

TNO-publikatie
P-94-007
mei 1994

BRONNEN VAN EMISSIES VAN VLUCHTIGE ORGANISCHE STOFFEN IN HET BINNENMILIEU

Auteurs: Ir. J.F. van der Wal
Mw. A.W. Hoogeveen
Ing. P. Wouda
TNO-Bouw
Afdeling Binnenmilieu, Bouwfysica en
Installaties

Voor: TVVL Magazine

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

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO



SAMENVATTING

In dit artikel worden enkele belangrijke factoren die invloed hebben op emissies van vluchtige organische verbindingen (VOC = volatile organic compounds) uit bouw- en inrichtingsmaterialen en produkten en concentraties die zich als gevolg van deze emissies in een binnenruimte instellen besproken. Behandeld worden de modelering van het emissieprofiel - de emissie als functie van de tijd - en de invloed van de temperatuur op emissies uit materialen. Tevens wordt de huidige stand van zaken betreffende richtlijnen en grenswaarden voor VOC gegeven.

SUMMARY

Some parameters having a major influence on the emission of volatile organic compounds (VOC) released from building materials, furnishing and consumer products and on concentrations in indoor environments caused by these emissions are discussed. Subjects are the modeling of the emission profile (the emission as a function of time), and the influence of temperature on emissions. The actual situation on guidelines is also discussed.

INLEIDING

In een eerder artikel (Klimaatbeheersing februari 1992) werd een overzicht gegeven over de belasting van de binnenlucht met vluchtige organische verbindingen ten gevolge van emissie uit materialen en produkten [1]. Sindsdien is veel onderzoek verricht en de kennis toegenomen. In dit artikel worden nieuwe inzichten en kennis besproken.

Emissiebronnen van VOC in het binnenmilieu kunnen zijn:

Bouwmaterialen

Verven en lakken

Hardboard

Minerale wol (isolatie)

Polystyreenschuim (isolatie)

Bitumen (dakbedekking)

Hout

Spuitwerk wanden en plafonds

Behang

Plinten

Electriciteitsleidingen

Kitten

Afdichting

Inrichting

Verven en lakken

Vloerbedekking

Vloerlijm

Woningtextiel

Spaanplaat (betimmering)

Meubilair

Consumentenartikelen

Apparaten (TV-toestellen, computers, stofzuigers, etc.)

Schoonmaakmiddelen

Cosmetische artikelen

Hobbyartikelen

Activiteiten in huis

Koken

Roken

Doe-het-zelf activiteiten

Enz.

In verschillende databanken worden veel emissiegegevens vermeld die ooit eens op een niet nader aangegeven tijdstip gemeten zijn. Er is inmiddels algemeen het inzicht ontstaan dat het presenteren van emissiegegevens zonder tevens het tijdsprofiel (het verloop in de tijd na de produktie of de installatie) te geven weinig zin heeft. Op een enkele uitzondering na - een van de weinige bekende is de emissie van formaldehyde uit plaatmaterialen - neemt de emissie uit materialen af in de tijd. Dit betekent dat in een ruimte nimmer een "steady state" situatie kan ontstaan. Als alle parameters die de concentratie beïnvloeden constant worden gehouden neemt de concentratie voortdurend af in de tijd.

Er is nog weinig bekend over de invloed van de temperatuur op het emissieprofiel. De bepaling van emissies geschiedt in een proefkamer bij een ingestelde standaardtemperatuur, meestal 23 °C.

Grenswaarden en richtlijnen zijn sinds de internationale conferentie Indoor Air '90 in Toronto niet veel verder ontwikkeld.

In het artikel wordt de huidige stand van zaken van de bovengenoemde vier aspecten nader besproken. Er worden tevens eigen onderzoekresultaten gepresenteerd.

EMISSIONS VAN VOC'S ALS FUNCTIE VAN DE TIJD

Het blijkt dat het meest toegepaste model - tevens het eenvoudigste model - het eerste orde exponentiele model is.

Dit model gaat uit van de volgende aannamen:

- * verwaarlozing van sorptieeffecten en dampspanningseffecten;
- * ideaal gemengde ruimte;
- * eerste orde proces.

In formule:

$$E = E_0 \cdot e^{-kt} \quad (1)$$

waarin E = emissie op het tijdstip t , $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$

E_0 = emissie op tijdstip $t = 0$

k = eerste orde snelheidsconstante (decay constante), h^{-1}

t = tijd, h

Voor de concentratie in een ruimte kan met behulp van vergelijking (1) en de massabalans worden afgeleid:

$$C = L \cdot E_0 \cdot (e^{-kt} - e^{-Nt}) / (N - k) \quad (2)$$

waarin C = concentratie, $\mu\text{g}/\text{m}^3$

t = tijd na aanbrengen bron in ruimte

($C = 0$ bij $t = 0$)

L = belading met emitterend materiaal, m^2/m^3

N = ventilatievoud, h^{-1}

Bij droge materialen wordt de emissiesnelheid bepaald door de diffusie van het materiaal naar de lucht. Bij natte materialen (verf, was, lak, kit) wordt de emissie aanvankelijk bepaald door de verdamping aan het oppervlak en is dan relatief groot, orde grootte tientallen tot meer dan 1000 $\text{mg/m}^2\text{h}$. Als het materiaal opdroogt ontstaat een vaste bovenlaag en wordt de emissiesnelheid bepaald door de diffusie door de bovenlaag naar de lucht. De emissiesnelheid is dan orden van grootte kleiner en vergelijkbaar met die van droge materialen.

Bij droge materialen is de snelheidsconstante k (orde grootte $0,001 - 0,01 \text{ h}^{-1}$) doorgaans veel kleiner dan het ventilatievoud N ($0,1 - 10 \text{ h}^{-1}$). Bij natte materialen is de snelheidsconstante wel hoog, doch deze periode beperkt zich tot enkele tot tientallen uren. Deze periode is van belang voor de applicateurs (schilder, bouwvakker, enz.) ; dit is het terrein van de arbeidshygiene. Voor de bewoner is deze periode van minder belang (behalve als doe-het-zelver). Ook bijv. bij een beoordeling van een gebouw bij oplevering zullen nog natte materialen geen rol van betekenis spelen.

Na een periode van enkele uren is vergelijking (2) (bij constante temperatuur) te vereenvoudigen tot:

$$C = L \cdot E_0 \cdot e^{-kt} / N \quad (3)$$

In veel gevallen volstaat dit model om concentraties te kunnen voorspellen.

In Tabel 1 wordt een selectie van de verzamelde gegevens verkregen uit eigen onderzoek gepresenteerd. In Tabel 2 uit gepubliceerd ander onderzoek, waarbij uit vermelde emissiegegevens E_0 en k werden berekend (voor zover niet gebeurd).

De emissies werden doorgaans bepaald bij 23°C en een relatieve vochtigheid van 45 of 50 %.

Tabel 1. *Toepassing van het 1e orde model op door TNO bepaalde emissies uit materialen [2].*

Materiaal	Component(en)	E_0 , $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$	k , dagen^{-1}
Tapijttegels type A	n-propylbenzeen	14	0,154
	ethyltolueen isom.	74	0,162
	trimethylbenzeen is.	116	0,155
	n-alkanen	1770	0,046
	iso-alkanen	2690	0,106
	totaal VOC	4600	0,079
Tapijttegels type B	tolueen	56	0,148
	xyleen isomeren	23	0,226
	trim.benz.isomeren	19	0,103
	n-alkanen	370	0,203
	iso-alkanen	995	0,195
	totaal VOC	1475	0,196
EG-spaanplaat serie 3	formaldehyde	406	0,0179
	α -pineen	2160	0,288
	β -pineen	996	0,298
	terpeen $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$	138	0,288
	terpeen $\text{C}_{15}\text{H}_{24}$	102	0,114
	limoneen	86	0,216
	tot.terpenen	3390	0,269

Tabel 2. *Selectie van emissiegegevens gepresenteerd tijdens Indoor Air '93 te Helsinki. Proceedings Volume 2 [3].*

Materiaal	E ₀ , µg/m ² .h	k, h ⁻¹	Referentie
<u>Tapijt</u> (SBR *) hoofdcomponenten styreen en 4-PC*	483 (VOC) 352 (VOC)	0,035 (50 l) 0,024 (26 m ³)	Black e.a. p.403 USA
Tapijt (geen SBR) hoofdcomponenten azijnzuur en trime- thylpentaan	698 VOC 687 VOC	0,013 (50 l) 0,016 (26 m ³)	Black e.a. p. 403 USA
<u>Behangsoorten</u> Papierbasis Duplex Bedrukt Vinyl blown Vinyl expanded Vinyl glad Vinyl prepasted Vinyl op katoen	946 VOC 88 VOC 272 VOC 622 VOC 1925 VOC 27800 VOC 168 MEK *) 1610 VOC 53000 VOC 2130 MEK *)	0,141 0,0152 0,0591 0,0143 0,0315 0,0514 0,0443 0,0639 0,0330 0,0703	De Bortoli e.a. p. 413 JRC/Ispra Italie
<u>PVC-vloerbedek- king</u> A1 B1 B2 B3 C1 D1 E1 E2 F1	VOC 5950 775 1950 240 30250 8900 5450 5500 2250	k,dag ⁻¹ 0,0177 0,0286 0,0317 0,0290 0,0396 0,0088 0,0314 0,0488 0,0125	Bremer e.a p.419 Duitsland
<u>Verf op waterbasis</u> op: vensterglas gipsplaat behang op gips	11450 VOC 9625 VOC 21680 VOC	k, h ⁻¹ 0,0236 0,0255 0,0397	Gehrig p. 431 Zwitserland

*) MEK = methylethylketon (butanon)

SBR = styreen-butadiëenrubber

4-PC = 4 -fenylcyclohexeen

JRC = Joint Research Centre

Uit het model en de gegevens van Tabel 1 en 2 kan worden berekend hoe lang het duurt voordat de concentratie in een ruimte tot onder een bepaalde waarde gedaald is.

Dit is gedaan voor de in Tabel 1 en 2 genoemde materialen voor een VOC-concentratie van 500 en 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ totaal VOC (geen grenswaarden met enige wettelijke basis overigens) en de volgende aannamen:

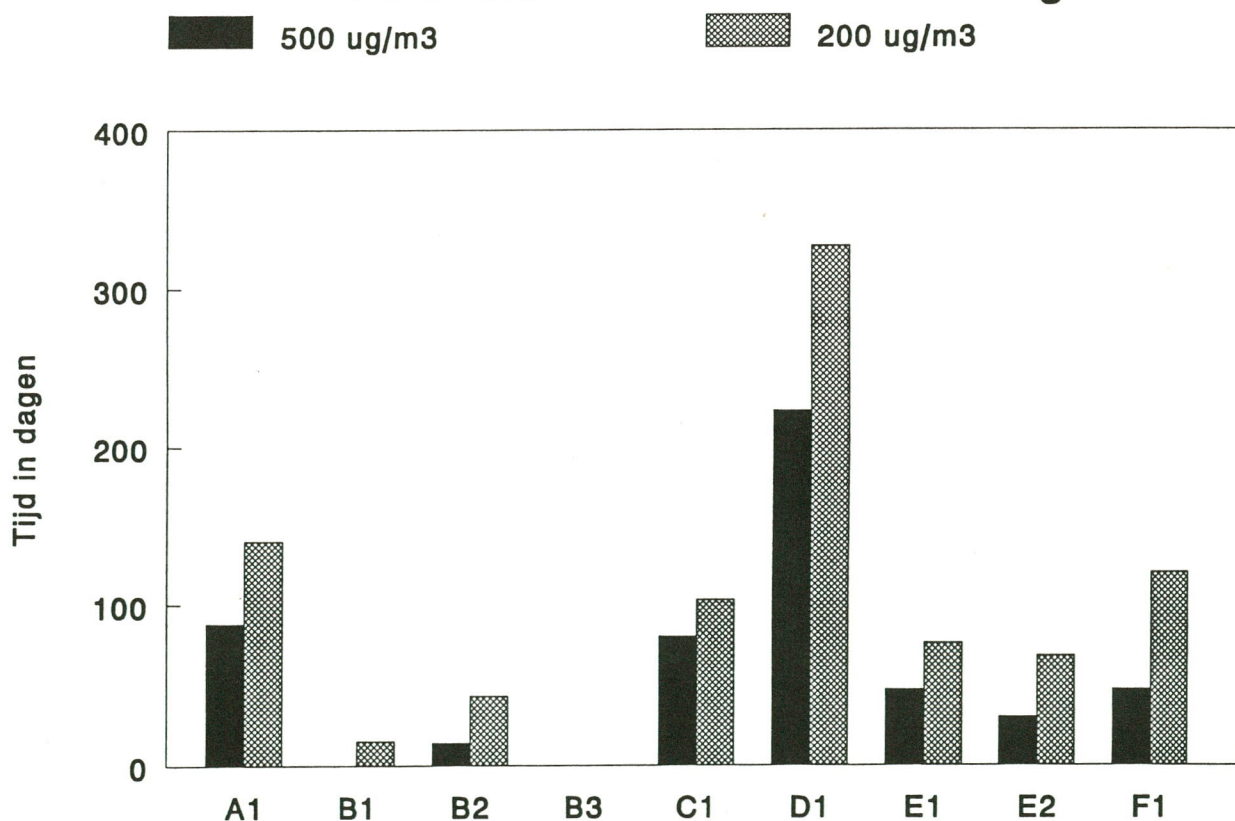
Belading $L = 0,4 \text{ m}^2/\text{m}^3$ voor vloerbedekking en $1,0 \text{ m}^2/\text{m}^3$ voor de overige materialen;
Ventilatievoud $1,0 \text{ h}^{-1}$.

Tabel 3. Berekende tijden nodig voor overschrijding van 500 en 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Materiaal	Tijd 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Tijd 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NL Tapijttegels A Tapijttegels B EG spaanplaat 3	16,5 dag 20 h 7 dagen	28 dagen 5,5 dag 10,5 dag
US tapijt SBR tapijt geen SBR	0 0	0 0
JRC behang-papier behang-Duplex behang-bedrukt behang-vinyl blown behang-expanded behang-glad behang-prepasted behang op katoen	4,5 h 0 0 3,5 h 43 h 78 h 18 h 141 h	8,5 h 0 20 h 79 h 3 dagen 4 dagen 33 h 7 dagen
D PVC-vloerbedekking A1 B1 B2 B3 C1 D1 E1 E2 F1	88 dagen 0 14 dagen 0 80 dagen 223 dagen 47 dagen 30 dagen 47 dagen	140 dagen 15 dagen 43 dagen 0 103 dagen 327 dagen 76 dagen 68 dagen 120 dagen
CH Verf op waterbasis op vensterglas op gips op behang en gips	5,5 dag 4,8 dag 4 dagen	7 dagen 6,5 dag 5 dagen

Uit Tabel 3 blijkt dat de "wachtijden" sterk variëren per produkt. Er blijkt bijvoorbeeld bij het duitse onderzoek naar PVC vloerbedekking dat er grote kwaliteitsverschillen per type zijn (Figuur 1). De wachttijd voor $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ varieert van nihil voor produkt B3 tot bijna een jaar voor produkt D1. Met andere woorden het produkt kan zeer sterk en langdurig emitterend zijn maar kan ook als laagemitterend produkt worden geleverd.

Tijd waarna concentratie is gedaald VOC uit PVC vloerbedekking



Figuur 1. *Tijd waarna concentratie van VOC afkomstig uit PVC vloerbedekking is gedaald tot resp. 500 en $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$.*

Emissies worden gewoonlijk onder standaardcondities bepaald, voor de temperatuur is gekozen (in EG-verband en door o.a. Environment Protection Agency , EPA, USA) 23 °C.

Het is bekend dat de emissie sterk temperatuurafhankelijk kan zijn. De processen die een rol spelen bij emissies uit materialen - diffusie in het materiaal, desorptie uit het materiaal en verdamping aan het oppervlak naar de langsstromende lucht nemen alle drie kwantitatief toe met de temperatuur [1]. Getracht is door verhoging van de temperatuur in nieuwe gebouwen de emissies te versnellen en zodoende bij oplevering lagere concentraties te bereiken ("uitbakken" van gebouwen). Het succes was wisselend.

De temperatuur van materialen kan door zoninval aanzienlijk hoger worden dan 23 °C. Bij donkergekleurde vloerbedekking kan de temperatuur oplopen tot 50 °C. Ook bij toepassing van vloerverwarming kan de temperatuur van vloerbedekking aanzienlijk oplopen.

In de literatuur zijn weinig kwantitatieve gegevens over de invloed van de temperatuur op de emissie uit materialen te vinden.

Bij TNO-Bouw is verkennend onderzoek gedaan naar de invloed van de temperatuur op emissies van VOC uit materialen. In het volgende worden drie voorbeelden gegeven.

Voorbeeld 1

Het eerste voorbeeld betreft een PVC vloerbedekking uit een woning waar stankklachten werden geuit. Het materiaal bleek een aanzienlijke emissie van 2-ethylhexanol te hebben, een weinig vluchtige alcohol met een irriterende geur, die de klachten veroorzaakte. Deze verbinding is aanwezig als verontreiniging van de weekmaker 2-ethylhexylftalaat en kan tevens ontstaan door ontleding onder invloed van vocht en hoge pH (zoals vochtig beton) volgens:



Op het laboratorium werd de invloed van de temperatuur op de emissie van 2-ethylhexanol uit een PVC vloerbedekking onderzocht. Het onderzochte temperatuurtraject lag tussen 23 en 50 °C. Het concentratieverloop werd gedurende enkele weken gevolgd.

Het bleek dat ook in dit geval de emissie sterk toeneemt met de temperatuur. Na 14 dagen was de emissie nog steeds hoger bij hogere temperatuur. Aan het eind van de proef bij 30 °C werd de temperatuur verlaagd van 30 tot 23 °C en de concentratie nogmaals gemeten. Het bleek dat deze vrijwel gelijk was aan die in de ruimte werd gemeten die gedurende de gehele periode op 23 °C was gehouden. In dit geval had het "uitbakken" dus geen effect gesorteerd.

Dit wijst er op dat voortdurend nieuwe verontreiniging wordt gevormd door een chemische reactie.

De emissie is bij 30 °C een factor 3 groter dan bij 23 °C, zowel bij het nieuwe materiaal als na 2 weken. Dergelijke kennis kan worden ingebracht in concentratievoorspellende modellen en het ontwikkelen van formules of keuze uit formules die als instrument kan worden gebruikt bij het stellen van voorschriften aan bouwwerken of ruimten. De uitvoering van de bepaling emissie van 2-ethylhexanol bij verschillende temperatuur was als volgt.

De testruimte was een exsiccator met een inhoud van 6,3 liter. Er werd ca 6 liter/h gefiltreerde (kool) lucht door de exsiccator geleid, ventilatievoud ca 1 h⁻¹.

In de exsiccator werd een stukje vloerbedekking van 15 * 15 cm, oppervlak 225 cm² geplaatst; dit komt overeen met een belading van 3,57 m²/m³.

De emissies worden berekend uit de concentraties door deze te delen door 3,57. De gemeten concentraties worden weergegeven in figuur 2.

De gemeten concentraties werden omgerekend op emissies en gefit in het 1e orde exponentiële model. Het resultaat is:

$$23\text{ °C: } E_0 = 104\text{ }\mu\text{g/m}^2\cdot\text{h; } k = 0,00177\text{ h}^{-1}$$

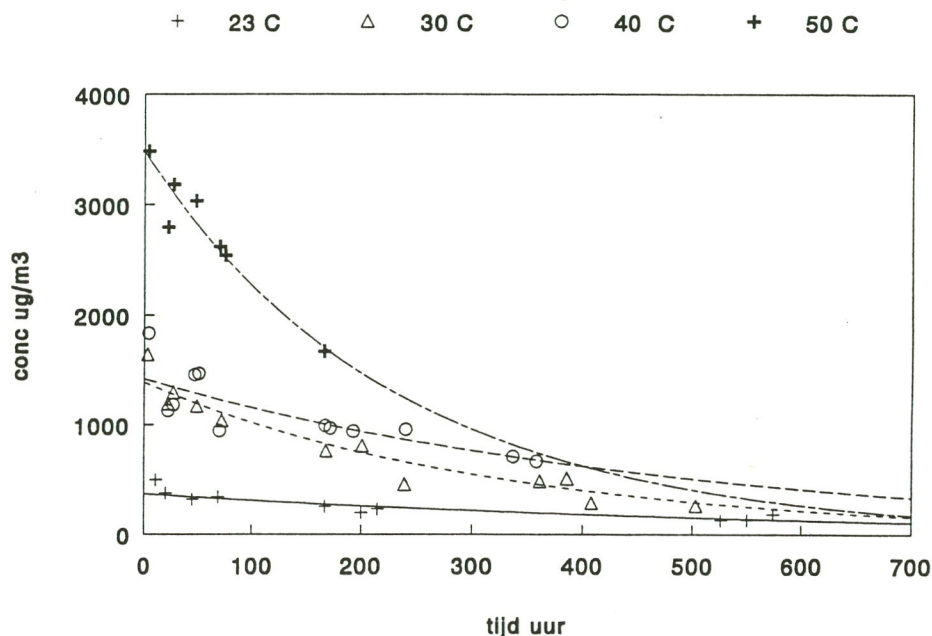
$$30\text{ °C: } E_0 = 389\text{ }\mu\text{g/m}^2\cdot\text{h; } k = 0,00331\text{ h}^{-1}$$

$$40\text{ °C: } E_0 = 398\text{ }\mu\text{g/m}^2\cdot\text{h; } k = 0,00207\text{ h}^{-1}$$

$$50\text{ °C: } E_0 = 975\text{ }\mu\text{g/m}^2\cdot\text{h; } k = 0,00430\text{ h}^{-1}$$

In figuur 2 worden de gefitte functies tevens weergegeven.

2-ethylhexanol uit PVC vloerbedekking invloed temperatuur



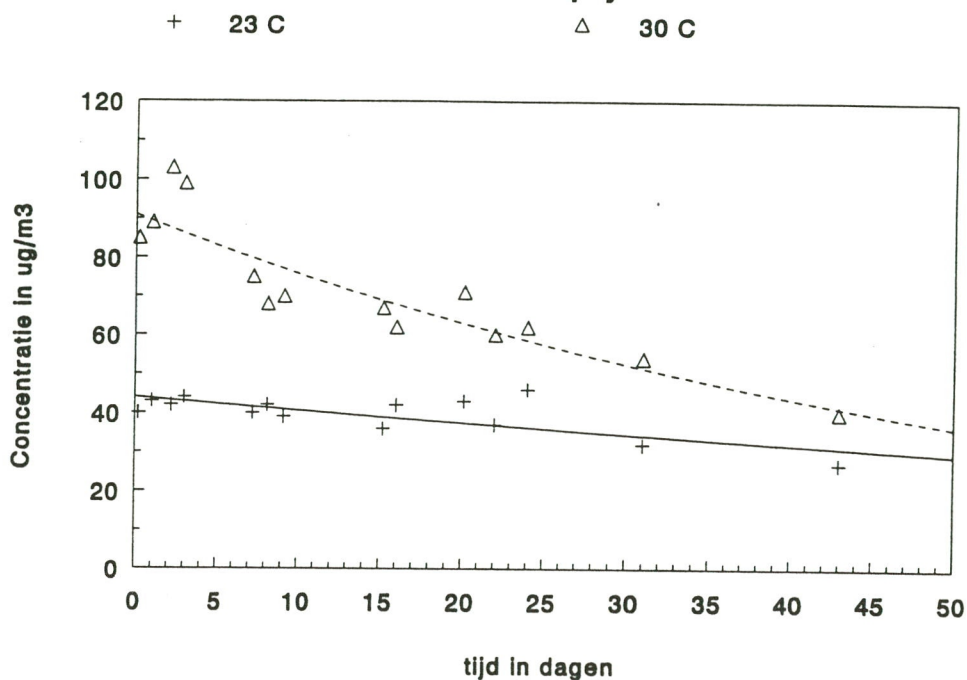
Figuur 2. Concentratieverloop van 2-ethylhexanol in ruimte met PVC-vloerbedekking bij verschillende temperatuur.

Voorbeeld 2. Tapijt

In dezelfde opstelling werd een tapijtsoort onderzocht. Het betreft een polypropreen tapijt met een bitumen onderlaag. Er werden toluen, trimethylbenzeen en n-alkanen met 9 (nonaan) tot 14 (tetradecaan) koolstofatomen geëmitteerd. Tevens werd 4-fenylcyclohexeen (4-PC) geëmitteerd; een produkt dat afkomstig is van de styreen-buta-dieenlijm waarmee de lagen aan elkaar worden bevestigd. Deze verbinding wordt verantwoordelijk gesteld voor de typische "nieuwe tapijtgeur".

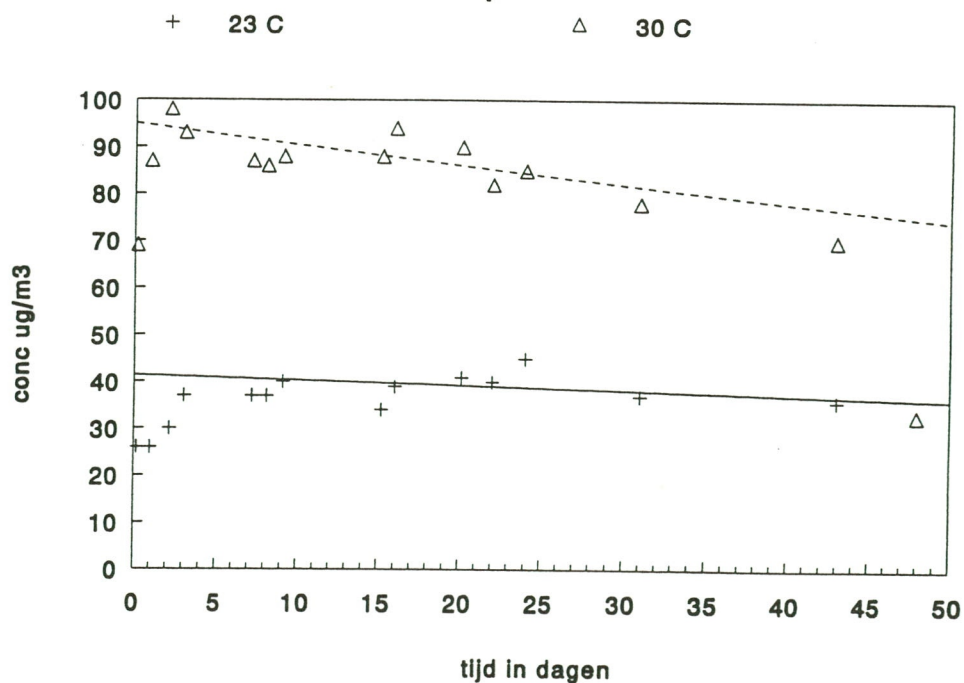
De gemeten concentraties van enkele verbindingen worden weergegeven in de figuren 3 en 4. De beginemissies en de decayconstanten worden vermeld in Tabel 4. Het blijkt dat bij hogere temperatuur (zoals te verwachten) zowel de beginemissie E_0 als de decayconstante k_1 toenemen. De afname in de tijd is verloopt trager naarmate de verbinding minder vluchtig is. Als men de emissie als constant beschouwt als de spreiding van alle uitkomsten over de gehele periode van 30 dagen minder dan 20 % is, dan geldt dit voor n-tridecaan en n-tetradecaan bij 23 °C en voor 4-PC bij 23 en 30 °C. Een dergelijke langzame afname is te vergelijken met die voor de formaldehyde-emissie uit spaanplaten.

dodecaan + tridecaan + tetradecaan uit tapijt



Figuur 3. *Emissieprofiel van hogere alkanen uit tapijt bij 23 en 30 °C.*

Emissie van 4-PC uit tapijt temp. invloed



Figuur 4. *Emissieprofiel van 4-fenylcyclohexeen uit tapijt bij 23 en 30 °C.*

Tabel 4. Uitkomsten van regressieanalyse volgens emissiemodel - tapijt.

23 °C				30 °C		
Verbinding	E_0 , $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$	k , h^{-1}	regressie-coëff (R)	E_0 , $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$	k , h^{-1}	regr.co-eff.(R)
Tolueen	6,75	$3,0 \cdot 10^{-3}$	0,60	11,3	$8,33 \cdot 10^{-3}$	0,61
trimethylbenzeen	6,78	$5,7 \cdot 10^{-3}$	0,86	14,2	$1,38 \cdot 10^{-2}$	0,94
nonaan	3,12	$2,35 \cdot 10^{-3}$	0,49	13,3	$4,35 \cdot 10^{-2}$	0,82
decaan	21,9	$5,83 \cdot 10^{-3}$	0,97	44,0	$1,39 \cdot 10^{-2}$	0,982
undecaan	13,8	$2,24 \cdot 10^{-3}$	0,974	32,3	$5,30 \cdot 10^{-3}$	0,96
dodecaan	3,18	$4,43 \cdot 10^{-4}$	0,44	8,1	$1,68 \cdot 10^{-3}$	0,94
tridecaan	2,69	$1,61 \cdot 10^{-4}$	0,14	6,2	$5,56 \cdot 10^{-4}$	0,49
tetradecaan	5,63	$7,40 \cdot 10^{-5}$	-0,010	10,5	$4,54 \cdot 10^{-4}$	0,43
4-PC	9,7	$7,59 \cdot 10^{-5}$	-0,15	23,9	$6,1 \cdot 10^{-5}$	0,009

Voorbeeld 3. Watergedragen verf

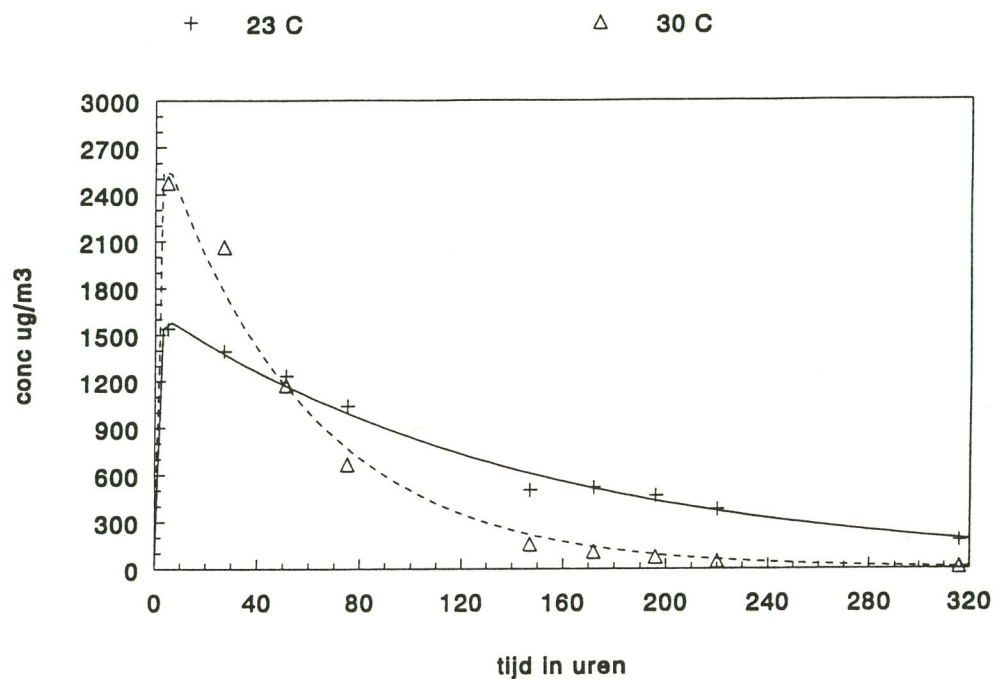
Er werd in dezelfde opstelling een watergedragen verfsoort onderzocht aangebracht in een laag van 100 μm dik op een aluminium drager. Het totale oppervlak van de verflaag bedroeg 225 cm^2 ; de belading L derhalve 3,57 m^2/m^3 . De duur van het experiment was 2 weken. De temperaturen bedroegen weer 23 en 30 °C.

De belangrijkste componenten zijn 2-(2-butoxyethoxy)-ethanol, Texanol 1 en Texanol 2. De laatste twee zijn weinig vluchtige verbindingen.

De meetresultaten en de gefitte curve voor één verbinding (Texanol 1) worden weergegeven in figuur 5. De constanten van de gefitte curven worden weergegeven in Tabel 5.

In dit geval is de trend duidelijk: snellere verdamping bij hogere temperatuur, leidend tot aanvankelijk hogere emissie, een snellere afname en een lagere emissie na enige tijd. In dit geval zou het uitbakken wel succesvol zijn.

Emissie uit watergedragen verf Texanol 1



Figuur 5. Emissieprofiel van Texanol 1 uit verf bij 23 en 30 °C.

Tabel 5. Uitkomsten van de regressieanalyse van het emissiemodel - verf.

23 °C				30 °C		
Verbin- ding	E_0 , $\mu\text{g-}$ $/\text{m}^2\cdot\text{h}$	k , h^{-1}	regressie- coëff (R)	E_0 , $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$	k , h^{-1}	regr.co- eff.(R)
Comp.2*)	202	0,0224	0,918	350	0,051	0,9993
Texanol 1	441	0,0069	0,979	752	0,0173	0,978
Texanol 2	673	0,0066	0,978	1290	0,0187	0,987

Bij de meeste verbindingen van de drie voorbeelden nam de beginemissie E_0 toe met een faktor 2 à 2,5 en de snelheidsconstante k met een faktor 2,5 à 3 bij verhoging van de temperatuur van 23 °C tot 30 °C. Hoewel de regressie vaak matig is, kan worden gesteld dat de temperatuur een belangrijke faktor is die niet kan worden verwaarloosd bij de beoordeling van een ruimte naar emissies en concentraties van VOC.

In de buitenlandse literatuur worden weinig gegevens gevonden over het temperatuureffect.

Gustafson [4] gaf een kritisch overzicht van case studies. Eén hiervan betreft de emissie van 4-fenylcyclohexeen (4-PC) uit de rug van tapijt op basis van styreen-butadieenrubber (SBR). Deze stof is verantwoordelijk voor de "nieuwe tapijtgeur". Hij constateerde dat de emissie van 4-PC met een factor 5 toenam bij toename van de temperatuur van 25 tot 50 °C.

De temperatuurinvloed van een emissie indien deze het gevolg is van een chemische reactie is volgens de wet van Arrhenius:

$$E_T = E_{T_0} \cdot e^{-K/RT} \quad (4)$$

T = absolute temperatuur (K)

T_0 = referentietemperatuur (K)

R = gasconstante

K = temperatuurcoefficient

RICHTLIJNEN EN GRENSWAARDEN

In "Zorgen voor Morgen" van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene (RIVM) worden referentiewaarden van chemische componenten voor een "gezond binnenmilieu" vermeld. [5] . Deze zijn zoveel mogelijk ontleend aan gepubliceerde gezondheidkundige beoordelingen van stoffen door de overheid. Van enkele stoffen die niet recent in Nederland zijn beoordeeld is de waarde van de WHO Air Quality Guidelines genomen [6]. Hierin worden onder andere 9 vluchtige organische stoffen vermeld (Tabel 6).

Tabel 6. *Referentiewaarden voor VOC vermeld in "Zorgen voor Morgen"*

Agens	Referentiewaarden in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Middelingstijd	Verwijzing
Benzeen	12	jaar	RIVM, 1987
Formaldehyde	120	30 min	GR*), 1984
Dichloormethaan	1700	24 h	RIVM, 1987
Styreen	800	24 h	WHO
Tolueen	3000	24 h	WHO
Tetrachlooretheen	5000	24 h	WHO
Trichlooretheen	1000	24 h	WHO
1,2-dichloorethaan	36	jaar	
Vinylchloride	75	jaar	

*) GR = Gezondheidsraad

Er worden geen waarden genoemd voor mengsels (zoals totaal VOC).

In het vervolg op "Zorgen voor Morgen", "Nationale Milieuverkenning 1990-2010" [7] dat in 1991 verscheen worden in het geheel geen referentiewaarden voor het binnenmilieu genoemd.

Tijdens "Indoor Air '90" werden door drie toonaangevende onderzoekers op het gebied van binnenmilieu voorzetten voor richtlijnen van concentraties en emissies van VOC gegeven [8].

Seifert (Institut für Wasser- Boden- und Lufthygiene, Berlijn) stelde in 1990 richtwaarden voor voor concentraties in de binnenlucht voor groepen VOC en totaal VOC [8,vol. 5, p. 35]. Dit voorstel heeft geen navolging gevonden en tijdens "Indoor Air '93", waar Seifert opnieuw een presentatie gaf over richtwaarden werden geen getalsmatige waarden meer gegeven.

Möhlhave [8,vol.5, p.15 en 9] (Universiteit Aarhus, Denemarken) deelde VOC in in verschillende concentratieklassen ingedeeld naar gezondheidseffecten (Tabel 7).

Tabel 7. Indeling van VOC in concentratieklassen volgens Möhlhave.

Concentratie totaal VOC	Gezondheidseffect
< 200 µg/m ³	Geen irritaties of hinder te verwachten
200 - 3000 µg/m ³	Mogelijke irritaties of hinder indien interactie met andere factoren aanwezig is
3 - 25 mg/m ³	Irritatie of hinder te verwachten
≥ 25 mg/m ³	Bovendien neurotoxische effecten mogelijk (toxisch gebied)

De SCANVAC, Federation of Scandinavian HVAC Societies (de tegenhanger van de US ASHRAE of de Nederlandse TVVL) maakte in 1991 richtlijnen voor de binnenluchtkwaliteit openbaar [10] en baseerde zich op het werk van Möhlhave. In Tabel 8 worden deze voor totaal VOC en formaldehyde vermeld.

Tabel 8. Richtlijnen van SCANVAC

A) Toelaatbare concentraties in de binnenlucht

Soort verontreiniging	Middel.tijd	Max. toelaatbare concentratie,mg/m ³
		Klasse
		1 2 3
Totaal VOC	30 min	<0,2 0,2-0,5 >0,5
Formaldehyde	30 min	<0,05 0,05-0,1 >0,1

B) Materiaal emissieklassen (bij 20 °C en 50 % RV)

Klasse A	lage emissie	< 0,04 mg/m ² .h TVOC
Klasse B	matige emissie	0,04-0,10 mg/m ² .h TVOC
Klasse C	hoge emissie	> 0,10 mg/m ² .h TVOC

Tucker [8, Vol. 3, p.25] (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) maakte een indeling van groepen van produkten, die als laag-emitterend worden bestempeld, als zij een bepaalde emissie van totaal VOC niet te boeven gaan. Uitgangspunt is een grenswaarde van 500 µg/m³ totaal VOC en een realistische belading (in m² aan lucht blootgesteld materiaaloppervlak per m³ vertrekinhoud).

Grenswaarden voor totaal VOC van 200 µg/m³ (Scandinavische landen) en 500 µg/m³ (USEPA) werden ook tijdens "Indoor Air '93" genoemd.

In de USA hebben de staat Californie [3, p.605] en de staat Washington [3, p.611] een uitgebreid "Indoor Air Quality Program" tot stand gebracht. Er zijn een groot aantal (niet-bindende) richtlijnen opgesteld die van toepassing zijn op ontwerp, bouw en beheer van nieuwe en gerenoveerde gebouwen. Eén van de aandachtspunten is het verminderen van de blootstelling aan VOC en formaldehyde in nieuw gebouwde of gerenoveerde gebouwen.

De Amerikaanse staat Washington stelt richtlijnen voor oplevering van gebouwen. 30 dagen na de oplevering mogen de volgende grenswaarden niet worden overschreden :

Totaal VOC	500 µg/m ³
Formaldehyde	60 µg/m ³
Zwevend stof	50 µg/m ³
4-fenylcyclohexeen (4-PC)	3,5 µg/m ³

Voor andere niet genoemde stoffen geldt 1/10 TLV (=MAC-waarde).

Hierbij wordt niet alleen het gebouw maar ook de stoffering en de inrichting betrokken.

Overigens werden tijdens "Indoor Air '93" geen nieuwe grenswaarden of richtwaarden voorgesteld. Er werden wel vuistregels gegeven voor de duur na oplevering van een gebouw voor vrijgave voor bewoning in verband met emissies van VOC uit bouwmaterialen. Deze varieerde van 1 tot 3 maanden [3, p.465].

Een andere benadering die recent is gepubliceerd is het deense klassifikatiesysteem voor de binnenluchtkwaliteit (Danish Indoor Climate Labelling of Building Materials, [11]). De werkwijze is in het kort als volgt.

- 1) Bepaal het emissieprofiel (verloop in de tijd) van het materiaal in een proefkamer onder gestandaardiseerde condities.
- 2) Reken de in de proefkamer gemeten concentraties om naar die in een standaardvertrek.
- 3) Stel de grenswaarde voor dit vertrek vast. Hierbij wordt uitgegaan van geurdrempels en irritatiegrenzen. De geurdrempels worden uit de literatuur gehaald. 50 % van de geurdrempel wordt als acceptabel beschouwd als bijdrage van bouwmaterialen. De irritatiedrempels worden afgeleid van dierproeven (muis) of overgenomen uit toxicologische databanken of bij ontbreken van toxicologische gegevens wordt 1/40 van de MAC-waarde (maximaal aanvaarde concentratie die geldt voor beroepsmatige blootstelling op de werkplek) aangehouden. De grenswaarde voor mengsels wordt afgeleid met behulp van de additiviteitsregel : de som van de concentraties per component gedeeld door de grenswaarde van de betreffende component mag niet meer dan 1 bedragen. Voor de bijdrage van de bouwmaterialen weer 50 % (grenswaarde 0,5).
- 4) Bereken met een model of lees af uit het emissieprofiel de tijd die nodig is tot de grenswaarde wordt overschreden. Bij toepassing van geurdrempels wordt die van de component met de langste tijd genomen.
- 5) De rangorde wordt gemaakt naar deze tijden.

TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN

In het kader van het EC programma Joule II+ zal een internationaal onderzoek worden uitgevoerd " European DataBase on Indoor Air Pollution Sources in Buildings" waaraan in totaal 15 instituten deelnemen. Dit onderzoek omvat o.a de invloed van de temperatuur op emissies en naar sinks. Hierbij wordt niet alleen naar chemische stoffen gekeken maar ook naar de sensorische bronsterkte en luchtkwaliteit volgens Fanger en Bluyssen [12].

Een werkgroep van de Europese Commissie verzamelt thans toxicologische gegevens betreffende emissies uit materialen.

REFERENTIES

- [1] Wal, J.F. van der
De belasting van het binnenmilieu door de emissie van vluchtige organische verbindingen uit (bouw)materialen en produkten
Klimaatbeheersing 21, nr.2, 29-37, 1992

- [2] Wal, J.F. van der
Onderzoek naar de emissie van vluchtige organische verbindingen uit materialen
TNO-Bouw rapport BIW91-007/20993, januari 1991

- [3] Indoor Air '93, Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Volume 2 "Chemicals in Indoor Air, Material Emissions", Helsinki, juli 1993.

- [4] Gustafsson, H.
Building materials identified as major sources for indoor air pollutants
Swedish Council for Building Research, Document D10:1992, 1992.

- [5] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene
zorgen voor Morgen - Nationale Milieuverkenning 1985-2010
Samson H.D. Tjeenk Willink, Alphen a/d Rijn, 1988

- [6] World Health Organization
Air Quality Guidelines for Europe
WHO regional publications, Copenhagen, 1987.
- [7] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene
Nationale Milieuverkenning 1990-2010 2
Samson H.D. Tjeenk Willink, Alphen a/d Rijn, 1991
- [8] Indoor Air '90, Preceedings of the 5th Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, juli 1990
- [9] Mölhave, L. en G.D. Nielsen
Interpretation and limitations of the concept "Total Volatile Organic Compounds" (TVOC) as an indicator of human responses to exposures of Volatile Organic Compounds (VOC) in indoor air
Indoor air, 2, 65-77 (1992)
- [10] Proceedings Healthy Buildings IAQ '91, Washington DC, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, september 1991, p. 4-8
- [11] Wolkoff, P. en P.A. Nielsen
Indoor Climate Labelling of Building Materials - Chemical Emission Testing, Modelling and Indoor Relevant Odor Thresholds, oktober 1993
- [12] Bluysen, P.M.
Het evalueren van de luchtkwaliteit met behulp van getrainde personen
Klimaatbeheersing 20, nr 5, 1991, pp 153-158