

Aandachtspunten bij het meten van hinderlijk stof gedurende een 8-urige werkdag

A. Burdorf,
Instituut Bedrijfsgezondheidszorg

Erasmus Universiteit Rotterdam

Summary

The choice of a suitable measurement technique depends on many factors. In this article the most important factors for the measurement of airborne dust are reviewed. Special attention is drawn on the influence of these factors in the error analysis. The use of a standard protocol which describes careful work procedures will decrease the possibility of introduction of systematic errors. It is shown that the non-systematic error, represented by the Coefficient of Variation, is of secondary importance when compared to variation of concentration in time, represented by the Geometric Standard Deviation. It is suggested that the available resources can be used more efficiently when concentrated on the factors with the greatest impact on at-random variations of the concentration at the workplace.

Inleiding

Bij de keuze van een meetmethode voor hinderlijk stof op een werkplek zijn verschillende aspecten van belang. De te verwachten concentratie dient bijvoorbeeld minimaal een factor 2 boven de detectiegrens van de meetmethode te liggen. Bepaalde metingen worden soms gestoord door de luchtvochtigheid en het temperatuursverloop. Door transport en opwerking van het monster kan gewichtsverlies optreden. Het is vaak moeilijk een schatting te maken van de invloed van de geïntroduceerde fouten op de gemeten concentratie. Fouten in de meetmethode kunnen leiden tot meetwaarden die afwijken van de werkelijke concentratie op een werkplek. Daarbij wordt een onderscheid gemaakt in systematische en niet-systematische fouten. Een systematische fout is een vaste afwijking die bij elke meting optreedt. De niet-systematische fout is de variatie in meetresultaten die geen bepaalde oorzaak kent: de grootte en de rich-

ting ervan worden door het toeval bepaald.

Deze fouten spelen een belangrijke rol in de keuze van een geschikte meetmethode. Het is hierbij gewenst de aandacht te richten op de factoren met de grootste invloed op het meetresultaat. In dit artikel worden enkele aanwijzingen gegeven over de manier waarop belangrijke aspecten van een meetmethode kunnen worden beoordeeld. De systematische fout staat centraal bij de monsternametechniek en de analysetechniek. De niet-systematische fout wordt behandeld bij de foutenanalyse. Het gaat in dit verhaal om de algemene aanpak van dit soort problemen. Er moeten dan ook geen concrete aanbevelingen worden verwacht over toepassing van bepaalde methoden en technieken in specifieke situaties. Als voorbeeld wordt een meetmethode genomen voor het meten van hinderlijk stof door persoonsgebonden metingen ter toetsing op normoverschrijding.

Monsternametechniek

Een eerste vraag die gesteld moet worden bij een meetmethode, betreft de specificiteit voor de te meten component: meet de methode alleen de component die men beoogt te meten? Bij deeltjesvormige verontreiniging zoals stof is o.a. de verdeling van de deeltjesgrootte bepalend voor de depositie in de longen. Voor hinderlijk stof, dat meestal een specifieke prikkeling veroorzaakt, is de 'inadembare fractie' de beste blootstellingsmaat. Daarbij ontstaat al direct een probleem omdat er verschillende definities zijn voor de inadembare fractie. Zo wordt in West-Duitsland de inadembare fractie als 'Gesamtstaub' beschouwd (DFG 1987). Onder Gesamtstaub wordt de fractie verstaan die met behulp van stationaire apparatuur met een aanzuigsnelheid van 1,25 m/s wordt gevangen. In Nederland wordt eveneens van deze definitie uitgegaan: 'Onder totaal stof wordt dat

deel van het stof verstaan dat kan worden ingeademd. Dit type stof wordt gemeten met behulp van apparatuur waarbij de aanzuigsnelheid van de lucht bij de aanzuigopening 1,25 m/s bedraagt' (Arbeidsinspectie 1988). In de Nederlandse MAC-waardenlijst wordt bij deze definitie geen expliciet onderscheid gemaakt in statische en persoonsgebonden meetapparatuur. Er wordt echter van uit gegaan dat er persoonsgebonden wordt gemonsterd.

Een biologisch gezien meer relevante definitie van de inadembare fractie is door een commissie van deskundigen van de ISO geformuleerd (ISO 1983). De in Nederland veel gebruikte PAS-6 filterhouder voor persoonsgebonden metingen geeft een goede benadering van de inadembare fractie volgens de ISO-definitie (Ter Kuile 1984, Van der Wal 1983). Recente onderzoeken hebben geleid tot een enigszins bijgestelde definitie, die inmiddels door de ACGIH is geaccepteerd. Volgens deze definitie moet het vangstrendement voor deeltjes met een aerodynamische diameter van ongeveer 30 μm 50% bedragen (ACGIH 1985). Door het Institute of Occupational Medicine (Groot-Brittannië) is een nieuwe filterkop ontwikkeld voor persoonsgebonden metingen die voldoet aan de ACGIH-definitie van inadembaar stof (Mark e.a. 1986).

Nadat is besloten dat het meten van inadembaar stof noodzakelijk is, moet een geschikt meetapparaat worden gekozen. Bij toetsing op normoverschrijding is de aanzuigsnelheid van het apparaat het enige vereiste dat vastligt. Veel filterkoppen zijn dan geschikt, zoals onder andere de PAS-6. Ten behoeve van metingen die tot doel hebben de feitelijke depositie van stof in de luchtwegen te meten, is de IOM-monsternemer een goed alternatief. Bij de keuze is ook belangrijk of stationair of persoonsgebonden gemeten wordt. De luchtstroming rond een persoon is anders dan langs een vrij opgestelde meetpaal. Bij metingen met de PAS-6 dient men er rekening mee te houden dat de afvangstkenmerk van de monsterkop is bepaald door persoonsgebonden monsterneming. In vergelijking met een vrije opstelling kunnen de meetresultaten dan ook behoorlijk verschillen (Boleij e.a. 1987).

De monsterneming van inadembaar stof wordt ook beïnvloed door fluctuaties in de aanzuigsnelheid van de pomp. Recent laboratoriumonderzoek naar de prestaties van verschillende typen pompen leidde echter tot de ►

conclusie, dat de meeste pompen hooguit enkele procenten teruglopen in aanzuigsnelheid bij gebruik gedurende 8 uur. Een voorwaarde is daarbij wel dat uit de specificatie van de pomp blijkt dat de pomp geschikt is voor het ingestelde debiet. Veel pompen kunnen namelijk een hoger debiet realiseren dan officieel is opgegeven. Het verloop in aanzuigsnelheid neemt echter snel toe boven de officiële bovengrens (Lakerveld 1988).

Analysetechniek

Bij de analyse van stofmetingen zijn de conditionering en weging van de filters de belangrijkste factoren. De conditionering van de monsters is noodzakelijk om de invloed van wisselingen in temperatuur en luchtvochtigheid op het gewicht van de filter uit te schakelen. In sommige situaties maken de eigenschappen van het filtertype en het stof conditionering overbodig. Kennis hierover is op voorhand meestal niet aanwezig, zodat het is aan te bevelen de monsters altijd te conditioneren. Het langer dan één uur conditioneren blijkt in de praktijk de resultaten meestal niet veel te verbeteren. In geval van stof waarbij hysteresis kan optreden, zoals houtstof, is een langere conditionering natuurlijk wel gewenst.

Wanneer faciliteiten voor filterconditionering, zoals een silicagelexiccator ontbreken, vormt het meewegen van een aantal blanco-filters (zowel voor als na de monsterneming) een alternatief. Uit het verloop van het filtergewicht van de blanco's kan een correctiefactor worden berekend, opdat het gecorrigeerde 'blanco'-gewicht van de gebruikte filters bij de nieuwe weegcondities kan worden berekend (zie tabel 1).

Voor de weging van de filters is een analytische balans met een gevoeligheid van minimaal 0,1 mg nodig. In het laboratorium van een bedrijfsgezondheidsdienst bleek bij herhaalde metingen van filters met een zeer nauwkeurige balans, het verschil tussen de hoogste en laagste waarde per filter niet groter dan 0,05 mg te zijn. De precisie (replicability) ligt dan rond de 0,1 mg, zodat een analytische balans met een gevoeligheid van 0,1 mg voldoet. In een 8-urige meting zal een goede procedure voor conditionering (exsiccator óf correctie) en weging het meetresultaat nauwelijks beïnvloeden.

Foutenanalyse

Zoals reeds gezegd kunnen afwijkingen van de werkelijke concentratie op een werkplek een gevolg zijn van systematische en niet-systematische

fouten. Een voorbeeld van een systematische fout is het gewichtsverlies dat optreedt bij stofmetingen door de bewerking van het filter (verwijderen uit filterkop, wegen en dergelijke). Door op blanco-filters eenzelfde (meet)procedure toe te passen, krijgen men een indruk van deze verliezen. Deze blanco's worden weer gebruikt voor het berekenen van een correctiefactor voor de gemeten concentraties. Deze procedure lijkt op die uit tabel 1, met dien verstande dat het hier om een ander soort blanco's handelt. Andere systematische fouten zijn bijvoorbeeld het gebruik van een

apart worden berekend voor de analyse (CV_a) en de monstername (CV_m). Bij de analyse is het meestal geen probleem een standaardmonster een aantal keren te analyseren. Bij de monsterneming ontstaan wel problemen omdat echte dublobepalingen zelden mogelijk zijn. Een kleine plaatselijke variatie van de concentratie of de onderlinge beïnvloeding van de filterkoppen kan voldoende zijn om een juiste berekening van de CV_m -waarde te verstoren. Een pragmatische oplossing is gebaseerd op het vaststellen van de CV_t -waarde door duplowaarnemingen met behulp

Tabel 1. Het corrigeren van filterwegingen

Filternummer	Filtergewicht voor monstername (mg)	Filtergewicht na monstername (mg)	Verschilgewicht (mg)	Verschilgewicht na correctie (mg)*
1	21,0	23,6	2,6	2,8
2	20,3	25,0	4,7	4,9
3	20,4	24,1	3,7	3,9
4	20,7	23,2	2,5	2,7
5 (blanco)	20,4	20,2	-0,2	-
6 (blanco)	20,9	20,8	-0,1	-
7 (blanco)	20,4	20,1	-0,3	-
8 (blanco)	20,7	20,5	-0,2	-

* correctie: $(-0,2 - 0,1 - 0,3 - 0,2)/4 = -0,8/4 = -0,2$

Tabel 2. Berekening van CV_t -waarde op basis van 4 duplometingen

Situatie: Plaatsgebonden metingen van totaal stof gedurende 8 uur in een metaalbedrijf bij een trekbank

Meting	Concentraties in mg/m ³		%D	
1	7,2	7,6	5,4%	$CV_t = 6,8\%$ $= 0,068$
2	3,5	3,7	5,6%	
3	4,0	4,8	18,2%	
4	4,5	4,1	9,3%	

Formule's voor de berekening van de CV_t -waarde (Boleij e.a. 1987):

$$CV_t = \frac{\sum \%D}{n \sqrt{2}} \%D \frac{[c_1 - c_2]}{(c_1 + c_2)/2} * 100\%$$

Bron gegevens: C. Derikx-v/d Ven, BGD Gewest Helmond

pomp met een verlopende aanzuigsnelheid en montage van de filterkop met de aanzuigopening in de verkeerde richting.

De niet-systematische fout is de variatie in meetresultaten die geen bepaalde oorzaak kent. Deze niet-systematische fout kan worden aangeduid met behulp van de CV -waarde; de 'Coefficient of Variation'. Soms wordt ook wel de term Relatieve Standaard Deviatie gebruikt. De totale CV -waarde (CV_t) kan ook

van twee filterkoppen op eenzelfde meetopstelling. In tabel 2 wordt als voorbeeld een CV_t -waarde berekend op basis van vier duplometingen.

Foutenanalyse versus variatie in blootstelling

Bij een goede meetmethode streeft men er altijd naar de systematische en de niet-systematische fout zo klein mogelijk te maken. Een interessante vraag is hoe ver men hiermee moet gaan in het licht van de uiteindelijke

beoordeling van de meetresultaten. Zoals bekend kan de variatie in de stofconcentratie van dag tot dag sterk verschillen.

Deze variatie in concentratie is afhankelijk van werkplekeigenschappen als het type productieproces, ventilatie en verwarming. Ook monsternamen- en analysefouten van de meting beïnvloeden de dag-tot-dag variatie. Uitgaande van een lognormale verdeling van de concentraties over meerdere dagen wordt de dag-tot-dag variatie uitgedrukt als GSD (Geometric Standard Deviation), een dimensieloze eenheid. Een voorbeeld van de

ten concentratie soms 100 keer de laagste concentratie kan zijn. Deze GSD-waarde is in principe te corrigeren voor de invloed van niet-systematische monsternamen- en analysefouten. Bij benadering geldt dat de werkelijke variatie (S_t^2) wordt bepaald door de geobserveerde variatie (S_o^2) en de variatie door niet-systematische meetfouten (S_e^2). De verwachte werkelijke variatie is dan af te leiden uit de GSD-waarde en de CV_t -waarde. Voor de berekeningswijze van de waarden in tabel 4 wordt verwezen naar de literatuur (Boleij e.a. 1987, Rock 1982).

Tabel 3. Voorbeeld van de berekening van een GSD op basis van vijf 8-uurs-stofmetingen op 5 verschillende dagen

Concentratie (mg/m ³)	Natuurlijke logaritme	
2,6	0,956	Rekenkundige maten: - gemiddelde (AM = \bar{x}) = 36,3/5 = 7,3 mg/m ³ - standaarddeviatie (STD = s) = 8,4 mg/m ³
3,2	1,163	
1,0	0,000	
7,9	2,067	
21,6	3,073	
Σ 36,3	Σ 7,259	Geometrische maten: - gemiddelde (GM) = $e^{1.452} = 4,3$ mg/m ³ - standaarddeviatie (GSD) = $e^{1.167} = 3,2$
$\bar{x} = 7,3$	$\bar{m} = 1,452$	
s = 8,4	s = 1,167	

Tabel 4. De invloed van meetfouten (cv_t) op de geobserveerde variatie (GSD) van blootstelling over meerdere dagen

Geobserveerde variatie uitgedrukt in GSD	Werkelijke variatie, uitgedrukt in GSD, bij verschillende meetfouten (cv _t)		
	cv _t = 10%	cv _t = 20%	cv _t = 30%
1,20	1,16	1,00	-
1,50	1,48	1,42	1,32
1,70	1,68	1,63	1,56
2,00	1,99	1,94	1,87
2,50	2,49	2,45	2,38
2,70	2,69	2,65	2,58
3,00	2,99	2,95	2,88

berekening van een GSD-waarde op basis van vijf stofmetingen is gegeven in tabel 3.

De meest voorkomende waarden van de GSD liggen tussen de 1, 2 en de 3,0. Voor 8-uursmetingen is een GSD van 2,5 een goede schatter van de variatie in concentraties voor de meeste bedrijfssituaties (Rappaport 1984). Dit betekent in geval van meerdere 8-urige metingen op verschillende dagen dat de hoogst geme-

In het algemeen is de variatie in meetresultaten van verschillende dagen vele malen groter dan de onnauwkeurigheid door meetfouten. Het zal duidelijk zijn dat de monsternamen- en analysefouten in een gemiddelde werksituatie een zeer geringe invloed hebben op de spreiding van de gemeten concentraties. Een correctie van de GSD voor de monsternamen- en analysefouten heeft meestal dan ook weinig zin.

Conclusie

De keuze van een goede meetmethode hangt van veel factoren af. Zonder op de eisen in te gaan die vanuit de doelstelling van de meting en de praktische realiseerbaarheid kunnen worden gesteld, is de specificiteit van de meetmethode een eerste aspect. Het belang van goede en zorgvuldige werkprocedures voor monsternamen en analyse is evident. Het gebruik van een standaardprotocol zal de kans op systematische fouten verkleinen en de onderlinge vergelijkbaarheid vergroten.

In sommige meetvoorschriften en normen wordt een CV_t -waarde van ten hoogste 5 tot 10% vereist. Het is raadzaam een meetmethode niet op de vermelde CV_t -waarde te selecteren. Daarnaast moet men ook geen overdreven hoeveelheid energie besteden aan het bereiken van deze eis in de praktijk. De niet-systematische monsternamen- en analysefouten zullen nagenoeg altijd ondergeschikt zijn aan de variatie van de blootstelling in de tijd. De beoordeling van een gemeten concentratie op een bepaalde werkdag wordt niet beïnvloed door een verlaging van de CV_t -waarde van 15% naar 5%.

Bovenstaand betoog is geen pleidooi voor 'quick and dirty' werk bij het uitvoeren van metingen. Kwaliteitsbewaking blijft noodzakelijk, bijvoorbeeld door controle van aanzuigneligheden voor en na een meting of een goede weeg- en conditioneringsprocedure. De vaak spaarzame tijd dient echter wel op de belangrijkste aandachtspunten te worden gericht.

Naschrift

Dit artikel is geschreven als onderdeel van de werkzaamheden van de werkgroep Meetstrategieën van de Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne (NVvA). Deze werkgroep richt zich op het verdiepen van onderwerpen waarmee arbeidshygiënist in hun beroepspraktijk regelmatig in aanraking komen. De uitgewerkte onderwerpen zullen onder meer door publikatie in Nederlandse vakbladen op het gebied van de arbeidsomstandigheden onder de aandacht van arbeidshygiënist en andere arbodeskundigen worden gebracht. Onderhavige publikatie is er daar één van. De werkgroep meetstrategieën bestaat uit de volgende leden: D. Brouwer, A. Burdorf, E. Buringh, C. Derikx-van de Ven, D. Heederik, H. Kromhout, T.A.J. Noy, Y. Oostendorp, R.M. van de Pol, T. Scheffers en H. Veulemans. ►

Literatuur

- ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists); Particle size selective sampling in the workplace. Cincinnati Ohio 1985.
- Boleij J., D. Heederik & H. Kromhout; Karakterisering van blootstelling aan chemische stoffen in de werkomgeving. Pudoc Wageningen 1987.
- DFG (Deutsche Forschungs Gemeinschaft); Maximale Arbeitsplatz Konzentrationen und Biologische Arbeitsstoff Toleranzwerte. Verlag Chemie 1987.
- DGA (Directoraat-Generaal van de Arbeid); Nationale MAC-lijst 1988. Voorburg 1988.
- ISO (International Organisation for Standardization); Particle size fraction definitions for health related sampling. Technical report ISO/TR 7708. Geneve 1983.
- Kuile W.M. ter; Vergleichsmessungen mit verschiedenen Geräten zur Bestimmung der Gesamtstaubkonzentration am Arbeitsplatz-Teil II. Staub-Reinhalt Luft 44 (1984), 211-216.
- Lakerveld G.; Persoonlijke medeling. RBGD 1988.
- Mark D. & J. H. Vincent; A new personal sampler for airborne total dust in the workplace. Ann. Occup Hyg 30 (1986), 89-102.
- Rappaport S.M.; The rules of the game: an analysis of OSHA's enforcement strategy. Am J Ind Med 6 (1984), 291-303.
- Rock J.C.; A comparison between OSHA-compliance criteria and action-level decision criteria. Am Ind Hyg Assoc J 43 (1982), 297-313.
- Wal J.F. van der; Vergleichsmessungen mit verschiedenen Geräten zur Bestimmung der Gesamtstaubkonzentration am Arbeitsplatz- Teil I. Staub-Reinhalt Luft 43 (1983), 291-294.