

De belasting van het binnenmilieu door de emissie van vluchtige organische verbindingen uit (bouw)materialen en produkten



Ir. J.F. van der Wal*

Samenvatting

Het gebruik van organische materialen neemt toe en daarmee ook de verontreiniging van de binnenlucht door vluchtige organische verbindingen die vrijkomen uit bouwmaterialen, inrichtingsmaterialen, meubels en consumentenartikelen.

Dit artikel geeft een overzicht van bronnen van emissies, transportmechanismen bij emissies, groepen van materialen en hun emissies, bestaande gezondheidskundige criteria en normen en richtlijnen voor de bepaling van emissies.

Er worden enkele onderzoeksresultaten gepresenteerd.

Tenslotte wordt gepleit voor de ontwikkeling en toepassing van materialen en produkten met geringe emissie, omdat ventilatie niet altijd een adequate oplossing kan zijn.

Summary

The use of organic materials increases, hence also the pollution of the indoor environment by emission of volatiles from building materials, furnishing, furniture and consumer products.

This article gives a survey of emission sources, mass transfer considerations of emissions, groups of materials and their emissions, existing health related criteria and standards and guidelines for the measurement of emissions.

Selected results of research at TNO on emissions are presented.

Finally, the development and the use of low emitting materials and products is recommended, because ventilation is not an adequate solution in all cases.

The pollution of the indoor environment by emission of volatiles from building materials and products

Inleiding

De lucht in binnenruimten wordt in het algemeen verontreinigd door organische verbindingen die vrijkomen uit bouwmaterialen, inrichtingsmaterialen en consumentenartikelen.

De bewoners kunnen invloed uitoefenen op de concentratie van deze verbindingen waaraan zij worden blootgesteld door te ventileren; de bron wordt echter door het ventileren niet weggenomen.

Bestaande ventilatienormen zoals NEN 1087 zijn niet gericht op verlaging van concentraties van vluchtige verbindingen afkomstig uit materialen maar op de bewoners, die metabolieten, vocht en geuren emitteren. Als criterium wordt de kooldioxide (CO₂)-concentratie gehanteerd. Uit vele onderzoeken is vastgesteld dat geen hinder door aanwezigheid van personen wordt ondervonden als ten gevolge van de CO₂-productie in de uitademingslucht van aanwezige personen, de CO₂-concentratie niet stijgt tot boven 1000-1500 ppm. NEN 1087 is gebaseerd op 1200 ppm CO₂.

Door het toenemend gebruik van organisch materiaal in de bouw, de inrichting en in consumentenartikelen vindt een toenemende vervuiling van de binnenlucht plaats door daaruit vrijkomende vluchtige organische verbindingen.

In de tachtiger jaren zijn ook in Nederland een aantal onderzoekprojecten uitgevoerd naar de verontreiniging van het binnenmilieu door onder andere organische verbindingen; hierbij werden concentraties gemeten [1, 2, 3]. Bij onderzoek in gerenoveerde Nederlandse woningen werd gezocht naar relaties met de ventilatie. Relaties met emissiebronnen van organische verbindingen werden kwalitatief aangegeven.

De emissie van formaldehyde uit bouwmaterialen en inrichtingsmaterialen en van organische verbindingen uit houtconserveringsmiddelen (met name pentachloorfenol) is in het bijzonder goed bekend en onderzocht. In Figuur 1 wordt het chromatogram van een luchtmonster van een normale woonruimte getoond. Het blijkt steeds dat er tientallen andere organische verbindingen aanwezig zijn. Alifatische en aromatische koolwaterstoffen, esters, gechlorreerde koolwaterstoffen, alcoholen en ketonen; verbindingen met 2-15 koolstofatomen per molecuul komen steeds voor.

De herkomst is grotendeels terug te

voeren op zich binnenshuis bevindende bronnen. De concentraties zijn doorgaans vele malen groter dan die in de buitenlucht.

Het onderzoek naar de emissie van vluchtige organische verbindingen anders dan formaldehyde en houtverduurzamingsmiddelen is inmiddels internationaal goed op gang gekomen. Dit blijkt ook uit het toenemend aantal publikaties over dit onderwerp. Tijdens het internationale congres "Indoor Air '90" was dit dan ook een belangrijk onderwerp [4].

Ook door TNO-Bouw wordt thans intensief onderzoek naar organische emissies uit materialen verricht in de proefkamer voor chemisch binnenmilieu. In dit artikel wordt een overzicht gegeven van

* TNO-Bouw, Delft
Afdeling Binnenmilieu, Bouwfysica en
Installaties

goedkopere soorten. Anders wordt meestal dioctylfataat (DOP) als weekmaker toegepast.

Deze ester is zo weinig vluchtig dat deze meestal niet in detecteerbare hoeveelheden wordt gevonden. Wel wordt soms 2-ethylhexanol aangetoond, een matig vluchtige alcohol en grondstof van DOP. Deze stof heeft een karakteristieke geur.

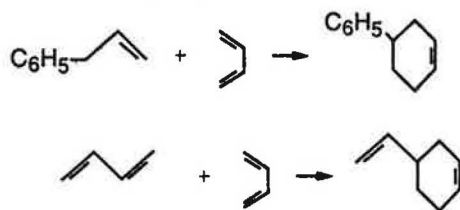
Bij linoleum zijn behalve alkanen en aromaten vetzuren met 2 tot 8 koolstofatomen (azijnzuur - octaanzuur) en hexanal aangetoond.

Textiele vloerbedekking

Emissies uit textiele vloerbedekking (tapijt) zijn afhankelijk van de samenstelling van de tapijtmaterialen. Voor de emissies uit villtapijt (meestal nylon) met een kunststof onderlaag (PVC, polypropreen) is de onderlaag het belangrijkste. Hieruit worden voornamelijk 9-17 koolstofatomen en aromaten met 7-9 koolstofatomen geëmitteerd.

Bij tapijten met een onderlaag van styreen-butadiëenrubber (SBR) zijn de gevonden hoofdcomponenten zwavelkoolstof, zwaveldioxide en alkylamines met 3-6 koolstofatomen.

Bij de toepassing van SBR - ook als hechting van de textielvezellaag met de onderlaag - ontstaan vaak de geurstoffen 4-fenylcyclohexeen (4-PC) en 4-vinylcyclohexeen. Deze verbindingen ontstaan door een Diels-Aldersreactie van styreen met butadiëen, respectievelijk twee butadiëenmoleculen met elkaar (butadiëen en styreen zijn de monomeren van SBR) volgens:



Deze verbindingen worden verantwoordelijk gesteld voor de typische "nieuwe tapijtgeur" [10].

Ook werd door ons in een kantoorgebouw met klachten de verbinding 4-PC aangetoond, evenals bij emissieonderzoek van de in dit gebouw toegepaste tapijtsort.

Textielbekleding

Bij emissieonderzoek van textielbekleding in de vorm van vloerkleden, wandkleden, tafelkleden en decoratief textiel worden steeds vooral alkanen met 6-12 C-atomen en aromaten met 7-11 C-

atomen gevonden (tolueen - C₄-benzeen).

Natte materialen

Verven en lakken

Verven en lakken bevatten drie hoofdcomponenten: oplosmiddelen, nodig om de verf of lak verwerkbaar te maken; bindmiddelen, die zijn organische stoffen die verantwoordelijk zijn voor de filmvorming van een verf of lak en pigmenten en eventuele vulstoffen, die verantwoordelijk zijn voor de kleur en zorgen voor een goede dekking.

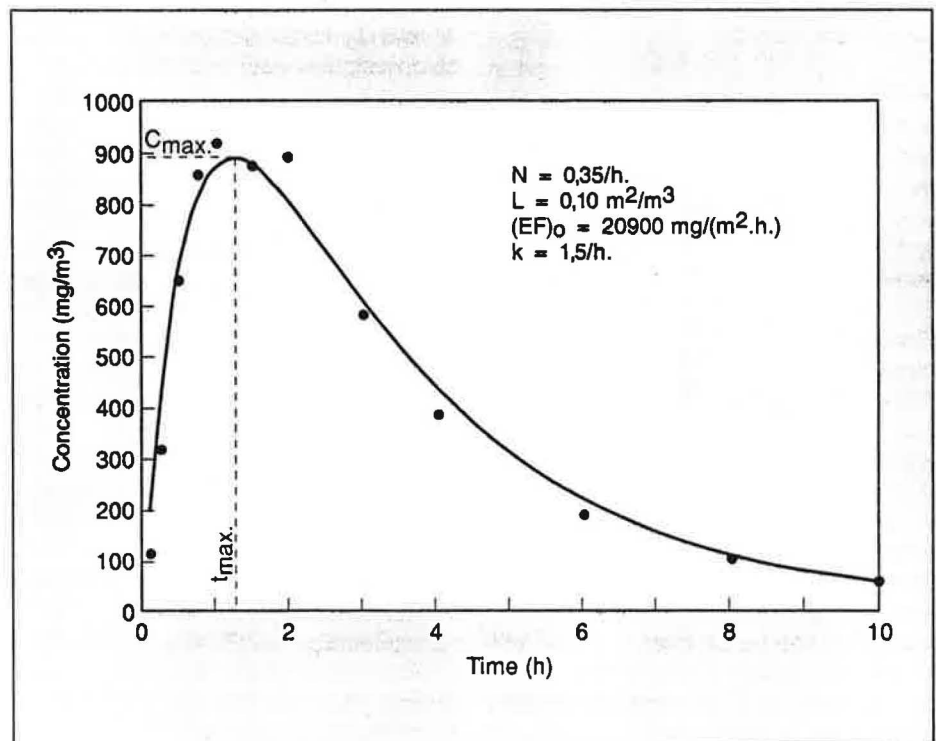
Tijdens en direct na de applicatie van verven en lakken komt het grootste deel van de oplosmiddelen vrij in de lucht door verdamping. Expositie aan hoge concentraties oplosmiddelen is in de eerste plaats een probleem voor de applicateurs (schilders en lakkers).

Figuur 2 geeft het verloop van de totale oplosmiddelconcentratie in een proefruimte weer als functie van de tijd.

in de verfindustrie [11]. Hieruit blijkt het hoogste verbruik dat van white spirit. White spirit, ook wel terpentijn, lakbenzine of peut genoemd, bevat voornamelijk alkanen met 8-11 C-atomen, toluen, xyleen en trimethylbenzeenisomeren. De laatste jaren hebben producten die water als oplosmiddel bevatten en poedercoatings, die in het geheel geen oplosmiddel bevatten meer ingang gevonden. Het gebruik van deze producten is de laatste 5 jaar gegroeid met 10% per jaar en maken thans 25% van het verfgebruik in Europa uit [12], in Nederland zelfs ruim 50% [13]. Verven die water als oplosmiddel bevatten kunnen in drie typen worden onderverdeeld:

- dispersies;
- met water afdunbaar;
- in water oplosbaar.

De dispersies bevatten ook nog organische oplosmiddelen op terpentijnbasis, zij het in veel lagere concentratie. De



Figuur 2. Voorbeeld van concentratieverloop in een proefkamer voor een natte bron (totaal VOC uit houtbeits). Bron: [7].

Kleine emissies uit geverfde of gelakte oppervlakken vinden echter nog geruime tijd na de applicatie plaats. In vrijwel iedere bewoonde ruimte worden oplosmiddelcomponenten gevonden in concentraties die veel hoger zijn dan in de buitenlucht.

In een rapport van het Verfinstituut-TNO van 1981 wordt een overzicht gegeven van de meest gebruikte oplosmiddelen

twee andere typen bevatten meestal ammonia of aminen en daarnaast een met water mengbaar organisch oplosmiddel zoals alcoholen, glycolen en glycolethers.

Bouwlijmen, voegkitten en cementmortel

In het volgende worden de belangrijkste vluchtige organische verbindingen van deze materialen genoemd.

Muurlijm en vloerlijm op waterbasis	alkanen C7-C13 terpenen tolueen, xyleen alcoholen C7-C8
Textiellijm op waterbasis	alkanen, C8-C11 tolueen, aromaten C8-C10 1-noneen
Betonmortel	alkanen C9-C11 tolueen, xyleen, C9-aromaten n-butanol C5-ketonen styreen
<i>Afdichtingskitten</i>	
Polyacrylaat	tolueen, xyleen, ethylacetaat, glycolether- acetaten
Siloconenkit	MEK, 2-butoxyethanol, butanol, tolueen azijnzuur (door ontleding toeslagstof)
Polyurethaan	aromaten
Latex	aromaten, alkanen, 1,1,1-trichloorethaan
"Phenoseal"	butylacetaat, Carbitol, diethyleenglycol- monoethylether
Vinylacryl	ethyleenglycol
Butyl	octaan, octeen, nonaan
Plastic	alkanen C9-C11, aromaten C8-C10
<i>Overige kunststoffen</i>	
Polyetheen en polypropeen	alkanen C5-C18, alcoholen C4-C8, alkenen C6-C18, fenolverbindingen
Zacht PVC	alkanen C10-C15, bifenyl, naftaleen ftalaten
Caoutchouc	terpenen, tolueen, n-decaan

De experimentele opzet is sterk afhankelijk van het doel van het onderzoek. Testcondities worden daarom niet voorgeschreven, behalve voor routinematig onderzoek naar de emissie van materialen.

Deze testcondities zijn:

- Temperatuur = 23°C
- Relatieve vochtigheid = 45%
- Ventilatievoud = 0,5 of 1,0/h
- Belading met testmateriaal: realistisch

bijvoorbeeld:

houtvezelplaten	1,0 m ² /m ³ (emissie van formaldehyde)
vloerbedekking	0,41 m ² /m ³
plafondmaterialen	0,41 m ² /m ³
wandbekleding	0,40 m ² /m ³
deuropervlak	0,11 m ² /m ³
kozijnen	0,012 m ² /m ³
afdichtingskit	0,012 m ² /m ³

Normen en richtlijnen voor emissies en concentraties in het binnenmilieu

In "Zorgen voor Morgen" van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) worden referentiewaarden van chemische componenten voor een "gezond binnenmilieu" vermeld [17]. Deze zijn zoveel mogelijk ontleend aan gepubliceerde gezondheidskundige beoordelingen van stoffen door de overheid. Voor enkele stoffen die niet recent in Nederland zijn beoordeeld is de waarde uit de WHO Air Quality Guidelines genomen [18]. In Tabel 3 worden de waarden voor de vermelde VOC samengevat

In Duitsland kent men voor de emissie van formaldehyde uit spaanplaten een indeling in klassen [19]:

Klasse E1	≤ 0,1 ppm = 120 µg/m ³
Klasse E2	0,1-1,0 ppm = 120-1200 µg/m ³
Klasse E	1,0-2,3 ppm = 1200-2875 µg/m ³

Doel van emissiebepalingen

Zoals uit het voorgaande blijkt kunnen zeer veel bouwmaterialen en andere in binnenruimten toegepaste materialen emissies van VOC veroorzaken. Emissiebepalingen worden gewoonlijk in een proefkamer uitgevoerd.

De volgende doelstellingen zijn mogelijk:

- Screening van produkten op significante VOC-emissies in relatie tot de gezondheid van blootgestelden aan de emissies;
- Onderzoek naar de invloed van omgevingsparameters op de grootte van de emissies, zoals temperatuur, vocht, aantal luchtwisselingen en luchtsnelheid;
- Rangschikking van produkten en soorten produkten naar emissieprofiel (emissiefactoren, specifieke componenten);
- Ondersteuning van veldstudies en bijdrage aan de evaluatie van de binnenluchtkwaliteit in gebouwen (o.a. "sick building syndrome");
- Verzameling van gegevens voor fabrikanten en architecten ter ondersteuning van de keuze van materialen en ontwikkeling van verbeterde produkten (dat wil zeggen met lagere emissie).

norm of richtlijn voor de bepaling van VOC-emissie uit materialen. In Zweden is een voorstel hiertoe gemaakt (Nordtest 706-87 [14]). In het kader van COST Project 613 is een rapport opgesteld betreffende een richtlijn voor de karakterisering van de emissie van VOC uit binnenhuismaterialen en -produkten [15].

De emissie van formaldehyde uit houtvezelprodukten werd in een ander COST-project behandeld [16].

Het rapport geeft richtlijnen voor achtereenvolgens de opbouw en de inrichting van een proefkamer, monsterneming en analyse van de geëmitteerde organische verbindingen, experimentele opzet voor emissie-onderzoek, experimentele procedures, data-analyse en quality assurance/quality control.

Agens	Referentiewaarden	Middelingstijd	Verwijzing
Benzeen	12 µg/m ³	jaar	RIVM, 1987
Formaldehyde	120 µg/m ³	30 min.	GR*, 1984
Dichloormethaan	1700 µg/m ³	24 h	RIVM, 1987
Styreen	800 µg/m ³	24 h	WHO
Tolueen	3000 µg/m ³	24 h	WHO
Tetrachlooretheen	5000 µg/m ³	24 h	WHO
Trichlooretheen	1000 µg/m ³	24 h	WHO
1,2-dichloorethaan	36 µg/m ³	jaar	
Vinylchloride	75 µg/m ³	jaar	

* Gezondheidsraad

Richtlijnen voor emissiebepalingen

Er bestaat thans geen NEN- of CEN-

Tabel 3. Agentia en criteria voor VOC voor het "gezonde binnenmilieu"

De genoemde concentraties zijn de evenwichtsconcentraties in de proefkamer volgens de testmethode beschreven in [16]. De emissie (in $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) is onder testcondities getalsmatig gelijk aan de evenwichtsconcentratie (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Platen met KOMO-keur komen overeen met klasse E1.

Tijdens "Indoor Air '90" werden door drie toonaangevende onderzoekers op het gebied van binnenmilieu voorzetten gegeven voor richtlijnen van concentraties/emissies van VOC. Geen van drieën waren gebaseerd op toxicologische argumenten. Onderling verschilden zij ook sterk qua uitgangspunt.

Seifert (Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlijn) stelde richtwaarden voor concentraties in de binnenlucht van groepen van VOC en totaal VOC (Tabel 4).

Groep verbindingen	Concentratie, Mg/m^3
Alkanen	100
Aromatische koolwaterstoffen	50
Terpenen	30
Gehalogeneerde koolwaterstoffen	30
Esters	20
aldehyden en ketonen (excl. formaldehyde)	20
Andere	50
Totaal VOC	300

Tabel 4. Voorgestelde richtwaarden voor VOC door Seifert.

Als additionele voorwaarde werd gesteld, dat de concentratie van één individuele component nooit meer dan 50% van die van de groep waartoe deze behoort mag bedragen en niet meer dan 10% van de totale VOC-concentratie.

Mølhave (Universiteit Aarhus, Denemarken) stelde voor VOC in te delen in verschillende concentratieklassen:

Totaal VOC	
< 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Geen irritaties of hinder te verwachten.
200-3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mogelijke irritaties of hinder indien interactie met andere factoren aanwezig is.
3-25 mg/m^3	Irritatie of hinder te verwachten.
$\geq 25 \text{ mg}/\text{m}^3$	Bovendien neurotoxische effecten mogelijk (Toxisch gebied).

Tucker (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) maakte een indeling van groepen van *produkten*, die als "low-emitting" worden bestempeld, als zij een bepaalde emissie van totaal VOC niet te boven gaan (Tabel 5).

Materiaal of product	Maximale emissie
Vloerbedekking	0,6 mg/h. per m^2
Vloercoatings *)	0,6 mg/h. per m^2
Wandmaterialen	0,4 mg/h. per m^2
Wandcoatings *)	0,4 mg/h. per m^2
Verplaatsbare afscheidingen	0,4 mg/h. per m^2
Kantoormeubels	2,5 mg/h. per werkplek

*) De coatings (verven, lakken, wassen en andere "natte" materialen), die direct na de applicatie een zeer hoge emissie hebben, worden als "low-emitting" beschouwd indien de emissie binnen enkele uren na de applicatie onder de grenswaarde daalt.

Tabel 5. Indeling van "low-emitting" materialen en produkten (Totaal VOC).

De TNO-proefkamer van binnenmilieu-onderzoek

TNO-Bouw beschikt over een proefkamer voor binnenmilieu-onderzoek, die uitstekend geschikt is voor onderzoek naar emissies uit materialen, produkten en apparaten en die dan ook intensief voor dit doel wordt gebruikt.

De afmetingen van de proefkamer zijn 2,5 x 2,5 x 2,3 m, inhoud 15 m^3 . De kamer is voorzien van een toegangsluis. De wanden zijn gecoat met Teflonfolie, een materiaal waaraan adsorptie van VOC minimaal is. Het is bovendien bestendig tegen corrosieve gassen, zoals zoutzuur, zwaveldioxide en stikstofoxiden. De luchtstroom is instelbaar over een grote range, van circa 10 tot 250 m^3/h (ventilatievoud 0,7-17/h). De temperatuur en de relatieve vochtigheid zijn eveneens instelbaar over een groot bereik, respectievelijk 10-40°C en 20-95%. Te onderzoeken plaatmaterialen worden geplaatst in aluminium houders; vloer- en plaatmaterialen worden met aluminiumtape aangebracht op aluminium platen, die in de aluminium houders worden geplaatst. Aluminium adsorbeert geen VOC (Vluchtige Organische Verbindingen). "Natte" materialen worden eveneens op een aluminium ondergrond aangebracht.

De proefkamer is uiteraard ook voor andere toepassingen geschikt dan voor emissiebepalingen. Zij is voorzien van een doseerinstallatie voor gassen en

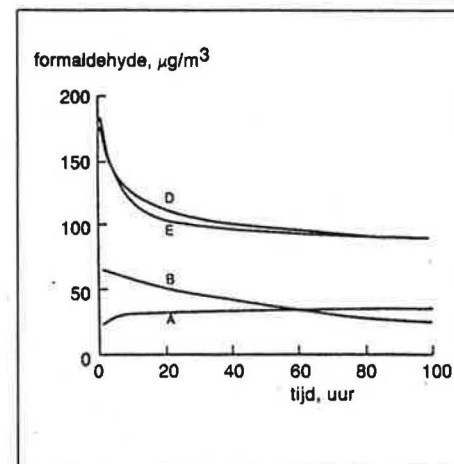
dampen, zodat van zeer vele gassen en dampen een constante concentratie over een breed gebied kan worden ingesteld en gehandhaafd. Men kan zo bijvoorbeeld transportabele filterapparaten onderzoeken of ad/desorptie aan materialen van gassen en dampen. Een scala aan specifieke monitoren om de concentraties te kunnen volgen, is beschikbaar.

Enige onderzoeksresultaten van emissies van voc uit bouwmaterialen en consumentenartikelen [20, 21, 22]

Doe-het-zelfkasten

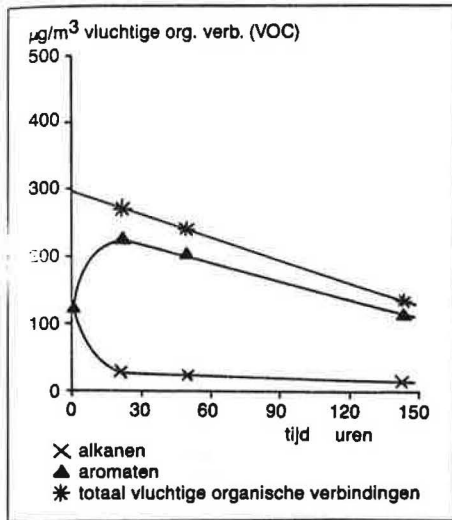
Een marktonderzoek werd uitgevoerd naar goedkope spaanplaatkasten, die als bouw pakket door bouwmarkten worden geleverd. De kasten dienen door de gebruiker zelf te worden gemonteerd. De kasten werden in de proefkamer gemonteerd; tegelijkertijd werden concentratiemetingen gestart van formaldehyde en VOC. Gemeten werd zowel in de luchtuitlaat als in de luchttoevoer van de kamer; het verschil wordt veroorzaakt door emissie uit de kast. De meetmethoden waren colorimetrie (formaldehyde) en adsorptie aan actieve kool en gaschromatografische analyse (VOC). De condities in de proefkamer waren 23°C, ventilatievoud 1/h (ventilatie 15 m^3/h).

In Figuur 4 wordt het verloop van de formaldehydeconcentratie van een vier-tal kasten gegeven. Deze is aanvankelijk soms hoog doch stabiliseert zich op een min of meer constant niveau na enkele dagen. Het is dus niet aan te bevelen dergelijke kasten in een kleine slecht geventileerde ruimte te monteren. Dit dient te gebeuren in een goed geventileerd vertrek, dat ook tenminste het eerste etmaal nog goed moet worden geventileerd.



Figuur 4. Formaldehydeconcentraties veroorzaakt door emissie uit kasten.

Figuur 5 toont het verloop van de concentratie van VOC, die uit alkanen (C7-C14) en aromaten (C7-C9) en terpenen (voornamelijk α -pineen) bestonden. De totale VOC-concentratie daalde van circa 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (het criterium van Seifert) tot de helft in 5 dagen, derhalve een niet te verwaarlozen bron. De bron is vooral de lijm waarmee de witte folie op de spaanplaten is geplakt. De terpenen komen uit het hout.



Figuur 5. Concentraties van vluchtige organische verbindingen veroorzaakt door emissie uit een spaanplaatkast.

Multiplex platen

Er werden vier soorten multiplexplaten gekocht bij drie verschillende bouwmarkten. De dikte was 12 mm; de platen werden ter plaatse op maat gezaagd (200 x 100 cm). In de proefkamer werden vier platen tweezijdig aan lucht blootgesteld (belading 1 m^2/m^3) door plaatsing in aluminium rekken op de dag van de aanschaf. Bepaald werd de emissie van formaldehyde en VOC, die hoofdzakelijk uit terpenen bestonden.

Zoals blijkt uit Tabel 6 is er nogal wat verschil in kwaliteit (wat betreft de grootte van de emissie), hoewel dit niet in de prijs tot uiting kwam.

Platen van type 2 hadden behalve hoge emissies nog andere gebreken; zij waren kromgetrokken en gaven sterk splinters af.

De herkomst was meestal onbekend. Zij worden veelal per schip vanuit het Oost-

Materiaal nr.	1	2	3	4
Formaldehyde, $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	50	720	610	5
Terpenen, $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$	850	710	80	210
Prijs/Plaat f	62	62	72,50	71,50

Tabel 6. Emissie uit multiplex na 24 uur in $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

blok aangevoerd, verdeeld over verschillende distributiecentra en vandaar uit naar de verschillende vestigingen.

Polystyreenschuim

Polystyreen hardschuim (Tempex) werd van twee bouwmarkten betrokken. De levering bestond uit pakketten van zes stuks platen van 100 x 50 x 2 cm. De emissies waren, bepaald 24 uur na uitpakken en opstelling in de proefkamer:

	Type 1	Type 2
Styreen	180	5
Ethyleenbenzeen	55	13
Overige aromatische koolwaterstoffen	35	10

Tabel 7. Emissie uit Polystyreenschuim na 24 uur in $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

De karakteristieke geur van styreen, duidelijk waarneembaar bij het uitpakken, was na 24 uur verdwenen.

Tapijttegels met PVC-rug

In een woninginrichtingszaak werden twee (goedkope) soorten tapijttegels met PVC-rug gekocht (afmetingen 0,5 x 0,5 m).

Zij werden in de proefkamer op de vloer gelegd (los, zonder lijm), waarna de VOC-concentratie in de tijd werd gevolgd.

Zij bleken een aanzienlijke emissie van alkanen te vertonen, die moest worden toegeschreven aan de onderlaag. De emissie was ook na een week nog aanzienlijk (Tabel 8).

Zoals verwacht kan worden is de snelheid waarmee de emissie afneemt onder andere afhankelijk van de vluchtigheid van de componenten. Hoe vluchtiger de component, hoe snel-

	na 1x24 h	na 2x24 h	na 7x24h
Type 1			
n-alkanen (C9-C17)	1800	1500	1300
i-alkanen (C9-C17)	2600	2000	1300
aromatische koolwaterstoffen (C7-C9)	220	130	80
Type 2			
n-alkanen (C8-C14)	750	750	250
i-alkanen)	310	240	90
aromatische koolwaterstoffen (C7-C9)	100	60	30

Tabel 8. Emissie uit tapijttegels in $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

ter de afname. Het treft men dit worden gedemonstreerd bij een homologe reeks van verbindingen, zoals n-alkanen. In Figuur 6 worden de in de proefkamer gemeten concentraties van de individuele n-alkanen als functie van de expositieduur aan de lucht weergegeven voor type 1. De concentraties werden weergegeven als fracties van de initiële concentraties (circa 2 uur na uitpakken en uitleggen in de kamer). Terwijl de concentraties van de meer vluch-

tige componenten n-decaan, n-undecaan en n-dodecaan na een week zijn gedaald tot minder dan 20% van de beginconcentratie, nemen die van de minst vluchtige componenten nog steeds toe! In Toronto, Indoor Air '90 werd vermeld dat het wel drie weken kan duren eer het maximum wordt bereikt.

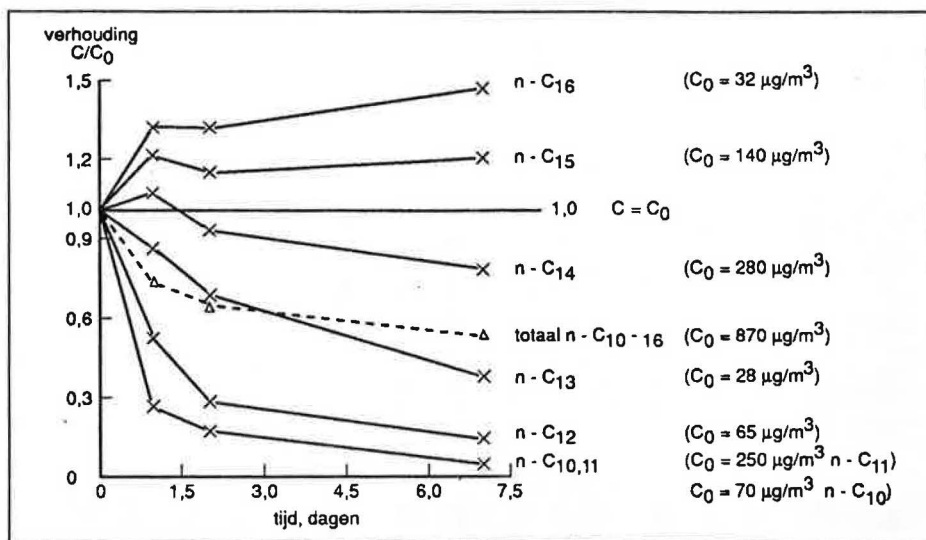
Ook bij andere materialen werd dezelfde trend gevonden namelijk, dat de emissies van de meer vluchtige verbindingen sneller afnemen. Echter, er zijn grote verschillen voor dezelfde componenten in verschillende materialen.

Emissie van VOC en geur uit materialen

Er werd één plaatmateriaal - een spaanplaat van matige kwaliteit - behalve op emissie van formaldehyde en VOC ook op geuremissie onderzocht. Voor de methodiek van de geurbepa-

ling wordt verwezen naar [23]. Doel was na te gaan of er relaties tussen geurintensiteit en concentraties van gemeten componenten waren te vinden. Dit bleek niet het geval te zijn, zoals ook meestal uit de uitkomst bleek bij andere onderzoeken.

In de nabije toekomst zal nader onder-



Figuur 6. Concentraties (C) van n-alkanen afkomstig van tapijttegels type 1 als fractie van de beginconcentratie (C₀) in de kamer.

zoek worden uitgevoerd volgens de nieuwe methode van Fanger, waarbij de luchtkwaliteit wordt geëvalueerd met behulp van een klein panel, bestaande uit getrainde personen [24].

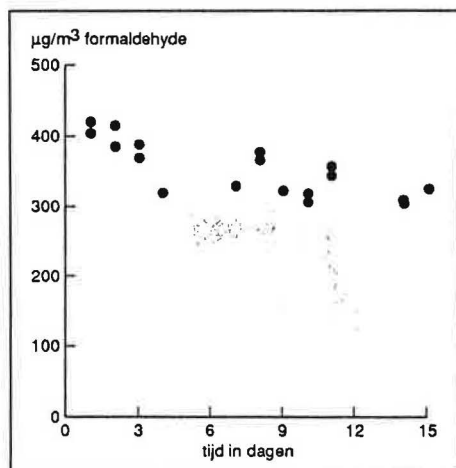
De geurconcentratie nam gedurende de eerste twee dagen af met een factor 3 en stabiliseerde zich vervolgens op dit niveau.

De formaldehydeconcentratie daalde gedurende de eerste week van 410 µg/m³ tot 320 µg/m³ en stabiliseerde zich op dit niveau.

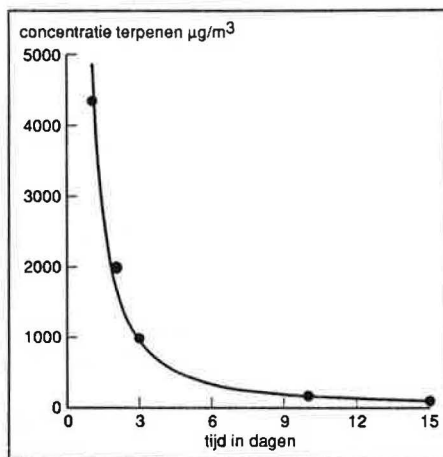
De concentraties van de terpenen nam voortdurend af en was na 15 dagen nog slechts 2% van die na één dag.

(Zie Figuur 7 en 8 voor het verloop van de concentraties.)

Formaldehyde, dat zich nog enigszins vergelijkbaar gedroeg als de geur, heeft echter nauwelijks een geur op dit niveau; het heeft wel een irriterende werking. De terpenen die wel een geur bezitten waren na twee weken vrijwel verdwenen, terwijl de geur stabiel bleef.



Figuur 7. Verloop van de formaldehydeconcentratie ten gevolge van emissie uit EG-spaanplaat 3.



Figuur 8. Concentratieverloop van terpenen geëmitteerd uit EG-spaanplaat 3. Best passende vergelijking van de curve: $C = 4867 t^{-1,49}$ $R = 0,97$.

Toetsing van de emissies

Het is interessant om de bovenbesproken voorbeelden van emissies uit materialen te toetsen aan de uitgangspunten van Seifert, Mølhave en Tucker. Bij de twee eerstgenoemde wordt aangenomen dat er geen andere bronnen van

VOC in het vertrek aanwezig zijn en dat de testcondities representatief zijn voor een woonconditie.

De beoordeling betreft VOC; formaldehyde wordt afzonderlijk beoordeeld (grenswaarde 120 µg/m³ voor concentratie en 120 µg/(m².h) voor emissie). Als formaldehyde wordt geëmitteerd, is dit een factor die mede irritatie veroorzaakt (Mølhave), zie tabel 9.

Het criterium van Seifert is duidelijk veel strenger dan dat van Mølhave en Tucker.

Emissies – hoe houden wij deze binnen de perken?

Sinds de oliecrisis van 1973 is uit oogpunt van energiebesparing de warmteisolatie en de kierdichtheid van gebouwen sterk verbeterd. Dit kan om twee redenen leiden tot verhoogde concentraties van organische (en andere) verbindingen in het binnenmilieu. Enerzijds door de introductie van materialen waaruit vluchtige verbindingen worden geëmitteerd, anderzijds door verminderde ventilatie, waardoor concentraties van bestaande bronnen worden verhoogd. Vooral in de winter wanneer bewoners de ramen gesloten houden, of in gebouwen met een installatie, waar lucht wordt gerecirculeerd (en waarbij de ramen vaak niet kunnen worden geopend!) kunnen problemen ontstaan met de luchtkwaliteit.

Ventilatie is een middel om concentraties van verbindingen die door bronnen in binnenruimten worden geëmitteerd, te verlagen (aangenomen dat de ventilatielucht schoner is dan de binnenlucht, hetgeen in Nederland meestal het geval is).

Soms wordt in woningen een mechanisch gebalanceerd ventilatiesysteem met warmteterugwinning aangebracht. Dit is uit oogpunt van milieu een verbetering ten opzichte van isolatie alleen: het ventilatieniveau blijft op peil terwijl energie wordt bespaard. Dit is echter

Materiaal	Beoordeling		
	Seifert	Mølhave	Tucker
DHZ kast	te hoog	1e 4 dagen irritaties mogelijk	low emitting
Tapijttegels 1	veel te hoog	te hoog	te hoog
Tapijttegels 2	te hoog	irritaties mogelijk mits andere factoren	na 4 dagen 'low emitting'
EG-spaanplaat	veel te hoog	eerste week irritaties mogelijk	low emitting na 5 dagen
Tempex 1 (24 h)	te hoog	irritaties mogelijk	low emitting
Tempex 2 (24 h)	toelaatbaar	geen irritaties	low emitting

Tabel 9. Voorbeelden getoetst aan de uitgangspunten van Seifert, Mølhave en Tucker.

een extra investering, die nog sporadisch wordt toegepast. Bij onjuiste inregeling en/of slecht onderhoud gaat het gunstige effect weer grotendeels verloren [2, 25]. Ook kan het effect tegenvallen omdat de installatie om financieel-technische redenen te krap is uitgevoerd [3, 25].

Tenslotte kan bewonersgedrag het effect weer teniet doen, doordat bewoners bijvoorbeeld de ventilator in de laagstand zetten vanwege lawaaihinder, terwijl een hoge stand gewenst is [3, 25].

Effectiever is de sterkte van de bronnen van VOC te minimaliseren (bestrijding aan de bron). Dit kan worden bereikt door de ontwikkeling en toepassing van laag-emitterende materialen. Deze kunnen bij voldoen aan (nog nader vast te stellen) criteria van een keurmerk worden voorzien.

Voor emissie van formaldehyde bestaan deze al (grenswaarde van 120 µg/m³ en KOMO-keur voor houtvezelplaten).

Voor andere organische emissies moet nog veel werk worden verzet.

Een gunstig voorbeeld is de ontwikkeling van waterafdonbare verven, die een aanzienlijk geringere emissie hebben dan verf op terpentinebasis (waardoor ook de expositie van de schilder aan organische oplosmiddeldampen aanzienlijk geringer is!).

Gebruik van (niet-toxische!) anorganische materialen kan ook mogelijk een oplossing zijn. Bijvoorbeeld het gebruik van gipsplaten (zonder radonemissie!) in plaats van spaanplaten.

Referenties

- [1] Lebret, E.
Air pollution in Dutch homes - an exploratory study in environmental epidemiology Thesis, Wageningen, 1985.
- [2] Wal, J.F. van der, A.M.M. Moons, H.J.M. Cornelissen
Oriënterend onderzoek naar de binnenluchtkwaliteit van gerenoveerde woningen in Rotterdam
Klimaatbeheersing 17 (1988), 5, 177-185.
- [3] Wal, J.F. van der, J.E.F. van Dongen, H.J.M. Cornelissen, A.M.M. Moons, R. Steenlage
Onderzoek naar binnenluchtkwaliteit van gerenoveerde woningen te 's Hertogenbosch
MTTNO Rapport R 88/253c, 1989.
- [4] Indoor Air '90
Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate
Toronto, 29 July - 3 August 1990.
- [5] Commission of the European Communities
Strategy for sampling chemical substances in indoor air
COST Project 613, Report no. 6, 1989.
- [6] Schriever, E., R. Marutzky
Geruchs- und Schadstoffbelastung durch Baustoffe in Innenräumen.
Ein Literaturstudie
WKI- Bericht Nr. 24, 1991.
- [7] Tichenor, B.A.
Indoor Air Sources: using small environmental test chambers to characterize organic emissions from indoor materials and products
EPA Report Nr. 600/8-89-074, August 1989.
- [8] Wal, J.F. van der
Minerale wol als bron van luchtverontreiniging
MTTNO Rapport R 87/035, 1987.
- [9] Wal, J.F. van der, A.M.M. Moons, R. Steenlage
Thermal insulation as a source of air pollution
Environment International 15 (1989), 409-412.
- [10] Schröder, E., H. Klingenberger
Abhängigkeit der chemischen Zusammensetzung der Emissionen SBR-Beschichteter Textiler Bodenbelade von der Compoundierung und von der Produktionsbedingungen
Deutsches Teppich-Forschungsinstitut, Aachen, Rapport AIF-Nr. 6805, 1988.
- [11] Doorgeest, T.
Het grondstoffenverbruik van de Nederlandse verfindustrie en enige milieuhygiënische consequenties
Verfinstituut-TNO Rapport nr. V-81-V, 1981.
- [12] Boer, A. de
Groene golf in lakken
Ingenieurskrant 12, 8-9, 1991.
- [13] Kaaden, R. van der
Inventarisatie milieu-aspecten voor de bouw met betrekking tot het materiaal verf
CPM-TNO rapport nr. 041/91, 4 maart 1991.
- [14] NORDTEST
Building materials, emission of volatile compounds, chamber method
Report Nr. 706-87, 1987.
- [15] Commission of the European Communities
Guideline for the characterization of volatile organic compounds emission from indoor materials and products using small test chambers
COST Project 613, Report Nr. 8, 1990.
- [16] Commission of the European Communities
Formaldehyde emission from wood-based materials: guideline for the determination of steady state concentrations in test chambers
COST Project 613, 1989.
- [17] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
Zorgen voor Morgen - Nationale Milieuverkenning 1985-2010
Samson H.D. Tjeenk-Willink, Alphen a/d Rijn, 1988.
- [18] World Health Organization
Air Quality Guidelines for Europe
WHO regional publications, Copenhagen, 1987.
- [19] ETB-Richtlinie 1980: Richtlinie über die Verwendung von Spanplatten hinsichtlich der Vermeidung unzumutbarer Formadehydkonzentrationen in der Raumluft
(Fassung April 1980)
Ausschuss für einheitliche Technische Baubestimmungen (ETB)
Beuth-Verlag Berlin, 1980.
- [20] Wal, J.F. van der, R. Steenlage
Onderzoek naar de emissie van potentieel toxische verbindingen uit consumentenartikelen
TNO Rapport MT R 89/490a, 1990.
- [21] Wal, J.F. van der
Onderzoek naar de emissie van vluchtige organische verbindingen uit materialen
TNO Rapport BIW 91-007, 1991.
- [22] Wal, J.F. van der, R. Steenlage, A.W. Hoogeveen
Measurement of organic compound emissions from chamber products in a walk-in test chamber
Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 3, p. 611-615
Toronto, 29 July - 3 August 1990.
- [23] Walpot, J.I.
Measuring odours
Proceedings of the 8th World Clean Air Congress, Vol. 1, p. 139-144, Sept. 1989.
- [24] Bluysen, P.M.
Het evalueren van de luchtkwaliteit met behulp van getrainde personen
Klimaatbeheersing 20, nr. 5 (1991), 153-158.
- [25] Wal, J.F. van der, A.M.M. Moons, H.J.M. Cornelissen
The indoor air quality in renovated Dutch homes
Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 2, p. 441-446
Toronto, 29 July - 3 August 1990.