.nl.
9. Website College voor de Toelating van Bestrijdingsmiddelen (CTB). www.ctb-wageningen.nl.
10. Berg MH van den, Hart I 't. Houtverduurzamingsmiddelen: risico's voor mens en milieu. Wetenschapswinkel Biologie Utrecht. Utrecht, 1991
11. Raaij MTM van, Apeldoorn ME van, Veen MP van, Janssen PCJM. Public Health Risk Assessment of CCA-Products. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.. RIVM-rapportnr. 05723A01. Bilthoven, 1998.
12. Website International Agency for Research on Cancer (IARC). <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/Listagentsalphorder.pdf>
13. Website Milieu Centraal. Verduurzaam hout. www.milieucentraal.nl.
14. Website Ministerie van VROM. Dossier Houtverduurzaming. www.vrom.nl.
15. Gezondheidsraad. Desinfectantia in consumentenproducten: Signalement. Gezondheidsraad rapportnr. 2001/05. Den Haag, 2001.
16. Prud'homme de Lodder LCH, Bremmer HJ, Engelen JGM van. Cleaning Products Fact Sheet. To assess the risks for the consumer. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM rapportnummer 320104003. Bilthoven, 2006.
17. Website Milieu Centraal. Schoonmaken. www.milieucentraal.nl.
18. Website Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs Ammonia. www.atsdr.cdc.gov.

19. Hedenstierna G, Alexandersson R, Wimander K, Rosén G. Exposure to terpenes: Effects on pulmonary function. *Int Arch Occup Environ Health* 1983; 51(3): 191-198.
20. Website Ministerie van VROM. Dossier Was- en schoonmaakmiddelen. www.vrom.nl.
21. Farrow A, Taylor H, Northstone K, Golding J. Symptoms of mothers and infants related to total volatile organic compounds in household products. *Arch Environ Health* 2003; 58: 633-41.
22. Duijm F. Luchtverfrissers en spuitbussen kunnen schadelijk zijn voor de gezondheid. GGD Groningen, Kenniscentrum Milieu en Gezondheid. Groningen, 2004.
23. Duijm F. Borstkanker door deodorant? GGD Groningen, Kenniscentrum Milieu en Gezondheid. Groningen, 2004.
24. Website Voedsel en Waren Autoriteit (VWA). Luchtverfrissers. www.vwa.nl.
25. Klugt JAR van der. Gevelreinigen, meer dan ramen lappen! TNO Project 83-5: 153-157. 1983.
26. Milieudienst Amsterdam. Bedrijfstakgewijze aanpak in het kader van de milieuwetgeving. Deel 2: Gevelreiniging. Milieudienst Amsterdam. Amsterdam, 1993.
27. Chemiekaarten® Gegevens voor veilig werken met chemicaliën. 21^e editie 2006. Samenwerkingsverband-Chemiekaarten (TNO Kwaliteit en Leven, VNCl). Sdu Uitgevers, Den Haag, 2005.
28. Website Injection Nederland BV. Hydrofoberen. www.injection.nl.

Bijlage 7.1 CC(A)-geïmpregneerd hout

LCM 16 Januari 2004

Inleiding

Chroom (C)-koper (C)-arseen (A)-mengsels (wolmanzouten) worden gebruikt als houtverduurzamingsmiddelen tegen de schadelijke werking van schimmels en insecten. Koper en arseen worden toegepast vanwege hun schimmel- en insectendodende werking, chroom is vooral belangrijk voor de fixatie. Gedurende het fixatieproces wordt chroom(VI) omgezet in chroom(III). Na fixatie kan een afveegbaar residu achterblijven, met daarin chroom(III), chroom(VI), koper en arseen. De hoeveelheid en samenstelling van het residu is afhankelijk van de kwaliteit van het fixatieproces, het soort hout dat wordt gebruikt, het CC(A)-product dat wordt toegepast en de tijdsduur na fixatie.

CC(A) en gezondheid

In relatie tot de gezondheid zijn chroom(VI) en arseen de relevantste stoffen. Van chroom(III) en koper in geïmpregneerd hout worden geen problemen voor de gezondheid verwacht.

Chroom(VI) en arseen zijn kankerverwekkende stoffen, chroom(VI) is daarnaast allergeen. Bij nieuwe speeltoestellen van CC- of CCA-geïmpregneerd hout kan niet worden uitgesloten dat kinderen te veel chroom(VI) en/of arseen binnenkrijgen (vooral via hand-mondcontact en ingestie van verontreinigde grond) of dat allergische contactdermatitis optreedt bij chroom-gevoelige kinderen. Dit kan zich met name voordoen bij vers geïmpregneerd hout van inferieure kwaliteit. Bij geïmpregneerd hout dat enkele maanden in de buitenlucht heeft gestaan, blijkt de afgifte van arseen en/of chroom(VI) sterk te zijn afgenomen. Het spelen op al langer bestaande speeltoestellen van geïmpregneerd hout levert daarom naar verwachting geen probleem voor de gezondheid op.

Het LCM is van mening dat voor nieuwe speeltoestellen geen CC(A)-geïmpregneerd hout meer moet worden gebruikt, mede omdat er goede alternatieven zijn, zoals hardhout met FSC-keurmerk. Voor meer informatie over CC(A)-geïmpregneerd hout en gezondheid en voor advisering in de eigen regio kan men terecht bij de tweedelijns-MMK.

EU-Arseenrichtlijn en beleid VROM

In de EU-Arseenrichtlijn staat dat arseenverbindingen niet meer mogen worden gebruikt voor de verduurzaming van hout, ondermeer vanwege het risico voor de gezondheid van kinderen door CCA-geïmpregneerde speeltuinartikelen. Uiterlijk vanaf 30 juni 2004 moeten de lidstaten aan de richtlijn voldoen. De richtlijn is niet van toepassing op met CCA-behandeld hout dat al is verwerkt. Ook gaat de richtlijn niet over de toepassing van chroom als bestanddeel van houtverduurzamingsmiddelen.

De ministerraad heeft inmiddels op basis van de nieuwe Europese Arseenrichtlijn besloten dat de toepassing van met arseen behandeld hout per medio 2004 wordt verboden. Het gaat om alle toepassingen in de woningbouw en om hout waarbij veelvuldig contact is met de huid, zoals speeltoestellen, zandbakken en brugleuningen.

Vanaf medio 2004 moet al het hout dat is behandeld met arseen en in de handel komt, worden voorzien van een label. Op dit label staat dat er bij het omgaan met dat hout een stofmasker moet worden gedragen. Ook staat er op het label dat het afvalhout moet worden beschouwd als gevaarlijk afval. Dat betekent dat het apart moet worden afgevoerd naar een erkend verwerker.

Op 12 januari 2004 heeft staatssecretaris Van Geel in een interview op AVRO-radio verklaard dat hij zich bij de Europese Commissie sterk wil maken voor een totaal verbod op geïmpregneerd hout (niet alleen voor met arseen geïmpregneerd hout, maar – vanwege de milieu- en gezondheidsrisico's – ook voor hout dat geïmpregneerd is met koper en chroom).

8

Verbrandingsproducten

8.1 Inleiding

Bij de verbranding van fossiele brandstoffen, zoals aardgas, aardolie en kolen, komen verbrandingsgassen vrij. Deze verbrandingsgassen bestaan voor het grootste gedeelte uit kooldioxide (CO_2), waterdamp (H_2O), stikstofdioxiden (NO_x) en koolmonoxide (CO). Maar ook aldehyden, waaronder formaldehyde (zie hoofdstuk 6 'VOS') en de zure gassen salpeterigzuur (HONO) en salpeterzuur (HNO_3) komen voor in verbrandingsgassen. De verbrandingsgassen van aardolie en kolen bevatten daarnaast aanzienlijke hoeveelheden zwaveloxiden (SO_x). Bovendien kunnen verbrandingsgassen nog een groot aantal andere organische verbindingen, zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), bevatten. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de verbrandingsgassen van allesbranders en open haarden, bij de uitlaatgassen van verbrandingsmotoren en bij tabaksrook. Verder zijn verbrandingsprocessen een bron van fijn stof. Klachten en vragen over blootstelling aan deze producten komen veel voor. Blootstelling aan CO leidt zelfs tot een tiental doden per jaar. Het is onbekend hoeveel slachtoffers er zijn door langdurige blootstelling aan fijn stof en andere verbrandingsproducten die binnen ontstaan.

Aardgas is in Nederland verreweg de meest toegepaste brandstof binnenshuis voor zowel verwarming, de warmwatervoorziening als voor het koken. Daarom zal in dit handboek voornamelijk worden ingegaan op de verbrandingsgassen die vrijkomen bij de verbranding van aardgas. Vanuit het oogpunt van de volksgezondheid zijn met name twee bestanddelen van deze verbrandingsgassen, te weten stikstofdioxide en koolmonoxide van belang. Deze componenten worden in dit hoofdstuk uitgebreid besproken. Tevens wordt in dit hoofdstuk aandacht gegeven aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen en fijn stof.

8.2 Stikstofdioxiden

8.2.1 Wat zijn stikstofdioxiden?

Stikstofdioxiden (waaronder stikstofdioxide (NO) en stikstofdioxide (NO_2)) zijn gassen die bij verbrandingsprocessen kunnen ontstaan. Dit gebeurt deels door oxidatie van het stikstof dat in de brandstof aanwezig is en deels door vorming uit stikstof en zuurstof in de lucht onder invloed van de hoge temperaturen. NO kan snel worden omgezet in NO_2 . NO_2 kan verder reageren tot ondermeer HONO en HNO_3 . De NO -concentraties, zoals die normaliter in woningen voorkomen, zijn niet van belang voor de gezondheid. Stikstofdioxide is, bij hoge concentraties, een bruinkleurig gas met een scherpe, bittere geur. De reukgrens is 9 mg/m^3 . Het soortelijk gewicht is hoger dan die van lucht. 1 ppm NO_2 is gelijk aan $1,8 \text{ mg NO}_2$ per m^3 .

8.2.2 Bronnen van stikstofdioxide

Stikstofdioxide komt vrij bij verbrandingsprocessen. De belangrijkste bronnen in de woning zijn dan ook op hout en fossiele brandstoffen gestookte apparaten voor verwarming, koken en warmwatervoorziening. In Nederland wordt de afvoerloze geiser als belangrijkste bron van NO_2 binnenshuis gezien. Tabaksrook vormt binnenshuis ook een bron van NO_2 . Daarnaast kan de buitenlucht, vooral langs drukke verkeerswegen, vliegvelden en industriële activiteiten, een belangrijke bron van stikstofdioxide voor de binnenlucht vormen.

8.2.3 Inspectie

Een aantal kenmerken van de woning kunnen aanwijzingen verschaffen over mogelijke problemen met stikstofdioxide:

- *De aard van de verbrandingstoestellen (geiser, fornuis, gaskachels, CV-installatie)*

Er zijn twee typen gastoestellen te onderscheiden: gesloten verbruikstoestellen en open verbruikstoestellen. Bij een gesloten verbruikstoestel staat de verbrandingsruimte niet in open verbinding met de ruimte waarin het toestel staat opgesteld. De benodigde verbrandingslucht wordt rechtstreeks vanuit de buitenlucht aangezogen, terwijl de verbrandingsgassen direct naar de buitenlucht worden afgevoerd. Een voorbeeld van een gesloten verbruikstoestel is een gevelkachel. Tegenwoordig worden de meeste (combi)ketels ook in een gesloten systeem aangebracht.

Bij een open verbruikstoestel staat de verbrandingsruimte wel in open verbinding met de ruimte waarin het toestel staat opgesteld, en de benodigde verbrandingslucht wordt vanuit deze ruimte betrokken. De verbrandingsgassen dienen in vrijwel alle gevallen via rookgaskanalen te worden afgevoerd. Open toestellen worden nog steeds op de markt gebracht, maar hun aandeel is sterk gedaald.

- *De opstelling van de verbrandingstoestellen*

Voor de opstelling van aardgasinstallaties zijn voorschriften opgesteld met het oog op de veiligheid. Deze voorschriften zijn opgenomen in NEN 2757.(1)

- *De luchttoevoer en afvoer van verbrandingsgassen*

Eisen voor de toevoer van verbrandingslucht en afvoer van verbrandingsgassen zijn opgenomen in NEN 1087, NEN 8087 en in NEN 2757.(1-3)

- *De werkelijke luchttoevoer en -afvoer van verbrandingsgassen*

De opstelling van gastoestellen, alsmede de voorzieningen voor de luchttoevoer en afvoer van verbrandingsgassen worden geïnspecteerd. Hierbij dient tevens gelet te worden op het functioneren van deze systemen. Met andere woorden, wordt via luchttoevoeropeningen daadwerkelijk lucht toegevoerd en worden de verbrandingsgassen daadwerkelijk afgevoerd? De praktijk leert dat ook systemen die op het oog aan de gestelde eisen voldoen, ondermeer onder invloed van weersomstandigheden en/of bewonersgedrag herhaaldelijk niet naar behoren blijken te functioneren.

Een veel voorkomend probleem bij open verbrandingstoestellen met afvoer is bijvoorbeeld de terugslag van verbrandingsgassen. Terugslag houdt in dat de ontstane verbrandingsgassen niet door de daarvoor bestemde afvoerkanalen worden afgevoerd en daardoor in de woning terecht komen. Dit komt voor wanneer er in de woning een lagere druk heerst dan buiten. Er is dan sprake van een onderdruk in de woning. Door dit verschil in luchtdruk wil de lucht van buiten naar binnen, de woning in. De verbrandingslucht wordt dan via het rookgaskanaal betrokken. Terugslag kan ook optreden wanneer het apparaat opgestart wordt en het rookgaskanaal nog koud is. Er is dan altijd een aantal seconden 'stilstand van de lucht'. Wanneer het kanaal is opgewarmd, gaat het goed trekken.

Het komt wel eens voor dat bewoners een afzuigkap aansluiten op het afvoerkanaal van de geiser. Bij gelijktijdig gebruik van de afzuigkap en de geiser kunnen de verbrandingsgassen van de geiser niet meer goed afgevoerd worden. Ze kunnen dan in de ruimte terecht komen. Verstoppingen door bijvoorbeeld puin en vogelnesten en lekkages van het rookgaskanaal kunnen ook de oorzaak zijn van geen of een slechte afvoer van verbrandingsgassen. Lekkages kunnen opgespoord worden met de zogenaamde rookproef. Hierbij wordt de uitmonding van het rookgaskanaal afgesloten. Vervolgens wordt rook onder druk in het kanaal geblazen. In het geval van een lekkage kan de rook het kanaal verlaten en maakt zo de plaats van de lekkage zichtbaar. Haarscheurtjes worden hier echter niet mee opgespoord. Lekkages, ook haarscheurtjes, kunnen geelbruine vlekken op bijvoorbeeld de schouw veroorzaken.

- *Stikstofdioxidebronnen in de directe omgeving*

Naast stikstofdioxidebronnen in de woning zelf, kunnen er in de directe omgeving van de woning bronnen zijn die kunnen bijdragen aan de verontreiniging van de binnenlucht. Mogelijke bronnen zijn:

- verbrandingsgassen geproduceerd door verbrandingstoestellen in aangrenzende woningen. Door defecte rookgaskanalen kunnen deze in een andere woning infiltreren.
- verbrandingsgassen geproduceerd door gesloten verbrandingstoestellen met een gevelafvoer. Onder bepaalde weersomstandigheden kunnen deze via geopende ramen of deuren de woning en/of andere woningen binnendringen. De toepassing van gevelafvoeren van gasgestookte toestellen levert met name bij de gestapelde woningbouw regelmatig klachten op. Enerzijds ondervindt men veel hinder van de zichtbare rook- of stoompluimen. Anderzijds is men verontrust over mogelijke effecten op de gezondheid als gevolg van het inademen van verbrandingsgassen. Resultaten van onderzoeken laten zien dat een gevelafvoer tot lokaal verhoogde concentraties NO₂ in de buitenlucht kan leiden. In woningen echter bleek geen verhoging van de weekgemiddelde NO₂-concentratie op te treden.
- het gemotoriseerde verkeer. *De aanwezigheid van olie- en kolenkachels*
In afwezigheid van bronnen in de binnenlucht, zullen de NO₂-concentraties binnen lager zijn dan buiten. Er zijn echter veel woningen met bronnen in de binnenlucht (zoals geisers, gasfornuizen en ovens), waardoor de persoonlijke blootstelling aan NO₂ vaak gedomineerd wordt door bronnen in de binnenlucht'.(4). Als uit de inspectie blijkt dat er geen aanwijzingen zijn voor een onvolledige of onjuiste afvoer van verbrandingsgassen of voor bronnen van verbrandingsgassen in de directe omgeving, is het onwaarschijnlijk dat de binnenlucht extra verontreinigd is met stikstofdioxide. Als er wel aanwijzingen zijn, dan zal dit vermoeden met behulp van metingen getoetst moeten worden.

8.2.4 Meten van stikstofdioxide

Er zijn verschillende methoden voorhanden voor het meten van NO₂-concentraties in de binnenlucht. De voor de dagelijkse praktijk meest geschikte methode maakt gebruik van zogenaamde Palmes- diffusiebuisjes. Palmes-diffusiebuisjes zijn goedkoop en eenvoudig in het gebruik. Het is een passieve monstername methode. Dit wil zeggen dat er geen pompje nodig is voor de bemonstering. Deze diffusiebuisjes zijn in principe alleen geschikt voor monstername over langere tijdsduur (1 dag tot 7 dagen). De buisjes zijn dus niet geschikt voor het meten van piekconcentraties. In onderzoeken wordt ook gebruikgemaakt van de Willems-badge. Het principe van de methode is hetzelfde als die van de Palmes-diffusiebuisjes. Met deze badge kan van enkele uren tot enkele dagen gemeten worden. Gedetailleerde informatie over het verloop van de NO₂-concentratie is te verkrijgen met een NO₂-monitor. Hiermee kan de NO₂-concentratie continu gemeten worden. Een NO₂-monitor is echter erg duur. De metingen dienen niet uitgevoerd te worden op plaatsen waar sterke luchtstromen optreden. Dit is het geval boven gasapparatuur en in de directe nabijheid van ventilatievoorzieningen zoals ramen, deuren of een afzuigkap.

8.2.5 Referentiewaarden: concentraties in woningen

Metingen van NO₂-concentraties beperken zich over het algemeen tot het buitenmilieu. Er zijn slechts enkele onderzoeken die zich richten op NO₂-concentraties in woningen. Door de Landbouwwuniversiteit Wageningen werd de NO₂-concentratie gemeten in keukens, woonkamers en slaapkamers van meer dan 900 willekeurig gekozen woningen in Ede, Arnhem/Enschede, Vlagt-

Tabel 8.1 Gemiddelde en spreiding van de weekgemiddelde concentraties van NO₂ (µg /m³) in de binnenlucht en de gemiddelde buitenluchtconcentraties.(5)

Plaats	Aantal woningen	Weekgemiddelde NO ₂ -concentraties (µg/m ³)			Buitenluchtconcentratie (µg /m ³)
		keuken	woonkamer	slaapkamer	
Arnhem/Enschede	294	74 (8-352)	37 (6-258)	-	35
Ede	173	65 (9-539)	36 (8-166)	28 (7-151)	45
Vlagtwedde	163	59 (9-292)	29 (9-180)	17 (8-103)	28
Rotterdam I	228	85 (17-589)	51 (11-207)	33 (9-109)	45
Rotterdam II	102	88 (27-525)	47 (16-212)	41 (7-173)	45

wedde en Rotterdam. Monstername vond plaats met behulp van Palmes-diffusiebuisjes. In Tabel 8.1 worden de resultaten gegeven.

Informatie over het optreden van piekconcentraties werd verkregen door gedetailleerde continue metingen in 12 woningen. In Tabel 8.2 wordt een overzicht gegeven van de resultaten.

Tabel 8.2 Gemiddelde/maximum concentraties NO₂ (µg/m³) in 12 huizen bij verschillende bemonsteringsperioden.(6)

Meetplaats	Meetduur			
	1 minuut	1 uur	24 uur	gehele bemonsteringsperiode*
Keuken	400 / 3808	230 / 2055	53 / 478	36 / 227
Woonkamer	195 / 1007	101 / 879	49 / 259	32 / 142
Slaapkamer	57 / 806	48 / 718	22 / 100	16 / 104
Buiten				25 / 70

* De bemonsteringsperiode varieerde van 136-273 uur

In de winter van 1993/1994 zijn in Groningen met Palmes-diffusiebuisjes metingen gedaan naar NO₂-concentraties in woningen.(7) Een aantal resultaten wordt weergegeven in Tabel 8.3 en Tabel 8.4.

Tabel 8.3 Weekgemiddelde concentraties van NO₂ (µg/m³) in de binnenlucht van 189 woningen naar bouwjaar in Groningen.(7)

Bouwjaar	Woonkamer (aantal woningen)	Keuken (aantal woningen)
Voor 1900	24 (12)	33 (10)
1900-1945	38 (35)	64 (33)
1946-1960	24 (23)	55 (23)
1961-1975	33 (55)	74 (56)
Na 1975	31 (57)	38 (57)

Tabel 8.4 Weekgemiddelde concentraties van NO₂ (µg/m³) in de binnenlucht van 189 Groningse woningen, naar verbrandingsapparatuur en inrichting.(7)

Verbrandingsapparatuur/inrichting	Woonkamer		Keuken	
	ja	nee	ja	nee
Centraal verwarmingssysteem	28	53	49	98
Allesbrander/open haard	26	32	38	59
Gasgeiser zonder afvoer	48	27	116	37
Open verbinding woonkamer/keuken	34	29	42	67
Koken op gas (vs elektrisch)	32	13	58	16
Afzuigkap boven kookplaat	26	38	41	75

De Landbouwwuniversiteit Wageningen onderzocht ook de NO₂-concentraties met behulp van de Willems-badge.(8) Metingen werden gedaan in de slaapkamer en in de buitenlucht, direct naast de slaapkamer. Er is op vier verschillende plaatsen in Nederland gemeten. De resultaten worden in Tabel 8.5 weergegeven.

Tabel 8.5 Weekgemiddelde NO₂-concentraties in de slaapkamer en buitenlucht.(8)

Plaats	Concentratie NO ₂ in µg/m ³		Aantal
	slaapkamer	buitenlucht	
Bodegraven/Reeuwijk	38	50	75
Rotterdam	49	68	70
Drenthe	30	39	25
Amsterdam	57	59	25

Als bovenstaande onderzoeken worden samengevat dan blijkt dat met behulp van Palmes-diffusiebuisjes gemiddeld de volgende weekgemiddelde NO₂-concentraties werden vastgesteld: in de woonkamer 39 µg/m³, in de slaapkamer 29 µg/m³, in de keuken 66 µg/m³ en in de buitenlucht 3 µg/m³. Met de Willems-badje waren deze concentraties gemiddeld in de slaapkamer 43 µg/m³ en in de buitenlucht 56 µg/m³. In Nederland zijn piekconcentraties (één minuut-metingen) van maximaal 3,8 mg/m³ gemeten in keukens met gaskooktoestellen.(9)

8.2.6 Effecten op de gezondheid

Stikstofdioxide kan na inademing effecten op de gezondheid veroorzaken. NO₂ dringt door tot in de kleinste vertakkingen van de luchtwegen. Het kan bij hoge concentraties irritatie veroorzaken aan ogen, neus en keel. Bij blootstelling aan lage concentraties stikstofdioxide wordt een lagere longfunctie waargenomen. Ook een toename van astma-aanvallen en ziekenhuisopnamen en een verhoogde gevoeligheid voor infecties komen voor. Het is minder waarschijnlijk dat de gevonden associaties tussen NO₂ en gezondheidseffecten door NO₂ zelf worden veroorzaakt. Aannemelijker is dat de NO₂-concentratie model staat voor het mengsel aan luchtverontreinigingen.

Er moet onderscheid gemaakt worden tussen kortdurende blootstelling aan piekconcentraties (tot enkele mg/m³) en langdurige blootstelling aan lage concentraties. Er zijn aanwijzingen dat de piekconcentraties NO₂ zoals die bij het gebruik van geisers en/of gasstel kunnen optreden, het afweermecanisme tegen bacteriële luchtweginfecties ongunstig kunnen beïnvloeden. Dit betekent dat blootstelling aan deze concentraties NO₂ gedurende korte perioden ook tot nadelige effecten bij de mens zou kunnen leiden.(10)

Verschillende epidemiologische onderzoeken zijn verricht naar de gezondheidseffecten van NO₂. Dergelijk onderzoek toont duidelijk een relatie aan tussen blootstelling aan NO₂ en ziekten aan de luchtwegen. Langdurige blootstelling aan lage concentraties NO₂ kan luchtwegaandoeningen veroorzaken of bevorderen. De concentraties waarbij dit optreedt zijn echter nog niet precies vastgesteld.(9)

Uit een aantal onderzoeken blijkt dat bewoners, vooral vrouwen en kinderen, van woningen waarin op gas wordt gekookt, meer luchtwegproblemen hebben dan bewoners van huizen waarin elektrisch wordt gekookt. Volgens de WHO laten epidemiologische studies echter zien dat er in woningen waar op gas wordt gekookt over het algemeen geen (significante) gezondheidseffecten aan de luchtwegen gevonden bij volwassenen en kinderen jonger dan 2 jaar. Dit sluit echter niet uit dat bij iemand met gevoelige luchtwegen gezondheidseffecten kunnen ontstaan als gevolg van bijvoorbeeld het koken op gas. Voor kinderen in de leeftijd van 5 tot 12 jaar wordt geschat dat, bij een gemiddelde NO₂-concentratie van 15-128 µg/m³, een verhoging van 28,3 µg/m³ NO₂ leidt tot 20% hogere kans op luchtwegklachten.(11)

Het is niet duidelijk wat de laagste NO₂-concentratie is waarbij nog nadelige effecten meetbaar zijn. Wel is duidelijk dat ter bescherming van de volksgezondheid verhoogde concentraties vermeden dienen te worden. Daarom wordt het aanbrengen van een afvoer voor de verbrandingsgassen op een geiser – de grootste potentiële bron van stikstofdioxide in woningen in Nederland – sterk aangeraden, ook al is dit volgens de voorschriften niet verplicht. Als iemand gevoelige luchtwegen heeft, is bovendien een lage afzuigkap bij gebruik van een gasfornuis of elektronisch koken aan te bevelen.

8.2.7 Normen

Er zijn geen normen voor NO₂ in de binnenlucht. Voor de buitenlucht zijn wel normen opgesteld, zie Tabel 8.7. De MAC-waarde bedraagt 4 mg/m³ (voor gezonde werknemers, gedurende 40 uur per week).

In NEN 2757 zijn voorschriften voor de toevoer van verbrandingslucht en de afvoer van verbrandingstoestellen in gebouwen opgenomen.(1)

Tabel 8.7 Luchtkwaliteitseisen voor NO₂ in de buitenlucht. (11)

Norm	NO ₂ -concentratie (µg/m ³)
Jaargemiddelde	40
Uurgemiddelde dat 18x per jaar overschreden mag worden	200
Uurgemiddelde dat 18x per jaar overschreden mag worden voor een zeer drukke verkeerssituatie	290

8.2.8 Juridische aspecten

In het Bouwbesluit is opgenomen dat ten aanzien van de toevoer van verbrandingslucht en afvoer van rook van verbrandingstoestellen moet worden voldaan aan de eisen gesteld in NEN 1087, NEN 8087 en NEN 2757. Het betreft afdeling 3.13 (Toevoer van verbrandingslucht) en afdeling 3.14 (Afvoer van rook) uit het Bouwbesluit 2003.

8.3 Koolmonoxide

8.3.1 Wat is koolmonoxide?

Koolmonoxide (CO) is een kleur-, geur- en smaakloos gas. Bij kamertemperatuur is het een stabiele verbinding. Koolmonoxide heeft een lager soortelijk gewicht dan lucht. Het zal daarom niet uitzakken. Jaarlijks sterven in Nederland een tiental mensen door een CO-vergiftiging.

8.3.2 Bronnen van koolmonoxide

Koolmonoxide komt vrij bij verbrandingsprocessen. Het wordt vooral gevormd bij onvolledige verbranding, dus onder omstandigheden waarbij te weinig zuurstof beschikbaar is. De grootste CO-bronnen binnenshuis in Nederland zijn keukengeisers en gasfornuizen. Maar ook gashaarden/kachels, centrale verwarmingsketels, combiketels, kolen- en oliestookinstallaties, open haarden en allesbranders kunnen een bron van koolmonoxide vormen in huis. Bovendien bevat tabaksrook koolmonoxide. In de binnenlucht kan koolmonoxide zich ophopen, vooral als er niet of slecht geventileerd wordt. Het risico op een CO-vergiftiging is het grootst bij niet goed functionerende en/of afvoerloze verbrandingstoestellen in combinatie met te weinig ventilatie.

8.3.3 Inspectie

Een lichte CO-vergiftiging kan meestal niet herkend worden door typische klachten over de gezondheid. Wel moet men bij gezondheidsklachten als vermoeidheid, hartkloppingen (zie paragraaf 8.3.6) altijd de mogelijkheid van een CO-vergiftiging nagaan.

Koolmonoxide komt vooral vrij bij onvolledige verbranding. Onvolledige verbranding is te herkennen aan instabiele, flakkerende gele vlammen. Bij volledige verbranding zijn de vlammen stabiel en blauw gekleurd. Als er CO vrijkomt, is er vaak ook meer vocht in de ruimte, bijvoorbeeld condens op de ramen, want als de ontstane koolmonoxide niet goed wordt afgevoerd, geldt dat ook voor de waterdamp die bij de verbranding ontstaat. Onvolledige verbranding kan onder de volgende omstandigheden optreden:

- *Onvoldoende aanvoer van zuurstof (verse lucht)*

Open verbrandingstoestellen betrekken de benodigde zuurstof uit de ruimte waarin ze zijn opgesteld. Als er te geringe of gebrekkige ventilatievoorzieningen zijn, kan er te weinig zuurstof aanwezig zijn voor een volledige verbranding. Ook terugslag van verbrandingsgassen, door een onderdruk in de woning, en onvoldoende afvoer van verbrandingsgassen, kunnen voor een zuurstoftekort zorgen.

Op alle nieuwe verbrandingstoestellen die voorzien zijn van een natuurlijke afvoer met trekonderbreking zit tegenwoordig een thermische terugslagbeveiliging (TTB), ook wel rookgasbeveiliging genoemd. Wanneer er sterke terugslag plaatsvindt, slaan deze toestellen vanzelf af.

- *Vervuiling van de branders*
Door vervuiling van de branders van gasteostellen vindt onvolledige verbranding plaats. Het is van belang om verbrandingstoestellen één keer per jaar goed te laten schoonmaken. Wanneer er sterke terugslag van verbrandingsgassen optreedt, kan vervuiling van de branders sneller optreden.
- *Overbelasting van het toestel door een verkeerde afstelling*
Bij afvoerloze geisers en gasfornuizen komt het eventueel gevormde koolmonoxide direct vrij in de binnenlucht. Bij verbrandingstoestellen met afvoer komt het vrij in de binnenlucht als er terugslag van verbrandingsgassen optreedt. Juist de omstandigheden waaronder CO ontstaat, leiden vaak ook tot terugslag.

Een aantal kenmerken van de woning en van de verbrandingstoestellen kunnen aanwijzingen verschaffen over mogelijke problemen met koolmonoxide. Het betreft de volgende kenmerken:

- de aard van de verbrandingstoestellen;
- de opstelling van de verbrandingstoestellen;
- de wijze van luchttoevoer en afvoer van de verbrandingsgassen;
- de werkelijke luchttoevoer en afvoer van verbrandingsgassen;
- koolmonoxidebronnen in de directe omgeving van de woning. Mogelijke bronnen zijn:
 - koolmonoxide geproduceerd door verbrandingstoestellen in aangrenzende panden die door defecte of verkeerd geplaatste rookgaskanalen een andere pand kan infiltreren;
 - afvoerpijp van verbrandingsgassen te dicht bij de gevel of bij de inlaat van een ventilatiesysteem;
 - gemotoriseerde verkeer.

Voor de uitwerking van deze kenmerken wordt verwezen naar de inspectie met betrekking tot mogelijke problemen met stikstofdioxide (zie paragraaf 8.2.3).

Als uit de inspectie blijkt dat er geen aanwijzingen zijn voor onvolledige verbranding, of dat koolmonoxidebronnen in de directe omgeving niet aanwezig zijn, is het onwaarschijnlijk dat de binnenlucht extra verontreinigd is met koolmonoxide. Indien er echter het vermoeden bestaat dat er wel een potentiële bron van koolmonoxide aanwezig is, zal dit vermoeden getoetst moeten worden met behulp van metingen.

8.3.4 Het meten van koolmonoxide

Er zijn verschillende methoden voorhanden voor het meten van CO-concentraties in de binnenlucht en in verbrandingsgassen. Een relatief goedkope en praktische, maar onnauwkeurige methode is het gebruik van gasdetectiebuisjes. Met behulp van een (hand)pompje wordt lucht door een buisje, gevuld met een bepaald kleuringsmateriaal, heen gezogen. Hiermee kan de CO-concentratie in de binnenlucht op één moment dus direct grofweg worden afgelezen. Voor metingen in de verbrandingsgassen moet een koelsonde voor het gasdetectiebuisje geplaatst worden. Gedetailleerde informatie over het verloop van de CO-concentratie is te verkrijgen met behulp van een CO-monitor, omdat hiermee de CO-concentratie nauwkeurig en continu gemeten kan worden.

Bij het vermoeden van een aanwezige CO-bron in een woning, dient eerst buiten de CO-concentratie gemeten te worden om de achtergrondconcentratie te bepalen. Indien er een vermoedelijke bron aangewezen kan worden in de woning, kan een meting dicht bij de stroom van verbrandingsgassen van de vermoedelijke bron en/of naast het verbrandingstoestel uitgevoerd worden. Daarnaast dient een meting, op ademhoogte, worden uitgevoerd in de desbetreffende ruimte.⁽¹²⁾ Bij metingen in vertrekken mag echter voor en tijdens de meting niet gerookt worden. De aanwezige ventilatievoorzieningen moeten gesloten worden.

Indien de CO-concentratie in de ruimte hoger is dan de achtergrondconcentratie duidt dit op de aanwezigheid van een CO-bron.

Beoordeling van de meetresultaten

Met behulp van een gasdetectiebuisje wordt een momentopname verkregen van de CO-concentratie in het desbetreffende vertrek. De gemeten CO-concentratie kan niet zonder meer vergeleken worden met de adviesgrenswaarden voor blootstelling aan koolmonoxide (Tabel 8.11), aangezien de duur van de meting verschilt. Bedraagt een gemeten CO-concentratie echter meer dan de achtergrondconcentratie, dan verdient het aanbeveling om na korte tijd de meting te herhalen (bij gebrek aan een actuele, gemeten achtergrondconcentratie kan men een CO-concentratie van 1 à 2 ppm als achtergrondwaarde nemen). Het verbrandingstoestel blijft hierbij in gebruik, zodat kan worden nagegaan of de CO-concentratie in de loop van de tijd afneemt, gelijk blijft of verder toeneemt. Blijft de CO-concentratie gelijk of neemt zij verder toe, dan zullen maatregelen genomen moeten worden om de CO-concentratie tot de achtergrondwaarde terug te brengen. Het is raadzaam om deze maatregelen op zo kort mogelijke termijn uit te voeren. De hoogte van de gemeten CO-concentraties zullen bepalend zijn bij het inschatten van de ernst van de situatie. Lage concentraties CO zullen niet direct een gezondheidsrisico vormen, maar geven wel aan dat er een CO-bron is die in de toekomst hogere CO-concentraties kan veroorzaken.

8.3.5 Referentiewaarden: concentraties in woningen

Kortdurend kunnen de CO-concentraties behoorlijk oplopen, tot meer dan 100 mg/m³. Over langere perioden zijn de gemiddelde concentraties echter laag, doorgaans 1 à 2 mg/m³. De onderstaande tabel bevat gegevens uit een onderzoek dat in 1985 is gepubliceerd. Het is aannemelijk dat de concentraties in moderne woningen, die minder open verbrandingstoestellen bevatten, (veel) lager zijn.

Tabel 8.8 De minimale en maximale CO-concentratie, gemiddeld over 1 minuut en 1 uur, gemeten in verschillende kamers in 12 woningen.(6)

Locatie	Gemiddelde over een meetduur van 1 minuut	Gemiddelde over een meetduur van 1 uur
Keuken	5 - 108	3 - 56
Woonkamer	4 - 28	2 - 26
Slaapkamer	4 - 28	1 - 26

Naast onderzoek naar de CO-concentraties in de binnenlucht, heeft de Landbouwniversiteit Wageningen ook onderzoek verricht naar de CO-concentraties in de verbrandingsgassen van geisers. Aanleiding hiertoe was dat de geiser als een van de belangrijkste bronnen van koolmonoxide voor de binnenlucht wordt beschouwd. Tabel 8.9 geeft de frequentieverdeling van de CO-concentratie gemeten in de verbrandingsgassen van geisers in 226 'normale' woningen.

Tabel 8.9 Frequentieverdeling van de CO-concentratie in de verbrandingsgassen van geisers.(13)

CO-concentratie (ppm) ¹⁾	Aantal geisers
< 100	119 (53%)
100 - 300	46 (20%)
300 - 600	20 (9%)
600	41 (18%)

1) 1 ppm CO = 1,1 mg/m³ CO

In 27% van de gevallen werd meer dan 300 ppm CO in de verbrandingsgassen opgemeten. In het onderzoek werd ook de CO-concentratie bepaald op circa 1,5 m hoogte in de keuken, nadat de geiser 15 minuten had gebrand. Hierbij werden ramen en deuren gesloten; de overige ventilatievoorzieningen bleven open. Tabel 8.10 geeft de resultaten. Hier wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende type branders en de aan- of afwezigheid van een afvoer op de geiser. Bij een bunsenbrander vindt voorvermenging plaats van gas met de verbrandingslucht. Bij een diffusie-

brander vindt géén voorvermenging plaats. Uit de praktijk blijkt dat een bunsenbrander eerder vervuild is dan een diffusiebrander. Dit kan leiden tot hogere CO-concentraties op leefniveau.

Tabel 8.10 Aantallen geisers, ingedeeld naar CO-concentratie op leefniveau, type brander en de aanwezigheid van een afvoer.(13)

CO-concentratie (ppm)	Bunsenbrander		Diffusiebrander	
	+ afvoer	- afvoer	+ afvoer	- afvoer
< 25	77	59	13	23
> 25	3	59	0	3

Het type brander en de aanwezigheid van een afvoer zijn belangrijke factoren voor de CO-concentratie op leefniveau in de keuken.

8.3.6 Effecten op de gezondheid

Ingeademd koolmonoxide komt in de longen terecht, waarna het in het bloed wordt opgenomen. In het bloed wordt koolmonoxide gebonden aan hemoglobine (Hb), waardoor carboxy-hemoglobine (COHb) ontstaat. De belangrijkste taak van het hemoglobine is het transport van zuurstof. Koolmonoxide beperkt dit transport, omdat het veel sterker dan zuurstof aan hemoglobine wordt gebonden. Dit betekent dat er minder zuurstof beschikbaar is voor de verschillende weefsels en organen in het lichaam. De weefsels en organen die een constante hoge zuurstoftoevoer nodig hebben, ondervinden dan ook de meeste last van de vorming van COHb. Dit zijn vooral het hart, het centraal zenuwstelsel (de hersenen) en bij zwangere vrouwen de foetus. Bij inspanning geldt het ook voor de skeletspieren.(11)

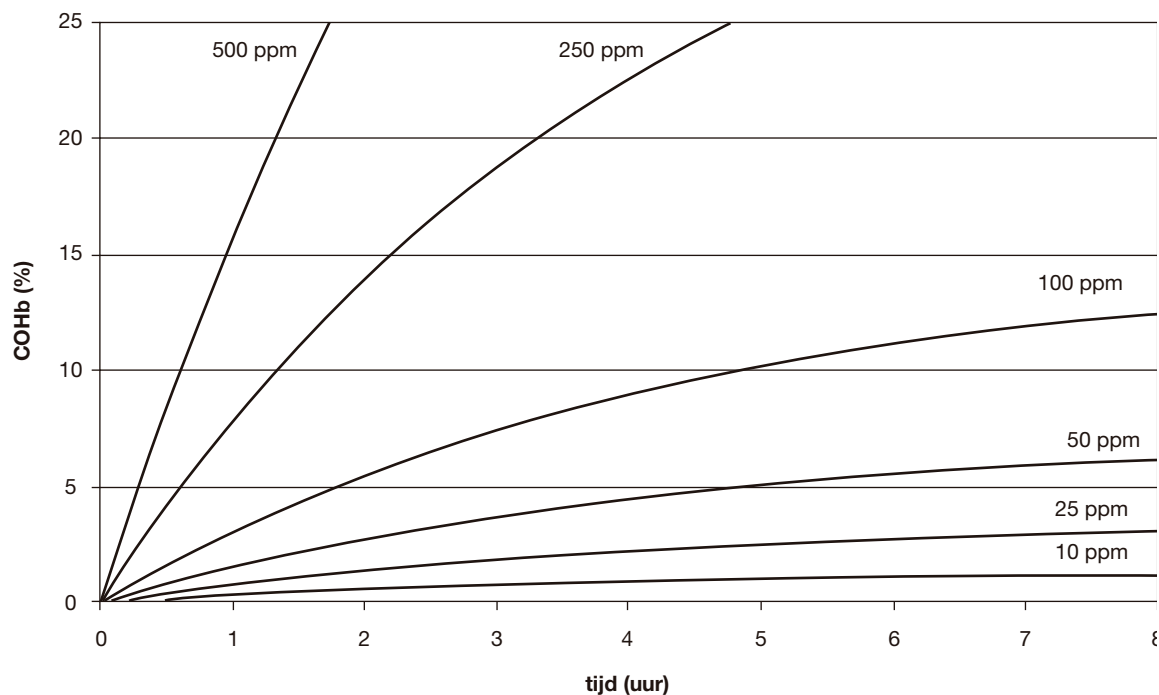
Er is altijd een lage concentratie koolmonoxide aanwezig in binnen- en buitenlucht. Koolmonoxide wordt ook in het lichaam zelf geproduceerd bij de afbraak van hemoglobine. Mensen die niet blootgesteld zijn aan extra koolmonoxidebronnen, hebben dus toch een laag gehalte COHb, variërend van 0,4 - 0,7%, in het bloed. In bepaalde situaties, zoals bij medicijngebruik, een snelle stofwisseling (hypermetabolisme) en hemolytische bloedarmoede, kan het lichaamseigen COHb-gehalte 4 - 6% zijn. Bij zwangerschap neemt het lichaamseigen COHb ook toe. COHb-gehalten van 0,7 - 2,5% zijn gerapporteerd voor niet-rokende moeders en 0,4 - 2,6% voor de foetussen. Voor een niet-roker varieert het gemiddelde COHb-gehalte (lichaamseigen + invloed van omgeving) van 0,5 tot 1,5%. Stevig roken kan leiden tot een COHb-gehalte van rond de 10%. Het verband tussen de CO-concentratie in de inademiningslucht, de blootstellingsduur, het niveau van inspanning en het COHb-gehalte in het bloed, wordt weergegeven in Figuur 8.1.(11,14)

Vanwege het feit dat bij zwangerschap het COHb van nature hoger is, zijn moeder en kind (foetus) gevoeliger voor CO. Er is een relatie gevonden tussen het roken tijdens de zwangerschap (door de moeder) en het aantal sterfgevallen in de perinatale periode (28^e zwangerschapsweek - 8^e dag na de geboorte) en het voorkomen van gedragsproblemen bij jonge kinderen. Hierbij wordt CO uit de tabaksrook als een van de meest bepalende factoren beschouwd.(11)

Acute effecten

Een lichte CO-vergiftiging geeft géén specifieke gezondheidsklachten. Aan de klachten kan een lichte CO-vergiftiging dus niet worden herkend. Slechts bij blootstelling aan hoge CO-concentraties worden klachten over de gezondheid karakteristieker: hoofdpijn, misselijkheid, duizeligheid, vermoeidheid tot bewusteloosheid. Kenmerkend hiervoor is dat de klachten binnenshuis aanwezig zijn en buitenshuis afnemen om ten slotte geheel te verdwijnen.

In Tabel 8.11 wordt een overzicht gegeven van de effecten op het hart en het centraal zenuwstelsel na blootstelling aan hoge concentraties gedurende korte tijd. De effecten zijn afhankelijk van het gehalte carboxyhemoglobine in het bloed.



Figuur 8.1: Het verband tussen het COHb-gehalte in het bloed en de CO-concentratie in de inademiingslucht en de blootstellingsduur voor een persoon die lichte inspanning verricht. In rust en bij zware inspanning zal het COHb-gehalte respectievelijk langzamer en sneller stijgen.(15)

Tabel 8.11 Overzicht van de effecten van koolmonoxide na blootstelling aan hoge concentraties gedurende korte perioden.(16)

COHb-gehalte in het bloed (%)	Symptomen
<3	geen symptomen bekend
3-10	lichte verschijnselen als afwijkingen in het ECG, afname van reactie- en onderscheidingsvermogen
10-20	in sterkere mate afwijkingen in het ECG en afname van reactie- en onderscheidingsvermogen, drukkend gevoel op hoofd, kortademigheid bij zware inspanning
20-30	kortademigheid bij matige inspanning, bonzend gevoel in het hoofd, verminderd oordeelsvermogen
30-40	gezichtstoornissen, prikkelbaarheid, duizeligheid, misselijkheid, zwaktegevoel, hartkloppingen
40-60	verwardheid, braken, bewustzijnsverlies bij geringe inspanning
60-80	coma, stuip trekkingen, wijde pupillen
>80	snel dodelijk

Chronische effecten

Chronische blootstelling aan lage CO-concentraties kan leiden tot niet-specifieke symptomen, zoals hoofdpijn, misselijk en duizeligheid. Bij chronische blootstelling aan hogere CO-concentraties kunnen alle bovengenoemde symptomen optreden. Het is echter nog onvoldoende duidelijk vanaf welke concentraties CO bij een chronische blootstelling bepaalde gezondheidseffecten kunnen optreden. Vooral bij de duidelijke gevallen van chronische CO-vergiftiging komen nog een aantal verschijnselen voor dat meestal gemakkelijk te herkennen is: vermoeidheid, duizeligheid, verminderde coördinatie en alertheid, verschijnselen aan het hart en gedrags- en karakterveranderingen.

Met name mensen met hart- en vaatziekten zijn waarschijnlijk gevoeliger voor de effecten van CO. Blootstelling aan CO-concentraties zoals deze normaal in het leefmilieu aanwezig zijn, lijken geen hart- en vaatziekten te veroorzaken.(16,11) Als een CO-vergiftiging niet tot de dood heeft geleid, zijn de effecten meestal reversibel; dat wil zeggen dat de effecten verdwijnen na beëindiging van de blootstelling.

Bij een volwassene die normaal ademhaalt bij een luchtdruk van 1 atmosfeer, neemt het COHb-gehalte in bloed in 320 minuten met 50% af. Wanneer na een CO-vergiftiging zuurstof wordt toegediend, halveert bij het inademen van 100% zuurstof het COHb-gehalte in 80 minuten. Wanneer gebruik wordt gemaakt van een hogedrukkamer (3 atmosfeer), neemt het gehalte in 23 minuten met de helft af.(17)

8.3.7 Normen

Zowel de Gezondheidsraad als de WHO hebben advieswaarden voor CO-concentraties in de binnen- en buitenlucht voor de algemene bevolking voorgesteld.(18,11) Tabel 8.12 geeft deze advieswaarden weer.

Tabel 8.12 Advieswaarden voor blootstelling aan koolmonoxide. (18,11)

	Blootstellingsduur	Tijdgewogen gemiddelde concentratie	
		mg/m ³	ppm
WHO	15 minuten	100	90
	30 minuten	60	50
	1 uur	30	25
	8 uur	10	10
	Gezondheidsraad	1 uur	38.5
	8 uur	10	9

Tabel 8.13 Luchtkwaliteitseisen voor koolmonoxide in de buitenlucht.

Luchtkwaliteitseis	CO-concentratie (mg/m ³)
8-uurgemiddelde	10

De MAC-waarde bedraagt 29 mg/m³ (25 ppm) met een toegestane kortdurende blootstelling (15 minuten) van 174 mg/m³ (150 ppm).

8.3.8 Juridische aspecten

Voor de juridische aspecten wordt verwezen naar paragraaf 8.2.8.

8.4 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)

8.4.1 Inleiding

Regelmatig wordt er geklaagd over hinder door een allesbrander of open haard van de burens. De hinderklachten betreffen overlast door rook, roet en stank.(19). Hierdoor worden bewoners beperkt in onder andere het ventileren van hun huis, in het buiten drogen van de was en het buiten zitten. Acute gezondheidsklachten zoals hoofdpijn, misselijkheid, benauwdheid, kortademigheid en irritatie van slijmvliezen van ogen en keel worden eveneens gemeld. Vooral mensen met luchtwegklachten melden gevoelig te zijn voor deze acute effecten. Een groot deel van de stoffen die vrijkomen bij gebruik van een allesbrander, wordt elders in dit hoofdstuk besproken. In deze paragraaf ligt de nadruk op polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's). PAK-verbindingen staan vooral in de belangstelling vanwege de toegedachte carcinogene eigenschappen.

8.4.2 Wat zijn polycyclische aromatische koolwaterstoffen?

Met polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) wordt een groep van enige honderden organische stoffen bedoeld. PAK's zijn opgebouwd uit twee of meer aromatische ringen. In de praktijk wordt met de aanduiding PAK's meestal die groep verbindingen bedoeld waarvan de aromaatringen alleen uit koolstof (C) en waterstof (H) zijn opgebouwd. In dit hoofdstuk wordt met PAK's deze laatste groep bedoeld.

PAK's bestaan uit hoog- en laagmoleculaire verbindingen, de grens ligt bij een molecuulgewicht van 228. De laagmoleculaire PAK's zijn over het algemeen vluchtig, goed oplosbaar in water en slecht oplosbaar in vet (= weinig lipofiel). De hoogmoleculaire PAK's zijn lipofiel, minder vluchtig en slecht oplosbaar in water. In de lucht zijn hogere PAK's meestal gebonden aan (aerosol)deeltjes. Om praktische redenen is het niet mogelijk om de concentraties van alle PAK's in het milieu te meten. Het Ministerie van VROM werkt met tien PAK's¹ die representatief worden geacht voor de blootstelling van de mens. Andere instanties kunnen met een andere reeks PAK's werken. In de Verenigde Staten werkt de Environmental Protection Agency (EPA) met een reeks van 16 verschillende PAK's². De best onderzochte pak is het carcinogene benzo(a)pyreen (BaP). BaP, een hoogmoleculaire PAK, wordt vaak als gidsstof (indicator) gebruikt voor het totaal gehalte aan PAK's. Het is hierbij essentieel dat BaP in een vaste verhouding voorkomt in het PAK's-mengsel en dat het profiel van de PAK's in het mengsel constant is. De samenstelling van het PAK's-mengsel hangt onder meer af van het type bron.

8.4.3 Bronnen van polycyclische aromatische koolwaterstoffen

De grootste bronnen van PAK's in de binnenlucht zijn houtkachels (allesbranders), open haarden, roken en infiltratie van buitenlucht. Een aantal bronnen wordt hieronder in het kort besproken:

- *Houtkachels (allesbranders) en open haarden*
Bijna een op de vijf woningen in Nederland beschikt over een open haard of houtkachel.(20) Kolenkachels komen in Nederland nog maar weinig voor en worden hier buiten beschouwing gelaten. Bij het stoken van droog en onbewerkt hout komen PAK's, stofdeeltjes, CO en mogelijk benzeen, toluene en aldehyden (zie hoofdstuk 6 'VOS') vrij. Het stoken van andere materialen, zoals geïmpregneerd hout, plastic, melkpakken en oud papier, kan extra vervuiling met onder andere waterstofchloride (HCL) en gechlloreerde koolwaterstoffen (onder andere dioxinen) opleveren.(21). Geschat wordt dat open haarden en houtkachels momenteel een belangrijke bron van dioxinen vormen. Circa 16% van de totale emissie naar de lucht zou hier van afkomstig zijn.(22) Houtkachels produceren in vergelijking met open haarden drie keer zoveel CO en tien keer zoveel PAK's. De mate van verontreiniging van het binnenmilieu hangt af van het type kachel, soort brandstof, ventilatie, werking van de rookkanalen en het stookgedrag (zie inspectie).
- *Roken*
De concentraties aan PAK's in de niet direct geïnhaleerde rook (nevenstroom) zijn hoger dan de concentraties aan PAK's in de direct geïnhaleerde rook (hoofdstroom). Per sigaret bevat de nevenstroom ongeveer 100-200 ng aan BaP, de hoofdstroom bevat ongeveer 10 - 50 ng BaP/ sigaret.(23,24)
- *Voedselbereiding (braden, bakken, barbecuen)*
- *Bodemverontreiniging*
Vluchtige PAK's kunnen vanuit de bodem verdampen naar de kruipruimte en van daaruit in de woning terechtkomen.

¹ Naftaleen, fenantreen, antraceen, fluorantheen, chryseen, benzo(a)antraceen, benzo(a)pyreen, benzo(k)fluorantheen, indeno(123-cd)pyreen en benzo(ghi)peryleen.

² De 10 PAK's van VROM (zie voetnoot 1) + acenafteen, acenaftyleen, fluoreen, benzo(b)fluorantheen, pyreen en dibenzo(ah)antraceen.

- *Buitenlucht*
Bronnen van PAK's in de buitenlucht:
 - Verkeer (vooral dieselmotoren);
 - Industriële bronnen: houtverduurzamingsbedrijven (creosoteerbedrijven), aluminiumindustrie, cokesproductie, afbranden van kabels, raffinaderijen, kolengestookte elektriciteitscentrales, teerdestillatie, wegenbouw, ijzergieterijen, dakbedekking, fosforproductie, scheepswerven waar schepen een behandeling met teer krijgen, garages;
 - Met carbolineum geïmpregneerd houtwerk;
 - Houtkachels en open haarden gestookt door burens.

8.4.4 Inspectie

De aanwezigheid van een houtkachel (allesbrander) en/of open haard kan, buiten bewonersgedrag (roken en voedselbereiding), een aanwijzing zijn voor mogelijke problemen met PAK's. Hierbij moet gelet worden op:

- *Type kachel*
Te grote capaciteit voor de ruimte waarin hij staat. In dat geval zal de temperatuur in de ruimte snel oplopen en te hoog zijn. Om dit te voorkomen, wordt de kachel vaak getemperd. Hierdoor ontstaan meer PAK's. Zie stookgedrag.
De lektheid is afhankelijk van luchtroosters of andere openingen die naast of boven de vuurhaard zitten. Via dergelijke openingen kunnen PAK's zich gemakkelijk verspreiden naar de woonruimte. Bij een kachel met alleen openingen onder de vuurhaard is de kans hierop het kleinst.
- *Werking van de rookkanalen*
Een slecht trekkende schoorsteen leidt tot verspreiding van veel verbrandingsproducten uit de kachel naar de leefruimte. Een schoorsteen die lekt, zorgt uiteraard ook voor verspreiding. Zie paragraaf 8.2.3.
- *Brandstof*
Gas, kolen en hout produceren verschillende hoeveelheden PAK's: ongeveer in de verhouding 1 : 1000 : 100.000. Maar er bestaan ook verschillen in de uitstoot bij houtstook. Nat hout geeft een hogere PAK's-uitstoot dan droog hout.
Het stoken van andere materialen zoals geferfd en geïmpregneerd hout, plastic, melkpakken en oud papier, levert extra vervuiling op (zie paragraaf 8.5.3.).
- *Stookgedrag*
Tempering (smoren) van de kachel om te voorkomen dat hij te veel warmte afgeeft. Hierdoor is de verbranding vaak niet meer volledig: er ontstaan meer PAK's. Smoren kan de gemiddelde PAK's-uitstoot van 0,015 mg per kilo verbrand hout verhogen tot 0,15 mg/kg.
- *Ventilatie*
Een open haard of houtkachel is een open verbrandingstoestel. Door te weinig ventilatie kan een onvolledige verbranding en een terugslag van de verbrandingsgassen optreden. Zie ook paragraaf 8.2.3 en hoofdstuk 2 'Ventilatie'.

De inspectie zal erop gericht moeten zijn om door het stellen van vragen aan de gebruiker, aangevuld met visuele waarnemingen, na te gaan of een van bovengenoemde factoren een rol kan spelen. In sommige gevallen kan het wenselijk of noodzakelijk zijn om te verwijzen naar een gespecialiseerde vakman om bepaalde zaken vakkundig te laten controleren en eventueel te laten repareren.

8.4.5 Het meten van polycyclische aromatische koolwaterstoffen

Er zijn voor het bepalen van PAK's in de lucht diverse methoden beschikbaar. De kwaliteit van de meetmethode hangt voor een belangrijk deel af van de monsternamemethode. Meestal wordt lucht over een filter geleid. Hierbij worden deeltjes groter dan de poriëndiameter van het filter afgevangen. PAK's met een lage molecuulmassa komen grotendeels gasvormig voor. Deze stoffen

worden met een filter nauwelijks afgevangen. Om deze PAK's te bemonsteren wordt de aangezogen lucht eerst over een glasvezelfilter gezogen en vervolgens over een polyurethaanplug. De monsters worden in een laboratorium geanalyseerd met behulp van chromatografie of spectrofotometrie.(25)

8.4.6 Referentiewaarden: concentraties in woningen

Er zijn weinig onderzoeken verricht naar PAK's in het binnenmilieu. In woonschepen met een houtkachel als warmtebron is een onderzoek gedaan naar de gehalten PAK's in de binnen- en buitenlucht.(26). De resultaten zijn weergegeven in Tabel 8.14.

Tabel 8.14 24-uurs gemiddelde concentraties aan PAK's in de binnenlucht van 4 woonschepen.(26)

Stof	Binnenlucht		Buitenlucht (ng/m ³)
	gemiddelde (ng/m ³)	bereik (ng/m ³)	
BaP	4,8	0,9 - 13,2	1,2
Pyreen	4,2	<0,9 - 13,7	1,2
Totaal PAK's (EPA)	6,3	<27 - 124	36

NB: De opstelruimten van de houtkachels in de woonschepen waren relatief klein.

Het RIVM bepaalde in 32 Amsterdamse woningen het benzo(a)pyreengehalte. De helft van deze woningen lag aan een straat met veel verkeer. De andere helft van de woningen lag aan een rustige straat. Tijdens de metingen werd er niet gerookt in de woningen. De resultaten worden weergegeven in Tabel 8.15.

Tabel 8.15 24-uursgemiddelde benzo(a)pyreenconcentraties (ng/m³) in de woonkamer en buitenlucht van 32 Amsterdamse woningen, gelegen aan een straat met veel of weinig verkeer.(27)

Stof	Locatie	Veel verkeer			Weinig verkeer		
		gemiddelde	min	max	gemiddelde	min	max
BaP	binnen	0,47	0,15	1,12	0,20	0,02	0,52
BaP	buiten	0,80	0,25	2,31	0,35	0,12	0,84

NB: In de woningen werd niet gerookt.

8.4.7 Effecten op de gezondheid

Opname en metabolisme

PAK's-verbindingen worden in het lichaam gemetaboliseerd tot een grote verscheidenheid aan verbindingen. Sommige van deze verbindingen zijn zeer reactief en hoogst waarschijnlijk verantwoordelijk voor de carcinogene werking van PAK's. De werking is afhankelijk van het soort PAK, hoe de PAK's in het lichaam gemetaboliseerd worden en de genetische factoren van de persoon. PAK's worden over het algemeen goed opgenomen via het maagdarmkanaal.

Bij inhalatie van gasvormige PAK's (laagmoleculair) wordt een deel van de PAK's al in de neus en keelholte gemetaboliseerd, en/of snel uit de luchtwegen geklaard naar het maagdarmkanaal. Voor een deel worden ze opgenomen in de longcirculatie. Slechts een klein deel zal worden vastgehouden en gemetaboliseerd in de longen.

Aan deeltjes gebonden PAK's (hoogmoleculair) zullen langer in de longen blijven dan gasvormige PAK's. Kleine deeltjes dringen diep door in de longen en worden vrij lang vast gehouden. Grotere deeltjes komen in de hogere luchtwegen terecht, waar ze vrij snel worden geklaard naar het maagdarmkanaal. Door de binding aan aerosolen zal na klaring ook de opname in het maagdarmkanaal van deze PAK's gering zijn.

Een aanzienlijk deel van het geinhaleerde PAK's wordt dus gemetaboliseerd voordat het de bloedbaan bereikt. Hierdoor is de opname van ongemetaboliseerde PAK's in de perifere weefsels na inhalatie aanzienlijk lager dan na orale opname. Op grond hiervan wordt na inhalatie in veel mindere

mate een systemische werking verwacht dan na orale opname. De opname van PAK's uit de lucht via de huid is vermoedelijk erg laag.(25)

Effecten

PAK's staan voornamelijk in de belangstelling vanwege de carcinogene en mutagene eigenschappen van een aantal componenten van deze groep stoffen. Over de niet-carcinogene effecten van PAK's bestaat weinig informatie. Uit studies met proefdieren blijkt dat PAK's mogelijk negatieve effecten hebben op het immuunsysteem, de genen, het voortplantingsstelsel en wellicht op de ontwikkeling van aderverkalking.(11). Het zwaartepunt van de gezondheidseffecten ligt echter bij carcinogene eigenschappen van sommige PAK's. Acute blootstelling aan zeer hoge concentraties naftaleen (een niet-carcinogene pak) kan bij mensen leiden tot systemische effecten. Acute hemolytische anemie is hiervan de belangrijkste. Dit geldt zowel voor orale als in mindere mate ook dermale en inhalatoire blootstelling.

Gegevens over de carcinogeniteit van PAK's voor mensen zijn vrijwel alleen beschikbaar voor mengsels van PAK's en niet voor de individuele PAK's. Voor de individuele PAK's zijn de gegevens over de carcinogeniteit alleen afkomstig van proefdieronderzoek. Voor vrijwel alle PAK's kunnen dus alleen kwalitatieve uitspraken gedaan worden over de carcinogeniteit. Alleen over benzo(a)pyreen bestaat meer informatie. Onderzoeken tonen aan dat er een positieve associatie is met blootstelling aan PAK's in de lucht en het ontstaan van longkanker. Vaak betreft het onderzoeken in werksituaties waarbij de concentraties benzo(a)pyreen ordegrroottes hoger zijn dan gemeten in de binnenlucht van woningen in Nederland. Over de mogelijke effecten van blootstelling aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen in concentraties gewoonlijk gemeten in de binnenlucht in Nederland zijn – voor zover bekend – geen onderzoeksresultaten beschikbaar.

Op grond van de beschikbare gegevens kan een risico-evaluatie voor de blootstelling aan PAK's slechts met grote onzekerheid worden uitgevoerd. Door het RIVM wordt benzo(a)pyreen als gidsstof voor PAK's gebruikt, omdat benzo(a)pyreen als sterkst carcinogeen wordt beschouwd. Het RIVM berekende dat bij chronische blootstelling in de lucht aan gemiddelde benzo(a)pyreenc concentraties van 0,01 ng/m³ er een risico is van één extra geval van kanker onder één miljoen levenslang blootgestelde personen. Voor andere PAK's werd, voor zover mogelijk, de relatieve carcinogene potentie ten opzichte van benzo(a)pyreen gegeven. Dit gebeurde op grond van experimenteel afgeleide waarden of er werd een arbitrair gekozen waarde van 0,1 toegepast.(23)

De Gezondheidsraad stelt dat benzo(a)pyreen inderdaad de meest carcinogene verbinding is onder de groep homocyclische aromatische koolwaterstoffen. Zij geeft echter aan dat er aanwijzingen zijn dat de nitroderivaten (nitroarenen) van PAK's even sterk carcinogeen zijn. Het is dan ook niet zeker of benzo(a)pyreen inderdaad de meest geschikte gidsstof is. Wel onderschrijft zij de risicoschatting voor benzo(a)pyreen. De Gezondheidsraad onderschreef echter niet de door het RIVM voorgestelde afleiding van de relatieve carcinogene potentie van een aantal andere PAK's.(28)

8.4.8 Normen

Er zijn geen normen voor PAK's in de binnenlucht. De grenswaarde voor de buitenlucht is gelijk aan het MTR (risico van één extra geval van kanker onder 10.000 levenslang blootgestelde personen) van BaP, hetgeen 1 ng/m³ is. De advieswaarde van de WHO is 1,2 ng BaP/m³.(11)

8.4.9 Juridische aspecten

In 1996 werd het Besluit typekeuring houtkachels van kracht. De typekeuring heeft alleen betrekking op houtkachels (en dus niet op open haarden) die na de inwerkingtreding van de regeling werden geproduceerd of geïmporteerd. Iemand die last heeft van de rookgassen van burens kan de burgerlijke rechter inschakelen op basis van een onrechtmatige daad. Artikel 37, boek 5, van het Burgerlijk Wetboek is van toepassing betreffende het onrechtmatig hinder toebrengen aan burens

door onder meer stank, rook of gassen. Artikel 162, boek 6, Burgerlijk Wetboek is van toepassing indien buiten buurerven hinder wordt ondervonden.

Het Bouwbesluit 2003 bevat afdeling 3.14 voorschriften over de plaats van de uitmonding van het rookkanaal en de capaciteit van de afvoer van rook.

De Modelbouwverordening bevat in geval van rook en/of stankoverlast twee relevante artikelen, te weten artikel 6.2.1 (gebruikseisen voor bouwwerken) en artikel 7.3.2 (hinder). Als houtkachels overlast veroorzaken kan de gemeente verdere beperkende voorschriften opnemen in haar APV. Uit de jurisprudentie blijkt dat artikel 7.3.2 van toepassing is op houtkachels en open haarden.⁽²⁹⁾

In sommige gevallen kan een door de GGD afgegeven hinderverklaring een doorslaggevende rol spelen. Een model van een dergelijke hinderverklaring is opgenomen in Bijlage 8.1.

8.5 Fijn stof

De discussie rond de gezondheidseffecten van blootstelling aan fijn stof concentreert zich met name op de buitenlucht met als voornaamste bron het wegverkeer. Fijn stof komt bij elke verbranding vrij en dus zijn er binnenshuis ook bronnen van fijn stof. Met name de reeds genoemde houtkachels dragen bij aan de fijnstofproductie. De bijdrage van houtkachels en haarden aan de totale fijnstofemissie in Nederland wordt geschat op 11%.⁽³⁰⁾ Verder zijn het roken van tabakswaar en het branden van kaarsen en wierook bronnen die bijdragen aan het fijnstofgehalte in de woning. Fijn stof wordt uitgebreid behandeld in hoofdstuk 9 'Stof'.

8.6 Referenties

1. Nederlands Normalisatie Instituut. Toevoer van verbrandingslucht en afvoer van rook van verbrandingstoestellen in gebouwen – bepalingmethoden. NEN 2757. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2001.
2. Nederlands Normalisatie Instituut. Ventilatie van gebouwen – Bepalingmethoden voor bestaande gebouwen. NEN 8087. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2001.
3. Nederlands Normalisatie Instituut. Ventilatie van gebouwen – Bepalingmethoden voor nieuwbouw. NEN 1087. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2001.
4. Janssen NAH, Brunekreef B, Hoek, Keuken MP. Verkeersgerelateerde luchtverontreiniging en gezondheid. Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS) / TNO. Apeldoorn, 2002.
5. Noy D, Lebret E, Boleij J, Brunekreef B. Integrated NO₂ exposure estimates. Indoor Air. Proc. of the 3rd Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, vol. 4, 3742, Stockholm, 1984.
6. Boleij J, Brunekreef B, Lebret E, Noy D, Wiel H van der, Biersteker K. Luchtverontreiniging in woningen. Publicatiereeks Lucht 45. Ministerie van VROM. Leidschendam, 1985.
7. Lucht F van der, Meijer G, Duijm F, Broer J, Nijdam R. Binnenmilieu Luchtweg Onderzoek. GGD Groningen Stad en Ommelanden. Groningen, 1995.
8. Zee S van der. Persoonlijke mededeling. Landbouwuniversiteit Wageningen. Wageningen, 1996.
9. Gezondheidsraad. Nitrogen dioxide; Health-based recommended occupational exposure limit. Gezondheidsraad rapportnr. 2004/01OSH. Den Haag, 2004.
10. Chauhan AJ, Inskip HM, Linaker, CH, Smith S, Schreiber J, Johnston SL, Holgate ST. Personal exposure to nitrogen dioxide (NO₂) and the severity of virus-induced asthma in children. Lancet 2003; 361(9373): 1939-44.
11. World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe 2nd edition. Regional Office for Europe. Kopenhagen, 2000.
12. Adviesburo Nieman BV. Gezondheidskaart – Opnamemethodiek gezondheidskwaliteit voor gebouwde en nieuw te bouwen woningen. In opdracht van Ministerie van VROM. Zwolle, 2004.

13. Lebret E, Wiel E van der, Boleij JSM, Brunekreef B, Noy D, Oranje EJ, Biersteker K. Indoor air pollution in the Netherlands. In: Proc. of the 6th World congress on Air Quality, vol. 2, 271178, Parijs, 1983.
14. Chovin, P. (1974) Commentaar op artikel van H. Antweiler. In: Proceedings of the European Colloquium Carbon Monoxide Environmental Pollution and Public Health, Luxembourg, 17-19 December, 1973, Luxembourg, Commission of the European Communities Directorate General Scientific and Technical Information Management, 225-236.
15. World Health Organization. Environmental Health Criteria 13 Carbon monoxide. International Programme on Chemical Safety. Genève, 1979.
16. Website GGD Rotterdam-Rijnmond. Factsheet Koolmonoxide (Kolendamp). www.ggd.rotterdam.nl.
17. Meulenbelt J, Vries, de I, Joore JCA. Behandelingen van acute vergiftigingen – praktische richtlijnen. Houten, 1996. ISBN 90-313-2042-0.
18. Gezondheidsraad. Advies inzake koolmonoxide. Gezondheidsraad rapport. Den Haag, 1975.
19. Butter ME, Keij MA. Rapport 72: Rookoverlast houtkachels, haarden en vuurkorven: burenruzie of milieuprobleem? Klachten en wijze van afhandeling door gemeenten en GGD-en in Nederland, Wetenschapwinkel Biologie, Rijksuniversiteit Groningen. Groningen, 2006.
20. Website Ministerie van VROM. Dossier Kachels en Haarden. www.vrom.nl.
21. Brederode NE van. Het stoken van allesbranders en open haarden; milieu en gezondheidsaspecten. GGD Rivierenland. Tiel, 1994.
22. Liem AKD, Berg R van den, Bremmer HJ, Hesse JM, Slooff W (eds.). Basisdocument Dioxinen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 710401024. Bilthoven, 1993.
23. Slooff W, Janus JA, Mathijssen AJCM, Montizaan GK, Bos JPM. Basisdocument PAK. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 758474007. Bilthoven, 1989.
24. Hecht SS. Tobacco Smoke Carcinogens and Lung Cancer. Journal of the National Cancer Institute 1999; 91(14): 1194-1210.
25. Gezondheidsraad. BaP and PAH from coal-derived sources. Gezondheidsraad rapportnr. 2006/01OSH. Den Haag, 2006.
26. Duijm F, Meijer G, Derks A, Broer J. PAK's-blootstelling en belasting in en om woonschepen. GGD Groningen Stad en Ommelanden. Groningen, 1994.
27. Reeuwijk H van. Persoonlijke mededeling. Landbouwuniversiteit Wageningen. Wageningen, 1996.
28. Gezondheidsraad. Polycyclische aromatische koolwaterstoffen; toetsing van een basisdocument. Gezondheidsraad rapportnr. 1990/23. Den Haag, 1990.
29. Vereniging van Nederlandse Gemeenten. Brief aan de leden: overlast van houtkachels en open haarden. VNG. Den Haag, 1994.
30. Ministerie van VROM. Handboek Sfeerverwarming. Den Haag, 2000.

Bijlage 8.1 Model hinderverklaring GGD

(bron: GGD Groningen)

Naar aanleiding van een klacht van

[naam]

[adres]

[plaats]

is de situatie ter plekke onderzocht door ondergetekende als niet-belanghebbende en onpartijdige deskundige inzake relaties tussen milieu en gezondheid.

De aanwezige [bewoner en ...] vertelde(n) dat de stank op dat moment [extra sterk / zoals gewoonlijk / relatief zwak] was. Volgens hen was de bron [tijd] tevoren [sterker / zwakker] geworden door [...]. Volgens hen neemt de stank dan altijd [toe / af] .

De bewoner geeft aan dat [hij / zij en ...] last hebben van de stank gedurende [x] dagen per week. Ze hebben last doordat er [verontreiniging / schade optreedt [van wasgoed / tuinmeubilair / aan planten]. Ze houden [ramen / roosters / enzovoort] zoveel mogelijk gesloten om de stank enigszins buiten te houden. Ze hebben niettemin [soms / vaak] gezondheidsklachten tijdens of aansluitend op het inademen van de stank.

Van een [politieagent / BWT-inspecteur / milieu-inspecteur] [naam] van [het korps ... / de dienst ...] hoorde ik dat de situatie [.....] .

Van de huisarts hoorde ik dat de gezondheidstoestand van de bewoner [.....] . De huisarts gaf aan de gezondheidsproblemen [wel / mogelijk / niet] [kunnen samenhangen / verergeren] door de stank.

Tijdens mijn onderzoek nam ik zelf waar dat [binnen / buiten] een [sterke / matige / zwakke] geur hing, die klaarblijkelijk afkomstig van de [...] op [adres] . De geur was op dat moment naar mijn oordeel [niet] intensief genoeg om [psychische / lichamelijke] reacties te veroorzaken bij [gevoelige / normale] personen.

Bij de bewoners nam ik [geen] symptomen waar die leken samen te hangen met de geur [namelijk ...] .

Onder deskundigen wordt aangenomen dat onaangename geuren op tenminste vijf wijzen invloed kunnen hebben op het psychisch en lichamelijk functioneren en dus op de gezondheid.

1. Onbewuste effecten op het welzijn, zelfs van geurstoffen onder de waarnemingsdrempel.
2. Waarneming van als onaangenaam ervaren geur via de nervus olfactorius, hetgeen stress oproept door aangeboren of aangeleerde negatieve perceptie.
3. Prikkeling van het nociceptieve systeem van de nervus trigeminus dat aversiereacties oproept als waarschuwing tegen gevaar en dat gepaard gaat met stress.
4. Effecten van niet-ruikbare stoffen in het mengsel waarin ook geurstoffen zitten.
5. Een ongunstig binnenmilieu door het gesloten houden van ramen en roosters.

Conclusie

Het is [onwaarschijnlijk / denkbaar / aannemelijk / waarschijnlijk] dat de geur van [...] op [adres] een ongunstig effect heeft op de gezondheid van de bewoners van [adres] .

[Ondertekening: plaats/datum, naam, functie]

9 Stof

9.1 Inleiding

Stof, en dan met name fijn stof, is de laatste jaren sterk in de belangstelling gekomen. Normen voor de buitenlucht worden op sommige plekken overschreden en blootstelling aan fijn stof blijkt ook bij de huidige concentratieniveaus in de buitenlucht, effecten op de gezondheid tot gevolg te kunnen hebben. Bronnen in de buitenlucht kunnen bijdragen aan stofconcentraties in de binnenlucht. Daarnaast zijn er bronnen van stof binnenshuis.

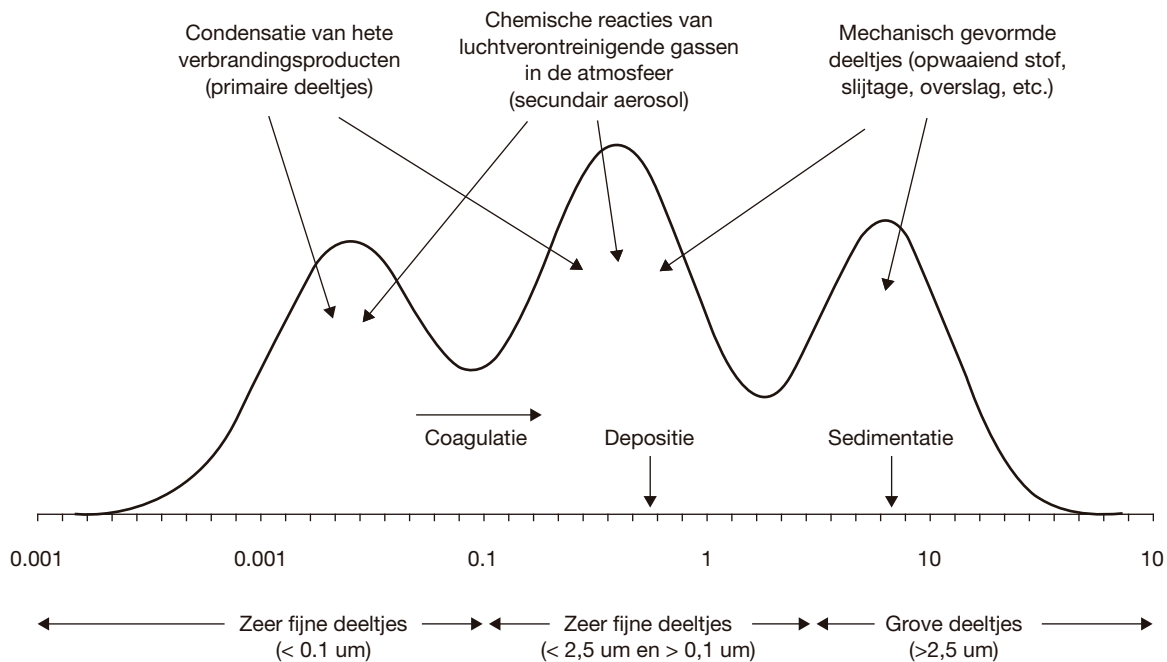
Stof is een verzamelnaam voor in de lucht zwevende vaste en/of vloeibare deeltjes. Het wordt ook wel 'aerosol' genoemd. De eigenschappen van deze deeltjes variëren sterk met de chemische samenstelling, morfologie (grootte/vorm), optische (kleur/zwarting) en elektrische parameters.

Wordt naar de grootte van de stofdeeltjes gekeken, dan kan stof in de lucht in fijne en grove deeltjes voorkomen. De fijnste deeltjes ontstaan in het algemeen als gevolg van menselijke activiteiten. Ze worden voornamelijk gevormd bij diverse verbrandingsprocessen, zoals die in het verkeer en in de industrie. De grovere deeltjes komen vooral vrij bij mechanische processen, zoals bijvoorbeeld slijtage van banden, wegdek en remsystemen, en door opwaaiend bodemmateriaal (zie ook Figuur 9.1).

Het RIVM onderscheidt grofweg drie groottefracties: 'ultrafijn' stof met een diameter kleiner dan 0,1 μm , 'fijn' stof met een diameter tussen 0,1 en 2,5 μm , en 'grof' stof met een diameter tussen 2,5 en 10 μm . PM_{10} is de verzamelnaam voor alle drie de fracties, $\text{PM}_{2,5}$ voor de eerste twee, waarbij PM staat voor 'Particulate Matter'.

Gezondheidskundig is vooral het deel van het stof dat ingeademd kan worden belangrijk: de inhaalbare fractie. De deeltjes met een diameter groter dan circa 10 μm worden in de neus- en mondholte afgevangen (zie ook Figuur 9.2). Deze fractie komt niet in de ademhalingswegen en wordt daarom de extra-thoracale fractie genoemd. Deeltjes met een diameter van 10 μm en kleiner kunnen tot in de longen doordringen. Hoe kleiner de diameter, hoe verder de deeltjes in het ademhalingsstelsel kunnen doordringen. Overigens kunnen deeltjes met een diameter van 0,2 tot 0,8 μm met de uitgeademde lucht ook weer de longen verlaten.(1)

Behalve onderscheid in deeltjesgrootte is ook het onderscheid in chemische samenstelling van belang. Van sommige bestanddelen van het Nederlandse fijn stof mengsel (bijvoorbeeld zeezout en sulfaat) die substantieel bijdragen aan het gewicht, zijn met toxicologisch en humaan-klinisch onderzoek bij de heersende concentraties geen gezondheidseffecten aangetoond. Dit betekent dat andere delen van het fijnstofmengsel waarschijnlijk toxisch potenter zijn. Denk hierbij bijvoorbeeld aan koolstofhoudende verbindingen. Maar ook andere aspecten kunnen van belang zijn, zoals lading en biogene werking (bijvoorbeeld pollen of giftige stoffen die door bacteriën worden afgescheiden) of mogelijk de grote aantallen ultrafijne deeltjes. Voor de deeltjes die een rol spelen in allerlei theorieën over de causale fracties in het fijnstofmengsel, zijn telkens weer andere combinaties van bronnen verantwoordelijk.(3)



Figuur 9.1 De massadeeltjesgrootteverdeling van deeltjes in de atmosfeer en van de belangrijkste processen van het ontstaan en verdwijnen van deeltjes.(2)

Verder wordt onderscheid gemaakt in secundair gevormd aerosol en primair geëmitteerd aerosol. Secundair aerosol bestaat uit deeltjes die ontstaan door chemische reacties in de atmosfeer.(2) Een andere maat voor deeltjesvormige luchtverontreiniging is zwarte rook. Dit is een koolstofhoudend aerosol met afmetingen kleiner dan circa 5 µm. Zwarte rook kan beschouwd worden als een indicator voor het roetachtige deel van het fijn stof.(1)

In het Handboek Buitenmilieu wordt het onderwerp 'fijn stof' eveneens besproken.

9.2 Bronnen van stof

Belangrijke bronnen van stof binnenshuis zijn roken, verbrandingsprocessen (onder andere bij verwarming van de woning, bijvoorbeeld middels open haarden, maar ook bij het branden van kaarsen), stoffering, kapotte filters van stofzuigers, wasdrogers, plantaardige sporen (zoals bijvoorbeeld stuifmeel en schimmel), dierlijke uitwerpselen, koken, bakken en braden. De sterkte van deze bronnen kan onder invloed van bewonersgedrag per woning sterk variëren. De belangrijkste bron binnenshuis is tabaksrook.

Ook bronnen in de buitenlucht, zoals industrie, bouwactiviteiten, verkeer en gevelreiniging (zie ook hoofdstuk 7 met betrekking tot gevelreiniging), kunnen bijdragen aan de stofconcentraties in de binnenlucht.

De kleine, fijne stofdeeltjes in de buitenlucht, die het diepst in de longen kunnen doordringen, penetreren vrijwel volledig van buiten naar binnen, zodat binnenshuis zijn weinig bescherming biedt.

Stofdeeltjes kunnen tevens drager zijn van andere stoffen, zoals bijvoorbeeld ftalaten en dioxinen. Ftalaten zijn semi-vluchtige stoffen die kunststof soepeler maken. Ze worden toegevoegd aan talloze kunststof bouwmaterialen, PVC-vloerbekleding, vinylbehang, katten en sommige verven. Hoge temperaturen bevorderen uitdamping van ftalaten. Een groot deel van de in de woning uit-

gedampte ftalaten slaat neer op oppervlakken zoals muren en ramen, en stofdeeltjes (zie ook hoofdstuk 6 'VOS').

Dioxinen zijn ongewenste bijproducten die kunnen ontstaan bij de verbranding van materialen die chloor bevatten. Ze kunnen op verschillende manieren in het binnenmilieu terechtkomen, bijvoorbeeld bij verwarming van de woning middels open haarden en houtkachels (zie ook hoofdstuk 8 'Verbrandingsproducten'). Ook in beton kan dioxine voorkomen, doordat chemisch afval van hoogovens en elektriciteitscentrales wordt toegevoegd aan cement en beton. Bij een verbouwing of bij bewerken van het beton, kunnen dioxinen in het boorstof worden aangetroffen.(4)

Technische oplossingen zoals filtersystemen kunnen helpen de binnenlucht te verbeteren, maar het is noodzakelijk te toetsen of de toepassing een blijvend positief effect heeft. Een vies filter kan juist een bron van vervuiling binnenshuis worden. Het is noodzakelijk om bij het gebruik van een filtersysteem het filter regelmatig schoon te maken, liefst voordat het zichtbaar verontreinigd is. Als men overigens in een woning naast een filtersysteem (bijvoorbeeld bij balansventilatie, zie ook hoofdstuk 2 'Ventilatie') bovendien de mogelijkheid heeft van natuurlijke ventilatie (middels te openen ramen en deuren), kan dit het effect van het filtersysteem verminderen.

9.3 Inspectie

Bij een eventuele inspectie kan gelet worden op specifieke bronnen, zoals slecht trekkende schoorstenen, gevelreiniging, de aanwezigheid van planten of dieren in of bij de woning en bewonersgedrag. Inspectie kan echter geen uitsluitsel geven over de hoogte van de stofconcentraties. Deze concentraties zijn onder andere afhankelijk van het bewonersgedrag, waaronder vooral het rookgedrag. Wanneer er veel gerookt wordt in de woning, zullen de stofconcentraties automatisch verhoogd zijn. In de binnenlucht van woningen aan drukke verkeerswegen komen eveneens verhoogde stofconcentraties voor.

Bij nieuwbouwwoningen die voorzien zijn van balansventilatie, kunnen de aanvoerbuizen en filters door vuil en fijn bouwstof ernstig vervuild raken. Met name in de beginperiode van bewoning kan dit stofoverlast in de woning geven. Het is verstandig om kort na oplevering van de woning de filters in de unit te vervangen.

Door middel van monsternamen kan de specifieke samenstelling van het stof worden achterhaald. Dit kan noodzakelijk zijn om de mogelijke bron van het stof te kunnen identificeren.

9.4 Meten van stof

Er wordt bij de bepaling van stof onderscheid gemaakt tussen een actieve en een passieve meetmethode. Bij de actieve methode wordt lucht over een filter gezogen. Vervolgens wordt het afgevangen stof gewogen en eventueel geanalyseerd. Al naar gelang de te bepalen deeltjesgrootte wordt gebruikgemaakt van bepaalde filters en voorafscheidingsmethoden.

Voor dit meetstelsel is dus een mechanisch pompsysteem nodig. Dit is niet het geval bij de passieve meetmethode. Daarbij wordt gebruikgemaakt van het natuurlijke diffusieproces, waarbij de te meten component neerslaat en zich hecht aan een reactieve stof.(5)

Er wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende stoffracties:

- Totaal stof, ook wel aangeduid met TSPM ('Total Suspended Particulate Matter'). Hiermee wordt het 'totaal' van alle stof per volume eenheid lucht aangeduid. Deeltjes met afmetingen tot mogelijk enkele honderden micrometers horen hierbij;
- TSP ('Total Suspended Matter') bevat stofdeeltjes met afmetingen van circa 0,01 tot 100 µm. TSP is te beschouwen als een goede maat voor TSPM;

- PM_{10} ;
- $PM_{2,5}$;
- PM_1 ;
- Zwarte rook. Zwarte rook is een goede indicator voor deeltjes die bij verbrandingsprocessen in de lucht worden uitgestoten. Deze deeltjes hebben echter een kleinere diameter en daardoor een veel lager gewicht. Hierdoor draagt zwarte rook nauwelijks bij aan de PM_{10} -concentratie (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) terwijl de aantallen deeltjes aanzienlijk kunnen zijn. Zwarte rook wordt daarom apart gemeten door de zwartingsgraad van het filter waarop het stof verzameld is.

Deze metingen kunnen onder andere door het RIVM worden uitgevoerd.

9.5 Referentiewaarden: Concentraties in woningen

Het gehalte aan stof in de binnenlucht wordt bepaald door de aanwezigheid van bronnen binnenshuis, het ventilatievoud, het bewonersgedrag en de concentratie in de buitenlucht.

De hoeveelheid luchtverontreiniging die van buiten naar binnen doordringt, is afhankelijk van de penetratie coëfficiënt, de mate van luchtverversing en de vervalsnelheid. In afwezigheid van bronnen in de binnenlucht, zal de concentratie fijn stof in de binnenlucht gemiddeld ongeveer 65% van de concentratie in de buitenlucht zijn. In een onderzoek naar verkeersgerelateerde luchtverontreiniging in de binnen- en buitenlucht van woningen in Amsterdam was de fijnstofconcentratie in de woonkamer ongeveer 70% van de concentratie op het balkon. Voor roet was dit percentage iets hoger (75%).(6) In schoon gebied kan de gemiddelde concentratie binnen hoger zijn dan buiten.

De hoeveelheid verkeersgerelateerde luchtverontreiniging die in de woning binnendringt, is hoger naarmate de woning beter is geventileerd. De mate van luchtverversing van een woning is afhankelijk van bouwkenmerken, weersomstandigheden en het (ventilatie-)gedrag van de bewoners. In zeer goed geïsoleerde, kierloze woningen is de luchtverversing laag en zal de hoeveelheid luchtverontreiniging van buiten daarmee ook lager zijn. De keerzijde van de medaille is echter dat in zeer goed geïsoleerde woningen meer ophoping van binnenshuis geproduceerde luchtverontreinigingen plaats heeft en dat er vochtproblemen kunnen optreden. De mate van luchtverversing zal hoger zijn als het buiten harder waait, bij een groter temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenlucht en als de ramen langer openstaan.(6)

Grotere deeltjes komen buitenshuis meer voor dan binnenshuis. Voor kleinere deeltjes echter is de verhouding binnenshuis/buitenshuis ongeveer gelijk aan één.(7) Wanneer er in huis wordt gerookt, zijn de stofconcentraties binnen veel hoger. Tijdelijke verhogingen van de verhouding binnenlucht/buitenlucht tot 4 à 5 zijn waargenomen tijdens bakken/braden en schoonmaakactiviteiten.(7)

In 1998/1999 zijn in het kader van een internationaal onderzoek binnen- en buitenluchtmetingen in Amsterdam uitgevoerd. Deze 24-uurs $PM_{2,5}$ -metingen vonden gedurende een halfjaar tweeweekelijks plaats.(8) De resultaten worden weergegeven in Tabel 9.1.

Het verschil tussen de stofconcentraties in kamers binnen één woning is doorgaans klein. De concentraties in de binnenlucht in verschillende woningen kunnen onderling echter zeer uiteenlopen.

Tabel 9.1 Verdeling van de $PM_{2,5}$ -concentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in binnen- en buitenlucht.(8)

Binnenlucht (n = 220, in 35 woningen)			Buitenlucht (n = 100)		
Mediaan	Min	Max	Mediaan	Min	Max
14,1	3,9	442,1	15,7	6,0	82,3

In Tabel 9.2 worden de resultaten gegeven van een door de Landbouwniversiteit Wageningen uitgevoerd onderzoek naar PM_{10} -gehalten in de binnen- en buitenlucht.(9) Het onderzoek vond plaats in de winter. Per woning werden 4 tot 6 metingen uitgevoerd. De meetperiode was 24 uur.

In de tabel wordt het gemiddelde van de gemiddelde waarde per woning gepresenteerd. Wanneer er niet gerookt werd, waren de PM_{10} -concentraties in de binnenlucht duidelijk lager dan die in de buitenlucht. Roken had een duidelijke invloed op de PM_{10} -gehalten.

Het RIVM bepaalde in 32 Amsterdamse woningen het PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -gehalte (zie Tabel 9.3). De helft van deze woningen lag aan een straat met veel verkeer. De andere helft van de woningen lag aan een rustige straat. Tijdens de metingen werd er niet gerookt in de woningen.(10)

Tabel 9.2 24-uursgemiddelde PM_{10} -concentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in de woonkamer en buitenlucht van 40 Amsterdamse woningen.(9)

		gemiddelde	minimum	maximum	aantal woningen
Nietrokers	binnen	34	19	61	35
	buiten	43	32	85	35
Rokend bezoek	binnen	64	39	132	5
Tijdens de meting	buiten	41	31	50	5

NB: De genoemde concentraties zijn de gemiddelde waarden van 4-6 metingen per woning.

Tabel 9.3 24-uursgemiddelde PM_{10} - en $PM_{2,5}$ -concentraties ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in en buiten van 32 Amsterdamse woningen, gelegen aan een straat met veel of weinig verkeer.(10)

Locatie	Component	Veel verkeer			Weinig verkeer		
		gemiddelde	min	max	gemiddelde	min	max
Woonkamer	PM_{10}	37	11	87	23	9	44
	$PM_{2,5}$	27	8	78	14	4	26
Buiten	PM_{10}	43	22	68	36	12	68
	$PM_{2,5}$	25	10	50	21	10	54

NB: In de woningen werd niet gerookt.

Wanneer er niet wordt gerookt, ligt de 24-uursgemiddelde PM_{10} -concentratie gemiddeld rond de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, met een bereik van circa 5 tot $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$.(10)

De concentratie PM_{10} binnenshuis in een stedelijke omgeving is, wanneer er niet wordt gerookt, circa 60-80% van die buitenshuis. Wanneer er wel wordt gerookt, is de concentratie minimaal enkele malen hoger dan buitenshuis.(11) Wanneer er binnen geen sterke bronnen zijn en op plaatsen waar de buitenlucht sterk verontreinigd is, kan filtering de concentratie stof in de binnenlucht aanzienlijk verminderen.

Bij het stoken van een allesbrander of open haard ontstaan vele stoffen, onder andere in de vorm van fijn stof met aangehechte PAK's. Zie ook hoofdstuk 8 'Verbrandingsproducten'.

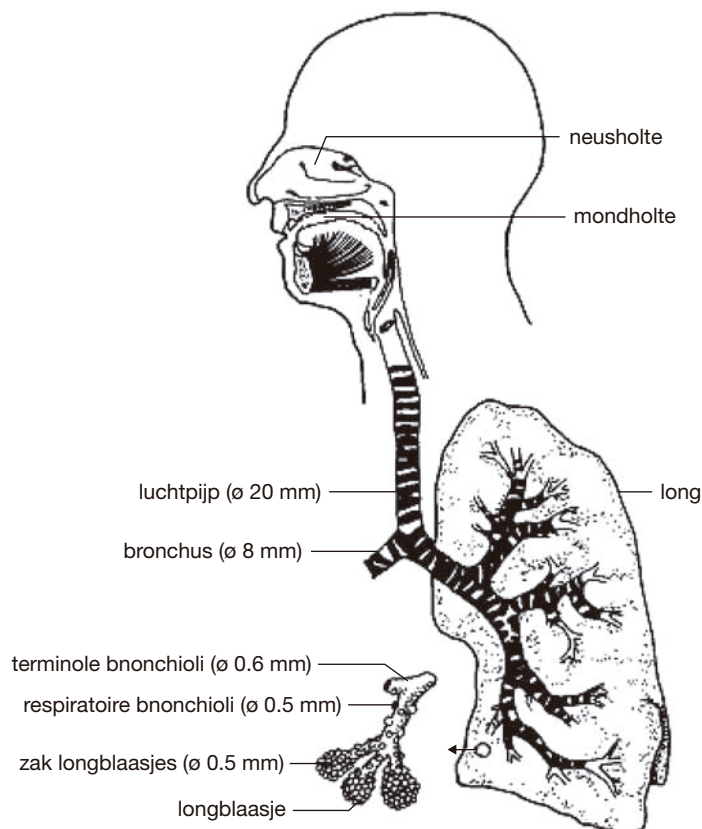
9.6 Effecten op de gezondheid

Er is nog niet precies bekend welke fractie of welke chemische component van fijn stof bepalend is voor de gezondheidseffecten, maar het wordt steeds duidelijker dat de rol van de fijne deeltjes groter is dan tot nu toe gedacht.(12) Wat vooral verontrustend is, is dat langdurige blootstelling aan lage concentraties fijn stof al een effect heeft op de gezondheid. Een grenswaarde waaronder geen effect zou optreden, is niet aan te geven.

De mate waarin stofdeeltjes kunnen doordringen in longen en luchtwegen is afhankelijk van de grootte van de deeltjes. Het grovere deel van het PM_{10} -stof (met een diameter tussen de

2,5 en 10 μm) bereikt het bovenste deel van de longen (zie figuur 9.2). De fijnere deeltjes dringen dieper in de longen door; de ultrafijne deeltjes kunnen tot in de bloedbaan doordringen en daar effecten uitoefenen op de bloedklontering.⁽⁵⁾ Daarom kan blootstelling aan fijn stof naast effecten op de luchtwegen, effecten op hart en bloedvaten veroorzaken.

Er bestaat een onderscheid tussen effecten die gerelateerd zijn aan kortdurend (enkele uren tot enkele dagen) verhoogde blootstelling aan fijn stof en effecten die gerelateerd zijn aan jarenlang verhoogde blootstelling. In het eerste geval spreken we van kortetermijneffecten, in het tweede van langetermijneffecten.



Figuur 9.2 Schematische weergave van de luchtwegen.

9.6.1 Kortetermijneffecten op de gezondheid

Diverse gezondheidsklachten kunnen optreden tijdens of kort nadat iemand is blootgesteld aan hoge concentraties fijn stof:

- vermindering van de longfunctie;
- toename van luchtwegklachten, zoals piepen, hoesten en kortademigheid;
- verergering astma (vooral bij kinderen);
- verergering klachten gerelateerd aan hart- en vaatziekten, zoals vaatvernauwing, verhoogde bloedstolling en verhoogde hartslag.⁽⁵⁾

Dergelijke gezondheidsklachten na kortdurende blootstelling aan fijn stof kunnen leiden tot een toename in medicijngebruik en zelfs tot ziekenhuisopnames van mensen met een hart- of longziekte. In Nederland wordt geschat dat door hoge blootstelling aan fijn stof, gemeten buiten de woning, jaarlijks ongeveer 3000 mensen worden opgenomen met klachten aan hart of bloedvaten en ongeveer 700 mensen met luchtwegklachten.⁽¹³⁾ Mogelijk is er ook een bijdrage aan wiegendood.⁽¹⁴⁾

Bij de meeste mensen verdwijnen de klachten zodra de luchtverontreiniging afneemt en keert de normale toestand terug. Dit is niet altijd het geval. De verergering van klachten kan ook zo ernstig zijn dat mensen overlijden. Voor dit effect wordt de term 'vervroegde sterfte' gebruikt, omdat het gaat om het eerder sterven dan het geval zou zijn wanneer er geen kortdurende hoge blootstelling was opgetreden. Vervroegde sterfte komt vrijwel niet voor bij gezonde mensen, maar meestal bij (oudere) mensen die al verzwakt zijn door een hart- of longziekte.⁽⁵⁾ Bij de eerste studieresultaten die een effect aantoonde tussen concentraties fijn stof en dagelijkse sterfte, dachten wetenschappers dat het slechts zou gaan om enkele dagen eerder sterven. Hiervoor wordt de term 'harvesting' gebruikt; het sterven van fragiele mensen die toch al op het punt stonden om te overlijden.⁽⁵⁾ Recente studies tonen echter aan dat vervroegde sterfte door kortdurende fijnstofblootstelling niet alleen het resultaat is van harvesting.⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ Een piekwaarde van fijn stof en sterfte wordt niet gecompenseerd door het erna volgende dal in sterftcijfers. Bovendien blijft de sterfte daarna gedurende enkelen maanden licht verhoogd.⁽¹⁴⁾ Er wordt geschat dat bij de huidige fijnstofconcentraties jaarlijks enkele duizenden mensen vroegtijdig overlijden als gevolg van kortdurende hoge blootstelling.⁽¹⁸⁾

9.6.2 Lange termijneffecten op de gezondheid

Langdurige blootstelling aan verhoogde concentraties fijn stof kan leiden tot een blijvende verlaging van de longfunctie en tot een toename van de prevalentie van chronische luchtwegklachten, met name bronchitis en hart- en vaatziekten, maar mogelijk ook geboortegewicht.⁽¹⁹⁾ Dergelijke chronische effecten kunnen worden gemeten wanneer een grote groep mensen voor een lange tijdsperiode gevolgd wordt in zogenaamde follow-up- of cohortstudies. Onderzoek hiernaar is gestart in de jaren zeventig. Daarom worden nu pas de eerste resultaten van deze studies bekend.

Er is steeds meer bewijs voor dat langdurige blootstelling aan luchtverontreiniging kan leiden tot vervroegde sterfte aan luchtwegziekten en aan hart- en vaatziekten. Net als bij acute sterfte gaat het om het eerder overlijden aan een bepaalde ziekte als gevolg van de blootstelling aan luchtverontreiniging. Dat zou voor Nederland betekenen dat jaarlijks ongeveer 18.000 mensen vroegtijdig overlijden als gevolg van langdurige blootstelling aan fijn stof.⁽¹³⁾ Volgens de laatste inzichten zou dit gemiddeld gaan om een gemiddelde periode van maar liefst tien jaar korter leven.⁽²⁰⁾ Dit is een vertaling van het onderzoeksresultaat dat er jaarlijks 180.000 levensjaren verloren gaan. Bovendien kan door langdurige blootstelling iedereen getroffen worden, niet alleen gevoelige groepen zoals ouderen of mensen met een hart- of longziekte.

Gevoelige groepen

Groepen die gevoelig zijn voor het optreden van gezondheidseffecten van luchtverontreiniging zijn:

- ouderen;
- patiënten met al bestaande luchtweg- of hartaandoeningen;
- kinderen, met name die met al bestaande luchtwegklachten.⁽⁵⁾

Bij mensen met astma en andere luchtwegaandoeningen blijft een hoger percentage van de fijnstofdeeltjes in de luchtwegen achter dan bij mensen met gezonde luchtwegen.

Ten opzichte van volwassenen zijn kinderen om een aantal redenen extra gevoelig voor blootstelling aan luchtverontreiniging, omdat kinderen:

- relatief veel lucht inademen (in verhouding tot hun lichaamsgewicht);
- kleinere longen en luchtwegen hebben;
- kwetsbare luchtwegen en longblaasjes hebben omdat ze nog in ontwikkeling zijn;
- meer tijd in de buitenlucht verblijven;
- meer bewegen in de buitenlucht door sport en spel;
- vaker astma hebben;
- vaker acute luchtweginfecties hebben.⁽²¹⁾

Erg jonge kinderen kunnen extra gevoelig zijn voor luchtverontreiniging. Een aantal buitenlandse studies toont aan dat blootstelling aan fijn stof kan leiden tot sterfte aan luchtweginfecties bij kinderen in het eerste levensjaar.(21)

Risico's langs snelwegen

Er is weinig onderzoek gedaan naar de gezondheidseffecten van fijn stof afkomstig van bronnen binnenshuis. Binnenshuis vindt vooral blootstelling aan fijn stof afkomstig van buiten plaats. Binnen zijn de concentraties weliswaar veelal wat lager, maar de verblijfsduur binnen is veel langer dan de verblijfsduur buiten. Daardoor weegt de blootstelling binnen aan fijn stof afkomstig van buiten zwaarder dan de blootstelling buitenshuis bij het bepalen van de cumulatieve blootstelling.(8)

Verminderde luchtkwaliteit komt vooral voor in steden: langs snelwegen (door en langs woonwijken) en binnenstedelijke wegen (zogenaamde 'street canyons'). In stedelijke omgeving is er vaak sprake van stagnerend verkeer op wegen met aan één of beide zijden bebouwing. Dit leidt tot respectievelijk een relatief hoge uitstoot van luchtverontreinigende stoffen en een beperkte atmosferische verdunning. De concentratie van luchtverontreinigende stoffen in steden is doorgaans hoger dan daarbuiten. De luchtkwaliteit in stedelijke omgeving is immers een som van de regionale achtergrondconcentraties (grotendeels bepaald door Nederlandse en buitenlandse bronnen), de stadsbijdrage (afkomstig van bronnen in de gehele stad) en de bijdrage van de verkeersemissies in een straat of langs een snelweg.(6)

In wetenschappelijke studies wordt niet altijd een verband gevonden tussen de blootstelling aan een bepaalde luchtverontreinigende component en een gezondheidseffect, maar blijkt er wel een verband te bestaan tussen het wonen langs drukke wegen en gezondheidseffecten.

In 2002 toonde een Nederlandse studie een verband aan tussen het overlijden als gevolg van een long- of hartziekte en het wonen dicht bij een drukke verkeersweg. Voor mensen die op minder dan 100 meter van de snelweg of minder dan 50 meter van een drukke stadsweg woonden, was het risico op sterfte door hart- en vaatziekten en longaandoeningen ongeveer twee keer zo hoog.(22)

Kinderen wonend in wijken dicht bij de snelweg hebben een lagere longfunctie (en meer chronische luchtwegklachten) naarmate er meer vrachtverkeer over de snelweg gaat.

Dit wijst erop dat blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtverontreiniging, met name de uitstoot van dieseldeeltjes, kan resulteren in een verminderde longfunctie bij kinderen die dicht bij drukke wegen wonen. Het verband tussen de intensiteit van het vrachtverkeer en de longfunctie is sterker voor kinderen die minder dan 300 meter van de snelweg wonen. Kinderen die minder dan 100 meter van de snelweg wonen, hebben meer chronische luchtwegklachten dan kinderen die verder van de snelweg wonen.(23-25)

Een andere studie toonde aan dat bij kinderen op scholen nabij snelwegen met veel vrachtverkeer vaker luchtwegklachten en allergie voorkomen dan bij kinderen op scholen verder (meer dan 400 meter) van de snelweg.(26)

Dioxinen

Via (huis)stof kan blootstelling aan dioxinen plaatsvinden (zie paragraaf 9.2). Dioxinen hebben de neiging tot stapeling in vetweefsel en hebben uiteenlopende toxische eigenschappen. Zo zijn verschillende van deze stoffen, in dierproeven, bij hoge doses kankerverwekkend gebleken en schadelijk voor de afweer en de voortplanting. Ook de blootstelling aan dioxinen van de foetus of zuigeling is reden tot zorg. De blootstelling van de foetus gaat via het bloed van de moeder, en van zuigelingen via moedermelk. Er zijn aanwijzingen voor mogelijke effecten van blootstelling op de cognitieve en psychomotorische ontwikkeling van kinderen. Zuigelingen krijgen met moedermelk relatief grote hoeveelheden binnen, omdat de moeder bij de productie van melk inteert op haar vetvoorraden waarin jarenlang de inname van dioxinen is opgeslagen.(27)

9.7 Richtlijn GGD

Het LCM heeft in 2005 de richtlijn Gezondheidsaspecten Besluit Luchtkwaliteit uitgebracht. Deze richtlijn biedt informatie en hulpmiddelen voor de GGD'en om op een efficiënte manier samen te werken met andere gemeentelijke diensten aan het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit.(5)

De rol van de GGD bij het verbeteren van de lokale luchtkwaliteit heeft vooral te maken met kennisoverdracht. Het gaat hierbij onder andere om het vertalen van wetenschappelijke kennis naar burgers. De GGD kan daarnaast gemeentelijke diensten op het gebied van milieu, ruimtelijke ordening en stedenbouw adviseren. Bijvoorbeeld bij het maken van de vertaalslag van resultaten uit epidemiologisch onderzoek naar lokale beleidsmaatregelen en naar adviezen bij de ruimtelijke inrichting langs drukke wegen.(5)

9.8 Normen

Voor fijn stof bestaat geen gezondheidkundige grenswaarde waaronder geen gezondheidsschade optreedt. Ook bij lage blootstelling kan dus gezondheidsschade ontstaan. De WHO heeft om deze reden geen advieswaarde voor fijn stof bepaald. Er zijn daarom ook geen specifieke advieswaarden voor de gehalten stof in de binnenlucht.

In het Besluit luchtkwaliteit is vastgelegd dat alle gemeenten en provincies knelpunten voor luchtkwaliteit moeten inventariseren. Als blijkt dat grenswaarden uit het Besluit zijn overschreden of naar verwachting zullen worden overschreden, moeten er maatregelen worden getroffen. Het betreft hier door het verkeer en de industrie veroorzaakte verontreiniging. In het Besluit luchtkwaliteit zijn normen voor fijn stof in de buitenlucht opgenomen. De grenswaarden voor zwarte rook zijn komen te vervallen maar worden hier voor de beeldvorming kort genoemd (zie Tabel 9.4 en 9.5).

Tabel 9.4 Luchtkwaliteitseisen voor stof in de buitenlucht.

Stof	Grenswaarde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Opmerkingen
PM ₁₀	50	24-uursgemiddelde, waarbij overschrijding is toegestaan mits het minder dan 35 dagen per jaar betreft
	40	Jaargemiddelde
PM _{2,5}	-	Onder andere met het oog op de gezondheidseffecten wordt in EU-kader gestudeerd op de mogelijkheid om een grenswaarde voor PM _{2,5} in te voeren. In de Verenigde Staten is een dergelijke norm al een aantal jaren van kracht

Tabel 9.5 Oude grenswaarden zwarte rook in de buitenlucht.

Stof	Grenswaarde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Opmerkingen
Zwarte rook	30	24-uursgemiddelde, waarbij overschrijding is toegestaan mits het minder dan 183 dagen per jaar betreft
	75	24-uursgemiddelde, waarbij overschrijding is toegestaan mits het minder dan 18 dagen per jaar betreft
	90	24-uursgemiddelde, waarbij overschrijding is toegestaan mits het minder dan 7 dagen per jaar betreft

Het RIVM geeft in haar rapport over gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu geen advieswaarde voor (fijn) stof.(11)

De MAC-waarde voor totaal stof bedraagt 10 mg/m³. Voor respirabel stof bedraagt de MAC-waarde 5 mg/m³.

9.9 Juridische aspecten

Voor juridische mogelijkheden met betrekking tot allesbranders, open haarden en dergelijke wordt verwezen naar hoofdstuk 8 'Verbrandingsproducten'. Verder wordt verwezen naar het Besluit luchtkwaliteit (zie ook paragraaf 9.8).

9.10 Referenties

1. Kruize H, Freijer JI, Franssen EAM, Fischer PH, Lebret E, Bloemen HJTh. Verdeling van de blootstelling aan fijn stof in de Nederlandse bevolking. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 263610005/2000. Bilthoven, 2000.
2. Bloemen HJTh, Bree L van, Buringh E, Fischer PH, Loos S de, Marra M, Rombout PJA. Fijn stof in Nederland – een tussenbalans. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 650010006/1998. Bilthoven, 1998.
3. Fast T, Bruggen M van. Beoordelingskader Gezondheid en Milieu: GSM-basisstations, legionella, radon, fijn stof en geluid door wegverkeer. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609031001/2004. Bilthoven, 2004.
4. Dusseldorp A, Bruggen M van. Nieuwsbrief Steunpunt Medische Milieukunde, mei 2004. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Bilthoven, 2004.
5. Walda I. Richtlijn Gezondheidsaspecten Besluit Luchtkwaliteit. Landelijk Centrum Medische Milieukunde/GGD Nederland. Utrecht, 2005.
6. Janssen N, Brunekreef B, Hoek G, et al. Verkeersgerelateerde luchtverontreiniging en gezondheid. Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS). Utrecht, 2002.
7. Annema JA, Booij H, Hesse JM, Meulen A van der, Slooff W (eds), Fischer PH, Hollander AEM de, Noordijk H, Velze K van. Basisdocument fijn stof. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 710401029. Bilthoven, 1994.
8. Janssen N, Lanki T, Hoek G, Vallius M, Hartog JJ de, Grieken R van, Pekkanen J, Brunekreef B. Associations between ambient, personal, and indoor exposure to fine particulate matter constituents in Dutch and Finnish panels of cardiovascular patients. *Occup Environ Med* 2005; 62: 868-77.
9. Janssen N. Persoonlijke mededeling. Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS). Utrecht, 1996.
10. Reeuwijk H van. Persoonlijke mededeling. Landbouwniversiteit Wageningen. Wageningen, 1996.
11. Dusseldorp A, Bruggen M van, Douwes J, Janssen PJCM, Kelfkens G. Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609021029/2004, Bilthoven, 2004.
12. Pope CA, Burnett RT, Thun MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002; 287(9): 1132-41.
13. Knol AB, Staatsen BAM. Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands, 1980-2020. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 500029001/2005, Bilthoven, 2005.
14. Duijm F. *Persoonlijke mededeling*. GGD Groningen, Kenniscentrum Milieu en Gezondheid. Groningen, 2006.

15. Schwarz J. Is there harvesting in the association of airborne particles with daily deaths and hospital admissions? *Epidemiology* 2001; 12(1): 55-61.
16. Zanobetti A, et al. The temporal pattern of respiratory and heart disease mortality in response to air pollution. *Environ Health Perspect* 2003; 111(9): 1188-93.
17. Zeger SL, Dominici F, Samet J. Harvesting-resistant estimates of air pollution on mortality. *Epidemiology* 1999; 10(2): 171-5.
18. Buijsman E, Beck JP, Bree L van, Cassee FR, Koelemeijer RBA, Matthijsen J, Thomas R, Wieringa K. Fijn stof nader bekeken – de stand van zaken in het dossier fijn stof. Milieu en Natuur Planbureau. MNP-rapportnr. 500037008/2005. Bilthoven, 2005.
19. Dockery DW et al. Health effects of acid aerosols on North-American children: respiratory symptoms. *Environ Health Perspect* 1996; 104: 500-5.
20. World Health Organization. Particulate matter air pollution: how it harms health. Factsheet EURO/04/05. Berlijn, Kopenhagen en Rome, 2005.
21. World Health Organization. Health aspects of air pollution. Results from the WHO project “Systematic review of health aspects of air pollution in Europe”. Kopenhagen, 2004.
22. Hoek G, Brunekreef B, Goldbohm S, et al. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands; a cohort study. *The Lancet* 2002; 360: 1203-9.
23. Vliet P van, Knape M, Hartog J de, et al. Motor vehicle and chronic respiratory symptoms in children living near freeways. *Environ Res* 1997; 74: 122-32.
24. Brunekreef B, Janssen N, Hartog J de, et al. Air pollution from truck traffic and lung function in children living near motorways. *Epidemiology Resources Inc.* 1997; 8(3): 298-303.
25. Hartog J de, Vliet P van, Brunekreef B, Knape M, et al. Samenhang tussen luchtverontreiniging door verkeer, vermindering van longfunctie en luchtwegsymptomen bij kinderen. *Nederlands Tijdschrift Geneeskunde* 1997; 141: 1814-18.
26. Janssen N, Brunekreef B, Vliet P van, et al. The relationship between heavy traffic and allergic sensitization, bronchial hyperresponsiveness and respiratory symptoms in children. *Env. Health Perspectives* 2003; 111: 1512-18.
27. Website Nationaal Kompas Volksgezondheid. <http://www.rivm.nl/vtv/root/o6.html>



10

Asbest en minerale kunstvezels

10.1 Inleiding

De belangrijkste minerale vezels zijn asbest en minerale kunstvezels, de zogenoemde 'Man Made Mineral Fibers (MMMMF)'. Deze vezels zijn veelvuldig toegepast, voornamelijk in de bouw, vanwege diverse nuttige eigenschappen. De vezels kunnen echter negatieve effecten op de gezondheid veroorzaken. Gebruik van asbest is om deze reden inmiddels volledig verboden. In dit hoofdstuk worden asbest en MMMF achtereenvolgens besproken.

10.2 Asbest

Asbest is met name na de Tweede Wereldoorlog veel gebruikt in de bouw en in allerlei artikelen zoals strijkijzers, kachels en vloerbedekking. Op het eerste gezicht leek het gebruik van asbest zonder risico's voor de gezondheid en goedkoop. Er ontstond echter veel onrust toen werknemers die veel met asbest hadden gewerkt, overleden aan kanker. Pas eind jaren tachtig werd erkend dat asbest ook in veel woningen en gebouwen voorkomt en mogelijk risico's voor de gezondheid kan veroorzaken. De beroepsmatige toepassing en verkoop van alle soorten asbest is sinds 1 juli 1993 bijna volledig verboden, maar op allerlei locaties en in allerlei toepassingen is nog veel asbest aanwezig.

10.2.1 Wat is asbest?

Asbest is een verzamelnaam voor een aantal in de natuur voorkomende mineralen. Deze zijn opgebouwd uit fijne vezels. Asbestvezels kunnen allerlei afmetingen hebben. Asbestvezels die relevant zijn voor de gezondheid hebben een lengte die groter is dan 5 micrometer en de verhouding lengte/diameter ongeveer 3 staat tot 1 is. De vezels zijn alleen in de lengterichting splijtbaar en worden daardoor steeds dunner. Asbest kenmerkt zich door een zeer grote trekvastheid, slijtvastheid en stijfheid. Het is bovendien goed bestand tegen zuren, logen en hoge temperaturen. Door deze nuttige eigenschappen is asbest op grote schaal toegepast. De meest toegepaste soorten asbest zijn chrysotiel (wit asbest), amosiet (bruin asbest) en crocidoliet (blauw asbest). Van deze drie is chrysotiel veruit het meest gebruikt. Daarnaast zijn er nog drie vormen: amthofylliet, actinoliet en tremoliet. Chrysotiel valt onder de zogenoemde serpentijn groep (spiraalvormige vezels), de andere vormen vallen onder de amfibool groep (rechte vezels). Een overzicht van de verschillende asbestsoorten wordt gegeven in Tabel 10.1.

Tabel 10.1 Overzicht soorten asbest

Asbestsoort	Synoniem	Vezelgroep
Chrysotiel	wit asbest	serpentijnen
Amosiet	bruin asbest	amfibolen
Crocidoliet	blauw asbest	amfibolen
Amthofylliet	geel asbest	amfibolen
Actinoliet	groen asbest	amfibolen
Tremoliet	grijs asbest	amfibolen

Asbestbevattende artikelen kunnen gekarakteriseerd worden aan de hand van de mate van gebondenheid van de asbestvezel. Hiervoor worden de termen hechtgebonden en niet-hechtgebonden of losgebonden gebruikt. Hechtgebonden asbest betekent dat de asbestvezels goed in het materiaal vastzitten. Onder normale omstandigheden, dus als het materiaal niet wordt bewerkt, en als het materiaal in een goede staat verkeert, komen de vezels niet vrij. Niet-hechtgebonden of losgebonden asbest betekent dat de asbestvezels wel gemakkelijk uit het materiaal kunnen vrijkomen.

10.2.2 Bronnen van asbest

Tot 1993 is asbest toegepast in een groot aantal materialen die zijn gebruikt in onder meer gebouwen, vloerbedekking, plantenbakken, dakbedekking en voertuigen. In woningen en andere gebouwen is asbest vaak in de vorm van asbesthoudend cement toegepast. Asbestcementplaten bevinden zich het meest in gevels, het dakbeschot, in en rondom schoorstenen, in of bij de cv-installatie, op galerijen van flats en als golfplaat op schuren en garages. Niet hechtgebonden brandwerend board is regelmatig toegepast als brandwerend materiaal in met name garages en rondom cv-ketels. Asbest in gespoten vorm (spuitasbest) is zeer losgebonden asbesthoudend materiaal dat tot 1978 werd toegepast als isolatiemateriaal en als brandwerende laag op staalconstructies, meestal in grote gebouwen. Ook in sommige soorten vinylzeil (verkocht tot en met 1983) en in een bepaald type harde vinyltegels (verkocht tot en met 1985) komt asbest voor. Vanwege de goede hittebestendigheid kan asbest ook voorkomen in oude huishoudelijke apparaten die warmte uitstralen of aan warmte worden blootgesteld, zoals gaskachels, straalkachels, cv-ketels, boilers, haardrogers, strijkijzers en warmhoudplaatjes. Meestal kan alleen een materiaalanalyse uitsluitsel geven of een materiaal of product asbest bevat. In Tabel 10.2 wordt een overzicht gegeven van de meest toegepaste asbesthoudende producten in en rondom de woning. In de tabel zijn tevens gegevens opgenomen over de mate waarin het materiaal is toegepast, het uiterlijk en het soort asbest.

10.2.3 Inspectie

De effecten van blootstelling aan asbest zijn niet direct merkbaar. Daarom zal asbest in het binnenmilieu niet vaak als oorzaak van een gezondheidsklacht aangewezen worden. De aanleiding tot het houden van een asbestinspectie is dan ook meestal een vermoeden dat er asbest in de woning aanwezig is. Dit kan leiden tot ongerustheid bij de bewoners. Een inspectie van een woning dient in zo'n geval om te weten te komen of er asbest in de woning aanwezig is en of er asbestvezels vrij kunnen komen. De volgende twee stappen worden tijdens deze inspectie doorlopen:

1. Is er asbesthoudend materiaal aanwezig?
2. Kan er blootstelling plaatsvinden?

Is er asbesthoudend materiaal aanwezig?

Asbest kan in zeer veel verschillende materialen in een woning voorkomen. Het gebruik van asbest is echter in de jaren tachtig en negentig steeds meer door wetgeving aan banden gelegd (zie paragraaf 10.2.9). Zo kan op grond van de ouderdom van de materialen in sommige gevallen een uitspraak gedaan worden over de mogelijke aanwezigheid van asbest. Sinds juli 1993 is het gebruik van asbest op enkele uitzonderingen na (bijvoorbeeld remvoeringen in auto's) verboden. Al in 1977 werd de toepassing van crocidoliet (blauw asbest) verboden. Het gebruik van spuitasbest, een losse (niet-hechtgebonden) vorm van asbest waar gemakkelijk vezels uit vrijkomen, werd in 1978 verboden. Vinylzeil gekocht na 1983 bevat geen asbest meer. Voor die tijd is asbesthoudend zeil veel gebruikt in keukens en op trappen. De toplaag is van PVC en in de onderlaag zit asbest. De viltachtige onderlaag lijkt op karton en is lichtgrijs tot lichtbeige, soms lichtgroen. Tot omstreeks 1985 waren met asbest verstevigde vinylvloertegels te koop. Meestal zijn deze kunststof tegels al tijdens de bouw gelegd. Vinylvloertegels zijn veel toegepast in vochtige ruimten, zoals toiletten en keukens. Vinylvloertegels zijn hard en een beetje glanzend, vaak met een wit-'gevlamde' decoratie. Ze zijn met zwarte kit op de vloer aangebracht. Daarnaast is er ook nog een zeer beperkt aantal soorten tapijttegels waarin zich asbest kan bevinden. Asbest zit niet in de volgende soorten vloer-

bedekking: ondertapijt van vilt; breekbaar, dun zeil met een doffe, zwarte of wijnrode onderkant; stijve, zeilachtige vloerbedekkingen met een harde, ruwe onderzijde met daarin een grofmazig juteweefsel (zoals linoleum), buigzaam zeil met een dikke, bruine, harige onderzijde en soepel zeil met een onderkant van kunststof (plastic) of foam (schuim).

Men kan ook bij de fabrikant/leverancier na vragen of er asbest in het verdachte materiaal verwerkt is.

Sinds een aantal jaren zijn er asbestvrije cementplaten op de markt. De in Nederland gefabriceerde asbestvrije cementplaten zijn te herkennen aan de opdruk 'NT' op de plaat. Platen waar 'AT' op staat, bevatten asbest.

Alleen in een laboratorium kan met 100% zekerheid worden vastgesteld of een product asbest bevat. Vroeger kon men bij de Keuringsdienst van Waren gratis een monster van verdacht materiaal laten analyseren. Deze dienst is hiermee gestopt. Een lijst van laboratoria die bevoegd zijn om asbestanalyses uit te voeren is aan te vragen bij de Raad voor Accreditatie (www.rva.nl). Een deskundig asbestinventarisatiebedrijf kan eveneens nagaan of in een woning asbest aanwezig is. Aan deze opties zijn wel kosten verbonden.(1,2)

Tabel 10.2 Overzicht van de meest toegepaste asbesthoudende producten in en rondom woningen.(1)

Product	Waar aan te treffen	Mate waarin het is toegepast	Uiterlijk	Asbestsoort
Hechtgebonden¹				
Asbestcement, vlakke plaat	gevels, dakbeschot, rondom schoorstenen	vaak	grijze plaat van 3 tot 8 mm dik, vaak 'wafelstructuur' aan één kant	chrysotiel, soms crocidoliet
Asbestcement, vlakke gevelplaat met coating	decoratieve buitengevels, galerij, borstwering	vrij algemeen in flats	als vlakke plaat, aan één kant gekleurd geëmailleerd of gespoten coating	chrysotiel
Asbestcement, schoorsteen of luchtkanaal	bij kachel of C.V.-installatie, ventilatiekanalen	vaak	rond of vierkant kanaal, verder als vlakke plaat	chrysotiel
Asbestcement, bloembak	zowel buiten als binnen, balkons	vaak	in diverse vormen, verder als vlakke plaat, meestal dunner dan betonnen bak	chrysotiel/crocidoliet
Asbestcement, golfplaat	daken van schuren en garages	vaak	als golfplaat, in diverse diktes	chrysotiel, soms crocidoliet
Asbestcement, afschermplaatje	regenpijpen	vaak	als half open afvoerkanal	chrysotiel
Asbestcement met cellulosevezels (asbestboard)	alleen geschikt voor binnen-toepassingen, aftimmeringen, inpandige kasten	soms	geelbruine, dunne plaat, lijkt op hardboard	chrysotiel, soms spoor crocidoliet
Asbestcement dakleien	imitatieleien	in Nederland weinig toegepast	vlakke plaatjes, aan één zijde gecoat	chrysotiel
Asbestcement, standleidingen	afvoer toilet	vaak	als luchtkanaal, maar dikker	chrysotiel
Asbestcement, imitatiemarmer	vensterbanken en schoorsteenmantels	soms	als marmer, in breuk- of zaagvlakken zijn dunne witte vezels zichtbaar	chrysotiel

Product	Waar aan te treffen	Mate waarin het is toegepast	Uiterlijk	Asbestsoort
Harde asbesthoudende vinyltegels	toiletten keukens	soms meestal bij de bouw gelegd	harde tegel met meestal een wit gevamd motief	chrysotiel
Niet-hechtgebonden				
Afdichtkoord	afdichting schoorstenen, kachelruitjes en -deurtjes, in cv-ketels, gashaarden en allesbranders	regelmatig	wit tot vuilgrijs pluizig koord	chrysotiel
Asbesthoudend stucwerk	op (vochtige) muren en plafonds	nauwelijks	vezelige korrelstructuur	amosiet, crocidoliet of chrysotiel
Brandwerend board	onder C.V-ketels, wanden C.V.-kast, stoppenkast, plafonds, trapbeschot	regelmatig, vooral in flats en grotere complexen	lichtbruin tot geel, zachtboardachtig	amosiet
Asbestkarton	bekleding zoldering	weinig	lichtgrijs, kartonachtig	chrysotiel
'Asbestplaatje'	vlamverdelers	wordt soms nog in keukens aangetroffen	grijs, kartonachtig in metalen frame	chrysotiel
'Wonderplug'	doe-het-zelf-materiaal	soms	mengsel van losse asbestvezels en gips	chrysotiel
Hittebestendige elektrische isolatie	strijkijzers of broodroosters	soms	grijs, kartonachtig	chrysotiel
Vinylzeil met asbesthoudende onderlaag	keukens, trappen enzovoort, geproduceerd tot 1980, verkocht tot 1983	zeer vaak	zeer divers, alleen te herkennen door analyse onderlaag	chrysotiel

¹ De aanduiding 'hechtgebonden' geldt voor het nieuwe product. Door slijtage kan de hechtgebondenheid van deze producten in de loop der tijd afnemen.

Kan er blootstelling plaatsvinden?

Of het verstandig is om asbesthoudend materiaal te verwijderen hangt sterk af van de specifieke situatie. Bij de beslissing hierover is de belangrijkste overweging of de aanwezigheid van het asbest risico's voor de gezondheid veroorzaakt. Men moet dus beoordelen of er blootstelling aan de asbestvezels kan plaatsvinden. Of er vezels vrij kunnen komen hangt af van de mate van hechtgebondenheid, de afscherming en de staat van onderhoud. De plaats en de wijze van toepassing bepalen of mensen bij de vezels in de buurt kunnen komen.

Bij producten waarin de asbestvezels in hechtgebonden vorm aanwezig zijn en die zich nog in goede staat bevinden, komen geen asbestvezels vrij. Deze hoeven dus niet verwijderd te worden. Het verwijderen brengt dan vaak meer risico's met zich mee dan het materiaal te laten zitten. Men mag het materiaal dan niet bewerken. In de praktijk wordt visueel bepaald of het materiaal snel verpulvert en dus al dan niet hechtgebonden is. Een indicatie voor de hechtgebondenheid van plaatmateriaal wordt verkregen door een nagel in het plaatmateriaal te duwen. Bij harde, hechtgebonden platen is dit niet mogelijk. Is er sprake van duidelijke verwerking, slijtage of beschadiging, dan zijn maatregelen wenselijk. Deze maatregelen bestaan uit het verwijderen of afschermen van het asbest.

Ook de plaats en de toepassing van het asbest zijn van belang. Bij asbestbevattende (niet-hechtgebonden) vinylvloerbedekking is het asbest bijvoorbeeld aan de onderzijde toegepast. De asbestvezels kunnen dus niet in de lucht vrijkomen. Wanneer de vloerbedekking echter is versleten, dan kunnen asbestvezels via scheuren, naden en gaten in de lucht opwarrelen. In deze situaties is het aan te raden de vloerbedekking te verwijderen.

10.2.4 Meten van asbest

De risicobeoordeling van asbestvezels in de lucht wordt idealiter uitgevoerd volgens NEN 2991.(3) Eerst wordt nagegaan of concentratiemetingen in de lucht nodig zijn. Alleen als er aanwijzingen zijn dat er concentraties kunnen zijn die de streefwaarde overschrijden en als visuele inspectie onvoldoende uitsluitsel geeft hierover, is meten zinvol. Asbestvezels in de lucht worden bemonsterd door met pompjes lucht over een filter heen te zuigen, gedurende minimaal zes uur (een vereenvoudigde meting waarbij korter wordt gemeten kan vaak afdoende zijn om aan te tonen of er een risicovolle situatie bestaat). Vervolgens wordt het aantal vezels geteld met behulp van een microscoop. De meest betrouwbare analysemethode is elektronenmicroscopie (EM). Een luchtmeting kost circa X 500 en de EM-analyse kost vervolgens circa X 175 per filter. De lichtmicroscopische (LM) meetmethode is goedkoper. De kosten bedragen ongeveer X 25 voor een meting inclusief analyse. Met deze microscoop kan echter geen onderscheid gemaakt worden tussen asbestvezels en andere vezels, zoals textielvezels en tussen verschillende soorten asbestvezels. Bovendien is deze methode ongeschikt voor het meten van lage concentraties, zoals die normaal voorkomen in de binnenlucht. De detectiegrens van deze methode is circa 10.000 vezels/m³.(4) De meetresultaten van beide methoden hangen sterk af van de meetomstandigheden zoals de hoeveelheid activiteit in de ruimte en de plaats van de monstername.(5) In de GGD-richtlijn 'Asbest in woningen' staat meer informatie over het meten van asbest.(6)

Eventueel kunnen metingen van asbest in huisstof worden verricht. Asbest kan in huisstof terecht komen door bronnen binnenshuis of door binnenlopen van asbest van buiten. Aangekomen asbestconcentraties in stof leiden niet automatisch tot meetbare asbestconcentraties in de lucht. Zolang een ruimte 'in rust' is, zullen de vezels niet in de ruimte terecht komen. Wordt een dergelijke ruimte betreden, dan ontstaat de kans dat asbestvezels via het schoeisel in de rest van het gebouw worden verspreid. Voor de gezondheid zijn de asbestconcentraties in de lucht van belang. De asbestconcentraties in huisstof kunnen echter een indicator zijn van voorbijge of toekomstige concentraties in de lucht. In woningen nabij bodem die verontreinigd is met meer dan 1000 mg/kg hechtgebonden asbest of met meer dan 100 mg/kg niet-hechtgebonden asbest, kunnen deze metingen van belang zijn. Van het huisstof kunnen veegmonsters worden genomen. Bij de analyse moet in gedachten worden gehouden dat alleen de respirabele vezels (korter dan 200µm en dunner dan 3µm) van belang zijn voor de gezondheid.(7) NEN 2991 beschrijft hoe stofmonsters moeten worden genomen. Analyse via EM leidt tot een resultaat uitgedrukt in een of meer plussen (+) of in een min (-).(3) Bijlage 10.1 geeft weer wat de plussen en min betekenen en welke maatregelen bij deze resultaten worden geadviseerd.

Metingen dienen te worden uitgevoerd door een gecertificeerd asbestinventarisatiebedrijf volgens richtlijn BRL 5052 en de analyses door een laboratorium dat hiervoor geaccrediteerd is (informatie hierover is verkrijgbaar bij de Raad voor Accreditatie – website: www.rva.nl).

10.2.5 Referentiewaarden: concentraties in woningen

Asbestconcentraties in de binnenlucht liggen doorgaans rond 1.000 vezels/m³.(7) Hogere concentraties kunnen voorkomen bij aanwezigheid van losgebonden asbest en tijdens het verwijderen van asbest. Bij het onzorgvuldig verwijderen van asbesthoudende materialen kunnen concentraties ver boven het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR, zie paragraaf 10.2.8) voorkomen.(5) In 1999 werden in een gebouw dat met asbest verontreinigd was, concentraties gevonden tussen 3.000 en 80.000 vezels/m³.(7)

In de buitenlucht blijkt uit 'blanco'-metingen bij incidenten dat de huidige achtergrondconcentraties beneden de 100 vezels/m³ liggen. Alleen in tunnels worden nog wel eens waarden tussen 100 en 1.000 vezels/m³ gevonden.(8,9)

10.2.6 Effecten op de gezondheid

Asbestvezels kunnen na inademing vanuit de luchtwegen in het longweefsel terecht komen en naar het borstvlies en buikvlies verplaatsen. Asbestvezels uit de amfiboolgroep zijn in het algemeen gevaarlijker dan vezels uit de serpentijngroep vanwege hun structuur en omdat ze gemakkelijk

overlangs kunnen splijten, dieper in de longen doordringen en moeilijker afbreekbaar/oplosbaar zijn. Amfibole vezels (onder andere amosiet en crocidoliet) blijven daardoor veel langer in het longweefsel dan serpentijnvezels (onder andere chrysotiel), waardoor ze een groter risico geven voor het ontstaan van een aandoening. De kleinste vezels worden in het weefsel opgeruimd en verlaten het lichaam. De vezels die hiervoor te groot zijn (5 µm tot 100 à 200 µm lang met een diameter kleiner dan 3 µm en een lengte-diameterverhouding groter dan 3) blijven achter en hopen op. In het longweefsel en in de vliezen kunnen de vezels longkanker en mesothelioom veroorzaken. Mesothelioom is kanker in het longvlies (pleura) of in het buikvlies (peritoneum). Asbestose (ook wel asbestlong: longfibrose en verkalking van longvlies en borstvlies) wordt per definitie door asbest veroorzaakt. Asbestose treedt echter alleen op in beroepssituaties na een langdurige blootstelling aan hoge concentraties. Inhalatie van asbestvezels kan tot slot ook leiden tot goedaardige ontsteking van het borstvlies met eventuele kalkafzettingen (pleurale plaques). Na intensief huidcontact met asbest (beroepsmatige blootstelling) kunnen asbestwratjes ontstaan.(10)

Bij gevallen van mesothelioom kan in ongeveer 80% een verband met asbestblootstelling in het verleden aannemelijk worden gemaakt. In de overige gevallen kan in de praktijk geen andere oorzaak dan asbest worden gevonden.(11,12) Peritoneaal mesothelioom treedt met name op na hoge beroepsmatige blootstelling. Pleuraal mesothelioom kan ook voorkomen na langdurige blootstelling aan lage concentraties of na kortdurende blootstelling van enkel weken aan relatief hoge asbestconcentraties.(13) Het optreden van mesothelioom wordt niet beïnvloedt door rookgedrag.(14)

Bij longkanker kan het verband met asbest maar zelden met zekerheid worden gelegd. Longkanker wordt meestal veroorzaakt door roken. Longkanker kan echter het gevolg zijn van eerdere inademing van asbestvezels (ook zonder manifestatie van asbestose). In principe kan één vezel asbest kanker veroorzaken. De kans dat er kanker ontstaat na het inademen van één vezel is echter verwaarloosbaar klein. Hoe hoger de concentratie is, hoe groter het risico wordt. Longkanker doet zich meestal voor na langdurige of hoge blootstelling, terwijl mesothelioom ook voorkomt na incidentele of lage blootstelling. Uit onderzoek blijkt dat een combinatie van roken en inademing van asbestvezels het risico op longkanker vergroot. Het risico is groter dan uit een optelling van de afzonderlijke relatieve risico's zou volgen, maar minder dan uit een vermenigvuldiging zou volgen.(12) De latentieperiode tussen eerste blootstelling aan asbest en het zich openbaren van de ziekte kan zeer lang zijn.

Het RIVM heeft in het basisdocument asbest een risico-evaluatie uitgevoerd die nog steeds gebruikt wordt en ook door de Gezondheidsraad is overgenomen. Er wordt van de onderstaande risicoschatting uitgegaan.

<i>Chrysotiel (wit asbest)</i>	
100 - 1.000 vezels/m ³	levert een risico van 10 ⁻⁶ op mesothelioom
10.000 - 100.000 vezels/m ³	levert een risico van 10 ⁻⁴ op mesothelioom
100 - 1.000 vezels/m ³	levert een risico van 10 ⁻⁶ op longkanker
10.000 - 100.000 vezels/m ³	levert een risico van 10 ⁻⁴ op longkanker
<i>Amfibolen (bruin en blauw asbest)</i>	
10 - 100 vezels/m ³	levert een risico van 10 ⁻⁶ op mesothelioom
1.000 - 10.000 vezels/m ³	levert een risico van 10 ⁻⁴ op mesothelioom
100 - 1.000 vezels/m ³	levert een risico van 10 ⁻⁶ op longkanker
10.000 - 100.000 vezels/m ³	levert een risico van 10 ⁻⁴ op longkanker

Het gaat hierbij om een levenslange blootstelling. Een risico van 10⁻⁶ komt ongeveer overeen met een risico van 10⁻⁸ per jaar, het verwaarloosbaar risico. Een risico van 10⁻⁴ komt overeen met een risico van 10⁻⁶ per jaar, het maximaal toelaatbaar risico.

Ingestie van asbest (bijvoorbeeld via asbestcementen drinkwaterleidingen) levert geen risico op voor de gezondheid.(15)

De berekening van de gezondheidsrisico's gaat waarschijnlijk veranderen, op basis van nieuwe inzichten. De Gezondheidsraad zal hier in 2007 advies over uitbrengen (zie paragraaf 10.2.8). Het Steunpunt MMK van het RIVM en het LCM hebben vooruitlopend op dit Gezondheidsraadadvies een notitie verspreid onder MMK medewerkers met daarin beknopte uitleg over de risicoberekening volgens Hodgson en Darnton. Zie hiervoor de bijlage achter aan dit hoofdstuk. De risicoberekeningen van Hodgson en Darnton kunnen enkele honderden malen hoger uitkomen dan de berekeningen volgens de hierboven beschreven methode.

10.2.7 Richtlijn GGD

In 2002 zijn twee GGD-richtlijnen verschenen die betrekking hebben op asbest: richtlijn Asbest in/op de bodem en richtlijn Asbest in woningen. De richtlijn Asbest in woningen behandelt de inschatting van gezondheidsrisico's van asbest in woningen. Verschillende checklijsten en de benodigde gegevens voor de inschatting van het risico worden besproken, evenals wetgeving, gezondheidseffecten, de rol van de GGD en overige nuttige instanties.(6) (De GGD-richtlijnen zijn te vinden op www.ggd Kennisnet.nl.)

10.2.8 Normen

VROM heeft het verwaarloosbaar risico (VR) en het maximaal toelaatbaar risico (MTR) vastgesteld op basis van het basisdocument asbest van het RIVM.(15,16) In deze normstelling wordt uitgegaan van 5 µm als de vezellengte waarboven het risico op kanker aanzienlijk toeneemt. Deze normen zijn als volgt:

- chrysotiel (lengte > 5 µm) : VR = 1000 vezels/m³
MTR = 100.000 vezels/m³
- amfibolen (lengte > 5 µm) : VR = 100 vezels/m³
MTR = 10.000 vezels/m³

Deze normen gelden zowel voor de binnen- als voor de buitenlucht. De metingen ter toetsing van de normen dienen plaats te vinden volgens de elektronenmicroscopische meetmethode (zie paragraaf 10.2.4). De bovengenoemde normen hebben geen wettelijke status.

Normen worden ook wel uitgedrukt in vezelequivalenten/m³. Verschillende vezeltypes en -lengtes hebben verschillende effecten op de gezondheid. Vezels kunnen daarom worden omgerekend naar vezelequivalenten. Hieronder worden de equivalentiefactoren genoemd.

Chrysotielvezel, lengte > 5 µm: equivalentiefactor 1

Chrysotielvezel, lengte < 5 µm: equivalentiefactor 0,1

Amfiboolvezel, lengte > 5 µm: equivalentiefactor 10

Amfiboolvezel, lengte < 5 µm: equivalentiefactor 1

Het MTR bedraagt 100.000 vezelequivalenten/m³ en het VR 1.000 vezelequivalenten/m³. De gezondheidkundige advieswaarde voor binnenmilieu bedraagt 100.000 vezelequivalenten/m³. Deze is in 2004 bepaald door het RIVM.(17)

In de risicoberekeningen kan ook gebruik worden gemaakt van vezeljaren. Een vezeljaar komt overeen met de blootstelling aan 1 vezel per cm³ gedurende een arbeidsjaar (circa 1.900 uur).

Een norm uit het werkmilieu die van belang is voor het binnenmilieu en bovendien een wettelijke status heeft, is de 'vrijgavegrens'. Wanneer de asbestconcentratie na sloop- of reinigingswerkzaamheden en verwijdering van de bron(nen) lager is dan deze grenswaarde, dan mag de ruimte weer betreden worden zonder ademhalingsbescherming. De vrijgavegrens is vastgesteld op 10.000 vezels/m³. Voor amfibole vezels is dit het MTR. De bron is echter weggehaald, zodat normaliter de concentratie asbestvezels in de loop van de tijd nog verder zal dalen. Metingen dienen in dit geval plaats te vinden volgens de lichtmicroscopische methode (zie paragraaf 10.2.4). De MAC-waarde van asbest bedraagt 300.000 vezels/m³ (voor crocidoliet is dit 100.000 vezels/m³). (5)

In 2006 heeft de Gezondheidsraad geadviseerd om de normen voor asbest te herzien, op basis van nieuwe kennis en inzichten die beschikbaar zijn gekomen sinds 1987.⁽¹⁸⁾ Het betreft hier met name publicaties van Hodgson en Darnton en van de EPA.^(19,20) Medio 2007 verwacht de Gezondheidsraad met een voorstel voor nieuwe normen te komen. Hierbij zal bij berekening van de risico's van levenslange blootstelling mogelijk gecorrigeerd worden voor andere doodsoorzaken. Daarnaast wordt bekeken of het verschil in gezondheidsrisico tussen chrysotiel en amfibole asbestvezels in werkelijkheid groter is dan de factor tien waar in de huidige normen van uit wordt gegaan. Ook de vezellengte die het grootste risico oplevert, moet mogelijk gewijzigd worden van minimaal 5 µm naar minimaal 10 µm. Daarnaast zou onderzocht kunnen worden of de gehanteerde conversiefactor tussen concentraties gemeten met lichtmicroscopie en concentraties gemeten met elektronenmicroscopie verhoogd moet worden. Nu wordt een factor 2 gehanteerd, terwijl in de Verenigde Staten een factor 50 of meer wordt gehanteerd.⁽¹⁸⁾ Er bestaat echter geen vaste conversiefactor. Deze is sterk afhankelijk van de situatie waarin gemeten wordt. Immers met lichtmicroscopie meet je geen kleinere vezels en ook kunnen andere dan asbestvezels ten onrechte bij de tellingen worden meegenomen. Het maakt dus heel veel uit of je in een asbestbedrijf meet of in een huissituatie.

De rekenmethode van Hodgson en Darnton wijkt af van de huidige VROM-methode om risico's van asbest te berekenen. De VROM-methode maakt gebruik van vezelequivalenten en lineaire extrapolatie naar een geheel leven; Hodgson en Darnton maken gebruik van vezeljaren en gaan uit van een niet-lineaire dosis-effectrelatie voor mesothelioom. Zie voor de risicoberekening volgens Hodgson en Darnton Bijlage 10.2.

10.2.9 Juridische aspecten

De wet- en regelgeving op het gebied van asbest is tamelijk uitgebreid. In deze paragraaf wordt een kort overzicht gegeven van de wet- en regelgeving die invloed heeft op asbest in het binnenmilieu. Uitgebreidere informatie is te vinden bij VROM (www.vrom.nl) en InfoMil (www.infomil.nl).

Toepassing

- 1977 Verbod gebruik crocidoliet.
- 1978 Verbod gebruik spuitasbest.
- 1982 Verbod productie asbesthoudende vloerbedekking, asbestpapier, asbestkarton en asbesthoudende isolatie- en afdichtmaterialen.
- 1983 Asbestbesluit Warenwet. In dit besluit wordt geregeld dat asbestbevattende artikelen slechts asbestvezels mogen bevatten die ieder voor zich hechtgebonden zijn.
- 1991 Convenant dat er geen asbesthoudende producten meer worden gebruikt in de bouw.
- 1994 Het Warenwetbesluit Asbest. Dit besluit vervangt het Asbestbesluit Warenwet uit 1983 (laatstelijk gewijzigd in 1987) en het Etiketteringsbesluit Warenwet (1984). In dit besluit wordt de toepassing van alle asbestvezels in producten verboden. Alleen voor chrysotiel in hechtgebonden vorm wordt een uitzondering gemaakt. Verder staat er een onderzoeksmethode voor de mate van hechtgebondenheid in beschreven. De reikwijdte van dit besluit is sterk beperkt als gevolg van het Asbestbesluit Arbeidsomstandighedenwet uit 1993. In dit laatste besluit wordt het produceren en/of verkopen van asbest of asbesthoudende producten niet langer toegestaan.
- 1998 Volledig verbod voor hergebruik van asbest in bouwwerken voor particulieren.
- 2003 Bouwbesluit. Hierin staat de grenswaarde voor de toelaatbare concentratie asbest die gelijk is gesteld aan de streefwaarde (afdeling 2.3 artikel 2.5). Het voorschrift is afkomstig uit de inmiddels vervallen Regeling Bouwbesluit materialen 1998 en dient de toepassing van asbestbevattende materialen in bouwwerken door particulieren onmogelijk te maken. Gemeenten kunnen op grond van hoofdstuk III van de Woningwet eigenaren van gebouwen waarin zich zogenoemde niet-hechtgebonden bouwmaterialen bevinden die niet of niet goed zijn afgeschermd, aanschrijven tot het treffen van voorzieningen. Deze voorzie-

ningen kunnen dan bestaan uit verwijdering of afscherming van het niet-hechtgebonden asbestbevattend materiaal. Het voorschrift geeft een concreet niveau van eisen.

- 2005 Productenbesluit asbest. Met dit besluit vervallen alle uitzonderingen op het verbod op toepassingen waaraan met opzet asbest is toegevoegd. Ook is het voor particulieren verboden om asbest of asbesthoudende producten op voorraad te hebben.

Verwijdering

- 2005 Asbestverwijderingsbesluit. Het Asbestverwijderingsbesluit 2005 vervangt het oude Asbestverwijderingsbesluit (dat dateert uit 1993) evenals het Arbeidsomstandighedenbesluit voorzover het gaat om de regels voor het werken met asbest. Het besluit bevat regels voor het inventariseren van asbest en asbesthoudende producten en verwijderen van asbest en asbesthoudende producten uit bouwwerken en objecten. Ook bevat het regels voor opruimen van asbest en asbesthoudende producten die zijn vrijgekomen door een incident (bijvoorbeeld een brand of een explosie). De belangrijkste wijziging in het herziene besluit is de wijziging van de certificatiestructuur voor asbestinventarisatie en asbestverwijderingsbedrijven. Het doel is om het vrijkomen van asbestvezels te voorkomen.

Arbeidsomstandigheden

- 1993 Asbestbesluit Arbeidsomstandighedenwet (gebaseerd op de Arbo-wet); in 1997 opgenomen in het Arbobesluit (Afdeling 5). Dit besluit stelt regels aan het beroepsmatig werken met asbest. Per 1 juli 1993 is er een verbod op bewerken, verwerken en in voorraad houden van asbest. Het besluit is van toepassing op werkgevers, werknemers en zelfstandigen. Uitzonderingen zijn gemaakt voor asbestverwijderingsbedrijven, laboratoria en voor het verrichten van bepaalde onderhoudswerkzaamheden.
- 2005 Asbestverwijderingsbesluit. Het Asbestverwijderingsbesluit 2005 vervangt het Arbeidsomstandighedenbesluit voorzover het gaat om de regels voor het werken met asbest.

In de brochure 'Asbest in en om het huis' geeft het ministerie van VROM antwoord op veel vragen over wat particulieren moeten doen met asbest.(1)

10.2.10 Verantwoordelijke partijen

De eigenaar van het asbest is verantwoordelijk voor het (laten) verwijderen en moet in principe de verwijderingskosten betalen. De rijksoverheid geeft geen subsidie voor het verwijderen van asbest uit gebouwen en woningen. Mensen met een uitkering kunnen in sommige gevallen een beroep doen op een gemeentelijke bijstandsregeling.

Particulieren mogen in sommige gevallen zelf asbest verwijderen als wordt voldaan aan een aantal voorwaarden. Hiervoor is schriftelijke toestemming van de gemeente nodig (een zogenoemde mededeling onder voorschriften). In deze mededeling staat dat u toestemming heeft om zelf het asbest (bijvoorbeeld het golfplatendak van een schuurtje) te verwijderen en welke voorschriften u hierbij in acht dient te nemen. Het verwijderen van asbestbevattende materialen zonder mededeling onder voorschriften is strafbaar. In veel gevallen is het beter om asbest te laten verwijderen door een deskundig asbestverwijderingsbedrijf. Voor een aantal asbesthoudende materialen is dat zelfs verplicht. Meer informatie hierover staat in de brochure van VROM 'Asbest in en om het huis'.(1)

10.3 Minerale kunstvezels

Na het bekend worden van de risico's voor de gezondheid door asbest, is men zich gaan afvragen of ook andere minerale vezels schade kunnen toebrengen aan de gezondheid. Minerale vezels worden, vooral in de bouwnijverheid, al lange tijd gebruikt. Door het verbod op het gebruik van asbest is er bovendien een verschuiving opgetreden van asbest naar alternatieve producten. Vaak gebruikte alternatieven zijn de minerale kunstvezels ('Man Made Mineral Fibres', MMMF).

10.3.1 Wat zijn minerale kunstvezels?

'Man Made Mineral Fibres' zijn industrieel vervaardigde minerale vezels. Als grondstof worden ondermeer vulkanisch gesteente, glas en slakken gebruikt. De Gezondheidsraad onderscheidt zes groepen minerale kunstvezels: (21)

- continue glasgarens: textiele glasvezels, geknipt uit een getrokken glasdraad (diameter 6-15 µm). De vezels worden gebruikt als garens en als streng in vezelversterkte materialen;
- glaswolvezels: geblazen en versponnen gesmolten glas (diameter 2-9 µm);
- steenwolvezels: geblazen en versponnen gesmolten steen (diameter 3-6 µm);
- slakkenwolvezels: geblazen en versponnen gesmolten slakken (restproduct dat ontstaat bij het versmelten van ijzererts) uit de Hoogovens (diameter 3-6 µm);
- keramische vezels: geblazen of getrokken van verschillende grondstoffen, zoals kaoline-klei ('porselein aarde') en aluminiumoxide (diameter 1,2-3,0 µm). Het materiaal wordt gebruikt voor hoogwaardige warmte-isolatie van ovens en leidingen;
- glasvezels voor speciale doeleinden ('special purpose fibres': SPF): vezels van gesmolten glas met een kleine diameter (0,1- 3,0 µm). Deze vezelsoort wordt voornamelijk in de vliegtuigbouw gebruikt.
- Glaswol, steenwol en slakkenwol worden ook wel aangeduid als isolatiewollen. De vezels worden samengeperst tot dekens of platen. Omdat er lucht tussen de vezels zit, heeft het materiaal een isolerende werking.

Deze minerale vezels hebben als kenmerk dat ze alleen in stukjes kunnen breken. De lengte van de vezel neemt daarbij af, maar de diameter blijft gelijk. Ze splijten dus niet overlangs, zoals asbest.

10.3.2 Bronnen van minerale kunstvezels

Glaswol, steenwol en slakkenwol (isolatiewollen) kunnen in woningen gebruikt zijn als warmteisolatie, bijvoorbeeld tegen of tussen muren en tegen het plafond of dak en als isolatie van ventilatie- en leidingsystemen. Isolatie wol wordt daarnaast toegepast als technische isolatie van ovens, tanks en ketels en als geluidsisolatie. Vooral tijdens werkzaamheden kunnen er vezels vrijkomen.

Glasvezels worden toegepast in glasvezelbehang (geschikt voor gescheurde of werkende muren) en tegenwoordig vooral in kabels voor internet en digitale telefoon, tv en radio. Communicatie via glasvezels gebeurt door middel van licht. Aan de ene kant worden elektrische signalen omgezet in laserlicht dat in de doorzichtige glasvezel schijnt. Het licht verplaatst zich heel snel door het kabeltje en wordt aan de andere kant weer omgezet in elektrische signalen. Glasvezels worden ook gebruikt om kunststoffen te verstevigen, zoals in hengels of ski's.

10.3.3 Inspectie

Bij een inspectie moet allereerst gekeken of er minerale kunstvezels aanwezig zijn. Hierbij moet vooral gelet worden op isolatiewollen. Vervolgens wordt gekeken of er vezels kunnen vrijkomen in de lucht. In dat geval kan er blootstelling plaats vinden. Vezels komen vooral vrij bij de bewerking van de isolatiewollen. Ook kunnen er vezels vrijkomen bij frictie tussen de vezels en andere materialen. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer de vezels zijn gebruikt als plafondisolatie. In sommige situaties kan er frictie optreden tussen de vezels en de plafond- of vloerplaten. De naden in het plafond kunnen afgedicht worden, zodat de vezels niet in de ruimte vrij kunnen komen.

Blootstelling kan ook ontstaan door isolatiewollen aan de binnenzijde van ventilatiekanalen, of een spouw waardoorheen luchttoevoer plaatsvindt.

Aan vezels in communicatiekabels zal nauwelijks blootstelling plaatsvinden, omdat deze vezels omgeven zijn door een plastic omhulsel.

Wanneer glasvezelbehang geverfd is, zullen daar geen vezels uit vrij komen. Bij bewerking of beschadiging van het behang zouden vezels kunnen worden losgeschuurd.

10.3.4 Meten van minerale vezels

Het meten van minerale vezels vindt op dezelfde wijze plaats als het meten van asbest (zie paragraaf 10.2.4).(22)

10.3.5 Referentiewaarden: concentraties in woningen

Er zijn weinig gegevens over de concentraties van minerale vezels in woningen. Concentraties zullen het hoogst zijn tijdens en kort na het aanbrengen van het isolatiemateriaal. In 1987 beschreef Van der Wal dat tijdens een na-isolatie met glas- en steenwol in acht woningen. Daarbij werden concentraties tussen 50.000 en 400.000 vezels/m³ gemeten. Na een dag waren de concentraties al gedaald tot 1000 - 10.000 vezels/m³. De analyses werden uitgevoerd met behulp van een elektronenmicroscop.(23) In datzelfde jaar beschreef Nielsen een onderzoek in 149 Deense gebouwen, waarvan de plafonds op verschillende wijze geïsoleerd waren met glas- of steenwol. De gemiddelde concentratie in de ruimte met plafonds die vermoedelijk op dezelfde wijze waren geïsoleerd als in Nederland gebruikelijk is, was 25 vezels/m³. De concentraties liepen uiteen van 0 tot 80 vezels/m³.(24) In 1999 vond Carter kunstvezelconcentraties van minder dan 100 vezels/m³ in het binnenmilieu.(25)

Enkele studies naar vezels in de buitenlucht toonden concentraties van 2 vezels/m³ op het platteland tot 1700 vezels/m³ in een stedelijke omgeving. Tijdens het aanbrengen van het materiaal variëren de concentraties van 500.000 - 2.000.000 vezels/m³. Dat is overigens hoger dan de vezelconcentratie tijdens het productieproces (100.000 vezels/m³). (17)

10.3.6 Effecten op de gezondheid

Huidcontact

Bij huidcontact aan steenwol- en glas(wol)vezels kan er irritatie ontstaan, doordat de vezels de huid binnendringen. Glasvezels zijn scherper dan steenwolvezels. Bij kortdurende blootstelling is deze irritatie (kleine rode bultjes en jeuk) meestal de volgende dag weer verdwenen. Bij langdurende blootstelling wordt de huid rood en droog, waarbij er blaren en kloven ontstaan. De huidirritatie kan verergeren onder vochtige en warme omstandigheden. De meeste huidirritaties komen voor op plaatsen waar veel huidcontact mogelijk is, zoals de handen, onderarmen en het gezicht. Ook kunnen de vezels door kleding heen dringen, waardoor ook op andere plaatsen irritaties kunnen optreden. De huiduitslag veroorzaakt een grotere gevoeligheid voor infecties. Tevens dringen andere stoffen gemakkelijker door de huid heen. Hierdoor bestaat er een grotere kans dat die stoffen irritatie en/of allergie veroorzaken. Dit kan het geval zijn voor veel gebruikte coatingmaterialen van steen- en glaswol, zoals epoxyhars en fenolformaldehydohars.(26)

Wanneer de vezels in de ogen terechtkomen, kan dit ook tot irritatie leiden. Dit gebeurt voornamelijk tijdens het verwerken van het materiaal. Hierbij is echter nooit blijvend letsel aangetoond.(26)

Bij de verwerking van glasvezelbehang kan er huidirritatie ontstaan zolang de vezels niet door een verflaag gebonden zijn.

Vanwege de mogelijke gezondheidseffecten moet huidcontact zoveel mogelijk worden voorkomen. Dit kan bijvoorbeeld door handschoenen te dragen bij het werken met isolatiewol en glasvezelbehang.

Indien met glasvezel versterkt kunststof breekt, versplintert het. De splinters zijn grof, maar zeer scherp waardoor men snijwonden kan oplopen.

Inhalatie

Inhalatie van respirabele isolatiewol- en dunnere glasvezels, dat wil zeggen met een diameter kleiner dan 4-5 µm, kan longfibrose, irritatie en ontsteking van de neusslijmvliezen veroorzaken.(21)

De vezels in glasvezelbehang zijn te grof om zich vast te zetten in de longen.(27)

De Gezondheidsraad stelt dat de kritische effecten van isolatiewolvezels en de dunnere glasvezels (SPF) met elkaar overeenkomen. Niet respirabele vezels kunnen mechanische irritatie van de huid, ogen en bovenste luchtwegen veroorzaken. De Raad adviseert blootstelling aan deze vezels zo

laag mogelijk te houden.(21) Isolatiewollen kunnen het beste zoveel mogelijk buiten worden bewerkt. Hierdoor wordt voorkomen dat vezels vrijkomen in de binnenlucht.

Alleen keramische vezels beschouwt de Gezondheidsraad als carcinogeen. De Raad heeft onvoldoende gegevens om een uitspraak te doen over het mechanisme dat ten grondslag ligt aan de carcinogene werking van keramische vezels en kan daarom geen uitspraak doen over het al dan niet bestaan van een drempel voor die werking.(28)

De WHO (IARC) kan glaswol, steenwol, slakkenwol en continue glasgarens niet classificeren op carcinogeniteit. Keramische vezels en SPF zijn geclassificeerd als 'mogelijk kankerverwekkend voor mensen'.(29)

10.3.7 Richtlijn GGD

De GGD-richtlijn 'Asbest in woningen' gaat niet in op kunstvezels. Er is geen GGD-richtlijn beschikbaar die van toepassing is op minerale kunstvezels.

10.3.8 Normen

Het RIVM heeft voor keramische vezels die met name in de industrie worden toegepast een gezondheidkundige advieswaarde vastgesteld van 100.000 vezelequivalenten/m³. Dit is op basis van de 'Air Quality Guideline' van de WHO. De WHO stelt dat er voor andere soorten vezels te weinig gegevens beschikbaar zijn om richtlijnen voor vast te stellen.(17)

Voor minerale wolvezels waaronder glaswol, steenwol en superfijne glasvezels, bestaat een MAC-waarde van 2.000.000 vezels m³. Mogelijk wordt deze op termijn verlaagd naar 1.000.000 vezels/m³. De MAC-waarde voor keramische vezels bedraagt 500.000 vezels/m³.(30)

10.3.9 Juridische aspecten

Met betrekking tot minerale kunstvezels zijn geen specifieke juridische bepalingen voorhanden.

10.4 Referenties

1. Ministerie van VROM. Asbest in en om het huis. De meest gestelde vragen over asbest. Brochure VROM, distributienr. 5267. Den Haag, 2005.
2. Website Ministerie van VROM. Dossier asbest. www.vrom.nl.
3. Nederlands Normalisatie Instituut. Lucht – Risicobeoordeling in en rondom gebouwen of constructies waarin asbesthoudende materialen zijn verwerkt. NEN 2991(nl). Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2005.
4. Informatiepunt Asbest Gemeentewerken Rotterdam. Schriftelijke mededeling. 2006.
5. InfoMil. S02 235 vragen over asbest. Herziene uitgave. Ministerie van VROM distributienr. 14298/174. Den Haag, 2002.
6. GGD. GGD-richtlijn Asbest in woningen. GGD Nederland. Utrecht, 2002.
7. Oomen AG, Lijzen JPA. Relevancy of human exposure via house dust to the contaminants lead and asbestos. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 711701037. Bilthoven, 2004.
8. TNO-MEP, J. Tempelman. Persoonlijke mededeling. 6 mrt 2007.
9. Swartjes2003. Beoordeling van de risico's van bodemverontreiniging met asbest. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 711701034. Bilthoven, 2003.
10. Bureau Medische Milieukunde. Gezondheidsdienst (GGD'en) en asbest. Bureau Medische Milieukunde Jans, Van den Hazel en Van de Weerd. Dieren, 1994.
11. Gezondheidsraad. Protocollen asbestziekten: asbestose. Gezondheidsraad rapportnr. 1999/04. Den Haag, 1999.
12. Gezondheidsraad. Protocollen asbestziekten: longkanker. Gezondheidsraad rapportnr. 2005/09. Den Haag, 2005.

13. Burdorf A, Siesling S, Sinninghe Damsté H. Regionale spreiding van het maligne mesotheliom in Nederland. Deelrapport 1. Erasmus Medisch Centrum, Integraal Kankercentrum Stedendriehoek Twente, Ziekenhuisgroep Twente. Rotterdam/Enschede, 2005.
14. Burdorf A et al. Schatting van asbest-gerelateerde ziekten in de periode 1996-2030 door beroepsmatige blootstelling in het verleden. VUGA Uitgeverij B.V. Den Haag, 1997.
15. Slooff W, Blokzijl PJ. Basisdocument asbest (en advies Gezondheidsraad). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 758473006. Bilthoven, 1987.
16. Ministerie van VROM. Asbest in het milieu. Informatie voor handhavers en andere betrokkenen. VROM distributienummer 94-1. Den Haag, 1994.
17. Dusseldorp A, Bruggen M van, Douwes J, Janssen PJCM, Kelfkens G. Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609021029/2004. Bilthoven, 2004.
18. Gezondheidsraad. Asbest. Gezondheidsraad rapportnr. 2006/09. Den Haag, 2006.
19. Hodgson JT, Darnton A. The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. *Ann Occup Hyg* 2000; 44(8): 565-601.
20. Environmental Protection Agency. Report on the peer consultation workshop to discuss a proposed protocol to assess asbestos related risk. US EPA, Contract No. 68-C-98-148. Washington DC, 2003.
21. Gezondheidsraad. Man Made Mineral Fibres. Gezondheidsraad rapportnr. 1995/02WGD. Den Haag, 1995.
22. Bruin BM de. De monsternamen en analyse van man-made mineral fibres. Chemiewinkel, Onderzoeks- en Adviescentrum Chemie Arbeid Milieu, Universiteit van Amsterdam. Amsterdam, 1993.
23. Wal JF van der. Man-made mineral fibres in homes caused by thermal insulation. *Atm Environm* 1987; 21(1): 13-9.
24. Nielsen O. Man-made mineral fibres in the indoor climate caused by ceilings of man-made mineral wool. In: *Indoor Air '87, Proceedings of the 4th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Berlijn. *Indoor Air* 1978; 1: 580-3.
25. Carter CM, et al. Indoor airborne fiber levels of MMVF in residential and commercial buildings. *Am Ind Hyg Assoc J* 1999; 60(6): 794-800.
26. Haar R van der. Glas- en steenwol als isolatiemateriaal. Gezondheidsrisico's. Chemiewinkel, Onderzoeks- en Adviescentrum Chemie Arbeid Milieu, Universiteit van Amsterdam. Amsterdam, 1998.
27. Website Netwerk Bewust Verbruiken. Kies wakker, slaap lekker: muurbekleding. www.bewust-verbruiken.org.
28. Gezondheidsraad. Minerale kunstvezels/Man-made mineral fibres. Beoordeling van de carcinogeniteit. Gezondheidsraad rapport nr. 1995/81. Den Haag, 1995.
29. World Health Organization. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Volume 81 Man-made Vitreous Fibres. Summary of Data Reported and Evaluation. International Agency for Research on Cancer. Lyon, 2002.
30. Website Sociaal-Economische Raad. MAC-waarden. www.ser.nl.

Bijlage 10.1 Asbest in stof

Resultatenanalyse van asbest in stofmonsters

Concentratie in stof (aantal asbestvezels/ cm ² oppervlak)	Weergave	Omschrijving	Concentratie in lucht (vezelequivalenten/m ³)	VROM-advies
>1.000	++	zeer veel asbest aangetroffen	> 10.000 is mogelijk	betreffende ruimten of het gebouw ogenblikkelijk af sluiten totdat de asbestbronnen zijn verwijderd of duurzaam afgeschermd en uit een eindmeting is gebleken dat de ruimte 'asbestveilig' is.
100 – 1.000	+	duidelijk asbest aangetroffen	< 10.000	asbestbron(nen) z.s.m. afschermen of verwijderen en ruimte waarin deze bron(nen) zich bevinden niet betreden zonder PBM en decontaminatieprocedure
10 – 100	+/-	sporen asbest aantoonbaar	< 1.000	ruimte in gebruik houden, maar wel monitoren. Indien een asbestbron oorzaak is van permanente homogene verspreiding van asbestvezels in de lucht die kunnen worden aangetroffen in de stof, dan maatregelen nemen om permanente emissie te neutraliseren.
<10	-	geen asbest aangetroffen		

Bron: NEN 2005 en schriftelijke mededeling dhr. Van den Bogaard, VROM-Inspectie.

Bijlage 10.2 Methode Hodgson & Darnton

Hodgson en Darnton (H&D) hebben in 2000 een meta-analyse uitgevoerd naar het verband tussen asbestblootstelling en het ontstaan van maligniteiten.

Zonder op de details van de studie in te gaan, beschrijft deze bijlage belangrijke inzichten van deze studie. Uitgangspunt van deze bijlage is de relatief lage blootstelling in niet-beroepsmatige situaties. Tevens betreft het hier uitsluitend het risico op *mesothelioom*, omdat het risico op longkanker pas bij beroepsmatige (lees hogere) blootstelling relevant is.

Het gaat om de volgende vier hoofdlijnen die kort zullen worden toegelicht:

1. de leeftijd van eerste blootstelling is belangrijk; hoe lager, hoe groter de kans om gedurende het leven mesothelioom te krijgen;
2. er is geen lineair verband tussen blootstelling en risico's;
3. blootstellingsberekeningen zijn gebaseerd op vezeljaren en op type asbest (dus niet op vezel-equivalenten);
4. de achtergrondblootstelling wordt niet meegenomen in de berekening.

Leeftijd

Het maakt nogal wat uit voor de kans op mesothelioom of je wordt blootgesteld op je vijftigste of op je twintigste –mesothelioom heeft immers een latentietijd van tientallen jaren (in Nederland gemiddeld circa 40 jaar). H&D corrigeren daarom voor leeftijd bij eerste blootstelling. De tabel (zie verder) gaat uit van een leeftijd bij eerste blootstelling van dertig jaar. Wanneer die blootstelling niet op je dertigste, maar bijvoorbeeld op je twintigste jaar plaatsvindt, wordt de kans op mesothelioom groter, in dit geval tweemaal zo groot. Over een nog lagere leeftijd durven ze niet zoveel te zeggen, met als argument dat het aantal gevallen van mesothelioom in een populatie niet onbeperkt zal toenemen.

Lineariteit

H&D hebben gevonden dat het risico op mesothelioom niet recht evenredig afneemt met het aantal vezels. Dat gaat langzamer. (Je kunt ook zeggen dat kleine hoeveelheden vezels gevaarlijker zijn dan je zou verwachten). Dat vindt zijn weerslag in de tabel op de volgende pagina.

Vezelaantallen

Voor elk van de drie meest voorkomende asbesttypen – crocidoliet, amosiet en chrysotiel (respectievelijk blauw, bruin en wit asbest) – hebben H&D een risicoschatting gemaakt, gebaseerd op blootstelling uitgedrukt in vezeljaren.¹ Er wordt niet omgerekend naar vezelequivalenten. H&D bepleiten het gebruik van het bij de specifieke asbestsoort behorende risico en, wanneer er sprake is van gemengde blootstelling, voor een verstandige keus daaruit.

Achtergrond

De berekeningen die in de tabel staan, gelden voor de extra blootstelling die gedurende een beperkt aantal jaren (in de grootteorde van vijf jaar) heeft plaatsgevonden. In die zin zijn de gegevens goed bruikbaar voor de vragen die bij medische milieukunde binnenkomen, waar het vaak gaat om het vaststellen van de effecten van een relatief kortdurende ongewenste blootstelling.

De achtergrond hoeft niet te worden verdisconteerd in deze berekeningen, omdat het gaat om de extra sterfte aan mesothelioom ten opzichte van de totale bevolking.

¹ Eén vezeljaar komt overeen met een blootstelling van één vezel per ml. (= 1.000.000 per m³) gedurende het aantal arbeidsuren in een jaar.

Tabel

Onderstaande tabel is samengesteld uit het artikel van H&D en geeft een beeld van de risico's per asbestsoort, na een blootstelling van respectievelijk 0,1, 0,01 en 0,005 vezeljaar. Voor de details (spreiding, ander aantal vezeljaren) wordt verwezen naar het artikel van H&D, in Ann Occup Hyg 2000; 448): 565-601, Tabel 11.

Cumulatieve blootstelling aan asbest			
	0,1 vezeljaar	0,01 vezeljaar	0,005 vezeljaar
Crocidoliet	100	20	< 10
Amosiet	15	3	2
Chrysotiel	4	< 1	0

NB: Uitgedrukt in sterfte per 100.000 persoonsjaren. Blootstellingperiode enkele jaren (grootteorde 5 jr.)

Gemiddelde leeftijd van blootstelling: 30 jaar.

Indien de blootstelling aan asbest een mengsel betreft dat voor meer dan 5% uit crocidoliet bestaat, verdient het aanbeveling om uit te gaan van de risicoberekening voor crocidoliet, vanwege de grote gezondheidsrisico's van deze asbestsoort.

Wanneer de leeftijd van eerste blootstelling afwijkt van dertig jaar, kan een correctiefactor worden toegepast, volgens onderstaande tabel.

Correctiefactoren voor leeftijd eerste blootstelling	
Leeftijd	correctiefactor
20	2,1
25	1,5
30	1
35	0,6
40	0,4

Meetmethode

De metingen van het aantal vezels in de meta-analyse zijn (nagenoeg) allemaal gedaan met de lichtmicroscop, terwijl we tegenwoordig met de elektronenmicroscop werken. Er is geen vaste omrekeningsfactor tussen deze beide meetmethoden. Zeker is wel dat de elektronenmicroscop nauwkeuriger het aantal asbestvezels meet, vooral in een omgeving met veel andere vezels.

Gezondheidsraad

De Gezondheidsraad buigt zich over deze problematiek, waarbij niet alleen de H&D-studie wordt meegenomen, maar ook de EPA-benadering. Een advies wordt in 2007 verwacht.

11

Kwik, lood, cadmium en organotin

11.1 Inleiding

Dit hoofdstuk behandelt de zware metalen kwik, lood en cadmium en in beperkte mate ook organische tinverbindingen (organotin). Deze zware metalen komen niet standaard in het binnenmilieu voor, maar kunnen daar wel aanwezig zijn in toepassingen of in het huisstof terecht komen. Blootstelling aan lage concentraties van deze metalen kan al nadelige gevolgen voor de gezondheid hebben.

11.2 Kwik

Kwik, vroeger ook wel mercurius genoemd, is een zwaar metaal dat van nature in de aardkorst voorkomt. Normaal komt kwik niet in vrije vorm voor in de binnenlucht. Bij breuk van een (koorts)thermometer of een ander kwikhoudend instrument in een woning, kan kwik echter vrijkomen in het binnenmilieu. Er bestaan verschillende soorten kwik, waarvan kwikzilver de bekendste is. Kwik staat al lang bekend als gevaarlijke stof voor mens en milieu.

11.2.1 Wat is kwik?

Kwik (scheikundig symbool: Hg) is een metaal dat bij kamertemperatuur vloeibaar is. In deze omstandigheden is het een glanzende, zilverkleurige, zware vloeistof. Het is een edelmetaal, hetgeen betekent dat het bij kamertemperatuur in een droge omgeving niet wordt aangetast door zuurstof. Het heeft een hoge oppervlaktespanning waardoor het de neiging heeft om in kleine hoeveelheden als bolletjes bij elkaar te blijven. Bij kamertemperatuur is kwik echter ook vluchtig, er komt kwikdamp vrij. Kwikdamp is zwaarder dan lucht en zal in stilstaande lucht naar beneden uitzakken. Kwik komt in verschillende vormen voor: als organische en anorganische kwikverbindingen. Anorganisch kwik in legeringen en zouten wordt metallisch kwik genoemd, daarnaast bestaat elementair kwik. In de lucht komt kwik voornamelijk voor als metallisch kwik. Metallisch kwik wordt ook wel kwikzilver genoemd en komt onder andere voor in ouderwetse koortsthermometers en in vullingen van het gebit. Organisch gebonden kwik, waarvan methylkwik de belangrijkste vorm is, zit vooral in voedsel zoals vis.(1-4)

11.2.2 Bronnen van kwik

Kwik komt van nature voor in de aardkorst en komt vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen.(5,6) Een bekende toepassing van kwik is het gebruik door tandartsen in amalgaamvullingen om gaatjes te vullen.

Metallisch kwik kan in de woning voorkomen in een aantal toepassingen, zoals kwikthermometers, kwikbarometers, thermostaten, vertragingsschakelaars, batterijen, TL- en spaarlampen en bloeddrukmeters met een kwikkolom.(2,3) Fenykwikacetaat is gebruikt als conserveermiddel, onder andere in verf. Sinds 2003 mogen er echter geen kwikhoudende producten meer verkocht worden.(7) Het gaat dus om toepassingen die voor het jaar 2003 zijn aangeschaft. Van deze producten hebben alleen kwikbarometers en bloeddrukmeters een kleine open verbinding met de lucht. Bij de andere instrumenten is het kwik van de lucht afgesloten door bijvoorbeeld glas. Bij een breuk kan het kwik vrijkomen in de binnenlucht.

Blootstelling aan organisch kwik geschiedt vooral via de voeding.(8,6) Met name roofvissen die lang leven zoals zwaardvis, haai en koningsmakreel, bevatten relatief veel kwik. In Nederland is

snoekbaars een vissoort met relatief veel kwik. Andere veelgegeten vissoorten, zoals gewone makreel, haring, zalm, tonijn, kabeljauw en gekweekte paling, bevatten minder kwik. Alle vissoorten in Nederland blijven ruimschoots onder de gestelde wettelijke norm.(9) Voor meer informatie over kwik in voeding kan men terecht op de website van het Voedingscentrum (www.voedingscentrum.nl).

Na het schilderen van muren met latexverf die fenykwik bevat, kan de lucht een te hoog gehalte kwikdamp bevatten.(10) Het breken van een thermometer is voor zover bekend de belangrijkste bron van kwik binnenshuis. In dit hoofdstuk wordt dan ook de meeste aandacht gegeven aan metallisch kwik.

11.2.3 Inspectie

Kwik dat vrijkomt uit een thermometer ziet er uit als zilverkleurige vloeistof die in bolletjes bij elkaar blijft.

Het opruimen van gemorst kwik

GGD Groningen heeft in overleg met de medisch milieukundigen een protocol voor aanpak van kwikmorsing opgesteld.

Opruimen kan op de volgende manieren. Indien mogelijk kunnen de kwikdruppeltjes met een papiertje worden verzameld (tot één grote kwikdruppel) en vervolgens in een plastic zakje worden gedaan. Door zwavelbloem of zwavelpoeder op het kwik te strooien, wordt het gebonden en kan er minder kwik verdampen. Vervolgens moet het kwik-zwavelbloemmengsel worden verzameld en als chemisch afval worden behandeld. Zwavelbloem of zwavelpoeder is te koop bij de apotheek. Daarna kan de plek met water goed worden schoongemaakt, bijvoorbeeld met behulp van wegwerptissues of een oude lap. Kwik dat gemorst is op tapijt, is niet goed te reinigen. In dat geval moet het tapijt (gedeeltelijk) als chemisch afval verwijderd worden. Ook andere textiele oppervlakken, zoals kleding en knuffelbeestjes en alle schoonmaakmaterialen moeten luchtdicht verpakt en weggegooid worden en als chemisch afval behandeld worden (inclusief het metallisch kwik zelf). Gebruik in ieder geval géén stofzuiger: het metallisch kwik blijft namelijk achter in de stofzuiger. Daarna zal nog geruime tijd bij stofzuigen kwikdamp vrijkomen en in de woonruimte worden verspreid.

Alle lichaamsdelen die met het kwik in aanraking zijn geweest, moeten goed worden gewassen met water en zeep.(3) Het is belangrijk om tijdens en na het schoonmaken goed te ventileren.

11.2.4 Meten van kwik

De concentratie kwik kan worden gemeten in biologische monsters, of in monsters van bodem, water of lucht. Dit kan de GGD niet zelf. Het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) van het RIVM meet kwik in de samenstelling van neerslag in de buitenlucht.(11) Voor metingen in de binnenlucht zal opdracht moeten worden gegeven aan het RIVM of een gecertificeerd bureau van gemeente of provincie of een bedrijf.

De meest gebruikte methode voor het bepalen van totaal-kwik is de koude damp-atomaire absorptiespectrometrie (CV-AAS). Deze methode staat beschreven in de normen NEN 6438, NEN 6439, NEN 6445 en NEN 6449.(2,12) Deze techniek is toegepast in monitoren die continu de concentratie aangeven vanaf 1 ng/m³ Hg. Er zijn ook draagbare monitoren; die zijn minder gevoelig, bijvoorbeeld vanaf 1 µg/m³.

NEN-ISO 17733:2004 en Werkplekatmosfeer beschrijft de bepaling van het gehalte aan kwik en anorganische kwikcomponenten in de werkplekatmosfeer middels atomaire-absorptiespectrometrie met koude damp of atomaire fluorescentiespectrometrie.(12)

Metallisch kwik in de binnenlucht kan ook worden bepaald met een gasdetectiebuisje. Deze heeft echter een veel hogere detectiegrens.

11.2.5 Referentiewaarden: concentraties in woningen

In woningen is de kwikconcentratie over het algemeen vergelijkbaar met die in de buitenlucht.(2) In Nederland is voor zover bekend in Maastricht voor het laatst kwik in de buitenlucht gemeten. In de zomer van 2003 werd daar een gemiddelde van 2,4 ng/m³ kwik in de lucht gemeten, met een maximum van 12,2 ng/m³. Deze concentraties zijn deels beïnvloed door kwikuitstoot door de omliggende industrie.(13) In 1999 berekende het RIVM een achtergrondconcentratie van kwik in buitenlucht van 2-3 ng/m³.(14)

Een thermometer bevat ongeveer 1,5 gram kwik. In geval van een thermometerbreuk kunnen hoge concentraties kwik in de binnenlucht ontstaan. In een woonruimte waar een kwikthermometer was gebroken, werden op de dag van het morsen kwikconcentraties tot 25 µg/m³ gemeten. Na zeven weken was deze concentratie gedaald tot maximaal 9 µg/m³. Als het gemorst kwik snel wordt verwijderd, zullen de hoge kwikconcentraties van korte duur zijn.(15) Bij een casus bij GGD Eindhoven bleek echter dat huishoudelijk schoonmaken van gemorst kwik op een school niet voldoende was om de kwikconcentraties in de lucht voldoende te laten dalen. Pas na professionele schoonmaak waarbij ook de plinten werden verwijderd daalden de kwikconcentraties in de lucht tot een acceptabel niveau.(16)

In 2006 is in de regio Gelderland-Midden in een woning een industriële, kwik bevattende klok van de muur op de trap kapot gevallen. De bewoners hebben het kwik opgezogen met een stofzuiger. Kwikrestanten in deze stofzuiger kunnen bijgedragen hebben aan een verdere verspreiding van het kwik door het huis. Twee tot drie maanden later werd de elfjarige dochter in het ziekenhuis opgenomen met kwikvergiftiging. De Milieugevallendienst (MOD) heeft daarop in de woning veeg- en luchtmonsters genomen. Luchtmonsters in de woning gaven concentraties van 6 µg/m³ boven de trap, 3,6 µg/m³ in de slaapkamer van het meisje en 0,3 µg/m³ in de woonkamer.(17) De woning is schoongemaakt en drieënhalve week daarna zijn controlemetingen verricht. De concentratie bleek gedaald tot 0,33 µg/m³ in de gang bij de trap, tot 0,13 µg/m³ in de slaapkamer van het meisje en tot 0,10 µg/m³ in de woonkamer. Metingen in de slaapkamers van de zoon en de ouders toonden beide een concentratie van 0,18 µg/m³.(18)

Modelberekeningen geven aan dat bij een thermometerbreuk in een woning direct na het breken een kwikconcentratie van ongeveer 3 µg/m³ kan heersen. Wanneer het gemorst kwik niet wordt opgeruimd en de ventilatie slecht is, kan deze concentratie oplopen tot 45 µg/m³. Deze concentratie daalt dan slechts zeer langzaam. Gedurende één jaar kunnen deze dan boven het niveau van 0,5 µg/m³ (zie paragraaf 11.2.7 'Normen') blijven. Volgens het model kan het morsen van circa 0,2 gram kwik al voldoende zijn om een concentratie van 0,5 µg/m³ te overschrijden.(15)

In de Verenigde Staten heeft het Illinois Department of Public Health, dat zich onder andere bezighoudt met het verwijderen van gemorst kwik, na een gebroken thermometer nooit hogere concentraties van kwikdamp aangetroffen dan 1 µg/m³.(19)

Concentraties in het binnenmilieu kunnen sterk oplopen door het gebruik van kwik voor culturele of religieuze rituelen.(20) Bij deze rituelen wordt bijvoorbeeld kwik over de vloer gesprengd, in een kaars gebrand of met parfum gemengd.

11.2.6 Effecten op de gezondheid

Als (metallisch) kwik via de mond in het maagdar kanaal terechtkomt, is het nauwelijks schadelijk, omdat het kwik op die manier bijna niet wordt opgenomen in het lichaam. Het verdwijnt grotendeels via de ontlasting uit het lichaam. Dit in tegenstelling tot organische kwikverbindingen, zoals methylkwik in bijvoorbeeld vis, die wel gemakkelijk worden opgenomen.

Kwikdamp kan met name bij inademing de gezondheid aantasten. Het kwik dat via de longen in het lichaam wordt opgenomen, stapelt in de hersenen. Kwikdampen en organische kwikverbindingen kunnen het centrale zenuwstelsel aantasten. Bij opname van te veel kwikdamp door het lichaam treden niet-specifieke klachten op als vermoeidheid, gebrek aan eetlust en maagdar klachten. Bovendien kan kwik de nieren aantasten. Als de schade aan de nieren als gevolg van kwik beperkt is, kunnen de nieren zich waarschijnlijk weer helemaal herstellen. Bij een aanzienlijke opname kan er sprake zijn van trillen van de oogleden, lippen en vingers en kunnen er persoonlijk-

heidsstoornissen ontstaan. Deze gezondheidseffecten zijn over het algemeen tijdelijk, hoewel bij een zeer hoge blootstelling de gezondheidsschade permanent kan zijn.(3)

Geïnhaleerde kwikdamp wordt voor circa 80% geresorbeerd door de longen. Het kwik wordt door het hele lichaam verspreid. Nadat het metallisch kwik in het bloed is terechtgekomen zal het, vooral in de rode bloedcellen, snel worden omgezet in anorganisch kwik. De nieren zijn de belangrijkste opslagplaats. Metallisch en anorganisch kwik worden vooral via de fecaliën en urine uitgescheiden. Bij chronische blootstelling is de uitscheiding via de urine het grootst. In 1 à 2 maanden verlaat de helft van het kwik via de urine en fecaliën het lichaam.

De concentratie kwik in de urine, uitgedrukt in $\mu\text{g/l}$ of $\mu\text{g/g}$ creatinine, is na ongeveer een jaar van blootstelling een goede indicator voor de langetermijnblootstelling aan metallisch kwik. Het gehalte kwik in bloed geeft vooral een indicatie van recente blootstelling.

Metallisch kwik kan snel de bloed-hersenbarrière en de placenta passeren. Anorganisch kwik kan dit minder gemakkelijk. Door omzetting van het in de hersenen aanwezige metallisch kwik kan anorganisch kwik echter toch in de hersenen terechtkomen. Dit anorganisch kwik kan hier enkele jaren aanwezig blijven, omdat anorganisch kwik immers slechts in geringe mate de bloed-hersenbarrière kan passeren.(2)

Kinderen zijn gevoeliger voor kwikdamp dan volwassenen, omdat kinderen sneller ademen, hun bloed-hersenbarrière makkelijker gepasseerd kan worden en hun zenuwstelsel nog in ontwikkeling is. Kwikdamp is bovendien zwaar, waardoor de concentratie laag boven de grond, waar kleine kinderen zich bevinden, hoger is.(19)

Bij de mens zijn amalgaamvullingen de meest voorkomende bron van kwik. Door slijtage en kauwen kan er kwik uit de vullingen vrijkomen. Dit is zogenaamd gebonden kwik (anorganische kwikverbindingen) en kan niet veel kwaad, omdat het wordt doorgeslikt en vanuit het maagdarmkanaal nauwelijks wordt opgenomen in het lichaam.(2) Uit de vullingen kan ook kwikdamp vrijkomen dat kan worden opgenomen in het lichaam. Het is bekend dat mensen met vullingen meer kwik in hun lichaam hebben dan mensen zonder vullingen. Hoe meer vullingen iemand heeft, hoe meer kwik er vrij kan komen. De hoeveelheid kwik die vrijkomt uit de vullingen en uiteindelijk in het lichaam terechtkomt, is echter minimaal (1 tot 5 $\mu\text{g/dag}$).(21) De Gezondheidsraad constateerde in 1998 op verzoek van toenmalig minister Borst dat er geen wetenschappelijke aanwijzingen zijn dat kwik in amalgaamvullingen gezondheidsschade veroorzaakt.(22)

Effecten van acute blootstelling aan metallisch kwik

De belangrijkste gezondheidkundige effecten van acute blootstelling aan hoge concentraties metallisch kwik, vanaf 100 $\mu\text{g/m}^3$, zijn: tremoren, psychische afwijkingen, afname in motorische functie en spierreflexen, hoofdpijn, abnormale EEG's en effecten op de luchtwegen, zoals ademnood, hoesten en verminderde longfunctie.(2)

Effecten van chronische blootstelling aan metallisch kwik

Bij chronische blootstelling aan lagere kwikdampconcentraties van 25-80 $\mu\text{g/m}^3$ is het centrale zenuwstelsel het meest kritieke doelorgaan. Deze concentraties komen overeen met 20-100 μg metallisch kwik per gram creatinine in de urine. De effecten die kunnen optreden zijn ondermeer: tremoren, prikkelbaarheid, slecht concentratievermogen, problemen met het kortetermijngeheugen, verminderde prestaties bij psychomotorische vaardigheden zoals hand-oogcoördinatie en een verminderde zenuwgeleiding bij gevoelige groepen. Deze neurologische effecten zijn na een kort- of langdurende blootstelling min of meer gelijk. Alleen naarmate de blootstelling langer en/of hoger is, worden de effecten intensiever en mogelijk ook blijvend. Na langdurige blootstelling aan metallisch kwik kunnen er ook negatieve effecten in de nieren, zoals proteïnuria (eiwitten in de urine) en het zogenaamde nefrotisch syndroom (proteïnurie, hypoproteïnemie, oedeem en hyperlipemie, door onder andere intoxicaties) optreden.

Bij kinderen zijn na chronische blootstelling aan metallisch kwik de volgende symptomen beschreven: jeuk of pijn in vingers en tenen en soms ook in handen, voeten en neus met een roze verkleuring, later blauw en gezwollen, met transpiratie, spierzwakte, lusteloosheid en lichtschuwheid, ontstoken tandvlees en diverse andere symptomen. Deze aandoening wordt acrodynie of 'pink disease' genoemd. Ook een ander syndroom met rode pijnlijke huid, lymfklierzwellingen en koorts is wel eens aan kwik toegeschreven onder de naam mucocutaan lymfekliersyndroom, of 'Kawasaki disease'. Tegenwoordig wijt men dit syndroom aan andere (nog onbekende) oorzaken.(2,23)

Effecten van blootstelling aan methylkwik

Bij kwikconcentraties in urine vanaf 50 µg/l worden niet-specifieke klachten gerapporteerd als malaise, zwakheid, en cognitieve effecten. Bij concentraties vanaf 100 µg/l kwik in urine zijn neurologische effecten gerapporteerd.(23)

De Gezondheidsraad constateerde in 2000 dat metallisch kwik en methylkwik mogelijk schade kunnen toebrengen aan het ongeboren kind.(24) (Aan zwangere vrouwen moet daarom worden aangeraden om terughoudend te zijn met het eten van roofvissen. Zie de website van het Voedingscentrum voor de vissoorten die kwik bevatten.) Bij blootstelling aan metallisch kwik zijn geen mutagene effecten gevonden. Bewijzen voor carcinogeniteit zijn er evenmin.(2)

11.2.7 Normen

De gezondheidkundige advieswaarde voor kwikdamp in het binnenmilieu bedraagt 50 ng/m³ (jaargemiddeld). Deze waarde is vastgesteld op basis van een risicobeoordeling voor kwik in lucht door een werkgroep van de EU in 2003. Deze waarde is lager dan de TCL (toelaatbare concentratie in lucht) van 200 ng/m³, zoals het RIVM die in 2001 heeft voorgesteld voor metallisch kwik.(25)

In de Verenigde Staten is een 'Minimal risk level' (MRL, een schatting van de dagelijkse blootstelling die waarschijnlijk geen risico op negatieve gezondheidseffecten met zich meebrengt) vastgesteld voor kwikdamp van 0,2 µg/m³ voor langdurige blootstelling.(23)

Het Europese Parlement heeft geen normen vastgesteld voor kwik, omdat de concentraties die voorkomen in de buitenlucht lager zijn dan de concentraties waarbij negatieve gezondheidseffecten worden verwacht.(26)

Voor kwikalkylverbindingen bedraagt de MAC-waarde 10 µg/m³ met een MAC TGG-15min van 20 µg/m³. Vrouwen in de vruchtbare leeftijd moeten blootstelling aan deze stoffen zoveel mogelijk vermijden. Voor organische kwikverbindingen bedraagt de MAC-waarde 10 µg/m³, met een MAC TGG-15min van 30 µg/m³. De MAC-waarde voor anorganische kwikzouten bedraagt 20 µg/m³ sinds september 2006. (1,27) De MAC-waarde voor metallisch kwik bedraagt sinds september 2006 20 µg/m³. De MAC TGG-15min (tijdgewogen gemiddelde) bedraagt sinds 1986 500 µg/m³.(27)

11.2.8 Juridische aspecten

- 1980 Stoffenbesluit Cosmetics. Kwik mag niet worden toegepast in cosmetica (Staatsblad 256, 3 april 1980).
- 1985 Wet bestrijdingsmiddelen. Kwikhoudend pesticide is niet toegestaan in Nederland.
- 1991 Cadmiumbesluit. Verbod op cadmiumhoudende kleurstoffen in verpakkingen, waarmee ook kwikgebruik in verpakkingsmaterialen aan banden is gelegd (Staatsblad 1990).
- 1993 EG-Richtlijn 91/157/CEE. Alkaline batterijen mogen niet meer dan 0,025% kwik bevatten.
- 2000 Verbod op import en productie van kwikhoudende producten.
- 2003 Kwikbesluit. Voorraden van kwikhoudende producten moeten van de schappen zijn gehaald en als gevaarlijk afval zijn verwijderd. Kwikhoudende producten die voor 1 januari 2003 zijn aangeschaft en in gebruik zijn genomen, mogen gebruikt blijven worden en eventueel ook weer als tweedehandsproduct worden verhandeld. Consumenten moeten kwik als chemisch afval verwijderen.

2006 De Europese Commissie werkt aan een plan om in de hele EU kwik te verbieden in nieuwe thermometers en om chloorfabrieken die met kwikcellen werken te sluiten.

11.2.9 Verantwoordelijke partijen

De VROM-Inspectie ziet erop toe dat het Kwikbesluit wordt nageleefd. Consumenten kunnen met kwikhoudende afvalstoffen terecht bij het klein chemisch afvaldepot in hun gemeente of bij winkels met een inzamelplicht. Gaat het om grote hoeveelheden, dan kan men rechtstreeks contact zoeken met een verwerker van kwikhoudende afvalstoffen.(7)

De Europese Commissie heeft een strategie opgesteld om kwik in het (buiten)milieu te verminderen.(26)

11.3 Lood

Lood is vroeger veel toegepast in waterleidingen, vanwege de goede eigenschappen die lood hiervoor heeft (buigbaar, maar stabiel en bestand tegen corrosie). Vanwege de gezondheidseffecten die kunnen optreden door blootstelling aan lood in drinkwater is inmiddels het gebruik van lood in waterleidingen verboden. In oude woningen kan lood echter nog steeds voorkomen in leidingen. Daarnaast zijn er ook andere toepassingen van lood die in woningen kunnen voorkomen. Bovendien kan lood uit het buitenmilieu naar binnen komen. Lood vormt met name voor kinderen een risico vanwege de inwerking op het centrale zenuwstelsel.

11.3.1 Wat is lood?

Lood (scheikundig symbool: Pb) is een donkergrijs zacht metaal dat bij kamertemperatuur een vaste vorm heeft. Het komt van nature voor in verscheidene mineralen. Lood heeft een hoge dichtheid, laat weinig gamma- en röntgenstraling door, is een slechte geluidgeleider, is bijzonder buigzaam, is goed bestand tegen corrosie en is stabiel.(28)

11.3.2 Bronnen van lood

Lood werd vroeger verwerkt in waterleidingen. Voor de leidingen, maar ook voor de koppelstukken en het soldeer, werd lood gebruikt.(29) Tot 1940 waren alle waterleidingen van lood gemaakt. Tot 1945 zijn loden drinkwaterleidingen volop toegepast. Daarna is het gebruik van lood in waterleidingen afgenomen en sinds 1960 wordt lood vrijwel niet meer toegepast in waterleidingen. (29,30) Lood werd ook toegevoegd aan benzine. Sinds de komst van de katalysatoren rond 1987 kwam er loodvrije benzine op de markt. Sinds 2000 wordt er helemaal geen lood meer aan benzine toegevoegd.(31)

In het verleden werd lood gebruikt bij het bereiden van bepaalde soorten verf. Sinds ongeveer 1980 zit er geen lood meer in muurverf. Menie bevat van oudsher lood, hoewel tegenwoordig ook loodvrije menie te koop is.

Lood wordt daarnaast onder andere toegepast in batterijen, kogels, visloden, loodkoord in gordijnen en vitrage, loodglazuur op aardewerk, glas-in-lood, loodsoldeer. Bij het werken met deze producten kan loodstof op de kleding achterblijven en op die manier de woning binnenkomen. Lood kan ook vanuit de bodem, vanuit het straatstof en vanuit verf in het huisstof terechtkomen.

Zuigelingen kunnen via moedermelk lood binnenkrijgen. De loodconcentratie in moedermelk bedraagt ongeveer 5-10% van de loodconcentratie in het bloed van de moeder.(29)

In andere landen zijn kaarsen te koop waarvan de pit versterkt is met looddraad. Tijdens het branden leidt dit tot hoge loodgehalten van de lucht. Het regelmatig branden van dergelijke kaarsen kan leiden tot een loodvergiftiging.(32) Het is niet ondenkbaar dat dergelijke kaarsen ook in Nederland verkocht worden.

11.3.3 Inspectie

Loden waterleidingen zijn te herkennen aan de grijze kleur (anders dan de koperkleur van koperen leidingen). Loodhoudende verf is alleen te herkennen aan de productinformatie, bijvoorbeeld op het blik. Een loodkoord is een loden staafje onder in vitrage of een gordijn om de stof te verzwaren. Hierbij gaat het erom of met name kinderen direct bij het lood kunnen om eraan te zitten met hun handjes of om aan te sabbelen. Dit kan niet als het lood in kunststof zit of zich buiten bereik van kinderen bevindt. Wanneer gegeten wordt uit geglazuurd aardewerk kan dit leiden tot blootstelling aan lood.

11.3.4 Meten van lood

Loodconcentraties in drinkwater, huisstof en bodem kunnen door een daartoe gecertificeerd laboratorium bepaald worden. Het laboratorium heeft informatie over de wijze van monstername of doet dit zelf. Het meten van lood in straatstof is beschreven in een onderzoek van Cora Klaver naar lood in straatstof uit 1994.(33)

Ook het meten van lood in bloed kan een GGD niet zelf doen. Een GGD kan wel zelf monsters nemen. Voor de analyse van lood in bloed is 1 ml bloed (bij voorkeur veneus) nodig. Voor de afname zijn naalden en buisjes nodig die zelf vrijwel geen lood bevatten. Een voorbeeld hiervan is een S-Monovette® EDTA-buisje met bijbehorende naald. Het bloed moet vervolgens worden ingevroren en naar een laboratorium (bijvoorbeeld het LVM-AC van het RIVM) worden gebracht.

Wanneer een loodvergiftiging wordt vermoed, kan via de huisarts een bloedtest worden gevraagd. Veel huisartsen zijn echter niet volledig op de hoogte van loodvergiftiging.

11.3.5 Referentiewaarden van lood

Sinds er geen lood meer door autoverkeer wordt uitgestoten, is de loodconcentratie in lucht sterk gedaald. In het industriële Rijnmond bedragen de loodconcentraties in de lucht 9,6 ng/m³.(34)

In 1994 werden in een onderzoek naar lood in straatstof gemiddelde concentraties gevonden tussen 564 en 2340 µg/g.(33) Sinds het verdwijnen van lood uit benzine zullen deze concentraties zijn afgenomen.

De dagelijkse inname van lood via voeding bedraagt 0,05 µg/kg lichaamsgewicht (mediaan) voor volwassenen en 0,10 µg/kg lichaamsgewicht (mediaan) voor kinderen tot 6 jaar.(21)

In 2005 bedroeg de gemiddelde loodconcentratie in bloed van jonge kinderen in Rotterdam 18,9 µg/l.(35)

11.3.6 Effecten op de gezondheid

Lood kan in het lichaam terecht komen via de mond of via de longen. In het lichaam verdeelt lood zich over drie lichaamscompartimenten: bloed, zachte weefsels (organen en zenuwstelsel) en het bot. Verreweg het grootste deel komt in het bot terecht. Lood wordt voornamelijk uitgescheiden via urine (ca. 76%) en deels via het maagdarmkanaal (circa 16%) en via zweet, gal, haren en nagels (circa 8%).

Wanneer een zwangere vrouw meer dan 100 µg/l lood in haar bloed heeft, kan dat bij het kind leiden tot verminderde mentale ontwikkeling, vroeggeboorte en verlaagd geboortegewicht. Loodblootstelling van kinderen kan leiden tot neurologische en cognitieve effecten, zoals afwijkend gedrag en een verlaagd IQ.(29) Deze effecten kunnen al optreden bij concentraties in bloed onder 100 µg/l.(36) Ook bij concentraties onder 50 µg/l is al een relatie gevonden tussen de loodconcentratie in bloed en cognitieve en academische vaardigheden.(37) Bij pubermeisjes met een loodconcentratie in bloed van 30 µg/l is vertraagde puberteitsontwikkeling aangetoond ten opzichte van meisjes met 10 µg/l lood in hun bloed.(38)

Een totaal overzicht van de gezondheidseffecten wordt gegeven in Tabel 11.1, die afkomstig is van de website van de Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR).

Tabel 11.1 Gezondheidseffecten bij loodconcentraties in bloed.(39)

Levensfase	Gezondheidseffect	Lood in bloed ($\mu\text{g/l}$)
Kinderen	verminderde activiteit ALAD enzym	< 50
	neurologische effecten	< 100
	seksuele rijping	< 100
	verminderd vitamine D metabolisme	> 150
	verhoogd erytrocyt porfirine (EP)	> 150
	vertraagde zenuwgeleiding	> 300
	verminderd hemoglobine	> 400
	koliek	> 600
Volwassenen	verminderde glomerulaire filtratie	< 100
	verhoogde bloeddruk	< 100
	verhoogd erytrocyt porfirine (EP) bij vrouwen	> 200
	enzym- en eiwituitscheiding in urine	> 300
	perifere neuropathie	> 400
	neurologische effecten	> 400
	verstoord schildklierhormoon	> 400
	verminderde vruchtbaarheid	> 400
	verminderd hemoglobine	> 500
	Ouderen	verminderd ALAD-enzym
neurologische effecten		> 40

11.3.7 Normen

De jaargemiddelde grenswaarde voor lood in de buitenlucht is $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ volgens de WHO en het Besluit luchtkwaliteit. Dit is tevens de gezondheidkundige advieswaarde voor het binnenmilieu.(25,34) Voor lood in huisstof bestaat geen norm.

De WHO-norm voor lood in drinkwater bedraagt $10 \mu\text{g}/\text{l}$. In Nederland stelde de Gezondheidsraad dat, in plaats van de Nederlandse norm te verlagen van $50 \mu\text{g}/\text{l}$ naar $10 \mu\text{g}/\text{l}$, het vervangen van loden waterleidingen effectiever is om blootstelling te verlagen.(29)

Voor lood in bloed bestaan geen normen, wel een richtwaarde. De Centers for Disease Control and Prevention (CDC) heeft in 1991 een 'level of concern for children' vastgesteld van $100 \mu\text{g}/\text{l}$.(40) Over deze richtlijn bestaat veel discussie, omdat ook onder $100 \mu\text{g}/\text{l}$ lood in bloed gezondheidseffecten zijn aangetoond. Er lijkt geen drempelwaarde te bestaan.

Volgens de Codex Alimentarius (een internationaal forum dat normen voor voeding ontwikkelt) is de maximaal te tolereren dagelijkse hoeveelheid lood die iemand mag binnenkrijgen $3,57 \mu\text{g}/\text{kg}$ lichaamsgewicht. Voor een volwassene van zeventig kilo komt dat neer op $250 \mu\text{g}/\text{dag}$.(41)

11.3.8 Juridische aspecten

Vanaf 1988 geldt in Nederland een verbod op toepassing van loden drinkwaterleidingen.(42) Het gebruik van loodhoudend soldeer is sinds 1 maart 1995 verboden door de drinkwaterbedrijfstak.(29) EU-Richtlijn 80/778, deel d, betreft onder andere lood in drinkwater.

Volgens EU- Richtlijn 98/70 geldt sinds 1 januari 2000 een verbod op het verkopen van gelode benzine.(31)

Het Besluit luchtkwaliteit stelt een grenswaarde voor lood van $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, gemiddeld over een jaar.(34)

11.3.9 Verantwoordelijke partijen

De Waterleidingbedrijven in Nederland zijn verantwoordelijk voor de vervanging van de loden leidingen tot de voordeur. Alle leidingen tot aan de watermeter, of, als er geen watermeter is, alle

leidingen tot het punt dat ze het huis binnenkomen, vallen niet onder de verantwoordelijkheid van de huiseigenaar maar onder die van het waterleidingbedrijf. De meeste van deze toevoerleidingen of dienstleidingen zijn inmiddels vervangen.

Huiseigenaren zijn zelf verantwoordelijk voor het vervangen van loden drinkwaterleidingen in de woning. Alle leidingen vanaf de watermeter, dus ook als die buiten staat opgesteld, vallen onder de verantwoordelijkheid van huiseigenaren. Gemiddeld kost het vervangen zo'n 1.400 euro. Er bestond een subsidieregeling, maar deze is inmiddels opgeheven.(30)

11.4 Cadmium

11.4.1 Wat is cadmium?

Cadmium is een metaal dat voornamelijk als bijproduct uit zinkerts wordt gewonnen. Het komt van nature voor in de aardkorst. Cadmium (scheikundig symbool: Cd) komt bij kamertemperatuur in twee vormen voor: als een zilverwit metaal dat een vaste vorm heeft en als grijs poeder. Cadmiumpoeder is brandbaar en explosief bij reactie met lucht. Voorbeelden van cadmiumverbindingen zijn cadmiumchloride, cadmiumoxide en cadmiumsulfaat.

11.4.2 Bronnen van cadmium

Cadmium wordt gebruikt in onder andere oplaadbare batterijen, accu's, fotografische films, in pigmenten voor keramiek, email, glas en olieverf. Ook kan het nog aanwezig zijn in zink, gips, veevoeders en meststoffen. Cadmium wordt ook gebruikt om metalen van een oppervlaktelaag te voorzien, het zogenaamde cadmeren. Het kan als kleurstof voorkomen in kunststof. Rood, oranje, geel en groen kunststof heeft de grootste kans dat het cadmium bevat. Het komt voor in uiteenlopende producten, van pennen en archiefmappen tot speelgoed. Cadmium wordt ook als stabilisator gebruikt in PVC.(43) Daarnaast komt cadmium voor in voeding. Het meeste cadmium zit in schaal- en schelpdieren, vis, sommige wilde paddestoelen en orgaanvlees, zoals lever en niertjes. Ook in andere soorten vlees kan cadmium voorkomen. In rijst, granen, bladgroenten en brood zitten kleine hoeveelheden cadmium.(44) Cadmium zit ook in sigarettenrook. Eén sigaret bevat ongeveer 1-2 µg cadmium. Hiervan wordt circa 10% geïnhaleerd. Uit twintig sigaretten nemen rokers dus ongeveer 2-4 µg cadmium op.(45)

Cadmium dat in de bodem terecht is gekomen, kan van daaruit in het huisstof terecht komen. In door industrie met cadmium vervuilde gebieden, zoals in de Kempen, zijn de cadmiumconcentraties in het huisstof hoger dan in andere gebieden. Stof in huis is een belangrijke cadmiumbron.(46) Een onderzoek in Canada toonde aan dat de concentraties van cadmium in huisstof gemiddeld hoger zijn dan de concentraties in straatstof of tuingrond, door toevoeging van cadmium door bronnen binnenshuis (waaronder tabaksrook).(47)

11.4.3 Meten van cadmium

Meten van cadmium in lucht, bodem of in (voedings)producten kan niet door de GGD worden uitgevoerd. Dergelijke metingen kunnen door het RIVM of een gespecialiseerd bureau worden uitgevoerd. Een GGD-medewerker kan wel monsters nemen. Diverse NEN-normen beschrijven hoe het cadmiumgehalte bepaald moet worden.(12) Blootstelling aan cadmium kan worden gemeten in de urine. Cadmium wordt via de urine uitgescheiden uit het lichaam. Een verhoogde cadmiumconcentratie in urine wijst op (langdurige) blootstelling aan cadmium. Cadmiumbepalingen in urine kunnen door een gecertificeerd laboratorium (bijvoorbeeld van het RIVM) worden uitgevoerd.

11.4.4 Referentiewaarden: concentraties in woningen

Het RIVM heeft in 1998 achtergrondconcentraties van cadmium in buitenlucht gemeten. Deze concentraties lagen tussen 0,2 en 0,4 ng/m³. Nabij industrie lagen de concentraties tussen 0,4 en 0,6 ng/m³.(14)

In Groot-Brittannië werd in 1988 een gemiddelde cadmiumconcentratie in huisstof gerapporteerd van 6,9 mg/kg. Hand-mondcontact zou daarmee leiden tot een cadmiuminname van ongeveer 0,7 µg per dag. Dit zal hoger zijn in gebieden met veel cadmium in de bodem.(45)

De dagelijkse inname van cadmium via voeding bedraagt 0,14 µg/kg lichaamsgewicht (mediaan) voor volwassenen en 0,32 µg/kg lichaamsgewicht (mediaan) voor kinderen tot 6 jaar.(21)

11.4.5 Effecten op de gezondheid

Cadmium is giftig en is niet-afbreekbaar; het hoopt zich op in het menselijk lichaam. De opname van cadmium in het lichaam kan op twee manieren gebeuren.

Orale blootstelling

Cadmium kan via de mond (vanuit voedsel, huisstof, of door sabbelen) in het maag-darmkanaal terechtkomen. In het maag-darmkanaal wordt ongeveer 5% opgenomen in het lichaam. Bij mensen met ijzertekort kan dit oplopen tot 15%.

Bij chronische orale blootstelling kunnen lage concentraties al tot nierbeschadiging leiden. Het leidt tot tubulaire en milde glomerulaire insufficiëntie in de nieren en verhoogd verlies van calcium via urine door beschadiging van nierfilters. Ook botbreuken, vooral in de risicogroep van post-menopauzale vrouwen, kunnen toenemen door langdurige orale blootstelling aan cadmium. Cadmium heeft primair effect op de nieren, maar kan daarnaast effect hebben op de lever, hart en bloedvaten en het immuunsysteem.(45,46,48,49)

Een eenmalige blootstelling aan heel hoge doses (350-3500mg) cadmium kan leiden tot sterfte door dehydratie.(49)

Inhalatoire blootstelling

De tweede blootstellingsroute is via het inademen van stofdeeltjes die cadmium bevatten. Zwendend of neervallend stof, maar ook opwaaiend stof bevat een fijne fractie die gemakkelijk diep in de longen kan doordringen. Ingeademd cadmium wordt voor 50 tot 60% opgenomen in het lichaam. Sigarettenrook bevat ook cadmium, waardoor rokers een hogere opname door inademing hebben.

Inhalatie van hoge concentraties cadmium kan leiden tot chronische obstructieve luchtwegaandoeningen. Chronische inhalatie van cadmium leidt tot chronische ontstekingsreacties in de longen, longfibrose en verschijnselen van longemfyseem.(45,49) Daarnaast kan cadmium longkanker veroorzaken.(50) Het IARC heeft cadmium en zijn verbindingen dan ook ingedeeld als een menselijk carcinogeen. Ook bij inhalatoire blootstelling worden de nieren beschadigd door cadmium.(49)

Eenmalige blootstelling aan erg hoge doses cadmium (2500 mg/m³ gedurende 1 minuut of 5 mg/m³ gedurende 8 uur) kan leiden tot sterfte door longaandoeningen.(49)

De Gezondheidsraad heeft de volgende labels van de Europese Unie aan cadmium en cadmiumverbindingen gehangen (51):

Fertiliteit:	categorie 3 ('substances which cause concern for human fertility')
	R62 ('possible risk of impaired fertility')
Ontwikkeling:	categorie 3 ('substances which cause concern for humans owing to possible developmental toxic effects')
	R63 ('possible risk of harm to the unborn child')
Borstvoeding:	R64 ('may cause harm for breastfed babies')

11.4.6 Normen

Uit arbeidshygiënische studies werd door de WHO voor nieraandoeningen een LOAEL (lowest observed adverse effect level) van 100 µg/m³ maal het aantal jaren vastgesteld. Hier kan een NOAEL (no observed adverse effect level) uit worden afgeleid, rekening houdend met een levenslange blootstelling en verschillen tussen dieren en mensen, en op basis daarvan beveelt de WHO voor andere effecten dan kanker een grenswaarde aan van 5 ng/m³.(52)

De Werkgroep inzake metalen en het Wetenschappelijk Comité inzake Toxiciteit, Ecotoxiciteit en het Milieu (WCTEM) raden aan als jaargemiddelde een totale cadmiumconcentratie in de lucht van 5 ng/m³ niet te overschrijden om andere schadelijke effecten dan kanker te voorkomen. Dit komt overeen met het accepteren van een verhoogd risico over de rest van het leven van maximaal 20 gevallen per miljoen.(52)

De aanvaardbare hoeveelheid cadmium die mensen dagelijks via de voeding binnen mogen krijgen, is volgens de WHO 1µg/kg lichaamsgewicht. Deze norm is vastgesteld door een veiligheidsmarge van een factor 10 toe te passen op de laagste dosis cadmium die een negatief effect had bij proefdieren.(44)

De MAC-waarde voor cadmium en cadmiumverbindingen is vastgesteld op 0,005 mg/m³.(27)

11.4.7 Juridische aspecten

Cadmiumbesluit

Sinds 1 juli 1999 is het Cadmiumbesluit, Wet milieugevaarlijke stoffen 1999 van kracht. Dit besluit verbiedt het gebruik van cadmium als pigment, kleurstof, stabilisator en oppervlaktelaag. Verder verbiedt het besluit het produceren, importeren, verhandelen en het op voorraad hebben van:

- producten waarin pigment, kleurstof of stabilisator is gebruikt en waarvan het cadmiumgehalte meer dan 100 mg/kg bedraagt;
- producten met een cadmiumhoudende oppervlaktelaag waarin stof of verf is gebruikt met een cadmiumgehalte van meer dan 100 mg/kg;
- gips met een cadmiumgehalte van meer dan 2 mg/kg;
- cadmiumhoudende fotografische film;
- cadmiumhoudende fluorescentielampen.

Het Cadmiumbesluit is een Algemene maatregel van bestuur (AMvB) op grond van de Wet milieugevaarlijke stoffen. Het heeft tot doel de verspreiding van cadmium in het milieu tegen te gaan. Het besluit vertaalt de Europese Cadmiumrichtlijn (officieel de Richtlijn 91/338/EEG) van 12 juli 1991 in Nederlandse wetgeving. Voor sommige belangrijke toepassingen is cadmium nog altijd nodig. Het gaat hierbij onder andere om cadmium dat wordt gebruikt in de oppervlaktelaag van producten in de lucht-, en ruimtevaart, de off-shore industrie en elektrische contacten en als pigment of kleurstof in glazuur, glazuurverf, email, keramiek en kunstschilderverven. De EU werkt aan een wijziging van de richtlijn voor cadmium. Het is nog niet duidelijk wat in deze richtlijn wordt opgenomen en wanneer deze in werking treedt.

Warenwet

In de Warenwet is vastgelegd wat de maximaal toegestane hoeveelheid cadmium in levensmiddelen is.

Warenwetbesluit speelgoed

Besluit uit 1991, bevat regels voor producten die op de Nederlandse markt worden gebracht om de veiligheid ervan zoveel mogelijk te waarborgen. In artikel 11.1. staat dat 'speelgoed en kindervaren' geen bepaalde gevaarlijke stoffen of gevaarlijke preparaten mogen bevatten in hoeveelheden die de gezondheid van het kind kunnen schaden. De 'biologische beschikbaarheid ten gevolge van het gebruik van speelgoed en kindervaren' van cadmium mag per dag niet meer bedragen dan 0,6 µg.

Waterleidingbesluit

Drinkwater mag volgens het Waterleidingbesluit van het ministerie van VWS maximaal 5 µg cadmium per liter bevatten.

11.4.8 Verantwoordelijke partijen

De Voedsel en Waren Autoriteit ziet toe op naleving van de normen. Consumenten moeten cadmiumhoudend afval behandelen als chemisch afval.

11.5 Organotin

11.5.1 Wat is organotin?

Organotin is een verzamelnaam voor organische verbindingen die tin bevatten (tin gebonden aan koolstof). De bekendste organotinverbinding is tributyltin (TBT). Andere verbindingen zijn onder andere mono-, di- en trimethyltin, mono-, di- en tetrabutyltin (MBT, DBT en TeBT), mono- en dioctyltin (MOT en DOT), tricyclohexyltin (TCHT) en trifenyltin (TPT). Organotinverbindingen worden gebruikt als bestrijdingsmiddel en als stabilisator in PVC: een toevoeging die de plastics beschermt tegen hitte, UV-straling en lucht. Tri-organotins worden vooral ingezet als bestrijdingsmiddel. Di- en mono-organotins worden vooral toegepast als stabilisatoren van PVC.(53)

11.5.2 Bronnen van organotin

Organotinverbindingen zijn te vinden in producten van PVC, bijvoorbeeld in verpakkingsmaterialen, vloer- en wandbedekking, buizen, credit cards en flessen. De organotinverbindingen bevinden zich ook in textielproducten die polymeren bevatten, zoals T-shirts met opdruk, maandverband en luiers. Organotinverbindingen worden daarnaast toegepast in textiel en leer, vooral om bacteriegroei en zweetlucht tegen te gaan. Tevens worden ze gebruikt tegen schimmel en rotting in producten die worden blootgesteld aan natte omstandigheden, zoals tentdoek.(54-57)

De meest gebruikte organotinverbindingen in consumentenproducten zijn mono- en dibutyltin. Tweederde zit in PVC-producten als leidingen, panelen, behang, vloerzeil en speelgoed. De rest wordt onder meer toegepast in glascoatings. Ook mono- en dioctyltin worden vooral gebruikt in (voedselverpakkingen van) PVC.(53). Amerikaanse literatuur vermeldt de toepassing van organotinoxiden in interieurverf.(58)

De belangrijkste uitstoot van organotinverbindingen vindt plaats tijdens het gebruik. Vanuit PVC-waterleidingen kunnen organotinverbindingen in het drinkwater terechtkomen.

11.5.3 Referentiewaarden

Greenpeace liet in 2000 acht Europese parlamentsgebouwen onderzoeken op gevaarlijke stoffen, waaronder organotinverbindingen. De totale organotinconcentraties varieerden tussen 0,49 mg/kg en 3,48 mg/kg.(56) De concentraties in de Nederlandse Tweede Kamer (kantoren en trappen met tapijt) staan vermeld in Tabel 11.2. Vermoedelijk zijn deze organotinverbindingen afkomstig uit vloerbedekking, behang en diverse kunststofproducten.

In 2003 heeft Greenpeace in 51 Belgische woningen stofmonsters genomen en geanalyseerd op onder andere organotinverbindingen (Tabel 11.3).(59)

Tabel 11.2 organotinverbindingen in de Tweede Kamer, 2000.(56)

Organotinverbindingen in stofmonsters (µg/kg, ppb)								
MBT	DBT	TBT	TeBT	MOT	DOT	TCHT	TPT	Totaal organotin
1720	891	19,6	<1	293	67,5	<1	<1	2991,1
1540	814	187	<1	265	76,2	<1	<1	2882,2
1670	480	46,6	<1	832	140	<1	<1	3168,6
286	342	38,9	<1	15,1	4,3	<1	<1	686,3

MBT=monobutyltin, DBT=dibutyltin, TBT=tributyltin, TeBT=tetrabutyltin, MOT=monoocetyltn, DOT=dioctyltin, TCHT= tricyclohexyltin, TPT=trifenyltin.

Tabel 11.3 Organotinconcentraties in huisstof in België, Greenpeace 2003.(59)

Organotinconcentratie in huisstofmonsters, µg/kg								
	MBT	DBT	TBT	TeBT	MOT	DOT	TPT	Totaal
Gemiddelde	567	1417	280	6	86	113	1	2470
Mediaan	147	499	51	<10	61	62	<10	690

MBT=monobutyltin, DBT=dibutyltin, TBT=tributyltin, TeBT=tetrabutyltin, MOT=monoocetyl tin, DOT=diocetyl tin, TPT=trifenyln tin.

11.5.4 Effecten op de gezondheid

Er is weinig bekend over effecten op de gezondheid van mensen. Korte blootstelling kan leiden tot huid- en oogirritatie.(60,61) Andere gerapporteerde effecten na dermale of inhalatoire blootstelling zijn algemene malaise, misselijkheid, maagpijn, droge mond, verstoord zicht en kortademigheid.(61) Na inhalatie kunnen organotinverbindingen in de longen geabsorbeerd worden om vervolgens met name naar bloed en lever te gaan en in mindere mate naar andere organen.(62) Na orale inname van grote hoeveelheden organotin kunnen buikpijn, anemie, lever- gal- en nierproblemen ontstaan.(60,61) Over het algemeen zijn triorganotinverbindingen meer toxisch dan mono- en diorganotinverbindingen. Trimethyltin en triethyltin worden goed opgenomen vanuit het maag-darmkanaal en kunnen inwerken op het centrale zenuwstelsel.(54,60,61) Organotin-verbindingen zijn immunotoxisch: er worden met name effecten waargenomen op de thymus (onderdrukking van de thymusafhankelijke immuniteit. Vele organotin-verbindingen hebben ook effecten op de hormoonbalans.(63) In dieren is aangetoond dat enkele verbindingen zoals di- en tributyltin en trifenyln tin behalve op het immuunsysteem ook inwerken op het reproductiesysteem.(54,60)

11.5.5 Normen

Voor TBToxide is een NOAEL (no observed adverse effect level) voor immunotoxiciteit van 0,025 mg/kg lichaamsgewicht per dag geïdentificeerd in chronische voedingsstudies. Omdat TBT, DBT, TPT en DOT in gelijke mate immunotoxisch zijn, heeft de Europese voedselveiligheid autoriteit (EFSA) op basis hiervan een TDI voor deze hele groep van organotinverbindingen vastgesteld. Voor mogelijke gecombineerde effecten is een factor 100 toegepast en een TDI van 0,25 µg/kg lichaamsgewicht vastgesteld, voor TBT, DBT, TPT en DOT verbindingen.(64)

Het RIVM noemt voor TPT een ADI (acceptable daily intake) van 0,5 µg/kg lichaamsgewicht voor orale of systemische blootstelling en voor dialkyltinverbindingen een TDI (tolerable daily intake) van 2,3 µg/kg lichaamsgewicht voor orale of systemische blootstelling.(54)

De TLV (Threshold Limit Value, Amerikaanse richtlijn voor acht uur op een werkplek) voor organische tinverbindingen bedraagt 0,1 mg Sn/m³. De STEL (Short Term Exposure Limit, Amerikaanse richtlijn voor korte duur – 15 minuten – op een werkplek) bedraagt 0,2 mg Sn/m³.(65)

11.5.6 Juridische aspecten

Organotinverbindingen mogen sinds 2003 niet meer worden toegepast in scheepsverf. Voor alle andere toepassingen van organotinverbindingen bestaat nog geen internationaal verbod.(53,31)

11.6 Referenties

1. Chemiekaarten®. Gegevens voor veilig werken met chemicaliën. 21^e editie 2006. Samenwerkingsverband-Chemiekaarten (TNO Kwaliteit en Leven, VNCl). Sdu Uitgevers. Den Haag, 2005.
2. Slooff W, Beelen P van, Annema JA, Janus JA. Basisdocument Kwik. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 710401023. Bilthoven, 1994.
3. Website GGD Rotterdam-Rijnmond. Factsheet Kwik. www.ggd.rotterdam.nl.
4. Hulpverleningsdienst Groningen. Milieu en gezondheid: kwik. www.ggdgroningen.nl.

5. World Health Organization. Environmental Health Criteria 101 Methylmercury. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1990.
6. World Health Organization. Environmental Health Criteria 118 Inorganic Mercury. International Programme on Chemical Safety. Geneva, 1991.
7. Website Ministerie van VROM. Dossier Kwik. www.vrom.nl.
8. VROM-Inspectie. VROM-Inspectie controleert naleving Kwikbesluit: handels- en productieverbod onvoldoende bekend. Ministerie van VROM. Informatieblad. 2004.
9. Website Voedingscentrum. Kwik: bronnen en normen. www.voedingscentrum.nl.
10. Beusterien KM, Etzel RA, Agocs MM, Egeland GM, Socie EM, Rouse MA, Mortensen BK. Indoor air mercury concentrations following application of interior latex paint. *Arch Environ Contam Toxicol* 1991; 21(1): 62-4.
11. Website RIVM. Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit. www.rivm.nl.
12. Website Nederlands Normalisatie Instituut. www.nen.nl.
13. HMO. Metingen concentraties Kwik in lucht bij het Gouvernement, Maastricht 2003. Bureau HMO, Provincie Limburg, Afdeling Handhaving en Monitoring. Maastricht, 2003.
14. Buijsman E. Assessment of air quality for arsenic, cadmium, mercury and nickel in the Netherlands. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 72999002. Bilthoven, 1999.
15. Andriessen JW. Kwik in het binnenmilieu. Afstudeerscriptie Van Hall Instituut Groningen. Groningen, 1995.
16. Lierop G van. *Persoonlijke mededeling naar aanleiding van casus in 2001 op een school in Eindhoven*. GGD Eindhoven. Juli 2006.
17. Schols E, Reijnders HFR. Briefrapport Kwik. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 20061078 IMD es. Bilthoven, 2006.
18. Putten, EM van. Briefrapport Vervolg kwik metingen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 20061151 IMD emvp. Bilthoven, 2006.
19. Baughman TA. Elemental mercury spills. *Environ Health Perspect* 2006; 114(2): 147-52.
20. Garetano G, Gochfeld M, Stern AH. Comparison of Indoor Mercury Vapor in Common Areas of Residential Buildings with Outdoor Levels in a Community Where Mercury Is Used for Cultural Purposes. *Environ Health Perspect* 2006; 114(1): 59-62.
21. Winter-Sorkina R de, Bakker MI, Donkersgoed G van, Klaveren JD van. Dietary intake of heavy metals (cadmium, lead and mercury) by the Dutch population. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 320103001. Bilthoven, 2003.
22. Gezondheidsraad. Tandheelkundige restauratiematerialen. Gezondheidsraad rapportnr.1998/09. Den Haag, 1998.
23. Website Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs Mercury. www.atsdr.cdc.gov.
24. Gezondheidsraad. Mercury and its compounds. Evaluation of the effects on reproduction, recommendation for classification. Gezondheidsraad rapportnr, 2000/05OSH. Den Haag, 2000.
25. Dusseldorp A, Bruggen M van, Douwes J, Janssen PJCM, Kelfkens G. Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609021029/2004. Bilthoven, 2004.
26. Commission of the European Communities. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament. Community Strategy Concerning Mercury. Brussel, 2005.
27. Website Sociaal-Economische Raad (SER). MAC-waarden. www.ser.nl.
28. World Health Organization. Environmental Health Criteria 165 Inorganic Lead. International Programme on Chemical Safety. Genève, 1995.
29. Gezondheidsraad. Lood in drinkwater. Gezondheidsraad rapportnr. 1997/07. Den Haag, 1997.
30. Website Ministerie van VROM. Dossier Lood in drinkwater. www.vrom.nl.

31. Website EU Milieubeleid. 6.18 Lood in benzine. www.eu-milieubeleid.nl.
32. Alphen M van. Emission testing and inhalational exposure-based risk assessment for candles having Pb metal wick cores. *Sci Total Environ* 1999; 243-244: 53-65.
33. Klaver C. Oriënterend onderzoek naar loodgehalten in straatstof. Katholieke Universiteit Nijmegen. Nijmegen, 1994.
34. DCMR. Lucht in cijfers 2005. Luchtkwaliteit in het Rijnmondgebied. DCMR Milieudienst Rijnmond, Bureau Lucht. Schiedam, 2006.
35. Peeters E. Kinderlood. Onderzoek naar de loodconcentraties in bloed van Rotterdamse kinderen anno 2005 en de invloed hierop van lood in de bodem. GGD Rotterdam en omstreken. Rotterdam, 2006.
36. Canfield RL, et al. Intellectual impairment in children with blood lead concentrations below 10 µg per deciliter. *N Eng J Med* 2003; 348: 1517-26.
37. Lanphear BP et al. Cognitive deficits associated with blood lead concentrations <10 µg/dl in US children and adolescents. *Public Health Reports* 2000; 115: 521-9.
38. Selevan SG et al. Blood lead concentration and delayed puberty in girls. *N Eng J Med* 2003; 348: 1527-36.
39. Website Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs Lead. www.atsdr.cdc.gov.
40. Centers for Disease Control. Preventing lead poisoning in young children. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, CDC. Atlanta, 1991.
41. Website Voedingscentrum. Lood. www.voedingscentrum.nl.
42. Website Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Thema/Bouwmaterialen/Maatregelen. www.rijkswaterstaat.nl.
43. Website Ministerie van VROM. Dossier Cadmium. www.vrom.nl.
44. Website Voedingscentrum. Cadmium: bronnen en normen. www.voedingscentrum.nl.
45. World Health Organization. Environmental Health Criteria 134 Cadmium. International Programme on Chemical Safety. Genève, 1992.
46. Website Medische Milieukunde (MMK) België. www.mmk.be.
47. Rasmussen PE, Subramanian KS, Jessiman BJ. A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. *Sci Total Environ* 2001; 267(1-3): 125-40.
48. Website Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs Cadmium. www.atsdr.cdc.gov.
49. Ros JPM, Slooff W. Ontwerp basisdocument cadmium. RIVM-rapportnr. 758476002. Bilthoven, 1987.
50. Nawrot T et al. Environmental exposure to cadmium and risk of cancer: a prospective population-based study. *Lancet Oncology*, DOI: 10.1016/S1470-2045(06)70545-9. Published online 2006 January 16, 2006.
51. Gezondheidsraad. Cadmium and its compounds. Evaluation of the effects on reproduction, recommendation for classification. Gezondheidsraad rapportnr. 2000/04OSH. Den Haag, 2000.
52. Commissie van de Europese Gemeenschappen. Voorstel voor een richtlijn van het Europees Parlement en de Raad betreffende arseen, cadmium, kwik, nikkel en polycyclische aromatische koolwaterstoffen in de lucht. COM(2003) 423 definitief; 2003/0164 (COD). Brussel, 2003.
53. Website Greenpeace. Organotinverbindingen. www.greenpeace.nl.
54. Janssen PJCM, Veen MP van, Speijers GJA. Health Risk Assessment for Organotins in Textiles. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 613350002. Bilthoven, 2000.
55. Gaikema FJ, Alberts PJ. Gaschromatografische bepaling van residuen van organotinverbindingen in textielproducten. *De Ware(n) Chemicus* 1999; 29: 23-33.

56. Santillo D, Johnston P, Brigden K. The presence of brominated flame retardants and organotin compounds in dusts collected from Parliament buildings from eight countries. Greenpeace Research Laboratories. Technical note 03/2001. Exeter, UK, 2001.
57. Website The Ecology Center. http://www.ecocenter.org/releases/dust_rpt/Dust-Appendices.doc
58. Greenpeace. Hazardous Chemicals in Belgian House Dust. Report on chemical content in house dust samples collected in Belgian homes and offices. Brussel, 2004.
59. Centers for Disease Control. Acute effect of indoor exposure to paint containing bis(tributyltin) oxide – Wisconsin, 1991. *Morb Mortal Wkly Rep* 1991; 40(17): 280-1.
60. Website Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR). ToxFAQs Tin and Tin Compounds. www.atsdr.cdc.gov.
61. World Health Organization. Environmental Health Criteria 15 Tin and Organotin Compounds: A Preliminary Review. International Programme on Chemical Safety. Genève, 1980.
62. Klaassen CD, red. Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons. Fifth edition. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York, USA, 1996.
63. Voedsel en Waren Autoriteit. Chemische veiligheid van scoubidou touwtjes. Gehalte en afgifte van ftalaten. Gehalte en afgifte van organotin. Bijlage VI. VWA rapportnr. Nd04o061/01. Groningen, 2004.
64. Website European Food Safety Authority. Tin. www.esfa.europa.eu.
65. Website Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Chemical sampling information, Tin, organic compounds. www.osha.gov.

12

Niet-ioniserende straling

12.1 Inleiding

Niet-ioniserende straling omvat alle vormen van elektromagnetische straling en -velden die niet genoeg energie hebben om ionisatie te veroorzaken⁴. Niet-ioniserende straling heeft een golflengte van meer dan ongeveer 100 nm en een frequentie kleiner dan ongeveer 3000 THz.⁵ Het gaat daarbij om de statische elektrische en magnetische velden (0 Hz), de extreem laagfrequente velden (0 – 300 Hz), de radiofrequente velden (300 Hz – 300 GHz¹⁰) en de optische straling (infrarode straling, zichtbaar licht en ultraviolette straling), zie Figuur 12.1.(1)

In dit hoofdstuk worden de extreem laagfrequente (ELF) velden en radiofrequente (RF) velden besproken. De ioniserende straling wordt in het volgende hoofdstuk besproken.

Elektrische, magnetische en elektromagnetische velden komen van nature overal in het milieu voor. Elektrische velden ontstaan als er een elektrische spanning (uitgedrukt in Volt) aanwezig is. De sterkte van elektrische velden wordt uitgedrukt in volt per meter (V/m). Magnetische velden ontstaan als er een elektrische stroom (uitgedrukt in Ampère) loopt. De sterkte van het magnetisch veld wordt uitgedrukt in Tesla (T). De sterkte van een magnetisch veld is recht evenredig met de sterkte van de stroom waardoor het wordt opgewekt.

Een veranderend elektrisch veld veroorzaakt altijd een magnetisch veld en omgekeerd. Het elektrische veld en het magnetische veld zijn daarom twee componenten van één veldverschijnsel, het elektromagnetische veld.(1)

Een voorbeeld van een magnetisch veld is het magnetische veld van de aarde. Het aardmagnetische veld is een statisch veld, omdat de richting van het veld constant hetzelfde is; een kompasnaald wijst voortdurend naar het (magnetische) noorden.

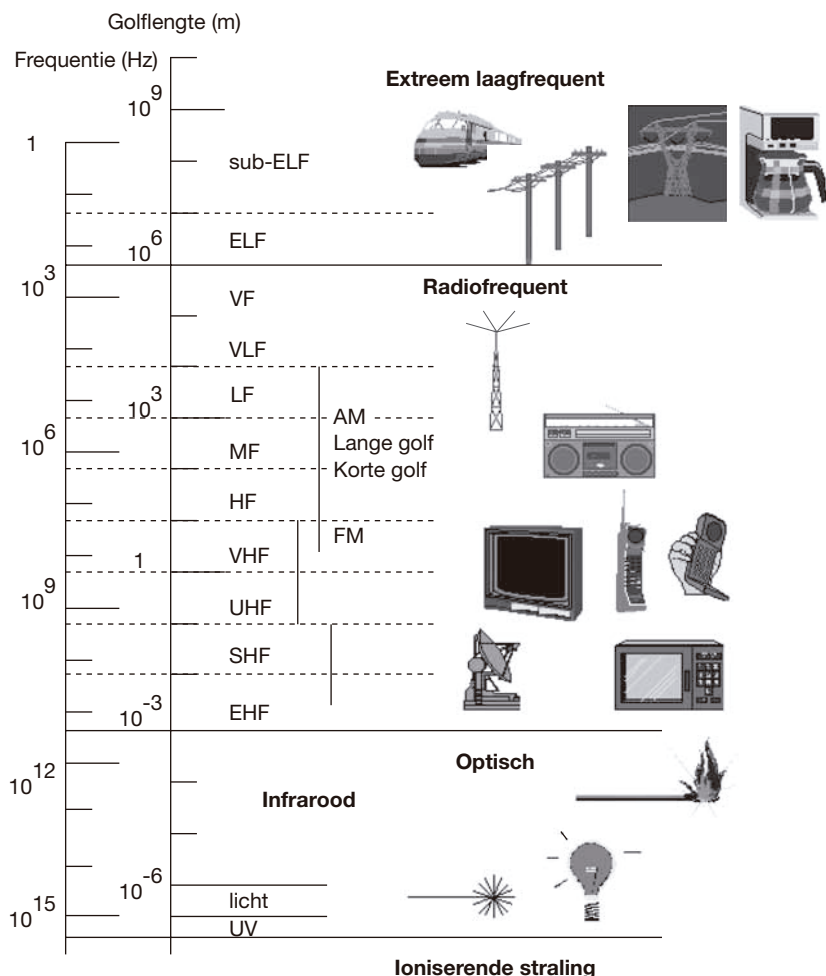
Een veld kan ook in de tijd van richting veranderen. Een veld dat steeds van richting en sterkte verandert, kan worden beschreven met het aantal wisselingen (trillingen) per seconde: de frequentie van een veld. De frequentie wordt weergegeven in Hertz (1 Hz = 1 trilling per seconde). Behalve met de frequentie kunnen velden ook gekarakteriseerd worden met de golflengte. De frequentie en de golflengte van een veld zijn omgekeerd evenredig: $golflengte (m) \times frequentie (1/s) = snelheid (m/s)$. Elektromagnetische velden planten zich met de lichtsnelheid voort. Deze snelheid bedraagt circa 300.000 km per seconde ($3 \cdot 10^8$ m/s). Laagfrequente velden hebben dus lange golflengten, en omgekeerd.

Velden of straling

Een elektromagnetisch veld bestaat uit energie, die voor een deel rond de bron aanwezig blijft en voor een deel als golven van de bron af wordt getransporteerd. Deze golven noemt men elektromagnetische straling.(1) In het geval van straling is de verhouding tussen de magnetische en de elektrische component constant. De twee velden hoeven dan niet apart gemeten en beoordeeld te worden. Dit is het geval als de afstand van een persoon tot de bron meer dan enkele keren de golflengte bedraagt en de persoon zich in het zogenaamde verre veld bevindt. Bij kleine golflengten en hoge frequenties bevindt een persoon zich meestal in het verre veld. Dan kan men doorgaans spreken over elektromagnetische *straling*.

¹ Ionisatie is het vrijmaken van een of meer elektronen uit een atoom, waardoor een ion ontstaat. Als gevolg van ionisaties kan schade in DNA, het genetisch materiaal, ontstaan. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot het ontstaan van kanker.

² THz = teraHerz = 10^{12} Herz; GHz = gigaHerz = 10^9 Herz.



Figuur 12.1 Diverse bronnen van niet-ioniserende straling, gerangschikt langs een frequentie- en golflengteschaal.(1)

Als de afstand tussen een persoon en de bron kleiner is dan enkele keren de golflengte, dan hangt de vorm van het elektrische en magnetische veld sterk af van de aard van de bron. De elektrische en magnetische velden zijn dan niet aan elkaar gerelateerd en kunnen dus niet meer eenvoudig in elkaar worden omgerekend.(1) De persoon bevindt zich dan in het zogenaamde nabije veld. Bij lange golflengten en lage frequenties bevindt een persoon zich vaak in dit nabije veld. Hier wordt meestal over het elektromagnetische *veld* gesproken.

In de praktijk worden de termen elektromagnetische straling en elektromagnetische velden door elkaar gebruikt. Om verwarring met ioniserende straling te voorkomen, geven sommigen de voorkeur aan de termen elektromagnetische velden, radiogolven of microgolven.

12.2 Extreem laagfrequente elektromagnetische velden

12.2.1 Wat zijn extreem laagfrequente elektromagnetische velden?

Extreem laagfrequente elektromagnetische (ELF-EM) velden worden gekenmerkt door een frequentie tussen 0 en 300 Hz. De meeste bronnen hebben te maken met de distributie en het gebruik van elektriciteit. Deze hebben een frequentie van 50 Hz overeenkomend met een golflengte van ongeveer 6000 km. In de Verenigde Staten wordt 60 Hz gebruikt.

Elektrische velden zijn gemakkelijk af te schermen en worden daarom in de meeste gevallen beschouwd als minder problematisch dan magnetische velden. Magnetische velden dringen door de meeste materialen heen en zijn daardoor veel moeilijker af te schermen.

12.2.2 Bronnen van extreem laagfrequente elektromagnetische velden

Bronnen van ELF-EM velden in en om het huis zijn hoogspanningslijnen, hoogspanningskabels, onderstations, transformatorhuisjes en elektrische apparaten.

Hoogspanningslijnen en -kabels

Het elektriciteitsdistributiesysteem is in Nederland gedeeltelijk bovengronds (hoogspanningslijnen) en gedeeltelijk ondergronds (hoogspanningskabels) aangelegd. In Nederland is de spanning op de lijnen of kabels vanaf de elektriciteitscentrales naar de onderstations 110, 150, 220 of 380 kV. Vanaf de onderstations vindt transport plaats via ondergrondse hoogspanningskabels naar de transformatorhuisjes in de woonwijken. Vanaf de transformatorhuisjes wordt de elektriciteit via ondergrondse distributiekabels vervoerd naar woningen, kantoren en andere verbruikers.

Het distributienet met spanningen van 50 kV en lager ligt vrijwel geheel ondergronds. Lijnen met een spanning van 110 kV en hoger worden alleen ondergronds aangelegd wanneer de aanleg bovengronds bezwaarlijk is. In verband met de bereikbaarheid liggen de kabels nooit onder woningen.

De sterkte van het *elektrische veld* onder hoogspanningslijnen is afhankelijk van de vorm van de mast, de hoogte van de draden, de spanning op de lijn en de afschermende werking van vegetatie en/of gebouwen. Op maaiveldhoogte heerst het hoogste elektrische veld op het punt waar de draden het laagst hangen, midden tussen twee masten. Onder een boom of in een gebouw in de omgeving van een hoogspanningslijn bedraagt het elektrische veld 1 tot 10 % van het niet-afgeschermd veld op die plaats. Bij ondergrondse hoogspanningskabels wordt het elektrische veld vrijwel geheel afgeschermd door de grond.

Het *magnetische veld* is onder andere afhankelijk van de stroomsterkte. De stroomsterkte hangt af van het energiegebruik op dat moment. Het energiegebruik en daardoor ook het magnetische veld variëren sterk in de tijd. Het magnetische veld is verder, evenals het elektrische veld, afhankelijk van de mastvorm (vooral de onderlinge positie van de draden) en de hoogte van de draden. Het magnetische veld wordt niet door vegetatie of gebouwen afgeschermd. Op korte afstand, tot tientallen meters, van de lijn kan het magnetische veld van een hoogspanningslijn het totale magnetische veld in een woning in belangrijke mate bepalen.

Het magnetische veld van *ondergrondse* elektriciteitskabels hangt af van de stroomsterkte in de kabel, het type en de ligging van de kabel. De bodem schermt het magnetische veld van elektriciteitskabels niet af.

De grootte van het magnetische veld neemt sterk (exponentieel) af met de afstand. Op een tien keer zo grote afstand is het magnetische veld ongeveer honderd keer zo laag.

Meestal zijn er twee stroomcircuits, één aan weerszijden van de mast. Onder normale omstandigheden zijn de hoogspanningslijnen voor 15 tot 40% van de maximale transportcapaciteit belast. Bij het uitvallen van één circuit kan het andere circuit dan voor 100% belast worden. In Tabel 12.1 staan de sterkten van het magnetische en elektrische veld direct onder de draden en op 30 meter afstand uit de hartlijn³ weergegeven bij een belasting van 50% en verschillende spanningen. In de praktijk is de belasting lager, zodat tevens de veldsterkten lager zijn.(2,3)

In Tabel 12.2 staat een schatting van de afstand (10-90 percentiel) tot de bovengrondse hoogspanningslijnen (gerekend vanuit de hartlijn), waarbij het magnetische veld de waarde van 0,4 μT bereikt.

Aan weerszijden van de hoogspanningslijnen is een strook aanwezig waarbinnen bepaalde activiteiten (bouwen, rijden met kranen of hoge voertuigen, groei van bomen) aan voorwaarden zijn gebonden: de 'zakelijk rechtstrook' of 'belaste strook'. De breedte van deze strook is afhankelijk van de mastvorm. Meestal is deze aan weerszijden ongeveer 35 meter breed. Aan de rand van

³ De hartlijn is de lijn tussen twee masten, in het midden tussen de hoogspanningslijnen.

Tabel 12.1 Grootte van het magnetisch en elektrisch veld onder hoogspanningslijnen die voor 50 % van de maximale transportcapaciteit zijn belast. Gemeten is op één meter hoogte boven het maaiveld, op het punt waar de draden het laagst hangen.(2).

Spanning (kV)	Magnetisch veld onder de draden (μT)	Magnetisch veld op 30 meter (μT)	Elektrisch veld onder de draden (kV/m)	Elektrisch veld op 30 meter (kV/m)
380	6,5 – 20	3 – 10	5,5	1
220	10 – 14	3 – 5	5	0,5
150	3 – 17	0,6 – 3	3,5	0,25
110	3 – 12	0,3 – 1,5	2	0,1

deze strook is het magnetische veld 30 tot 35% van het maximaal gemeten magnetische veld. Het elektrische veld bedraagt aan de rand ongeveer 25% van het maximale elektrische veld gemeten onder de draden.

Tabel 12.2 Afstand tussen de 0,4 μT contour en de hartlijn bij bovengrondse hoogspanningslijnen.(4,5)

Spanning (kV)	Afstand (10-90 percentiel) bij 0,4 μT (m)
380	102-127
220	75-151
150	35-81
110	26-52
50	24-40

NB: 10-90 percentiel: bij 10% is de afstand kleiner en bij 90% is de afstand groter dan deze waarden.

Onderstations en transformatorhuisjes

De sterkte van het elektriciteitsnet in Nederlandse woningen is 230 volt. Hoogspanning moet dus naar deze sterkte worden omgezet. Dit gebeurt met behulp van transformatoren in onderstations en transformatorhuisjes. De transformatoren kunnen ondergebracht zijn in een zelfstandig gebouwtje (uitpandig transformatorhuisje) of in een ruimte van een gebouw (inpandige transformatorruimte). Grofweg kan gesteld worden dat in een stad één transformatorhuisje staat per 400 woningen. Voor grootgebruikers, zoals industrie maar ook snackbars of kantoorpanden, staan er aparte transformatoren. Op 30 cm afstand van een transformatorhuisje kan het magnetische veld 10-15 μT bedragen. Het elektrische veld wordt grotendeels tot volledig door het huisje afgeschermd.(2) De KEMA heeft in 1998 metingen uitgevoerd van de magnetische veldsterkte rondom acht transformatorhuisjes, met transformatoren variërend van 100 tot 630 kVA. Tijdens de metingen was de magnetische veldsterkte, gemeten pal tegen de wanden van de transformatorhuisjes maximaal 12 μT . Bij vrijwel alle transformatorhuisjes was de veldsterkte het hoogst langs de wand die zich het dichtst bij de transformator bevond. De gemiddelde veldsterkte tegen de wanden, berekend over alle acht transformatorhuisjes, was 2,9 μT . De gemeten waarden zijn omgerekend naar de veldsterkte bij een gemiddelde belasting. Bij gemiddelde belasting van de transformatoren zou de magnetische veldsterkte pal tegen de wanden maximaal 24 μT bedragen, terwijl de gemiddelde veldsterkte dan 5,4 μT is. De magnetische veldsterkte neemt snel af met de afstand tot de transformatorhuisjes. Tot ongeveer 0,5 meter is deze afname zeer sterk en daarna meer geleidelijk. Bij gemiddelde belasting van de transformatoren is de gemiddelde veldsterkte op 1 meter afstand 0,9 μT , op 1,5 meter afstand 0,4 μT en op 2 meter afstand 0,3 μT .(6)

In een onderzoek van de Rijksuniversiteit Groningen bleek de veldsterkte in de omgeving van transformatorhuisjes sterk te variëren en afhankelijk te zijn van de stroomsterkte, de afstand tot het transformatorhuisje en de aanwezigheid van ondergrondse (laagspanning) distributiekabels. In dat onderzoek varieerde de veldsterkte op de buitenwand van transformatorhuisjes van 0,4 tot 1,2 μT . Rondom het huisje daalde de veldsterkte binnen 3 meter tot minder dan 0,4 μT . Aan de zijde

waar geen ondergrondse kabels lopen, daalde de veldsterkte binnen 10 meter tot nihil. Aan de straatzijde, waar wel ondergrondse kabels liggen, varieerde de veldsterkte van 0,4-0,8 μT (boven kabels) tot 0,1 μT (op enige afstand van de kabels).(7)

Bij inpandige transformatorhuisjes kan sprake zijn van hoge veldsterkten in naastgelegen ruimten. Bij onderzoek naar de magnetische veldsterkte in een kantoorruimte gelegen boven een transformatorruimte (50Hz) werden, bij metingen op 13 punten, waarden tussen 1,0 en 13,0 μT gemeten.(8,3)

In 2005 werd bij een onderzoek in opdracht van de GGD Amsterdam op een speelplaats naast een onderstation iets meer dan 16 μT gemeten. Verderop in de buitenruimte en in de lokalen van de school naast het onderstation werden waarden van enkele tot bijna 8 μT gemeten.(9) In vervolg hierop heeft de GGD Amsterdam in 2006 de magnetische velden rondom onderstations in Amsterdam laten onderzoeken. In het onderzoek werden nergens forse overschrijdingen van de toetsingswaarde van 0,4 μT gevonden op plaatsen waar kinderen langdurig verblijven. Op enkele plaatsen werd een lichte verhoging gevonden in woningen of op speelplekken voor kinderen.(10)

Bronnen in huis

De sterkste velden in woningen zijn in de meeste gevallen niet afkomstig van hoogspanningslijnen of transformatoren, maar van bronnen binnenshuis die aangesloten zijn op het laagspanningsnet van 230 volt. Tabel 12.3 geeft een overzicht van de blootstelling aan ELF-magnetische velden door bronnen in huis. Elektrische velden zijn van weinig belang, omdat ze gemakkelijk worden afgeschermd door materialen en doorgaans geen intensiteit bereiken die invloed heeft op de gezondheid. Uit de tabel blijkt dat apparaten die sterke magnetische velden verspreiden, in het algemeen slechts gedurende korte tijd in gebruik zijn. Bovendien wordt bij sommige bronnen, zoals scheerapparaten, maar een gering deel van het lichaam blootgesteld. Langdurige blootstelling treedt vooral op bij elektrische apparaten dicht bij het bed, zoals een elektrische deken of elektrische wekker(radio).

De sterkte van het magnetische veld neemt snel af met de afstand tot de bron. Een wekkerradio en de meeste huishoudelijke toestellen kunnen worden beschouwd als een puntbron waarvan de sterkte van het magnetisch veld afneemt met $1/r^2$. Dit wil zeggen dat indien de afstand verdubbelt, de veldsterkte afneemt met een factor 4. Als de sterkte van het magnetisch veld op 30 cm van een elektrische wekker 1 μT bedraagt, zal de veldsterkte op 60 cm nog 0,25 μT bedragen en op 120 cm 0,0625 μT .(11)

12.2.3 Inspectie

Bij vragen over blootstelling aan ELF-EM velden is de informatie die nodig is voor het verstrekken van een advies meestal telefonisch of via internet te verkrijgen. In sommige gevallen is het nuttig om zelf de situatie ter plekke te beoordelen, zodat een duidelijk beeld wordt gekregen van de aanwezigheid en locatie van bronnen buiten en binnen het huis, de mogelijke duur van blootstelling aan bronnen en de afstand tussen bronnen en gevoelige locaties (woningen, scholen, speelplekken en dergelijke).

Informatie over de elektrische veldsterkte

Informatie over de heersende elektrische veldsterkte onder hoogspanningslijnen is te achterhalen bij de elektriciteitsbedrijven (de beheerder van de betreffende hoogspanningslijn). Deze zien erop toe dat het referentieniveau op leefniveau niet wordt overschreden (zie paragraaf 12.2.8 'Normen en beleid').(3)

Informatie over de magnetische veldsterkte

De magnetische veldsterkte kan in de eerste plaats worden geschat op grond van Tabel 12.1 en 12.2 (bovengrondse hoogspanningslijnen) en Tabel 12.3 (bronnen in huis). Voor bestaande hoogspanningslijnen is op de RIVM-site de 'indicatieve zone' beschikbaar (via www.rivm.nl/)

hoogspanningslijnen). Dit is de zone waarbinnen het magneetveld gemiddeld over een jaar hoger is dan 0,4 μT .

Tabel 12.3 Magnetische veldsterkte van elektrische apparatuur

Apparaat	Blootstellingsduur per dag (min)	Afstand (cm)	B-veld (μT)
Scheerapparaat	< 15	< 3	15 - 1500
Handmixer	< 15	30	0,5 - 10
Haardroger **	< 15	3	6 - 2000
Haardroger	< 15	30	0,01 - 7
Boormachine	< 15	30	2,2 - 3,5
Cirkelzaag	< 15	30	0,09 - 2,5
Broodrooster	< 15	30	0,03 - 3,5
Koffiezetapparaat	< 15	30	0,04 - 0,08
Magnetron ***	< 15	50 / 100	1,71 / 0,37
Elektrische oven	< 15	100	< 0,01 - 0,02
Strijkijzer	15 - 60	30	0,06 - 0,15
TL-bureaulamp	15 - 60	30	0,55 - 2
Stofzuiger	15 - 60	100	0,07 - 1,2
Vaatwasmachine	15 - 60	100	0,05 - 0,2
Wasmachine	15 - 60	100	0,01 - 0,1
Droogmachine	15 - 60	100	0,02 - 0,04
Elektrische deken	> 60	10	0,5 - 2,5 *
Elektrische wekker **	> 60	30	0,5 - 1
PC-scherm ****	> 60	30	< 0,2
Kleurentelevisie	> 60	100	0,07 - 0,13
Ventilator	> 60	100	< 0,01 - 0,25
TL-verlichting	> 60	200	< 0,01 - 0,01
Gloeilamp, nachtlampje **	> 60	30	2
Halogeenlamp **	> 60	30	0,17
Koelkast	> 60	100	< 0,01 - 0,03
Elektrische radiator **	> 60	30	0,15 - 5
Waterbed	> 60	0 tot 1989 vanaf 1990	< 0,015 ** 0,45 *** 0,02 ***
Elektrische vloerverwarming **	> 60	30	8 - 12

Gegevens zijn overgenomen uit VROM-circulaire (12), behalve waar anders aangegeven.

* De magnetische veldsterkte van elektrische dekens kan oplopen tot 30 μT .(13) Overigens zijn er ook elektrische dekens met gelijkstroom in de handel.

** bron: website BBEMG. (11)

*** bron: Behrens, 2004. (14)

**** bron: TenneT, 2004. (15)

12.2.4 Meten van extreem laagfrequente elektromagnetische velden

Bij vragen over specifieke situaties kan de magnetische veldsterkte worden bepaald op grond van berekeningen of metingen. De GGD kan de gemeente adviseren om de magnetische veldsterkte te laten bepalen. De nauwkeurige bepaling van de magnetische veldsterkte is specialistenwerk en kan het beste worden uitgevoerd door instanties zoals KEMA of door het elektriciteitsbedrijf zelf.(3)

Berekeningen

De tijdgewogen gemiddelde magnetische veldsterkte wordt berekend op basis van informatie over de stroomsterkten en de uitvoering van de hoogspanningslijnen (ook die in het verleden). Voor de berekening van de zone, ook wel 'specifieke zone' genoemd, waarbinnen het magneetveld gemiddeld over een jaar hoger dan 0,4 µT is of in de toekomst kan worden, heeft het RIVM een Handreiking opgesteld.(5)

Metingen

Metingen kunnen worden uitgevoerd door instanties, zoals KEMA of door het elektriciteitsbedrijf zelf.

De GGD kan ervoor kiezen zelf metingen te verrichten. Met een laagfrequent magnetische veldsensor (microteslameter) is het mogelijk om ELF-magnetische velden te meten tussen (bijvoorbeeld) 30 en 2000 Hz. Zo kan inzicht worden gekregen in de magnetische veldsterkte rond een bron. Dit geeft een momentopname. De magnetische veldsterkte kan variëren in de tijd, afhankelijk van de stroomsterkte. Hiermee zal men bij de interpretatie van de uitkomsten rekening moeten houden.

Met de aanname dat de etmaal- en seizoensvariatie in stroomsterkte op een hoogspanningslijn niet erg groot zijn, kan met enkele metingen overdag toch een redelijk beeld worden verkregen van de gemiddelde belasting door een hoogspanningslijn:

$$\text{Belasting}_{\text{gemiddeld}} = (I_{\text{gemiddeld}} / I_{\text{moment}}) \times \text{Belasting}_{\text{moment}}$$

Voorwaarde is dat vooraf de duur en de locatie van de meting zijn vastgelegd. Tevens zullen bij het energiebedrijf gegevens opgevraagd moeten worden over de gemiddelde stroomsterkte ($I_{\text{gemiddeld}}$) en de stroomsterkte in de verschillende circuits tijdens de metingen (I_{moment}). Alleen dan kunnen op basis van de meting de gemiddelde velden over een jaar worden berekend (Van Brederode 2005).

12.2.5 Referentiewaarden

In Nederland bevinden zich ongeveer 40.000 woningen op de plaats waar de magnetische veldsterkte van hoogspanningslijnen 0,2 microtesla of hoger is. Het aantal kinderen dat door bovengrondse hoogspanningslijnen wordt blootgesteld aan veldsterkten boven 0,4 microtesla bedraagt ongeveer 10.000.(16)

Het is niet bekend hoe groot de blootstelling in woningen in Nederland is ten gevolge van elektrische apparatuur.(17) In een onderzoek in 50 woningen in Groot-Brittannië was de 24-uurs gemiddelde veldsterkte 0,04 µT (0,00-0,67 µT). Uit ander onderzoek in Groot-Brittannië blijkt dat in de meeste woningen ver van bovengrondse hoogspanningslijnen, de blootstelling aan magnetische velden circa 0,01 tot 0,2 µT bedraagt. In enkele woningen werden waarden boven 0,3 µT gevonden.. Op basis van metingen in de woning van controles werd voor Groot-Brittannië en Duitsland geschat dat circa 2% van de populatie woonachtig is in woningen met een magnetisch veld groter dan 0,2 µT. In onderzoeken in Groot-Brittannië en Duitsland werd echter ook aangetoond dat in woningen waar een gemiddelde veldsterkte boven 0,4 µT werd gemeten, dit slechts voor 25 tot 30% van de woningen is toe te schrijven aan een externe bron, zoals een hoogspanningslijn.(3) Informatie uit de VS over veldsterkten door elektrische apparatuur is niet representatief voor de Nederlandse situatie omdat daar de netspanning lager is en de magnetische veldsterkte hoger.

De situatie in het buitenland kan verschillen doordat:

- het distributienet er vaak bovengronds gesitueerd is;
- netspanning en frequentie in de woning anders zijn (in de VS 110 V en 60 Hz);
- in woningen meer elektrische apparatuur aanwezig kan zijn, waardoor meer stroom kan worden verbruikt;

- de configuratie van de elektriciteitsleidingen in woningen anders is uitgevoerd;
- de wijze van aarding anders is uitgevoerd.(3)

12.2.6 Effecten op de gezondheid

In deze paragraaf wordt behalve op de effecten op de gezondheid ook ingegaan op storing van elektrische apparatuur.

Kortetermijneffecten

Bij frequenties lager dan ongeveer 10 MHz, dus ook bij 50 Hz, kunnen kleine elektrische stromen in het lichaam worden opgewekt die kunnen leiden tot stimulatie van zenuwen en spieren. De eerste effecten die kunnen ontstaan zijn fosfenen (het waarnemen van lichtflitsen). Deze zijn hinderlijk, maar niet schadelijk. Bij hoge blootstelling, honderd keer zo hoog als de blootstelling waarbij fosfenen kunnen optreden, kan hartfibrillatie ontstaan.

Om kortetermijneffecten te voorkomen zijn, op grond van de laagste blootstelling waarbij lichtflitsen kunnen optreden, referentieniveaus ontwikkeld. Hierbij zijn veiligheidsfactoren in acht genomen. Het referentieniveau voor de elektrische veldsterkte voorkomt ook dat ontladingsstroom kan ontstaan.⁴(18)

Langetermijneffecten

Er zijn verschillende epidemiologische onderzoeken verricht naar een eventuele relatie tussen ELF-EM velden en onder andere kanker (leukemie, hersentumoren, borstkanker), abortus, wiegendood en zelfmoord. Uit onderzoek is gebleken dat er een consistente statistisch significante associatie (relatief risico = 2) bestaat tussen het wonen in de nabijheid van bovengrondse hoogspanningslijnen en het vóórkomen van leukemie bij kinderen. Het risico is mogelijk verhoogd bij veldsterkten hoger dan ergens tussen 0,2 en 0,5 μ T.(17) Er zijn echter geen aanwijzingen voor een oorzakelijk verband. Het kan ook zijn dat er andere oorzaken zijn voor het verhoogde risico op leukemie bij hoogspanningslijnen.(19)

De IARC (International Agency for Research on Cancer) heeft in 2001 geconcludeerd dat er beperkt bewijs is dat ELF-magnetische velden kunnen leiden tot leukemie bij kinderen. De ELF-magnetische velden zijn door de IARC ingedeeld in groep 2B (mogelijk kankerverwekkend bij mensen). De Gezondheidsraad is van mening dat niet is vastgesteld dat ELF-magnetische velden kankerverwekkend zijn, alleen dat ze dat *kunnen* zijn. Er lijkt een statistisch consistente associatie te zijn tussen wonen in de nabijheid van bovengrondse elektriciteitslijnen (wat blootstelling aan verhoogde niveaus van ELF-magnetische velden betekent) en het vóórkomen van leukemie bij kinderen. Een oorzakelijk verband is niet vastgesteld.(20)

Hinder

Hinder kan optreden door storing van apparatuur door magnetische velden, zoals het wegtrekken van het beeld bij een kleurentelevisie. De trillingen veroorzaakt door bijvoorbeeld transformatoren kunnen geluidsoverlast veroorzaken.

Elektromagnetische compatibiliteit

Alle elektrische apparaten kunnen last hebben van storing door andere elektrische apparaten. Enerzijds mogen apparaten geen storing veroorzaken (*elektromagnetische compatibiliteit*), anderzijds moet een apparaat een zekere mate van *immuniteit* hebben voor elektromagnetische velden in de omgeving. Producten moeten daarom voldoen aan bepaalde beschermingseisen volgens Europese normen voor productveiligheid (CE-markering). Indien producten aan deze

⁴ Als een groot niet-geaard object, zoals een bus of vrachtwagen, onder een hoogspanningslijn geparkeerd staat, kan de hierin geïnduceerde spanning bij aanraking aanleiding geven tot een ontladingsstroom. Dit is niet hetzelfde als elektrostatische ontlading die ontstaat door statische oplading.

eisen voldoen en toch storing ondervinden vanuit de omgeving, is het raadzaam om te adviseren metingen te laten uitvoeren. Bij storing van apparatuur wordt namelijk ook al snel gedacht aan schadelijke effecten voor de gezondheid. De resultaten van de metingen kunnen duidelijkheid verschaffen over de blootstelling en de eventuele oorzaak van de verstoring, zodat deze kan worden aangepakt.(19)

12.2.7 Richtlijn GGD

In november 2005 is de GGD Richtlijn 'Gezondheidsrisico's van bovengrondse hoogspanningslijnen' verschenen.(3) In juni 2006 heeft het Landelijk Centrum Medische Milieukunde (LCM) het 'Standpunt ELF-EM velden elektriciteitsvoorziening en gezondheid Hoogspanning – Onderstations – Transformatorhuisjes' uitgebracht. De richtlijn en het standpunt zijn te vinden via GGD Kennisnet (www.ggdkenisnet.nl).

12.2.8 Normen

Om directe gezondheidseffecten te voorkomen zijn referentieniveaus ontwikkeld. Deze staan in de Tabel 12.4 weergegeven. In bestaande situaties ziet de beheerder erop toe dat de referentieniveaus voor de elektrische en magnetische veldsterkte op leefniveau niet worden overschreden.

Tabel 12.4 Referentieniveaus ter voorkoming van acute gezondheidseffecten

Veldsterkte	Referentieniveaus	
	Europese Raad (1999)	Gezondheidsraad (2000a)
Elektrische veldsterkte	5 kV/m	8 kV/m
Magnetische veldsterkte	100 μ T	120 μ T

Er zijn geen referentieniveaus ontwikkeld om eventuele effecten op de lange termijn te voorkomen. In Nederland is, op grond van het voorzorgprincipe, wel *beleid* ontwikkeld voor blootstelling aan magneetvelden van hoogspanningslijnen. Het beleidsadvies van VROM aan gemeenten is als volgt:

in nieuwe situaties moet zoveel als mogelijk vermeden worden dat kinderen langdurig verblijven in het gebied rond bovengrondse hoogspanningslijnen waarbinnen het jaargemiddelde magneetveld hoger is dan 0,4 μ T. Met nieuwe situaties wordt bedoeld de vaststelling van streek- of bestemmingsplannen en tracés van bovengrondse hoogspanningslijnen, dan wel wijzigingen in bestaande plannen of van bestaande hoogspanningslijnen. Onder langdurig verblijf vallen woningen, scholen, crèches of kinderopvangplaatsen.(21)

Het VROM-advies beperkt zich tot nieuwe situaties. De gezondheidseffecten zijn namelijk nog onzeker en een nieuwe situatie heeft als voordeel dat er nog veel keuzemogelijkheden zijn. In bestaande situaties hebben maatregelen vaak grote gevolgen. Bij andere situaties met blootstelling aan ELF-EM velden, zoals rondom onderstations en transformatorhuisjes, ziet VROM onvoldoende aanleiding om de advieswaarde van 0,4 μ T toe te passen.(22)

Het LCM adviseert om ook bij andere bronnen van ELF-EM velden dan hoogspanningslijnen (zoals onderstations en transformatorhuisjes) uit voorzorg *zoveel als redelijkerwijs mogelijk is*, langdurig verblijf van kinderen in een magnetisch veld hoger dan 0,4 μ T te vermijden. Reden hiervoor zijn de statistisch significante associatie die is gevonden bij hoogspanningslijnen, de onzekerheid over een oorzakelijk verband en de ernst van het mogelijke effect (leukemie bij kinderen). Wat redelijkerwijs mogelijk is, kan zowel in bestaande als in nieuwe situaties worden afgewogen. Bij hoogspanningslijnen zullen vooral in nieuwe situaties maatregelen mogelijk zijn om langdurige blootstelling van kinderen aan meer dan 0,4 μ T te voorkomen.(19)

De voorzorgbenadering kan ook worden toegepast voor bronnen binnenshuis (elektrische apparatuur).

12.2.9 Juridische aspecten en verantwoordelijke partijen

Het wettelijk kader wordt bepaald door de Nederlandse modelbouwverordening (1992, artikel 2.5.19) en de Europese NEN-norm 50341.(23) De Nederlandse modelbouwverordening is zowel van toepassing voor bovengrondse hoogspanningslijnen als voor ondergrondse hoogspanningskabels. Hierin is bepaald dat, behoudens vrijstelling, het bouwen binnen een strook van zes meter ter weerszijden van de lijnen/kabels verboden is.

Voor bovengrondse hoogspanningslijnen is tevens de Europese NEN-norm 50341 van toepassing. Hierin zijn op grond van veiligheidsvoorschriften beschermingszones opgenomen.(23) Deze zones zijn afhankelijk van de capaciteit en de uitvoering van de hoogspanningslijnen en varieert dus per hoogspanningslijn.

De belangrijkste veiligheidsaspecten waarmee rekening wordt gehouden, zijn het uitzwaaien van de draden ten gevolge van de wind, draadbreek, omwaaien van masten en ijsafzetting. Binnen deze strook zijn bepaalde activiteiten verboden of aan voorwaarden gebonden.

De Europese NEN-norm is niet van toepassing voor ondergrondse hoogspanningskabels, omdat geen sprake is van veiligheidsvoorschriften zoals die voor bovengrondse hoogspanningslijnen gelden.

De netbeheerder is vrij om, op grond van wat hij noodzakelijk acht om werkzaamheden te kunnen uitvoeren, een bredere strook aan te houden. Deze vrije strook wordt aangeduid met zakelijk rechtstrook of belaste strook. TenneT, de beheerder van alle bovengrondse hoogspanningslijnen met een spanning van 380 en 220 V, gaat standaard uit van een onbebouwde zone van 36 meter, gerekend vanuit de hartlijn (totale breedte dus 72 meter).(3)

Naar aanleiding van het VROM-beleid heeft TenneT aangegeven bij nieuwe hoogspanningslijnen uitvoering te geven aan het VROM-beleid door bij de tracerings van nieuwe hoogspanningslijnen te zorgen dat in de zone waar de veldsterkten groter zijn dan 0,4 microtesla, geen bebouwing aanwezig is waar kinderen langdurig verblijven. Bij bestaande bebouwing bij bestaande hoogspanningslijnen houdt TenneT de norm aan van 100 microtesla.(24)

Huishoudelijke bronnen

De veiligheid van huishoudelijke elektrische producten is geregeld in de Warenwet. Normen geven een nadere invulling aan deze veiligheidseisen. De Voedsel en Warenautoriteit (VWA) houdt toezicht op de naleving van de Warenwet.

12.3 Radiofrequente straling en microgolven

12.3.1 Wat is radiofrequente straling?

Radiofrequente straling is elektromagnetische straling met een frequentiegebied tussen 300 Hz en 300 GHz (golflengte 1000 km - 1 mm). In plaats van straling wordt vaak gesproken over velden. Ook worden de termen radiogolven en microgolven gebruikt. De natuurlijke achtergrondstraling is zeer gering.

12.3.2 Bronnen van radiofrequente straling

Radiofrequente velden hebben een brede toepassing. De belangrijkste zijn:

- draadloze overdracht van informatie (onder andere radio, tv en mobiele telefonie);
- draadloze communicatie tussen apparatuur (onder andere WLL (Wireless Local Loop) en WLAN (Wireless Local Area Network)). Hieronder vallen toepassingen zoals WiFi (Wireless Fidelity) en

de gezamenlijke schotelantenne op een wooncomplex voor satellietontvangst die het signaal draadloos doorzendt naar huisantennes;

- huishoudelijke apparatuur (onder andere magnetrons en draadloze huistelefoons, zoals DECT);
- detectieapparatuur (onder andere radardetectie t.bijvoorbeeld scheepvaart en luchtvaart, weersvoorspellingen en snelheidscontroles; detectiepoortjes in winkels en openbaar vervoer).

De belangrijkste bronnen van radiofrequente straling binnenshuis zijn huishoudelijke apparatuur (draadloze telefoons voor thuisgebruik (DECT), magnetrons, babyfoons en dergelijke) en zendmasten voor radio, televisie, mobiele telefonie en C2000⁵.

DECT

De moderne digitale standaard voor draadloze telefoons is DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication). DECT werkt in het frequentiegebied van 1880-1900 MHz. De toepassing varieert van kleine (privé)huiscentrales tot grote bedrijfscentrales. Maar er zijn ook bijvoorbeeld DECT-babyfoons en DECT-headsets in de handel.(25,26)

Magnetrons

Magnetrons werken met microgolven in het frequentiegebied van 2450 MHz. De gebruiker van een magnetron zou aan deze straling kunnen worden blootgesteld door lekstraling die tijdens het gebruik uit het apparaat ontsnapt of door falen van het mechanisme dat de straling in de oven doet stoppen wanneer het deurtje wordt geopend. Het laatste komt maar zelden voor. De lekstraling moet voldoen aan een internationale norm (zie paragraaf 12.3.8).

Zendmasten radio, televisie, GSM, UMTS

Voor een uitgebreide bespreking van deze bronnen wordt verwezen naar de GGD Richtlijn RF-EM velden zendingrichtingen.(27)

Netwerken voor mobiele telefonie in Nederland zijn GSM (frequentie rond 900 MHz), DCS-1800 (meestal ook GSM genoemd, frequentie rond 1800 MHz) en UMTS (frequentie rond 2100 MHz). Een netwerk voor mobiele telefonie is meestal opgebouwd als een honingraat. Basisstations hebben contact met het vaste telefoonnet of zijn via straalverbindingen met andere basisstations verbonden, die op het vaste telefoonnet zijn aangesloten. Met een basisstation wordt meestal een mast bedoeld waaraan zich drie antennes bevinden, die elk in een andere richting zenden. Situaties waarin meer dan drie antennes op één mast zijn geplaatst, komen ook voor (site-sharing). Ook komt het voor dat er meer dan één operator op één antenne is aangesloten (antenne-sharing). Soms staan diverse masten bij elkaar op hetzelfde dak.(28)

12.3.3 Inspectie

Bij vragen over blootstelling aan RF-EM velden is de informatie die nodig is voor het verstrekken van een advies vaak telefonisch of via internet te verkrijgen. In sommige gevallen is het nuttig om zelf de situatie ter plekke te beoordelen, zodat een duidelijk beeld wordt gekregen van de aanwezigheid en locatie van bronnen buiten en binnen het huis.

12.3.4 Meten van radiofrequente straling

Met breedbanddetectoren voor radiofrequente straling kan het totaal aan radiofrequente EM velden binnen de betreffende band worden gemeten. Daarmee wordt geen onderscheid gemaakt naar frequenties en dus naar bronnen. Er bestaat ook apparatuur waarmee wel selectief de frequenties kunnen worden gemeten. Voor een goed gebruik van deze apparatuur is specialistische kennis noodzakelijk.

⁵ mobiel netwerk voor de hulpdiensten brandweer, politie, ambulance en marechaussee.

Zendmasten radio, televisie, GSM, UMTS

Voor de bepaling van de blootstelling aan radiofrequente velden door één zendinrichting of een combinatie van zendinrichtingen, kan een berekening of een meting worden uitgevoerd.

Bij bepaling van de blootstelling in het verre veld wordt meestal de sterkte van het elektrische veld bepaald (V/m). Voor de bepaling van de blootstelling in het nabije veld wordt zowel het elektrische als het magnetische veld bepaald. Omdat de veldsterkte in het nabije veld moeilijk is te voorspellen, dienen een groot aantal metingen te worden verricht om een goed beeld te krijgen van de veldsterkte.(27) Voor toetsing zijn referentieniveaus ontwikkeld op grond waarvan een veilige afstand kan worden bepaald (zie paragraaf 12.3.8).

De *berekening* van de elektrische veldsterkte van een zendinrichting en de hiervan afgeleide veilige afstand, wordt uitgevoerd door de eigenaar van de zendinstallatie. De gegevens over de veilige afstand van het GSM-900 en -1800-netwerk en het UMTS-netwerk zijn beschikbaar via het antenneregister (zie www.antennebureau.nl). In dit register zijn geen gegevens beschikbaar over het cumulatieve effect van meerdere of verschillende systemen.

Metingen kunnen worden uitgevoerd door de eigenaar van de zendinstallatie, door het Agentschap Telecom (AT) en door onderzoeksinstituten (onder andere TNO). De metingen die door de eigenaren van zendinstallaties worden uitgevoerd zijn niet openbaar. De metingen van het AT zijn beschikbaar op de website van het Antennebureau (www.antennebureau.nl).

Metingen moeten voldoen aan het 'Meetvoorschrift voor het uitvoeren van EMF-metingen rond basisstations' zoals uitgegeven door het AT.(29) Er moet aan veel voorwaarden worden voldaan en daarbij is deskundigheid vereist. Zo dient rekening te worden gehouden met de invloed van afscherming (bebouwing, lichaam), weersomstandigheden (regen) en vegetatie (bos). Hierdoor kunnen lagere veldsterkten worden gemeten.

Bij 'site-sharing' moeten dus mogelijk signalen van verschillende frequenties worden gemeten. De gemeten veldsterkte dient vervolgens aan het referentieniveau van de bijbehorende frequentie te worden getoetst. Bij 'site-sharing' met verschillende zendsystemen wordt een gewogen sommering uitgevoerd.

Op grond van bovenstaande kan worden geconcludeerd dat de meting van de elektrische veldsterkte dient te worden uitgevoerd en beoordeeld door een deskundige instantie.(27)

12.3.5 Referentiewaarden: veldsterkten in de woning en woonomgeving

In deze paragraaf wordt apart ingegaan op de veldsterkten die worden veroorzaakt door DECT-telefoons, magnetrons en zendmasten.

DECT

Het vermogen waarmee de telefoons en de basisstations zenden, is zeer beperkt.(25) Niettemin kan dat op zeer korte afstand, binnen enkele centimeters van het basisstation, wel tot een veldsterkte leiden die in de buurt van de blootstellingslimiet komt, of deze zelfs licht overstijgt. De veldsterkte neemt snel af met toenemende afstand en op een normale gebruiksafstand ligt deze doorgaans onder 1 V/m. Gewoon gebruik van basisstations en telefoons thuis leidt dus niet tot overschrijding van de limieten die aan de blootstelling zijn gesteld.(26)

Uit de beschikbare technische specificaties van DECT-babyfoons blijkt dat deze voortdurend signalen uitwisselen tussen de baby-unit en de ouderunit. Gegevens over de daardoor veroorzaakte veldsterkte en over de veldsterkte wanneer er geluidsoverdracht plaatsvindt, ontbreken echter.(26)

Magnetrons

Door onvolkomenheden, zoals een slecht sluitende deur of vuil tussen de afdekranden, kan lekstraling optreden. Dit kan vooral bij oudere magnetrons gebeuren. Bij metingen in woningen te

Barendrecht is als hoogste waarde 54 V/m gemeten, vlak bij een magnetron met een vermogen van 700 W.(30)

Zendmasten radio, televisie, GSM, UMTS

In de woonomgeving is de veldsterkte meestal niet hoger dan 1-2 V/m. Op het Antenneregister staat een overzicht van metingen die zijn gedaan. De gemeten veldsterktes op publiek toegankelijke plaatsen (op straat en dergelijke) liggen tussen 0,5 en 2,0 V/m. Er zijn enkele plaatsen waar waarden van 2 tot 3 V/m worden gemeten. Dit zijn voornamelijk plaatsen waar veel antenne-installaties staan, vaak in combinatie met FM-zenders. Bij metingen in huis komt de waarde meestal niet boven 1 V/m uit.(31)

12.3.6 Effecten op de gezondheid

Voor een uitgebreide bespreking van effecten op de gezondheid door RF-EM velden van zendingen wordt verwezen naar de GGD Richtlijn RF-EM velden zendingen.(27)

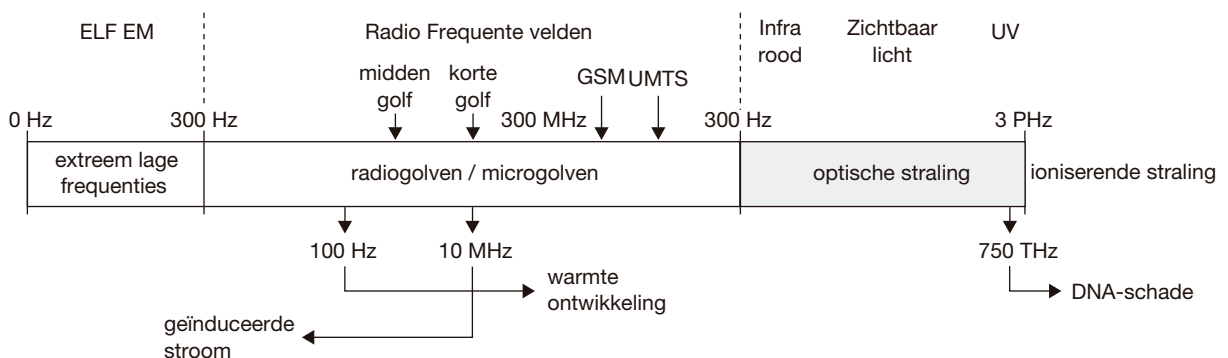
Geïnduceerde stroom en opwarming

RF-EM velden kunnen een nadelig gezondheidseffect hebben. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen effecten door geïnduceerde stroom en thermische effecten (opwarming).

Effecten door geïnduceerde stroom kunnen ontstaan bij frequenties lager dan ongeveer 10 MHz. In het lichaam worden kleine elektrische stromen opgewerkt die kunnen leiden tot stimulatie van zenuwen en spieren. Wanneer deze elektrische stromen sterk genoeg zijn, kunnen ze aanvoelen als een schok en onwillekeurige samentrekkingen van spieren veroorzaken.

Thermische effecten kunnen ontstaan bij frequenties vanaf 100 kHz. Thermische effecten kunnen ontstaan door absorptie van elektromagnetische energie waardoor warmte in weefsels en organen wordt opgewekt. Bij een temperatuur boven 41°C treedt denaturatie van eiwitten op, wat resulteert in celdood. Vooral in hersen- en spierweefsel is geen herstel mogelijk. In lichaamsdelen met een geringe doorbloeding, zoals testes en oog, kan sneller oververhitting optreden. Het is algemeen aanvaard dat bij een langdurige verhoging van de kerntemperatuur van het lichaam de temperatuurstijging niet groter moet zijn dan 1 °C om gezondheidsschade te voorkomen.(32,1,27)

In Figuur 12.2 staat aangegeven bij welke frequenties geïnduceerde stromen en opwarming kunnen optreden. Om deze effecten te voorkomen, zijn blootstellingslimieten opgesteld. Deze niveaus komen in de woon- en leefsituaties nauwelijks voor.



Figuur 12.2 Frequenties waarbij gezondheidseffecten kunnen optreden.

Welbevinden en cognitieve prestaties

Er zijn mensen die klachten over hun welbevinden wijten aan blootstelling aan elektromagnetische velden van elektrische apparatuur en zendmasten. Het gaat dan om klachten zoals duizeligheid, ongemak, concentratieverlies, geheugenverlies, vermoeidheid, hoofdpijn en tintelingen.

In een eerste onderzoek door TNO naar de invloed van GSM en UMTS op cognitieve prestaties en ervaren welzijn is een kleine maar significante relatie gevonden tussen blootstelling aan UMTS-

signalen en de score voor welbevinden.(33) In een Zwitsers vervolgonderzoek – met een verbeterde onderzoeksopzet – werd geen consistent verband gevonden tussen kortdurende blootstelling aan EM velden en welbevinden en cognitieve prestaties.(34,27) Er kunnen op basis van deze onderzoeken geen uitspraken worden gedaan over andere gezondheidseffecten of over mogelijke effecten door langdurige blootstelling.

In 2006 is een Oostenrijks onderzoek gepubliceerd waarin het voorkomen van diverse gezondheidsklachten bij mensen die nabij een GSM-mast (900 MHz) wonen is geïnventariseerd. De klachten zijn gerelateerd aan de gemeten veldsterkte in de slaapkamer. Voor hoofdpijn, concentratieproblemen en koude handen en voeten is een statistisch verband gevonden met de gemeten veldsterkte. De onderzoekers geven aan dat de resultaten geen bewijs zijn voor een *oorzakelijk* verband. Vele factoren kunnen van invloed zijn op de klachten. Daarnaast is het niet bekend hoe de velden algemene klachten, zoals hoofdpijn, zouden kunnen veroorzaken.(35) In het onderzoek is niet gecorrigeerd voor toepassing van verschillende testen, waardoor de gevonden relaties op toeval kunnen berusten.(36)

Effecten op de lange termijn

Veel van de ongerustheid over mogelijke gezondheidseffecten van niet-ioniserende straling heeft betrekking op het ontstaan of bevorderen van kanker. Anders dan bij ioniserende straling ontbreekt bij niet-ioniserende straling een plausibel biologisch mechanisme dat het ontstaan van kanker zou kunnen verklaren.

Op grond van onderzoeken naar de relatie tussen elektromagnetische velden van radio- en TV-zenders en kanker blijkt dat er onvoldoende bewijs is voor een verhoogde kans op kanker. Aan de hand van de gegevens die op dit moment bekend zijn over radiofrequente EM velden, is er ook geen aanleiding om aan te nemen dat EM velden van GSM- of UMTS-masten op leefniveau op de lange termijn schadelijk zijn voor de gezondheid. Meer onderzoek is nodig om hierover meer zekerheid te krijgen.

De Gezondheidsraad en WHO concluderen dat epidemiologisch onderzoek naar korte- en langetermijneffecten zoals kanker, effecten op de voortplanting en effecten op de algemene gezondheidstoestand tot nog toe geen aanwijzingen hebben opgeleverd dat, bij niveaus waaraan mensen gewoonlijk worden blootgesteld, gezondheidseffecten te verwachten zijn.(20,37,38).

DECT

Gevolgen van EM velden van DECT-telefoons voor de gezondheid zijn niet bekend – maar ook nog nauwelijks onderzocht. Er zijn slechts enkele epidemiologische onderzoeken bekend waarin het optreden van hersentumoren in relatie tot blootstelling aan DECT-signalen is onderzocht. In een Duits onderzoek werd geen verband gevonden tussen DECT-gebruik en het vóórkomen van hersentumoren.(39) In een Zweeds onderzoek werd wel een verband gevonden tussen het gebruik van een draadloze telefoon en het voorkomen van hersentumoren (40). In dit onderzoek is echter geen onderscheid gemaakt tussen het gebruik van analoge of digitale (DECT)-telefoons. De Gezondheidsraad is van mening dat er op grond van dit onderzoek niets te zeggen valt over de mogelijke invloed van DECT op het voorkomen van hersentumoren.(26)

Wat betreft andere gezondheidseffecten dan hersentumoren concludeert de Gezondheidsraad dat het onwaarschijnlijk is dat DECT-signalen bij blootstelling onder de limietwaardes een negatieve uitwerking op de gezondheid hebben.(26)

Elektrische overgevoeligheid

Een groeiend aantal mensen schrijft gezondheidsklachten toe aan blootstelling aan EM-velden en benoemen die als 'elektrische overgevoeligheid'. Wetenschappelijk bewijs voor het bestaan van elektrische overgevoeligheid is er tot op heden niet. De Gezondheidsraad is van mening dat nader onderzoek hiernaar gewenst is.(37,27)

Het waarnemen van EM velden

Uit enkele onderzoeken blijkt dat mensen de aanwezigheid van EM velden kunnen waarnemen, maar dit vermogen is niet gerelateerd aan het optreden van klachten.(37)

Hinder

Radiofrequente straling met een bepaalde frequentie en een bepaald vermogen kan storing veroorzaken bij elektronische apparaten zoals pacemakers, gehoorapparaten, airbagsystemen en medische apparatuur. Om storingen zoveel mogelijk te voorkomen, moeten apparaten elektromagnetisch compatibel zijn. Elektromagnetische compatibiliteit is het vermogen of de eigenschap van een elektrisch of elektronisch apparaat om bevredigend te functioneren in zijn elektromagnetische omgeving zonder zelf ontoelaatbare stoorsignalen toe te voegen.(41) Dit houdt in dat apparaten niet mogen storen en zelf voldoende ongevoelig (immuun) moeten zijn voor storingen.(27)

12.3.7 Richtlijn GGD

In oktober 2006 zijn de GGD richtlijn 'Gezondheidsrisico's RF-EM velden afkomstig van zendingrichtingen voor: mobiele telecommunicatie en omroep' en het herziene LCM-standpunt UMTS-zendmasten verschenen.(27,42) Beide publicaties zijn te vinden via GGD Kennisnet.

12.3.8 Normen

In het Nationaal Antennebeleid staat dat in Nederland de Europese blootstellingslimieten gelden.(43) Deze zijn geheel gebaseerd op de thermische (opwarming) en niet-thermische effecten (stimulatie van spieren en zenuwen door elektrische stromen) van RF-EM velden op biologische structuren. De Nederlandse overheid acht het niet noodzakelijk om de Europese blootstellingslimieten aan te scherpen, zoals in sommige andere Europese landen wel wordt gedaan.

De Europese blootstellingslimieten zijn gebaseerd op de thermische en niet-thermische effecten door RF-EM velden, te weten opwarming en geïnduceerde elektrische stromen. In onderstaande tabel staan referentiewaarden voor verschillende bronnen vermeld, zoals die voor de betreffende frequenties zijn afgeleid. Voor een uitgebreide beschrijving van de (afleiding van de) blootstellingslimieten en referentiewaarden wordt verwezen naar de GGD Richtlijn RF-EM velden zendingrichtingen.(27)

Tabel 12.5 Referentiewaarden voor de meest gangbare toepassingen.

Antenne	Frequentie	Referentiewaarde elektrische veldsterkte
Mobilfoon, Paging, C2000, FM-omroep		28 V/m
TV		28-41 V/m
GSM-900	900 MHz	41 V/m
GSM-1800	1800 MHz	58 V/m
UMTS	2100 MHz	61 V/m
DECT-telefoon	1880-1900 MHz	60 V/m
Magnetron	2450 MHz	61V/m
Babyfoon	40 MHz	28 V/m
	863 MHz	40 V/m
Wifi	2,4 GHz band	61 V/m
	5 GHz band	61 V/m

12.3.9 Juridische aspecten, verantwoordelijke partijen

Voor een uitgebreide bespreking van juridische aspecten en verantwoordelijke partijen bij GSM- en UMTS- zendmasten wordt verwezen naar het Beoordelingkader gezondheid en milieu en naar de GGD Richtlijn RF-EM velden zendingrichtingen.^(28,27)

De Nederlandse wet- en regelgeving en het beleid voor zendmasten zijn vastgelegd in het Nationaal Antennebeleid en verder uitgewerkt in een convenant tussen de rijksoverheid, de VNG en de operators van mobiele telefonie. Het convenant gaat onder meer over de planning en sitiesharing, het plaatsingsplan en de instemmingsprocedure.^{6(44,45)}

Het Ministerie van Economische Zaken is verantwoordelijk voor het beleid ten aanzien van mobiele telefonie (aanleg netwerken en toezicht op de veiligheidsaspecten van de gebruikte apparatuur voor deze netwerken). EZ doet dat in samenwerking met onder andere de Ministeries van VROM (ruimtelijke ordening en beleid ten aanzien van elektromagnetische velden en gezondheid) en VWS (veiligheid van consumententoepassingen; Warenwet).

De veiligheid van huishoudelijke elektrische producten is geregeld in de Warenwet. Normen geven een nadere invulling aan deze veiligheidseisen. De Voedsel en Warenautoriteit (VWA) houdt toezicht op de naleving van de Warenwet.

Elektrische apparatuur dient te zijn voorzien van het CE-keurmerk wanneer zij op de Europese markt wordt gebracht. Dit keurmerk houdt in dat de apparatuur voldoet aan de toepasselijke Europese richtlijnen en dat onder normale omstandigheden de basisrestricties niet worden overschreden.⁽¹⁾

12.4 Referenties

1. Bolte JFB, Pruppers MJM. Gezondheidseffecten van blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden – Probleemanalyse niet-ioniserende straling. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 861020007. Bilthoven, 2004.
2. Gezondheidsraad. Extreem laagfrequente elektromagnetische velden en gezondheid. Gezondheidsraad rapportnr. 92/07. Den Haag, 1992.
3. Brederode NE van, Bogaard CJM van den, Bruggen M van, Fast T, Hegger C, Weerdt DHJ van de. GGD richtlijn Gezondheidsrisico's van bovengrondse hoogspanningslijnen. Landelijk Centrum Medische Milieukunde/GGD-Nederland. Utrecht, 2005.
4. Stuurman CS, Wolven JF van. Kostenanalyse van de technische maatregelen ter beperking magnetische velden nabij bovengrondse hoogspanningslijnen (vooronderzoek). Deel 1: samenvatting. Kema. Arnhem, 2002.
5. Kelfkens G, Pruppers MJM. Handreiking voor het berekenen van de specifieke 0,4 microtesla zone in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Bilthoven, 2005 (actuele versie op www.rivm.nl/hoogspanningslijnen).
6. Stoep JW Van der. Metingen van magnetische velden rondom transformatorhuisjes. KEMA. Arnhem, 1998.
7. Berg GP van den. Magnetische velden tengevolge van de elektriciteitsvoorziening in de Persoonstraat, Bocholtz. Notitie Natuurkundewinkel. Rijksuniversiteit Groningen. Groningen, 2002.
8. Habets T. Gezondheidkundige beoordeling van metingen van magnetische veldsterkte in kantoorruimte. Brief-rapport GGD Rotterdam en omstreken, 16 juli 1998.
9. GGD Amsterdam. Advies GGD Amsterdam over onderstation NUON, Nieuwe Looijersstraat 51, 2 november 2005 (www.ggd.amsterdam.nl). Amsterdam, 2005.

⁶ De instemmingsprocedure geeft de huurders van het gebouw waarop een provider een antenne-installatie wil plaatsen, de mogelijkheid om voor of tegen te stemmen.

10. TNO. Magnetische veldsterkte metingen uitgevoerd rond diverse onderstations in Amsterdam. TNO Electronic Products & Services (EPS) B.V. Project nummer: 05122101.r01. Niekerk, 2006.
11. Website van de Belgian bioelektromagnetic group. www.bbemg.ulg.ac.be.
12. Ministerie van VROM. Circulaire inzake extreem laagfrequente elektrische en magnetische velden (ELF velden). Den Haag, 1995.
13. Kirchner EJJ, Eggink GJ, Pruppers MJM. Niet-ioniserende straling in de gezondheidszorg en effecten op de volksgezondheid. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 610059002. Bilthoven, 1995.
14. Behrens T, Terschüren C, Kaune WT, Hoffmann W. Quantification of lifetime accumulated ELF-EM exposure from household appliances in the context of a retrospective epidemiological case-control study. *J Expo Analys Environ Epidemiol* 2004; 14: 144-53.
15. TenneT. Brochure 'Elektrische en magnetische velden'. Arnhem, 2004.
16. Bruggen M van, Fast T. Beoordelingskader gezondheid en milieu. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609026003. Bilthoven, 2003.
17. Plas M van der, Houthuijs DJM, Dusseldorp A, Pennders RMJ, Pruppers MJM. Magnetische velden van hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 610050007. Bilthoven, 2001.
18. Gezondheidsraad. Blootstelling aan elektromagnetische velden (0 Hz – 10 MHz). Gezondheidsraad rapportnr. 2000/06. Den Haag, 2000.
19. Landelijk Centrum Medische Milieukunde. Standpunt ELF-EM velden elektriciteitsvoorziening en gezondheid. Hoogspanningslijnen – Onderstations – Transformatorhuisjes. Rotterdam, 2006.
20. Gezondheidsraad. Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2003. Gezondheidsraad rapportnr. 2004/01. Den Haag, 2004.
21. Ministerie van VROM. Advies met betrekking tot hoogspanningslijnen van de Staatsecretaris van VROM. Den Haag, 2005.
22. Ministerie van VROM. Brief aan B&W Amsterdam, n.a.v. Basisschool De Kleine Reus, d.d. 240306. Den Haag, 2006.
23. Nederlands Normalisatie Instituut. Bovengrondse elektrische lijnen boven 45 kV wisselspanning – deel 3: verzameling van nationale normatieve aspecten. NEN-EN 50341-3. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2001.
24. TenneT. Brief over elektromagnetische velden; brief Staatssecretaris van Geel (ref TI-ION 06-053 JdB/NE), 30 januari 2006.
25. Gezondheidsraad. Mobiele telefoons. Een gezondheidskundige analyse. Gezondheidsraad rapportnr. 2002/01. Den Haag, 2002.
26. Gezondheidsraad. Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2006. Gezondheidsraad rapportnr. 2007/06. Den Haag, 2007.
27. Brederode NE van, Esser P, Hegger C, Weerdt DHJ van de, Zijden A van der. GGD Richtlijn Gezondheidsrisico's RF-EM velden afkomstig van zendingrichtingen voor: mobiele telecommunicatie & omroep. Landelijk Centrum Medische Milieukunde / GGD-Nederland. Utrecht, 2006.
28. Fast T, Bruggen M van. Beoordelingskader gezondheid en milieu: GSM-basisstations, Legionella, radon, fijn stof en geluid door wegverkeer. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609031001. Bilthoven, 2004.
29. Agentschap Telecom. Meetvoorschrift voor het uitvoeren van EMF-metingen rond basisstations. 2003
30. Habets T. Veldsterktemetingen in woningen te Barendrecht. Brief-rapport GGD Rotterdam en omstreken, juli 2005.
31. Nationaal Antennebureau. *Persoonlijke mededeling*. 2006.
32. Gezondheidsraad. Radiofrequente elektromagnetische velden (300 Hz – 300 GHz). Gezondheidsraad rapportnr. 1997/01. Den Haag, 1997.

33. Zwamborn APM, Vossen SHJA, Leersum BJAM van, Ouwens MA, Makel WN. Effects of Global Communication system radio-frequency fields on well being and cognitive functions of human subjects with and without subjective complaints. TNO, COFAM-project, projectnr. FEL-03-C148. Den Haag, 2003.
34. Regel SJ, Negovetic S, Rösli V, et al. UMTS base station-like exposure, well being and cognitive performance. *Environ Health Perspect*: doi: 10.1289/ehp.8934. [Online 6 June 2006] (<http://www.ehponline.org/docs/2006/8934/abstract.html>).
35. Hutter HP, Moshhammer H, Wallner P, Kundi M. Subjective symptoms, sleeping problems and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. *Occup Environ Med* 2006; 63: 307-13.
36. Coggon D. Health risks from mobile phone base stations; commentary on the paper by Hutter et al. *Occup Environ Med* 2006; 63: 298-9.
37. Gezondheidsraad. Elektromagnetische velden: Jaarbericht 2005. Gezondheidsraad rapportnr. 2005/14. Den Haag, 2005.
38. World Health Organization. Fact sheet no 304 Electromagnetic fields and public health – base stations and wireless technologies, mei 2006. (<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/factsheets/en/index.html>).
39. Schüz J, Böhler E, Schlehofer B, et al. Radiofrequency electromagnetic fields emitted from base stations of DECT cordless phones and the risk of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). *Radiation Research* 2006; 166: 116-9.
40. Hardell L, Carlberg M, Hansson Mild K. Pooled analysis of two case-control studies on use of cellular and cordless telephones and the risk for malignant brain tumours diagnosed in 1997-2003. *Int Arch Occup Environ Health* 2006; 79: 630-9.
41. Gezondheidsraad. GSM basisstations. Gezondheidsraad rapportnr. 2000/16. Den Haag, 2000.
42. Landelijk Centrum Medische Milieukunde. Standpunt UMTS-zendmasten (herzien). Rotterdam, 2006.
43. Europese Raad. Raad van Europese Gemeenschappen. Aanbeveling van de Raad van 12 juli 1999, betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz – 300 GHz. Publicatieblad van Europese Gemeenschappen, 1999/519/EG. Brussel, 1999.
44. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Nationaal Antennebeleid. Directoraat-generaal Telecommunicatie en Post. Den Haag, 2000.
45. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Convenant in het kader van het Nationaal Antennebeleid inzake vergunningsvrije antenne-installaties voor mobiele telecommunicatie. Den Haag, 2002.

13

Ioniserende straling

13.1 Inleiding

Ioniserende straling is de verzamelnaam voor straling met hoge energie. Ioniserende straling wordt ook wel radioactieve straling genoemd. De straling zelf is echter niet radioactief. De straling is het gevolg van radioactief verval van stoffen. Door deze hoge energie kan de straling materie 'ioniseren': er wordt een elektron uit de buitenste schil van een atoom weg geslagen.(1,2) Ioniserende straling en stoffen die deze straling uitzenden, zijn van nature in het milieu aanwezig, maar ze worden ook door de mens gemaakt of geconcentreerd. In ons land vertegenwoordigen kunstmatige bronnen van straling gemiddeld ongeveer 30% van de stralingsbelasting. Voorbeelden van kunstmatige bronnen zijn röntgenstraling voor medisch onderzoek en fall-out van atoombomproeven. Aan bouwen en wonen gerelateerde bronnen ('externe straling vanuit bouwmaterialen' en 'radon') zijn verantwoordelijk voor bijna de helft van de doorsnee blootstelling aan straling.(3)

Een woning biedt grotendeels afscherming tegen kosmische straling.(4,5) Dit hoofdstuk zal zich (met het oog op het binnenmilieu) dan ook met name richten op straling vanuit bouwmaterialen en radon.

Blootstelling aan ioniserende straling veroorzaakt, ongeacht de oorsprong, schade in het lichaam, die op termijn onder andere kan leiden tot het ontstaan van tumoren. Als in levend weefsel elektronen worden weggeslagen uit de moleculen waaruit het is opgebouwd, wordt dat weefsel beschadigd. Het herstelt zich wel weer, maar het herstellend vermogen van levende cellen is beperkt. Te veel ioniserende straling is dus gevaarlijk. Hoe groot de schade is die de straling aanricht, is van een aantal factoren afhankelijk, zoals het type straling, de wijze van blootstelling en waar in het lichaam de stof wordt gebonden of welk deel van het lichaam erdoor wordt getroffen.(3,2)

Uitwendige en inwendige bestraling

Bij uitwendige of externe bestraling gaat het soms om bestraling van het gehele lichaam, zoals bij de blootstelling aan bouwmaterialen, door de van nature hierin aanwezige radioactieve stoffen. Hiervoor zijn vooral de metalen radium (een radioactief vervalproduct van uranium), kalium en thorium verantwoordelijk.

Daarnaast ontstaat uit radium door radioactief verval een vluchtige radioactieve stof, radon. Een deel van het radon komt vrij uit de bodem en de bouwmaterialen, vermengt zich met de lucht en kan zich binnenshuis ophopen. De radioactieve stoffen die vervolgens weer uit het radon ontstaan ('de radondochters') zijn metalen die zich aan stofdeeltjes hechten. Door inademen van deze deeltjes worden de longen, waarin de deeltjes achterblijven, aan straling blootgesteld. Dit wordt inwendige bestraling genoemd. Ook via voedsel of via open wonden kunnen deeltjes in het lichaam terecht komen en voor inwendige bestraling zorgen.

Bouwen op een bodem met een hoog uraniumgehalte of gebruik van materialen waarin veel uranium voorkomt, kan leiden tot een uitgesproken verhoging van één van beide of beide componenten van de blootstelling aan straling in gebouwen.(3)

Alfa-, bèta- en gammastraling

Bij radioactief verval kunnen er verschillende soorten straling vrijkomen, met zeer verschillende eigenschappen. Alfastraling ontstaat door instabiele atoomkernen. Wanneer een atoom losse

heliumkernen uitstoot (2 neutronen en 2 protonen) ontstaat alfastraling. Door het relatief grote formaat van de alfastraling heeft het een vrij kort doordringingsvermogen. Alfastraling is heel gemakkelijk tegen te houden, bijvoorbeeld door je kleren en het dode bovenlaagje van je huid of door een vel papier. Van buitenaf levert alfastraling dus geen gevaar op. Als je van binnenuit bestraald wordt, bijvoorbeeld na het inademen van radioactieve stofdeeltjes, dan is alfastraling juist erg schadelijk.

Bètastraling wordt ook veroorzaakt door instabiele atomen. Als een atoom te veel neutronen heeft, wordt een neutron omgezet in een proton en een elektron. Het zendt dan een elektron uit. Dit elektron is dan de bètastraling. Doordat bètastraling bestaat uit elektronen dringen deze wel door een laag papier heen, maar door een dikke plaat wordt het al tegen gehouden, of een laag aluminiumfolie.

Gammastraling bestaat uit fotonen die worden uitgestraald, Deze fotonen gaan met hoge trillingen bijna overal doorheen. Röntgenstraling is vergelijkbaar met gammastraling, maar wordt kunstmatig opgewekt. Zelfs tot op honderden meters afstand van een bron die gammastraling uitzendt, kun je uitwendig bestraald worden. Gammastraling kan het beste worden tegengehouden door zware materialen zoals lood of beton.(6,7)

Radon en thoron

Radon (Rn) is een natuurlijk voorkomend radioactief edelgas. Edelgassen hebben als kenmerk dat ze zich nergens aan hechten. Bij kamertemperatuur is radon een kleur- en geurloos gas, maar beneden de 0 °C is het fosforescerend geel.(8) Overigens zal bij de geringe 'spoor'concentratie van radon in lucht (veelal minder dan 10^{-15} g/m³) geen geel worden waargenomen.

Radon ontstaat door radioactief verval¹ uit het metaal radium. Als radon vervalt, ontstaan er nieuwe producten die zelf ook weer radioactief zijn: de zogenaamde radondochters. Dit zijn isotopen² van polonium, bismuth en lood. De radondochters zijn bij kamertemperatuur niet gasvormig en hechten zich daarom aan kleine stofdeeltjes. Radon heeft 86 als atoomnummer en omvat 26 isotopen met de nummers 201 tot en met 226. Bij de verandering van radon in radondochters en bij het verval van de radondochters komt alfastraling (en soms ook gammastraling) vrij.

Twee isotopen van radon zijn belangrijk in het binnenmilieu: ²²⁰Rn (thoron) en ²²²Rn (vaak verwarrend ook 'radon' genoemd). Thoron heeft een halveringstijd³ van 56 seconden en radon-222 van 3,83 dagen.(8) Door de veel kortere halveringstijd van thoron is de bijdrage van dit isotoop aan de blootstelling in het binnenmilieu gewoonlijk laag vergeleken met die van radon-222.

Voor thoron is de belangrijkste bron het bouw materiaal, maar woonsituaties waarin thoron de stralingsbelasting domineert, zijn uitzonderlijk.(9) Radon-222 is verantwoordelijk voor meer dan 85% van de stralingsbelasting door radonisotopen.(3) In de rest van dit hoofdstuk wordt daarom ook alleen radon-222 besproken (tenzij het gaat over de dosis door radon; in dat geval is de dosis afkomstig van alle relevante isotopen bedoeld). Deze isotoop wordt in het vervolg met de naam 'radon' aangeduid.

Eenheden

De eenheid van straling is Sievert (Sv). Deze eenheid geeft de dosis ioniserende straling aan die organen absorberen. De stralingsdosis is dus een maat voor de kans op gezondheidsschade. Omdat de stralingsdoses meestal klein zijn, wordt de dosis vaak uitgedrukt in millisievert (een duizendste sievert) of microsievert (een miljoenste sievert). Gemiddeld ontvangt een Nederlander ongeveer 2 tot 2,7 millisievert straling per jaar. Natuurlijke stralingsbronnen veroorzaken in Nederland

¹ Radioactief verval is een proces waarbij een stof een deel van zijn atoomkern afstoot; de stof vervalt in een andere stof en daar komt straling bij vrij.

² Isotopen zijn verschillende vormen van hetzelfde element (isotoop betekent 'zelfde plaats' in het periodiek systeem) die qua chemische eigenschappen dan ook gelijk zijn aan elkaar, maar verschillen in het aantal neutrale deeltjes (neutronen) in de atoomkern. De getallen geven het aantal deeltjes in de atoomkern aan.

³ Elke radioactieve stof kent zijn eigen vervalsnelheid, die uitgedrukt wordt in halfwaardetijd, $T_{1/2}$. Na steeds één halfwaardetijd is de helft van de radioactiviteit vervallen. Na $2 T_{1/2}$ is dus nog maar een kwart over ('de helft van de helft').

gemiddeld ongeveer 2 millisievert per jaar . De blootstelling aan kunstmatige stralingsbronnen komt bijna geheel voor rekening van medische toepassingen. Gemiddeld gaat het daarbij om 0,7 millisievert per jaar, voornamelijk als gevolg van de röntgenonderzoek.(2)

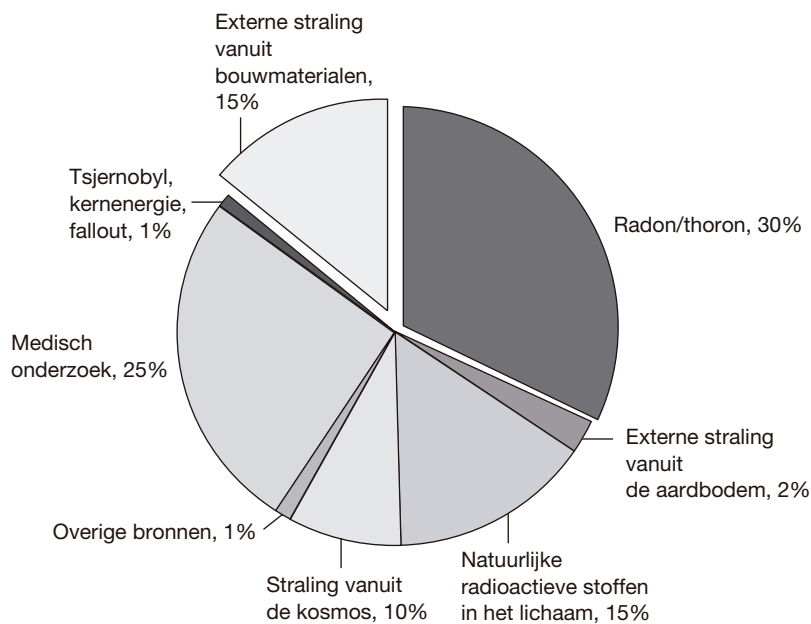
De eenheid van de mate van radioactiviteit is Becquerel (Bq). 1 Bq komt overeen met 1 vervallende atoomkern per seconde. De hoeveelheid radon in lucht wordt uitgedrukt in Bq per kubieke meter (Bq/m³). Een becquerel is een zeer kleine eenheid, zo bevat het menselijk lichaam 120 Bq natuurlijke radioactieve stoffen per kilo. Becquerels kunnen worden omgerekend naar millisievert.(2)

De dosisconversie-coëfficiënt (in Sv/Bq) geeft de stofspecifieke werkzaamheid weer.(3)

Meer eenheden staan beschreven in Bijlage 13.1.

13.2 Bronnen van ioniserende straling

De twee belangrijkste bronnen van straling in het binnenmilieu zijn de bodem en allerlei bouwmaterialen. In Nederland is in nieuwbouwwoningen gemiddeld ongeveer 70% van het radon afkomstig uit het bouw materiaal. De bodem en de buitenlucht (middels infiltratie) dragen beide voor ongeveer 15% bij. Andere bronnen, zoals aardgas en drinkwater hebben een gezamenlijke bijdrage van minder dan 1%.(6) De belangrijkste bronnen worden in deze paragraaf besproken.



Figuur 13.1 Diverse bronnen van ioniserende straling die bijdragen aan de gemiddelde stralingsbelasting voor een Nederlander in 2000.(3)

Bodem

De grond waarop wij leven bevat natuurlijke radioactiviteit. Afhankelijk van de grondsoort zit er een zekere hoeveelheid uranium en radium in. Zo komen hogere concentraties vooral voor in bodems gevormd uit vulkanisch gesteente en lagere in die van sedimentaire oorsprong. Tot deze laatste groep behoren de in Nederland voorkomende bodems. In ons land zijn vooral de klei- en lössgronden een bron van radongas; zand- en veengronden geven weinig radongas af. De hoeveelheid radon die vervolgens per tijdseenheid uit de bodem ontwijkt (exhalatie), is afhankelijk van de poriestructuur en het vochtgehalte van de bodem. Zo zal uit een waterverzadigde bodem weinig of geen radon ontwijken, omdat het zich veel trager verplaatst in water dan in lucht. (3,6) In Nederland is de gemiddelde emissiesnelheid 16 mBq/m² per seconde.(8) Dit is beduidend lager dan in veel andere landen in Europa. Daarnaast varieert het stralingsniveau in de tijd. Deze schommelingen zijn afhankelijk van factoren zoals luchtdruk en windsnelheid, regenval en

bodemvochtigheid, die van invloed zijn op respectievelijk de emissie van radioactiviteit uit de bodem in de vorm van radon, uitwassen van de radonochters uit de lucht, en afscherming van de activiteit die zich in de bodem bevindt.(3)

De gemiddelde radiumconcentratie in de bodem in Nederland bedraagt 25 Bq/kg. Ten gevolge van menselijk activiteiten kan radium ook in hogere dan de natuurlijke concentraties in de bodem voorkomen. Dit betreft ondermeer locaties die zijn opgehoogd met verontreinigde baggerspecie of slib, of locaties die zijn opgehoogd met reststoffen uit bijvoorbeeld de mijnbouw.(10)

Slechts een beperkt deel van het radon kan uit de bodem vrijkomen voor het verval. Om te beginnen moet het namelijk ontsnappen uit de bodemdeeltjes op het ogenblik dat het door radioactief verval ontstaat, en vervolgens via de poriën in het materiaal naar het oppervlak diffunderen. Alleen radon dat dicht aan het oppervlak van een bodemdeeltje ontstaat, kan er uit ontsnappen. Naar schatting ontsnapt hoogstens 30% uit een bodemdeeltje. In grof en glad materiaal (zoals grind) ontsnapt zelfs minder dan 1%.(3)

Vanuit de kruipruimten kan radon via openingen in de vloer tussen de kruipruimte en de begane grond de woning binnendringen. De verplaatsing van lucht vanuit de kruipruimte naar de woning wordt veroorzaakt doordat de luchtdruk in de kruipruimte hoger is dan die in de woning. Dit drukverschil kan veroorzaakt worden door wind en door temperatuurverschillen in de woning. De opstijgende warmere lucht in de woning (vooral in de winter) zorgt voor een zogenaamd schoorsteeneffect. Radon kan dan uit de kruipruimte worden 'gezogen'. Nieuwere, beter geïsoleerde woningen zijn meer luchtdicht, en als gevolg van afvoer door mechanische ventilatie heerst er in de woning vaak enige onderdruk, waardoor het schoorsteeneffect groter kan zijn. Hierdoor kan ook de radoninfiltratie groter zijn. Andere factoren zoals de mate van luchtdoorlaatbaarheid van de vloer zijn hierbij uiteraard ook van belang.(11,12)

Bouwmaterialen

De meeste bouwmaterialen, zoals beton, gips, cement en baksteen, bestaan vooral uit grondstoffen afkomstig uit de bodem. In de loop der jaren is het radioactiviteitsgehalte in een groot aantal bouwmaterialen bepaald. De verschillen zowel tussen als binnen materiaalsoorten kunnen groot zijn.(3) In het algemeen geldt: hoe zwaarder het materiaal, hoe hoger het radiumgehalte kan zijn. Bouwmaterialen waarin industriële bijproducten zijn verwerkt, zoals vliegas en fosfogips⁴, bevatten meestal meer radium dan materialen zonder bijproducten. Het uit radium gevormde radon kan uit het bouw materiaal diffunderen en in het binnenmilieu terechtkomen. In de meeste gevallen ontsnapt maar een deel van het gevormde radon uit het bouw materiaal. De radonemissie is niet alleen afhankelijk van de radiumconcentratie in het bouw materiaal, maar ook van factoren als de structuur van het materiaal en de afwerking, zoals behang, verf en vloerbedekking, en van de luchtbeveiliging langs het materiaal en de luchtdruk in de woning.

Andere factoren die het ontwijken van radon uit bouwmaterialen vooral beïnvloeden, zijn dezelfde als bij bodems, te weten: vochtgehalte, poriestructuur en korrelgrootte-verdeling. Uit baksteen ontwijkt opvallend minder radon dan uit bijvoorbeeld betonproducten, ondanks het feit dat baksteen meer radium bevat. Omdat in verouderde materialen de vochtigheidsgraad en poriestructuur wijzigen, zal in de loop van de tijd ook de radonemissie veranderen.(3)

Beton, kalkzandsteen en fosfogips hebben een relatief hoge emissie van radon. In de jaren zeventig werd fosfogips toegepast in de woningbouw. Tegenwoordig wordt het alleen nog maar gebruikt voor pleisterwerk. De aangebrachte laag is dan zo dun dat de radonemissie relatief laag is. Alleen fosfogipsblokken (toegepast in oudere woningen) kunnen over een lange termijn een substantiële bijdrage leveren aan de radonconcentratie in het binnenmilieu.(11-13)

Radon dat naar buiten toe ontwijkt (bijvoorbeeld uit het buitenspouwblad) of uit materialen gebruikt in de kruipruimte, zal uiteraard slechts beperkt bijdragen aan de concentratie in een gebouw. Ontstaat radon in oudere woningen vooral in de bakstenen muren, in nieuwe woningen zit het

⁴ Fosfogips is gips dat ontstaat uit fosfaaterts, dat wordt gebruikt in de kunstmestindustrie. Fosfogips werd vroeger toegepast bij de fabricage van gipskartonplaten en gipsblokken.

meeste radium in de betonnen vloeren en plafonds. Omdat radon bovendien makkelijker uit beton ontwijkt dan uit baksteen, is het te verklaren dat de radonconcentratie in recenter gebouwde woningen hoger zal zijn dan in oudere woningen, namelijk bijna 30 tegen ongeveer 20 Bq/m³.(3)

Buitenlucht

Radon in de buitenlucht is grotendeels afkomstig uit de bodem. Vergeleken met het buitenland zijn in Nederland de radonconcentraties in de buitenlucht laag. Dit komt vooral door de wind van zee die relatief geringe concentraties radon bevat. De jaargemiddelde radonconcentratie in Nederland bedraagt 3,3 Bq/m³, met een spreiding van 1 tot 10 Bq/m³. Gebieden met naar verhouding meer radon in de buitenlucht zijn de gebieden meer landinwaarts en, tijdens windstille perioden, de gebieden met kleiachtige bodems.

Grondwater

Doordat grondwater in direct contact staat met radium in de bodem is de radonconcentratie in het grondwater gewoonlijk veel hoger dan die in oppervlaktewater. Uit onderzoek is gebleken dat de radonconcentratie in grondwater uiteenloopt van 1 tot 50 Bq per liter voor waterlagen in sedimentair gesteente. Bij specifieke gesteenten met hoge uraniumconcentraties kan dit oplopen tot tienduizenden Bq per liter.(3)

Wanneer grondwater wordt gebruikt voor de productie van drinkwater, en speciaal als het grondwater wordt gewonnen uit privébronnen, dan kan het drinkwater een hogere concentratie radon bevatten. Het radon in water kan tijdens het huishoudelijk gebruik vrijkomen. Door het drinken van water kan radon in de maag terecht komen, als het niet al voor die tijd vervallen is. Het risico op maagkanker is echter te verwaarlozen ten opzichte van het risico op longkanker door radon in de binnenlucht.(8)

Aardgas

Ook bij de verbranding van aardgas voor verwarming en koken komt een beperkte hoeveelheid radon in huis vrij. Maar net zoals bij drinkwater is het radongas in aardgas tegen de tijd dat dit bij de consument komt, grotendeels vervallen.(6)

Ionisatierookmelder

Rookmelders geven een alarmsignaal af zodra ze rook signaleren. Hiermee waarschuwen ze voor brand en kan men zo snel mogelijk maatregelen nemen. Er zijn twee soorten rookmelders op de markt: ionisatierookmelders en optische rookmelders.

Ionisatierookmelders hebben een kleine radioactieve bron, meestal ²⁴¹Am (Americium), die geladen deeltjes uitzendt. Americium-241 heeft een halfwaardetijd van 432 jaar. Die deeltjes worden opgevangen op een elektrode, zodat tussen de twee elektroden een stroompje loopt. Bij rook neemt de stroom tussen de elektroden af, omdat een deel van de geladen deeltjes door de rook geabsorbeerd of verstrooid wordt. De rookmelder detecteert dit en geeft alarm.

Ionisatierookmelders vallen onder de Kernenergiewet en zouden in principe alleen met vergunning mogen worden toegepast. Voor huishoudelijk gebruik is echter een ontheffing van kracht, omdat er maar een heel kleine hoeveelheid radioactieve stof in zit die een kleine dosis afgeeft. Verder is de radioactieve stof in de rookmelder beschermd tegen aanraking en verspreiding, waardoor het gevaar bij normaal gebruik te verwaarlozen is. Normaal gesproken zal alleen als de rookmelder uit elkaar wordt gehaald of deze bijvoorbeeld bij brand beschadigd raakt, radioactiviteit vrij kunnen komen. Ook deze risico's zijn klein.(14)

Er zijn ook optische rookmelders op de markt. Deze bevatten geen radioactieve bron, maar werken met een lichtbundeltje en een lichtgevoelige cel. De optische rookmelders signaleren brand in woningen vaak net iets eerder dan de ionisatierookmelders, en hebben dus om twee redenen de voorkeur.

Sinds 1 januari 2006 mogen ionisatierookmelders voor huishoudelijk gebruik niet meer worden verkocht. Ionisatierookmelders die voor die tijd zijn aangeschaft, mogen wel blijven worden gebruikt.(14)

13.3 Inspectie

De kans dat de concentratie aan radon in de woning verhoogd is, kan worden geschat. Er moet worden gelet op de gebruikte bouwmaterialen, de hoogte van het gebouw (in het algemeen geldt: hoe zwaarder de constructie des te meer kans op een hoog radongehalte), de vloerafdichting, de isolatie, de ventilatie, de geografische ligging en het soort materiaal van eventueel opgebrachte bodemlagen (zie ook paragraaf 13.2).

Bij de aanwezigheid van veel fosfogips en betonplaten in een woning zal de radonconcentratie hoger zijn dan die in een woning met houten vloer- en plafonddelen en stenen wanden. Hoe verder van de kruipruimte, hoe minder radon er in het binnenmilieu voorkomt. Wanneer echter gebruik is gemaakt van bouwmaterialen met een relatief hoge radonemissie, zoals beton (bijvoorbeeld in veel flats), gaat dit niet op. Bij woningen waar een kruipruimte aanwezig is, is de vloerafdichting of -isolatie van belang. Bij een goede afdichting zal er minder radon vanuit de kruipruimte de woning bereiken. Wanneer er sprake is van een hoge grondwaterstand of zelfs water in de kruipruimte, kan er minder radongas uit de bodem de kruipruimte in diffunderen. De ventilatie van de kruipruimte heeft ook invloed. Wanneer deze onvoldoende is, kan dit een verhoging van het radongehalte in de woning opleveren.

13.3.1 Maatregelen

Het is onmogelijk om een standaardpakket aan te bieden van maatregelen ter vermindering van de radonconcentraties in woningen. Zo kan de ene maatregel in het ene huis wel effect hebben en rendabel zijn en in het andere niet.

De op ventilatie gerichte maatregelen zijn vooral effectief wanneer de concentratie radon vóór de maatregel hoog is. Theoretisch gezien zou ook de gemiddelde radonconcentratie in Nederlandse bestaande en nieuwbouwwoningen sterk verlaagd kunnen worden, maar er moet ook rekening worden gehouden met diverse andere eisen die aan woningen in Nederland worden gesteld, zoals akoestisch en thermisch wooncomfort en de energieprestatie.⁽⁹⁾ Uiteraard kunnen op ventilatie gerichte maatregelen ook preventief werken. Hieronder worden mogelijke maatregelen genoemd die de GGD kan adviseren. De maatregelen zouden dan door de woningeigenaar of woningcorporatie moeten worden uitgevoerd.

Mogelijke maatregelen in bestaande woningen:

- kijk of er openingen zitten in de vloer van de begane grond. Dit kan door in het donker te kijken terwijl iemand anders aan de andere kant van de vloer een lamp houdt. Overal waar licht door kan schijnen, kan ook radon doorheen. Maak alle openingen goed dicht, bijvoorbeeld met elastische kit. PUR (polyurethaan)-schuim is ook bruikbaar, maar het geeft sterk irriterende stoffen af tijdens gebruik en een paar dagen erna.
Het afdichten van openingen valt te combineren met het aanbrengen van warmte-isolatie tegen de onderkant van de vloer. Isolatie is echter niet zomaar overal luchtdicht.
- sluit de bodem van de kruipruimte helemaal af met een dikke laag schelpen of schuimbeton. Een folie kan ook, maar deze mag geen beschadigingen hebben en geen losse maar gelaste naden. Bovendien moet deze luchtdicht aansluiten op de muren. Overigens gaat radon door gangbaar plastic folie heen; er zou wel sprake moeten zijn van bijvoorbeeld aluminiumfolie.⁽¹⁵⁾ Een volledig afgesloten bodem vermindert ook het vrijkomen van vocht uit de bodem.
- vergroot zonnig de openingen van buiten naar de kruipruimte toe. Maar hoe meer buitenlucht er in de kruipruimte komt, des te sterker is ook de afkoeling van de onderkant van de vloer. Daardoor wordt ook de behoefte aan isolatie tegen de onderkant van de vloer groter.
- breng spouwmuurventilatie aan.^(16,17)

Verder is het uiteraard (mede) aan de bewoners van een bestaande woning om de woning goed te ventileren en te luchten.

Bij nieuw te bouwen woningen zijn er ook enkele algemene aandachtspunten. Vanuit de GGD is er vaak geen mogelijkheid om hierover te adviseren. Voor de volledigheid worden mogelijke maatregelen hier wel genoemd.

Mogelijke maatregelen bij nieuw te bouwen woningen:

- bouw kruipruimteloos. Het blijkt echter veelal dat er wel een ruimte onder de woning is, maar dat deze niet toegankelijk is. In dergelijke situaties kan radon uiteraard wel een rol gaan spelen;(15)
- maak de vloer van de begane grond geheel luchtdicht, tenminste volgens de eisen van het Bouwbesluit;
- kies een lichte constructie (houtskelet met in de natte ruimten een vloer van cellenbeton), maar denk dan wel om de geluidsisolatie en de warmtehuishouding;
- gebruik portlandcement zonder vliegias en geen hoogovencement;
- gebruik geen fosfogips, ook niet in het pleisterwerk;
- kies ventilatievoorzieningen die ruim zijn bemeten en gemakkelijk te bedienen en schoon te houden en informeer aanstaande bewoners, zodat zij de voorzieningen op de juiste manier gebruiken en onderhouden.(16,17)

13.4 Meten van radon

Er zijn verschillende methoden om de ²²²radonconcentratie in de binnenlucht te meten. Gelet op de kosten en de uitvoerbaarheid in een woning, zijn methoden die de radonconcentratie gemiddeld over een langere tijdsperiode bepalen het meest geschikt. De hiervoor geschikte meetmethoden maken over het algemeen gebruik van 'goedkope' passieve monsternamen-apparatuur. Er wordt dus geen pompje gebruikt om lucht aan te zuigen.

Een in Nederland veel gebruikte methode is de 'etched-track detector' (zogenoemde sporenbeker). In deze beker zit een plaatje van gevoelig materiaal dat door de radonactiviteit kleine beschadigingen (sporen, 'tracks') krijgt. Deze sporen worden door een elektrochemische behandeling zichtbaar gemaakt, waarna ze worden geteld onder een microscoop. Hieruit kan vervolgens de gemiddelde radonconcentratie worden berekend. Voor een precies resultaat moet het bekertje wel een aantal maanden worden blootgesteld, gewoonlijk 3-12 maanden. De detectielimiet is 5-10 Bq/m³ voor een meetperiode van 4 maanden.

Een andere methode is gebaseerd op het vermogen van geactiveerd koolstof om ²²²radon te adsorberen. Na de blootstellingperiode wordt de kool onderzocht op het gehalte aan ingegroeide dochternucliden. Deze methode is eenvoudig, maar niet erg nauwkeurig. Zo wordt de hoeveelheid geadsorbeerd radon sterk beïnvloed door veranderingen in de luchtvochtigheid. Ook kan de meetperiode niet langer zijn dan 2-7 dagen (dit met het oog op de T_{1/2} van 3,83 dagen).(8)

Voor particulieren is het inmiddels ook mogelijk om de concentratie aan radon in hun woning te laten bepalen. Dit kan bijvoorbeeld door de Nuclear Research & Consultancy Group (NRG) in Petten of het Kernfysisch Versneller Instituut (KVI) in Groningen. De kosten voor een radonmeting door bijvoorbeeld de NRG bedragen 55 euro. Men krijgt dan een meetbeker met instructies thuisgestuurd. Na een meetperiode van minimaal drie maanden (op een vaste plek in de woning), kan de beker per post worden geretourneerd. Binnen enkele weken krijgt men schriftelijk de resultaten gerapporteerd.(7)

Overigens is de vraag hoe zinvol een dergelijke meting is, omdat, als de concentratie in een woning verhoogd zou zijn, bewoners zonder ingrijpende maatregelen aan de eigen woning niet veel meer kunnen doen dan goed (of beter) ventileren.

Bij het interpreteren van de meetresultaten is het belangrijk goed in het oog te houden wat er wordt weergegeven (de radonconcentratie, de radondochterconcentratie, enzovoort). De radondochters zijn uiteindelijk verantwoordelijk voor de schadelijke effecten in het menselijk lichaam maar de metingen in het binnenmilieu geven meestal de radonconcentratie. Om van hieruit de radondochterconcentratie te berekenen, kan gebruik worden gemaakt van de evenwichtsfactor 'F' (zie Bijlage 13.1).

De concentratie radondochters in lucht zal lager zijn dan de radonconcentratie, omdat ze langzaam maar zeker uit de lucht verdwijnen door hechten aan bijvoorbeeld muren of aan stofdeeltjes die neerslaan. Hoe hoog de radondochterconcentratie is die zich in een ruimte opbouwt, hangt af van bijvoorbeeld de hoeveelheid stofdeeltjes in de lucht waaraan de nucliden zich binden, de mate van luchtcirculatie en de grootte van het oppervlak van muren, meubilair en dergelijke, waaraan nucliden en stofdeeltjes zich kunnen hechten. De dochternucliden gebonden aan stofdeeltjes zullen gemiddeld langer in de lucht blijven dan ongebonden radondochters. Zo zal de dochterconcentratie in ruimten waar bijvoorbeeld wordt gerookt of gekookt, hoger zijn dan waar dit niet het geval is. Anderzijds is de deeltjesgebonden fractie minder schadelijk voor de gezondheid dan de ongebonden fractie.(18,3)

Hoe het gehalte aan radionucliden in de bodem en in bouwmaterialen is te meten, is door het Nederlands Normalisatie Instituut in enkele voorschriften vastgelegd. Deze voorschriften hebben betrekking op bemonstering, monstervoorbereiding en meting (NVN 5691, 5695, 5697). Voorschriften die te maken hebben met het meten van de radonemissie uit bouwproducten of de radonconcentratie in binnenlucht zijn respectievelijk NVN 5699 en NVN 5693.(3,19)

13.5 Referentiewaarden: concentraties in woningen

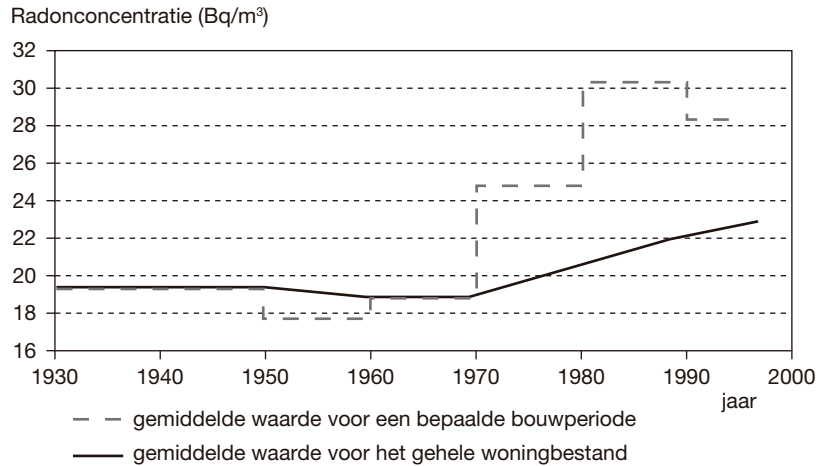
De radonconcentratie in de binnenlucht varieert van seizoen tot seizoen, van dag tot dag en van uur tot uur. De belangrijkste oorzaak van deze fluctuatie is het bewonersgedrag (ventilatie en verwarming).

Uit onderzoek van het RIVM in 1995-1996 blijkt dat de radonconcentratie in de woonkamer van relatief nieuwe woningen (bouwjaar 1985-1993) varieert tussen 5 en 400 Bq/m³. Gemiddeld bedroeg de concentratie in de woonkamer 28 Bq/m³ bij een concentratie in de buitenlucht van ongeveer 3 Bq/m³.(20) Dit is circa 50% hoger dan wat er in 1984, in het kader van het SAWORA-programma (Stralings Aspecten van Woonhygiëne en aanverwante Radioëcologische problemen), werd gemeten in woningen die tot circa 1970 werden gebouwd.(21)

In de kruipruimten is de gemiddelde radonconcentratie 70 Bq/m³. In slaapkamers is gemiddeld 10% minder radon gevonden dan in de woonkamer. Uit meting van luchtstromen in en tussen woonkamer en kruipruimte kon worden afgeleid dat voor de woonkamer de bouwmaterialen de belangrijkste bron van radon zijn met een gemiddelde bijdrage van 70%. Circa 15% van het radon is afkomstig uit de kruipruimte en 15% via de buitenlucht.(20) In woningen die tot circa 1970 werden gebouwd vond men dat voor de woonkamer de kruipruimte de belangrijkste bron van radon was met een gemiddelde bijdrage van 60%. Circa 30% van het radon was afkomstig van de bouwmaterialen en 10% via de buitenlucht.(21)

De radonconcentratie in de onderzochte woningen bleek te worden beïnvloed door het gebruik van de mechanische ventilatievoorziening, de radonconcentratie in de kruipruimte en het totale oppervlak van betonnen wanden.

De langetermijntoename in de radonconcentratie wordt voornamelijk veroorzaakt door verbeteringen in de woningisolatie sinds de jaren zeventig, hetgeen resulteerde in een toename van de luchtdichtheid van de bouwschil, en in mindere mate door een stijging in het gebruik van beton-



Figuur 13.2 Gemiddelde radonconcentratie in Nederlandse woningen en de gemiddelde waarde voor een bepaalde bouwperiode.(20)

producten over een periode van circa veertig jaar. De gemiddelde radonconcentratie is nog steeds de op een na laagste gemiddelde waarde in West-Europa.(20)

Tabel 13.1 Radonconcentraties in het binnenmilieu van woningen in enkele landen.(22)

Radonconcentratie (Bq/m ³) Europa		Radonconcentratie (Bq/m ³) buiten Europa	
België	48	Argentinië	37
Duitsland	50	Australië	11
Finland	120	Canada	34
Frankrijk	62	China	24
Griekenland	73	Egypte	9
Italië	75	India	57
Luxemburg	110	Indonesië	12
Nederland	23	Japan	16
Spanje	86	Nieuw-Zeeland	20
Verenigd Koninkrijk	20	Thailand	23
Zweden	108	Verenigde Staten	46

Het RIVM startte in 2006 in opdracht van het Ministerie van VROM een nieuw onderzoek naar radon in woningen. Dit onderzoek (de derde radon survey) richt zich op nieuwbouw uit de periode 1994-2003. In circa 300 woningen zal de radonconcentratie en de ventilatie een jaar lang worden gemeten. De resultaten van dit onderzoek worden binnenkort verwacht.(6)

13.6 Effecten op de gezondheid

Bij de biologische effecten van ioniserende straling wordt onderscheid gemaakt tussen deterministische en stochastische effecten. Deterministische effecten (ook wel 'weefselreacties' genoemd) treden op boven een bepaalde drempeldosis. Hoe hoger de dosis, hoe sterker het effect. Over weefselreacties als gevolg van blootstelling aan ioniserende straling is veel bekend. Het effect dat optreedt en de relatie tussen de intensiteit van het effect en de ontvangen dosis hangt af van welk deel van het lichaam wordt blootgesteld. Op korte termijn kan na blootstelling aan straling bijvoorbeeld roodheid van de huid optreden. Op langere termijn kan het afsterven van huidcellen en bindweefselvorming optreden.

Het optreden van stochastische effecten is een kansproces: het effect (bijvoorbeeld kanker) treedt wel of niet op. Hoe hoger de dosis was, hoe groter de kans is op gezondheidsschade. Over

stochastische effecten was lange tijd minder bekend. Op korte termijn kan na blootstelling aan straling een verandering in het DNA optreden, die dan nog niet direct waarneembaar is. Op langere termijn kan de eventuele schade blijken uit kankergezwellen of genetische effecten.(23)

In principe kunnen radon en de radonochters via drie routes het menselijk lichaam binnentreden: door de huid, via ingestie en door inhalatie. Inhalatie is de belangrijkste route; het bewaren van voedsel in de kelder speelt dit opzicht dan ook geen rol.(2)

Radon zelf is een inert gas. Dit wil zeggen dat het geen chemische reacties met andere stoffen aangaat en zich dus ook niet aan weefsel bindt. Mensen ademen radon meestal net zo makkelijk weer uit als dat ze het inademen. De radonochters kunnen zich echter wel aan andere stoffen hechten door adsorptie. De dochters hechten zich vooral aan heel kleine zwevende deeltjes in de lucht, zogenaamde aerosolen. De radonochters kunnen zich daarbij afzetten op de wanden van de luchtwegen. Radonochters gebonden aan grote deeltjes blijven in neus, keel of bovenste luchtwegen achter en zullen minder schade veroorzaken dan dochters gebonden aan kleine deeltjes die diep in de longen doordringen.(3) Radon en radonochters worden ook via de longen en/of via het spijsverteringssysteem en huidblootstelling in het bloed opgenomen en worden zo door het hele lichaam verspreid. Radon en de radonochters geven onder alle omstandigheden straling af. De straling die binnen in het lichaam wordt uitgezonden, kan echter meer schade veroorzaken dan de straling uitgezonden buiten het lichaam.

De radonochters zijn uiteindelijk verantwoordelijk voor de schadelijke effecten in het menselijk lichaam. Bij een risicoschatting wordt dan ook de concentratie van de radonochters gebruikt. Deze wordt uitgedrukt in Bq/m³ EEC of in WLM (zie Bijlage 13.1).

Radon- en thoronochters kunnen na inademing het longweefsel beschadigen. Op termijn kan longkanker ontstaan. Hoe groot de kans op longkanker is, hangt af van de tijd dat iemand aan radon wordt blootgesteld en de concentratie waaraan iemand is blootgesteld. Er is sprake van een latentieperiode tussen de blootstelling en het optreden van de ziekte; de diagnose longkanker wordt meestal pas na het vijftigste levensjaar gesteld. Na beëindiging van de blootstelling (zo dit al mogelijk zou zijn) blijft er een kans op longkanker bestaan als gevolg van eerdere blootstelling. Longkanker door radon kan niet worden onderscheiden van longkanker door andere oorzaken.(9) De BEIR (Biological Effects of Ionizing Radiation) VI-commissie van de Academie van Wetenschappen in de VS vond in 1998 geen aanwijzing voor een extra risico op andere vormen van kanker dan longkanker.(24)

Epidemiologische studies naar de relatie tussen radon en longkanker betreffen studies van blootgestelde mijnwerkers en studies naar radon in woningen.(6) In mijnen gaat het om relatief hoge blootstellingen in uraniummijnen. In deze mijnen is de radonconcentratie vaak hoog (naar schatting 50 tot 100 keer hoger dan die in woningen) en zeker in de beginjaren van de uraniumwinning werden de mijnen slecht geventileerd. Ondanks de aanwezigheid van andere longkankerverwekkende stoffen in het mijnstof (zoals arseen) en onzekerheden in de geschatte radonconcentraties en het rookgedrag van de mijnwerkers, is in deze studies een duidelijk verband aangetoond tussen radon en longkanker.(6,24,25) Extrapolatie van deze onderzoeken suggereert dan ook dat in veel landen de radonconcentratie in woningen een rol kan spelen bij het ontstaan van longkanker.(26)

De studies naar de relatie tussen longkanker en radon in woningen gaven echter in eerste instantie een minder duidelijk verband aan. Hierbij speelde rookgedrag een belangrijke rol, maar ook de grote variatie in radonconcentratie tussen huizen, de in het algemeen vrij lage blootstellingen en de (vaak onbekende) invloed van ventilatie. Momenteel geven overzichtsstudies wel degelijk aan dat de kans op longkanker toeneemt met de blootstelling aan radon.(6)

Een meta-analyse van dertien Europese patiënt-controle onderzoeken toonde, hoewel niet elk onderzoek apart, een significant risico op het ontstaan van longkanker als gevolg van blootstelling

aan radon in woningen, met name bij rokers en bij mensen die recentelijk zijn gestopt met roken.(26)

Dit verband tussen longkanker en radonblootstelling in woningen werd ook gevonden bij radonconcentraties in woningen onder de EU-aanbeveling (zie ook paragraaf 13.7) van 200 Bq/m³.

De resultaten van de meta-analyse suggereren dat radon in woningen verantwoordelijk is voor 9% van de sterfte aan longkanker in Europa.(26)

Mede naar aanleiding van de BEIR VI-rapportage over radongerelateerde stralingsrisico's heeft de Gezondheidsraad een schatting gemaakt voor de Nederlandse situatie. Voor de Nederlandse bevolking leiden de nieuwe inzichten, rekeninghoudend met de meest recente gegevens over de blootstelling, tot de schatting dat 100 tot 1200 gevallen van longkanker per jaar aan radonblootstelling zijn toe te schrijven. De meest waarschijnlijke schatting bedraagt 800 gevallen (onder de algemene bevolking, dus inclusief rokers), of circa 10% van het totale aantal van bijna 9.000 nieuwe gevallen per jaar.(27,3) Gezien het beperkte overlevingspercentage (11 à 12% vijf jaar na de diagnose) voor longkankerpatiënten, is het aantal mensen dat daadwerkelijk overlijdt, niet veel kleiner.(9) De gemiddelde kans per jaar voor een Nederlander om te overlijden aan radon is dan 1 op 20.000.(2)

De analyses in het BEIR-rapport en die van de Gezondheidsraad zijn gebaseerd op een lineair verband tussen blootstelling aan straling van ingeademde radonvervalproducten en de kans op longkanker. Daarbij wordt een drempel van de blootstelling waaronder geen gevolgen optreden, afwezig geacht.(27)

Tabaksrook

Radon en tabaksrook versterken elkaar bij het ontstaan van longkanker. Dit is toegeschreven aan het transport van radonochters naar de diepe luchtwegen, doordat ze zich hechten aan fijn stof. Het lijkt aannemelijk dat dit ook geldt voor fijn stof afkomstig van andere bronnen.(28) Longkanker door radon treedt grotendeels op bij rokers.

13.7 Normen

In Europees verband geldt de aanbeveling om bij nieuwbouw, radonconcentraties hoger dan 200 Bq/m³ te voorkomen. Verder wordt aanbevolen om in bestaande woningen bij concentraties van meer dan 400 Bq/m³ te saneren.(2) Beide grenzen worden in Nederland niet overschreden.(29)

Het is aan de diverse Europese lidstaten zelf om deze aanbevelingen al dan niet uit te werken. In Nederland wordt (evenals in Italië en Spanje) niet of nauwelijks iets gedaan aan radon en er is geen specifiek beleid op basis waarvan eventueel maatregelen worden genomen. In andere landen (bijvoorbeeld Denemarken, Finland, Zweden, en het Verenigd Koninkrijk) bestaat uitgebreid beleid op het gebied van radon in woningen, bouwmaterialen en drinkwater, maar ook op het gebied van saneringsmethoden, informatievoorziening en monitoring. In de afgelopen jaren hebben steeds meer landen beleid rondom radon ontwikkeld.(30)

In Nederland bestaat er geen wettelijk grenswaarde voor radon in de binnenlucht. Het beleid van de Nederlandse overheid richt zich erop de gemiddelde radonconcentratie en de bijdrage aan de dosis door externe straling binnenshuis te handhaven op het huidige niveau ('standstill'). In eerste instantie was hiervoor de stralingsprestatienorm (de zogenaamde SPN) ontwikkeld.(31) Deze legt voor nieuwbouwwoningen een maximum vast voor de blootstelling van de bewoner aan straling afkomstig van bouwmaterialen. Deze norm is echter nooit ingevoerd.

Voor radon is door het RIVM geen gezondheidskundige advieswaarde opgesteld. De eerder genoemde 800 sterfgevallen komen overeen met zo'n 50 sterfgevallen per 1.000.000 mensen

per jaar. Wanneer het risico teruggebracht zou moeten worden tot een waarde die met het MTR overeenkomt (1 sterfgeval per 1.000.000 personen per jaar), zou de binnenluchtconcentratie dus met een factor 50 moeten worden teruggebracht. Bij een gemiddelde blootstelling in Nederland van 23 Bq/m³ betekent dat een reductie tot zo'n 0,5 Bq/m³, nog beneden de heersende buitenluchtconcentratie van 3 Bq/m³. Voor het bereiken van radonconcentraties in nieuwbouwwoningen die vergelijkbaar zijn met die in de buitenlucht, zouden andere bouwmethoden noodzakelijk zijn (bijvoorbeeld houtskeletwoningen of constructies van staal en glas).(29) Overigens zou uit glas en glasproducten weer veel ⁴⁰K kunnen vrijkomen.(5)

Burgers mogen bij normale stralingstoepassingen niet meer dan 1 mSv straling per jaar oplopen van kunstmatige bronnen. Per afzonderlijke bron van straling moet die belasting nog minstens tien keer zo laag zijn, dus maximaal 0,1 millisievert per jaar. Dit geldt ook voor kinderen en zwangere vrouwen. Kinderen zijn gevoeliger voor straling, maar daarmee is in deze limiet rekening gehouden. De dosis door medisch onderzoek en therapie zijn hierin niet meegeteld. Hiervoor gelden alleen aanbevelingen om de doses te beperken.

De wettelijke limiet voor werknemers die beroepsmatig met ioniserende straling te maken hebben (bijvoorbeeld werknemers van kerncentrales of ziekenhuizen) bedraagt 20 mSv per jaar. Alleen zwangere werknemers mogen maximaal 1 mSv oplopen. Deze doses zijn gebaseerd op de aanbevelingen van de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP).(2)

13.8 Juridische aspecten

Artikelen 3.106 tot en met 3.113 van het herziene Bouwbesluit stellen eisen voor nieuwbouw met betrekking tot de toepassing van schadelijke materialen en beperking van het kunnen binnendringen van uit de grond afkomstige gevaarlijke stoffen of straling.(32)

Ionisatierookmelders vallen onder de Kernenergiewet en zouden in principe alleen met vergunning mogen worden toegepast. Voor huishoudelijk gebruik is echter een ontheffing van kracht, omdat er maar een heel kleine hoeveelheid radioactieve stof in zit die een kleine dosis afgeeft. Sinds 1 januari 2006 mogen ionisatierookmelders voor huishoudelijk gebruik niet meer worden verkocht. Ionisatierookmelders die voor die tijd zijn aangeschaft, mogen wel blijven worden gebruikt.(14)

De uitgangspunten voor de maximaal toelaatbare stralingsbelasting zijn vastgelegd in de Kernenergiewet en de daarbij behorende besluiten. Deze wet is een zogeheten kaderwet; de uitwerking ervan is geregeld in allerlei besluiten en beschikkingen, die regelmatig worden aangepast.(2)

13.9 Verantwoordelijke partijen

In juli 2004 zijn een aantal afspraken met de bouwsector gemaakt. Zo heeft de bouwsector vastgelegd ervoor zorg te dragen dat de uitstoot van radongas uit bouwmaterialen in de toekomst niet zal stijgen en onderzoek te zullen doen naar de mogelijkheden om stralingsemisies in bouwmaterialen te verminderen. Verder is een monitoringprogramma voor de betreffende bouwmaterialen toegezegd dat loopt tot 2015.(1) Het Ministerie van VROM geeft aan daarnaast de radonconcentraties in nieuwbouwwoningen te laten monitoren en meer voorlichting te geven over het belang van goede ventilatie in woningen.(2)

Of deze afspraken het beleidsvoornemen van de overheid kunnen realiseren, wordt in opdracht van het Ministerie van VROM door het RIVM middels onderzoek (de derde radon survey) getoetst (zie ook paragraaf 13.5).

Diverse instanties houden toezicht op de naleving van de Kernenergiewet en de daaruit voortvloeiende besluiten. De VROM-Inspectie houdt zich bezig met toezicht, opsporing en dienstverlening op het gebied van de milieuhygiëne. Daarnaast houden ook de Arbeidsinspectie en de Kernfysische Dienst toezicht, respectievelijk voor het werkmilieu en de veiligheid van kernreactoren.(2)

13.10 Referenties

1. Website Milieu- en Natuurplanbureau. Milieucompendium. <http://www.mnp.nl>.
2. Website Ministerie van VROM. Dossier Radon en dossier Straling. www.vrom.nl.
3. Lembrechts J. Straling in het binnenmilieu: bronnen en maatregelen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Bilthoven, 2001.
4. Website RIVM. Milieu en Stoffen, paragraaf straling. www.rivm.nl.
5. Schaap L, Bosmans G, Graaf ER van der, Hendriks Ch. De stralingsprestatienorm – Een prestatie-model voor ioniserende straling in het woonmilieu. Æneas, Best, 1998.
6. Website RIVM. Radon. www.rivm.nl/radon.
7. Website De Nuclear Research & consultancy Group (NRG). www.nrg-nl.com.
8. Vaas LH, Kal HB, Jong P de, Slooff W. Basisdocument Radon. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 710401014. Bilthoven, 1991.
9. Fast T, Bruggen M van. Beoordelingskader Gezondheid en Milieu: GSM-basisstations, legionella, radon, fijn stof en geluid door wegverkeer. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609031001. Bilthoven, 2004.
10. Alders JGM. Radium in de bodem en radon in gebouwen. Brief aan gemeenten. Ministerie van VROM. Den Haag, 1994.
11. European Commission. Radon in indoor air. European Collaborative Action, Indoor air quality & its impact on man, formerly COST Project 613, Report No 15. Directorate-General for Science, Research and Development Joint Research Centre-Environment Institute. Luxemburg, 1995.
12. Berg GP van den. Radon uit gipsplaten en uit de kruipruimte. Verslag aan bewoners. Uitgave Natuurkundewinkel NWU-20A. Groningen, 1989.
13. Engels J. Radon in het binnenmilieu. Milieudefensie. Amsterdam, 1989.
14. Website MilieuCentraal. www.milieucentraal.nl.
15. Blaauboer RO. Laboratorium voor Stralingsonderzoek (LSO), Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. *Persoonlijke mededeling*. 2006.
16. Website GGD Frylan. Factsheet over radon. www.ggd Frylan.nl.
17. Bergs J. Cahier T5 Buitenmilieu als randvoorwaarde voor het binnenmilieu. Praktijkboek Gezonde gebouwen. SBR/ISSO. Rotterdam, 2006.
18. Lembrechts J. Blootstelling van de Nederlandse bevolking aan radon. Nederlandse Vereniging voor Stralingshygiëne. NVS Nieuws, september 2001.
19. Website Nederlands Normalisatie Instituut. www.nni.nl.
20. Stoop P, Glastra P, Hiemstra Y, Vries L de, Lembrechts J. Results of the second Dutch national survey on radon in dwellings. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 610058006. Bilthoven, 1998.
21. Put LW, Veldhuizen A, Meijer RJ de. Radonconcentraties in Nederland. Rapport over het SA-WORA Project A2. Rapportnr 1111. Kernfysisch Versneller Instituut. Groningen, 1985.
22. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Report to the General Assembly. Volume I: Sources. Annex B: Exposure from natural radiation sources. United Nations. New York, 2000.
23. Gezondheidsraad. Risico's van blootstelling aan ioniserende straling. Gezondheidsraad rapportnummer 2007/03. Den Haag, 2007.
24. National Research Council: Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR VI). Health effects of exposure to radon. Washington, DC, 1998.

25. World Health Organization. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Vol. 78. Ionizing radiation. Part 2: Some internally deposited radionuclides. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France, 2001.
26. Darby S, Hill D, Auvinen A, et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 2005; 330: 223-7.
27. Gezondheidsraad. Toetsing rapport 'BEIR VI'. Gezondheidsraad rapportnummer 2000/05. Den Haag, 2000.
28. Weterings M. GGD Richtlijn Gezonde Woningbouw. Landelijk Centrum Medische Milieukunde/GGD Nederland. Utrecht, 2005.
29. Dusseldorp A, Bruggen M van, Douwes J, Janssen PJCM, Kelfkens G. Gezondheidskundige advieswaarden binnenmilieu. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609021029. Bilthoven, 2004.
30. Blaauboer RO. Radonbeleid in het buitenland – een kort overzicht. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Briefrapportnummer 364/04. Bilthoven, 2004.
31. Van der Graaf ER, Schaap L, Bosmans G. Radiation performance index for Dutch dwellings: consequences for some typical situations. *Science of The Total Environment* 2001; 272: 151-8.
32. Website Bouwbesluit. <http://83.98.131.63/bouwbesluitonline> (versie bijgewerkt tot 1-7-2006).

Bijlage 13.1 Eenheden

- Stralingsdosis:** De eenheid voor de stralingsdosis is de Sievert (Sv). Het geeft de hoeveelheid stralingsenergie aan die per kilogram lichaamsweefsel wordt afgegeven met daarin verwerkt een wegingsfactor voor de verschillende typen straling. Per sievert opgelopen straling is de kans om vroegtijdig te sterven aan kanker ongeveer 5%.⁵
- Activiteit:** De mate van radioactiviteit wordt uitgedrukt in Becquerel (Bq). 1 Bq komt overeen met 1 vervallende atoomkern per seconde. De oude eenheid Curie (Ci) wordt ook nog wel gebruikt. 1 Curie is gelijk aan $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq (1 pCi/l = 37 Bq/m³).
- Radondochterconcentratie:** De concentratie van de radondochters in de lucht wordt gewoonlijk weergegeven in de 'Potentiële Alfa Energie Concentratie (PAEC)' of in de 'Equilibrium (evenwichts) Equivalent Concentratie (EEC)'. Hierbij worden de concentraties van de verschillende radondochters uitgedrukt in één maat. De PAEC staat voor de totale energie van alle alfa deeltjes, uitgezonden door de radondochters tijdens hun verval. De eenheid is de joule per kubieke meter (J/m³). De oude eenheid, de 'Working Level (WL)' wordt echter nog steeds gebruikt. Voor ²²²Rn komt 1 WL overeen met $2,083 \cdot 10^{-5}$ J/m³.
De EEC is de potentiële activiteitsconcentratie van radon in evenwicht ('equilibrium') met de dochters. Dit betekent dat al de dochters dezelfde concentratie hebben als radon; in werkelijkheid wordt dit evenwicht in meer of mindere mate verstoord door factoren zoals ventilatie en het hechten van de dochters aan luchtdeeltjes. De gebruikte eenheid hierbij is weer de Bq/m³. Voor ²²²Rn komt een PAEC van 1 WL overeen met ongeveer 3700 Bq/m³ (=101,3 pCi/l) EEC.
- De evenwichtsfactor:** De verhouding tussen de EEC en de actuele radonconcentratie. Gewoonlijk wordt deze factor weergegeven door de letter 'F'. Door de verstoring van het evenwicht ligt de waarde van F voor ²²²Rn in de binnenlucht tussen 0,2 en 0,7. Over het algemeen wordt uitgegaan van F=0,4.
- Gecombineerde blootstelling aan de radondochters:** Deze blootstelling wordt weergegeven met de Working Level Month (WLM). 1 WLM is gelijk aan een blootstelling van 1 WL in een tijdsperiode van 1 maand (170 uur). $1 \text{ WLM} = 2,083 \cdot 10^{-5} \text{ J/m}^3 \cdot 170 \text{ h} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Jh/m}^3$. Deze eenheid werd oorspronkelijk gebruikt in de arbeidssituatie. Voor blootstelling in het binnenmilieu verdient het de voorkeur om de blootstelling uit te drukken in termen van de gemiddelde radonconcentratie gedurende 1 jaar, rekeninghoudende met de tijd die iemand in huis besteedt.

⁵ Bron: International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP-publication 60. Oxford, 1991.

14

Ionen

14.1 Inleiding

Ionen zijn elektrisch geladen deeltjes. Ze ontstaan doordat er aan een molecuul of atoom een negatief geladen deeltje, een elektron, wordt ontnomen of toegevoegd. Dit proces heet 'ionisatie'. In de binnenlucht kunnen de aanwezige gassen geïoniseerd worden. Zo kunnen verscheidene positieve en negatieve ionen ontstaan, onder andere: nitraat (NO_3^-), sulfaat (SO_4^{2-}), fluoride (F^-), chloride (Cl^-), ammonium (NH_4^+), natrium (Na^+), kalium (K^+), magnesium (Mg^{2+}) en calcium (Ca^{2+}). Onder ideale omstandigheden, zoals schone lucht en de afwezigheid van elektrostatisch geladen oppervlakken, kunnen ionen enkele minuten blijven bestaan. Onder minder ideale omstandigheden is hun verblijftijd korter. In de lucht zijn zowel positief als negatief geladen ionen aanwezig. Het effect van de balans tussen positieve en negatieve luchtionen op de gezondheid en het welbevinden, is al jaren een punt van discussie.

14.2 Bronnen van ionen

De natuurlijke hoeveelheid ionen in de lucht fluctueert constant, maar varieert ongeveer van 500 tot 12.000 ionen/cm³. Klimatologische omstandigheden, de hoogte, geografische en geologische factoren hebben alle invloed op de hoeveelheid aanwezige luchtionen. In het binnenmilieu kunnen deze hoeveelheden sterk dalen.(1) De concentratie van positieve en negatieve ionen in de binnenlucht neemt af door chemische reacties, wederzijdse neutralisatie en in mindere mate door ventilatie. Negatieve ionen worden bovendien geneutraliseerd door halogeen- en TL-verlichting en geabsorbeerd door elektrostatisch opgeladen materialen, zoals beeldschermen, positief geladen synthetische materialen en zwevende stofdeeltjes. Sigarettenrook bijvoorbeeld is voornamelijk positief geladen en bindt in korte tijd praktisch alle vrij zwevende negatieve ionen.

In de binnenlucht zorgen kosmische straling, radon, thoron en hun vervalproducten (zie hoofdstuk 13 'Ioniserende straling') voor ionisatie. De reeds genoemde halogeenlampen, tv-toestellen en ook slecht trekkende open haarden dragen eveneens bij aan de productie van ionen.(2-4)

Ionisatoren

Er zijn apparaten op de markt waarmee negatieve luchtionen geproduceerd kunnen worden, zogenaamde ionisatoren. Deze apparaten worden op de markt gebracht wegens de vermeende positieve effecten van negatieve ionen op de gezondheid en het welbevinden. Een andere toepassing van ionisatoren is als luchtreiniger.

Een ionisator bevat een scherpe metalen punt die onder hoge elektrische spanning staat. De lucht in de omgeving van deze scherpe punt wordt geïoniseerd.(5) De geproduceerde luchtionen hechten zich aan deeltjes in de lucht, zoals stof, allergenen en micro-organismen, die daardoor een lading krijgen. Door deze lading kunnen de deeltjes zich hechten aan oppervlakken in de woning of aan andere deeltjes en vervolgens neerslaan.(6) Deze apparaten worden haast altijd gecombineerd met circulatie en elektrostatische of mechanische filtering van lucht. In de verschillende apparaten worden verschillende combinaties gebruikt van deze luchtbehandelingsmethoden.

Ionisatoren zijn dus doorgaans niet ontworpen om deeltjes in de lucht te verwijderen, maar om ze in de ruimte zelf neer te laten slaan. Het effect van dergelijke luchtreinigers staat nog steeds ter discussie en de neergeslagen deeltjes zullen via schoonmaakwerkzaamheden verwijderd moeten

worden.(7) Naast ionen produceert een ionisator vaak ozon (O_3), stikstofoxiden (NO_x), lawaai en licht- en elektrostatische verschijnselen.(2)

14.3 Meten van ionen

Ionen kunnen 'geteld' worden met een ionen-teller. Dit apparaat telt het aantal geladen deeltjes. Het is dus niet selectief voor specifieke positieve of negatieve ionen. Specifieke ionen kunnen worden bemonsterd met behulp van filters of 'denuder'-systemen. De zo verkregen monsters kunnen vervolgens worden geanalyseerd door middel van ionchromatografie of spectrofotometrie.(8)

14.4 Referentiewaarden: concentraties in woningen

Er is weinig systematisch onderzoek gedaan naar concentraties van ionen in de binnenlucht. Door middel van metingen met een ionen-teller is bekend dat lucht, onder natuurlijke omstandigheden, 100 tot 1000 ionen per cm^3 bevat.(9) Resultaten van metingen naar specifieke ionen in Nederland zijn niet bekend.

14.5 Effecten op de gezondheid

Producenten van ionisatoren claimen dat negatieve ionen verschillende positieve effecten hebben op de gezondheid: preventie van gevoeligheid voor verandering van weer, vermindering van concentratiestoornissen, vermindering van klachten over prikkelbare vermoeidheid zoals slaperigheid, hoofdpijn en neerslachtigheid, toename van ervaren vitaliteit, vermindering van astma, vernietiging van micro-organismen in de lucht en het opbouwen van een aangename, stimulerende atmosfeer.(2)

Sommige effecten kunnen echter ontstaan door de bijproducten van een ionisator. Door sommige ionisatoren wordt ozon geproduceerd, intentioneel of als bijproduct.(10) Ozon wordt als fris en prikkelend ervaren en maskeert de geur van verontreinigingen; dit zou het positieve effect kunnen verklaren. Ozon wordt ook verantwoordelijk gehouden voor het geconstateerde, plaatselijk beperkte, bacteriedodende effect. Bovendien wordt bij gebruik van een ionisator een elektrisch veld opgebouwd (circa 2kV/m). Wanneer lucht vervuild is door bijvoorbeeld sigarettenuitdamping, dan kan de veldsterkte oplopen tot ongeveer 8 kV/m. De aanwezigheid van een dergelijk veld verhoogt de snelheid van het neerslaan van zwevende deeltjes en bacteriën.

Voor een beduidend effect op de luchtkwaliteit moet een ionisator de gehalten van verontreinigingen aanzienlijk reduceren, bijvoorbeeld met een factor tien tot honderd. Daarvoor moet het apparaat een zuiveringscapaciteit hebben van 99% in de ruimte waarin hij staat. De meeste ionisatoren komen niet verder dan 90% in een zeer klein kamertje.(11) Het verwijderen van deeltjes uit de lucht kan echter veel efficiënter worden aangepakt door de inzet en het regelmatig reinigen van luchtfilters.(2)

De positieve effecten van negatieve ionen op de gezondheid kunnen niet wetenschappelijk onderbouwd worden. Er is daarom geen reden om vanuit gezondheidkundig oogpunt een ionisator te plaatsen.(12) Het is zelfs de vraag of het positieve effect van een geringe stofreductie voor mensen met chronische luchtwegklachten opweegt tegen de voor hen schadelijke effecten van ozon en NO_x .

14.6 Normen

Er zijn geen normen voor de hoeveelheid ionen in de binnen- en buitenlucht.

14.7 Referenties

1. Kinne SM. A public health approach to evaluating the significance of air ions. University of Texas, Health Science Center at Houston, School of Public Health. Houston, 1997.
2. Moll van Charante AW. Een literatuurstudie over luchtionisatie. Effecten op gezondheid en welbevinden. *Arbeidsomstandigheden* 1991; 67: 36-9.
3. Roos, RA. *The Forgotten Pollution*. Kluwer Academic. Dordrecht, 1996.
4. Boerstra A.C. et al. *Binnenmilieu*. Arbothemacahier 8. Sdu. Den Haag, 2001.
5. Website De Nuclear Research & consultancy Group (NRG). www.nrg-nl.com.
6. Environmental Protection Agency. Ozone Generator Fact Sheet. U.S. EPA. www.epa.gov, 2006.
7. Grinshpun SA, Mainelis G, Trunov M, Adhikari A, Reponen T, Willeke K. Evaluation of ionic air purifiers for reducing aerosol exposure in confined indoor spaces. *Indoor Air* 2005; 15(4): 235-45.
8. Cohen BS, Hering SV. *Air Sampling Instruments for evaluation of atmospheric contaminants*. American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH), 8th edition. Cincinnati (Ohio), USA, 1995.
9. Suh HH, Koutrakis P, Spengler JD. Indoor and outdoor acid aerosol and gas concentrations. *Proceedings of Indoor Air 1993*; 3: 257-61.
10. Britigan N, Alshawa A, Nizkorodov SA. Quantification of ozone levels in indoor environment generated by ionization and ozonolysis air purifiers. *J Air Waste Manag Assoc* 2006, 56(5): 601-10.
11. Duijm F. *Persoonlijke mededeling*. GGD Groningen, Kenniscentrum Milieu en Gezondheid. 2006.
12. Blackhall K, Appleton S, Cates CJ. Ioniser for chronic asthma. *Cochrane Database Syst Rev* 2003; (3): CD002986.

15 Geurhinder

15.1 Inleiding

Een geur is de waarneming van een vluchtige chemische verbinding in de lucht met de neus. Een geur kan als onaangenaam worden ervaren. Er is dan sprake van geurhinder (ook wel stank genoemd). Veel binnenmilieuproblemen gaan gepaard met geurhinder, maar geurhinder kan ook een op zichzelf staand binnenmilieuprobleem zijn. In dit hoofdstuk zal aandacht worden besteed aan de betekenis van geurhinder voor de gezondheid, de mogelijke oorzaken van geurhinder in woningen en de beoordeling van klachten over geurhinder.

15.2 Bronnen van geurhinder

Bronnen van geurhinder in de woning zijn zeer divers. In grote lijnen kunnen ze in twee groepen worden ingedeeld: bronnen buiten de woning en bronnen in de woning zelf. Hieronder worden deze twee groepen in het kort besproken. De meeste bronnen en oorzaken zijn afkomstig uit het klachtenregistratiesysteem BIM1 van de GG&GD Amsterdam (1996) en het jaaroverzicht (2005) van het landelijk registratiesysteem 'Registratie Milieu-Gezondheidsklachten'.⁽¹⁾ In het jaaroverzicht 2005 waren het riool (20%), gedrag van burens en omwonenden (14%), huishoudelijk afval (6%) en huisdieren (6%) de meest voorkomende bronnen van geurhinder. In 34% van de meldingen werd de bron niet expliciet benoemd.

15.2.1 Bronnen buiten de woning

Een geur kan een woning binnendringen door een open raam, deur of rooster, via ventilatiesystemen of luchtbehandelingssystemen en door spleten en naden in de woning. Specifieke bronnen van geurhinder buiten de woning kunnen zijn:

- bedrijven (intensieve veehouderijen, industriële bedrijven en overige bedrijven, zoals restaurants, drukkerijen, chemische wasserijen, enzovoort);
- verontreinigende stoffen in de bodem (vluchtige verbindingen kunnen uitdampen en een woning binnendringen);
- verkeer (uitlaatgassen, slijtage van banden en wegdek);
- GFT-bakken;
- vegetatie (rottingsprocessen);
- gedrag van omwonenden (kookluchten, kluswerkzaamheden zoals verven, vervuilde woningen, enzovoort);
- allesbranders en open haarden;
- riolering (rioolbreuk door verzakking, renovatiewerkzaamheden, overstort na regenval).

Uit een jaarlijkse enquête van het CBS naar de waardering van de leefomgeving blijkt dat in 2004 14% van de Nederlandse bevolking hinder ondervond van stank van wegverkeer en/of industrie. Begin jaren negentig was dat nog 23%. Industrie werd door 9% van de respondenten genoemd als bron van geurhinder; het verkeer werd minder vaak (7%) als bron genoemd. Na een aanvallende daling naar 8% in 2002 was de overlast van geur van open haarden of allesbranders in 2003 weer terug op het niveau van 1995 (11%). Ook de geurhinder veroorzaakt door de landbouw was in 2003 enigszins gestegen. In dit onderzoek van het CBS wordt niet naar de geurhinder door riolering gevraagd.⁽²⁾

In woningen met mechanische luchttoevoer bestaan relatief veel klachten over geurhinder uit de omgeving. De oorzaak kan zijn dat het aanzuigpunt, meest op het dak, tamelijk dicht bij een afvoerpunt is gelegen. De indruk bestaat dat een geur die uit een toevoerkanaal komt eerder tot hinder leidt dan eenzelfde geur uit een raam of rooster. Dit is mogelijk een gevolg van verwachtingspatronen.⁽³⁾ In de Gezondheidseffectscreening Stad & Milieu is meer informatie te vinden over bedrijven en verkeer in relatie tot stank.⁽⁴⁾

15.2.2 Bronnen en oorzaken in de woning

Hieronder volgt een opsomming van bronnen en oorzaken van geurhinder binnen de woning.

- Bouwmaterialen: bijvoorbeeld door uitdamping van VOS (zie hoofdstuk 6 VOS). Ook materialen, zoals plafondplaten, waarin cellulose is verwerkt, kunnen gaan stinken. Door een productiefout kunnen de plafondplaten bacteriën bevatten die het cellulose afbreken tot boterzuur. Dit geeft een zurige, penetrante lucht.
- Bouwkundige- en constructiefouten: afwezigheid van of onvoldoende werkende ventilatie- of luchtbehandelingssystemen, waardoor bijvoorbeeld kookluchten in de woning worden verspreid of terecht komen (zie hoofdstuk 2 'Ventilatie'), kapotte en/of slecht werkende riolering, vochtoverlast (zie hoofdstuk 3 'Vochtigheid'), vochtig geworden spouwmuurisolatie, verkeerd aangebrachte dakbedekking.
- Verbrandingsgassen (zie hoofdstuk 8 'Verbrandingsproducten'). Na een woningbrand kan er een hinderlijke brandgeur aanwezig zijn (zie hoofdstuk 18 'Na brand in woningen').
- Biologische bronnen: huisdieren, ongedierte (bijvoorbeeld spitsmuizen), kadavers (bijvoorbeeld een dode rat in kruipruimte of in spouwmuren), GFT-bakken en planten.
- Gebruik van bepaalde middelen: schoonmaakmiddelen, vochtweringsmiddelen (hydrofoberingmiddelen), bestrijdingsmiddelen en houtverduurzamingsmiddelen (zie hoofdstuk 7 'Bestrijdings- en schoonmaakmiddelen').
- Hobby's of bewonersgedrag: zoals onvoldoende gebruikmaken van de ventilatievoorzieningen.
- Inrichting: bijvoorbeeld meubilair of vloerbedekking.

15.2.3 Rioolstank

Uit TNO-vragenlijstonderzoek in 1998 bleek dat riolering de grootste bron van geurhinder was (19% hinder en 11% ernstige hinder).⁽²⁾ Rioollucht kan wel uit vijftig verschillende gassen bestaan. Zwavelwaterstof (H_2S) is een bekende component in rioolgasen, die een zeer lage geurdrempel heeft (de bekende 'rotte-eierenlucht'). De geurdrempel is 25 ppb (delen per miljard). Naast zwavelwaterstof zijn de belangrijkste componenten: mercaptanen, aminen, koolwaterstoffen zoals methaan, en kooldioxide. Methaan en kooldioxide zijn overigens reukloos. Rioolstank kan meerdere oorzaken hebben, bijvoorbeeld een slechte ontluchting van het toilet of het ontbreken van een stankafsluitsysteem. Een ander regelmatig voorkomend probleem is een lekkage op een van de aansluitingen, bijvoorbeeld in de kruipruimte. Door het stelselmatig lekken ontstaat vervuiling die stank veroorzaakt. Rioollucht is zwaarder dan de omgevingslucht. Wanneer het 'lek' op een hoger gelegen verdieping zit, kan rioollucht via spouwen of andere openingen en kieren afzakken naar bijvoorbeeld de keuken op de begane grond. Soms zijn de klachten van tijdelijke aard vanwege renovatie- of onderhoudswerken aan het openbare riool.⁽⁵⁾ Voor informatie over het vrijkomen van styreen bij rioolrenovatie via de 'kousmethode' zie de VROM-uitgave 'Rioolrenovatie met kousmethoden'.⁽⁶⁾

Het achterhalen van de oorzaak van rioolstank en het oplossen van het probleem is lang niet altijd eenvoudig. Het is dan zinvol te adviseren een installateur of loodgieter in te schakelen.

15.3 Inspectie

Het is altijd verstandig geurhinderklachten te verifiëren door zelf na te gaan of de geurhinder is waar te nemen. Juist bij geurhinderproblemen is het van belang te achterhalen wanneer en waar

de geur wordt waargenomen. Aan de hand hiervan kan het gebied afgebakend worden waar de inspectie zich op moet richten. In Tabel 15.1 zijn soorten geuren met hun potentiële bronnen vermeld.

Tabel 15.1 Geur met de mogelijke bron

Soort geur	bronnen en/of oorzaken
Ammoniak	schoonmaakmiddelen, huisdieren (urine), riolering, nog niet droog beton al dan niet afgedekt met vinyl vloerzeil of tapijt met PVC in de rug.
Benzine	bedrijfsactiviteiten (rijwiel- en motorrijwielindustrie, (parkeer)garages, bromfietsstalling enzovoort), verkeer (uitlaatgassen), hydrofoberingsmiddel, bodemverontreiniging, hobby's, en indirect riolering (lozing op het riool)
Bloemkool	riolering (zwavelachtige verbindingen, mercaptanen)
Brand/rook	verbrandingsgassen, ventilatie*
Carbolineum	houtverduurzamingsmiddelen
Champignon	schimmelgroei
Chemisch	bedrijfsactiviteiten (hout- en meubelindustrie, zeefdrukkerijen, garages, chemische wasserijen en ververijen enzovoort), bouwactiviteiten, bestrijdingsmiddelen, houtverduurzamingsmiddelen, riolering
Etens-/kook--luchten	bedrijfsactiviteiten (horeca), ventilatiesysteem*
Gas	gaslekkage
Grond	ventilatie*, vocht
Knoflook	bedrijfsactiviteiten (restaurants), ventilatie*
Kotslucht	bouwmaterialen (zoals plafondplaten) waarin cellulose is verwerkt, die door een productiefout met bacteriën, die cellulose tot boterzuur afbreken, besmet zijn
Lijm	inrichting van de woning, vloerbedekking
Mottenballen	hobby's, carbolineum (naftaleen), wc-blokjes
Muf	ventilatie*, vochtoverlast (vochtige lucht uit kruipruimte, regendoorslag, nat hout, optrekkend vocht, lekkages, bewonersgedrag), ongedierte/kadavers, schimmelgroei
Olie	verbrandingsgassen, bodemverontreiniging, oplosmiddelen/verf die in een gasvlam verbranden
Oplosmiddelen	bedrijfsactiviteiten (vlak- en zeefdrukkerijen, chemische wasserijen, rijwiel- en motorrijwielindustrie, garages enzovoort), bouwactiviteiten, ventilatie*, bouwmaterialen, hydrofoberingsmiddelen, houtverduurzamingsmiddelen, lysol, bodemverontreiniging, hobby's, ongedierte/kadavers
Plastic	bouwmaterialen (spaanplaat, dakbedekking)
Prikkelend	verbrandingsgassen, bouwmaterialen (spaanplaat)
Riool	bedrijfsactiviteiten (detailhandel in vis, schaal en weekdieren), bouwactiviteiten, verbrandingsgassen, bouwmaterialen, vochtoverlast, ventilatie*, ongedierte/kadavers, hobby's, riolering
Rotte eieren	riolering (H ₂ S)
Rubber	vloerbedekking, verwarmingsbuisnissen
Rook	ventilatie*, roken, wierook, kaarsen
Teer	bouwmaterialen (dakbedekking), hydrofoberingsmiddelen, houtverduurzamingsmiddelen (carbolineum)
Uien	vloerbedekking, natgeworden (spouwmuur)isolatie
Uitlaatgassen	bedrijfsactiviteiten (garages, rijwiel- en motorrijwielindustrie), bouwactiviteiten, verkeer
Verf	bedrijfsactiviteiten (zeefdrukkerijen, garages), schilderwerkzaamheden
(Rotte) Vis	bedrijfsactiviteiten (visbewerkingsinrichtingen, detailhandel in vis, schaal- en weekdieren, chemische industrie, kunststof bereiding), lekkages, riolering
Zoet/weeïg	gaskachel, riolering, duivenpoep, ventilatie, vuilnis, hennepeteelt
Zuur	bouwmaterialen, riolering, planten, ongedierte (muizen), vloerbedekking, nat geworden betonvloer die met egaline (gips+caseïne) is geëgaliseerd
Zweet	ventilatie

* Wanneer in de tabel 'ventilatie' staat vermeld, betekent dit dat geurhinder, ontstaan in de woning, verspreid en/of niet afgevoerd wordt. Bij alle soorten geurhinder is het mogelijk dat zij is ontstaan door bepaald gedrag van omwonenden en vervolgens via ventilatie en/of spleten en naden in de woning is binnengedrongen. Deze 'bron' is niet in de tabel opgenomen.

15.3.1 Factoren die van invloed zijn

Naast het verifiëren van geurhinderklachten door ter plaatse na te gaan of men de geurhinder kan waarnemen, is het tevens zinvol om alert te zijn op factoren die de waarneming kunnen beïnvloeden.

- *Individuele verschillen in geurwaarneming*

De gevoeligheid van het geurzintuig kan tussen personen per geur sterk verschillen. Hoewel de meeste mensen een normale geurwaarneming hebben, is twee procent van de bevolking hypergevoelig en twee procent ongevoelig. Tot de hypergevoeligen behoren onder meer mensen die door herhaalde blootstelling te overgevoelig (hyperosmisch) zijn geraakt voor bepaalde geuren. Tot de ongevoelige groep worden mensen gerekend die bijvoorbeeld geen geuren kunnen waarnemen (anosmisch zijn) of verminderd gevoelig (hyposmisch) zijn voor geur.

Naast het verschil in gevoeligheid van het geurzintuig kunnen zich individuele verschillen voordoen, die gerelateerd zijn aan demografische (geslacht, leeftijd), sociaal-economische, persoonsgebonden en cognitieve factoren.(7) Zo ruiken jongeren gemiddeld tweemaal beter dan mensen van middelbare leeftijd en vrouwen gemiddeld twintig procent beter dan mannen.(8) Persoonsgebonden factoren hebben veelal betrekking op persoonlijkheidskenmerken die moeilijk te veranderen zijn en de wijze waarop mensen met problemen omgaan ('coping'). Onder cognitieve factoren wordt verstaan de wijze waarop mensen informatie selecteren en verwerken. Voorbeelden hiervan zijn de houding ten opzichte van de geurbron (bijvoorbeeld angst of boosheid) en de verwachtingen over de geurbelasting in de toekomst. Mensen die geloven dat geur slecht is voor de gezondheid, letten meer op geuren in hun omgeving of zijn eerder gealarmeerd door onprettige geuren, zodat zij deze als intenser waarnemen.(7)

- *Medicatiegebruik*

Bij het gebruik van medicatie kunnen naast de gewenste werking ook ongewenste bijwerkingen optreden. Sommige medicijnen kunnen als bijwerking een veranderde smaak en/of geur veroorzaken zoals Hivid (antiretroviraal middel voor de behandeling van HIV) of Levamisol (merknaam Ergamisol, voorgeschreven bij huidsarcoïdose (overmatige reactie van het afweersysteem met ontstekingsreacties tot gevolg)). Ook klagen veel patiënten die worden behandeld met chemotherapie tijdens en soms ook geruime tijd na de behandeling over veranderingen van het reukvermogen. Bepaalde geuren ruiken opeens veel sterker of minder lekker. Het kan ook voorkomen dat geuren die eerst als minder prettig werden ervaren nu wel prettig gevonden worden.(9)

- *Ziektebeelden*

Er bestaat een relatie tussen een verminderde of veranderde waarneming van geuren en ontstekingen van de neus en de sinussen, alcoholisme, blootstelling in het verleden aan hoge concentraties chemicaliën en ziektebeelden als schizofrenie. Een verandering in geurwaarneming is ook een van de symptomen bij de openbaring van de ziekte van Alzheimer of Parkinson.(10)

- *Hallucinaties en waandenkbeelden*

Verder kan de geurwaarneming worden verstoord door hallucinaties en waandenkbeelden. Een hallucinatie is een perceptie zonder object, dat wil zeggen een psychische ervaring met voornamelijk een waarnemingskarakter, zonder dat een reële (objectieve, observeerbare) 'stimulus-configuratie' hiermee correspondeert. In werkelijkheid is er dus geen waarneming, omdat de bron van de ervaring geen percept (waarneembaar object) is. Hallucinaties kunnen betrekking hebben op alle zintuiglijke functies: zicht (visuele of optische hallucinaties), gehoor (auditieve of akoestische hallucinaties), reuk (olfactorische hallucinaties), smaak (gustatore hallucinaties) en tastzin (tactiele of haptische hallucinaties).(11)

Wanen (waandenkbeelden) zijn te omschrijven als oncorrigeerbare foutieve overtuigingen: het gaat om opvattingen die (hoewel mogelijk ten dele juist) duidelijk in strijd zijn met de objectieve realiteit, maar door de betrokkene als absolute zekerheid of onwrikbare waarheid worden verdedigd, zonder dat de inhoud van dit 'geloof' een cultuurgoed van een grotere groep of (religieuze) gemeenschap is.(11) Bijvoorbeeld de paranoïde waan die refereert aan

verstoring en vergiftiging, waarbij iemand overtuigd kan zijn van een moedwillige verspreiding van (geur)stoffen met als doel bij hem of haar (gezondheids)schade te veroorzaken.

Bij inspectie moet rekening worden gehouden met bovengenoemde factoren. Het is dus mogelijk dat de melder wel iets ruikt, maar de inspecteur niet.

15.4 Meten van geur

Een geur bestaat meestal uit een complex mengsel van vele vluchtige stoffen die de geur haar specifieke karakter geeft. De interactie tussen de stoffen onderling en de verschillende concentraties veranderen de waarneming van de sterkte van het mengsel. Vanuit onderzoek blijkt dat geurstoffen elkaar bijvoorbeeld kunnen versterken, neutraliseren of maskeren.⁽¹⁰⁾

Het is vaak onbekend welke stoffen in deze mengsels aanwezig zijn en welke stoffen dus verantwoordelijk zijn voor de geurhinder. Deze informatie is echter nodig om te bepalen welke meetmethode gebruikt moet worden. Geurstoffen zijn bovendien veelal verbindingen waarvoor nog geen betrouwbare monsternamen- en analysetechnieken beschikbaar zijn. Soms kan een stof wel gemeten worden, maar is de gevoeligheid van de meetmethode niet hoog genoeg. De detectiegrens van de menselijke neus is lager dan die van het meetinstrument. Het is ook de vraag of het nuttig is om de concentratie te weten. De relatie tussen de concentratie en de geursterkte is namelijk onduidelijk en verschilt voor diverse verbindingen. Zo geeft zwavelwaterstof bij lagere concentraties een 'rotte-eierenlucht', terwijl deze stof bij hoge concentratie niet meer te ruiken is. Het waarnemen van geurhinder is al voldoende om vervolgacties te ondernemen. Voor het kwantificeren van de sterkte van geur in de buitenlucht zijn wel een paar methoden ontwikkeld, maar het is niet gebruikelijk die toe te passen binnen gebouwen.⁽³⁾

15.5 Effecten op de gezondheid

Werking

Bij blootstelling aan geur kunnen de geurstoffen twee zenuwbanen prikkelen: de reukzenuw (nervus olfactorius) en de drielingzenuw (nervus trigeminus). De twee zenuwbanen zijn verbonden met verschillende gedeelten van de hersenen. Dit houdt in dat prikkeling van de twee zenuwen verschillende consequenties voor het gedrag heeft.

De prikkeling van de reukzenuw heeft tot gevolg dat een geur waargenomen wordt. Bovendien kunnen geurstoffen via deze zenuw rechtstreeks naar de hersenen verplaatst worden. De prikkeling van de reukzenuw kan directe reacties veroorzaken. Sommige geurstoffen roepen een aangeboren aversiereactie op. Dit is een reflex van afwenden en eventueel walging of misselijkheid, die bijvoorbeeld optreedt bij rottingsgeuren. Sommige geurstoffen, vooral die van lichamelijke herkomst, werken als feromonen. Haast of helemaal onruikbaar kleine hoeveelheden hebben invloed op stemming en gedrag.⁽³⁾

Een prikkeling van de drielingzenuw uit zich in een prikkelend, irriterend of branderig gevoel. De prikkeling van de drielingzenuw leidt tot beschermende reflexen als niezen of het inhouden van de adem.

In lage concentraties van een geurstof overheerst de prikkeling van de reukzenuw, bij hoge concentraties wordt de irriterende werking door prikkeling van de drielingzenuw steeds belangrijker.⁽¹²⁾ Sommige geurstoffen, bijvoorbeeld limoneen, kunnen reageren met ozon en stikstofoxiden, waarbij onder andere aldehyden ontstaan. De geur verandert van karakter en wordt prikkelend.⁽³⁾

Vrijwel meteen wanneer een geur wordt waargenomen, wordt deze instinctief beoordeeld als aangenaam of onaangenaam. Volgens het principe van de 'operante conditionering' zal een onaangename geur leiden tot het vermijden van de plek, de persoon of het object dat deze geur

verspreidt. Effecten waarbij subjectieve beoordeling een rol speelt, worden indirecte effecten genoemd. Waarom mensen een bepaalde geur wel of niet aangenaam vinden, is nog niet geheel duidelijk. Leerprocessen spelen hierbij een grote rol. Waarschijnlijk treden voor sommige geurstoffen dergelijke leerprocessen gemakkelijker op ten gevolge van aangeboren factoren. De evaluatie van geuren is ten dele afhankelijk van de identificatie ervan. Vaak worden bekende geuren als aangener beoordeeld. Tevens is de aangenaamheid van een geur afhankelijk van de context waarbinnen men deze plaatst. Zo kan een zweterige geur als aangenaam worden beoordeeld wanneer men denkt dat de geur afkomstig is van Limburgse kaas, terwijl men dezelfde geur vies vindt wanneer deze afkomstig is van zweetvoeten. Vergelijken we geur met andere zintuigen, dan blijkt dat de mens emotioneler reageert op geur dan op andere vormen van stimulatie.(13) Bij herhaalde en langetermijnblootstelling treedt gewenning op en dooft de geurwaarneming uit. Afhankelijk van de geur gebeurt dat snel of minder snel. Een aanpassing zal over het algemeen sneller optreden bij onaangename geuren dan bij aangename geuren.(10)

Gevolgen

Stoffen met een belangrijke geurcomponent kunnen diverse gezondheidsproblemen veroorzaken. Allereerst kunnen geurstoffen, net als alle chemische stoffen, een toxische werking hebben. Deze kunnen optreden na orale, dermale of inhalatoire opname. Bij prikkelende stoffen kan ook irritatie van de slijmvliezen van ogen en bovenste luchtwegen optreden. Hiervan is meestal alleen sprake bij calamiteiten.(14) De toxiciteit van een geurstof kan pas worden beoordeeld als de concentratie daarvan in de lucht bekend is. Metingen zijn echter meestal lastig uit te voeren.

Indien een geurprikkel sterk is of onaangenaam, kan dit tot directe fysiologische gezondheidseffecten leiden, zoals misselijkheid, irritatie van slijmvliezen en hoofdpijn. Deze directe effecten verdwijnen, zodra de blootstelling is beëindigd. Dergelijke effecten treden vaak op in nieuwe en vernieuwde gebouwen, onder andere door het gebruik van verf, lijm en plastic. Ook ongeschilderd hout kan binnenshuis directe effecten hebben, mede door omzetting van geurstoffen in aldehyden.(3)

De waarneming van een geur wordt door mensen in twee stappen geëvalueerd.

1. Bij de *primaire evaluatie* wordt ingeschat of de geur potentieel bedreigend is. Wordt de geur als onaangenaam of de situatie als potentieel bedreigend beschouwd, dan leidt dit tot hinder. De hinder is het psychologische gezondheidseffect en er hoeven geen andere effecten te zijn.(7) De mate van geurhinder is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de blootstellingskarakteristieken (concentratie, duur en frequentie van de geurwaarneming), aard en karakter van de geur en persoonskenmerken van de waarnemer, zoals de sociaal-economische context.(14) De belangrijkste factoren zijn de geurconcentratie en de geurkwaliteit. De geurkwaliteit zegt iets over de aangenaamheid van de geur. Zo is bij een zelfde (niet al te hoge) concentratie de kans op hinder door geur van een bakkerij lager dan de kans op hinder door een rioolgeur. Geuren die bij lage concentraties (erg) aangenaam worden gevonden (zoals de geur van lavendel), zijn vaak minder aangenaam bij hoge concentraties.(15) Hinder heeft een negatieve invloed op ons welbevinden. Dit manifesteert zich in de eerste plaats op de psyche als een gevoel van onbehagen en uit zich in psychische effecten als onvrede over de woonsituatie, spanningen in het gezin, gevoelens van onveiligheid, een negatief beeld van de eigen gezondheid, vermindering van activiteiten buitenshuis. Geurhinder kan zo leiden tot een ernstige mentale belasting.(14)
2. Bij de *secundaire evaluatie* van de waarneming van de geur, beoordeelt het individu of het met die potentieel bedreigende situatie goed overweg kan ('coping'). Geeft de uitkomst van deze evaluatie aan dat het individu de eigen vermogens tot hiermee omgaan als onvoldoende ervaart, dan zal er stress worden ervaren met de daaraan gerelateerde fysiologische effecten.(7) De hinder gaat dan vergezeld met stressgerelateerde somatische gezondheidseffecten zoals hoofdpijn, duizeligheid, lage rugklachten, slaapstoornissen en depressieve klachten.

15.6 Normen

Voor geur in woningen zijn geen normen. Er zijn alleen emissierichtlijnen voor de verspreiding van geurhinder door bedrijven. Hiervoor wordt verwezen naar het 'Handboek Buitenmilieu'.

Het Ministerie van VROM hanteert voor het jaar 2010 de doelstelling dat niemand nog in ernstige mate hinder van stank mag hebben. Om dit te bereiken is er een stankbeleid geformuleerd. Centraal staat dat nieuwe hinder moet worden voorkomen en dat bestaande hinder moet worden verminderd.

15.6.1 Geurdrempels

De waarneming van geuren is afhankelijk van de gevoeligheid voor bepaalde stoffen. Om geuren te kunnen beoordelen zijn op basis van laboratoriumonderzoek geurdrempels ontwikkeld. De geurdrempel (of reukgrens) is de concentratie in de lucht die door de helft van de mensen uit een geurpaneel nog net kan worden waargenomen. Er zijn allerlei nuances te geven (verschil tussen mannen en vrouwen, verkouden/niet verkouden, attent/niet attent).

Dit betekent ook dat de geurdrempel niet zondermeer geldt voor de algemene bevolking. Drempelwaarden zijn dus geen fysiologische feiten of fysische constanten, maar statistische gevallen die staan voor de beste schatting van een groep individuele reacties.⁽⁸⁾

Bij het gebruik van geurdrempels als indicatie voor de concentratie van een stof moet er rekening mee worden gehouden dat de vastgestelde geurdrempels in verschillende onderzoeken erg afwijkend kunnen zijn, door bijvoorbeeld verschillen in onderzoekspopulatie of methoden. Om de bruikbaarheid te vergroten, worden geurdrempels gestandaardiseerd. Hierbij worden over het algemeen alle beschikbare geurdrempels van een stof verzameld en beoordeeld op bruikbaarheid. De betrouwbaarste gestandaardiseerde geurdrempel wordt verkregen als de geurdrempel van de stof wordt afgezet tegen de geurdrempel van butanol, zoals in de uitgave 'Guidance for the Application of Odor in Chemical Emergency Response' is gebeurd.⁽¹⁶⁾ Geurdrempels voor andere VOS kunnen worden nageslagen in de uitgave 'Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards' van de American Industrial Hygiene Association of in 'Standardized Human Olfactory Thresholds' van Devos et al. en de GGD-richtlijn bodemsanering.⁽¹⁷⁻¹⁹⁾ De medisch toxicologische Commissie Chemiekaarten ontwikkelde de Gevaar Waarnemingsindex (GWI) voor geurstoffen (zie Bijlage 15.1). De GWI is een 'reukmaat'. De hoogte van de GWI geeft aan in hoeverre de geur van een gevaarlijke stof waarschuwt dat de concentratie in de lucht ongezond hoog is. Hoe hoger de GWI, des te beter het waarschuwend vermogen van de neus. In de toekomst wordt deze maat wellicht opgenomen in de Chemiekaarten.⁽⁸⁾

15.7 Juridische aspecten

Artikel 7.3.2 van de Bouwverordening (zie hoofdstuk 1 'Aanpak binnenmilieuklachten') is van toepassing wanneer hinder door geur wordt ondervonden. Dit artikel verbiedt het om handelingen te verrichten of na te laten of werktuigen te gebruiken, waardoor de omgeving hinder en/of schade ondervindt van onder andere geur. De afdeling Bouw- en Woningtoezicht van de gemeente kan, wanneer dit van toepassing is, handhavend optreden.

15.8 Referenties

1. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Registratie Milieugezondheidsklachten. Jaaroverzicht 2005.
2. Website Milieu en Natuur Planbureau. Milieucompendium. Geluidhinder per bron.
<http://www.mnp.nl/mnc/i-nl-0290.html>.

3. Duijm F. *Persoonlijke mededeling*. GGD Groningen, Kenniscentrum Milieu en Gezondheid. 2006
4. Ministeries van VROM en VWS. Gezondheidseffectscreening Stad & Milieu, Handboek voor een gezonde inrichting van de woonomgeving. GGD Nederland. Utrecht, 2006.
5. Scheffer W. Oplossing rioolstank is maatwerk. *Intech K&S*, vaktijdschrift voor de installatiebranche; jan. 2006: 56-9.
6. Ministerie van VROM. Rioolrenovatie met kousmethoden. VROM-Inspectie Oost. Den Haag, 2006.
7. Smeets M, Fast T. Dosis effect relatie geur, effecten van geur. Op den Kamp Adviesgroep, Fast Advies en Universiteit Utrecht. Utrecht, 2006.
8. Wibowo A, Doorn R van, Zawierko J. Geur Waarnemingsindex. De neus: handige detector of bedrieglijk instrument? *Arbo Visie* 2003; 2.
9. Maasziekenhuis Pantein. Folder Geur en smaak.
10. Nimmermark S. Odour influence on well-being and health with specific focus on animal production emissions, *Ann Agric Environ Med* 2004; 11: 163-73.
11. Vandereyken W, Hoogduin CAL, Emmelkamp PMG. Handboek Psychopathologie. Deel 1, 2^e druk, pagina 33, 36. Houten/Zaventem, 1994.
12. National Research Council. Odors from stationary and mobile sources. National Academy of Sciences. Washington D.C., 1979.
13. Schifferstein R. Verborgene verleiders, Geur als marketinginstrument. *Tijdschrift voor Marketing*; jan. 1999.
14. GGD. GGD-richtlijn Geurhinder. GGD Nederland Utrecht, 2002.
15. TNO. Milieu en Gezondheid 2001: Overzicht van risico's, doelen en beleid. TNO Preventie en Gezondheid, PG/VGV/2001.95, hoofdstuk 8: Geluid en geur. Leiden, 2001.
16. Doorn R van, Ruijten MW, Harreveld T van. Guidance for the Application of Odor in Chemical Emergency Response. Version 2.1; August, 2002. Presented at the NAC/AEGL-Meeting September 2002, Washington DC, 2002.
17. American Industrial Hygiene Association. Odor thresholds for chemicals with established occupational health standards. AIHA. Akron, OH, 1989.
18. Devos M, Patte F, Roualt J, Laffort P, Gemert LJ van. Standardized human olfactory thresholds. Oxford University Press. New York, 1990.
19. GGD. GGD-richtlijn Bodemsanering. GGD Nederland. Utrecht, 2004.

Bijlage 15.1 Gevaar Waarnemingsindex (5)

HOE GOED WAARSCHUWT DE NEUS?					
Indeling van chemische verbindingen op basis van hun Gevaar Waarnemingsindex. De hoogte van de GWI geeft aan in hoeverre de geur van stoffen waarschuwt dat de concentratie in de lucht ongezond hoog is. Hoe hoger de GWI des te beter het waarschuwend vermogen van de neus.					
Groep 1: Geen of slechte waarschuwer (GWI < 25)					
Wanneer een mens deze verbindingen ruikt, is de blootstelling waarschijnlijk al te gevaarlijk.					
Acetonitril	0,26	Aniline	22,7	Hydrazine	1
Acroleïne	0,2	Dioxaan	4	Methylamine	3*
Acrylonitril	15	Ethyleenoxide	1,55	Tetrachloorkoolstof	24,6
Allylalcohol	4	Furfurylalcohol	6,3*	Zwavel dioxide	2
Groep 2: Matig goede waarschuwer (GWI tussen 25 en 200)					
Wanneer een mens deze verbindingen ruikt, kan de blootstelling gevaarlijk zijn.					
Butylamine	40	Crotonaldehyde	111	Methylformiaat	100
Chloor	43	Ethyleen	74	Propyleenoxide	152
Chloroform	33	Fosfine	143		
Groep 3: Goede waarschuwer (GWI boven de 200)					
Een mens kan deze verbindingen ruiken ver voordat de blootstelling gevaarlijk is.					
Acetaldehyde	1667	Ethylacetaat	1049	Naftaleen	16000*
Aceton	1623	Ethylacrylaat	714286	Nitrobenzeen	275
Acrylzuur	2702	Ethylalcohol	13441	n-Octaan	1338
Ammoniak	222	Ethylamine	1449	Perchloorethyleen	781
n-Amylacetaat	88333*	Ethyleendichloride	278	Propionaldehyde	12500
Azijazuur	6667	Ethylmercaptaan	100000	Propionzuur	76923
Azijzuuranhydride	250	Fenol	29412	n-Propylacetaat	37037
Benzeen	202	n-Heptaan	538	Propylalcohol	3610
Benzylchloride	250	Isoamylacetaat	265000*	Propyleen	672
Butadieen	3650	Isobutylacetaat	29412	Propyleendichloride	3049
n-Butanol	4065*	Isobutylalcohol	27778	Pyridine	3448
Butoxyethanol	3565*	Isoforon	331	Styreen	6667
Butylacetaat	250000	Isopropylacetaat	3448	Tetrahydrofuraan	5556
Butylmercaptaan	33333	Isopropylalcohol	2778	Tolueen	210
Chloorbenzeen	7353	Isopropylamine	725	Trichloorethyleen	1136
Cresol	50000	Isopropylether	200000	Triethylamine	2083
Cumeen	16667*	2-methoxyethanol	2439	Vinylacetaat	3636
Cyclohexanon	3030	Methylacetaat	2273	m-Xyleen	1250
1,2-dichloorbenzeen	3092*	Methylalcohol	1333	o-Xyleen	1842
1,4-dichloorbenzeen	17647*	Methylchloroform	238	p-Xyleen	4785
Dicyclopentadieen	12500	Methyleenchloride	909	Zwavelwaterstof	55556
Diethylamine	12500	Methylethylketon	3125		
Dimethylsulfide	76923	Methylisobutylketon	2889*		
Dimethylsulfide	> 3 mil.	Methylmercaptaan	298333*		
2-ethoxyethanol	3311	Methylmethacrylaat	16667		
2-ethoxyethylacetaat	12195	Morfoline	15200*		

*GWI is gebaseerd op een TGG (tijd gewogen gemiddelde) 15 min.

16

Geluid

16.1 Inleiding

Geluid is in onze geïndustrialiseerde en gemotoriseerde samenleving alom aanwezig. Blootstelling aan geluid kan een positieve uitwerking op iemand hebben door bijvoorbeeld het genieten van muziek. Het kan echter ook leiden tot ongewenste effecten op de gezondheid, zoals hinder, slaap- en rustverstoring, verschijnselen die met stress samenhangen (hypertensie, hart- en vaatziekten, invloed op het geboortegewicht), beïnvloeding van het prestatievermogen en gehoorverlies. Geluid kan daardoor grote invloed hebben op het sociaal functioneren van een persoon.

16.2 Wat is geluid?

Geluid is een, meestal door de lucht, voortplantende trillende beweging welke door het gehoor waargenomen kan worden. Deze geluidstrillingen of -golven bezitten een bepaalde frequentie. De frequentie, uitgedrukt in Hz, bepaalt de toonhoogte: hoe hoger de frequentie, hoe hoger de toon. Een hoge toon, bijvoorbeeld 4000 Hz, klinkt piepend. Een lage toon, bijvoorbeeld 200 Hz, klinkt brommend. Laag frequent geluid is geluid met frequenties tot ongeveer 125 Hz. Het normale bereik van het menselijk oor ligt tussen de 20 en 20.000 Hz. Er zijn echter individuele verschillen. Met het ouder worden of door langdurige blootstelling aan lawaai, wordt het bereik aan de kant van de hoge tonen, hoge frequenties, kleiner.

Het geluidniveau (L) of -volume wordt uitgedrukt in decibel (dB). Bij 0 dB kan een toon van 1000 Hz nog net worden waargenomen. De decibel is een logaritmische maat. Dit betekent dat het aantal decibels afkomstig van verschillende bronnen niet zomaar opgeteld kan worden. Iedere verdubbeling van het geluidniveau geeft een toename van 3 dB.

Het menselijk oor is niet voor alle frequenties even gevoelig. Om hier rekening mee te houden, wordt bij geluidsmetingen een filter gebruikt. Wanneer geluidniveaus met gebruikmaking van een zogenaamd A-filter gemeten zijn, dan wordt als eenheid dB(A) gebruikt. Het geluidniveau bij normale spraak bedraagt 60-70 dB(A). Bij 140 dB(A) ligt de pijngrens. Tabel 16.1 geeft een globaal overzicht van soorten geluiden en hun geluidniveaus.

In veel onderzoeken naar de effecten van blootstelling aan geluid op de gezondheid wordt gebruikgemaakt van het begrip: het equivalente geluidniveau ($L_{Aeq,T}$). Hierin zijn alle geluidniveaus gedurende periode 'T' verwerkt. Hierbij krijgen de hogere niveaus meer gewicht dan de lagere. Het equivalente geluidniveau is dus niet gelijk aan het gemiddelde van de geluidniveaus gedurende de periode 'T'. Voor de karakterisering van momentane geluidniveaus worden maten gebruikt als het maximale geluidniveau ($L_{A,max}$), het piekniveau (L_{peak}) en het geluidblootstellingsniveau (SEL: Sound exposure level of L_{Ax}). De SEL is de totale hoeveelheid geluidenergie die door een gebeurtenis wordt geproduceerd.

De van oudsher in het Nederlandse milieubeleid gehanteerde blootstellingsmaat is de etmaalwaarde (L_{etm}). Voor de bepaling van L_{etm} wordt het etmaal in drie periodes verdeeld: een dagperiode (07.00-19.00 uur), een avondperiode (19.00-23.00 uur) en een nachtperiode (23.00-07.00 uur). Per periode wordt de equivalente geluidbelasting bepaald. Het avondb niveau wordt verhoogd met een 'straffactor' van 5 dB en het nachtniveau met een factor van 10 dB. De L_{etm} is de hoogste waarde van de equivalente geluidbelasting van deze drie periodes. In de meeste gevallen is de

Tabel 16.1 Soorten geluid en hun geluidniveaus.(1)

Geluidniveau (dB(A))	Soort geluid
0 - 10	gehoordrempel
10 - 20	radiostudio
20 - 30	zwak bladergeritsel
30 - 40	zwakke woongeluiden
40 - 50	fluisteren op 1 meter afstand
50 - 60	kantoor, stofzuiger
60 - 70	normale spraak
70 - 80	radio
80 - 90	druk verkeerspunt
90 - 100	autoclaxon op korte afstand
100 - 110	geluid in machinekamer
110 - 120	vliegtuigmotoren op korte afstand
120 - 130	mitrailleur op korte afstand
130 - 140	pijngrens

geluidbelasting gedurende de nachtperiode maatgevend. De mate van slaapverstoring wordt op grond van de equivalente nachtwaarde ($L_{eq,23-7}$) van de geluidsbelasting geschat. Om te schatten hoeveel slaapverstoring er bij een bepaald percentage ernstige hinder is, moet de etmaalwaarde eerst omgezet worden in de equivalente nachtwaarde.

Met de Europese Richtlijn Omgevingslawaai is een uniforme Europese dosismaat geïntroduceerd: de L day-evening-night (L_{den}). In het Nederlandse milieubeleid wordt nu overgestapt op deze maat. Voor de bepaling van L_{den} wordt het etmaal in dezelfde drie periodes verdeeld, met bijbehorende straffactor. Het verschil met de L_{etm} is dat niet de hoogste waarde bepalend is. De L_{den} is het gemiddelde van de dag-, avond- en nachtwaarde, waarbij gebruik wordt gemaakt van een 'energetische' middeling. Dit betekent dat de duur van elke periode ook wordt meegewogen. Ook wordt de L_{den} over een heel jaar bepaald. Als maat voor blootstelling in de woonomgeving wordt ook wel de L_{dn} gebruikt. De afkorting 'dn' staat voor dag/nacht, respectievelijk 07.00-22.00 uur en 22.00-07.00 uur.

Om met behulp van hinderrelaties het aantal (ernstig) gehinderden te bepalen, wordt gebruik gemaakt van de L_{den} -waarde als input voor de geluidbelasting. Voor de bepaling van het aantal (ernstig) slaapverstoorden is alleen de nachtelijke geluidbelasting van belang. Daarom is naast de L_{den} ook de L_{night} geïntroduceerd. L_{night} is de nieuwe vorm van de voorheen gehanteerde nachtwaarde en is de geluidsbelasting buiten aan de gevel, bepaald over een periode van acht uur per nacht (van 23.00 tot 07.00 uur), gemiddeld over een geheel jaar.

16.3 Bronnen van geluid

Bronnen van ongewenst geluid in het binnenmilieu zijn onder te verdelen in drie groepen:

1. bronnen van geluid in de eigen woning
Voorbeelden hiervan zijn mechanische ventilatoren, cv-installatie, waterleidingen, boiler of geiser, afzuigkap, afwasmachine, wasmachine, centrifuge en koelkast;
2. bronnen van geluid in de buurwoningen
Hierbij valt te denken aan slaande deuren, loopgeluiden, gebruik van apparatuur (zoals radio/stereo/TV, wasmachine/centrifuge en stofzuiger), huisdieren en waterleidingen;
3. bronnen van geluid uit het buitenmilieu
Dit zijn onder andere het slaan met autoportieren, gelach en geroep en als belangrijkste het (weg)verkeer.

In dit handboek worden alleen de eerste twee groepen van bronnen in beschouwing genomen. Bronnen van geluid uit het buitenmilieu worden besproken in het 'Handboek Buitenmilieu'.

Laagfrequent geluid

Bronnen van laagfrequent geluid kunnen zich zowel binnenshuis (bijvoorbeeld koelkasten, verwarmingspompen, ventilatoren, liftmotoren, en koelcompressoren) als buitenshuis (bijvoorbeeld verbrandingsprocessen, transformatoren, compressoren, koelinstallaties en klimaatsbeheersingsapparatuur) bevinden. Laagfrequent geluid heeft een lange golflengte en wordt daardoor weinig geabsorbeerd of gedempt door gevels en bij de voortplanting door de atmosfeer. Hierdoor kan laagfrequent geluid grote afstanden overbruggen en kan een bron op grote afstand (tot enkele kilometers) hinder veroorzaken.

Een belangrijke bron die niet geplatst kan worden in een van bovenstaande groepen is de bron van gewenst geluid: naast ongewenste blootstelling is er ook vaak sprake van vrijwillige blootstelling aan geluid. Vanuit gezondheidkundig oogpunt is met name het gebruik van oordopjes bij MP3-spelers (en soortgelijke toepassingen) en in mindere mate het bezoek aan popconcerten, discotheken en dergelijke van belang.(2,3)

16.4 Inspectie

Bij klachten over geluid moet altijd het geluid zelf worden waargenomen, op voorwaarde dat de persoon die de klacht behandelt, beschikt over een goed gehoor. Een uitzondering hierop is laagfrequent geluid: dit wordt niet door iedereen waargenomen. Vervolgens moet de bron worden achterhaald. In de meeste gevallen is dit eenvoudig, zoals bij burengerucht of hinder van het verkeer. Vooral bij lagere geluidniveaus of laagfrequent geluid (zie onder andere paragraaf 16.8) is niet altijd te achterhalen wat de bron is. Wordt het geluid zelf duidelijk waargenomen, dan kan het geluidniveau bepaald worden met behulp van metingen.

Ook wanneer er geen normen overschreden worden, kunnen bepaalde geluiden, zoals een constante bromtoon, als hinderlijk worden ervaren. In dit geval kan de GGD bemiddelen en proberen om, in samenwerking met andere instanties, een oplossing te vinden.

16.5 Meten van geluid

Geluid wordt gemeten met geluidniveau- of dosimeters. Geluidniveaumeters zijn handzame apparaten, waarmee men op gemakkelijke wijze geluidniveaus van circa 30 dB(A) tot 140 dB(A) kan meten. Veelal zijn deze apparaten aanwezig bij een gemeentelijke milieudienst.

Wanneer geluidniveaus sterk wisselen in de tijd en/of plaats is voor een risico-evaluatie een momentane meting niet voldoende. Dosimeters registreren het geluidniveau over een bepaalde periode. Deze lichte apparaten zijn geschikt voor persoonlijke monsternamen. Het meten van geluid is niet altijd zinvol, zoals bij geluidhinder door burens. Voor buurgeluiden bestaan namelijk geen wettelijke normen (zie paragraaf 16.9 en 16.10).

Het meten van laagfrequent geluid vraagt speciale aandacht. Door de Nederlandse Stichting Geluidhinder en GGD Nederland zijn richtlijnen opgesteld over het onderwerp laagfrequent geluid. In deze richtlijn wordt ook ingegaan op de meetmethodes en meetstrategie bij meldingen over laagfrequent geluid.(4,5)

16.6 Referentiewaarden: Geluidniveaus in woningen

Er is een grote variatie in geluiden in de eigen woning en in burengerucht. Met behulp van de huidige literatuur is er geen schatting te geven van de mate van blootstelling aan deze bronnen. Ruim 2% van de woningen in Nederland heeft een geluidbelasting van 63 dB(A) L_{den} of hoger ten gevolge van wegverkeer. Het overgrote deel hiervan betreft woningen langs gemeentelijke wegen.(6) Logischerwijs is de gemiddelde geluidbelasting in stedelijk gebied hoger dan in landelijk gebied.(7) Naast de aanwezigheid van een bron speelt de dempende werking van de gevel ook een rol in de geluidbelasting binnenshuis. Uit onderzoek rondom Schiphol blijkt dat het verschil tussen het geluidniveau buitenshuis en het geluidniveau binnenshuis kan variëren van 12 tot 31 dB(A) als gevolg van de demping van de gevel én het open hebben staan van ramen en dergelijke.(8) In de praktijk is de geluidwering bij goed onderhouden woningen tenminste 20 dB(A).(9) Over geluidhinder is meer bekend. Ongeveer 30 tot 40% van de Nederlandse bevolking ervaart overlast als gevolg van blootstelling aan geluid. Wegverkeer-, burenen- en luchtvaartlawaai zijn de drie grootste oorzaken.

Uit een enquête van TNO en RIVM blijkt dat 61% van de ondervraagden contactgeluiden van de burenen (zoals traplopen, slaan van deuren of het lopen op harde vloerbedekking) hoort. De radio, televisie of stereo-installatie van de burenen wordt door 46% waargenomen. In totaal ervoer 13% (ernstige) hinder door de diverse bronnen van geluiden uit de buurwoning. Het lopen op harde vloeren en het traplopen zijn de contactgeluiden waar de meeste respondenten wel eens hinder van ondervinden. Daarnaast werden geluiden zoals het doortrekken van het toilet, huishoudelijke apparatuur (wasmachine, stofzuiger), stemgeluiden (praten, schreeuwen, ruzie) en blaffende honden vaak genoemd.(10)

Via een website van het RIVM kan men op postcodeniveau de geluidbelasting in Nederland bekijken. De site geeft een beeld van de geluidbelasting in de woonomgeving. De gegeven kwaliteitsindicatie is echter niet geschikt om te gebruiken voor normtoetsing.(11)

16.7 Effecten op de gezondheid

Mogelijke nadelige effecten op de gezondheid door blootstelling aan omgevingsgeluid zijn: geluidhinder, slaap- en rustverstoring, verschijnselen die met stress samenhangen (hypertensie, harten- en vaatziekten), angst en depressie, en beïnvloeding van het prestatievermogen. De geluidniveaus in de woonomgeving zijn over het algemeen te laag om gehoorverlies te veroorzaken.

Hinder

Hinder is de meest ervaren gezondheidsklacht als gevolg van blootstelling aan geluid. Bij geluidhinder wordt naast de akoestische factor, dat wil zeggen de karakteristieken van de geluidbelasting, de mate van hinder mede bepaald door niet-akoestische factoren. In Tabel 16.2 staan de belangrijkste niet-akoestische factoren en de mate van invloed op de ervaring van geluidhinder.

Het tegengaan van geluidhinder kan dus enerzijds plaatsvinden door het verlagen van de geluidbelasting en anderzijds door de beïnvloeding van de niet-akoestische factoren. Dit laatste kan bijvoorbeeld toepasbaar zijn bij geluidhinder door bouwactiviteiten. Het informeren van omwonenden over de werkzaamheden (wat? wanneer? waarom?) kan ervoor zorgen dat omwonenden minder geluidhinder rapporteren.(12)

Uit onderzoek is niet gebleken dat het geslacht invloed heeft op gezondheidseffecten van geluid en zijn er geen indicaties dat kinderen gevoeliger zijn voor geluid.(13,14)

Slaapverstoring

Nachtelijke blootstelling aan geluid kan leiden tot slaapverstoring. De slaapverstoring zelf kan vervolgens andere gezondheidseffecten veroorzaken, zoals hoge bloeddruk, hartziekten en depressies bij vrouwen. Het bewijs voor de laatstgenoemde effecten is echter beperkt en indirect.(15) Het is bekend dat de kans op slaapverstoring als gevolg van geluid toeneemt met de leeftijd en het hoogst is rond een leeftijd van vijftig jaar. Daarna neemt de kans met toenemende leeftijd weer af.

Hart- en vaatziekten

Een korte blootstelling aan een hoge geluidbelasting kan leiden tot een tijdelijk verhoogde bloeddruk en hartslag en vaatvernauwing. Hoewel het bewijs niet sluitend is, zijn er voldoende aanwijzingen dat een langdurige blootstelling aan geluid kan leiden tot hart- en vaatziekten, zoals hypertensie en ischemische hartziekten. Lichamelijke stressreacties als gevolg van (jarenlange) blootstelling aan een verhoogde geluidbelasting worden hier verantwoordelijk voor geacht.(16)

Leerprestaties kinderen

Er zijn aanwijzingen dat de leerprestaties van kinderen nadelig beïnvloedt worden door een hoge geluidbelasting. Uit een onderzoek van het RIVM blijkt dat de leesprestatie van basisschoolkinderen rondom drie Europese vliegvelden gemiddeld lager zijn bij hogere geluidniveaus van vliegverkeer. De resultaten wijzen verder op een ongunstig effect van blootstelling aan geluid van vliegverkeer op het langetermijngeheugen. Ook blijken kinderen bij hogere geluidniveaus van vliegverkeer meer fouten te maken op de wisselende aandachtstest.(17)

Tabel 16.2 Niet-akoestische factoren en hun invloed op de ervaring van geluidhinder.(18)

Factor	Invloed
Angst voor de bron	+++
Houding tegenover de bron	++
Verwachtingen voor de toekomst	++
Beheersbaarheid blootstelling	++
Vrijwilligheid blootstelling	++
Geluidgevoeligheid	++
Voorspelbaarheid blootstelling	+
Vertrouwen in instanties/bedrijven	+
Veranderingen in het verleden	+
Gebruik van de bron	+
Leeftijd	+
Huurder of koper	+
Grootte huishouden	+
Opleiding	+
Beroep	+
Groen	+
Zicht op de bron	+
Sociale omgeving	+

Gehoorschade

Door langdurige blootstelling aan hard geluid kunnen trilhaartjes in het middenoor, die het geluid omzetten in een elektrisch signaal naar de zenuwen, permanent beschadigd raken en hun functie verliezen. De groepen trilhaartjes in het middenoor bestrijken ieder een specifiek frequentiegebied, waardoor beschadiging effect kan hebben op het horen van specifieke frequenties. Blootstelling aan een extreme hoeveelheid geluid kan het trommelvlies of binnenoor dusdanig beschadigen dat tinnitus kan ontstaan. Tinnitus is het horen van geluid (oorsuizen) zonder dat een geluidbron

aanwezig is. Een langdurige hoge geluidbelasting is slechts een van de mogelijke oorzaken van tinnitus.

Op grond van een aantal grootschalige studies wordt tegenwoordig aangenomen dat 70dB(A) een veilige waarde voor langdurige blootstelling over 24 uur is. Geluidniveaus in de omgeving zijn over het algemeen niet van dien aard dat gehoorschade zal optreden.

De drempelwaarden voor de verschillende effecten van geluid staan weergegeven in Tabel 16.3.

Tabel 16.3 Mogelijke langetermijngezondheidseffecten van blootstelling aan geluid.(16)

Effect door lawaai	Situatie ¹	Effect vastgesteld	Niveau waarbij het effect niet optreedt in een doorsnee bevolking		
			geluidmaat (in dB(A))	niveau	binnen/ buiten ²
Gehoorschade	woon, recr	voldoende	$L_{Aeq,24h}$	70	binnen
Hypertensie	woon, weg	beperkt	$L_{Aeq,06-22h}$	55	buiten
	woon, vlieg	voldoende	$L_{Aeq,06-22h}$	55	buiten
Ischemische hartziekte:		beperkt	$L_{Aeq,06-22h}$	55	buiten
• <i>anti-hypertensiva</i>	woon, weg, vlieg	beperkt			
• <i>medische consult</i>	woon, weg, vlieg	beperkt			
• <i>angina pectoris</i>	woon, weg, vlieg	beperkt			
• <i>myocard infarct</i>	woon, weg	beperkt			
• <i>IHD totaal</i>	woon, weg	voldoende			
Hormonale/ biochemische veranderingen	woon	beperkt			
Psychiatrische stoornissen	woon	beperkt			
Hinder	woon	voldoende	L_{den}	42 ³	buiten
Psychologisch welbevinden	woon	beperkt	L_{dn}	± 50	
Slaapverstoring, veranderingen in:					
• <i>slaappatroon</i>	slaap	voldoende			
• <i>ontwaakreacties</i>	slaap	voldoende	SEL	60	binnen
• <i>slaapstadia (verandering in EEG-parameters)</i>	slaap	voldoende	SEL	35	binnen
• <i>(begin van) bewegen</i>	slaap, vlieg	voldoende	SEL	35-40	binnen
• <i>subjectieve slaapkwaliteit</i>	slaap	voldoende	L_n	45	buiten
• <i>immuunsysteem</i>	slaap	beperkt			
• <i>hormoonstelsel</i>	slaap	inadequaat			
• <i>prestaties volgende dag</i>	slaap	beperkt			
Prestatie	woon	beperkt			
	school	voldoende	$L_{Aeq,school}$	50-55	buiten

¹ Situatie: recr = recreatieve omgeving, woon = woonomgeving, weg = wegverkeerslawaai, vlieg = vliegtuiglawaai, slaap = slaaperiode.

² de waarden hebben betrekking op waarden binnenshuis (in woning of werkruimte) of buitenshuis, gemeten aan de gevel van de woning; voor enkele beglazing kan een verschil van 15-25 dB(A) worden aangehouden tussen het niveau buitens- en binnenshuis.

³ drempelwaarde voor ernstige hinder.

Laagfrequent geluid

Er is weinig bekend over directe effecten van blootstelling aan laagfrequent geluid op de gezondheid. Er is geen dosis-responsrelatie bekend, het waarnemen van het geluid brengt de reactie al dan niet teweeg. Mensen die laagfrequent geluid waarnemen, hebben vaak slaapproblemen. Uit ervaringen van mensen blijkt dat er allerlei indirecte effecten op kunnen treden, zoals stress, hartkloppingen, een onbehaaglijk gevoel. Het is niet duidelijk in hoeverre deze klachten veroorzaakt worden door slapeloosheid en oververmoeidheid of door het geluid zelf. Vaak voelen mensen met klachten over laagfrequent geluid zich gevangen in het geluid en kan men er niet van loskomen.

Het kan het leven van de persoon gaan beheersen, deels omdat erkenning vanuit de omgeving uitblijft.

16.8 Richtlijn GGD

In 2002 is door GGD Nederland de richtlijn 'Laag Frequent Geluid' opgesteld. De richtlijn gaat nader in op de probleemomschrijving van hinder als gevolg van laagfrequent geluid, welke milieu- en gezondheidsgegevens relevant zijn, wat de mogelijkheden tot nader onderzoek zijn en welke rol de GGD kan spelen bij een klacht over laagfrequent geluid. In de bijlage van de richtlijn zijn twee vragenlijsten opgenomen die kunnen helpen bij het verkrijgen van de relevante gegevens in geval van een klacht over laagfrequent geluid.⁽⁵⁾ Verder wordt in de richtlijnen 'Gezonde Woningbouw' (2005) en 'Voorlichting Gezond Wonen' (2005) ingegaan op de aandachtspunten van de factor geluid.^(19,20)

16.9 Normen en juridische aspecten

In Nederland zijn verschillende wetten en regelgevingen die op een of ander wijze iets zeggen over geluidsnormen. De wetgeving omtrent geluid is complex en op sommige punten momenteel onderhevig aan veranderingen. Hieronder wordt de belangrijkste regelgeving kort toegelicht.

Wet geluidhinder

De wetgeving omtrent geluid behandelt met name geluid in relatie tot wegverkeer, railverkeer en industrie. De Wet geluidhinder (Wgh, 1979) kent grenswaarden voor verkeers- en industrie-geluid. Op 1 januari 2007 is de gewijzigde Wet geluidhinder in werking getreden. Bij nieuwe woningen mogen de L_{etm} -waarden van wegverkeers- en industrielawaai aan de gevel niet hoger zijn dan 50 dB(A), bij bestaande woningen niet hoger dan 55 dB(A). Bij waarden hoger dan 60 dB(A) moeten geluidbeperkende maatregelen genomen worden. In de praktijk gebeurt dit om financiële redenen pas vanaf 65 dB(A).⁽²¹⁾ Voor geluid van treinen geldt dat de geluidbelasting niet hoger mag zijn dan 57 dB(A). Dit zijn de zogenoemde voorkeursgrenswaarden. Een geluidbelasting onder de voorkeurswaarde is dus zonder meer toegestaan. Daarnaast is er ook een maximaal toelaatbare geluidbelasting vastgesteld: deze waarde mag niet overschreden worden. Voor een geluidbelasting hoger dan de voorkeursgrenswaarde, maar lager dan de maximaal toelaatbare geluidbelasting is een ontheffing noodzakelijk.

Wil een gemeente afwijken van de voorkeursgrenswaarden dan zal de gemeente een hogere waardeprocedure moeten volgen. De gemeente moet dan een hogere waarde bij de provincie aanvragen. Het is de bedoeling dat gemeenten in de toekomst zelf bevoegdheid krijgen om (gemotiveerd) af te wijken van de voorkeursgrenswaarden. Deze wijziging is op dit moment nog niet doorgevoerd.

In de laatste wijziging (18 juli 2004) in de Wgh is de EU-Richtlijn Omgevingslawaai, en daarmee de Europese geluidmaat L_{den} , formeel ingevoerd in de Nederlandse wet- en regelgeving. Dit houdt in dat in de rapportages richting de Europese Unie in Brussel L_{den} wordt gehanteerd. Op korte termijn wordt in Nederland de L_{den} doorgevoerd, met uitzondering voor industrielawaai.

Bouwbesluit (Woningwet)

In het Bouwbesluit staan voor nieuw te bouwen woningen en woongebouwen eisen met betrekking tot geluid. Afdeling 3.1 (artikelen 3.1 t/m 3.5) betreft eisen ter bescherming voor geluid van

¹ Onder bepaalde voorwaarden kan in een nieuwbouwwoning een klepraam een ventilatievoorziening zijn. In een dergelijk geval dient het klepraam in ventilatiestand open te staan.

buiten de woning. Hierbij wordt uitgegaan van de Wet geluidhinder. Voor geluid afkomstig van buiten is het hoogst toegestane geluidniveau in de woning met geopende ventilatievoorzieningen, maar overigens gesloten ramen en deuren¹, 35 dB(A). De geluidwering van een gevel van een woning of een woongebouw moet minimaal 20 dB(A) bedragen. Extra maatregelen zijn dus vooral van belang bij het bouwen van woningen of woongebouwen waarvan de geluidsbelasting op de gevel meer is dan 55 dB(A). Volgens artikel 103 van de Wgh mag op de berekende of gemeten geluidsbelasting in bepaalde gevallen een aftrek worden toegepast, voordat toetsing aan de in de Wgh gestelde normen ten aanzien van de optredende geluidsbelasting op de gevel plaatsvindt. Deze aftrek is gebaseerd op de verwachting dat het wegverkeer op de (middel)lange termijn stiller wordt. Voor stedelijk gebied bedraagt de aftrek 5 dB(A) en voor buitenstedelijk gebied 3 dB(A). De waarde van 55 dB(A) komt na maximale aftrek overeen met de eerder genoemde voorkeursgrenswaarde van 50 dB(A) uit de Wgh.

De eis voor de geluidwering nodig tegen weg- en railverkeerslawaai volgt uit: de gevelgeluidwering is ten minste gelijk aan de geluidbelasting minus 35 (voor wegverkeerslawaai) of 37 (voor railverkeerslawaai). Dit verschil tussen wegverkeerslawaai en railverkeerslawaai wordt bepaald door de spectrale verdeling van beide bronnen. Als gevolg hiervan wordt bij een gelijke geluidbelasting railverkeerslawaai minder hinderlijk ervaren dan wegverkeerslawaai. Met deze waarden is het beschermingsniveau gelijk.

De eisen ten aanzien van luchtvaartlawaai zijn weergegeven in Tabel 16.4. In een situatie waarbij sprake is van twee aparte, gelijkwaardige bronnen (bijvoorbeeld twee autowegen) worden deze bij elkaar opgeteld. Is er sprake van verschillende bronnen (bijvoorbeeld een autoweg en een spoorlijn) dan dient de woning zo gebouwd te zijn dat aan beide eisen voldaan wordt.

Tabel 16.4 Geluidwering in geval van luchtvaartlawaai volgens het Bouwbesluit 2003.(22)

Geluidsbelasting (Ke)	Vereiste geluidwering voor nieuwbouw in geluidgevoelig verblijfgebied (dB(A))
36	30
37	31
38 - 39	32
40 - 41	33
42 - 43	34
44	35
45 - 46	36
47	37
48	38
49	39
> 50	40

Afdeling 3.2 (artikelen 3.6 t/m 3.10) van het Bouwbesluit 2003 bevat eisen ter bescherming van geluid van installaties. Dit artikel heeft alleen betrekking op installaties uit buurwoningen en niet op installaties in de eigen woning. Voor woningen en woongebouwen wordt onder de term 'installaties' verstaan: een toilet met waterspoeling, een kraan, een mechanisch ventilatiesysteem, een warmwatertoestel, een drukverhogingsinstallatie en een lift. Geluid door bijvoorbeeld het hek van de onderliggende parkeergarage valt hier dus niet onder. Het geluidniveau ten gevolge van de genoemde installaties mag in de buurwoningen niet hoger zijn dan 30 dB(A).

Afdeling 3.3 (artikelen 3.11 t/m 3.14) en afdeling 3.5 (artikelen 3.17 t/m 3.21) bevatten eisen voor geluidwering tussen ruimten en afdeling 3.4 (artikelen 3.15 en 3.16) bevat eisen ter beperking van galm.(22)

Meldingen over de gehorigheid en geluidisolatie van woningen hebben betrekking op het Bouwbesluit. De gemeente is verantwoordelijk voor de handhaving hiervan, vaak uitgevoerd door een afdeling bouw- en woningtoezicht.

Garantie Instituut Woningbouw

In Nederland wordt het overgrote deel van de woningen gebouwd onder de garantie van de stichting Garantie Instituut Woningbouw (GIW). Naast de algemene eisen zoals vermeld in het bouwbesluit hanteert deze stichting additionele prestatie-eisen, om zo de kwaliteit van de woningen in Nederland te bevorderen. Deze eisen staan vermeld in de GIW/ISSO-publicaties. In publicatie 24 'Installatiegeluid' staan de prestatie-eisen betreffende installatiegeluid in de woning. Een overzicht van deze GIW-prestatie-eisen en de vergelijking met het Bouwbesluit is weergegeven in Tabel 16.5. Verder komt de beperking van geluidhinder door leiding(water)installaties aan de orde in publicatie 30 'Leidingwaterinstallaties in woningen' en publicatie 55 'Tapwaterinstallaties in woon- en utiliteitsgebouwen'.(23)

Tabel 16.5 Overzicht prestatie-eisen installatiegeluid volgens het Bouwbesluit en de GIW/ISSO-publicatie

Bron van geluid	Prestatie-eis bouwbesluit (dB(A))		Prestatie-eis GIW (dB(A))	
	verblijfsruimte	andere ruimte	verblijfsruimte	andere ruimte
Installaties buiten de woning				
Toilet, kranen, douche, verwarming/ warmwatervoorziening, ventilatie, lift en hydrofoor (drukverhogingsinstallaties)	30	geen eis	30	35
Overige installaties ¹	geen eis	geen eis	35	40
Installaties in de woning				
Verwarming/warmwatervoorziening, ventilatie	geen eis	-	30	-
Toilet, bad, douche, en overige installaties ¹	geen eis	-	40	-

¹ Onder overige installaties worden verstaan: binnenriolering, pompinstallaties, vuilstortkokers en automatische garagedeuren.

Tabel 16.6 Overzicht van de kwaliteitsklassen volgens de NEN norm 1070.(24)

Ruimte	Bron van geluid	Kwaliteitscijfer dB(A)				
		k = 1	k = 2	k = 3	k = 4	k = 5
Verblijfsruimte	Installatie buiten de woning	k = 1	k = 2	k = 3	k = 4	k = 5
	Toilet, bad/douche, (verwarming)	20	25	30	35	40
	Overige installaties ¹)	25	30	35	40	45
	Installaties binnen de woning (verwarming)	k = 1 (20)	k = 2 (25)	k = 3 (30)	k = 4 (35)	k = 5 (40)
	Toilet, bad/douche, overige installaties ¹)	30	35	40	45	50
Andere ruimte	Installaties buiten de woning	k = 1	k = 2	k = 3	k = 4	k = 5
	Toilet, bad/douche, (verwarming)	25	30	35	40	45
	Overige installaties ¹	30	35	40	45	50

¹ Onder overige installaties worden verstaan: pompinstallaties, drukverhogingsinstallaties (hydrofoorinstallaties) en kranen, anders dan bij toilet, bad of douche.

De prestatie-eisen zoals gehanteerd door het GIW komen overeen met de kwaliteitsklasse 3 uit de NEN norm 1070. In deze NEN norm zijn vijf kwaliteitsklassen genoemd, die variëren van net haalbaar met de huidige technieken (kwaliteitsklasse 1, hoogste kwaliteitsniveau), conform de huidige bouwpraktijk (kwaliteitsklasse 3) tot minimaal noodzakelijk bij woningverbetering (kwaliteitsklasse 5).

Een overzicht van deze kwaliteitsklassen is weergegeven in Tabel 16.6. De NEN 1070 geeft een methode om geluidwering in gebouwen te beoordelen en te kwantificeren.(24)

Wet milieubeheer

Op grond van deze wet kan een vergunning worden verleend voor een inrichting. Aan de vergunning kunnen bepaalde beperkingen worden verbonden in de vorm van (geluids)voorschriften ter bescherming van omwonenden en natuurwaarden. Veel (kleinere) bedrijven, waaronder de horeca, zijn vrijgesteld van de vergunningplicht, maar moeten voldoen aan algemene regels die in de vorm van een Algemene maatregel van bestuur (AMvB) per branche zijn vastgesteld. In deze algemene regels, die landelijk gelden, zijn ook geluidsvoorschriften opgenomen.(9)

Luchtvaartwet

In Nederland wordt de geluidsbelasting door vliegtuiglawaai uitgedrukt in Kosteneenheden (Ke). Deze maat wordt bepaald door de maximale geluidniveaus van overvliegende vliegtuigen, het totaal aantal vluchten dat per jaar overkomt en bepaalde straffactoren voor avond- en nachtvluchten.(25) De kleine luchtvaart (sportvliegen), vormt een uitzondering. Daarvoor wordt een gebruikgemaakt van een andere geluidmaat, de BKL (belasting kleine luchtvaart).

De Luchtvaartwet (1958) specificeert voor vliegtuiglawaai een grenswaarde van 35 Ke voor nieuw te bouwen huizen. Dit komt ongeveer overeen met een L_{den} van 58 dB(A). Slechts in speciale gevallen is het toegestaan nieuwe huizen te bouwen in gebieden met niveaus tussen 35 en 45 Ke. Voor bestaande woningen zijn geluidisolatiemaatregelen vereist wanneer het niveau hoger is dan 40 Ke. Het isoleren van woningen tegen vliegtuiggeluid vindt plaats volgens de richtlijnen van de Regeling Geluidwerende Voorzieningen. Mensen die wonen in huizen met meer dan 65 Ke zouden moeten verhuizen. In het in 2003 van kracht geworden Luchthavenverkeerbesluit Schiphol wordt de L_{den} gehanteerd als geluidmaat. Voor de overige vliegvelden vindt nu een overgang plaats van het gebruik van Ke naar L_{den} . Het is de bedoeling dat de Luchtvaartwet volledig in de Wet geluidhinder wordt opgenomen.

Interimwet stad-en-milieubenadering

De Interimwet stad-en-milieubenadering geeft gemeenten, onder strikte voorwaarden, de mogelijkheid af te wijken van bepaalde milieueisen, zoals geluidsnormen. Om te kunnen afwijken van bepaalde milieueisen moeten gemeenten met een stappenbenadering aantonen dat de geplande woningbouw niet onder de bestaande regels gerealiseerd kan worden. Ook moet het afwijken van milieueisen in de woonwijk worden gecompenseerd door bijvoorbeeld maatregelen tegen burengerucht of meer groenvoorzieningen.

Bouwverordening

Op grond van artikel 7.3.2 uit de Model-Bouwverordening van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) kunnen, voor zover overgenomen door de gemeente, allerlei vormen van hinder, waaronder ook geluidoverlast, worden aangepakt.

Wetboek van Strafrecht

Artikel 431 van het Wetboek van Strafrecht verbiedt burengerucht of rumoer als de nachtrust in het geding is. Er moet echter veel lawaai worden gemaakt, wil de politie gebruikmaken van dit artikel. De ervaring leert dat de politie vaak moeite heeft met het toepassen van het Wetboek van Strafrecht in situaties met geluidshinder door burenen.

Algemene Plaatselijke Verordening (APV)

Gemeenten kunnen nadere regels instellen via een Algemene Plaatselijke Verordening (APV). In artikel 4.1.7. van de modelverordening van de VNG staat dat het verboden is geluidshinder voor omwonenden en de omgeving te veroorzaken. Indien dit artikel is overgenomen door de gemeente

in de APV kan de politie gemakkelijker optreden tegen geluidhinder. Het oordeel blijft subjectief en wordt mede bepaald door de luidheid, het tijdstip, de duur en de frequentie van de hinder.

Burgerlijk Wetboek

In een huursituatie kan artikel 1586 in boek 7A van het Burgerlijk Wetboek van belang zijn. In dit artikel is bepaald dat een verhuurder een ongestoord woongenot moet verschaffen aan zijn huurder.

Bij burengerucht worden juridische middelen echter slechts in geval van extreme situaties toegepast en vaak alleen als andere methoden geen effect hebben gehad. Gesprek en overleg, eventueel met bemiddeling van bijvoorbeeld politie, gemeente en verhuurder, met de veroorzaker zullen de belangrijkste methoden zijn om de overlast (proberen) op te lossen.(26,27)

16.10 Referenties

1. Vakgroep Gezondheidsleer. Geluidhinder. Documentatie bij collegecyclus. Landbouwhogeschool. Wageningen, 1979.
2. Passchier-Vermeer W, Vos H, Steenbekkers JHM. De relatie tussen popmuziek via hoofdtelefoons en gehoorverlies bij jongeren. TNO Preventie en Gezondheid publicatienr. 98.016. Leiden, 1998.
3. Passchier-Vermeer W, Steenbekkers JHM. Gehoorschade door popmuziek; popconcerten, houseparty's en discotheken. TNO Preventie en Gezondheid publicatienr. 2001-149. Leiden, 2001.
4. Nederlandse Stichting Geluidshinder. NSG-Richtlijn Laagfrequent geluid. Delft, 1999.
5. GGD. GGD Richtlijn Laag Frequent Geluid. GGD Nederland. Utrecht, 2002.
6. Milieu- en Natuur Planbureau. Milieubalans 2006. MNP-rapportnr. 500081001. Bilthoven, 2006.
7. Milieu- en Natuur Planbureau en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Milieubalans 2004. Het Nederlandse milieu verklaard. MNP-rapportnr. 251701057, RIVM-rapportnr. 251701057. Bilthoven, 2004.
8. Fast T. Beoordelingskader Gezondheid en Milieu: nachtelijk geluid rond Schiphol en slaapverstoring. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 630100002. Bilthoven, 2004.
9. Website Ministerie van VROM. Dossier Geluid. www.vrom.nl.
10. Franssen EAM, Dongen JEF van, Ruysbroek JMH, Vos H, Stellato RK. Hinder door milieufactoren en de beoordeling van de leefomgeving in Nederland. Inventarisatie verstoringen 2003. TNO Inro en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. TNO-rapportnr. 2004-34, RIVM-rapportnr. 815120001/2004. Delft/Bilthoven, 2003.
11. Website RIVM. Geluidskwaliteit per postcode. http://cerberus.rivm.nl/geluid/gelbel_doel.html.
12. Wijnen JH van, Dongen JEF van, Miedema HME. Hinder van Bouwactiviteiten. GG&GD Amsterdam en TNO Inro. Delft, 2004.
13. Miedema HME, Vos H. Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *J Acoust Soc Am* 1999; 105(6): 3336-44.
14. Babisch W. Transportation noise and cardiovascular risk. Review and synthesis of epidemiological studies. Dose-effect curve and risk estimation (WaBoLu-Hefte 01/06). Berlijn: Umwelt Bundes Amt, 2006.
15. Gezondheidsraad. Over de invloed van geluid op de slaap en de gezondheid. Gezondheidsraad rapportnr. 2004/14. Den Haag, 2004.
16. Kamp van, Kempen van, Staatsen, Nijland. Geluid en Gezondheid. Handboek Lawaai-beheersing. Hoofdstuk 2. 2004/05/Kluwer.

17. Kempen MMEE van, Kamp I van, Stellato RK, Houthuijs DJM, Fischer PH. Het effect van geluid van vlieg- en wegverkeer op cognitie, hinderbeleving en de bloeddruk van basisschoolkinderen. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 441520021/2005. Bilthoven, 2005
18. Woudenberg F, Slob R, Elsmann L. Belasting en beleving: de rol van non-akoestische factoren. GGD Rotterdam en omstreken. Rotterdam, 2001.
19. Weterings M. GGD Richtlijn Gezonde Woningbouw. Landelijk Centrum Medische Milieukunde / GGD Nederland. Utrecht, 2005.
20. Jochems D. GGD Richtlijn Voorlichting Gezond Wonen. Landelijk Centrum Medische Milieukunde / GGD Nederland. Utrecht, 2005.
21. Gezondheidsraad. Geluid en gezondheid. Gezondheidsraadrapportnr. 1994/15. Den Haag, 1994.
22. Ministerie van VROM. Praktijkboek Bouwbesluit 2003. Den Haag, 2005.
23. Scheffer W. Praktijkrichtlijnen voor installatiegeluid hard nodig. Vakblad Intech K&S 2004; Jun: 14-16.
24. Nederlands Normalisatie Instituut. Geluidwering in gebouwen – Specificatie en beoordeling van de kwaliteit. NEN 1070. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2003.
25. Passchier-Vermeer W. Geluid en gezondheid. Achtergrondstudie. Gezondheidsraad rapportnr. A93/02. Den Haag, 1993.
26. Ministerie van VROM. Handreiking Burenlawaaier. Den Haag, 2003.
27. Nederlandse Stichting Geluidshinder. Geluidshinder burenen. Delft, 2003.

17

Thermisch binnenklimaat

17.1 Inleiding

Woningen worden ontworpen om de mens te beschermen tegen het buitenklimaat. In een goed gebouw is binnen een dusdanig klimaat gecreëerd dat men zich er het hele jaar behaaglijk voelt, ongeacht het weer.

We spreken van een thermisch behaaglijk binnenklimaat als mensen geen behoefte hebben aan een hogere of lagere temperatuur. Thermische behaaglijkheid wordt daarom uitgedrukt in de mate waarin men tevreden is over het thermisch binnenklimaat. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt naar algemene thermische behaaglijkheid ('het warm of koud vinden') en lokale thermische behaaglijkheid. Onder lokale thermische onbehaaglijkheid verstaat men onbehaaglijkheid door (te) sterke afkoeling/opwarming van een deel van het lichaam. Denk dan bijvoorbeeld aan tocht en hinder ten gevolge van koude vloeren. De temperatuur in een ruimte is dan op zich goed, desondanks koelt een deel van het lichaam te sterk af of warmt het te veel op. Andere vormen van lokaal discomfort zijn: verticale temperatuurgradiënt (hinderlijk groot verschil tussen luchttemperatuur op hoofdhoogte en enkelhoogte) en stralingsasymmetrie (hinder door een duidelijk verschil in stralingstemperatuur aan de ene kant van het lichaam versus de andere kant, bijvoorbeeld wanneer men direct naast een radiator zit).

Diverse factoren beïnvloeden het thermisch binnenklimaat in een gebouw: (1)

- buitenklimaat (wind, zonne-intensiteit, temperatuur);
- thermische isolatie van de gebouwschil;
- luchtdichtheid van de gebouwschil;
- hoeveelheid en oriëntatie van beglazing;
- zonwerende eigenschappen van het glas, type zonwering;
- massa van de constructie die warmte kan opslaan;
- hoogte van verblijfsruimten;
- de interne warmtelast (afgifte verlichting, apparatuur, aantal personen);
- kwaliteit en capaciteit van het verwarmingssysteem;
- kwaliteit en capaciteit van het koelsysteem;
- kwaliteit en capaciteit van het ventilatiesysteem;
- kwaliteit en capaciteit van spui ventilatievoorzieningen (te openen ramen).

Ook direct gebruikersgerelateerde zaken zijn van invloed op het ervaren comfort:

- het (gemiddelde) activiteitsniveau van gebouwgebruikers (metabolisme);
- de hoeveelheid kleding die men draagt (clo-waarde).

's Zomers is vooral de *algemene* thermische behaaglijkheid kritisch, onder andere door toepassing van grote glasvlakken zonder goede zonwering en ruimtes onder lichte daken (platte, zwarte daken). Omdat de meeste woningen anno 2006 zijn voorzien van voldoende verwarming, blijft de algemene thermische behaaglijkheid 's winters meestal acceptabel. Echter, juist 's winters is vooral de *lokale* thermische behaaglijkheid kritisch: men krijgt last van tocht, koude voeten en bijvoorbeeld koudestraling bij vensters.

Uit onderzoek blijkt dat circa 27% van de woninggebruikers in Nederland hinder ondervindt door tocht – 6% ondervindt zelfs ernstige hinder. Circa 10% vindt het (vaak) te warm in de woning, 18%

vindt het (vaak) te koud en bij circa 65% van de ouderen boven de 65 jaar komt hinder door kou (vaak) voor.(2)

17.2 Thermische behaaglijkheid

17.2.1 Algemene thermische behaaglijkheid

Met algemene of plaatselijke thermische behaaglijkheid wordt aangegeven in welke mate men het koud of warm heeft. In het dagelijks leven praten we in dit verband over 'de temperatuur' in een ruimte. Toch bepaalt niet alleen de (lucht-)temperatuur of we het warm of koud hebben, maar ook de gemiddelde stralingstemperatuur (oppervlakte-temperatuur van wanden, raam, plafond, radiator en dergelijke), de luchtsnelheid en de luchtvochtigheid. Denk in dit verband bijvoorbeeld aan de 'gevoelstemperatuur' die het KNMI hanteert, waarbij men er rekening mee houdt dat het kouder lijkt wanneer het hard waait. Een ander voorbeeld is de sauna, waar men het plotseling veel warmer krijgt wanneer een schep water op de kachel wordt gegooit. Hierbij wordt de luchttemperatuur zeker niet hoger, maar het lijkt warmer doordat de luchtvochtigheid toeneemt.

Ook het activiteitsniveau (metabolisme) en de thermische isolatie van de gedragen kleding spelen een rol bij de 'temperatuurbeleving'. Wanneer men het bijvoorbeeld te warm heeft, kan er sprake zijn van een te hoge thermische isolatie van de kleding en/of een relatief hoog activiteitsniveau (gegeven de omgevingsparameters). Ook kan een te hoge lucht- of stralingstemperatuur, een te hoge relatieve luchtvochtigheid of een (relatief) te lage luchtsnelheid tot warmteklachten leiden. Bij koudeklachten geldt (uiteraard) het omgekeerde.

Ook medicijngebruik, consumptiegewoonten (bijvoorbeeld koffie, alcohol) en de algehele fitheid van bewoners kunnen van invloed zijn op de temperatuurbeleving.

17.2.2 Lokale thermische behaaglijkheid

Er wordt een onderscheid gemaakt in vier soorten lokale thermische onbehaaglijkheid, die hieronder verder behandeld worden.

Temperatuurverschil hoofd – voeten

De verticale temperatuurgradiënt in een ruimte geeft het verschil tussen de luchttemperatuur op hoofdhoogte en vloer (voeten) weer (bij zitten). In de meeste ruimten is de luchttemperatuur, over de gehele hoogte genomen (vanaf de vloer tot aan het plafond), niet constant. Normaliter neemt de temperatuur met de hoogte toe: naarmate men dichterbij het plafond komt, wordt de temperatuur hoger. Warme lucht is immers lichter dan koude lucht.

Wanneer het verschil in luchttemperatuur tussen hoofdhoogte en enkelhoogte te groot is, zal dit als onbehaaglijk worden ervaren. Hierbij wordt meestal gewerkt met het verschil op hoofdhoogte en enkelhoogte van een zittend persoon, omdat een mens zittend (bij een relatief laag activiteitsniveau) veel gevoeliger is voor verticale temperatuurverschillen dan staand of lopend.

Het type verwarmingssysteem is in deze context vaak een oorzaak van klachten, met name wanneer het een systeem betreft dat zijn warmte hoofdzakelijk via convectie en niet via warmtestraling afgeeft (denk bijvoorbeeld aan luchtverwarming of convectoren). In veel situaties is het beter om met stralingsverwarming (met lage temperaturen) te werken, zoals bijvoorbeeld radiatoren of vloerdan wel wandverwarming. Ook de wijze van ventileren kan (mede) oorzaak zijn van klachten, afhankelijk van de locatie van inblaasroosters en het verschil tussen de temperatuur van de ventilatielucht en de vertrektemperatuur. Daarnaast kan een ongewone vertrekhoogte (meer dan 3,0 m hoog) en een relatief slecht geïsoleerde, 'lekke' gevel (en enkelglas) een rol spelen.

Tocht

Tocht is gedefinieerd als een ongewenste afkoeling van een deel van het lichaam ten gevolge van een luchtstroming. Tocht is vooral voelbaar aan lichaamsdelen die niet door kleding zijn bedekt, bijvoorbeeld het hoofd, de enkels en de nek.

Er zijn vier omgevingsfactoren die bepalen of een bepaalde ruimte wel of niet als ‘tochtig’ wordt ervaren:

- de luchttemperatuur in de ruimte;
- de gemiddelde luchtsnelheid;
- de turbulentie-intensiteit (dit is de mate waarin de werkelijke, momentane luchtsnelheid fluctueert rond het gemiddelde; hoe hoger de turbulentie-intensiteit, hoe meer de luchtstroming als tocht gevoeld wordt);
- de richting van de luchtstroom ten opzichte van de persoon.

Daarnaast speelt het activiteitsniveau soms nog een rol: bij stilzitten zal een bepaalde luchtsnelheid eerder tot klachten leiden dan bij staande of lopende activiteit.

Ten slotte is het wel of niet kunnen beïnvloeden van de luchtstroom van belang voor de mate van hinder. Luchtstroming via een zelf te beïnvloeden open raam of bijvoorbeeld een tafelventilator is minder hinderlijk dan luchtstromingen uit een ventilatiesysteem dat niet kan worden beïnvloed.

Tocht kan ondermeer veroorzaakt worden door (inadequaate) mechanisch inblazen van de ventilatielucht. De luchtsnelheid kan hierbij te hoog zijn, de temperatuur van de ingeblazen lucht kan te laag zijn en/of het inblaasrooster kan verkeerd zijn afgesteld. Ook de plaats van verwarmingselementen ten opzichte van vensters (met het oog op koudeval) is van belang. Tocht door zogenaamde ‘koudeval’ ontstaat doordat de lucht bij een koud vlak – zoals een raam met enkelglas – sterk afkoelt en daardoor gaat ‘vallen’. Dit heeft een koude luchtstroming tot gevolg die men als tocht ervaart. Andere factoren die een rol spelen zijn de luchtdichtheid van de gevel (bij harde wind buiten) evenals het type, de plaatsing en de regelbaarheid van te openen ramen en gevelroosters (‘dauerluftung’).

Stralingsasymmetrie

Wanneer iemand door koude- of warmtestraling aan één zijde veel sterker afkoelt dan aan de andere, dan spreken we van stralingstemperatuurasymmetrie. Zit men bijvoorbeeld te dicht bij een gaskachel, dan warmt de voorkant van het lichaam relatief sterk op (wordt aangestraald), terwijl de achterkant relatief koud blijft. Als dit verschil te groot wordt, gaat men zich onprettig voelen of kan men gaan klagen over ‘tocht’. Ook wanneer iemand bij relatief koud weer te dicht bij een groot enkel glasraam zit, kan hinder door stralingsasymmetrie het gevolg zijn: het lichaam koelt dan door warmteverlies ten gevolge van straling (van het lichaam naar het raam) aan de ene zijde veel sneller af dan aan de andere zijde.

Koude of warme vloeren

Een koude vloer onttrekt door geleiding warmte aan het lichaam. Daarom wordt een te koude vloer bij het erover lopen, of het erop zitten snel als onbehaaglijk ervaren. Ook een te warme vloer kan echter problemen geven: dit wordt als onnatuurlijk ervaren, soms zelfs als onbehaaglijk warm en er zijn aanwijzingen dat vloertemperaturen boven de 28 °C de voethygiëne niet ten goede komen.

17.3 Inspectie

Bij klachten over het thermisch binnenklimaat verdient het aanbeveling de volgende stappenprocedure te volgen:

1. Bepaal om welke klachten het precies gaat en noteer dit; stel vragen als: gaat het alleen om koudeklachten of heeft men ook tochtklachten of bijvoorbeeld klachten over koude voeten? Hebben alle gezinsleden klachten? Treden de klachten het hele jaar op of alleen tijdens een bepaald seizoen? Altijd of bijvoorbeeld alleen overdag of alleen 's avonds? Waren de klachten er altijd al (sinds men in de betrokken woning woont) of pas sinds een bepaald moment?

2. Stel vast (indien relevant) of het om een individuele klacht gaat of om een klacht die voor het hele woningcomplex geldt. Bezoek hiertoe bijvoorbeeld een drietal andere woningen in het complex en vraag wat daar de ervaringen zijn.
3. Verricht een woninginspectie. Maak een globale inventarisatie van (be)woningkenmerken (zie hieronder) die in het licht van de klachten relevant kunnen zijn.
4. Bepaal of nader onderzoek nodig is, al dan niet inclusief (temperatuur)metingen. Ga na of dit uitgevoerd kan worden door de GGD of dat hier een bouwfysica-, installatie- of binnenmilieuspecialist voor ingeschakeld moet worden. Zorg ervoor dat eventuele vervolgmetingen gebaseerd worden op een 'voorlopige diagnose' op basis van de klachteninventarisatie en de woninginspectie.
5. Afhankelijk van het type klachten en de uitkomsten van de woninginspectie en de eventuele meetuitkomsten: bepaal wat de mogelijke oorzaken zijn voor de klachten.
6. Bepaal welke maatregelen (zie volgende paragraaf) nodig zijn om de situatie te verbeteren, indien nodig in overleg met een specialist.
7. Adviseer de woningeigenaar over de uitvoering van de binnenklimaatverbeterende maatregelen.

Tijdens de onder punt 3 beschreven woninginspectie kan men als volgt te werk gaan:

Klachten over oververhitting/te hoge temperatuur in de zomermaanden:

- Bepaal of de verwarming uitstaat (hand op radiatoren e.d.);
- Bekijk of er sprake is van relatief grote glasoppervlakken op het oosten, zuiden of westen;
- Inspecteer of (zonbelaste) grote glasoppervlakken voorzien zijn van buitenzonwering (uitvalschermen of 'screens' aan de buitenzijde). Let op: luxaflex en gordijnen aan de binnenzijde van ramen helpen niet goed tegen opwarming: alleen zonwering aan de buitenkant is effectief. Bomen buiten die de ramen 'beschaduwden' helpen ook;
- Noteer of het een bovenwoning of een verdieping direct onder het dak betreft. Als het dak slecht geïsoleerd is, kan er op warme dagen sprake zijn van warmte-instraling via het dak;
- Bepaal of er voldoende (inbraakveilige) te openen ramen zijn aan weerszijden van de woning, zodat bij warm weer de warmte weggeventileerd kan worden (spuien), met name ook in de nacht tussen warme dagen;
- Indien balansventilatie is toegepast: ga na of er een bypass aanwezig is die 's zomers ingeschakeld kan worden opdat dan de warme binnenlucht afgevoerd wordt zonder dat de toegevoerde buitenlucht voorverwarmd wordt. (zie hoofdstuk 2 'Ventilatie')

Klachten over koude, tocht en/of koude voeten, enzovoort in het stookseizoen:

- Breng in kaart hoe de woning verwarmd wordt (gaskachels, allesbranders, radiatoren, vloerverwarming, luchtverwarming, enzovoort);
- Ga na of de woning is aangesloten op stadsverwarming of beschikt over een eigen verwarmingsketel;
- Controleer of de verwarming werkt (hand op radiatoren);
- Bepaal of er goede mogelijkheden zijn om zelf de temperatuur per kamer te beïnvloeden (wel/geen knoppen op radiatoren, wandthermostaat in de woonkamer);
- Vraag bewoners of de kamertemperatuur voldoende snel verandert (hoger/lager) bij verstelling van de (thermostaat)knoppen;
- Bepaal globaal hoe goed de woning is geïsoleerd. Is er voorzien in enkelglas of in dubbelglas? Wat is het bouwjaar van de woning (woningen van voor 1970 zijn vaak slecht geïsoleerd) en wanneer is deze eventueel gerenoveerd (met verbetering van de thermische isolatie)? Hoe zit het met de begane-grondvloer en het dak, zijn deze (recent) thermisch geïsoleerd?;
- Noteer of het een benedenwoning betreft of bijvoorbeeld een woning direct boven de buitenlucht (bijvoorbeeld boven parkeergarage of onderdoorgang) of boven een onverwarmde

ruimte. Toelichting: tussenwoningen met zowel onder- als bovenburen zijn meestal een stuk warmer 's winters; bovenwoningen daarentegen verliezen vaak weer veel warmte via het dak;

- Bekijk hoe luchtdicht de woning is. Zijn te openen ramen en deuren voorzien van tochtstrippen? Is de gevel kierdicht? Of betreft het juist een oudere woning met relatief veel spleten waardoor bij wind ongewenst koude buitenlucht binnenkomt?;
- Inventariseer hoe de woning is geventileerd. Komt de buitenlucht binnen via klappaampjes (bovenlichtjes) of gevelroosters boven in de ramen? Kunnen eventuele klappaampjes op meerdere standen worden gefixeerd, inclusief een kierstand (ter beperking van tochtverlast bij lage buitentemperaturen)? Zijn eventuele gevelroosters van het 'ouderwetse' type (alleen handmatig open – dicht) of zijn deze zelfregelend, winddrukafhankelijk (dit wil zeggen zichzelf dichtknijpend bij harde wind buiten)?
- Bepaal of er goede mogelijkheden zijn eventuele klappaampjes en gevelroosters zelf dicht te zetten op momenten dat sprake is van tocht hinder (bereikbaarheid). Bepaal ook of goed te zien is of roosters nu open- of dichtstaan (bijvoorbeeld rood-groenaanduiding).

Soms kan sprake zijn van warmteklachten 's winters of koudeklachten 's zomers. Het betreft dan meestal een gecompliceerde situatie met een complex aan oorzaken. Schakel in die gevallen bij voorkeur direct een specialist in.

Tot slot nog een belangrijke regel: onderzoek zomercomfortklachten 's zomers en wintercomfortklachten 's winters. Temperatuurmetingen in oktober of december kunnen niets zeggen over de situatie tijdens de zomermaanden.

Op internet is de Toetslijst Gezond en Veilig Wonen van de Woonbond te downloaden. Deze is te vinden op de website van de Woonbond (www.woonbond.nl) of direct via www.toetslijstgezondwonen.nl. Een deel van de checklist betreft het (thermisch) comfort in woningen.

17.3.1 Maatregelen

Het definiëren van maatregelen ter vermindering van warmte-, koude- of tocht klachten is vaak werk voor een specialist. Toch worden hieronder een aantal standaardmaatregelen gegeven die men in de context van woninginspecties en klachtenonderzoek kan adviseren aan bewoners of de woningeigenaar.

Klachten over oververhitting/te hoge temperatuur in de zomermaanden

- Adviseer bewoners om gedurende warme perioden (flink) met buitenlucht te ventileren op tijdstippen waarop het buiten kouder is dan binnen ('s avonds laat, 's nachts en 's ochtends vroeg). Midden overdag als de zon op zijn hoogst staat en het buiten juist warmer is dan binnen, moet juist minder met buitenlucht geventileerd worden (ramen en roosters zoveel mogelijk dicht);
- Adviseer bewoners om een (tafel)ventilator aan te schaffen met meerdere standen. Door een ingeschakelde ventilator neemt de luchtsnelheid toe, waardoor de lucht koeler aanvoelt en het lichaam meer warmte kan afstaan aan de omgeving, ook al blijft de luchttemperatuur gelijk;
- Adviseer met name oudere bewoners en hartpatiënten om het op warme dagen extra rustig aan te doen (geen inspannend huishoudelijk werk en dergelijke), om de hoeveelheid kleding die men draagt aan te passen aan het weer buiten (hemd met korte mouwen, korte broek, geen hoofddekseel en dergelijke bij extreem warm weer), veel te drinken (elk uur 1 à 2 glazen water of sap) en de koelste plek in het gebouw op te zoeken (noordzijde). Wat ook kan helpen is periodiek een zak met ijsklontjes op de polsen en in de nek (achterzijde) te leggen en een (voldoende koel) voetenbad;
- Adviseer grote, zonbelaste glasvlakken te voorzien van buitenzonwering (uitvalschermen of 'screens' aan de buitenzijde). Indien mogelijk kan soms ook de plaatsing van (loof)bomen buiten voor het raam uitkomst bieden.
- Adviseer de eigenaar de thermische isolatie van het dak te verbeteren en/of de dakconstructie 'koel' te houden door water of een vegetatie(gras)dak (alleen relevant bij bovenwoningen);

- Adviseer de eigenaar extra te openen ramen te plaatsen aan weerszijden van de woning, zodat bij warm weer de warmte beter weggeventileerd kan worden (spuien). De ramen zouden voorzien moeten zijn van een uitzetmechanisme met inbraakbeveiliging;

Klachten over koude, tocht en/of koude voeten, enzovoort in het stookseizoen

- Adviseer bewoners om vooral gedurende koudere perioden wat extra kleding te dragen (alleen een T-shirt aan binnen hartje winter is vragen om zowel comfortproblemen als een hoge energierekening).
- Indien het oudere bewoners betreft en het een slecht geïsoleerde, verouderde woning betreft met een relatief lekke gevel en enkelglas: neem contact op met de woningeigenaar/woningcorporatie en vraag wat de mogelijkheden zijn voor woningverbetering. Is verbetering van de thermische isolatie op de korte termijn niet mogelijk, bespreek dan of vervangende woonruimte een optie is.
- Bij het vermoeden dat een niet of slecht functionerende verwarming de hoofdoorzaak voor de thermische klachten is: neem contact op met de woningeigenaar of woningcorporatie. Deze heeft vaak een standaardcontract met een installatiebedrijf voor het onderhoud van de verwarming. Het installatiebedrijf zou dan een bezoek aan de woning moeten brengen en indien nodig zorgen voor onderhoud.
- Adviseer de woningeigenaar om de mogelijkheden te verbeteren om zelf de temperatuur per kamer te beïnvloeden, bijvoorbeeld door het aanbrengen van thermostaatknoppen op radiatoren, de installatie van een wandthermostaat in de woonkamer en dergelijke;
- Adviseer richting eigenaar om extra verwarmingselementen (bijvoorbeeld radiatoren) aan te brengen onder klpraampjes en gevelroosters die vaak tochtklachten geven. Hiermee wordt ('s winters) een warme luchtstroom gecreëerd direct onder de gevelopening waar koude buitenlucht door binnenkomt; per saldo krijg je dus een soort voorverwarming van de ventilatielucht.

17.4 Meten

De eenvoudigste manier om de algemene thermische behaaglijkheid in een woning te meten is door de luchttemperatuur gedurende een langere periode, eventueel in verschillende ruimten, te meten. De meters dienen niet te dicht bij koude of warme wanden geplaatst te worden en niet pal naast de verwarming.

De luchttemperatuur kan met behulp van verschillende meters worden gemeten. Bijvoorbeeld met vloeistofthermometer (gevuld met bijvoorbeeld alcohol), een meter op basis van temperatuurgevoelige weerstanden of een thermokoppelapparaat. Gebruik bij voorkeur geen kwikthermometer, omdat er bij het kapotgaan van de thermometer in de ruimte giftige kwikdamp vrijkomt (zie hoofdstuk 11).

Daarnaast kan de gemiddelde stralingstemperatuur, (fluctuaties van de) luchtsnelheid, stralingssymmetrie en temperatuurgradiënten gemeten worden. Dit zijn echter metingen waarvoor geavanceerde, dure apparatuur nodig is waar veel GGD'en zelf niet over beschikken.

Het grote aantal invloedsfactoren op het binnenklimaat heeft tot gevolg dat het binnenklimaat in een woning of een ruimte kan verschillen per uur, per dag, per weertype en per jaargetijde. Om een goed inzicht te krijgen in de binnenklimaatssituatie zijn metingen gedurende een langere periode (twee tot vier weken) of in verschillende jaargetijden, afhankelijk van de klachten, noodzakelijk. Een kortdurende, indicatieve meting kan worden toegepast om ernstige afwijkingen op te sporen of de zogenaamde 'worst case'-situatie vast te leggen.

Behalve de variaties in tijd kunnen in een ruimte verschillen in binnenklimaat optreden op verschillende plaatsen, of binnen een woning in verschillende ruimten.

Wanneer het klimaat op verschillende plaatsen te grote verschillen vertoont, wordt aanbevolen de klimaatgrootheden te meten op verschillende punten direct op of nabij de persoon. De meters

moeten daar worden geplaatst waar de mens gewoonlijk zijn activiteiten uitvoert op enkel-, buik- of hoofdhoogte, waarbij men onderscheid moet maken tussen zit- en stahoogte (normaliter gaat men uit van zitten).

In de norm NEN 7726 'Ergonomie van de thermische omgeving – Instrumenten voor het meten van fysieke grootheden' staan specifieke eisen beschreven waar meetinstrumenten voor het meten van binnenklimaatgrootheden aan dienen te voldoen.(3)

17.5 Referentiewaarden

In onderstaande tabel zijn referentiewaarden weergegeven voor het thermisch binnenklimaat in woningen (winter en zomer).

Tabel 17.1 Referentiewaarden operationele temperatuur (°C) per ruimte, resp. minimum (10-percentiel), gemiddelde en maximum (90-percentiel) waarden in respectievelijk winter en zomer.(4-6)

	Winter			Zomer		
	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.
Woonkamer	17,5	20	22,5		24,5	28
Studeerkamer/thuiskantoor	15	18	22	onbekend		
Slaapkamer	15	18	21,5		25,5	29
Keuken	16,5	20	23,5	onbekend		
Zolder	11	17	22,5	onbekend		
Badkamer	onbekend			onbekend		

De meeste problemen ten aanzien van thermisch binnenklimaat 's winters doen zich voor in oudere, ongeïsoleerde woningen (tot 1980). Temperatuurproblemen 's zomers (oververhitting) kunnen ook in nieuwere woningen (met veel glas op het oosten, zuiden of westen) voorkomen. Hiermee moet rekening worden gehouden bij het hanteren van bovengenoemde referentiewaarden.

In de literatuur is voornamelijk nog weinig te vinden over referentiewaarden voor lokaal thermisch comfort (tochtrisiko, luchtsnelheden, stralingsasymmetrie en dergelijke).

17.6 Effecten op de gezondheid

Langdurige blootstelling aan relatief hoge temperaturen (> 25 °C) kan resulteren in uitdroging en (ernstige) gezondheidsproblemen, zoals hoofdpijn, (ongewone) vermoeidheid, duizeligheid en hartproblemen. In extreme situaties kunnen hoge binnentemperaturen zelfs in een verhoogde kans op sterfte resulteren (bijvoorbeeld door hartcomplicaties ten gevolge van de hoge temperatuur). Hoge binnentemperaturen zijn met name gevaarlijk voor ouderen, omdat hun thermoregulatiesysteem minder effectief is.(7) De kans op uitdroging en ernstige gezondheidsproblemen door warmte is ook verhoogd bij jonge kinderen.

Jaarlijks zijn er honderden extra doden door warmte. De hittegolf van twee weken in 2003 ging volgens het CBS bijvoorbeeld gepaard met 1400 tot 2200 extra sterfgevallen.

De mate waarin een bepaalde temperatuurbelasting effect heeft op de gezondheid hangt af van persoonlijke factoren, zoals een hoge of juist een lage bloeddruk, het gebruik van geneesmiddelen, slaapmiddelen, kalmeringsmiddelen en bloeddrukverlagende middelen.

Een neveneffect van een hoge temperatuur in woningen kan zijn verhoogde emissie van vluchtige stoffen uit bouwmaterialen en bekledingsstoffen. Zie hiervoor ook hoofdstuk 5 'Emissies uit bouw- en inrichtingsmaterialen'.

Langdurige blootstelling aan relatief lage temperaturen (< 11 °C) resulteert in een toename van hartaandoeningen en aandoeningen aan de luchtwegen.(8) Dit is echter geen gangbare situatie binnenshuis.

17.7 Richtlijn GGD

In december 2005 is de Richtlijn 'Voorlichting Gezond Wonen' van het Landelijk Centrum Medische Milieukunde verschenen.(9) In deze richtlijn zijn specifieke aanbevelingen opgenomen om met behulp van voorlichting het binnenmilieu, waaronder thermisch comfort, in woningen, en de gezondheid van de bewoners, te verbeteren.

Ten aanzien van nieuwe woningbouw en vooral het binnenmilieu van nieuwe woningen is in 2005 de richtlijn Gezonde Woningbouw door het Landelijk Centrum Medische Milieukunde opgesteld.(10) Aangezien gezondheid steeds meer aandacht krijgt bij ruimtelijke ordening en bouwen zijn GGD-en steeds vaker betrokken bij ruimtelijke en bouwplannen. Het thermisch binnenklimaat kan bij deze advisering worden betrokken. Aandacht voor het aspect oververhitting in de zomer verdient dan aanbeveling, zeker als het nieuwbouw voor senioren betreft.

17.8 Normen

In de norm NEN 7730 'Klimaatomstandigheden – Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekeningen van de PMV- en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid' zijn eisen gegeven voor zowel algemene thermische behaaglijkheid als lokaal (dis)comfort.(11) Deze norm is echter primair ontwikkeld voor toepassing in niet-industriële werksituaties. Desalniettemin kunnen elementen uit NEN 7730 ook voor woningen gebruikt worden.

Meer concrete eisen, specifiek voor woningen, zijn bijvoorbeeld te vinden in de ISSO-richtlijn 'Kleintje Binnenklimaat'.(12) In Tabel 17.2 zijn de eisen uit deze uitgave weergegeven aangaande de algemene thermische behaaglijkheid c.q. de (operatieve) temperatuur in verschillende ruimten. De operatieve temperatuur betreft het gemiddelde van de luchttemperatuur en de (gemiddelde) stralingstemperatuur.

In principe hoeft niet te allen tijde aan de in Tabel 17.2 genoemde eisen voldaan te worden. Uitgangspunt van 'Kleintje Klimaat' is dat er minimaal gedurende 90% van de gebruikstijd (tijd dat men aanwezig is) aan de eisen voldaan wordt. De zomerbovenwaarden gelden op dagen met een maximum buitentemperatuur van 28 °C en lager. Op dagen dat de maximumbuitentemperatuur ('s middags) hoger is dan 28 °C kunnen hogere binnentemperaturen toe worden gestaan dan weergegeven in de rechterkolom van Tabel 17.2.

In 'Kleintje Binnenklimaat' is ook nog een alternatieve methode voor de 'zomersituatie' gepresenteerd. Deze methode luistert naar de naam 'Adaptieve Temperatuur Grenswaarde methode' en is nader

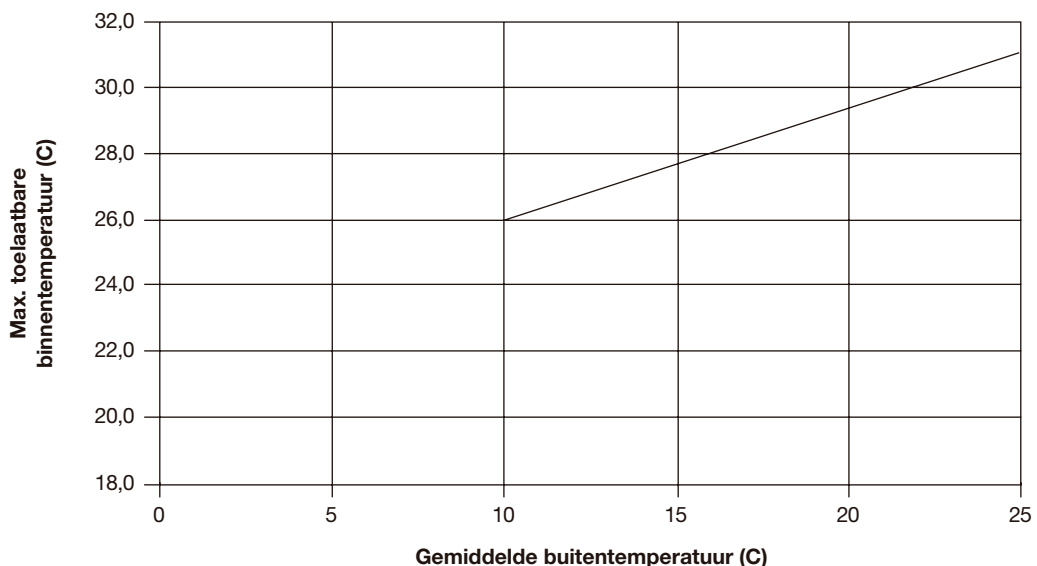
Tabel 17.2 Operatieve temperatuur eisen per ruimte (klasse C).(12)

	Winter		Zomer	
	onderwaarde (°C)	bovenwaarde (°C)	onderwaarde (°C)	bovenwaarde (°C)
Woonkamer	19	25	22	27
Studeerkamer/thuiskantoor	19	25	22	27
Slaapkamer	19	22	-	24
Keuken	19	25	22	27
Badkamer	19	26	22	28

omschreven in ISSO-publicatie 74 'Thermische behaaglijkheid; eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen'.(13) De methode berust op het gegeven (aangetoond in tientallen veldonderzoeken wereldwijd) dat bewoners tijdens warme perioden hogere temperaturen tolereren en prefereren 'dan normaal'. In dit verband spreekt met ook wel van adaptatie.

In Figuur 17.1 staat aangegeven welke bovengrenswaarde men aan kan houden voor de binnentemperatuur (voor bijvoorbeeld woonkamers) in relatie tot de buitentemperatuur. Hier is alleen de klasse C-eis weergegeven uit 'Kleintje Binnenklimaat' (klasse C houdt in dit geval in: grenswaarde waarbij maximaal 35% van de bevolking ontevreden zou zijn met het aangeboden binnenklimaat). De x-as betreft overigens eigenlijk de 'gewogen gemiddelde buitentemperatuur' die bepaald wordt met een speciale formule die verder in het 'Kleintje Binnenklimaat' is beschreven. Voor quickscan-doeleinden kan men als 'de' buitentemperatuur (x-asinput) hanteren: het gemiddelde van de maximum- en minimum temperatuur buiten. Dus op een dag met een dagmaximum van 28 °C (middag) en een dagminimum ('s nachts) van 14 °C is sprake van een gemiddelde buitentemperatuur van 21 °C.

Het betreft hier een toelaatbaar maximum in een binnenruimte. Uit veldonderzoek is bekend dat men in de slaapkamer graag een koelere temperatuur heeft dan in de overige ruimten.(14) Voor de slaapkamer moet daarom een correctie op de maximaal toelaatbare temperatuur van 2 à 3 °C (naar beneden, specifiek voor de nachtelijke uren) worden gehanteerd.



Figuur 17.1 Maximaal toelaatbare binnentemperatuur 's zomers in relatie tot de gemiddelde buitentemperatuur.(12)

Het 'Kleintje Binnenklimaat' geeft ook eisen ten aanzien van lokale thermische behaaglijkheid, zie Tabel 17.3. Het betreft hier overigens eisen die overeenkomen met de (klasse C-) eisen voor lokaal (dis)comfort zoals vastgelegd in NEN 7730.

De Nederlandse Normen (NEN) omschrijven de eisen uit het Bouwbesluit nader en maken deze toetsbaar. Bouwvoorschriften worden in termen van prestaties omschreven.

Tabel 17.3 Eisen lokale behaaglijkheid (klasse C).(12)

Tocht	Vloertemperatuur	Stralingsasymmetrie (horizontaal) bij koud raam	Temperatuurverschil hoofd - voeten (bij zitten)
Winter <0,15 M/S; Zomer <0,25 M/S	>17 en < 29 °C	< 13 °C	< 4 °C

17.9 Juridische aspecten

In het Bouwbesluit worden onder andere eisen gesteld aan het thermisch binnenklimaat in woongebouwen, en dan met name voor nieuwbouw. Deze eisen hebben betrekking op het voorkomen van hinder door koude en tocht.

Zo wordt in artikel 4.86 geëist dat een woning dient te beschikken over een opstelplaats voor een stooktoestel, zodat de woning wel verwarmd kan worden. Concrete wintertemperatuureisen worden echter niet genoemd in het artikel.

Het stuurartikel van 5.1 stelt dat een te bouwen bouwwerk zodanig is geïsoleerd dat warmteverlies door overdracht of geleiding voldoende is beperkt. Zo dient een uitwendige scheidingsconstructie van een verblijfsgebied, een toiletruimte of een badruimte, een warmteweerstand van ten minste 2,5 m² K/W te hebben.

Stuurartikel 5.2 stelt dat een te bouwen bouwwerk een zodanige luchtdoorlatendheid heeft dat het warmteverlies als gevolg van infiltratie wordt beperkt. Waarmee indirect ook bereikt wordt dat het tocht risico als gevolg van een 'lekke' gevel geminimaliseerd is.

In stuurartikel 3.49 ten slotte worden eisen gesteld ten aanzien van de luchtverversing van een verblijfsruimte met aanvullende eisen ten aanzien van de maximaal toelaatbare luchtsnelheid (ter beperking van tocht hinder). Concreet is gesteld dat de toevoer van verse lucht dusdanig is dat de luchtsnelheid in de leefzone niet meer bedraagt dan 0,2 m/s. Deze eis geldt overigens niet meer op het moment dat te openen geveldelen (ramen en deuren) opengezet worden.

In het Bouwbesluit zijn geen directe eisen opgenomen ten aanzien van de maximaal aanvaardbare binnentemperatuur in de zomer. Ook zijn er geen concrete eisen gesteld aan de kwaliteit van de gevel (bijvoorbeeld zonwering, maximumgrootte van raampartijen). Wel verplicht het Bouwbesluit (afdeling 5.3) tot het uitvoeren van een Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC)-berekening. Sinds 1 januari 2006 wordt in de EPC-berekening een factor voor oververhitting meegenomen. Een woning met een hoog risico op oververhitting (bijvoorbeeld doordat er veel glas is toegepast) scoort slechter in de EPC-berekening. Het nemen van passieve maatregelen (zoals toepassing van zonwerend glas) wordt hierdoor indirect gestimuleerd.

Het Bouwbesluit is in 1992 ingevoerd. Een woning die na 1992 gebouwd is (formeel geldt het moment van aanvraag Bouwvergunning) dient in principe dus aan bovenstaande eisen te voldoen. Woningen die voor 1992 zijn gebouwd zouden moeten voldoen aan de op het moment van de bouw geldende eisen (verschillend per gemeente).

Zie www.bouwbesluitonline.nl voor de letterlijke Bouwbesluitteksten.

17.10 Verantwoordelijke partijen

Om bij nieuwbouw en renovatie een thermisch comfortabele woning te maken moeten de ontwikkelaar, de architect en de installateur er om te beginnen voor zorgen dat de woning voldoet aan de eisen uit het Bouwbesluit. Vanuit gezondheid gezien is dit echter een enigszins mager niveau (onder andere aangezien concrete temperatuureisen ontbreken in het Bouwbesluit). Idealiter worden er bij aanvang van het bouwproces daarom aanvullende thermische eisen opgenomen, in elk geval daar waar het de maximaal aanvaardbare binnentemperatuur 's zomers betreft.

De plannen en tekeningen moeten worden getoetst door Bouw- & Woningtoezicht. Zij zijn verantwoordelijk voor het afgeven van de bouwvergunning en natuurlijk voor het controleren van de relevante gezondheidsaspecten (voor zover vastgelegd in het Bouwbesluit), inclusief die zaken die betrekking hebben op thermische behaaglijkheid.

Na de oplevering van het gebouw moet de gebruiker bijvoorbeeld het verwarmingssysteem gebruiken en onderhouden zoals in de gebruiksaanwijzing staat. Juist gebruik is de verantwoordelijkheid van de bewoner. Adequaat onderhoud echter is bij huurwoningen de verantwoordelijkheid van de woningbouwcorporatie. Indien in bestaande huurwoningen de verwarmingsvoorzieningen

niet goed functioneren is de woningcorporatie of particuliere verhuurder hiervoor verantwoordelijk. Aangezien voor veel thermische binnenklimaataspecten de wetgeving (eisen) vaak ontbreekt, kan het lastig zijn om een verhuurder op 'gebreken' aan te spreken en hem te verplichten de klachten te verhelpen.

Als in een woning daadwerkelijk sprake is van een gezondheid- of comfortrisico kunnen diverse verantwoordelijke partijen door de gemeente worden aangeschreven om het probleem in de (huur)woning te verhelpen. De GGD kan hierin een adviserende rol spelen.

17.11 Referenties

1. Boerstra AC, Linden AC van der, Raue AK, Kurvers SR. Vooronderzoek thermische behaaglijkheid in woningen – voorstel voorkomen oververhitting in woningen in de zomersituatie. SenterNovem. Utrecht, 2001.
2. Passchier-Vermeer W, Kluizenaar Y de, Steenbekkers JHM, Dongen JEF van, Wijlhuizen GJ, Miedema HME. Milieu en Gezondheid 2001: Overzicht van risico's doelen en beleid. TNO-rapportnr. PG/VGZ/2001.95. TNO Preventie en Gezondheid. Leiden, 2001.
3. Nederlands Normalisatie Instituut. Ergonomie van de thermische omgeving – Instrumenten voor het meten van fysische grootheden. NEN-EN-ISO 7726. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2001.
4. Bax FT, Vries G de. Zomertemperatuur en comfort in woningen. Praktijkonderzoek in 5 typen eengezinswoningen van verschillende bouwjaren. SenterNovem. Utrecht, 2002.
5. Slot BJM, Berben JJJ. Ruimtetemperaturen in woningen: effectenstudie. SenterNovem (& Damen Consultants). Utrecht, 2000.
6. Cox CWJ, Oldengarm J, Koppers JM. Binnenklimaatmetingen in een zestal Ecolonia woningen in de winterperiode. TNO Bouw. Delft, 1993.
7. Kenney WL, Munce TA. Invited review: aging and human temperature regulation. *Journal of Applied Physiology* 2003;95: 2598-2603.
8. Carder M, McNamee R, Beverland I, Elton R, Cohen GR, Boyd J, Agius RM. The lagged effect of cold temperature and wind chill on cardiorespiratory mortality in Scotland. *Occupational and environmental medicine* 2005; 62: 702-710.
9. Jochems D. GGD Richtlijn Voorlichting Gezond Wonen. Landelijk Centrum Medische Milieukunde / GGD Nederland. Utrecht, 2005.
10. Weterings M. GGD Richtlijn Gezonde Woningbouw. Landelijk Centrum Medische Milieukunde / GGD Nederland. Utrecht, 2005.
11. Nederlands Normalisatie Instituut. Klimaatomstandigheden – Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekeningen van de PMV- en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid. NEN-EN-ISO 7730. Nederlands Normalisatie Instituut. Delft, 2005.
12. ISSO. Kleintje Klimaat. Eisen voor een gezond, productief en behaaglijk binnenklimaat en tevens een compacte versie van de nieuwe ATG-methode. ISSO. Rotterdam, 2005.
13. ISSO. Thermische behaaglijkheid: eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen. ISSO publicatie 74. ISSO. Rotterdam, 2004.
14. Mayens J, Janssens A. Thermisch comfort in natuurlijk geventileerde woningen. *Bouwfysica* 2002; 15(4).

18

Na brand in woningen

18.1 Inleiding

Woningbranden komen in Nederland vaak voor. In het jaar 2004 zijn 43.000 branden uitgebroken, waarvan 13.000 binnenbranden. Van deze binnenbranden vonden er 5.400 plaats in een woning. In één op de drie woningbranden is de oorzaak een defect of het verkeerd gebruik van een huishoudelijk voorwerp, zoals kookgerei, wasautomaat of droogtrommel.(1) De brandweer waarschuwt doorgaans een Salvage-coördinator. Als de eigenaar van het pand of de inboedel verzekerd is, zorgt Salvage voor de reiniging.

Als het een kleine brand betreft, willen bewoners vaak vrijwel direct weer in de woning trekken, ondanks dat er vaak een sterke brandlucht in de gehele woning hangt en een groot deel van de woning bedekt is met roet. Ook na reiniging van een gebouw waarin brand is geweest, ervaren gebruikers van dit gebouw soms nog lange tijd hinder en diverse andere gezondheidsklachten. Vooral de brandgeur die in de woning hangt, wordt als erg onprettig ervaren. Bovendien vragen mensen zich af of het verblijven in een gebouw waar brand heeft gewoed schadelijk kan zijn voor de gezondheid en wanneer de concentraties van de betrokken stoffen zo ver gedaald zijn dat dit geen invloed op de gezondheid meer heeft.

Dit hoofdstuk richt zich voornamelijk op blootstelling van bewoners aan verbrandingsproducten na een woningbrand. De gegevens zijn naar verwachting ook bruikbaar voor andere binnenbranden, zoals in scholen, sporthallen en kindercentra.

18.2 Vrijkomende verbrandingsproducten bij woningbrand

Bij woningbrand komen veel toxische stoffen vrij. Bij een brand in een woning komen onder andere vrij: koolstofdioxide (CO₂), koolmonoxide (CO), stikstofdioxide (NO₂), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), zoutzuur (HCl), blauwzuurgas (CN), zwavel- en stikstofoxiden, metalen en fijne stofdeeltjes (die onder andere roet en dioxinen bevatten) (zie ook Bijlage 18.1).(2)

Welke stoffen er vrijkomen bij een brand is afhankelijk van de materialen die verbranden en van fysische en chemische processen die zich tijdens de brand voordoen. De bij brand optredende processen worden bepaald door een groot aantal factoren, zoals de temperatuur, de grootte van de brand, de temperatuursverdeling en de hoeveelheid zuurstof die beschikbaar is.(2)

De volgende fysische en chemische processen kunnen bij brand optreden:

- Verdamping
Verdamping treedt op als vloeistoffen tot een temperatuur hoger dan hun kookpunt verwarmd worden.
- Verbranding
Bij verbranding kan onderscheid gemaakt worden tussen volledige en onvolledige verbranding. Bij volledige verbranding oxideert de stof volledig, waardoor koolstof en waterstof bevattende stoffen tot CO₂ en water verbranden. Dit treedt op als de temperatuur en de zuurstofconcentratie voldoende hoog zijn.(2) in een mengsel van lucht en een brandbaar gas. Bij een woningbrand geldt dit maar voor een zeer klein deel van het aangetaste materiaal.

- **Onvolledige verbranding en pyrolyse**
 Bij onvolledige verbranding treedt niet-volledige oxidatie op, waardoor veel verschillende producten worden gevormd. Onvolledige verbranding treedt op als de temperatuur van de vuurhaard relatief laag is, als er een tekort is aan zuurstof of als de brandende stof slechts korte tijd in de vlam verblijft. De gevormde producten zijn opgebouwd uit kleine stukken moleculen van de oorspronkelijke stof. Het is vooraf niet te zeggen welke verbindingen er gevormd zullen worden. Bij onvolledige verbranding wordt altijd rook gevormd.(2) Rook is een aerosol, bestaand uit zwevende, vaste en vloeibare deeltjes. Roet, allereerst opgebouwd uit PAK's en koolstof, is een belangrijk bestanddeel van rook. Als een materiaal wordt verhit zonder dat er zuurstof beschikbaar is, dan treedt pyrolyse op. Pyrolyse is dus een bijzondere vorm van onvolledige verbranding. Ook bij pyrolyse ontleedt een stof in kleinere moleculen dan het uitgangsmateriaal.
- **Reacties tussen producten**
 In de brandhaard en de omgeving daarvan treden onderlinge reacties op tussen de verbrandingsproducten die ontstaan zijn door bovengenoemde processen. De stoffen die hierbij ontstaan worden secundaire verbrandingsproducten genoemd. Zo kan een hele reeks van andere stoffen worden gevormd.(2)
 In de vlam wordt een primair aerosol gevormd door processen zoals condensatie en coagulatie, waarbij zeer grote polycyclische aromatische moleculen ontstaan.(3)
- **Vorming secundair aerosol**
 Tijdens en na het afkoelen van de verbrandingsproducten ontstaan en groeien deeltjes in de lucht. Daarbij gaan gassen over in vloeibare of vaste toestand (condensatie). Grotere deeltjes kunnen samenklonteren door agglomeratie of aggregatie. Op het oppervlak van zwevende deeltjes hechten stoffen zich door adsorptie.(3)
- **Depositie en resuspensie**
 Door de zwaartekracht slaan deeltjes neer, met name op horizontale oppervlakken. Hoe zwaarder het deeltje hoe sneller deze depositie optreedt. Depositie van kleine deeltjes treedt ook op vanuit een heet aerosol op een koeler oppervlak. Door wervelingen in de lucht kunnen deeltjes van een oppervlak los komen en als aerosol gaan zweven. Dit heet resuspensie.(3)
- **Adsorptie, absorptie en desorptie**
 Deeltjes en gassen kunnen zich hechten aan oppervlakken zonder daarmee chemisch te reageren. Dit heet adsorptie. Bij absorptie wordt een stof opgenomen in een materiaal. In dit verband betreft het vooral gassen die worden opgenomen. Adsorptie en absorptie kunnen ook optreden op, respectievelijk in roetdeeltjes. Stoffen komen na adsorptie of absorptie geleidelijk vrij. Dit heet desorptie. Het tempo van desorptie is afhankelijk van de aard van de stof en van de aard van het adsorberende oppervlak of het absorberende materiaal. Desorptie van semi-vluchtige stoffen kan maanden of jaren duren. Zeer vluchtige stoffen desorberen al binnen een dag. Adsorptie, absorptie en desorptie wordt samen aangeduid als sorptie-processen.(3) Een deel van de verbrandingsproducten is na de brand nog in de woning aanwezig. Ook na de brand kan dus nog blootstelling aan verbrandingsproducten optreden. Over het concentratieverloop van bij brand vrijgekomen producten is echter weinig bekend. Er bestaat geen richtlijn om een advies op te baseren of om metingen te verrichten. Meestal wordt aangenomen dat men het pand na enkele dagen weer in gebruik kan nemen, mits er goed geventileerd wordt. Ook wordt de 'brandgeur' wel als indicator gebruikt: wanneer er geen hinderlijke brandgeur te ruiken is, zou het pand weer veilig in gebruik kunnen worden genomen. Men neemt dan aan dat de desbetreffende ruimte goed is schoongemaakt.

18.3 Bronnen van verbrandingsproducten

Om een inschatting te maken van de stoffen waaraan bewoners mogelijk in de praktijk worden blootgesteld, kan gebruik worden gemaakt van de inschatting die de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) heeft gemaakt van de stoffen waaraan

brand- en roetreinigingsmedewerkers blootstaan tijdens verschillende werkzaamheden. Bij reinigingsmedewerkers treedt blootstelling aan gassen, dampen en aerosolen op bij het herbetreden van het pand. Bij het vegen, storten, scheppen, en verwijderen van vloerbedekking neemt de blootstelling aan aerosolen sterk toe.(4) Een overzicht van de stoffen waaraan brand- en roetreinigers in de praktijk worden blootgesteld, staat vermeld in Tabel 18.1. Hierbij staan ook bronnen vermeld, voor zover die voorkomen in woningen. De reinigingsmedewerkers verminderen hun blootstelling door professionele maatregelen.

Het is waarschijnlijk dat ook bewoners aan de in Tabel 18.1 genoemde stoffen kunnen worden blootgesteld als zij na een woningbrand het pand betreden en er activiteiten uitvoeren die net zoals bij het scheppen, vegen en vloerbedekking verwijderen, kunnen leiden tot blootstelling aan aerosolen. Hierbij valt te denken aan activiteiten als het lopen over een met roet en stof bedekte vloer en het verplaatsen en gebruiken van voorwerpen die met roet en stof bedekt zijn. Om te voorkomen dat de blootstelling voor de bewoners te hoog wordt, is het raadzaam dat zij de woning pas betreden nadat die vrij is gegeven door een gespecialiseerd (schoonmaak)bedrijf. Het is dus aan te bevelen om altijd een dergelijk bedrijf de (schoonmaak)werkzaamheden te laten verrichten en dit niet zelf te doen.(5) In de praktijk is niet uit te sluiten dat bewoners toch zelf activiteiten in de woning uitvoeren die vergelijkbaar zijn met die van reinigingsmedewerkers.

Tabel 18.1 Verbrandingsproducten en hun bronnen in een woning, waaraan brand- en roetschadereinigings kunnen worden blootgesteld (bij het herbetreden van het pand en vegen, storten, scheppen, en verwijderen van vloerbedekking na een woningbrand).(4)

Blootstelling mogelijk aan:	Bron van deze stof
PAK's	verpakkingsmateriaal; isolatie van kabels, voor pijpen en buizen
Nitrillen	apparatuur, vervanger van wol, interieurs, gordijnen, tapijten, isolatiemateriaal, kabels en draden in stoffering, schuimrubber in kussens, matrassen en meubels, verven, lijmen, lakken
Gehalogeneerde alkanen en alkenen	keukenapparatuur, elektrische isolatie, verpakkingen
Niet-gehalogeneerde alkanen en alkenen	meubelen constructies, verpakkingsmateriaal; isolatie van kabels, voor pijpen en buizen
Aldehyden (onder andere acroleïne en formaldehyde)	papier, textiel, verven, lakken, diverse houtsoorten (hard board), huishoudelijke en keukenapparatuur, tapijten, kleding, lampen, sanitair, televisie, implosive guard coatings, emulsiepolymeren, inkt, films, stoffering
Aromatische koolwaterstoffen (onder andere benzeen)	papier, textiel, verven, lakken, lijmen, diverse houtsoorten (hard board), meubelen, constructies, interieurs, piepschuim, harde plastics, isolatiemateriaal, kabels en draden in stoffering, schuimrubber in kussens, matrassen en meubels, pijpen, muren, vloeren
Alifatische koolwaterstoffen	papier, textiel, verven, lakken, diverse houtsoorten (hard board), meubelen constructies, apparatuur, vervanger van wol, interieurs, gordijnen, tapijten, kleding, lampen, sanitair, televisie, implosive guard coatings, emulsiepolymeren, inkt, films, verpakkingsmateriaal; isolatie van kabels, voor pijpen en buizen, piepschuim, harde plastics, isolatiemateriaal, kabels en draden in stoffering, schuimrubber in kussens, matrassen en meubels, lijmen, stoffering, bekleding, pijpen, muren en vloeren, stoffen dekens
(Iso)-cyanaten	isolatiemateriaal, kabels en draden in stoffering, schuimrubber in kussens, matrassen en meubels, verven, lijmen, lakken
Blauwzuur	huishoudelijke en keukenapparatuur, papier, apparatuur, vervanger van wol, interieurs, gordijnen, tapijten, kleding, isolatiemateriaal, kabels en draden in stoffering, schuimrubber in kussens, matrassen en meubels, verven, lijmen, lakken, stoffen dekens, stoffering
Zoutzuur, waterstoffluoride, waterstofbromide	keukenapparatuur, elektrische isolatie, verpakkingen, stoffering, bekleding, bedrading, pijpen, muren, vloeren
Koolstofdioxide	alle bronnen
Koolmonoxide	alle bronnen
Stikstofoxiden	hout, papier, katoen, jute, huishoudelijke en keukenapparatuur, apparatuur, vervanger van wol, interieurs, gordijnen, tapijten, isolatiemateriaal, kabels en draden in stoffering, schuimrubber in kussens, matrassen en meubels, verven, lijmen, lakken
Zwavelmonoxide, zwaveldioxide	kleding, stoffen dekens, stoffering

Blootstelling mogelijk aan:	Bron van deze stof
Ammoniak	huishoudelijke en keukenapparatuur, papier, kleding, tapijten, apparatuur, vervanger van wol, interieurs, gordijnen, isolatiemateriaal, kabels en draden in stoffering, schuimrubber in kussens, matrassen en meubels, verven, lijmen, lakken, stoffen dekens, stoffering
Waterstofsulfide	kleding, stoffendekens, stoffering

18.4 Inspectie

De GGD zal doorgaans niet kort na de brand geraadpleegd worden omdat de Salvage-coördinator dan zorgt voor de afhandeling. Pas als er na verloop van tijd vragen rijzen over gezondheidsrisico's op (middel)lange termijn, wordt soms de GGD ingeschakeld. Om praktische redenen zijn er dan drie groepen verbrandingsproducten te onderscheiden.(3)

1. Vluchtige stoffen die niet gemakkelijk adsorberen en snel desorberen, zoals CO, CO₂ en NO₂.
2. Vluchtige en semi-vluchtige stoffen die wel gemakkelijk adsorberen en die langzaam desorberen. Hiertoe behoren ook de voornaamste geurstoffen die na een brand ruikbaar blijven.
3. Vaste stoffen, zoals roet en asbest. Tijdens een brand verspreiden deeltjes zich via luchtstromen naar soms verrassende plaatsen.

Na een brand is de aanwezigheid van vaste stoffen in te schatten door een visuele inspectie. Asbestvezeltjes zijn met het blote oog niet waarneembaar, maar men mag aannemen dat er geen relevante hoeveelheid losse vezeltjes aanwezig is als er geen asbesthoudend materiaal gevonden kan worden. Bij twijfel kan de visuele waarneming aangevuld worden met een analyse van verdacht materiaal of veegmonsters. De aanwezigheid van een relevante hoeveelheid geadsorbeerde stoffen is vast te stellen door geurwaarneming. Na het verbranden van bijzondere materialen of als er een bijzondere geur hangt, zijn veeg- of luchtmonsters te overwegen.

De vluchtige stoffen die nauwelijks adsorberen, zijn snel verdwenen door goed te luchten.(3)

Het beoordelen van de situatie na een brand begint met een visuele inspectie en geurwaarneming. Na een brand in een normale woning kan men de vuistregel hanteren dat het pand bewoonbaar is als er geen zichtbare roetverontreiniging meer is en er geen hinderlijke brandgeur meer te ruiken valt. Een zichtbare verontreiniging of een hinderlijke geur betekent dat er een riskante blootstelling kan bestaan door resuspensie of desorptie. Dus moet de potentiële bronsterkte worden verminderd door reiniging. Als reiniging het probleem niet oplost of wanneer er bijzondere materialen verbrand zijn, vallen metingen te overwegen. Bij bijzondere materialen kan het gaan om kleine hoeveelheden van een materiaal dat normaal niet in woningen aanwezig is, of het kan gaan om een ongebruikelijk grote hoeveelheid van een materiaal dat doorgaans in veel kleinere hoeveelheden aanwezig is. Informatie hierover kan door inspectie of van bewoners, brandweer of andere betrokkenen verkregen worden. Aanleiding zijn gezondheidsklachten of ongerustheid. Het is niet nodig na een gewone woningbrand te inventariseren welke materialen verbrand zijn.(3)

18.4.1 Factoren die concentraties verbrandingsproducten na brand beïnvloeden

De concentraties verbrandingsproducten in een woning na een brand, zullen ten eerste afhangen van de concentraties van stoffen die zijn ontstaan door de brand en ten tweede van de concentraties van diezelfde stoffen afkomstig van andere bronnen. De totale concentraties stoffen die in een woning aanwezig zijn, kunnen door een aantal factoren worden beïnvloed.

- Luchten

Direct na de brand in een gebouw wordt er gelucht om de aanwezige gassen, dampen, rook en andere aerosolen te verwijderen. Na korte tijd is de binnenlucht vervangen door buitenlucht. Voor het verdampen van bluswater is het vaak nodig geruime tijd te blijven luchten.(3)

- Ventilatie

Door desorptie komen gassen vrij in logaritmisches afnemende hoeveelheden.⁽³⁾ Ventilatie wordt als de belangrijkste factor beschouwd om de concentraties van verontreinigende stoffen in het binnenmilieu omlaag te brengen. Zie voor meer informatie over ventilatie hoofdstuk 2 'Ventilatie'. De Gezondheidsraad beveelt een minimale toevoer van 25 m³ lucht per uur per persoon aan.⁽⁶⁾

Dit advies is echter alleen gebaseerd op door de mens geproduceerde geurstoffen en CO₂ in een 'normale' situatie. Voor de situatie na een brand zal het nodig zijn om extra te ventileren. Zelfs daarmee vermindert de concentratie van sommige stoffen slechts na lange tijd. In sommige situaties kan het gunstig zijn om de temperatuur te verhogen. Ventilatie heeft dan meer effect.⁽³⁾
- Losse voorwerpen

Bepaalde stoffen worden geabsorbeerd in losse voorwerpen die in de woning aanwezig zijn (bijvoorbeeld meubilair, vloerkleden en gordijnen). Daardoor wordt de luchtconcentratie op dat moment lager, maar de geabsorbeerde stoffen komen op een later tijdstip wel weer vrij. Blootstelling is te verminderen door losse voorwerpen na reiniging buiten te laten uitdampen. Ook is denkbaar dat schone vloerkleden gordijnen en dergelijke na het binnen plaatsen weer geurstoffen opnemen. Door ze bij herhaling te reinigen en weer buiten te luchten, kan de concentratie binnen versneld afnemen.⁽³⁾
- Activiteiten/beweging

Activiteiten en beweging van mensen, dieren of machines in de woning kan leiden tot verhoging van de concentraties verbrandingsproducten. Neergedwarrelde roet- en stofdeeltjes kunnen bijvoorbeeld weer opwarrelen en geabsorbeerde stoffen komen sneller weer vrij. Activiteiten van mensen waarbij dit gebeurt, zijn bijvoorbeeld stofzuigen, lopen door de woning en het hanteren van vrijwel alle goederen die verbrandingsproducten hebben geabsorbeerd of waarop deeltjes zijn neergedwarreld (bijvoorbeeld het sluiten en openen van de gordijnen).
- Schoonmaken

Schoonmaken kan ook invloed hebben op de concentraties verbrandingsproducten. Enerzijds moet het leiden tot lagere concentraties, doordat materialen waar verbrandingsproducten in of aan geabsorbeerd zijn, verwijderd of gereinigd worden, zodat de verbrandingsproducten niet opnieuw in de lucht terecht kunnen komen door desorptie of resuspensie. Anderzijds kunnen schoonmaakactiviteiten leiden tot tijdelijke verhoging van concentraties, doordat het schoonmaken gepaard gaat met veel beweging.
- Verbrandingsproducten afkomstig van andere bronnen dan brand

Dezelfde verbrandingsproducten die bij een woningbrand ontstaan, kunnen ook door andere oorzaken ontstaan in een woning. Hierbij valt met name te denken aan het roken van tabak en het gebruik van het gasfornuis. Het produceren van deze verbrandingsproducten kan zowel voor, tijdens als na de brand plaatsvinden. Voor sommige stoffen kan gelden dat concentraties in de buitenlucht hoger zijn dan in de binnenlucht (bijvoorbeeld NO_x).

18.5 Het meten van verbrandingsproducten

De volgende meetstrategie is toepasbaar bij vragen over mogelijke gezondheidsrisico's in de woning.⁽³⁾

- Bij twijfel over resuspensie: neem met een actief monsternameapparaat enkele monsters van stof in lucht om de concentraties fijn stof en PAK te berekenen.
- Bij twijfel over de hoeveelheid aromaten of prikkelende stoffen: gebruik een passieve sampler om de concentratie benzeen en formaldehyde in lucht te bepalen.
- Bij twijfel over andere van de in Tabel 18.1 genoemde stoffen: zoek een bijpassende bemonsterings- en analysemethode. Denk bij weinig vluchtige stoffen vooral aan veegmonsters. Verontreinigde materialen kunnen eventueel met headspace-techniek onderzocht worden.

De stoffen CO₂, CO en NO₂ zijn na een brand niet van belang.(7) Deze gassen verdwijnen namelijk snel na afloop van de brand.

18.6 Referentiewaarden: concentraties in woningen

Er is nauwelijks literatuur over de mate van de blootstelling aan verbrandingsproducten bij bewoners na een woningbrand. Er zijn voornamelijk onderzoeken gedaan waarbij de inhalatoire blootstelling aan verbrandingsproducten bij brandweerlieden tijdens bluswerkzaamheden werd gemeten. De meeste onderzoeken betreffen metingen die zijn verricht tijdens de 'knockdown-fase' (tijdens deze fase wordt men de brand meester). Enkele onderzoeken zijn gedaan tijdens de 'overhaul-fase'. Tijdens deze fase van de bluswerkzaamheden zoeken brandweerlieden bronnen die mogelijk opnieuw kunnen gaan ontbranden en blussen deze.(8) De blootstelling van brandweerlieden aan verbrandingsproducten tijdens de overhaul-fase kan een indicatie geven van de blootstelling die bewoners vlak na het blussen van de brand aan verbrandingsproducten zullen hebben als zij gelijk weer hun woning betreden.

Het blijkt dat de blootstelling aan verbrandingsproducten tijdens de knockdown-fase veel hoger is dan tijdens de overhaul-fase, uitgezonderd de blootstelling aan vezels.(9)

Concentraties gemeten tijdens de knockdown zullen dus een grotere overschatting geven van de blootstelling in de periode na het blussen van de brand dan concentraties gemeten tijdens de overhaul-fase.

Om een zo representatief mogelijke schatting te maken van concentraties van verbrandingsproducten na het blussen van de brand, worden hier daarom alleen de concentraties genoemd die tijdens overhaul bij woningbranden gemeten zijn (zie Bijlage 18.2).

18.7 Normen

Dioxines komen altijd voor in roet van branden in gebouwen. Als normaal gehalte is wel eens genoemd 200 ng TEQ per m² oppervlak met roetaanslag. Er is een vrijgavenorm voorgesteld voor dioxines in kantoorgebouwen, namelijk 125 ng/m². In bijzondere gevallen is die norm te gebruiken als basis voor een toetswaarde in woningen, na het verdisconteren van de andere verblijfsduur en de blootstelling van kinderen door contact en ingestie van vloerstof.(3)

18.8 Effecten op de gezondheid

Verbrandingsproducten van woningbrand kunnen gezondheidsklachten veroorzaken bij mensen die met deze stoffen in aanraking komen. Bij blootstelling tijdens 'overhaul' bij brandweerlieden bleken veranderingen in longfunctie en de doorgankelijkheid van de luchtwegen plaats te vinden, die zouden kunnen leiden tot longschade. Dit bleek vooral het gevolg te zijn van blootstelling aan de stoffen formaldehyde, acetaldehyde, zwaveldioxide en koolmonoxide. Het is aannemelijk dat als bewoners na een woningbrand worden blootgesteld aan verbrandingsproducten dit mogelijk gezondheidsklachten zoals luchtwegklachten (keelklachten, benauwdheid, hoesten), oogirritatie, hoofdpijn, misselijkheid en braken veroorzaakt.

Tevens kunnen bewoners door huidcontact en ingestie worden blootgesteld aan stoffen die door depositie of adsorptie zijn achtergebleven. Een lage concentratie van verbrandingsproducten in lucht betekent dus niet automatisch dat de blootstelling eraan gering is.(3)

18.8.1 Geurhinder

Een goede reiniging na brand is noodzakelijk om klachten door geurhinder op middellange- en lange termijn te voorkomen. Bij geen of onvolledige reiniging na brand blijven desorberende stoffen zorgen voor stankoverlast. De stoffen die na een brand kunnen zorgen voor geurhinder, hebben in wat hogere concentraties irriterende effecten op de slijmvliezen van ogen, neus en keel. Bij personen met gevoelige luchtwegen kunnen ze de longfunctie ongunstig beïnvloeden.⁽³⁾ Zie voor nadere informatie over geurhinder hoofdstuk 15 'Geurhinder'.

18.8.2 Effecten van verbrandingsproducten

Verschillende groepen verbrandingsproducten hebben elk hun eigen effecten op de gezondheid. Hieronder de groepen achtereenvolgens besproken.

- Fijn stof

Bij alle verbrandingsprocessen ontstaan stofdeeltjes als primair of secundair aerosol. Deze rookdeeltjes bestaan deels uit PAK's en koolstof in de vorm van roet. De deeltjes bevatten nog vele andere stoffen. In rookdeeltjes zijn bijvoorbeeld silica, fluoride, aluminium, lood, zuren, basen en fenolen geïdentificeerd.⁽¹⁰⁾ Sommige van deze stoffen kunnen zelf deeltjes vormen en ze kunnen allemaal geadsorbeerd worden aan roetdeeltjes.⁽³⁾

De deeltjes die ontstaan bij brand hebben tijdens overhaul gemiddeld een grotere diameter (10 µm) dan tijdens de knockdown-fase (1 µm). Het aerosol bestaat tijdens de knockdown voornamelijk uit rook, terwijl het tijdens de overhaul afkomstig is van bijvoorbeeld bouwmaterialen. Dit soort deeltjes zijn typisch groter dan rookdeeltjes (9). Dit is een sterke aanwijzing dat bewoners na woningbrand voornamelijk blootgesteld worden aan grotere deeltjes.⁽⁷⁾ Voor de gezondheidseffecten van fijn stof. Zie hoofdstuk 9 'Stof'.
- PAK's

Bewoners kunnen na een woningbrand worden blootgesteld aan PAK's.⁽⁴⁾ Roetdeeltjes bevatten als regel veel PAK's. Sommige PAK's, zoals naftaleen, zijn vluchtig; andere PAK's zijn matig of nauwelijks vluchtig. Er bestaan honderden soorten PAK's en het is onmogelijk om al deze verbindingen na een woningbrand te bepalen. In Bijlage 18.3 staan de concentraties van verschillende PAK's tijdens de overhaul-fase en de knockdown-fase.⁽⁹⁾ Hieruit blijkt dat tijdens de overhaul-fase slechts een beperkt aantal PAK's nog detecteerbaar was. Het is daarom waarschijnlijk dat bewoners na een brand slechts aan een beperkt aantal PAK's worden blootgesteld.⁽⁷⁾ Voor informatie gezondheidseffecten PAK's zie hoofdstuk 8 'Verbrandingsproducten'.
- Dioxines

Bij elke woningbrand ontstaat een geringe hoeveelheid dioxines. Bronnen zijn stoffen die chloor bevatten, zoals PVC maar ook keukenzout.⁽³⁾ Dioxines zijn zeer toxische stoffen, die erg persistent zijn: in het lichaam hopen ze zich op in het vetweefsel, want ze kunnen nauwelijks gebiotransformeerd worden.⁽¹¹⁾ Gechloreerde dibenzo-p-dioxines (kortweg dioxines) vormen een groep van 75 gechloreerde poly-aromatische verbindingen. De stof 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxine (kortweg TCDD) blijkt van al deze stoffen het meest giftig te zijn.⁽¹²⁾ Sommige dioxines (onder andere TCDD) zijn geclassificeerd als mogelijk carcinogeen. Zie ook paragraaf 9.6.2 in het hoofdstuk 'Stof'.
- Isocyanaten

Ook isocyanaten worden beschouwd als zeer toxische stoffen die vrij kunnen komen bij woningbranden (10). Acute effecten van isocyanaten zijn luchtwegirritatie, hoesten en benauwdheid. Bovendien hebben isocyanaten een sensibiliserend effect op de luchtwegen: ze kunnen alle overgevoelighedsreacties type I - IV veroorzaken.⁽¹¹⁾ Herhaalde blootstelling kan verergering van astma en een verminderde longfunctie tot gevolg hebben. Ook zijn er aanwijzingen uit proefdieronderzoek en in-vitro-experimenten waaruit blijkt dat isocyanaten waarschijnlijk carcinogeen zijn.⁽¹⁴⁾

- **Asbest**
Bij brand en explosies waarbij asbesthoudende materialen betrokken zijn, bestaat het risico dat er asbestvezels of -stukken in de lucht terecht komen. Tijdens brand komt asbest vrij als asbestcement zo heet wordt dat het in kleine stukken en flintertjes uiteenvalt of -springt. Op de breukvlakken komen asbestvezeltjes vrij. Dit heet primaire emissie. Na de brand kan asbesthoudend materiaal belopen of bereden worden, zodat het breekt. Ook daarbij komen vezeltjes vrij op de breukvlakken.⁽³⁾ De concentratie asbestvezels in de lucht is tijdens de primaire emissie nauwelijks verhoogd. Door de warmte worden de vezels namelijk vooral omhoog gestuwd. De secundaire emissie kan echter wel tot verhoogde concentraties in de lucht leiden, vooral in binnenruimtes met weinig luchtverversing. Voor informatie over gezondheidseffecten van asbest wordt verwezen naar hoofdstuk 10 'Asbest en minerale kunstvezels'.
- **Cresolen**
Een minder bekend verbrandingsproduct is 2-hydroxy-tolueen, ook wel cresol genoemd. Van deze stof bestaan drie verschillende isomeren: ortho-cresol, para-cresol en meta-cresol (afgekort o-, p- en m-cresol). Deze moleculen verschillen qua structuur alleen in de plaats waar de OH-groep zich bevindt. Het toxicologische effect van al deze cresolen is echter vergelijkbaar. Cresolen zijn afkomstig van onder andere uitlaatgassen van verkeer, olieraffinaderijen, sigarettenrook en verbranding van kolen, olie en hout.⁽¹⁵⁾ Ze hebben een geur die doet denken aan een rokerig voorwerp.⁽³⁾ Cresolen zijn zeer toxische stoffen. Een acuut effect van blootstelling aan cresolen is irritatie van de luchtwegen.
Cresolen kunnen naast irritatie aan de luchtwegen, ook oogirritatie en effecten op de lever, nieren en het centrale zenuwstelsel veroorzaken.⁽¹³⁾ De Environmental Protection Agency (EPA) uit de Verenigde Staten heeft o-cresol, m-cresol en p-cresol daarom aangemerkt als mogelijke carcinogenen.⁽¹⁵⁾ De halfwaardetijd van cresolen is in de lucht echter vrij kort: ongeveer 1 dag.⁽¹³⁾ Cresolen adsorberen goed aan oppervlakken en desorberen in langdurig ruikbare hoeveelheden.⁽³⁾
- **Acroleïne**
Acroleïne is een aldehyde dat vaak ontstaat bij woningbrand. Het is vele malen toxischer dan formaldehyde en acetaldehyde.⁽¹⁰⁾ Blootstelling aan acroleïne kan leiden tot keelpijn, hoesten, kortademigheid en ademnood.⁽¹⁷⁾ Het blijkt dat acroleïne tijdens de overhaul-fase van woningbranden soms in concentraties boven de MAC-waarde aanwezig is.^(9,17) Ook wordt acroleïne aangeduid als een stof waaraan blootstelling mogelijk is bij medewerkers van brand- en roetschadereinigingsbedrijven.⁽⁴⁾ Het is daarom zeer waarschijnlijk dat bewoners na een woningbrand ook blootgesteld worden aan acroleïne. Over de sorptieprocessen na brand in woningen is geen informatie beschikbaar.⁽³⁾
- **Benzeen en formaldehyde**
Zie voor nadere informatie over benzeen en formaldehyde hoofdstuk 6 'VOS'.
- **Stikstofdioxide, koolmonoxide, koolstofdioxide**
Zie voor nadere informatie over stikstofdioxide, koolmonoxide en koolstofdioxide hoofdstuk 8 'Verbrandingsproducten'.

18.9 Juridische aspecten

Is de brand zo groot dat de brandweer ter plaatse komt, dan schakelt de brandweercommandant een zogenaamde Salvage-coördinator in. Deze werkt in opdracht van de samenwerkende verzekeraars om de schade na de brand zo veel mogelijk te beperken. Hij gaat na welke verzekeraars in het spel zijn en hij verzorgt de schademelding. Bovendien treft hij eventuele noodmaatregelen, zoals opvang van de bewoners. Hij geeft een gespecialiseerd reinigingsbedrijf opdracht voor reiniging van eigendommen, die veelal niet op locatie plaatsvindt, maar op een speciale werkplek. Hij zorgt ook voor opslag in speciale opslagruimtes en indien nodig voor het aftimmeren van ramen en deuren, zodat de woning tegen inbraak wordt beschermd (www.stichtingsalvage.nl).

18.10 Referenties

1. Website CBS. Webmagazine 1 augustus 2005. www.cbs.nl.
2. Nibra. Bronnenboek: Hoofdbrandmeester, ROGS-officier. 2^e druk. Arnhem, 1999.
3. Duijm F. *Schriftelijke bijdrage*. GGD Groningen, Kenniscentrum Milieu en Gezondheid. Groningen, 2006.
4. Duisterwinkel AE, Brouwer D, Smits H. Gezondheidsrisico's bij reinigen na brand. TNO-IR rapport opdrachtnummer HR 136004, SM48. Delft, 1997.
5. Coenradi WB. *Persoonlijke mededeling*. Adviesbureau voor een Gezond Binnenmilieu en brand. 2006.
6. Gezondheidsraad. Advies inzake het binnenmilieuklimaat, in het bijzonder een ventilatieminimum, in Nederlandse woningen. Gezondheidsraad. Den Haag, 1984.
7. Dijkstra F. Woningbrand en gezondheid. Blootstelling aan verbrandingsproducten bij bewoners na woningbranden. 2002.
8. Burgess JL, Nanson CJ, Bolstad-Johnson DM, Gerkin R, Hysong TA, Lantz RC, Sherrill DL, Crutchfield CD, Quan SF, Bernard AM, Witten ML. Adverse respiratory effects following overhaul in firefighters. *J Occup Environ Med* 2001; 43(5): 467-73.
9. Jankovic J, Jones W, Burkhart J, Noonan G. Environmental study of firefighters. *Ann Occup Hyg* 1991; 35/6: 603-11.
10. Lees PSJ. Combustion products and other firefighter exposures. In: Orris P, Melius J, Duff RM (ed). *Firefighter safety and health*. *Occup med* 1995; 10(4): 691-884.
11. Klaassen CD, red. *Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons*. Fifth edition. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York, USA, 1996.
12. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Chlorinated dibenzo-p-dioxins (update). Public Health Service. US Department of Health and Human Services. Atlanta, USA, 1998.
13. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Cresols. Public Health Service. US Department of Health and Human Services. Atlanta, USA, 1992.
14. Bolognesi C, Baur X, Marczynsk B, Norppa H, Sepai O, Sabbionni G. Carcinogenic risk of toluene diisocyanate and 4,4'-methylenediphenyl diisocyanate: epidemiological and experimental evidence. *Crit Rev Toxicol* 2001; 31(6): 737-72.
15. Environmental Protection Agency. Cresol/ cresylic acid, o-cresol m-cresol p-cresol. Factsheet. US EPA. www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/cresols.html. 2006.
16. Chemiekaarten[®]. Gegevens voor veilig werken met chemicaliën. 21^e editie 2006. Samenwerkingsverband-Chemiekaarten (TNO Kwaliteit en Leven, VNCI). Sdu Uitgevers. Den Haag, 2005.
17. Bolstad Johnson DM, Burgess JL, Crutchfield CD, Storment S, Gerkin R, Wilson JR. Characterization of firefighter exposures during fire overhaul. *Am Ind Hyg Assoc J* 2000; 61(5): 636-41.

Bijlage 18.1 Verbrandingsproducten

Groep	Verbrandingsproduct
Bestrijdingsmiddelen	HCL, NO _x , NH ₃ , HCN, SO ₂ , H ₂ S, bestrijdingsmiddel
Cyanidegroep bevattende stoffen (bijvoorbeeld isocyanaten)	HCN, NO _x , NH ₃
Fosfor bevattende stoffen	P ₂ O ₅ (fosforpentoxide)
Halogeen bevattende stoffen (in het bijzonder de chloorbevattende stoffen)	HCL, CL ₂ , COCL ₂ , HF, HBr, COF (carbonylfluoride)
Kunststoffen	CO ₂ , CO en afhankelijk van de soort HCL, HCN
Kunstmeststoffen	NO _x (vooral NO ₂)
Polychloor aromaten	PCDD's, PCDF's
Polychloor bifenylen	PCDD's, PCDF's
Stikstof bevattende stoffen	NO _x , HCN, N ₂ , NH ₃
Zwavel bevattende stoffen	SO ₂ , H ₂ S, COS (carbonylsulfide), SO ₃ , H ₂ SO ₄

Bron: Nibra 1999.

Bijlage 18.2 Concentraties verbrandingsproducten in woningen

Concentraties verbrandingsproducten die tijdens de overhaulfase van woningbranden werden gemeten in twee onderzoeken en de MAC-waarden en normen die voor deze verbrandingsproducten gelden

Verbrandings-product	Jankovic, 1991	Bolstad-Johnson, 2000	MAC ^a (TGG 8 uur, tenzij anders vermeld)	Norm (buitenlucht) ^b
Acetaldehyde	Nd - 1,6 ppm		100 ppm 180 mg/m ³	
Acroleïne	Nd - 0,2 ppm	4% > 0,1 ppm	0,02 ppm 0,05 mg/m ³ TGG 15-min 0,05 ppm 0,12 mg/m ³	MTR 0,5 µg/m ³ 0,0002 ppm (jaargemidd.) 25 µg/m ³ 0,01 ppm (30 min)
Asbest		< PEL	Blauw 0,1 vezels/cm ³ Wit 0,3 vezels/cm ³	100.000 ve/m ³
Benzo(a)pyreen	Nd		-	-
Blauwzuur	Nd - 0,4 ppm	< PEL	1 mg/m ³ (1 ppm) TGG 15-min 10 mg/m ³ (10 ppm)	
Benzeen	Nd - 0,3 ppm	8% > 1 ppm	1 ppm 3,25 mg/m ³	20 µg/m ³ 0,006 ppm
Deeltjes (totaal)	Nd - 45 mg/m ³	< PEL		
Formaldehyde	Nd - 0,4 ppm	88% > 0,1 ppm	1 ppm 1,5 mg/m ³ TGG 15-min 2 ppm 3 mg/m ³	1,2 µg/m ³ 0,001 ppm 100 µg/m ³ 0,08 ppm (MTR 30 min) ^c VROM: 120 µg/m ³ 0,1 ppm (MTR 30 min) en 10 µg/m ³ 0,008 ppm (MTR jaargemidd.)
Glutaraldehyde		20% > 0,05 ppm	0,06 ppm 0,25 mg/m ³	Overall NOAEL 0,1 mg/m ³ 0,02 ppm
Koolstofdioxide	130 – 1420 ppm		5.000 ppm 9.000 mg/m ³	Geen norm; klachten door CO ₂ ontstaan pas bij circa 30.000 ppm
Koolmonoxide	Ag – 82 ppm	20% > 200 ppm	25 ppm 29 mg/m ³ TGG 15-min 150 ppm 174 mg/m ³	100 mg/ m ³ 86 ppm (15 min) 60 mg/ m ³ 51 ppm (30 min) 30 mg/ m ³ 26 ppm (1 uur) 10 mg/ m ³ 9 ppm (8 uur)
Metalen (cadmium, lood, chroom)		< PEL		
PAK	Nd – 0,02 mg/m ³	8% > 0,1 mg/m ³	-	-
Salpeterzuur	Nd		TGG 15 min 0,5 ppm 1,3 mg/m ³	

Verbrandings-product	Jankovic, 1991	Bolstad-Johnson, 2000	MAC ^a (TGG 8 uur, tenzij anders vermeld)	Norm (buitenlucht) ^b
Stikstofdioxide		8% > 1 ppm	2 ppm 4 mg/m ³	200 µg/m ³ = 0,1 ppm (1-uurs gemiddelde) 40 µg/m ³ = 0,02 ppm (jaargemiddelde)
Vezels	Ag – 0,36 vezels/m ³			
Zoutzuur	Nd		5 ppm 8 mg/m ³ TGG 15 min 10 ppm 15 mg/m ³	
Zwavedioxide		20% > 5 ppm	2 ppm 5 mg/m ³	500 mg/ m ³ = 188 ppm (10 min) 125 mg/ m ³ = 47 ppm (24 uur) 50 mg/ m ³ = 19 ppm (jaargemiddelde)
Zwavelzuur	Nd – 0,9 mg/m ³		1 mg/m ³	

Ag = achtergrondconcentratie; Nd = niet detecteerbaar; MTR = Maximaal Toelaatbaar Risico; PEL= 'permissible exposure limit' van NIOSH en ACGIH, komt meestal overeen met MAC-waarde; MAC = maximaal aanvaarde concentratie; TGG = tijdsgewogen gemiddelde.

Bronvermeldingen:

- Chemiekaarten, 2006;
- Dusseldorp A, Bruggen M van, Douwes J, Janssen PJCM, Kelfkens G. Gezondheidkundige advieswaarden binnenmilieu. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609021029. Bilthoven, 2004.; Indien anders dan waarde voor levenslange blootstelling;
- World Health Organization. Air Quality Guidelines for Europe. 2^e druk. Regional Office for Europe. Kopenhagen, 2000.

NB: Het onderzoek van Jankovic betreft een onderzoek dat is uitgevoerd tijdens de overhaul-fase van 22 woningbranden. Het onderzoek van Bolstad-Johnson betreft een onderzoek waarbij tijdens de overhaul-fase bij 25 branden in gebouwen de inhalatoire blootstelling bij brandweerlieden werd gemeten.

Bijlage 18.3 Concentraties PAK's

Concentraties PAK's (in de gasfase en deeltjes) gemeten tijdens de overhaul-fase en knockdown-fase van drie branden. (9)

Soort PAK	Gemiddelde concentratie tijdens knockdown ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Gem. concentratie tijdens overhaul ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Max. concentratie tijdens overhaul ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	% branden waarin PAK's aantoonbaar waren (tijdens overhaul)
Acenaftheen	63	Nd	-	-
Fenanthrene	54	Nd	-	-
Anthraceen	15	Nd	-	-
Fluorantheen	32	2	6	100
Pyreen	36	2	6	100
Benz(a)anthraceen	15	1	3	100
Chryseen	10	1	3	100
Benzo(b)fluorantheen	6	Nd	-	-
Benzo(k)fluorantheen	3	Nd	-	-
Benzo(e)pyreen	22	1	4	100
Benzo(a)pyreen	10	Nd	-	-
Ideno(1,2,3-cd)pyreen	10	-	-	-
Diben(a,h)anthraceen	3	Nd	-	-
Benzo(ghi)peryleen	5	Nd	-	-

Nd = niet detecteerbaar.

19

Verkleuring van materialen

19.1 Inleiding

Met enige regelmaat komen bij gezondheidsdiensten meldingen binnen over verkleuring van allerlei materialen in de woning. Men is ongerust over de mogelijke effecten op de gezondheid van de stoffen die de verkleuring veroorzaken. De aard van de verkleuring kan verschillen. De meest genoemde verkleuringen zijn zwart en geelbruin van kleur.

19.2 Zwartverkleuring

Bij een zwarte verkleuring moet onderscheid worden gemaakt tussen roetaanslag en snelle zwartverkleuring. Bij roetaanslag is de geleidelijke zwarting het gevolg van neerslag van roet afkomstig van verbrandingsprocessen in de woning, zoals roken, het bakken en braden, het branden van kaarsen, olielampen en open haarden. Roetdeeltjes in de buitenlucht kunnen daar ook een rol in spelen.

Soms treedt echter een tamelijk plotselinge zwarting op zonder een duidelijke bron van roet. Dit roept vragen op bij de bewoners. Met name enkele Duitse onderzoeken hebben zich verdiept in het fenomeen van de snelle zwartverkleuring en de mogelijke oorzaak ervan. Bij de snelle zwartverkleuring van de woning betreft het een grijze tot zwarte aanslag (in de literatuur ook wel eens aangegeven met de term 'black magic dust'), die binnen enkele dagen tot weken ontstaat. Kenmerkend voor deze zwarte aanslag is dat hij overwegend in het stookseizoen voorkomt. In principe kan hij in elke kamer en op elk oppervlak in de woning optreden. Over het algemeen is het probleem echter ernstiger in de woonkamer en is de aanslag vooral zichtbaar bij elementen van de verwarming, op gordijnen, kunststof oppervlakken, ruiten en op en in elektrische apparatuur. In de meeste gevallen van plotselinge zwartverkleuring was er sprake van een nieuwbouwwoning of hadden er in de woning renovatiewerkzaamheden plaatsgevonden.(1)

19.2.1 Oorzaken

De precieze oorzaak van een snelle zwartverkleuring is nog onduidelijk. Op de verkleurde oppervlakken zijn zogenaamde matig vluchtige organische stoffen aangetroffen. Matig vluchtige organische stoffen ('semi-volatile organic compounds', SVOC) zijn vluchtige organische stoffen met een kookpunt van ongeveer 240 tot 400 °C.(2) Producten die bij nieuwbouw of renovatie worden gebruikt kunnen dergelijke SVOC bevatten, zoals verschillende verven en lakken, vloerlijmen, vinyl en kunststof plaatmateriaal. In kunststof delen van gebruiksproducten worden SVOC toegepast als weekmakers en brandvertragers. Het betreft vooral ftalaten (weekmakers), langketenige alkanen, alcoholen, vetzuren en vetzuuresters.

Verondersteld wordt dat de SVOC verdampen en onder bepaalde omstandigheden samen met stofdeeltjes in de lucht grotere deeltjes vormen en vervolgens neerslaan in de woning. Dit effect noemt men 'fogging'. Er kan ook sprake zijn van stofdeeltjes die door luchtstromingen in de woning neerslaan op SVOC-houdende oppervlakken. Dit wordt het kleefilm-effect genoemd. Welke fysische en chemische processen een rol spelen bij het ontstaan van een zwartverkleuring is nog niet geheel bekend.

Verschillende factoren hebben invloed op het ontstaan van zwartverkleuring:

- renovatiewerkzaamheden: producten die gebruikt zijn tijdens de werkzaamheden vormen vaak een bron van SVOC;
- bouwtechnische aspecten van de woning: de aanwezigheid van temperatuurverschillen, koude oppervlakken en koudebruggen, verminderde luchtdoorlatendheid;
- inrichting van de ruimte: de aanwezigheid van meubilair of producten die SVOC bevatten;
- gebruik van de ruimte: onvoldoende ventileren, het branden van kaarsen en open haard;
- binnenklimaat en weeromstandigheden: lage luchtvochtigheid, elektrostatische lucht.

Voor het optreden van de verkleuring is het niet noodzakelijk dat van alle genoemde factoren sprake is.

Uit onderzoek blijkt dat de samenstelling van de buitenlucht geen invloed heeft op het ontstaan van de verkleuringen. Verder zijn in de getroffen woningen hoeveelheden SVOC gemeten die men ook in niet-verkleurde woningen vindt.(3) Er is geen direct verband gevonden tussen roken en zwartverkleuring. In woningen waarin niet gerookt wordt, komt ook verkleuring voor. Als er verkleuring optreedt, is deze echter wel sterker als er ook gerookt wordt. De verkleuring kan in elk type woning, bij vrijwel elk type ventilatiesysteem, elke verwarmingsvoorziening, elk type geiser en elke keuken voorkomen. Niet één woningkenmerk is hiermee als enkelvoudige oorzaak aan te wijzen.

19.3 Geelbruinverkleuring

Net als bij snelle zwartverkleuringen treden geelbruinverkleuringen op na oplevering of renovatie van een woning en zijn de overige kenmerken eveneens vergelijkbaar. Mogelijk is de oorzaak van het ontstaan van de geelbruinverkleuring dezelfde als die van de zwartverkleuring en spelen dezelfde factoren een rol. Het kan zijn dat de kleur van verkleuring voornamelijk bepaald wordt door welke stofdeeltjes er neerslaan. Ook voor geelbruinverkleuringen geldt dat er geen directe relatie is gevonden met roken, dat roken de verkleuring wel versterkt en dat niet één woningkenmerk als enkelvoudige oorzaak aan te wijzen valt.(4) Dit blijkt ook uit de constatering dat één woning sterk verkleurd kan zijn, terwijl een identieke woning ernaast niet verkleurd is.(5)

In het verleden is een verband gevonden tussen de concentraties van de zure gassen salpeterig zuur (HONO) en salpeterzuur (HNO_3) en een geelbruinverkleuring. Deze gassen komen vrij uit verbrandingsapparatuur en kunnen bovendien ook in de binnenlucht gevormd worden uit de bij verbranding vrijgekomen stikstofoxiden (NO_x). Tevens kan een verkleuring optreden op materialen van polyvinylchloride (PVC). Deze verkleuring ontstaat in enkele uren en is niet te verwijderen. In PVC-materialen kan als stabilisator lood verwerkt zijn. Dit lood kan met zwavelverbindingen afkomstig uit het riool, zoals zwavelwaterstof en mercaptaan, reageren tot loodsulfide (PbS), wat de verkleuring veroorzaakt. Het verhinderen van het binnendringen van zwavelverbindingen in de woning, bijvoorbeeld door reparatie van het riool, voorkomt deze verkleuring.

Het kan zijn dat 'echte' geelbruinverkleuring zich onderscheidt door een verkleuring een eindje in het oppervlak terwijl snelle zwartverkleuring zich alleen op het oppervlak bevindt.

19.4 Inspectie

Een verkleuring kan tijdens een inspectie worden waargenomen. Tijdens de inspectie moet gekeken worden of het inderdaad gaat om een verkleuring met de al eerder genoemde kenmerken en het geen 'klassiek' geval van schimmelgroei of verbrandingsprocessen betreft of dat het geen overgeschilde roet- of vochtplek is, die door de nieuwe verflaag heen zichtbaar wordt. Verder is het van belang om de gradiënt van de verkleuring in de ruimte en in de woning in zijn geheel in kaart te brengen. Omdat de oorzaken van een verkleuring niet eenduidig zijn, moet de wo-

ning geïnspecteerd worden op (on)voldoende ventilatie (hoofdstuk 2 'Ventilatie'), de verbrandingsapparatuur (hoofdstuk 8 'Verbrandingsproducten'), bewonersgedrag (zoals roken en het branden van kaarsen) en op algemene kenmerken (bouwjaar woning, renovatiewerkzaamheden, en dergelijke). Deze factoren kunnen in combinatie met het verloop van de verkleuring inzicht verschaffen in een mogelijke oorzaak.

Een eenduidige oplossing voor dit probleem is (nog) niet gevonden. In eerste instantie zal bekeken moeten worden of de factoren die mogelijk een rol spelen bij het ontstaan van de verkleuring kunnen worden beïnvloed (zie onder andere paragraaf 19.2.1). Het reinigen van de verkleurde oppervlakken met een regulier schoonmaakmiddel is vaak succesvol, echter niet altijd. In sommige gevallen is de verkleuring moeilijk of niet te verwijderen. Het is onduidelijk of de verkleuring na een succesvolle reiniging definitief wegblijft of dat een verkleuring vanzelf kan verdwijnen. De verkleuring kan hardnekkig zijn.

Men kan de bewoners informeren over de huidige kennis over verkleuringen in de woning. Verder kan de klacht geregistreerd worden. Als in de toekomst een oplossing gevonden wordt, kan men alsnog de betreffende klacht aanpakken.

Er zijn voorbeelden waarbij monsternamen helderheid kan bieden in de mogelijke bron. In een woning in Wijhe is de uitdamping uit een laminaatvloer vergeleken met de samenstelling van de aanwezige zwartverkleuring in de woning. Daarbij is het laminaat als waarschijnlijke bron aangewezen.⁽⁶⁾

19.5 Referentiewaarden: voorkomen van verkleuring in Nederland

Gegevens over het voorkomen van verkleuringen in woningen zijn schaars. Uit een enquête, gehouden in 1992/1993 bleek dat 29% van de woningbouwverenigingen in Nederland geconfronteerd werd met gevallen van verkleuring in de bij hen in beheer zijnde woningen. De verkleuring kwam zeer verspreid over Nederland in minstens 3.500 woningen voor. De verkleuring ontstond in 52% van de gevallen in het eerste half jaar van bewoning, in 14% van de gevallen al tijdens de bouw of in de opleveringsfase. In 19% van de gevallen ontstond de verkleuring na een renovatie of groot onderhoud. De verkleuring was over het algemeen geelbruin en egaal.⁽⁵⁾

19.6 Effecten op de gezondheid

Tot nu toe zijn er nog geen aanwijzingen dat verkleuring kan leiden tot het optreden van gezondheidsklachten anders dan hinder. Er is onderzoek gedaan naar een groot aantal stoffen in de binnenlucht van verkleurde woningen. Voor geen van deze componenten werden verhoogde concentraties ten opzichte van niet verkleurde woningen gemeten.^(7,8) In een onderzoek van GGD Amsterdam werden in verkleurde woningen aantoonbaar hogere concentraties van de zure gasen salpeterig zuur (HONO) en salpeterzuur (HNO_3) gevonden dan in niet verkleurde woningen.⁽⁷⁾ Het is echter niet bekend of bij dergelijke concentraties HONO of HNO_3 effecten op de gezondheid kunnen optreden.

De theorie is dat de verkleuring bestaat uit stofdeeltjes die (normaal) in een woning aanwezig zijn en door een nog niet helemaal bekend proces neerslaan en zichtbaar worden. Gezondheidseffecten als gevolg van verkleuringen lijken dan onwaarschijnlijk. Zolang de oorzaak echter niet bekend is, zijn gezondheidseffecten niet uit te sluiten. In ieder geval veroorzaakt verkleuring veel hinder en schade aan materialen.

19.7 Juridische aspecten

Er zijn geen wettelijke regelingen inzake verkleuring. Vanwege het feit dat de oorzaak niet duidelijk is en er verschillende factoren een rol kunnen spelen bij het ontstaan van een verkleuring, is het nagenoeg onmogelijk een verantwoordelijke partij aan te wijzen. Er is een casus bekend waarbij huurders geen huurverhoging hoefden te betalen vanwege een aantasting van het woongenot buiten hun schuld om.⁽⁹⁾

19.8 Referenties

1. Moriske HJ, Möcker V. *Attacke des schwarzen Staubes – Das Phänomen “Schwarze Wohnungen” Ursachen – Wirkungen – Abhilfe*. Umwelt Bundes Amt, 2004.
2. Gezondheidsraad. *Vluchtige organische stoffen uit bouwmaterialen in verblijfsruimten*. Gezondheidsraad rapportnr. 2000/10. Den Haag, 2000.
3. Moriske HJ, Salthammer T, Wensing M, Klar A, Meinlscmidt P, Pardemann J, Riemann A, Schwampe W. *Neue Untersuchungsergebnisse zum Phänomen “Schwarze Wohnungen”. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 2001; 61: 387-94.*
4. Cornelissen HJM. *Geelbruin verkleuring in woningen, methode om mogelijke oorzaken van geel-bruine verkleuring op te sporen*. *Bouwfysica* 1994; 5(4): 8-11.
5. Fast T, Kliet JJG. *Omvang en aard van geelbruinverkleuring in Nederlandse woningen*. GG&GD Amsterdam en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Bilthoven, 1993.
6. *Onderzoeksrapport inzake afzettingen in een woning te Wijhe*. Uitgevoerd door Tauw BV te Deventer in opdracht van woningcorporatie Het Saalien te Raalte. Deventer, 2005.
7. Fast T, Fiolet D. *Gehalte HONO en HNO₃ in de binnenlucht en de relatie met de geelbruinverkleuring van woningen*. GG&GD Amsterdam. Amsterdam, 1995.
8. Uhde E, Bednarek M, Fuhrmann F, Salthammer T. *Phthalic Esters in the indoor environment – Test chamber studies on PVC-coated wallcoverings*. *Indoor Air* 2001; 11(3): 150-5.
9. Schrijver B. *Geheimzinnige gele drab neemt bezit van woning*. *Utrechts Nieuwsblad*, 4 oktober 1994.

20 Drinkwaterkwaliteit

20.1 Inleiding

Schoon drinkwater is een belangrijke peiler van een goede volksgezondheid. De behandeling van water heeft de afgelopen eeuw een grote vlucht genomen. Desinfectie van het drinkwater heeft ervoor gezorgd dat er in ontwikkelde landen bijna geen uitbraken meer zijn van ernstige door water overgedragen ziektes als cholera en tyfus.

Drinkwater wordt gewonnen uit grondwater en oppervlaktewater. Om dit water zo schoon te krijgen dat het geschikt is als drinkwater, is (op enkele uitzonderingen na) zuivering noodzakelijk. Tijdens de zuivering wordt ruwwater tot drinkwater gemaakt dat voldoet aan de kwaliteitsnormen op fysisch, bacteriologisch en chemisch gebied. Verder mag het drinkwater geen nare geur of smaak bevatten, moet het helder zijn en chemisch stabiel (niet-corrosief en niet aanslagvormend.)

In Nederland is bijna 100% van de huishoudens aangesloten op het leidingnet. Een zeer klein deel van de bevolking gebruikt drinkwater afkomstig uit privéputten.

Het door de waterbedrijven geleverd drinkwater is over het algemeen van een goede tot zeer goede kwaliteit. Toch kan het drinkwater in sommige gevallen verontreinigd raken. Het drinken of ander gebruik van dit water kan een gezondheidsrisico opleveren. In dit hoofdstuk worden de situaties beschreven die voor de gezondheid het meest risicovol zijn. Het gaat hierbij om vervuiling met lood (ioden leidingen), vluchtige organische stoffen (bodemvervuiling in combinatie met kunststof leidingen), nitraat en legionella. Bovendien wordt er kort ingegaan op genees- en bestrijdingsmiddelen in drinkwater.

20.2 Kwaliteit drinkwater

Het drinkwater in Nederland voldoet ruimschoots aan alle gestelde kwaliteitseisen. Het is zelfs zo dat de eisen waaraan drinkwater moet voldoen strenger zijn dan de eisen waaraan mineraal- of bronwater moet voldoen. Hierbij moet wel gemeld worden dat deze kwaliteitseisen gelden voor koud water. Drinkwater dat verwarmd is door een boiler of geiser kan een andere kwaliteit krijgen doordat metalen beter in warm water kunnen oplossen dan in koud water. Waterbedrijven raden dan ook de consumptie van door een boiler of geiser verwarmd leidingwater af (ook als het weer afgekoeld is). Wanneer koud leidingwater wordt gekookt en vervolgens (afgekoeld) wordt gedronken, is er geen probleem.

De kwaliteitseisen (zie Bijlage 20.1) waaraan het leidingwater moet voldoen, staan in de Waterleidingwet en het Waterleidingbesluit. Hierin staat voor 57 stoffen beschreven wat de hoeveelheid van deze stoffen in het drinkwater mag of moet zijn en op welke wijze het drinkwater gecontroleerd moet worden.

Het leidingwater dient aan de kwaliteitseisen te voldoen op het punt waar het water ter beschikking komt van de klant. In een gebouw of perceel zijn dit de tappunten. Het waterbedrijf is verantwoordelijk voor het distributienetwerk tot aan de watermeter (de dienstleidingen). De eigenaar van een gebouw of woning is verantwoordelijk voor het functioneren van de binneninstallatie.

Tijdens het zuiveringsproces tot drinkwater wordt de waterkwaliteit dagelijks gecontroleerd.¹ Steekproefsgewijs worden ook bij consumenten thuis monsters genomen. Bij verhoogde concentraties (bijvoorbeeld van coli-bacteriën) worden direct preventieve maatregelen genomen (zoals een kookadvies, extra zuivering of zelfs sluiting van de bron of inlaat). Er wordt niet gewacht tot de maximaal toegestane norm is bereikt.

Bij een vermoeden van vervuiling van het drinkwater kan het waterbedrijf eventueel verzocht worden een controlemeting te doen. Voor metingen buiten hun eigen controles om, moet echter wel betaald worden door de aanvrager.

De drinkwaterbedrijven rapporteren jaarlijks de resultaten van hun meetprogramma's aan de VROM-inspectie. Deze resultaten worden eveneens jaarlijks door het RIVM verwerkt in een rapport 'De kwaliteit van het drinkwater in Nederland'.⁽¹⁾ Dit rapport is bij VROM op te vragen of te downloaden van de internetsite van RIVM of VROM (www.rivm.nl en www.vrom.nl).

20.3 Bronnen van drinkwaterverontreiniging

In deze paragraaf worden verschillende bronnen/oorzaken van verontreiniging van drinkwater kort besproken. Er wordt ingegaan op bronnen die voor de gezondheid het meest risicovol zijn en die in Nederland voor gezondheidsproblemen kunnen zorgen.

De paragraaf begint met problemen aan de (binnen)installatie en eindigt de beschrijving van enkele stoffen die mogelijk in het drinkwater voor problemen kunnen zorgen.

20.3.1 Nieuwbouw en onzorgvuldig klussen

De installatie zelf kan de oorzaak zijn van verontreiniging van het drinkwater. Zo blijkt uit onderzoek dat is uitgevoerd in opdracht van VROM dat de kwaliteit van het drinkwater bij nieuw op te leveren woningen veelal te wensen over laat.⁽²⁾ In 33 op te leveren nieuwbouwwoningen is in dit onderzoek de waterkwaliteit onderzocht, waarbij is gekeken naar de volgende indicatoren/stoffen: cadmium, chroom, koper, lood, nikkel, ijzer, zink, gisten, schimmels, legionella, aëroob kiemgetal en de pH-waarde. De koud-watermonsters zijn eenmalig en direct, zonder doorstromen, uit de kranen genomen.

Uit de resultaten bleek dat de toetswaarden van meerdere indicatoren werd overschreden. De concentraties van de zware metalen nikkel, lood en koper werden in respectievelijk 12, 16 en 14 gevallen overschreden. Voor de gezondheid is met name de concentratie lood van belang.

Naast enkele overschrijdingen van de toetswaarde voor schimmels en gisten was vooral het kiemgetal met 28 overschrijdingen zeer hoog. Schimmels, gisten en kiemgetal zijn parameters voor de groeipotentie van biologisch materiaal. De feitelijke gezondheidsrisico's zijn afhankelijk van het soort organismen dat gaat groeien. In reguliere metingen wordt hierbij gekeken naar het aantal colibacteriën als indicator voor fecale verontreiniging waarvan de grootste gezondheidseffecten te verwachten zijn.

Uit de geconstateerde normoverschrijdingen kan slechts geconcludeerd worden dat er groeipotentie is voor micro-organismen, maar niet dat er sprake is van specifieke gezondheidsrisico's.

Bij de interpretatie van het onderzoek is enige voorzichtigheid geboden. De steekproef van woningen is niet representatief voor alle nieuwbouwwoningen in Nederland en de wijze van monsternamen is niet gebruikelijk. Normaal gesproken laat men bij een watermonster de kraan eerst flink doorstromen. Bovendien zijn de normen gericht op weekgemiddelde concentraties en niet op een enkele meting zoals hier uitgevoerd.

¹ Vroeger werd voor de desinfectie vaak chloor gebruikt. Tegenwoordig wordt het in Nederland bijna niet meer gebruikt. De hoeveelheden die nog wel gebruikt worden, zijn zo laag dat er geen relatie kan worden gelegd met gezondheidseffecten.

De conclusies uit het onderzoek geven echter een sterk signaal af, namelijk dat de drinkwaterkwaliteit van nieuw opgeleverde woningen lang niet in alle gevallen voldoende is. Bij consumptie van dit water kunnen gezondheidsrisico's niet uitgesloten worden. Gezien het tijdstip van monsternamen, direct voor de oplevering van de woningen, is het waarschijnlijk dat er ongewenste blootstelling plaatsvindt door de consumptie van dit drinkwater door de nieuwe bewoners. De mate van blootstelling is mede afhankelijk van de mate van doorspoelen van de leidingen door de bewoners en de nalevering van de verontreiniging (bijvoorbeeld van loodsoldeer).

Een deel van de geconstateerde normoverschrijdingen kan het gevolg zijn van enige stilstand van het water in de nieuwe leidingsystemen, afgifte van stoffen uit de nieuwe materialen en kranen en het mogelijk onzorgvuldig, niet schoon, installeren van de installatie. Wellicht hadden de overschrijdingen voorkomen kunnen worden door het (beter) doorspoelen van de installatie voor oplevering. Afgifte van stoffen boven de norm zou niet mogen plaatsvinden wanneer gebruik wordt gemaakt van toegestane materialen. Voor de geconstateerde overschrijdingen van de loodnorm is geen goede verklaring te geven. Enerzijds kunnen de materialen geringe concentraties lood bevatten (bijvoorbeeld als stabilisator in PVC), maar anderzijds kunnen de relatief hoge concentraties ook wijzen op het ongeoorloofd toepassen van loodsoldeer bij de installatie.

De bovenstaande vervuiling van het drinkwater door de installatie zelf (niet schoon installeren, gebruik verkeerde materialen, en dergelijke) kan ook ontstaan wanneer er onzorgvuldig wordt geklust aan een al bestaande installatie.

20.3.2 Werkzaamheden aan de leidingen/bruin water

In drinkwater zit van nature ijzer en mangaan. Een deel van dat ijzer en mangaan reageert met zuurstof en zet zich af tegen de waterleidingwand. Die afzetting komt soms los, bijvoorbeeld bij werkzaamheden of verandering van de stroomsnelheid- of richting. Dit kan tot gevolg hebben dat het water een bruine kleur heeft. Op zich is het drinken van dit bruine water niet schadelijk voor de gezondheid, maar esthetisch is het onprettig. Vaak is het voldoende om de kraan een half uur dicht te houden. Het meeste bruine water is dan uit de dienstleidingen verdwenen en er hoeft daarna nog maar een klein beetje water weggespoeld te worden.

Ook bij werkzaamheden in het openbaar gebied geldt dat bij onzorgvuldig werken het drinkwater mogelijk vervuild kan raken.

20.3.3 Bodemverontreiniging

Vluchtige stoffen, zoals oplosmiddelen, kunnen via permeatie van kunststofleidingen (vooral polyethyleen (PE) leidingen) het drinkwater verontreinigen. Bij aanwijzingen voor bodemverontreiniging met vluchtige stoffen is het verstandig om na te gaan of er leidingen door de vervuiling lopen en van welk materiaal deze gemaakt zijn. Als er een risico van permeatie bestaat, moeten de leidingen vervangen worden door een ander, niet permeabel, materiaal.

20.3.4 Nitraat en privéputten

In het door de drinkwaterbedrijven geleverd drinkwater zijn de gehalten aan nitraat lager dan de norm. Een zeer beperkt deel van de huishoudens betreft echter hun drinkwater nog uit privéputten. In drinkwater uit (ondiepe) privéputten die grondwater als bron hebben, kan de concentratie nitraat te hoog zijn. Dit nitraat komt in het grondwater terecht door het gebruik van mest.

Nitraat kan in het lichaam omgezet worden in het giftige nitriet, dat de opname van zuurstof belemmert. Flesgevoede baby's lopen bij gebruik van dit water het risico op methemoglobinemie ('blauwzucht').(3)

De eigenaar van een privéput kan de waterkwaliteit laten beoordelen door een laboratorium.

20.3.5 Lood

Lood werd vroeger algemeen gebruikt voor drinkwaterleidingen. Een loden leiding is te herkennen aan de grijze kleur. Het is niet precies bekend tot welk jaar loden leidingen werden gebruikt. Zeker

is dat voor 1940 alle drinkwaterleidingen van lood waren gemaakt en in een aantal woningen gebouwd tussen 1940 en 1960 zijn mogelijk ook nog loden leidingen gebruikt.

In verband met een aanscherping van de normstelling per 1 januari 2006 hebben de waterleidingbedrijven vrijwel alle loden leidingen in hun leidingnetten vervangen. Incidenteel, bijvoorbeeld door hiaten in de leiding-informatie, kunnen er in de praktijk nog korte loden leidingdelen worden aangetroffen. In dat geval worden deze door het waterleidingbedrijf vervangen. Bij twijfel over de aanwezigheid van loden leidingen, kan het waterleidingbedrijf uitsluitel geven.

De leidingen vanaf de watermeter (of als er geen watermeter is: vanaf het punt dat ze het huis binnenkomen) zijn de verantwoordelijkheid van de huiseigenaar, ook in de nieuwe Drinkwaterwet. De vervanging kan flinke kosten met zich meebrengen. Tot eind 2004 bestond er een subsidieregeling. Deze is inmiddels opgeheven. De kosten zijn nu dus in het geheel voor de huiseigenaar.

Een huurder kan de eigenaar verzoeken loden leidingen te vervangen. Een huiseigenaar is echter niet verplicht loden leidingen te vervangen. Een huurder kan eventueel op eigen kosten de loden leidingen (laten) vervangen; hier is dan wel schriftelijke toestemming voor nodig van de eigenaar.

Loden leidingen geven minuscule deeltjes lood af aan het water. Met filteren of koken gaat het lood niet uit het water. De kraan flink doorspoelen helpt, maar niet altijd voldoende. Via het drinkwater kan lood in het lichaam komen. Te veel lood binnenkrijgen is schadelijk voor de gezondheid. Jonge kinderen zijn extra gevoelig voor de effecten van lood. Jonge kinderen hebben een verhoogde loodabsorptie in het maagdarmkanaal en een hogere gevoeligheid. Lood kan bij jonge kinderen gemakkelijk de bloed-hersenbarrière passeren, wat kan leiden tot ontwikkelstoornissen zoals vermindering van het leervermogen en afwijkend gedrag. Baby's drinken bovendien veel in verhouding tot hun lichaamsgewicht. Lood in drinkwater afkomstig van loden leidingen levert voor baby's tot 1 jaar een mogelijk risico op. De Gezondheidsraad adviseert dan ook om de leidingen te vervangen en tot die tijd bronwater te gebruiken voor de bereiding van de flesvoeding. Borstvoeding is geen probleem, ook niet als de moeder kraanwater drinkt.(4-6) Uitgebreidere informatie over de gezondheidseffecten van blootstelling aan lood wordt gegeven in hoofdstuk 11.

De Gezondheidsraad hanteert een norm van 10 µg/l lood in drinkwater. De raad gaat er hierbij van uit dat bij blootstelling onder deze norm de loodgehalten in bloed, ook bij baby's, onder de 100 µg/l blijft. De raad vindt het bewezen dat boven 100 µg/l lood in bloed er neurologische en/of cognitieve schade kan ontstaan. Zij geeft overigens ook aan dat op grond van de huidige stand van wetenschap, het niet mogelijk is om met zekerheid een lood in bloedwaarde aan te geven waaronder geen nadelige gezondheidseffecten zijn te verwachten.

De norm van 10 µg/l lood in drinkwater is overgenomen in de Nederlandse wetgeving (januari 2006). De norm moet in ieder geval gehaald worden bij de hoofdkraan. Dit betekent dat in ieder geval alle loden leidingen in het openbare net (de zogenaamde 'dienstleidingen') vervangen moeten worden (of eigenlijk al vervangen moeten zijn).

20.3.6 Legionella

Legionella is een bacterie die veteranenziekte (legionellose) en Pontiac koorts kan veroorzaken. De bacterie is overal in de natuur aanwezig in water en kan zich onder gunstige omstandigheden vermenigvuldigen tot grote hoeveelheden. Gunstige omstandigheden zijn: een watertemperatuur tussen 25 en 50 °C en stilstaand water.

Er zijn inmiddels 48 legionellasoorten ontdekt en beschreven. De meeste humane infecties (>90%) worden veroorzaakt door *Legionella pneumophila*.(7)

Besmetting met de bacterie vindt plaats via de luchtwegen. Dat kan alleen wanneer besmette (fijne) waterdruppeltjes worden ingeademd. Fijne waterdruppeltjes ontstaan op een plaats waar water uit een uitstroomopening wordt geperst, zoals een douchekop, of op plaatsen waar water met lucht wordt gemengd, zoals bij een whirlpool of een koeltoren. Wie met de bacterie in aanraking komt, wordt niet automatisch ziek. Veel mensen worden geïnfecteerd met de bacterie en maken antistoffen, zonder klachten die passen bij legionellose. Ouderen, zware rokers, alcoholisten en mensen die lijden aan een ziekte en/of geneesmiddelen gebruiken die hun afweer verminderen, zijn

het meest gevoelig voor legionellabacteriën. Blootstelling aan de bacterie leidt voor deze groepen eerder tot een luchtweginfectie, omdat zij minder weerstand hebben.

De ziekte kan niet van de ene mens op de andere worden overgedragen. Het drinken van water vormt normaal gesproken geen risico. Uitzonderingen daarbij zijn situaties waarbij mensen slikreflexproblemen hebben.(8) Bij de meeste mensen verloopt een infectie met de legionellabacterie zonder klachten. Het kan zijn dat mensen mildegriepachtige verschijnselen (spierpijn, koorts, hoofdpijn) krijgen die vanzelf overgaan. Er is dan sprake van Pontiac-koorts. Er is sprake van veteranenziekte wanneer een ernstige longontsteking ontstaat. Verschijnselen kunnen zijn: (hoge) koorts, hoesten, hoofdpijn, spierpijn, pijn in de borsten, benauwdheid en soms ook braken of diarree. Veteranenziekte is goed met medicijnen te behandelen, maar kan indien laat wordt gereageerd dodelijk zijn.(9)

Voorkomen van legionella in woningen

Bij temperaturen van 55 °C en hoger kan de bacterie niet overleven. Het is dan ook belangrijk om het warmwatertoestel (doorstroomtoestellen zoals geisers en combiketels) op minimaal 55 °C af te stellen. Voor boilers geldt een temperatuur van minimaal 60°C. De temperatuur van het water kan bij de kraan gemeten worden met een thermometer die een bereik heeft van nul tot honderd graden of de temperatuur kan gemeten worden door een installateur of leverancier. Hierbij is het belangrijk om de veiligheid in het oog te blijven houden: voorkom te allen tijde dat kinderen zich aan heet water kunnen branden. Zorg er daarom voor dat op die plaatsen waar kinderen met water in aanraking kunnen komen, de uitstromende temperatuur nooit hoger is dan 40 °C. Een goede oplossing is het gebruik van een thermostaatkraan bij het tappunt.

Wanneer het water langere tijd heeft stilgestaan (bijvoorbeeld na vakantie), is het verstandig om de douche voor gebruik eerst gedurende 2 minuten door te spoelen met alleen heet water (55-60 °C) en vervolgens nog eens 2 minuten met koud water. Hierbij wordt geadviseerd om de douchekop bij de afvoerput of in een emmer water te houden. Daarmee wordt verneveling voorkomen.

Bij gebruik van een tuinslang is het risico op besmetting met legionella over het algemeen klein als de slang aangesloten wordt op de koudwaterleiding. Zelden zal de temperatuur in een dergelijk systeem langere tijd boven 25 °C zijn en blijven. Als gebruik wordt gemaakt van een (flexibele) tuinslang, die gedurende langere tijd in de zon blijft liggen, minder vaak gebruikt wordt en stilstaand water bevat, neemt het risico op groei van de bacterie toe. Daarom is het raadzaam de tuinslang en het douche- en sproeisysteem na gebruik leeg te laten lopen.

Het leidingwater dat de waterleidingbedrijven leveren voldoet aan strenge kwaliteitseisen, sinds eind 2004 ook voor het voorkomen van de legionellabacterie. De eventueel geringe hoeveelheden legionellabacterie die het water bij aanlevering nog kan bevatten, leveren geen risico op.

In 2002 hebben de VEWIN (Vereniging van Waterbedrijven in Nederland), UNETO-VNI (ondernemersorganisatie voor de installatiebranche), het Ministerie van VROM en het Ministerie van VWS een onderzoek laten uitvoeren naar het voorkomen van de legionellabacterie in waterleidinginstallaties in woningen. In dit onderzoek zijn 400 woningen, aselect verdeeld over vier regio's meegenomen. De regio's zijn gekozen op basis van drinkwatertype en een relatief hoog percentage collectieve installaties waarin wel eens legionella is aangetroffen (worst case-benadering). In 16 woningen werd legionella aangetroffen in aantallen boven de norm van 100 kve/l. Het ging in alle gevallen om de soort *Legionella anisa* die beduidend minder virulent is dan *Legionella pneumophila* (verreweg de belangrijkste veroorzaker van de veteranenziekte). Er werd geconcludeerd dat het onwaarschijnlijk is dat de geconstateerde aanwezigheid van de bacterie in woningen leidt tot gezondheidsrisico's. Het onderzoek gaf ook geen aanwijzingen dat een bepaald type warmwatertoestel een verhoogd risico op groei van legionella in de binneninstallatie geeft.(10)

20.3.7 Bestrijdings- en geneesmiddelen

Drinkwaterbedrijven nemen preventieve maatregelen of zetten extra zuiveringstechnieken in om te voorkomen dat de concentraties bestrijdingsmiddelen in drinkwater de drinkwater norm van 0,1 µg/l

overschrijden. Door deze maatregelen zijn de concentraties zo laag dat er geen gezondheidsrisico valt te verwachten. De norm voor bestrijdingsmiddelen is gebaseerd op het voorzorgprincipe: het is niet gewenst dat er bestrijdingsmiddelen in het drinkwater voorkomen.(11)

Geneesmiddelen komen eveneens in zeer lage concentraties voor in drinkwater. De concentraties liggen een factor 1000 lager dan de voorlopige drinkwaterlimieten. Er bestaan (nog) geen normen voor de hoeveelheid geneesmiddelen in drinkwater. Het RIVM beveelt aan om als normstelling wordt overwogen, de geneesmiddelen als groep onder het voorzorgprincipe te brengen. De stoffen horen niet in drinkwater thuis. Dit betekent dat er een algemene normwaarde zou moeten komen van bij voorkeur 0,1 µg/l (conform bestrijdingsmiddelen) of lager indien er aanwijzingen zijn dat de toxicologische limietwaarde lager is.(12)

20.4 Normen

De kwaliteitseisen voor drinkwater zijn opgenomen in Bijlage 20.1.

20.5 Juridische aspecten

De Waterleidingwet en het Waterleidingbesluit gaan binnenkort (2007/2008) over in de Drinkwaterwet en het Drinkwaterbesluit. Belangrijke wijziging is de introductie van het begrip risicobeheersing. Waterleidingbedrijven moeten door middel van plannen en de uitvoering daarvan de risico's in de gehele keten van bron tot kraan in beeld brengen en beheersen, zowel kwantitatief als kwalitatief. Het waterleidingbedrijf is verantwoordelijk voor de waterkwaliteit tot aan de kraan, tenzij aantoonbaar kan worden gemaakt dat er sprake is van een ondeugdelijke binneninstallatie.

De VROM-Inspectie houdt toezicht op de uitvoering van de Waterleidingwet en het Waterleidingbesluit door de waterleidingbedrijven.

In 1980 is de eerste Europese Drinkwaterrichtlijn opgesteld die zeer strikte eisen stelt aan de kwaliteit van het water dat bestemd is voor menselijke consumptie. Deze EG-richtlijn is geïmplementeerd in het Waterleidingbesluit van de Nederlandse wetgeving. De eisen van de Europese drinkwaterrichtlijn zijn gebaseerd op de eisen van de Wereld Gezondheids Organisatie (WHO).

Waterleidingwet

Het hoofddoel van de Waterleidingwet is de bescherming van de volksgezondheid tegen risico's die samenhangen met de levering of beschikbaarstelling van leidingwater. In de Waterleidingwet is onder meer vastgelegd dat de waterleidingbedrijven verplicht zijn betrouwbaar drinkwater in voldoende hoeveelheid en met grote mate van leveringszekerheid te leveren. In de wet is ook beschreven hoe en hoe vaak drinkwater moet worden gecontroleerd. De Waterleidingwet is te vinden op de internetsite www.overheid.nl/wetten.

20.6 Verantwoordelijke partijen

De minister van VROM is politiek verantwoordelijk voor de drinkwatervoorziening in Nederland. In de Waterleidingwet (1984) en het Waterleidingbesluit (2001) worden de taken en bevoegdheden van waterleidingbedrijven geregeld, maar ook van anderen die collectieve leidingwaterinstallaties beheren (campings, sporthallen, industrieën, ziekenhuizen, hotels en dergelijke).

De waterleidingbedrijven zijn verantwoordelijk voor de kwaliteit van het drinkwater tot aan de watermeter (of als er geen watermeter is: tot aan het punt dat de leidingen de woning binnenkomen). Met de introductie van de Drinkwaterwet zal deze verantwoordelijkheid worden verruimd tot aan de kraan.

De VROM-Inspectie houdt hier toezicht op. Daarnaast vervult de VROM-Inspectie een toezichthoudende rol naar provincies en gemeenten voor wat betreft de uitvoering van het grondwaterbeschermingsbeleid. De kwaliteit van de bronnen voor drinkwater zijn immers direct van invloed op de benodigde drinkwaterbereiding. Uitgangspunt bij de bescherming van grondwater is dat het mogelijk moet zijn om op eenvoudige wijze drinkwater te bereiden (Grondwaterwet).

De kwaliteit van het oppervlaktewater, bestemd voor drinkwaterbereiding, valt onder verantwoordelijkheid van de waterschappen (regionale wateren) en Rijkswaterstaat (rijkswateren). De kwaliteit van de leidingen is geregeld in het Bouwbesluit. Gemeenten zijn verantwoordelijk voor naleving van het Bouwbesluit. Meestal is de gemeentelijke dienst Bouw- en Woningtoezicht de handhavende instantie.

20.7 Referenties

1. Versteegh JFM, Dik HHJ. De kwaliteit van het drinkwater in Nederland in 2004. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 703719010. Bilthoven, 2006.
2. Caubergh-Huygen Raadgevende Ingenieurs BV. Onderzoek handhaving bouwregelgeving gezondheid in nieuwbouwwoningen. 2006.
3. Website RIVM. Gezondheid en Milieu. Drinkwater. www.rivm.nl/gezondheidenmilieu.
4. Gezondheidsraad. Commissie Lood in drinkwater. Lood in drinkwater. Gezondheidsraad rapportnr. 1997/07. Rijswijk, 1997.
5. Website Ministerie van VROM. Dossier Drinkwater. www.vrom.nl.
6. Website MilieuCentraal. Drinkwater. Loden leidingen. www.milieucentraal.nl.
7. Schets FM, Rode Husman AM de. Gezondheidsaspecten van *Legionella* in water. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 330000004/2004. Bilthoven, 2004.
8. Website GGD Rotterdam-Rijnmond. Legionella. www.ggd.rotterdam.nl.
9. Fast T, Bruggen M van. Beoordelingskader Gezondheid en Milieu: GSM-basisstations, Legionella, radon, fijn stof en geluid door wegverkeer. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 609031001/2004. Bilthoven, 2004.
10. Website Ministerie van VROM. Dossier Legionella. www.vrom.nl.
11. Website Milieu- en Natuur Planbureau. Milieucompendium. Bestrijdingsmiddelen in drinkwater. www.mnp.nl.
12. Versteegh JFM, Stolker AAM, Niesing w, Muller JJA. Geneesmiddelen in drinkwater en drinkwaterbronnen. Resultaten van het meetprogramma 2002. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. RIVM-rapportnr. 703719004/2003. Bilthoven, 2003.

Bijlage 20.1 Kwaliteitseisen drinkwater (Waterleidingbesluit)

Microbiologische parameters

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
Cryptosporidium			1)
Escherichia coli	0	kve/100 ml	kve = kolonievormende eenheden
Enterococcen	0	kve/100 ml	
(Entero)virussen			1)
Giardia			1)

1) Micro-organismen mogen niet in een zodanige concentratie in het leidingwater voorkomen dat gevaar voor de volksgezondheid kan ontstaan. Voor bepaalde micro-organismen, zoals virussen en protozoa (onder meer Cryptosporidium en Giardia), is het niet mogelijk om concentraties te meten op het zeer lage niveau, waarop blootstelling relevant is voor de gezondheid van de gebruiker. In plaats hiervan dient de eigenaar die gebruikmaakt van oppervlaktewater als grondstof voor de bereiding van leidingwater op basis van metingen van de desbetreffende micro-organismen in het ruwe water en gegevens over de verwijderingscapaciteit bij de verschillende zuiveringsprocessen (inclusief eventuele bodempassages) in overleg met de toezichthouder een kwantitatieve risicoanalyse voor het bereide leidingwater op te stellen.

Voor het door middel van deze risicoanalyse berekende theoretische infectierisico geldt een voorlopige grenswaarde van één infectie per 10.000 personen per jaar. De toetsing aan deze (voorlopige) grenswaarde voor het infectierisico dient in elk geval te worden uitgevoerd voor Enterovirussen, Cryptosporidium en Giardia, maar geldt in principe ook voor andere pathogene micro-organismen. Indien het berekende infectierisico groter is dan de genoemde grenswaarde, dient de eigenaar met de toezichthouder te overleggen over te nemen maatregelen.

De toezichthouder kan bepalen dat voor kwetsbare grondwaterwinningen eenzelfde risicoanalyse wordt uitgevoerd.

De term 'voorlopige grenswaarde' wordt gebruikt om aan te geven dat het hier om een toetsingswaarde gaat die in de praktijk nog nader wordt getoetst. Aanpassing van deze waarde is daarom niet uitgesloten.

Chemische parameters

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
Acrylamide	0,10	µg/l	1)
Antimoon	5,0	µg/l	
Arseen	10	µg/l	
Benzeen	1,0	µg/l	
Benzo(a)pyreen	0,010	µg/l	
Boor	0,5	mg/l	
Bromaat	1,0	µg/l	bij desinfectie geldt een maximale waarde van 5,0 µg/l (als 90 percentielwaarde, met een maximum van 10 µg/l)
Cadmium	5,0	µg/l	
Chroom	50	µg/l	2)
Cyaniden (totaal)	50	µg/l	3)
1,2-dichloorethaan	3,0	µg/l	
Epichloorhydrine	0,10	µg/l	1)
Fluoride	1,1	mg/l	
Koper	2,0	mg/l	2)
Kwik	1,0	µg/l	
Lood	10	µg/l	2)
Nikkel	20	µg/l	2)
Nitraat	50	mg/l	4)
Nitriet	0,1	mg/l	4)
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) (som)	0,10	µg/l	som van gespecificeerde verbindingen met concentratie hoger dan de detectiegrens. 5)
Polychloorbifenylen (PCB's) (individueel)	0,10	µg/l	Per stof.
PCB's (som)	0,50	µg/l	som van gespecificeerde verbindingen met concentratie > 0,05 µg/l. 6)
Pesticiden (individueel)	0,10	µg/l	per stof. 7). Voor aldrin, dieldrin, heptachloor en heptachloorepoxide geldt een maximum waarde van 0,030 µg/l.
Pesticiden (som)	0,50	µg/l	som van afzonderlijke pesticiden met concentratie hoger dan de detectiegrens.
Seleen	10	µg/l	
Tetra- en trichlooretheen (som)	10	µg/l	
Trihalomethanen (som)	25	µg/l	som van gespecificeerde verbindingen (als 90 percentiel, met een maximum van 50). 8) Tot 1-1-2006 geldt een maximum van 100 µg/l.
Vinylchloride	0,50	µg/l	1)

Toelichting opmerkingen:

- Deze parameterwaarde heeft betrekking op de residuele monomeerconcentratie in het water, berekend aan de hand van specificaties inzake de maximum migratie van de overeenkomstige polymeer in contact met water.
- Deze waarde geldt voor een monster van voor menselijke consumptie bestemd water dat via een passende steekproefmethode aan de kraan verkregen is, en dat representatief mag worden geacht voor de gemiddelde waarde die de verbruiker wekelijks binnen krijgt. Deze methode zal worden vastgesteld door de Inspecteur, waarbij rekening wordt gehouden met eventuele pieken die schadelijke gevolgen kunnen hebben voor de volksgezondheid. Waar nodig schrijft de Inspecteur de toepassing van bemonsterings- en controlemethoden voor, die zijn geharmoniseerd overeenkomstig de in Richtlijn 98/83/EG vastgelegde procedure.
- Met behulp van de methode moet het totaal aan cyanide in elke vorm worden bepaald.
- Ten aanzien van de concentraties nitraat en nitriet dient tevens te worden voldaan aan de voorwaarde dat $[\text{nitraat}]/50 + [\text{nitriet}]/3 < 1$, waarbij de rechte haken de concentratie in mg/l uitdrukken, voor nitraat in NO_3^- , en voor nitriet in NO_2^- .
- De gespecificeerde verbindingen zijn: pyreen, benzo(a)antraceen, benzo(ghi)perylene, fenantreen, indeno(1,2,3-cd)pyreen, antraceen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen, chryseen en fluorantheen.
- De gespecificeerde verbindingen zijn: PCB nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153 en 180.
- Onder pesticiden wordt verstaan: organische insecticiden, organische herbiciden, organische fungiciden, organische nematociden, organische acariciden, organische algiciden, organische rodenticiden, organische slimiciden en soortgelijke producten (onder meer groeiregulators), en hun metabolieten en afbraak- of reactieproducten die humaan toxicologisch relevant zijn.
- De gespecificeerde verbindingen zijn: chloroform, bromoform, dichloorbroommethaan en broomdichloormethaan. De concentratie broomdichloormethaan mag niet hoger zijn dan 15 µg/l.

Indicatoren – Bedrijfstechnische parameters

Parameter	Maximum waarde (tenzij anders aangegeven)	Eenheid	Opmerkingen
Aeromonas (30 °C)	1000	kve/100 ml	kve = kolonievormende eenheden
Ammonium	0,20	mg/l	
Bacteriën van de coligroep	0	kve/100 ml	
Bacteriofagen	–	pve	pve = plaquevormende eenheden
Chloride	150	mg/l	jaargemiddelde; het water mag niet agressief zijn
Clostridium perfringens (inclusief sporen)	0	kve/100 ml	
DOC/TOC	Geen abnormale verandering	mg/l	1)
Geleidingsvermogen	125 bij 20 °C	mS/m	het water mag niet agressief zijn
Hardheid (totaal)	1 < totale hardheid < 2,5 (mmol)	mmol/l	totale hardheid te berekenen als aantal mmol Ca ²⁺ plus Mg ²⁺ /l; bij toepassing van ontharding of ontzouting geldt deze waarde als 90 percentiel
Koloniegetal bij 22 °C	100	kve/ml	geometrische jaargemiddelde; geen abnormale verandering
Radioactiviteit			2)
Totale α Totale β Tritium Indicatieve dosis (totaal)	0,1 1 100 0,10	Bq/l Bq/l Bq/l mSv/j	
Saturatie Index (SI)	> -0,2	SI	het water mag niet agressief zijn
Temperatuur	25 °C		geldt voor koud leidingwater
Waterstofcarbonaat	> 60	mg/l	
Zuurgraad/ waterstof-ionenconcentratie	7,0 < pH < 9,5	pH-eenheden	het water mag niet agressief zijn
Zuurstof	>2	mg/l	

1) Indien DOC/TOC (dissolved organ carbon/total organ carbon) niet wordt bepaald, dan dient de oxideerbaarheid met KMnO₄ te worden bepaald (norm 5,0 mg/l O₂).

2) Totaal α, uitgezonderd radon, inclusief kortlevende vervalproducten van radon. Totaal β behalve ⁴⁰K, tritium en kortlevende vervalproducten van radon.

Indicatoren – Organoleptische/esthetische parameters

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
Aluminium	200	µg/l	1)
Geur	aanvaardbaar voor de gebruikers en geen abnormale verandering	–	2)
Kleur	20	mg/l Pt/Co	
IJzer	200	µg/l	
Mangaan	50	µg/l	
Natrium	150	mg/l	jaargemiddelde met een maximum van 200 mg/l
Smaak	aanvaardbaar voor de gebruikers en geen abnormale verandering	–	2)
Sulfaat	150	mg/l	het water mag niet agressief zijn
Troebelingsgraad	4 (tap) 1 (af pompstation)	FTE	FTE = formazine troebelingsseenheden 3)
Zink	3,0	mg/l	na > 16 uur stilstand

1) Bij (dreigende) overschrijding van een waarde voor aluminium van 30 µg/l dient dit aan de toezichhouder gemeld te worden in verband met het eventueel gebruik van het leidingwater voor nierdialyse.

2) Analyse kan kwalitatief worden uitgevoerd. Indien het resultaat positief is dient een kwantitatieve analyse te worden uitgevoerd, bijvoorbeeld volgens de verdunningsmethode.

3) In aanvulling op de kwantitatieve eis geldt dat de troebelingsgraad aanvaardbaar voor de gebruikers dient te zijn en geen abnormale veranderingen mag vertonen.

Indicatoren – Signaleringsparameters

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
AOX	–	µmol X/l	
Aromatische aminen	1	µg/l	indien metaboliet van pesticiden dan 0,1 µg/l, zie Tabel 'Chemische parameters'.
(Chloor)fenolen	1	µg/l	indien metaboliet van pesticiden dan 0,1 µg/l, zie Tabel 'Chemische parameters'.
Gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen	1	µg/l	
Gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen	1	µg/l	
Monocyclische koolwaterstoffen/aromaten	1	µg/l	

NB: Deze kwaliteitseisen zijn bedoeld voor het signaleren van mogelijke verontreinigingen. Wanneer de aangegeven waarde (1 µg/l) wordt gemeten is er geen risico voor de volksgezondheid, maar zal er nader onderzoek plaats vinden. Deze parameters (als groep) zijn bedoeld om de kwaliteit van de bron te bewaken. Het inzetten van multimethoden is een goede mogelijkheid om de meetinspanning te beperken.

