

Voorspelling van concentraties van oplosmiddelen in de ademhalingszone van laboratoriummedewerkers

A.W. Zwaard¹, H.V.P. Luijsterburg² en Th.J. Kock³

Samenvatting

In model-experimenten werd de concentratie van diverse organische oplosmiddelen in de ademhalingszone gemeten in verschillende laboratoria. Tijdens de experimenten werden oplosmiddelen overgeschonken aan de laboratoriumtafel.

De lineaire relatie tussen de gemiddelde concentratie en de dampspanning van het oplosmiddel blijkt met name afhankelijk van de ventilatiestroom (in m³ per uur) en de afmetingen van de werkruimte. Het ventilatievoud (in uur⁻¹) is in dit opzicht van minder belang.

Een eerder gevonden evenredigheidsconstante tussen blootstellingsconcentratie en dampspanning (0,1-0,5 ppm/mbar) kan worden overschreden. In worst-case benaderingen zijn eerder voorgestelde vuistregels van 0,15 of 0,25 ppm/mbar mogelijk te laag. Aanbevolen wordt om voorlopig de waarde 1 ppm/mbar te gebruiken. Slechts onder zeer ongunstige ventilatie-omstandigheden zal deze waarde te laag zijn.

Summary

Concentrations of organic solvent vapours in the breathing zone of laboratory workers were measured in different types of laboratories. Monitoring took place during model experiments in which volatile solvents were decanted at the laboratory bench.

It is concluded that a linear relationship between the mean concentration in the breathing zone and the vapour pressure is mainly determined by the ventilation flow rate (in m³/h) and the dimensions of the laboratory. The rate of air renewal (in h⁻¹) is less relevant.

A previously proposed proportionality constant between concentration and vapour pressure (0.1-0.5 ppm/mbar) can be exceeded. In worst case approximations the values of 0.15 and 0.25 ppm/mbar may be too low as a rule of thumb. It is advised to use 1 ppm/mbar as a preliminary value. Only under very unfavourable situations this value may be too low.

Inleiding

De blootstelling van laboratorium-medewerkers aan dampen van vluchtige stoffen wordt beperkt door het toepassen van ventilatie. In een laboratorium bestaat een ventilatiesysteem uit zuurkasten, die lucht aan de ruimte onttrekken, en een systeem dat lucht toevoert.

Bij het werken in de zuurkast zijn de concentraties, waaraan medewerkers worden blootgesteld, in het algemeen zeer laag. Tijdens werkzaamheden aan de laboratoriumtafel, waarbij de 'ruimteventilatie' de blootstelling beperkt, treden hogere concentraties op.

De beschermende werking van de zuurkasten en de ruimteventilatie worden in belangrijke mate bepaald door de afstemming van de toevoer en afvoer van lucht (Caplan en Knutson, 1982).

De beschermende werking van zuurkasten wordt meestal weergegeven door de luchtsnelheid in de raamopening (de 'raamsnelheid'). Modernere 'lektesten' geven een beter beeld van de kwaliteit van de zuurkast omdat zij laten zien hoeveel stof werkelijk uit de zuurkast treedt (DIN 12924, 1991; BS 7258, 1994; Zwaard et al., 1995).

De beschermende werking van de ruimteventilatie wordt meestal aangeduid met het ventilatievoud: het aantal keren per uur dat de ruimte in zijn geheel wordt doorspoeld met verse lucht. De eisen die de overheid stelt aan de ventilatie zijn veelal geformuleerd in termen van een vereist ventilatievoud (Arbeidsinspectie, 1973; 1982; 1988).

Zoals de raamsnelheid maar een beperkt beeld geeft van de beschermende werking van een zuurkast, zo geeft het ventilatievoud maar een beperkt beeld van de bescherming die de ruimteventilatie biedt. Een beter beeld ont-

staat door het uitvoeren van speciale ventilatiemetingen of (indirect) door blootstellingsmetingen uit te voeren. In laboratoria vinden verschillende (kleinschalige) werkzaamheden plaats met uiteenlopende gevaarlijke stoffen, zodat blootstellingsmetingen al snel omvangrijk dreigen te worden. Een alternatief is het uitvoeren van min of meer gestandaardiseerde laboratoriumhandelingen waarbij de invloed van een aantal factoren systematisch wordt onderzocht. In een eerder onderzoek zijn standaard-experimenten uitgevoerd met vluchtige oplosmiddelen aan een laboratoriumtafel waarbij de concentratie in de ademhalingszone werd bepaald (Zwaard en Verschoor, 1991). Daarbij bleek dat de concentratie waaraan een medewerker wordt blootgesteld min of meer recht evenredig is aan de dampspanning van het oplosmiddel. Hoe *sterk* de concentratie toeneemt met de dampspanning, hangt af van de beschermende werking van het ventilatiesysteem. In één van de onderzochte typen laboratoriumruimten bleek de evenredigheidsconstante globaal 0,1 tot 0,5 ppm/mbar te bedragen bij een ventilatievoud van ongeveer 6 h⁻¹ (Zwaard en Verschoor, 1991). Om te toetsen of deze evenredigheidsconstante een algemene geldigheid heeft, werden vergelijkbare metingen uitgevoerd in andere typen laboratoria.

Methode

In het onderzoek zijn metingen uitgevoerd in drie laboratoriumruimten. De eerste ruimte (A) is een 6 m hoge grote practicumzaal met een volume van ruim 1600 m³. De lucht wordt via het plafond toegevoerd over een vrij groot oppervlak en verlaat de ruimte via de zuurkasten. De tweede ruimte (B) heeft een hoogte van 3 m en een volume van 450 m³. Ook hier wordt de lucht toegevoerd via het plafond over een vrij groot oppervlak en afgevoerd via de zuurkasten. De derde ruimte (C) is kleiner (180 m³). De luchttoevoer vindt hier verticaal omhoog plaats op een hoogte van ongeveer 1 m met relatief grote snelheid over een klein oppervlak via (circa 100) kleine openingen (zie

1. Gorlaeus Laboratoria, Postbus 9502, 2300 RA Leiden.

2. Hogeschool West-Brabant, Polytechnische Faculteit, Concordialaan 137, 4874 NS Etten-Leur.

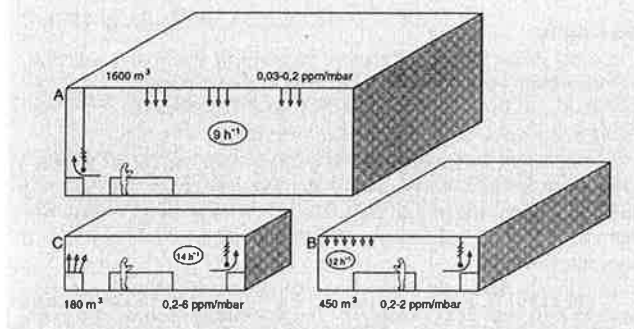
3. Unilever Research Laboratorium, Postbus 114, 3130 AC Vlaardingen.

figuur 1). Ook hier verlaat de lucht de ruimte via een aantal zuurkasten.

In elk van de ruimten werd gemeten tijdens standaard-handelingen met oplosmiddelen aan de laboratoriumtafel op een plaats waar het gebruikelijk is om werkzaamheden uit te voeren en waar een 'normale' doorspoeling van de ruimte mag worden verwacht.

Bij de experimenten werden zes oplosmiddelen gebruikt:

Figuur 1. De drie laboratoriumruimten (A, B en C) waarin metingen zijn uitgevoerd



ether, aceton, methanol, ethylacetaat, ethanol en toluen. Het uitvoeren van de standaard-experimenten en het gebruik van de MIRAN 1B infrarood analyzer zijn eerder beschreven (Zwaard en Verschoor, 1991). In het hier gepresenteerde onderzoek is tevens gebruik gemaakt van een Bruel & Kjaer (B&K) Multigasmonitor 1302.

De overschenkeexperimenten waarbij werd gemeten met de laatst genoemde monitor, duurden minimaal 5 minuten. Tijdens de eerste minuut werd niet bemonsterd; de concentratie werd gemiddeld over de resterende meettijd. Bij deze metingen werd soms gebruik gemaakt van een manifold die bestond uit negen monsternapenpunten, verdeeld over drie statieven. De hoogtes van de monsternapenpunten bedroegen 130, 145 en 160 cm. Eén van de statieven bevond zich direct voor de proefpersoon, de andere twee stonden 20 cm van de rand van de tafel en 20 cm (links en rechts) van de plaats van overschenken.

Resultaten en conclusies

De gemiddelde concentratie tijdens het overschenken aan de laboratoriumtafel is bepaald in ruimte B, waarbij het ventilatievoud werd gevarieerd door meer of minder zuurkasten in te schakelen (de hoeveelheid toegevoerde lucht werd hieraan aangepast). De metingen werden uitgevoerd bij afwezigheid van ventilatie en bij een ventilatievoud van 6 h^{-1} en 12 h^{-1} . Voor elk oplosmiddel werd de geometrisch gemiddelde concentratie gedeeld door de dampspanning van het oplosmiddel (bij de gemiddelde temperatuur tijdens het overschenken). De gemiddelde waarde van het quotiënt over de zes oplosmiddelen en de range van het quotiënt is weergegeven in tabel 1. In de tabel geeft n het aantal uitgevoerde standaard-experimenten weer. Elk standaard-experiment bestaat uit een aantal waarnemingen (uitlezingen van de meetapparatuur; Zwaard en Verschoor, 1991) voor één oplosmiddel.

Uit tabel 1 blijkt dat de gemiddelde concentratie in de ademhalingszone binnen één ruimte (B) daalt met toenemend ventilatievoud. Bij het ontbreken van ventilatie wordt de gemiddelde concentratie op 135 cm hoogte bijna 6 p ppm (waarbij p de dampspanning van het oplosmiddel in mbar is), bij het inschakelen van de ventilatie daalt deze tot ongeveer 0,1 p ppm. Deze waarde neemt af met toenemend ventilatievoud. Eerder is overigens gebleken dat de concentraties bij afwezigheid van ventilatie afhan-

Tabel 1. Gemiddelde en range van het quotiënt van geometrisch gemiddelde concentratie (gemeten met MIRAN 1B) en dampspanning (gemiddelde en range) in experimenten met zes oplosmiddelen in laboratoriumruimte B

| ventilatievoud (h^{-1}) | 0 | 6 | 12 |
|------------------------------------|--------|----------|----------|
| hoogte meting (cm) | 135 | 135, 160 | 135, 160 |
| gemiddelde (ppm/mbar) | 5,7 | 0,15 | 0,10 |
| [n] | [6] | [12] | [12] |
| range (ppm/mbar) | 1,0-11 | 0,05-0,3 | 0,02-0,3 |

kelijk zijn van de hoogte waarop wordt gemeten, terwijl bij ingeschakelde ventilatie de hoogte-afhankelijkheid verdwijnt (Zwaard en Verschoor, 1991).

De afname van het quotiënt van gemiddelde concentratie en dampspanning met toenemend ventilatievoud kan worden geïllustreerd door berekening van de Spearman rang-correlatiecoëfficiënt voor de individuele waarden ($r_s = -0,58$; $n = 30$; $p = 0,0008$).

Om de algemene geldigheid van de verkregen resultaten te onderzoeken werd het overschenken in een andere serie experimenten uitgevoerd in drie verschillende laboratoriumruimten (A, B en C). Deze ruimten verschillen onderling in ventilatievoud (respectievelijk 9 , 12 en 14 h^{-1}) en ventilatiepatroon (zie figuur 1).

Deze serie metingen werd uitgevoerd met de B&K-meetapparatuur. Ook hier is het gemiddelde en de range van het quotiënt van de geometrisch gemiddelde concentratie en de dampspanning over de zes oplosmiddelen bepaald en weergegeven in tabel 2.

De waarden in tabel 2 laten zien hoe sterk het quotiënt

Tabel 2. Gemiddelde en range van het quotiënt van geometrisch gemiddelde concentratie (gemeten met B&K 1302) en dampspanning in experimenten met zes oplosmiddelen in de drie laboratoriumruimten A, B en C.

| ruimte | A | B | C |
|--|----------|----------------------|----------------------|
| ventilatievoud (h^{-1}) | 9 | 12 | 14 |
| hoogte meting (cm) | 160 | 130-160 ¹ | 130-160 ¹ |
| gemiddelde (ppm/mbar) | 0,10 | 0,80 | 2,9 |
| [n] | [6] | [6] | [6] |
| range (ppm/mbar) | 0,03-0,2 | 0,2-2 | 0,2-6 |
| gemiddelde ($\text{mg}/\text{m}^3 \text{ mbar}$) | 0,28 | 1,8 | 7,2 |

¹ Met gebruik van manifold

van concentratie en dampspanning varieert in de verschillende ruimten. Opvallend is dat de hoogste concentraties worden gemeten in de ruimte met het grootste ventilatievoud (C) en de laagste concentraties in de ruimte met het kleinste ventilatievoud (A). Het quotiënt blijkt zelfs positief samen te hangen met het ventilatievoud (Spearman rang-correlatiecoëfficiënt $r_s = 0,83$; $n = 18$; $p = 0,00002$).

De concentraties die met de B&K-monitor (met gebruik van een manifold) zijn gemeten, blijken overigens aanzienlijk hoger dan de waarden bepaald met de MIRAN-ana-

lyzer. De afwijking tussen de resultaten van beide instrumenten verschilt per oplosmiddel. Voor ethanol is het verschil het grootste, voor ethylacetaat is het verschil verwaarloosbaar.

Er zijn geen voor de hand liggende verklaringen aan te wijzen voor de waargenomen verschillen; in het hier beschreven onderzoek zijn zij niet nader onderzocht.

In enkele aanvullende experimenten werd niet overgeschonken maar werd de concentratie bepaald die ontstond door een oplosmiddel in een bekeerglas snel te roeren met een magneetroeder. Het quotiënt van gemiddelde concentratie en dampspanning is in deze experimenten ruim een factor 10 lager dan tijdens het overschenken. De concentraties die aan de laboratoriumtafel werden gemeten met gebruik van de manifold en de B&K-meetapparatuur waren hierbij in ruimte C ruwweg een factor 3 hoger dan in ruimte B. Deze experimenten bevestigen de resultaten van de standaard-experimenten. Door de kleinere verstoringen zijn de metingen beter reproduceerbaar.

De concentraties die in de verschillende ruimten zijn gemeten, vertonen geen vanzelfsprekend verband met de waarde van het ventilatievoud. Wanneer de concentraties worden vergeleken met de ventilatiestroom (het product van het ventilatievoud en het volume van de ruimte), ontstaat een logischer patroon (tabel 3). De concentraties nemen af met toenemende ventilatiestroom, iets dat overigens ook geldt in evenwichtssituaties bij verdunningsventilatie met perfecte menging. Hierbij bepaalt de ventilatiestroom de evenwichtsconcentratie en het ventilatievoud de snelheid waarmee evenwicht wordt bereikt. Bij ideale (volledige) menging ontstaat in een geventileerde ruimte een evenwichtsconcentratie c_{ev} (in mg/m^3) die gelijk is aan P/Q_v . Hierin is P de emissiesnelheid (in mg/min) en Q_v de ventilatiestroom (in m^3/min).

In eerder onderzoek (Zwaard en Verschoor, 1991) bleek tijdens de standaard-experimenten een (semi-)evenwichtssituatie te ontstaan waarbij de concentratie in de ademhalingszone 0,25 p ppm bedraagt. De waarde van de emissiesnelheid bleek globaal 25 p mg/min te bedragen (p is de gemiddelde dampspanning van het oplosmiddel tijdens het overschenken in mbar).

Als deze emissiesnelheid wordt gecombineerd met de waarden van de ventilatiestroom, kan voor elk van de ruimten een theoretische evenwichtsconcentratie c_{ev} worden berekend. Voor bijvoorbeeld ruimte A is de ventilatiestroom $9 (h^{-1}) \times 1600 (m^3) = 14400 m^3/h = 240 m^3/min$. De waarde voor c_{ev} is dan $25 p / 240 mg/m^3 = 0,10 p mg/m^3$.

Voor ruimte B en C kunnen vergelijkbare berekeningen worden uitgevoerd (zie tabel 3).

Het is overigens gebruikelijk om bij het toepassen van de

theoretische evenwichtsconcentratie in de praktijk rekening te houden met hogere blootstelling door onvolledige menging. De werkelijke concentraties (c_{exp}) kunnen groter zijn dan de evenwichtsconcentraties (c_{ev}). In de praktijk worden daartoe veiligheidsfactoren (c_{exp}/c_{ev}) gebruikt die variëren van 3 tot 10 (Roach, 1992).

Tabel 3 laat zien dat in ruimte A concentraties ontstaan die de waarden benaderen die worden verwacht op grond van ideale menging. In ruimte B en vooral in ruimte C ontstaan hogere concentraties in de ademhalingszone. Een beter beeld van de plaatsafhankelijkheid van de ventilatie ('het effectieve ventilatievoud') ontstaat door het concentratieverval te meten na het op gecontroleerde wijze laten vrijkomen van een hoeveelheid testgas. Dergelijke metingen zijn niet uitgevoerd in het hier gepresenteerde onderzoek.

Op grond van de huidige metingen is duidelijk dat het ventilatievoud geen goede voorspeller is voor de concentratie van oplosmiddelen in de atmosfeer van laboratoria. Blijkbaar zijn andere parameters sterker bepalend voor de blootstelling. Voor een aantal hiervan kon een Spearman rang-correlatiecoëfficiënt r_s worden berekend uitgaande van de individuele waarden van het quotiënt. Het betreft de hoogte van de ruimte ($r_s = -0,77$; $n = 18$; $p = 0,0002$), het volume van de ruimte ($r_s = -0,83$; $n = 18$; $p = 0,00002$) en de gemiddelde afstand tussen de plaats van toevoer en de plaats van afvoer van lucht in de ruimte ($r_s = -0,51$; $n = 18$; $p = 0,03$). Daaruit blijkt dat vooral het volume en de hoogte van de ruimte een sterke invloed hebben. Een nadere analyse met behulp van meervoudige regressie-analyse is op grond van de weinige beschikbare gegevens niet verantwoord.

Discussie

Bij het overschenken van oplosmiddelen aan een laboratoriumtafel verdunt de ventilatie de vrijkomende damp van het oplosmiddel. Aan het oppervlak van het verdampende oplosmiddel wordt de concentratie bepaald door de dampspanning van het oplosmiddel en bedraagt circa 1000 p ppm (p is de dampspanning in mbar). Als in de ademhalingszone een gemiddelde concentratie c_{gem} (in ppm) wordt gemeten, heeft dus een verdunning plaatsgevonden met een factor $1000 p/c_{gem}$.

De beschermingsfactor $1000 p/c_{gem}$ heeft 'normaal gesproken' een hoge waarde. Eerder is gevonden dat bij overschenken in een geventileerde ruimte concentraties in de ademhalingszone optreden van circa 0,25 p ppm; de beschermingsfactor bedraagt dan $1000/0,25 = 4000$.

Merk op dat bij afwezigheid van ventilatie gemiddelde concentraties in de ademhalingszone optreden van ongeveer 6 p ppm (range 1-11) (zie tabel 1) en de beschermingsfactor dan al een aanzienlijk waarde heeft (100 tot 1000). De ventilatie voegt hier 'slechts' een factor 4 tot 40 aan toe. Deze waarde zal overigens bij het werken met bepaalde toxische stoffen onvoldoende zijn zodat dan lokale ventilatie noodzakelijk is.

De eenvoudige (min of meer lineaire) relatie tussen de gemiddelde dampspanning (tijdens overschenken) en de verdampingsnelheid respectievelijk de concentratie in de ademhalingszone is een opmerkelijk resultaat van eerder uitgevoerde standaard-experimenten (Zwaard en Verschoor, 1991). Dat neemt niet weg dat het overschenken een ingewikkeld proces is en een algemeen toepasbaar model voor niet-isotherme verdamping niet bestaat. Voor verdamping van vluchtige stoffen onder isotherme condities bestaan verschillende modellen (Nielsen et al., 1995). In de daarbij gebruikte (veelal ingewikkelde) uitdrukkingen voor de verdampingsnelheid (in mg/s) komen verschillende parameters voor zoals de dampspanning, het molecuulgewicht en de diffusiecoëfficiënt (in lucht) van de

Tabel 3. Ventilatiestroom Q_v , berekende evenwichtsconcentratie c_{ev} , experimenteel bepaalde concentratie c_{exp} en c_{exp}/c_{ev} voor standaard-experimenten in de drie laboratoriumruimten A, B en C (p = dampspanning in mbar)

| ruimte | A | B | C |
|--------------------|--------|--------|--------|
| $Q_v (m^3/min)$ | 240 | 90 | 42 |
| $c_{ev} (mg/m^3)$ | 0,10 p | 0,28 p | 0,60 p |
| $c_{exp} (mg/m^3)$ | 0,28 p | 1,8 p | 7,2 p |
| c_{exp}/c_{ev} | 2,8 | 6,4 | 12 |

stof, en de luchtsnelheid. Bovendien hangt de verdampingssnelheid af van de grootte en geometrie van het verdampende oppervlak.

De waarden van 0,15 en 0,25 ppm/mbar voor het quotiënt van concentratie en dampspanning zijn eerder gebruikt in vuistregels (Zwaard, 1991; Zwaard en van der Steeg, 1994). Zij zijn gebaseerd op de resultaten van eerder uitgevoerde metingen in laboratoriumruimte B (bij een ventilatievoud van circa 6 h^{-1}). Zoals alle vuistregels zijn ze niet geheel precies maar geven ze wel een indicatie van de orde van grootte. Meer exact gesteld, blijkt dat het quotiënt van de concentratie in de ademhalingszone en de dampspanning een aanzienlijke range omvat die zich uitstrekt over één orde-grootte (zie tabel 1 en 2). Uit dit onderzoek blijkt dat de concentraties die met de B&K-monitor zijn gemeten aanzienlijk hoger zijn dan de waarden bepaald met de MIRAN-analyzer. Wegens het ontbreken van een 'gouden standaard' verdient het aanbeveling om voorlopig hogere waarden te hanteren voor het te verwachten quotiënt van concentratie en dampspanning. Als het ongunstige ventilatiepatroon van ruimte C buiten beschouwing wordt gelaten, zou een voorlopige nieuwe (en gemakkelijk te onthouden) waarde 1 ppm/mbar kunnen zijn.

Onder ongunstige ventilatie-condities (zoals in ruimte C) kunnen echter hogere gemiddelde concentraties optreden. Dat geldt in nog sterkere mate voor de blootstelling tijdens kortdurende (overschenk-) handelingen: eerder is benadrukt dat de concentraties sterke fluctuaties vertonen op seconde-tijdschaal (Zwaard en Verschoor, 1991). Uit de uitgevoerde metingen blijkt dat de beschermende werking van de ventilatie in het algemeen sterk afhangt van het ventilatiepatroon. Binnen één ruimte hangt de beschermende werking van de ventilatie nauw samen met het ventilatievoud: een groter ventilatievoud leidt tot lagere concentraties in de lucht. Bij het vergelijken van verschillende ruimten is het ventilatievoud echter geen alles bepalende parameter; de invloed van de wijze waarop lucht wordt toegevoerd is van groot belang. Indien deze wordt ingeblazen over een groot oppervlak en het volume van de werkruimte is groot, dan ontstaat een gelijkmatig

luchtstromingspatroon. Wanneer de snelheid van de toegevoerde lucht toeneemt ontstaan (met name in kleinere werkruimten) turbulente luchtbewegingen die de effectiviteit van de ventilatie nadelig beïnvloeden.

Uit vervolgonderzoek zal moeten blijken welke factoren met name bepalend zijn voor blootstelling aan oplosmiddelen in laboratoria en in hoeverre de genoemde vuistregel van 1 ppm/mbar een verantwoorde keuze is bij het voorspellen van de concentraties waaraan laboratoriummedewerkers worden blootgesteld.

Literatuur

- Arbeidsinspectie; Laboratoria: Veiligheid bij gebruik van gevaarlijke stoffen, p. 130, Voorburg, 1973.
- Arbeidsinspectie; Laboratoria: Veiligheid en hygiëne, Algemeen, p. 130-1, Voorburg, 1982.
- Arbeidsinspectie; Laboratoria: Algemeen, CP 16-2, Voorburg, 1988.
- Caplan, K.J. en Knutson, G.W.; Influence of room air supply on laboratory hoods, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 43, 738 (1982).
- Nielsen, F., Olsen, E. en Fredenslund, A.; Prediction of isothermal evaporation rates of pure volatile organic compounds in occupational environments, *Ann. Occup. Hyg.* 39, 497 (1995).
- Roach, S.; Health Risks from Hazardous Substances at Work, Pergamon Press, Oxford, 1992.
- Zwaard, A.W. en Verschoor, C.F.; Inhalatoire blootstelling aan organische oplosmiddelen in laboratoria, *Tijdschrift voor Toegepaste Arbowedenschap*, 4, 99 (1991).
- Zwaard, A.W.; Blootstelling aan oplosmiddelen: vooral een chlo-roform-probleem, *Laboratorium Praktijk* 1991, 563.
- Zwaard, A.W. en Steeg, M. van der; Kans op overschrijding MAC-waarden vertienvoudigd, *Laboratorium Praktijk* 1994, 387.
- Zwaard, A.W., Steeg, M. van der en Kroes, A.G.; Lektesten van zuurkasten, *Tijdschrift voor Toegepaste Arbowedenschap*, 8, 23 (1995).
- BS 7258, Laboratory fume cupboards. Part 4: Method for determination of the containment value of a fume cupboard, British Standards Institution, 1994.
- DIN 12924, Teil 1, Abzüge für Allgemeinen Gebrauch, Deutsches Institut für Normung, 1991. ■