

E 407

hoofdstuk 20

METING VAN BINNENLUCHTVERONTREINIGING

Door: Ir. P.B. Meyer, Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNC

Samenvatting

Meting van dampen, gassen en stof, zoals die worden aangetroffen in fabrieken (gieterijen, autoindustrie, keramische industrie, enz.), ziekenhuizen (narcosemiddelen), kantoren, woningen, enz.

In dit verband worden monstertijd en monsterfrequentie behandeld, nodig om een zo goed mogelijke indruk te krijgen van de hoeveelheden toxische stoffen, die worden ingeademd.

Tevens zal worden ingegaan op het begrip maximaal aanvaardbare concentratie.

1. Normen betreffende luchtverontreiniging in bedrijfsruimten. (1) (2)

Kwalitatieve en kwantitatieve beheersing van in een bedrijf aanwezige luchtverontreinigingen is één van de voorwaarden waaraan een goed bedrijfshygiënisch beleid moet voldoen.

Vaak is de totale, tijdens de werksituatie, opgenomen hoeveelheid (zie formule) schadelijke stoffen bepalend voor het te lopen risico.

$$Q \approx \int_{t_b}^{t_e} (c_i - c_u) V dt$$

Q = opgenomen hoeveelheid (dosis)

c_i = concentratie van de ingeademde stof

c_u = concentratie van de uitgedemde stof

V = per tijdseenheid ingeademde hoeveelheid lucht (25°C en 1000 mb)

t = tijd

t_b = tijdstip waarop blootstelling aan de verontreiniging(en) begint

t_e = tijdstip waarop blootstelling aan de verontreiniging(en) eindigt

Cpmerking: Bovenstaande formule geeft slechts een eerste benadering. Bijv.: Opname via huid en uitscheiding via transpiratie zijn verwaarloosd, ingeademde hoeveelheid lucht is niet gelijk aan uitgedemde hoeveelheid.

Uitgangspunt voor het aanleggen van normen is de dosis-effektkromme, die in het algemeen S-vormig verloopt.

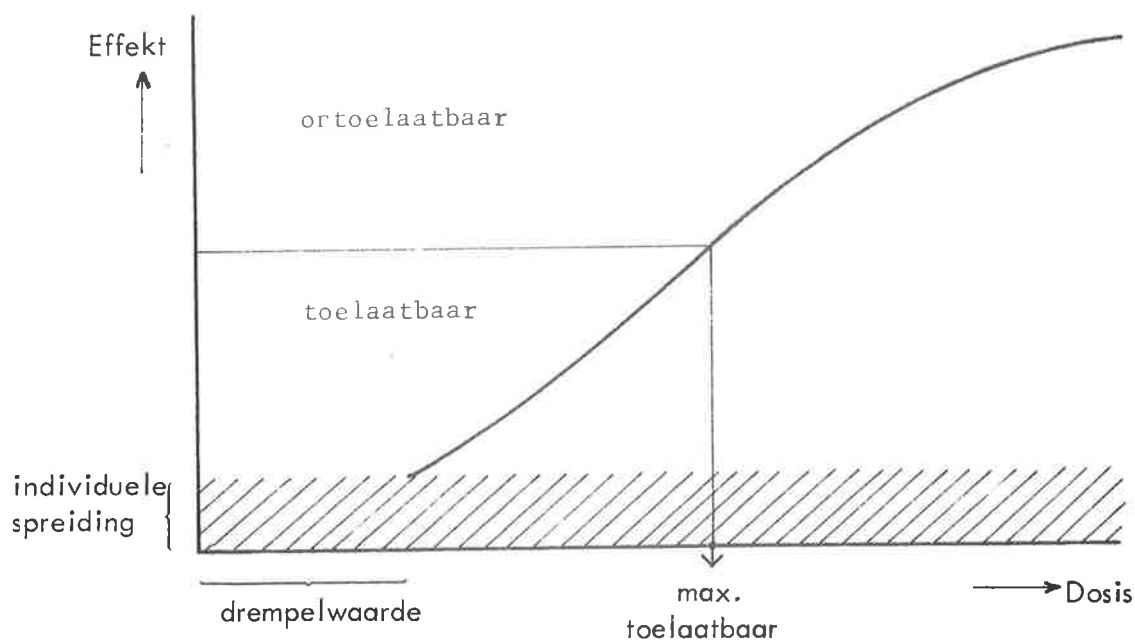


Fig.1. Dosis - effektkromme

Uit praktische overwegingen vertaalt men de max. toelaatbare dosis in een maximaal toelaatbare concentratie (MAC) waarbij men niet mag vergeten dat naast de in het algemeen betrekkelijk kleine individuele spreidingen in ademminuutvolume, de arbeidssituatie (zwaarte van de arbeid, warmtebelasting, enz.) van zeer grote invloed kunnen zijn op het ademminuutvolume (zie formule). Dit is één van de redenen dat de MAC slechts als richtlijn kan worden gebruikt.

De definitie van de maximaal aanvaardbare concentratie luidt als volgt:

"de MAC van een schadelijke luchtverontreiniging is de, over de tijd gemiddelde, concentratie die naar men aanneemt ook op de duur zonder schade door de volwassen mens kan worden verdragen wanneer hij daarin regelmatig gedurende 8 à 9 uren per dag bedrijfsarbeid verricht".

Een lijst van stoffen met de daarbij behorende MAC waarden wordt elk jaar door het Veiligheidsinstituut te Amsterdam gepubliceerd (3). De Arbeidsinspectie en het Staatstoezicht op de mijnen, die ieder op het hun door de wet toegewezen gebied in Nederland toezicht houden op de veiligheid, hebben het laatste woord maar hanteren de MAC waarden als richtlijn.

De eerder genoemde lijst van de MAC waarden heeft betrekking op het vóórkomen van één stof als luchtverontreiniging.

Indien mengsels van toxische stoffen in de lucht aanwezig zijn, bedient men zich soms van de volgende benadering :

Men deelt de gemeten concentratie van elke luchtverontreiniging door zijn MAC waarde. Voor elke verontreiniging krijgt men dan een breuk. Indien de som van de breuken groter is dan 1, wordt verondersteld dat de MAC van het mengsel overschreden is. Opgemerkt zij dat dit een zeer ruwe benadering is, die slechts mag worden toegepast bij gebrek aan betere informatie.

Voorbeeld

In een ruimte worden de volgende concentraties gemeten.

	Gemeten p.p.m.	MAC p.p.m
Koolmonoxide	40	50
Stikstofdioxide	10	25

$$\text{De som van de } \frac{\text{gemeten concentratie}}{\text{MAC waarde}} \quad \frac{40}{50} + \frac{10}{25} = 1,2$$

De uitkomst van de berekening laat zien dat de som van de quotiënten groter dan 1 is, hetgeen betekent dat voor het mengsel de maximaal aanvaardbare concentratie wordt overschreden en de toestand moet worden afgekeurd.

2. De meetgrootheid

Uit de vorige paragraaf blijkt dat voor de beoordeling van de graad van luchtverontreiniging, aard van de aanwezige luchtverontreinigingen en hun concentratie moeten worden bepaald. Daar het begrip concentratie op tientallen manieren kan worden gedefiniëerd, wordt op deze plaats kort ingegaan op definities en eigenschappen van deze grootheid zoals deze in de bedrijfshygiëne wordt toegepast.

De concentraties van gas- of dampvormige verontreinigingen worden uitgedrukt in mg verontreiniging per m³ lucht van 25°C en 760 mm kwik.

Een andere wijze van uitdrukking is in parts per miljoen, afgekort p.p.m. (d.w.z. aantal moleculen verontreiniging per miljoen moleculen lucht, of hetgeen hiermee equivalent is, cm^3 verontreiniging per m^3 lucht).

Voor gassen of dampen, waarvan het moleculaire gewicht bekend is, kan men deze grootheden gemakkelijk in elkaar omrekenen, bijv. 1 p.p.m. = 1 cm^3 per 1 m^3 lucht.

1 cm^3 van 0°C en 760 mm kwik van een gas of damp met mol. gewicht M weegt

$$\frac{M}{22,4} \quad \frac{\text{mg}}{\text{cm}^3}$$

1 mgmol van een gas of damp neemt bij P mm druk en een temperatuur van $t^\circ\text{C}$ een volume in van

$$22,4 \text{ cm}^3 \times \frac{760 \text{ mm kwik}}{P \text{ mm kwik}} \times \frac{t^\circ\text{C} + 273^\circ\text{C}}{273^\circ\text{C}}$$

1 p.p.m van een verontreiniging met een moleculairgewicht M is bij 760 mm en 25°C dus $\frac{M}{24,4} \text{ mg/m}^3$.

Leidt voor Uzelf af dat $1 \text{ mg/m}^3 = \frac{24,4}{M} \text{ p.p.m.}$

De concentraties van aerosolen wordt uitgedrukt in mg/m^3 of aantal deeltjes per cm^3 . In de Angelsaksische literatuur wordt vaak de grootte miljoen particles per cubic feet gebruikt, afgekort mppcf (1 mppcf = 35,5 deeltjes per cm^3).

Daar moleculen van eenzelfde stof alle dezelfde afmetingen en hetzelfde gewicht hebben kan men bij gasvormige luchtverontreinigingen de gravimetrische concentratie (mg/m^3) in een numerieke concentratie omzetten.

Voor de aerosolen is dit niet het geval, daar deze uit macroscopische deeltjes bestaan, die niet dezelfde grootte hebben en als het om vaste deeltjes gaat in het algemeen ook niet dezelfde vorm hebben.

3. Het meetplan

De concentraties van luchtverontreinigingen fluktuëren vaak sterk, zowel in de tijd als naar de plaats. Daarom is het niet voldoende om op een willekeurige plaats gedurende een willekeurige tijd een luchtmonster te nemen en te onderzoeken. Te lange monstertijden verdoezelen n.l. uitschieters. Vooral uitschieters naar boven kunnen vanuit gezondheidstechnisch standpunt belangrijk zijn. Ook voor het ontwerpen van installaties, die de luchtverontreinigingen moeten bestrijden (ventilatie capaciteit, stofafscheiders, absorbers, enz.) is deze kennis onontbeerlijk.

Een mogelijkheid die wij bij kortdurende onderzoeken gebruiken is na te gaan tot welk niveau de concentratie stijgt indien men de omstandigheden zo ongunstig mogelijk kiest. Een andere methode bestaat daaruit dat men α -selekt monstert.

Coenen (4) geeft de volgende regel, indien α -selekt de gemiddelde concentratie over één uur wordt bepaald en deze concentratie $c \leq 1/3 \text{ MAC}$, dan is de situatie veilig. Als de gemiddelde concentratie over een uur gemeten $c > 3 \text{ MAC}$, dan moet de situatie worden afgekeurd.

Indien de concentraties binnen deze grenzen vallen, dan moeten aanvullende metingen worden uitgevoerd, waarbij volgens Roach (5) de volgende formule kan worden gebruikt :

$$\bar{c} + \frac{c_{\max} - c_{\min}}{\sqrt{n - 1}} \leq \text{MAC}$$

\bar{c} = het rekenkundig gemiddelde van de metingen

n = het aantal metingen

c_{\max} = de hoogst gemeten concentratie

c_{\min} = de laagst gemeten concentratie

MAC = de maximaal aanvaardbare concentratie

Tenslotte zij opgemerkt dat bovenstaande regels richtlijnen geven. Zij zijn afgeleid voor sterk vereenvoudigde gevallen. Te allen tijde dient "het gezonde verstand" toegepast te worden en de doorslag te geven.

4. De monsterneming

De keuze van de wijze van monstereen en de te gebruiken analyse apparatuur hangt o.a. af van de in de vorige paragraaf genoemde overwegingen bij het bepalen van de monstertijd. Bij sterk wisselende concentraties en stoffen waarbij een maximum concentratie niet overschreden mag worden, zal men aan automatisch werkende monster- en meetapparatuur denken, die bijv. met een alarmsysteem is verbonden.

Nadeel: De apparatuur is weinig flexibel en hoewel automatisch werkende alarmeringsapparaten niet altijd kostbaar hoeven te zijn, moet men toch in het algemeen denken aan een uitgave boven de f 15.000,-- per apparaat.

Heeft men met stoffen te maken waarvan de gemiddelde concentratie onder een bepaald niveau moeten liggen, maar waar hoge concentraties gekompenseerd kunnen worden door lage concentraties, dan is een diskontinue monsterneming in het algemeen voldoende. Hetzelfde geldt als men zelfs onder de ongunstigste condities nog onder de MAC blijft. Dan moet men alleen bij verandering van omstandigheden nagaan of dit nog steeds waar is. Het is een methode, die zeker bij zeer gevaarlijke stoffen nadelen heeft. Voordeel is, dat ze flexibel is en goedkoop en in die gevallen waar geen automatische apparaten bestaan wel eens de enig mogelijke is. De monsterapparatuur kost over het algemeen enige honderden guldens en met gaschromatograaf, ca. f 15.000,--, als analyseapparaat, kan men een zeer groot aantal problemen onderzoeken.

Daar de afdeling Binnenlucht voornamelijk van diskontinue monsterneming gebruik maakt zal met de bespreking hiervan worden begonnen. Uit het grote aantal bekende systemen zal een keuze worden gedaan.

a. Lucht wordt in een plastic zak gepompt en vervolgens naar het laboratorium vervoerd en daar onderzocht. Goed te voldoen bleken monsterzakken uit: films van polytrifluoromonochloorethyleen (Tetlar) dikte 150 μ m en films van flex-O-foil bestaande uit lagen polytheen, aluminiumfolie met polyesther aan de binnenkant, dikte 150 μ m.

De zakken kunnen worden opgepompt. Bij voorkeur worden ze gevuld door ze in een kist te leggen, waarin een onderdruk wordt gecreëerd of met behulp van handvatten uit elkaar getrokken (fig. 2).

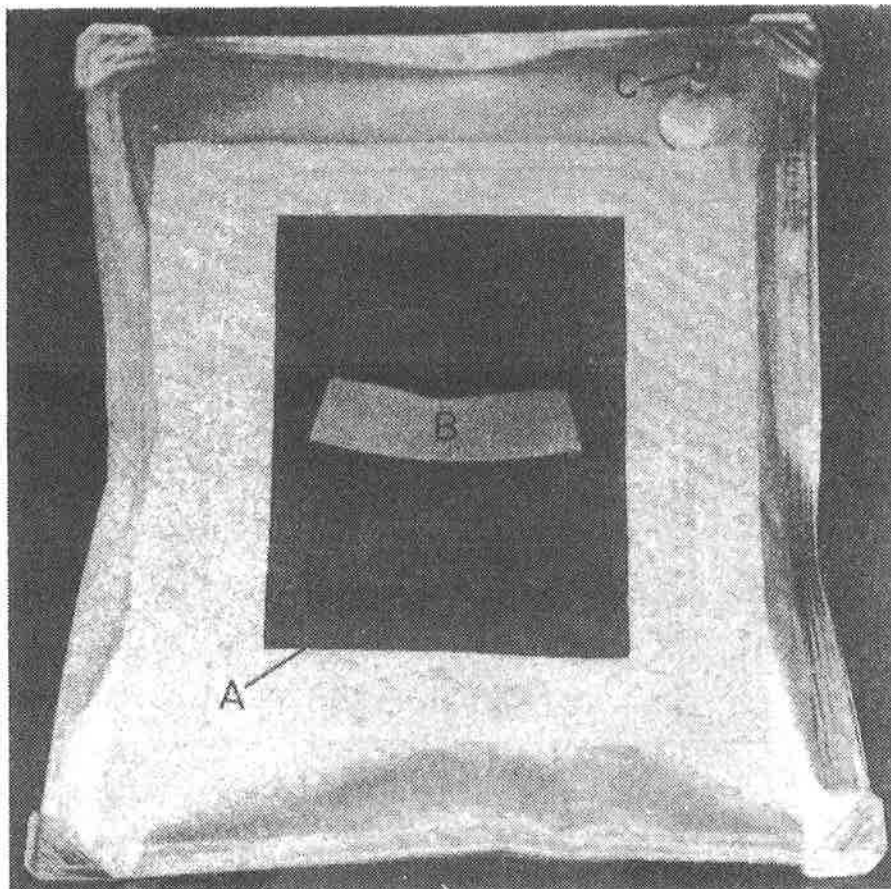


Fig. 2. Plastic monsterzak, afmetingen 35 cm x 40 cm
 A hardboard
 B handvat
 C ventiel (Teflon)

De zakken staan via een teflon kraan in verbinding met de buitenlucht en kunnen op deze wijze met een minimum risico voor contaminatie worden gevuld. Een nadeel van deze methode is dat de concentratie in de zakken langzaam achteruit loopt.

- b. Men leidt een bekende hoeveelheid lucht door een absorber fig. 3, die met een geschikte vloeistof is gevuld. de aard van de vloeistof hangt af van de te onderzoeken verontreiniging, die men wil vangen. Nadeel: Vangstpercentage moeten worden bepaald. Voordeel: Verontreiniging is over het algemeen goed houdbaar. Men kan door voldoende lang te monsteren de gevoeligheid van de bepaling verhogen.

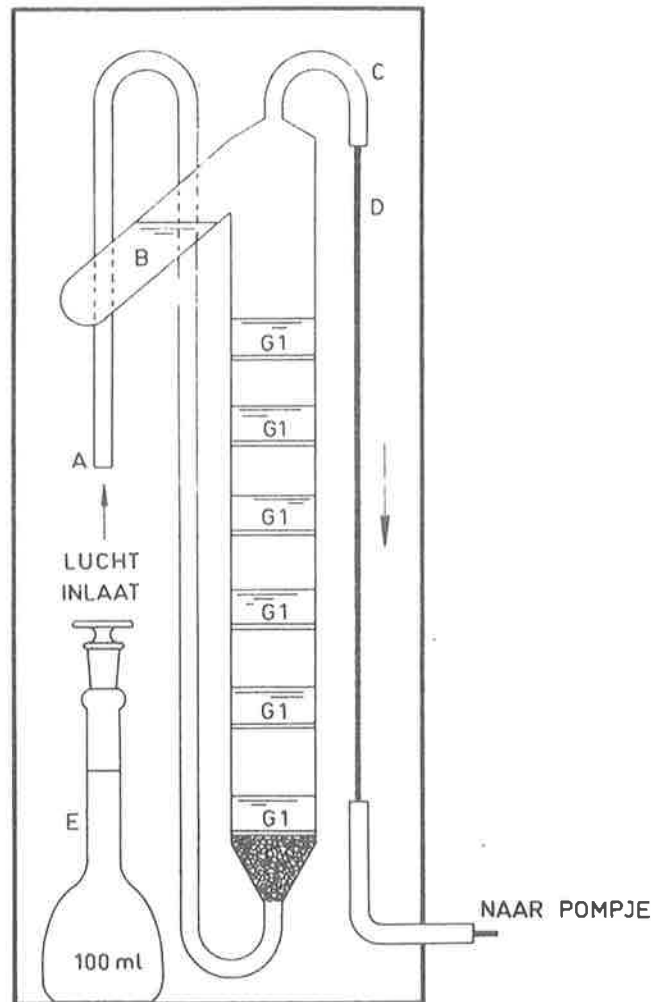


FIG.3 SCHEMA VAN ABSORPTIE-APPARAAT VOLGENS BERGSHOEFF

- c. Men leidt een bekende hoeveelheid lucht door een "cold trap" (koude val). Wordt wel toegepast, maar onze ervaring met deze vorm van monsterneming is tot nu toe niet gunstig.
- d. Men leidt een bekende hoeveelheid lucht door een buis, gevuld met een adsorbens (b.v. actieve kool). Dit gebeurt bij kamertemperatuur. Bij verhoogde temperatuur vindt desorptie plaats. Het is op zichzelf een aantrekkelijke methode, die het mogelijk maakt om de gevoeligheidsdrempel van bepalingen te verlagen, doordat door adsorptie verrijking van verontreinigingen plaatsvindt. Ook is het mogelijk door elutriatie (b.v. dimethylformamide) verbindingen van de actieve kool te scheiden. Een nadeel is, dat het "concentratie effect" voor een deel verloren gaat.

Voor het bepalen van de gravimetrische stofconcentratie (mg/m^3) wordt een bepaalde hoeveelheid lucht door een filter gezogen; het daarop achterblijvende stof wordt vervolgens door wegen bepaald. Naast papier worden tegen-

woordig o.a. ook glasvezels, vezels van cellulose-esters en polystyreen als filtermateriaal gebruikt. Deze filters hebben een hoog vangstpercentage bij een lage weerstand (6). Door de filters doorzichtig te maken - dit is bij een aantal typen filters mogelijk - kan men het aantal stofdeeltjes op de filter met behulp van een microscoop tellen en op deze wijze de numerieke stofconcentratie (aantal deeltjes per cm^3) bepalen.



Fig.4 "Personal air sampler" gedragen tijdens werkzaamheden

Naast de zojuist beschreven wijze van monsterneming, wordt meer en meer gebruik gemaakt van "personal air samplers" (fig.4). Deze bestaan uit een membraanpompje, accu en een filterkop, alle bevestigd aan een draagriemstelsel. Het totale gewicht is minder dan 1 kg en kan in het algemeen zonder veel moeite gedurende een hele werkdag worden gedragen. In de filterkop bevindt zich een membraanfilter en een cycloon (fig.5).

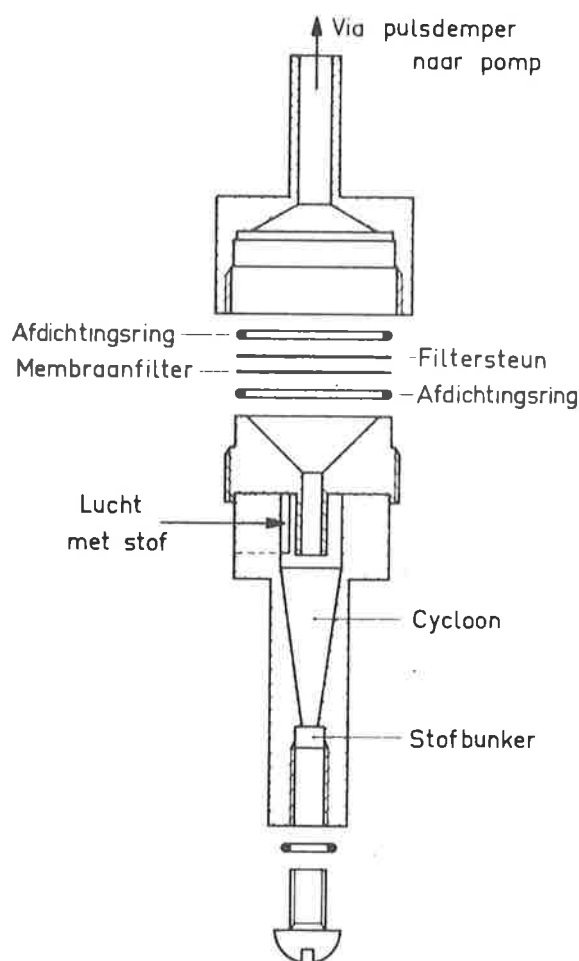


Fig. 5 Schema van de "Personal air sampler"

De cycloon bootst de filtereigenschappen van de bovenste ademhalingswegen na (fig. 6), zodat op het filter alleen het respirabele stof met een equivalente diameter kleiner dan ca. 5 μm wordt afgevangen.

Gebleken is dat deze apparaten bijzonder waardevolle gegevens verschaffen. Bijzonder nuttig bleek het gebruik van deze apparaten bij werknemers, die niet op een vaste plaats werken en bij werk, waarbij door de verrichte handelingen stof in de atmosfeer wordt gebracht, b.v. slijpen, polijsten, enz. In dit laatste geval bleek, dat de concentraties waaraan de geëxponeerde bloot stond, een veelvoud (2 -5 x) te kunnen zijn van de concentraties met stationaire apparaten gemeten.

Bij monsterneming van gassen en dampen wordt de filterkop vervangen door een buisje gevuld met een adsorbens (aktieve kool).

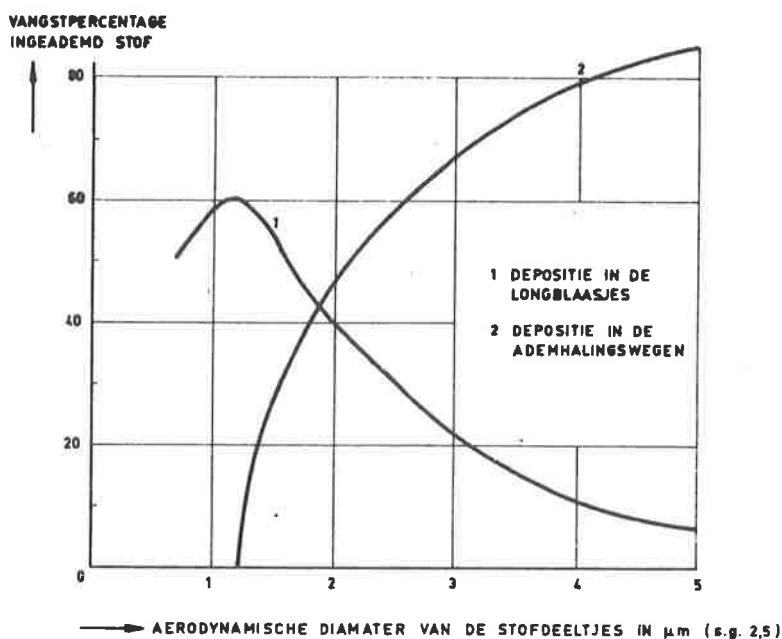


Fig.6. Geïdealiseerde grafiek die de depositie van stof in longblaasjes en ademhalingswegen beschrijft.

5. Onderzoek van het monster

Bij het kwalitatief en kwantitatief onderzoek van monsters wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van bepalingen, die berusten op de fysische eigenschappen van de te onderzoeken stoffen. Voordeel is, dat met het monster weinig gemanipuleerd hoeft te worden. Grote series kunnen dan ook snel worden onderzocht, terwijl de methodieken zich voor automatisering lenen.

Bij het onderzoek van vaste deeltjes worden vooral morfologie (microscopie), brekingsindex, röntgenfluorescentie, röntgen- en/of elektronendiffractie en spectrometrische bepalingmethoden gebruikt.

Voor de analyse van gas- en dampvormige verbindingen wordt bij voorkeur van gaschromatografie gebruik gemaakt, daar deze methode in het algemeen zeer gevoelig is. Daar de gaschromatografie in wezen een scheidingsmethode is, geeft ze slechts weinig informatie over de identiteit van de gevonden stoffen. Soms kan men de voor identificatie benodigde additionele informatie verkrijgen door gaschromatografen met massa-spectrometers of infrarood-spectrometers te combineren.

Voor andere veel gebruikte methoden wordt naar de literatuur verwezen (8), (9). Daar de concentraties van de verbindingen die moeten worden bepaald, soms

zeer laag kunnen zijn, moet in die gevallen van zeer gespecialiseerde methoden gebruik worden gemaakt (10).

De tot nu toe beschreven methoden worden in het laboratorium toegepast.

Vaak wil men echter ter plaatse direct de concentratie weten. Zeer veel wordt gebruik gemaakt van colorimetrische bepalingen, uitgevoerd met proefbuisjes, die onmiddellijk kunnen worden afgelezen.

Bij de uitvoering van de bepaling wordt met een handpompje een bekende hoeveelheid lucht door de proefbuisjes gezogen, die van een geïmpregneerde pakking zijn voorzien. Deze pakking geeft een kleuromslag te zien (voor elke te meten gas/damp moet een ander buisje worden gebruikt). De lengte van de verkleuring geeft een ruwe maat voor de concentratie van de in de lucht aanwezige verbinding. Voor een groot aantal gassen en dampen zijn deze buisjes verkrijgbaar.

Daarnaast worden automatische, registrerende instrumenten gebruikt.

De meeste berusten op technieken, die aan het eind van de vorige eeuw en de eerste decennia van deze eeuw door fysici en fysich-chemici werden ontwikkeld. Gedacht wordt aan spectroscopische methoden, die men in verschillende golflengte-gebieden kan bedrijven, kolorimetrie, massaspektrometrie, elektrochemische methoden, enz. (11).

Vele van deze methoden zijn geschikt om als principe te dienen voor instrumenten, die continu de concentratie van luchtverontreinigingen kunnen registreren. De hoge kosten zijn veelal een bezwaar.

Cok voor het meten van de stofconcentratie bestaan direkt aanwijzende en registrerende apparaten. Deze toestellen meten meestal de intensiteit van door stofdeeltjes verstrooid licht. Op dit principe voortbouwend bestaan ook zeer gevoelige registrerende apparaten.

Voor een vollediger overzicht wordt naar de literatuur verwezen (12), (13).

Literatuur

1. Zielhuis, R.L. en van Rees, H. De maximaal toelaatbare concentratie van luchtverontreiniging in bedrijfsruimten. *Mens en onderneming* 15 (1961) p.230.
Gerritsen, B. Medische problemen bij de praktische toepassing. *ibid* p.238.
Groeneveld, F. Chemische technische aspecten. *ibid* p.244.
2. Threshold Limit Values, uitgave van de American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Cincinnati, Ohio, U.S.A.
3. Veiligheidsjaarboek, uitgave van het Veiligheidsinstituut, Amsterdam.
4. Coenen, W. Messung und Beurteilung der Konzentration gesundheitsschädlicher, ins besondere silikogener Stäube an Arbeitsplätzen der obertätigen Industrie, *Staub-Reinh.-Luft* 31 (1971) 12, p.484.
5. Roach, S.A. A more rational basis for air sampling programs, *Am. Ind. Hyg. Ass. J.* 27 (1966) 1, p.1.
6. Hasenclever, D. Neue theoretische und experimentelle Untersuchungen am Filtermaterialen zur Abscheidung von Schwebestoffen. *Staub* 26 (1966) 7, p.288.
7. Higgins, R.I. en Dewell, P. A gravimetric size selecting personal dust sampler. *Inhaled Particles and Vapours II*, p.575.
Editor C.N.Davies, Pergamon Press.
8. Jacobs, M.B. The chemical analysis of air pollution, *Chemical Analysis Vol.10*. Interscience Publisher New York 1960.
9. Jacobs, M.B. The analytical toxicology of industrial inorganic poisons, *Chemical Analysis Vol.22*. Interscience Publisher, p.450.
10. Houtman, J.P.W. Bepalingen van sporenelementen door middel van active-ringsanalysen. *Chemisch Weekblad* 63 (1967) 40, p.450.
11. Ewing, G.W. Instrumental methods of chemical analysis.
Third edition, Macgraw Hill, New York 1969.
12. Düwel, L. Neuester Stand der Entwicklung von Kontrollmessgeräten zur Dauerüberwachung von Staubemissionen, *Staub* 28 (1968) 3, p.119.
13. Dresia, H., und Fischötter, P. Kontinuierliches Messen des Staubgehaltes in Luft und Abgasen mit β -Strahlen.
VDI - Z 106 (1964) 24, p.1191.