

Inhalatoire blootstelling aan organische oplosmiddelen in laboratoria

A.W. Zwaard*, C.F. Verschoor*

Summary

In a chemical laboratory the concentrations of several organic solvent vapors were determined in the breathing zone of laboratory workers. Monitoring took place during normal laboratory operations using a portable infrared analyzer. It is suggested that significant exposure only takes place during operations performed outside the laboratory hoods.

To study the influence of some relevant factors, model experiments were performed in which volatile solvents were poured from one piece of glassware into another at the laboratory bench.

It is concluded that the vapor pressure of the solvent in combination with the ventilation rate of the laboratory determines the concentration in the breathing zone. In the situation normally encountered (ventilation constant $> 5 \text{ h}^{-1}$) the influence of the vapor density is negligible. A linear relationship between the mean concentration in the breathing zone and the vapor pressure was observed, the proportionality constant being in the range 0.1-0.5 ppm/mbar.

An approximation is made of the exposure of the laboratory population with respect to the Dutch MAC-value. It is suggested that under the circumstances studied exceeding of the MAC is unlikely.

Inleiding

In chemische laboratoria wordt veelvuldig van organische oplosmiddelen gebruik gemaakt. Door hun vluchtigheid en de relatieve omvang van het gebruik verdient inhalatoire blootstelling van laboratoriummedewerkers aan vooral deze groep chemicaliën de belangstelling. In de literatuur is echter nauwelijks onderzoek beschreven naar de concentraties die in de lucht in (chemische) laboratoria optreden als gevolg van het werken met chemicaliën.

* Gorlaeus laboratoria Rijksuniversiteit Leiden. Postbus 9502, 2300 RA Leiden.

Bij het chemisch onderzoek dat plaatsvindt in research-laboratoria, is de laatste jaren een trend waarneembaar naar kleinschaliger experimenten en toenemende instrumentalisatie. Het hier beschreven onderzoek richt zich met name op de 'natte chemie' (synthetisch-organische chemie en studentenpraktika) waarin nog vaak met grote hoeveelheden organische oplosmiddelen wordt gewerkt. Daarbij wordt gebruik gemaakt van verschillende oplosmiddelen. Op grond van een enquête onder het laboratoriumpersoneel (Heeremans en Zwaard, 1990) blijken circa 20 chemicaliën als oplosmiddel te worden gebruikt. De meeste laboratoriumgebruikers gebruiken verschillende oplosmiddelen; ruim de helft maakt (per jaar) gebruik van 8 of meer verschillende oplosmiddelen en meer dan 10% gebruikt 15 of meer oplosmiddelen.

In het laboratorium blijken vrijwel alle experimenten zo mogelijk in de zuurkasten te worden uitgevoerd. Slechts bij gebrek aan ruimte wordt aan de laboratoriumtafels gewerkt. Een aantal experimentele handelingen wordt daarnaast vaak buiten de zuurkast uitgevoerd. Continudestillatie opstellingen en rotatiefilmverdampers zijn vaak op de tafel opgesteld. Filtereren en het vullen van glaswerk vindt eveneens veelvuldig op de laboratoriumtafel plaats. Het reinigen van glaswerk (waarbij veelal van aceton gebruik wordt gemaakt) vindt vrijwel altijd buiten de zuurkasten plaats.

De observaties leiden tot de veronderstelling dat inhalatoire blootstelling aan oplosmiddeldampen met name plaatsvindt tijdens werkzaamheden die buiten de zuurkasten worden uitgevoerd. Interviews met laboratoriummedewerkers bevestigen dit beeld. De genoemde enquête onder het laboratoriumpersoneel geeft een gedetailleerd beeld van de mate waarin de diverse oplosmiddelen buiten de zuurkasten worden gebruikt.

Laboratoria worden relatief sterk geventileerd en de handelingen waar bij blootstelling kan optreden zijn veelal van korte duur. Het wekt weinig verwondering dat verkennend onderzoek en globale inventarisaties hebben geleid tot de conclusie dat overschrijding van tijdgewogen gemiddelde blootstellingsnormen onwaarschijnlijk is (Djazayeri, 1974; Hertlein, 1979; Vissers en van der Meer, 1989).

Naast de eigenschappen en temperatuur van het oplosmiddel heeft een aantal (omgevings)factoren mogelijk invloed op de optredende concentraties in de ademhalingszone: de aard van de handelingen, het gebruikte glaswerk, de plaats binnen de laboratoriumruimte, het aantal ingeschakelde zuurkasten (het ventilatievoud), luchturbulenties door bewegende medewerkers en de vorm en afmetingen van het lichaam van de experimentator.

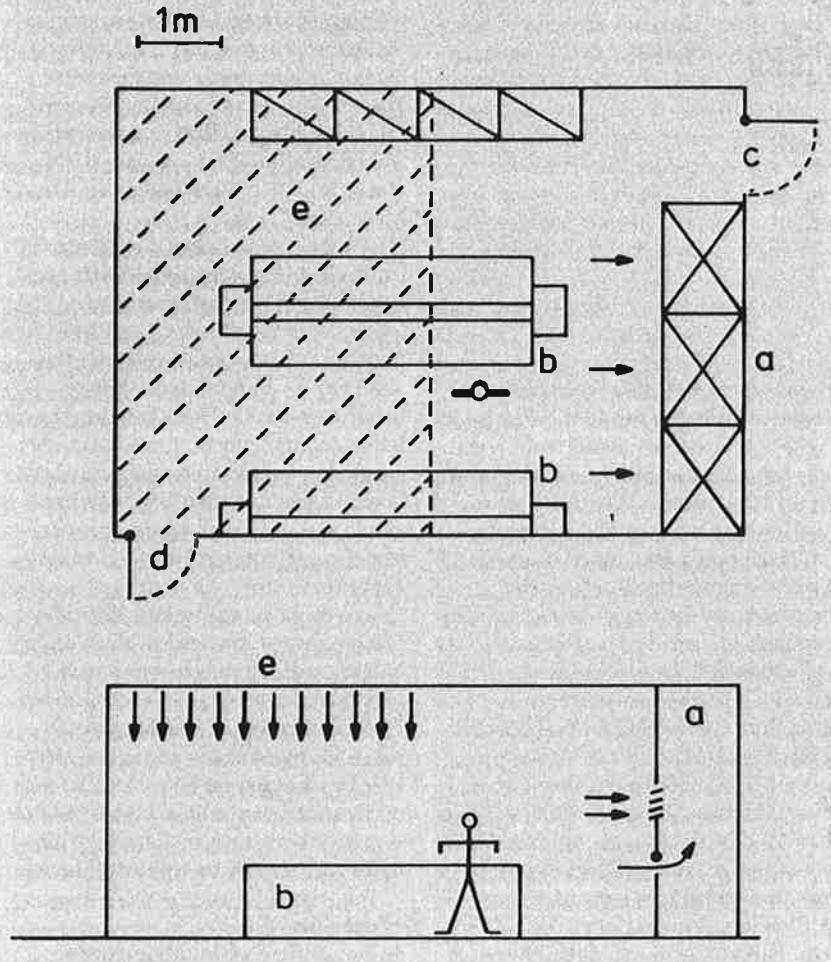
Om de invloed van verschillende factoren meer systematisch te onderzoeken, zijn modelexperimenten uitgevoerd waarbij een aantal mogelijk versturende invloeden zoveel mogelijk constant is gehouden. Het hier beschreven onderzoek richt zich op de mate van inhalatoire blootstelling in laboratoria tijdens deze modelexperimenten met oplosmiddelen.

Methode

In het onderzochte laboratorium wordt sterk uiteenlopend (bio-)chemisch onderzoek verricht. De onderzochte laboratoriumruimten beschikken over zuurkasten en laboratoriumtafels. Het volume van de ruimten varieert van 150 m^3 (in figuur 1) tot 450 m^3 . De ruimtelijke ventilatie vindt plaats via de (ingeschakelde) zuurkasten met by-pass rooster. Via een geperforeerd plafond wordt bij het inschakelen van een zuurkast evenveel lucht per tijdseenheid aan de ruimte toegevoerd als door de zuurkast wordt onttrokken. Om een gunstig ventilatiepatroon te verkrijgen, is de plaats in het plafond waar de lucht wordt ingeblazen diagonaal gesitueerd ten opzichte van de corresponderende zuurkast. Per werkruimte is minstens één zuurkast permanent ingeschakeld. Daardoor is steeds sprake van ventilatie (ventilatievoud minimaal 5 h^{-1}). Door extra zuurkasten in te schakelen, kunnen de laboratoriumgebruikers het ventilatievoud van de ruimte verhogen (tot maximaal circa 20 h^{-1}).

Een aantal verkennende metingen van de concentraties van oplosmiddelen in de lucht is uitgevoerd bij uiteenlopende laboratoriumwerkzaam- ▶

Figuur 1. Een typische laboratoriumruimte met zuurkasten (a); laboratoriumtafels (b); ingang (c); nooduitgang (d); geperforeerd plafond (e)



Tabel 1. Voorbeelden van handelingen buiten de zuurkast waarbij blootstelling aan oplosmiddelen optreedt. De meetduur is gelijk aan de tijd T die de handeling duurt. AM = rekenkundig gemiddelde concentratie in de ademhalingszone over de duur van de handeling

Handeling	Oplosmiddel	Tijd T (min)	AM (ppm)	Range (ppm)
glaswerk reinigen	aceton	12,0	448	44-1400
filtratie	dichloormethaan	1,0	53	11-106
	dichloormethaan	2,0	9	1-17
	diëthylether	1,6	10	1-23
spoelen	aceton	2,0	1010	30-2570
	diëthylether	1,5	6	1-15
overschenken	diëthylether	0,6	9	1-22
	diëthylether	0,4	48	3-126
pipetteren	methanol	0,6	18	1-43
tappen	aceton	3,2	26	2-80

heden in verschillende ruimten. De resultaten suggereren dat handelingen waarbij blootstelling optreedt, in arbeidshygiënisch opzicht kunnen worden opgevat als het overschenken van oplosmiddelen met behulp van laboratoriumglaswerk. Deze werk-

zaamheden zijn gestandaardiseerd en door een medewerker, onder constant gehouden omstandigheden, uitgevoerd gedurende twee minuten met verschillende oplosmiddelen (in deze periode wordt de handeling 'overschenken' circa 40 maal uitgevoerd).

Acht oplosmiddelen van uiteenlopende vluchtigheid zijn hierbij gebruikt: aceton, chloroform, dichloormethaan, diëthylether, ethanol, ethylacetaat, methanol en toluen. In de modelexperimenten vindt het overschenken plaats, staande aan de laboratoriumtafel (hoogte 90 cm) met 150 ml oplosmiddel, gebruik makend van twee 500 ml bekgelzen. De concentraties (in de ademhalingszone) worden gemeten op twee hoogtes (135 cm en 160 cm), het ventilatievoud wordt geregistreerd en er treedt geen verstoring op door lopend personeel. Bij het overschenken wordt continu gemeten gedurende twee minuten. In het algemeen worden reeds na enkele seconden verhoogde concentraties gemeten in de ademzone. Na en tijdens het overschenken wordt de temperatuur van het oplosmiddel geregistreerd evenals het massaverlies door verdamping na twee minuten.

De concentraties worden bepaald met een verplaatsbare Foxboro Miran 1B infraroodanalyser. Tijdens de verkennende metingen wordt continu bemonsterd in de ademhalingszone gedurende de tijd die de experimentele handelingen in beslag nemen, in de modelexperimenten gedurende een vaste periode (veelal twee minuten) op verschillende hoogtes. De meetapparatuur geeft elke drie seconden een concentratie (in ppm). Deze waarden blijken in goede benadering log-normaal te zijn verdeeld. Bij de presentatie van de meetresultaten is daarom regelmatig gebruik gemaakt van het geometrisch gemiddelde (GM) en de geometrische standaarddeviatie (GSD). In de model-experimenten wordt daarbij gemiddeld over de laatste minuut van de meetperiode.

Resultaten

Verkennende metingen

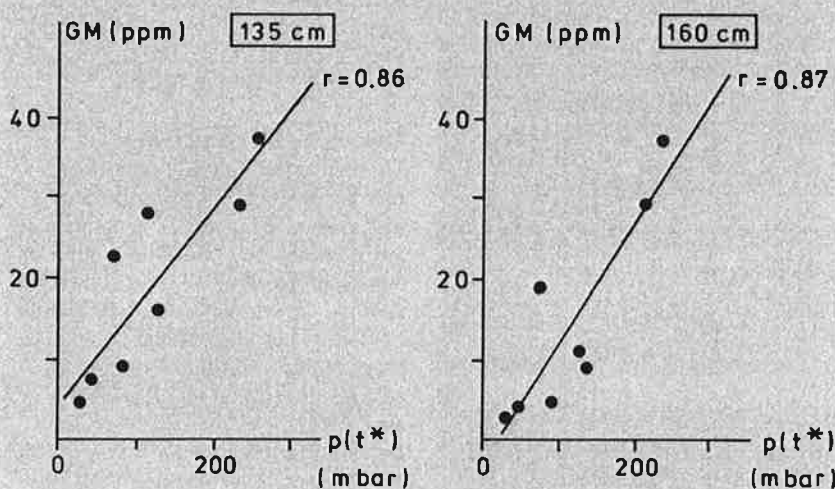
Alle metingen van achtergrondconcentraties leverden resultaten onder de detectielimiet. In de meeste gevallen leverden metingen in de ademhalingszone van de laboratoriumwerkers slechts meetbare concentraties wanneer handelingen buiten de zuurkasten werden verricht, dat gold ook voor slecht werkende en zelfs uitgeschakelde zuurkasten. De handelingen buiten de zuurkast duurden in de regel niet langer dan enkele minuten. Tabel 1 toont het rekenkundig gemiddelde en het bereik van de uitlezingen van de meetapparatuur voor een aantal typische voorbeelden.

De resultaten van de verkennende metingen toonden aan dat bij het

Tabel 2. Relatief massaverlies ($\Delta m/m$) en temperatuurdaling (Δt) na overschenken van oplosmiddelen gedurende twee minuten onder standaardcondities bij een ventilatievoud van 6 h^{-1} . De gemiddelde temperatuur van het oplosmiddel t^* en de concentraties (op 135 cm hoogte) hebben betrekking op de laatste minuut. GM: geometrisch gemiddelde concentratie; GSD: geometrische standaarddeviatie; AM: rekenkundig gemiddelde; SD: standaarddeviatie; $p(t^*)$: dampdruk oplosmiddel bij t^*

Oplosmiddel	$\Delta m/m$	Δt (°C)	t^* (°C)	$p(t^*)$ (mbar)	GM (GSD) (ppm)	AM (\pm SD) (ppm)	Range (ppm)
diëthylether	25%	15	5	310	38 (1,1)	38 (\pm 3)	35-45
dichloormethaan	15%	12	7	270	29 (1,1)	29 (\pm 2)	27-34
aceton	12%	6	12	135	28 (2,5)	44 (\pm 52)	11-189
chloroform	7%	5	12	145	16 (2,5)	25 (\pm 27)	7-103
methanol	7%	5	13	90	9 (1,4)	10 (\pm 4)	6-23
ethylacetaat	8%	2	15	75	23 (1,2)	23 (\pm 6)	19-39
ethanol	3%	1	16	45	7 (1,9)	9 (\pm 9)	4-39
tolueen	2%	0	20	30	4 (1,6)	5 (\pm 3)	2-12

Figuur 2. Relatie tussen de geometrische gemiddelde concentratie (over 1 minuut) op 135 resp. 160 cm hoogte en de dampdruk van het oplosmiddel (overschenken onder standaardcondities bij een ventilatievoud van 6 h^{-1})



uitvoeren van werkzaamheden in de zuurkast nauwelijks meetbare concentraties in de ademhalingszone optreden. Zelfs uitgeschakelde zuurkasten bleken in veel gevallen (mogelijk door een combinatie van afscherming en natuurlijke trek) een opmerkelijke 'bescherming' te bieden. Relevante blootstelling zal alleen optreden in bijzondere omstandigheden; indien verstoringen in het ventilatiesysteem optreden of bij calamiteiten. Daarbij past de waarschuwing dat de beschermende werking van (uitgeschakelde) zuurkasten in het algemeen afhangt van onder meer de specifieke eigenschappen van het ventilatiesysteem en meteorologische omstandigheden.

Bij werkzaamheden die buiten de zuurkast werden uitgevoerd, kon blootstelling aan hogere concentraties gemakkelijk plaatsvinden. Bekende voorbeelden zijn: filteren, overschenken, afwassen en spoelen. Ook

tijdens het uitvoeren van standaardprocedures (zoals destilleren, chromatograferen en extraheren) vond kortdurende blootstelling plaats tijdens specifieke handelingen. Het betreft hier handelingen die gedurende korte tijd werden uitgevoerd; vaak namen de werkzaamheden waarbij blootstelling kan optreden minder dan één minuut per handeling in beslag. De resultaten van de verkennende metingen (tabel 1) lieten zien dat bij langer durende handelingen met vluchtige oplosmiddelen een blootstelling aan 0,1 MAC (op tijdgewogen gemiddelde basis) kan optreden. In veel gevallen bleek de blootstelling echter een factor 10-100 lager te liggen.

Modelexperimenten

De uitlezingen van de meetapparatuur bleken in goede benadering log-normaal verdeeld binnen de modelexperimenten. Van de twintig

uitlezingen over de laatste minuut werd het geometrisch gemiddelde (GM) en de geometrische standaarddeviatie (GSD) bepaald. Tabel 2 geeft representatieve voorbeelden bij een ruimtelijk ventilatievoud van 6 h^{-1} op een hoogte van 135 cm.

Bij het vaststellen van de gemiddelde temperatuur in de tabel is uitgegaan van een lineaire daling van de temperatuur van het oplosmiddel met de tijd gedurende het overschenken. Door het overschenken gedetailleerd (in aparte experimenten van verschillende tijdsduur) te volgen, bleek namelijk dat de temperatuur t lineair daalde met de tijd T over twee minuten. Experimenten met 200 ml diëthylether leverden $\Delta t = 0,03 - 5,47$ T ($n=6$; $r = -0,9997$; Δt in °C; T in min). Het massaverlies per tijdseenheid nam af van 3,5 gram over de eerste 15 seconden tot 4 gram over de laatste minuut.

Onder de heersende omstandigheden bleek er geen duidelijk verschil tussen de resultaten van de metingen op een hoogte van 135 cm en de concentraties op 160 cm hoogte (figuur 2). Op de hoogte van het tafelblad (90 cm) werden echter concentraties gemeten die 10-100 maal groter zijn.

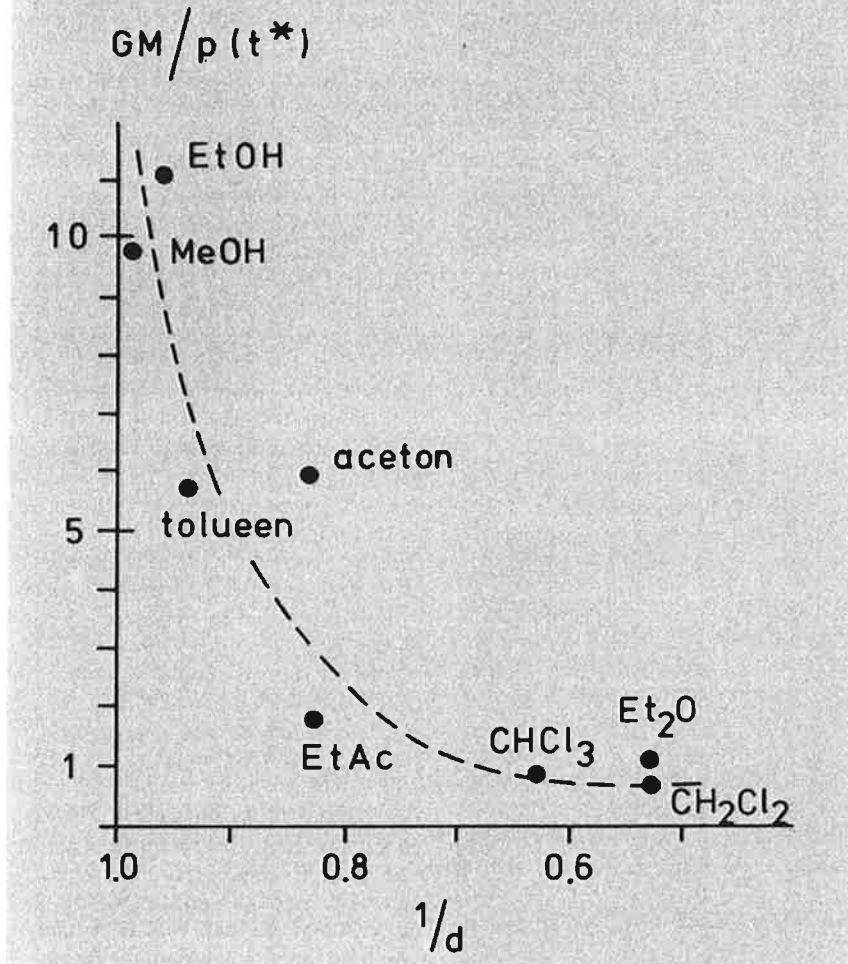
Uit figuur 2 blijkt dat de gemiddelde concentratie op 135-160 cm hoogte een ruwweg lineaire afhankelijkheid van de dampdruk van het oplosmiddel vertoont. Bij een ventilatievoud van 6 h^{-1} lag de evenredigheidsconstante tussen de (geometrisch) gemiddelde concentratie op 135-160 cm hoogte en de dampdruk van het oplosmiddel in het interval 0,1-0,25 ppm/mbar. De concentraties op 90 cm hoogte vertoonden geen duidelijke relatie met de dampdruk of de dichtheid van de damp van het oplosmiddel.

Verhoging van het ventilatievoud van 6 h^{-1} tot 12 h^{-1} resulteerde in lagere concentraties in de ademzone. De concentraties daalden hierbij met een factor 1,5-1,9.

Het uitschakelen van de ventilatie had een omgekeerd effect. In afwezigheid van ventilatie werden veel (10-100 maal) hogere concentraties in de ademhalingszone waargenomen. De relatie tussen concentratie en dampdruk ging hierbij verloren. Er lijkt wèl een min of meer duidelijke relatie te bestaan tussen de gemeten gemiddelde concentratie en de relatieve dichtheid van de verzadigde damp (zie figuur 3).

De lokatie van overschenken (dicht bij de zuurkasten of juist verwijderd van de kasten), de stand van de

Figuur 3. Quotiënt van geometrisch gemiddelde concentratie (over 1 minuut) op 135 cm hoogte en dampdruk als functie van de relatieve dichtheid d van de damp (overschenken onder standaardcondities zonder ventilatie)



Tabel 3. Reproduceerbaarheid van (geometrisch) gemiddelde concentratie c_m , relatief massaverlies $\Delta m/m$ en temperatuurdaling Δt uitgedrukt in gemiddelde en variatie-coëfficiënt cv (overschenken van oplosmiddel onder standaard-condities gedurende twee minuten bij een ventilatievoud van 6 h^{-1} ; c_m op 135 cm hoogte over de laatste minuut). De gemiddelde temperatuur van het oplosmiddel tijdens overschenken bedroeg voor diëthylether 12°C en voor aceton 15°C (over de laatste minuut zijn deze waarden resp. 8°C en 14°C)

Oplosmiddel	GM_{gem} (range)	cv	$(\Delta m/m)_{\text{gem}}$	cv	$(\Delta t)_{\text{gem}}$	cv
diëthylether (n=6)	5,7 ppm (1,8-8,4)	44%	27%	5%	$15,1^\circ\text{C}$	3%
aceton (n=6)	9,5 ppm (1,9-18,6)	76%	13%	11%	$6,2^\circ\text{C}$	7%

zuurkast-ramen en de hoogte van de ademhalingszone werd in diverse experimenten gevarieerd. Dit leidde echter tot weinig reproduceerbare resultaten.

De reproduceerbaarheid van de gemiddelde concentratie over één minuut bleek slecht. De reproduceerbaarheid van de temperatuurdaling en het relatieve massaverlies was echter goed (zie tabel 3). De temperatuurdaling en het massaverlies (dat wil zeggen de emissiesnelheid) bleken

bovendien vrijwel onafhankelijk van het ventilatievoud (6 h^{-1} vs. 12 h^{-1}).

In de modelexperimenten werd gebruik gemaakt van 500 ml bekersglazen waarmee circa 150 ml vloeistof werd overgeschonken. Door de experimenten te herhalen met ander glaswerk (bekersglazen van 100, 200 en 600 ml) en andere hoeveelheden (50-250 ml), bleek dat de emissiesnelheid bij overschenken toeneemt met de grootte van het gebruikte glaswerk.

In de range 100-600 ml bedraagt de verhouding (bij gelijke massa oplosmiddel) maximaal een factor 2. Ook de temperatuurdaling en het relatieve massaverlies namen toe, doch minder sterk.

De emissiesnelheid nam eveneens toe met de massa van het oplosmiddel dat wordt overgeschonken (wanneer hetzelfde glaswerk wordt gebruikt), hoewel de temperatuurdaling afnam en het relatieve massaverlies sterk afnam. In de range 50-250 ml bedraagt de verhouding maximaal een factor 1,5 voor de emissiesnelheid en een factor 4 voor het relatieve massaverlies.

De gemiddelde emissiesnelheid bij overschenken (circa 20 min^{-1}) bleek te variëren van ongeveer 1 g/min voor minder vluchtige oplosmiddelen (tolueen, ethanol) tot 10 g/min voor vluchtige oplosmiddelen (ether, dichloormethaan). Deze waarden bleken circa 100 maal groter dan de emissiesnelheid bij verdamping uit open bekersglazen en ongeveer 1000 maal groter dan bij verdamping uit open erlenmeyers of flessen.

Discussie en conclusies

De resultaten van de modelexperimenten worden gekenmerkt door variaties in de gemeten concentratie, veroorzaakt door sterke menging in een luchtstromingspatroon dat blijkbaar een grote mate van turbulentie vertoont. De concentraties vertonen sterke fluctuaties op seconde-tijdschaal; de 3-seconden uitlezingen van de meetapparatuur zijn in goede benadering log-normaal verdeeld met een geometrische standaarddeviatie (GSD) die in de regel tussen 1,1 en 2,5 ligt.

Onder zorgvuldig constant gehouden omstandigheden blijken het relatieve massaverlies en de temperatuurdaling van het oplosmiddel goed reproduceerbaar te zijn en toe te nemen met de dampdruk van het oplosmiddel. Uit figuur 2 blijkt dat ook de gemiddelde concentratie ruwweg toeneemt met de dampdruk van het oplosmiddel. Oplosmiddelen met een damp van relatief hoge dichtheid (ether, chloroform) veroorzaken geen opvallend lage concentraties in de ademhalingszone. Er blijkt een min of meer lineaire relatie te bestaan tussen de gemiddelde concentratie in de ademhalingszone en de dampdruk van het oplosmiddel, hoewel de concentraties een grote spreiding vertonen en matig reproduceerbaar zijn. Uit tabel 2 volgt dat de temperatuurdaling en het (relatieve) massaverlies door overschenken toenemen met de dampdruk van het oplosmiddel. Neemt men aan dat het (relatieve)

Tabel 4. Gemiddelde concentratie in de ademhalingszone van chemiestudenten (Hertlein, 1979)

Oplosmiddel	c_{gem} (ppm)	Range (ppm)	c_{gem}/p (20°C) (ppm/mbar)
diëthylether (n = 12)	9,0	0,57-45,3	0,015
dichloormethaan (n = 7)	7,2	2,6-22,0	0,015
aceton (n = 26)	6,6	0,22-42,1	0,029
chloroform (n = 3)	29,0	3,4-76,5	0,145
hexaan (n = 8)	3,3	0,03-12,0	0,021
benzeen (n = 16)	1,7	0,08-15,9	0,017
dioxaan (n = 4)	1,5	0,95-1,8	0,038

massaverlies evenredig is met de dampdruk, dan verdampst bij het éénmalig overschenken van een vluchtig oplosmiddel, zoals ether, van kamertemperatuur dus ongeveer 1% (uitgaande van 20 maal overschenken per minuut). Voor aceton en methanol berekent men analogo 0,5% resp. 0,2%. Deze waarden zijn iets lager dan in de literatuur (Bayer, 1982) genoemde waarden (ether: 1,7%; aceton: 0,7%; methanol: 0,4%) waarbij de massa oplosmiddel en het gebruikte glaswerk niet zijn gespecificeerd.

Omdat het *relatieve* massaverlies sterker dan het massaverlies (de emissiesnelheid) afhankelijk is van de hoeveelheid overgeschonken vloeistof en de grootte van het gebruikte glaswerk, verdient het overigens aanbeveling om in dergelijke vuistregels het massaverlies in plaats van het relatieve massaverlies op te geven. Dit massaverlies laat zich uit tabel 2 afleiden met $1/40 \times p(20^\circ\text{C})/p(t^*) \times \Delta m/m \times 150/d$ gram en levert als richtwaarden voor ether: 2,5 gram, aceton; 1,0 gram, methanol: 0,5 gram en toluen: 0,1 gram.

Onderzoek naar de blootstelling van chemie-studenten aan verschillende oplosmiddelen tijdens praktika (Hertlein, 1979) suggereert dat gemiddeld ('over normal laboratory period') concentraties tot circa 50 ppm kunnen optreden (tabel 4). De gemiddelde concentraties, bepaald met persoonsgebonden metingen, vertonen ook hier een duidelijke relatie met de vluchtigheid van het oplosmiddel. Hoewel de spreiding van de concentraties aanzienlijk is, vertoont het quotiënt van de gemiddelde concentratie en de dampdruk van het oplosmiddel veel minder spreiding (0,01-0,04 ppm/mbar).

De door ons gevonden evenredigheidsconstante van 0,1-0,5 ppm/mbar is door de kortere sampling-periode vanzelfsprekend groter (ca. een factor 10) dan de uit de gegevens van Hertlein af te leiden waarde.

De matige reproduceerbaarheid van de gemiddelde concentratie bemoeilijkt het voorspellen van de blootstelling in de dagelijkse praktijk. Slechts van factoren die een grote invloed hebben op de optredende concentraties, zoals de vluchtigheid van het oplosmiddel en de ventilatie van de ruimte, werd de invloed duidelijk. De spreiding in concentraties is zo groot dat de invloed van verschillende omgevingsfactoren niet kan worden aangetoond met een beperkt aantal metingen. De lokatie binnen de laboratoriumruimte, de stand van de zuurkastarmen en de hoogte boven de bron behoren hiertoe.

De invloed van de grootte van het gebruikte glaswerk en de massa van de overgeschonken vloeistof op de emissiesnelheid kon duidelijk worden aangetoond. Het ligt voor de hand dat hogere emissiesnelheden leiden tot hogere concentraties in de ademzone.

De resultaten van ruimte-metingen in een onderzoek naar benzeen-blootstelling in laboratoria zijn beschreven in de literatuur (Djazayeri, 1974) en suggereren dat (gemiddeld over enkele uren) blootstelling kan optreden aan concentraties tot circa 15 ppm. De auteur suggereert dat de mate van blootstelling afhankelijk is van de lokatie binnen de laboratoriumruimte. Op grond van de in het voorgaande beschreven verkennende experimenten moet de algemene geldigheid hiervan worden betwijfeld.

Uit onze metingen blijkt dat de concentratie in de ademzone bij overschenken van oplosmiddelen zowel wordt bepaald door de dampdichtheid van het oplosmiddel als door de dampdruk. Bij de gebruikelijke ventilatie (ventilatievoud $> 5 \text{ h}^{-1}$) is in de onderzochte situaties de invloed van de dampdichtheid nauwelijks waarneembaar en worden de concentraties bepaald door de dampdruk. Slechts bij afwezigheid van ventilatie is de invloed van de dampdichtheid duidelijk waarneembaar (zie figuur 3). Vluchtige oplosmidde-

len met een hoge dampdichtheid (diëthylether, aceton) leveren dan lagere concentraties in de ademzone dan minder vluchtige oplosmiddelen met een lagere dampdichtheid (methanol, ethanol).

Toch is de spreiding in gemeten concentraties zo groot, dat overschenken van een vluchtig oplosmiddel tot *lagere* concentraties kan leiden dan dat van een minder vluchtig solvent. De in tabel 3 gegeven waarden vormen hiervan een voorbeeld; de gemiddelde concentratie ether is lager dan de gemiddelde acetonconcentratie.

Een overschrijding van MAC-waarden lijkt bij het werken met de meeste oplosmiddelen onwaarschijnlijk op grond van de relatie tussen dampdruk en gemeten concentratie en de aard van de handelingen. Kortdurende blootstelling aan verhoogde concentraties is echter mogelijk, gegeven de grote spreiding in de gemeten concentraties. Op grond van de relatie tussen gemiddelde concentratie en dampdruk (0,1-0,5 ppm/mbar) zal dit met name relevant zijn voor oplosmiddelen waarvoor p/MAC een waarde groter dan circa 5 mbar/ppm heeft. Tetrachloorkoolstof, zwavelkoolstof, chloroform en benzeen zijn bekende voorbeelden.

Een bovengrens voor de belasting van laboratoriummedewerkers, gerefereerd aan MAC-waarden, kan worden verkregen door de tijd te schatten waarmee met oplosmiddelen wordt gewerkt buiten de zuurkast. In de eerder genoemde enquête onder de laboratoriumpopulatie (Heeremans en Zwaard, 1990) is onder meer geïnventariseerd in hoeverre met oplosmiddelen buiten de zuurkasten wordt gewerkt.

Indien men ervan uit gaat dat bij het werken buiten de zuurkasten blootstelling op zal treden aan een concentratie gelijk aan $0,25 p_i$ ppm (p_i in mbar) (hetgeen moet worden opgevat als een 'worst-case' benadering) dan kan op de volgende manier een schatting worden gemaakt van de totale inhalatoire blootstelling aan oplosmiddelen (Zwaard, 1990): Stel een experimentator werkt met n oplosmiddelen. Stel oplosmiddel i ($i = 1 - n$) heeft een dampdruk p_i bij kamertemperatuur, een MAC-waarde MAC_i en wordt gemiddeld per dag gedurende een tijd t_i buiten de zuurkast verwerkt. Stel hierbij vindt blootstelling plaats aan een gemiddelde concentratie $0,25 p_i$ ppm (p_i in mbar). Dan is de totale blootstelling als fractie van de MAC-waarde:

$$\sum_i (0,25 \times p_i \times t_i) / (8 \times 60 \times \text{MAC}_i) \blacktriangleright$$

Aan de hand van de eerder genoemde enquêteresultaten kan deze grootheid voor alle respondenten worden berekend. De berekening ondersteunt de visie dat overschrijding van MAC-waarden onder de heersende omstandigheden onwaarschijnlijk is.

Literatuur

- Bayer, R.; Toxic vapors and ventilation parameters, *J. Chem. Ed.* 59, A385-389 (1982).
- Brouwer, R.; Inventarisatie naar het voorkomen en gebruik van en blootstelling aan chloroform in Nederlandse bedrijven, MBL-TNO rapport, 1988.
- Djazayeri, S.; Benzolbelastung im Labor, dissertatie Tübingen, 1974.
- Heeremans, C.E.M., en Zwaard, A.W.; Verbruik van chemicaliën en kennis van carcinogene eigenschappen, *Tijdschrift voor toegepaste Arbowedenschap* 3, 66-71 (1990).
- Hertlein, F.; Monitoring airborne contaminants in chemical laboratories, *J. Chem. Ed.* 56, A199-201 (1979).
- Visser, J., en Van der Meer, P.; Onderzoek naar de blootstelling aan chemicaliën op de werkplek, stageverslag Hogeschool West-Brabant, 1989.
- Zwaard, A.W.; Blootstelling aan oplosmiddelen in laboratoria, *Arbeidsomstandigheden* 66, 839-845 (1990).