

Kwaliteitsaspecten bij het meten van stof op de werkplek

Symposium Nederlandse Vereniging voor Arbeidshygiëne

12 april 2017

Con Boeckhout, arbeidshygiënist

Boeckhout *Arbo* / PreventPartner

Inhoud presentatie

- Aanleiding
- Voldoet meetpraktijk in NL aan normen?
- Verschillen tussen meetkoppen
- Verschillen tussen filtertypen
- Meetfouten bij stofmetingen
- Praktische tips stofmetingen

Aanleiding

- NEN-cie werkplek- en buitenluchtmetingen
- Onduidelijkheid over betrouwbaar meten stof:
 - Verschillende meetmethoden toegepast
 - Praktische problemen treden op



Meetnormen en protocollen voor stof

- MDHS 14/4 
- BIA 7284
- NIOSH 500:1994 (totaal stof)
- NIOSH 600:1998 (respirabel stof)

- Meetprotocol houtstof
- Meetprotocol lasrook

- NEN-EN 481:1994/A1:2001 nl (Definitie van de deeltjesgrootteverdeling voor het meten van in de lucht zwevende deeltjes)
- NEN-EN 482:2012 en (Algemene eisen voor de uitvoering van de procedures voor het meten van chemische stoffen)
- NPR-CEN/TR 15230:2005 en (Guidance for sampling of inhalable, thoracic and respirable aerosol fractions)
- NEN-ISO 15767:2009 (Controleren en typeren van fouten bij het wegen van verzamelde aërosolen)

meetprotocol	MDHS 14/4	NPR-CEN/TR 15230	NIOSH 500	NIOSH 600	houtstof	lasrook
jaartal	2014	2005	1994	1998	1998	2010
type stof	inhal./respir.	inhal./respir.	"totaal"	respirabel	inhaleerbaar	inhaleerbaar
meetplek PAS	ademzone				ademzone	binnen laskap
	< 30 cm mond				links/rechts	< 10 cm mond
meetplek vast	hoofd hoogte				150 cm	1,5-2,0 m
meetkop	oa. IOM, cycloon	oa. IOM, cycloon	"Millipore"	cycloon	PAS6	PAS6 of IOM
	niet "Millipore"	niet "Millipore"		oa. Higgins-Dewell		
filter	divers		5 µm PVC	5 µm PVC	GV	GV, MCE, teflon
conditioneren			> 2 h	> 2 h		
balans			0,001 mg	0,001 mg	0,01 mg	
analyse	gravimetrie	gravimetrie	gravimetrie	gravimetrie	gravimetrie	gravimetrie
	zie ISO 15767	zie ISO 15767				
methode					-	MDHS 14/3
blanco's (veld)	1 per 10; ≥3	1 per 10; ≥3	2 tot 10	2 tot 10	-	3*
duplo's			2 tot 4	2 tot 4		
belading max.			2 mg	2 mg		



Stofffracties

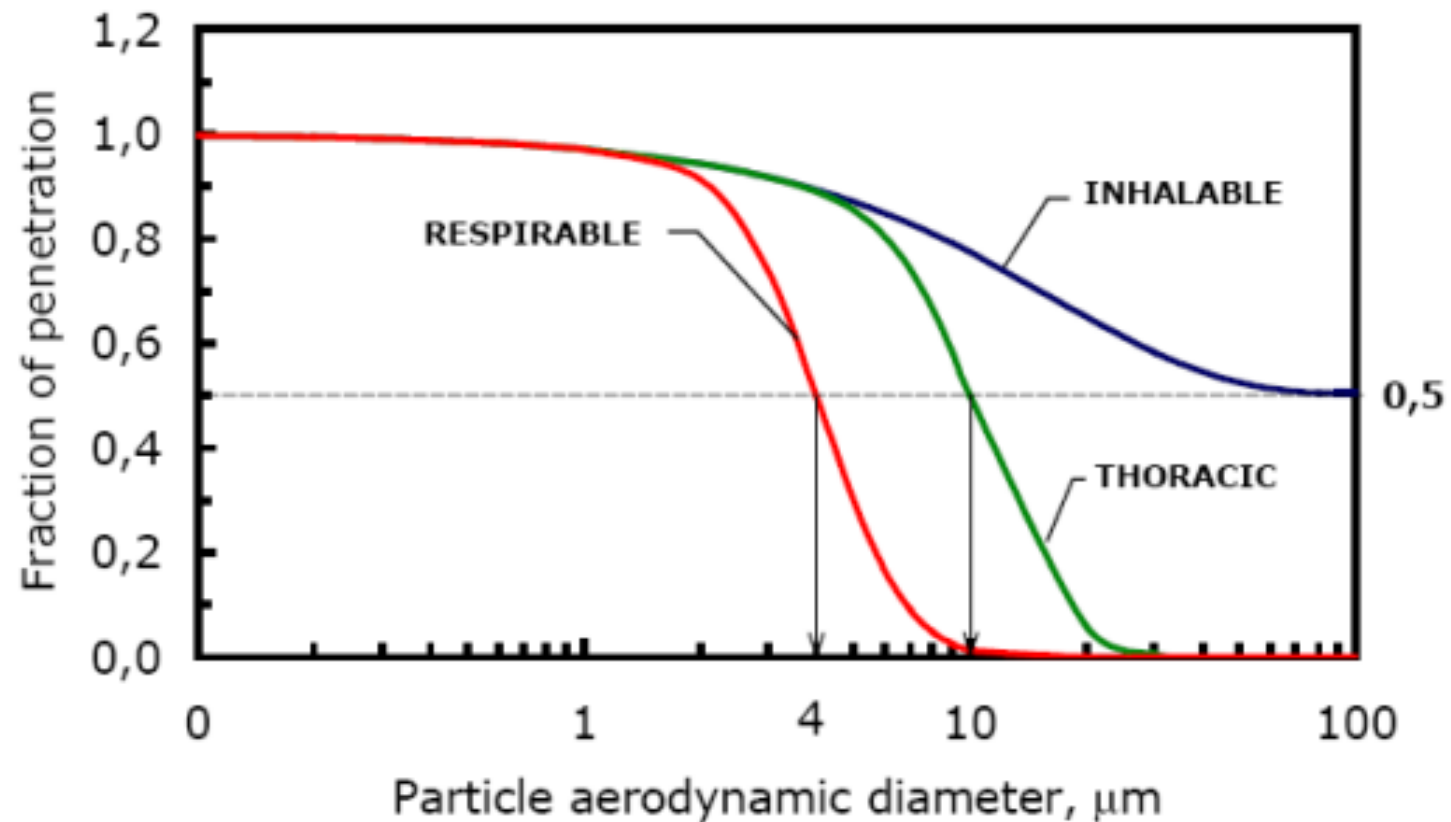
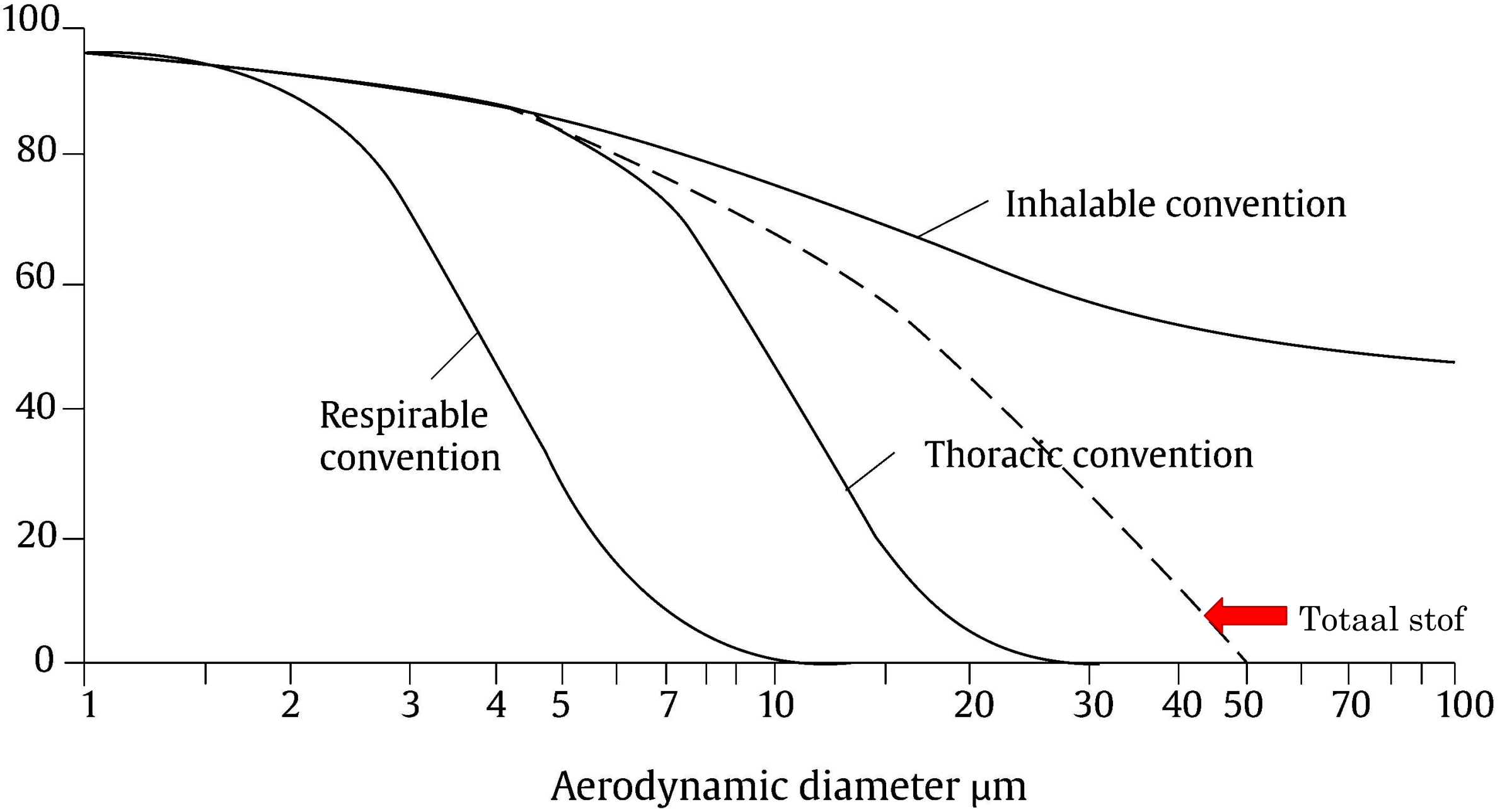


Figure 1.1 Probability or aerosol penetration as a function of aerodynamic diameter, internationally agreed by CEN/ISO/ACGIH



Inhaleerbaar stof

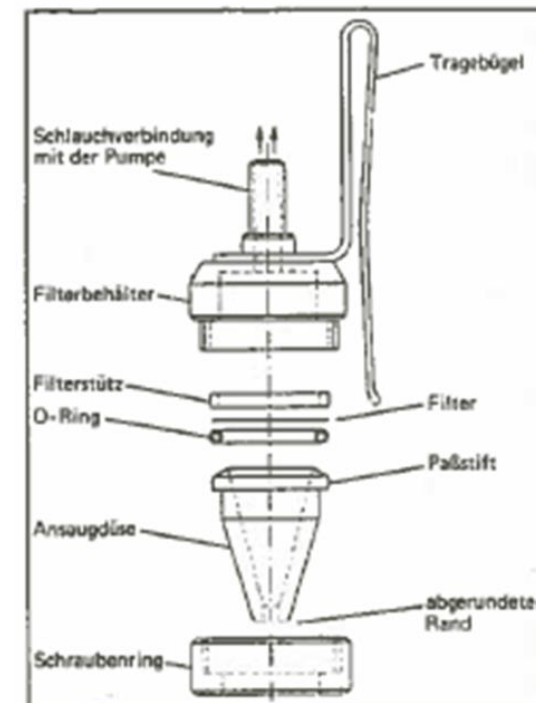
➤ Stofafvangst afhankelijk van:

- Meetkop
- Deeltjesgrootte
- Windsnelheid
- Windrichting
- Mate van beweging medewerker
- Werkplekomstandigheden:
 - bv. snelheid en richting deeltjes

IOM



PAS 6



Millipore

Inhaleerbaar stof: correctiefactoren obv. windtunnel

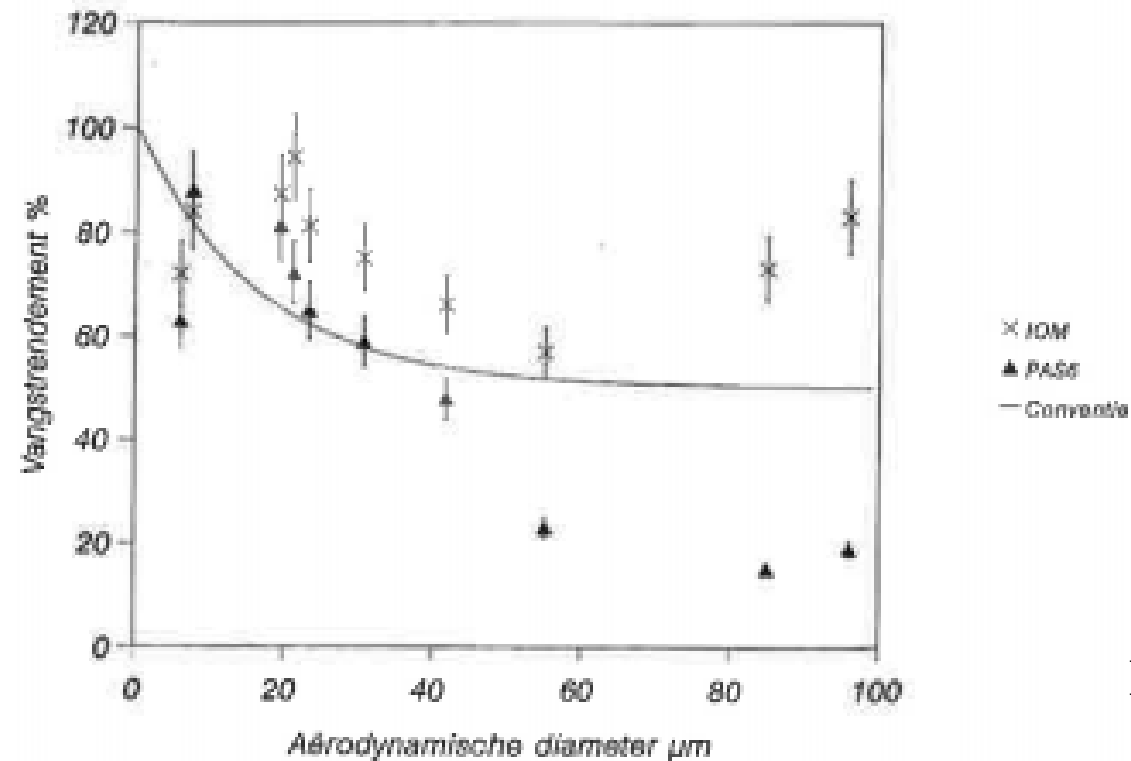
Table 2.2 Correction factors recommended to obtain satisfactory performance
(Kenny *et al.* 1997)

Sampler Type	Correction factor for wind speed 0.5 m/s	Correction factor for wind speed 1 m/s
IOM	0.9 (filter + cassette) 1.0 (filter only)	1.0 (filter + cassette)
CIS	1.0	1.0
7-hole	1.0	1.2
PAS-6	1.0	1.25
PERSPEC	1.0 (inlet losses recovered and included in sample)	Inlet losses not recovered
CIP-10	1.15	1.15
37-mm open faced	1.15	1.15
37-mm closed faced	1.0	1.2

Bij 4 m/sec resultaten zeer wisselend; geen correctiefactoren af te leiden

Vangstrendement IOM – PAS 6

Figuur 1. Gemiddelde vangstrendement voor de PAS-6 en IOM stofmonsternemers bij een windsnelheid van 0.5 m/s

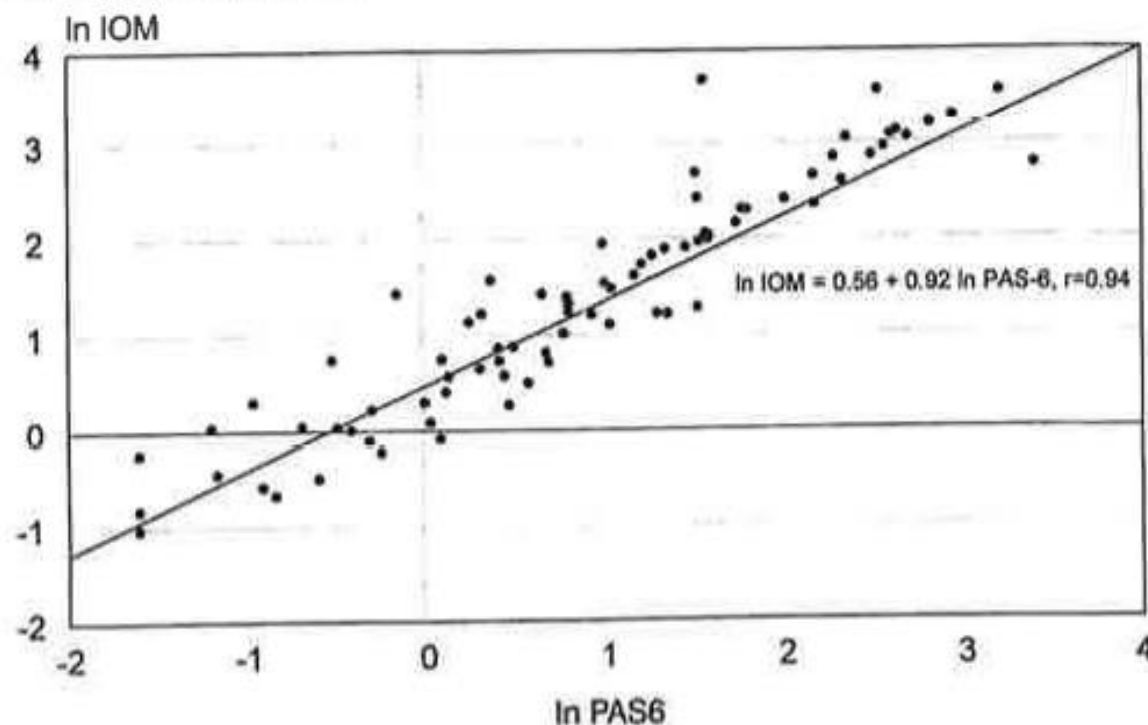


Kromhout, TTA 1996

Vershil IOM – PAS 6 obv. praktijk

(Kromhout ea, TTA, 1997)

Figuur 1. Relatie tussen de met de IOM en de PAS-6 monsternemer gemeten concentraties inhaleerbaar stof



Kromhout ea, TTA, 1997

In praktijkonderzoek:

- IOM gemiddeld 65% meer stof dan met PAS 6
- Alleen IOM-filter 6% meer
- Bij lassen miniem verschil (fijn stof $< 5 \mu\text{m}$)
- Bij meer wind grotere verschillen:
 - IOM tot factor 3 hoger gemeten dan PAS 6
- PAS 6 minder efficiënt voor grotere deeltjes ($> 50 \mu\text{m}$)

IOM

➤ IOM:

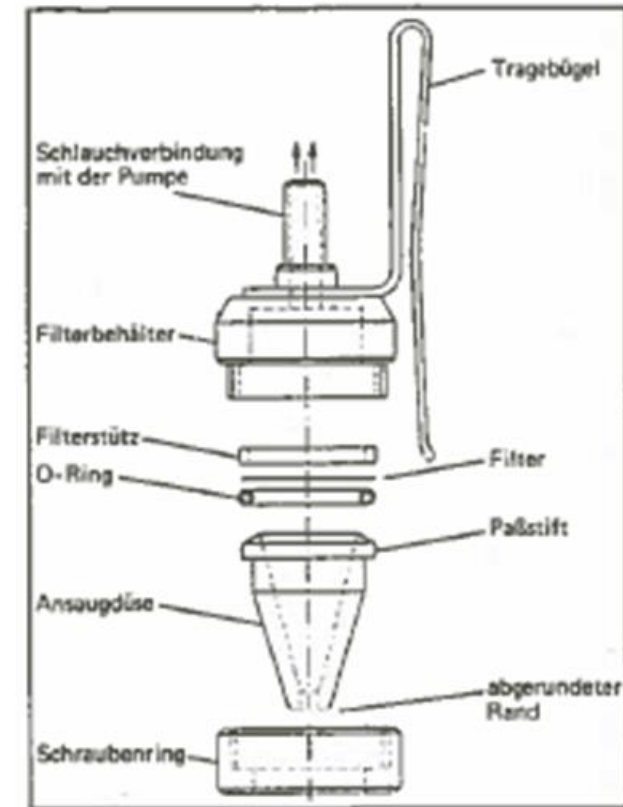
- < 5% bias (MDHS 14/4)
- IOM plastic en rvs: geen significant verschil (Verpaele en Jouret, 2012)
- Plastic cassettes:
 - Grote variatie in gewicht ivm. vochtabsorptie
 - Soms aantal weken nodig voor stabilisatie (bij ouder type?)
 - Advies MDHS 14/4: metalen cassettes
 - Sd gewichtsbepaling cassette + filter ca. 3* groter dan alleen filter (gewicht plastic cassette ca. 1,8 g; filter GV ca. 40 mg)
 - Praktijk NL: analyse zonder cassette
- Nadeel IOM:
 - Neerdwarrelende deeltjes bij toeval in de meetkop
 - Invangen grove deeltjes met groot momentum (bv. bij houtbewerking, lassen)



PAS 6

➤ PAS 6:

- Voordeel:
 - Filter goed afgeschermd
 - Klein: kan bv. binnen laskap
- Nadeel:
 - Naar beneden gerichte opening kan door kleding worden afgesloten



Stofmeetkop respirabel stof

BCIRA



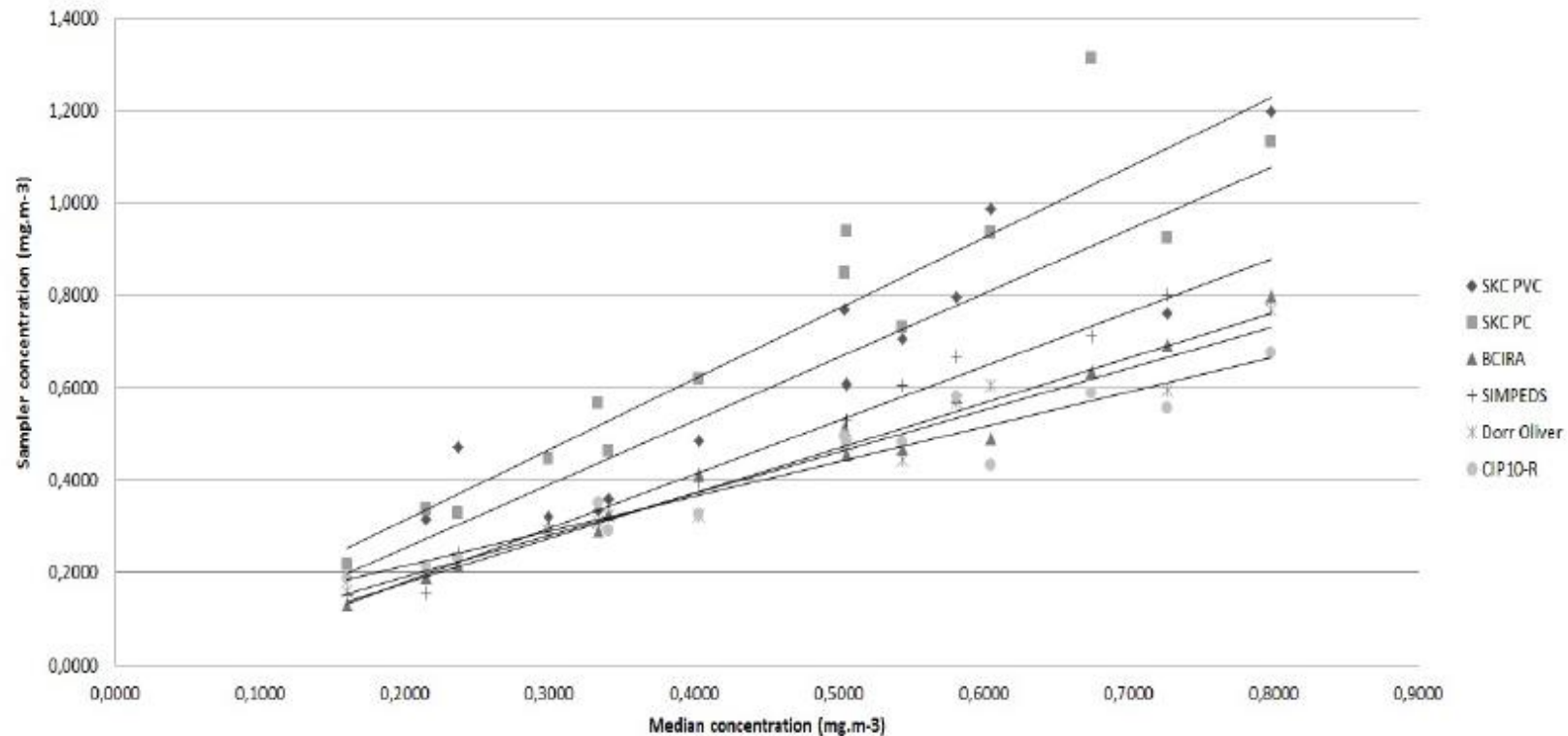
SKC (Higgins-Dewell)



Respirabel stof

Gravimetric results

Verpaele en Jouret, 2012

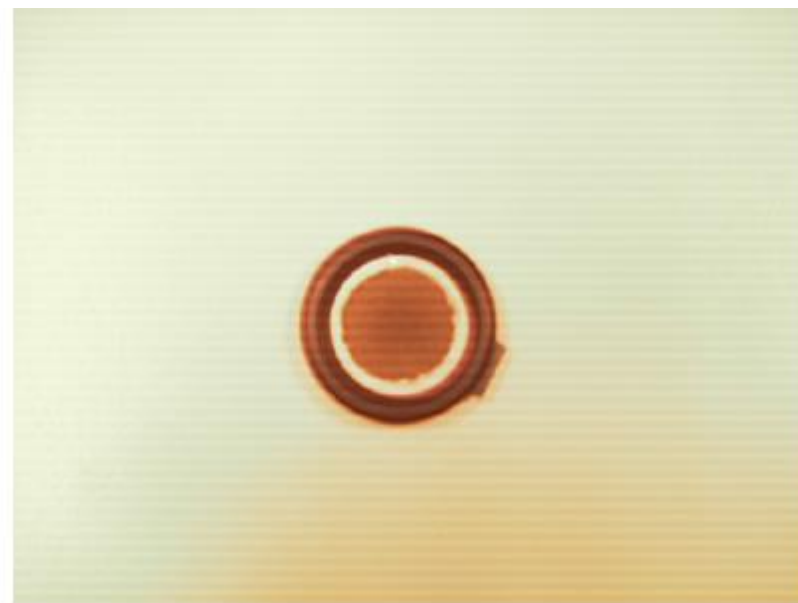


Sampler	Trend equations	R^2
SKC PC	$y = 1.52x + 0.008$	0.90
SKC PVC	$y = 1.35x - 0.013$	0.84
SIMPEDS	$y = 1.14x - 0.045$	0.98
BCIRA	$y = 0.96x - 0.012$	0.97
Dorr Oliver	$y = 0.90x + 0.008$	0.96
CIP10-R	$y = 0.74x + 0.068$	0.92

NB. navolgende analyses (S. Verpaele, 2016)



SKC cyclone – more dust in the middle → direct analyses will give a higher result



BCIRA cyclone – more uniform distribution → more accurate result

Filters

	kwetsbaar	vochtabSORptie	statisch	weerstand	stabiel gewicht	achtergrond metalen	brandbaar	belaadbaarheid	zuurbestendig
GV						niet bindervrij		x	
kwarts	x							x	
MCE		x		x			nb. vonken	x	
PVC			x	x	x			x	
PTFE			x	x	x	x		x	x
MDHS 14/4									
The MAK-Collection Part III: Air Monitoring Methods, Vol. 9. DFG, Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2005									

Afvangstefficiëntie

(Soo et al., Aerosol Sci Technol. 2016 January)

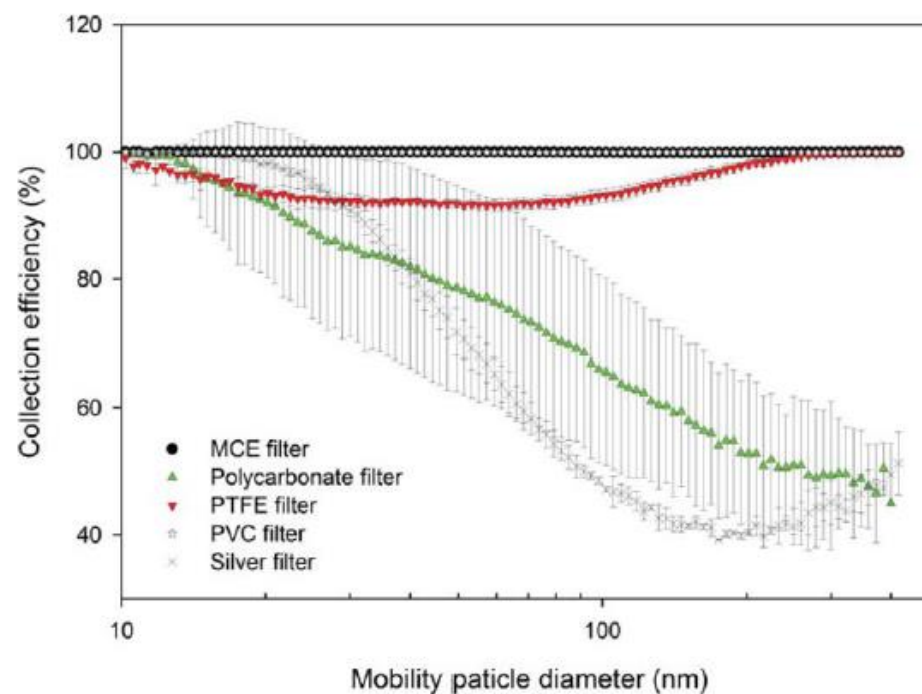
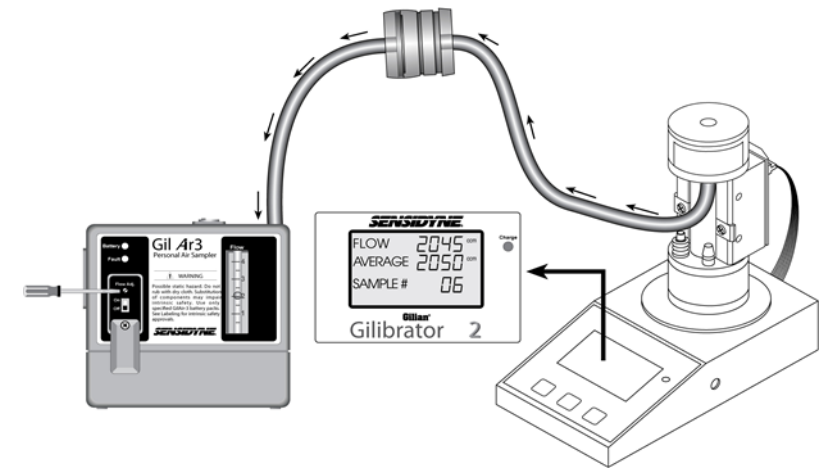


Figure 2.

Average and standard deviation of collection efficiencies of five filters with $5 \mu\text{m}$ pore size tested with a nanoparticle diameter range of $10\text{--}400 \text{ nm}$ at 1.7 l min^{-1} . Aerosol measurements were conducted using three different filters for each filter type ($n = 3$). Note that the two overlapping point symbols (MCE filter and PVC filter were denoted as solid circle and star symbols) are presented.

Monsterneming (MDHS 14/4)

- Constant-flow pomp:
 - Indicator voor onderprestatie
 - Automatische stop
 - Timer
- Lekdichte koppeling via slang
 - Ook voor monsterkop en flowmeter
 - Voer lektest uit (inlaat of slang afsluiten)
- NB. condensatie bij koude meetkoppen

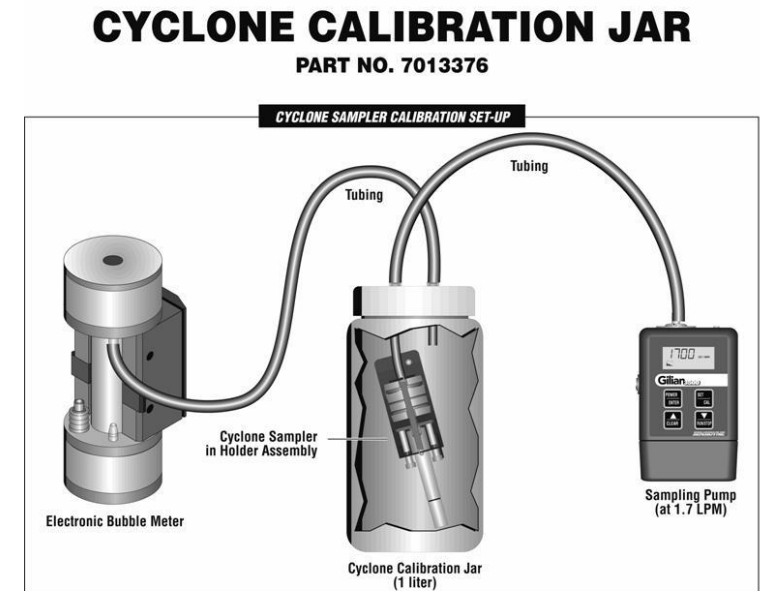


➤ Calibratie

- onder zelfde omstandigheden (T, p, %rv)
- Calibrator aansluiten op meetkop
(bij IOM afsluiten met stop)
- bv. met Galibrator (gemiddelde van 6-10x)
- Instellen op $< 0,1$ l/min van voorgeschreven flow
- Verschil eind- en beginflow $< \pm 5\%$ of $> 0,1$ l/min

➤ Aan eind:

- stel meetduur vast
- check met tijdsduur op pomp
- Cycloon: flowverschil begin/eind $> 0,1$ l/min of 5%? → ongeldig
- Geldig?: reken met aanbevolen flow (2,1 l/min)



Analyse (MDHS 14/4)

- Ruimte: geconditioneerd (50 ± 5 %rv; $20\text{ °C} \pm 2\%$)
- Filters: minimaal 4 uur conditioneren
- Balans:
 - Precisie $10\text{ }\mu\text{g}$, liever nog $1\text{ }\mu\text{g}$
 - Op trillingsvrij werkblad
- Ionisator voor eliminatie statische elektriciteit
- Los stof meewegen!

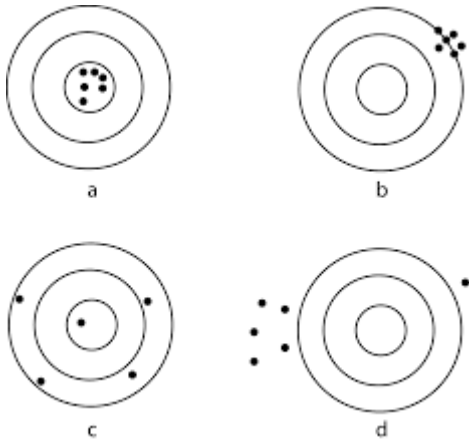


Berekening concentratie

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V} \times 10^3, \text{ mg/m}^3$$

- C = stofconcentratie (mg/m³)
- W₁ = filtergewicht voor (mg)
- W₂ = filtergewicht na (mg)
- B₁ = gemiddeld gewicht blanko's voor (mg)
- B₂ = gemiddeld gewicht blanko's na (mg)
- V = bemonsterd volume (l)

Fouten in metingen: begrippen



	juist	precies
a	+	+
b	-	+
c	+	-
d	-	-

$$\text{Fout totaal (nauwkeurigheid)} = \text{systematische} + \text{niet-systematische fout}$$

$$\text{accuracy} \qquad \qquad \qquad \text{bias} \qquad \qquad \qquad \text{precisie}$$

- LOD (limit of detection, detectiegrens):
 - $3 \times \text{sd}$ van gewichtsverandering van veldblanco's
- LOQ (limit of quantification, bepalingsgrens):
 - $10 \times \text{sd}$ (of $6 \times \text{sd}$) van gewichtsverandering van veldblanco's

Fouten in bepaling (NPR-CEN/TR 15230:2005 en)

- Aerosolen bemonsterd $\neq$ blootstelling
 - Verdeling stof niet uniform binnen werkplek:
Verschil in tijd en ruimte
 - Vooral voor grotere inhaleerbare deeltjes
 - NB. afvangst PAS $\neq$ stationair
- Monsterapparatuur (indien voldoende aan norm):
 - nauwkeurigheid (accuracy): fout $< 30\%$ (MDHS 14/4)
- Analytische fouten lab relatief klein
- Variatie tussen personen en dagen $>$ variatie meetfouten

Onzekeerheid flowmeting (NEN-EN 482:2012)

Flow meter type	Scale %		Uncertainty of flow rate calibration ^a %	Uncertainty of flow rate reading ^b %
rotameter, 30 cm length ^c	100		1,6	0,23
	50		2,0	0,45
	10		5,2	2,3
Flow meter type	Flow meter measuring range l · min ⁻¹	Measured flow rate l · min ⁻¹	Uncertainty of flow rate calibration ^a %	Uncertainty of flow rate reading ^b %
mass flow meter	0,1 to 15	2,0	0,61	2,0
Flow meter type	Flow cell measuring range l · min ⁻¹	Measured flow rate l · min ⁻¹	Uncertainty of flow rate calibration ^a %	Uncertainty of flow rate reading ^b %
bubble flow meter	0 to 0,25	0,12	0,4	0,35
	0,2 to 6	2,0	0,12	0,1
	2 to 30	3,0	0,06	0,22
dry piston flow meter	0,5 to 5	2,0	0,59	0,26
	0,5 to 25	3,0	0,41	0,07

Foutenbronnen (CEN/TR 15230:2005)

➤ Fouten bij bepaling van inhaleerbaar stof bij:

- Hoge luchtsnelheid
- Grote deeltjes met groot momentum (bv. bij houtbewerking)
- Materiaalverlies gedurende transport

➤ Fouten bij bepaling van respirabel stof bij:

- Hoge concentraties (kans op overbelading samplers)
- Pulserende flow (bij oudere pompen ($\neq$ EN 1232))
- Materiaalverlies gedurende transport

Onzekerheid gravimetrische analyse

RPS

- Detectiegrens in gids: 0,050 mg
- sd MCE 25 mm: 0,0067 mg (filtergewicht ca. 20 mg)
- LOD ($3 \cdot \text{sd}$): 0,020 mg
- LOQ ($6 \cdot \text{sd}$): 0,040 mg
- Meetonzekerheid: $U = 0,06 \cdot m + 0,04$
 - Onzekerheid weging blanco's: 0,04 mg
 - Onzekerheid in belading: $0,06 \cdot m$ (→ bij 1 mg stof: 0,06 mg)
 - → onzekerheid totaal (bij 1 mg stof): 0,10 mg
 - → onzekerheid totaal (bij 0,3 mg stof): 0,06 mg

Ter vergelijking: MAK resp. stof Dld = 0,3 mg/m³

Tips:

➤ Voorbereiding:

- Filters in cassettes/meetkoppen in schone omgeving
- Platte bek pincet (nylon/rvs)
- Pomp laten stabiliseren (ca.10 min.)

➤ Lekdichtheid:

- Check regelmatig O-ringen op slijtage
- Let op juiste volgorde opbouw stofsampler (goede afdichting)

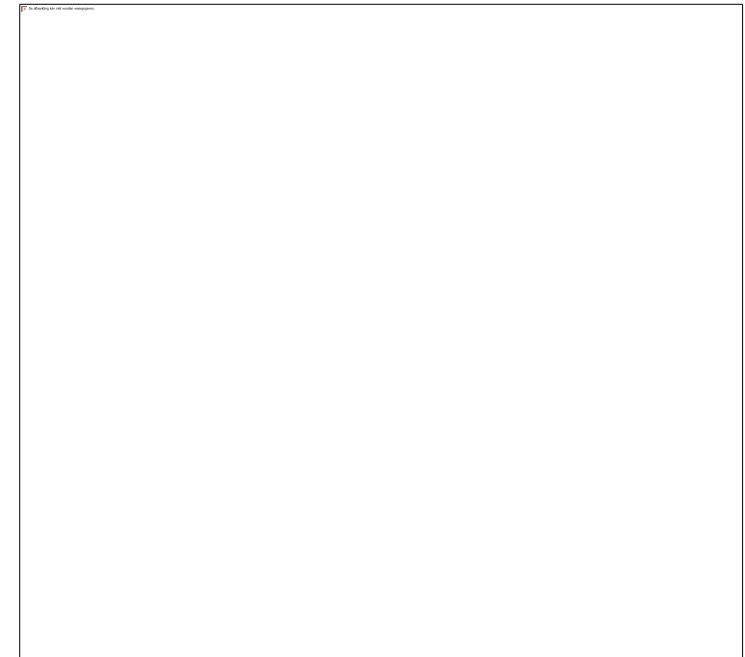


➤ **Meting:**

- Bij start: timer op 0
- Tussentijds: checks op functioneren en flow
- Meet ook windsnelheid

➤ **Einde meting:**

- Flowbepaling
- Voorkom schokken
- Cyclonen recht houden
 - (geen stof uit opvangreservoir op filter)
- Filters uit cassettes
 - NB. verlies stof, scheuren filter
 - Los stof meenemen
- Registreer bijzonderheden filters en/of cassettes
(maak foto)



Conclusies



➤ Inhaleerbaar stof:

- Grote verschillen tussen samplers mogelijk (mn. bij grotere deeltjes en windsnelheid)
- Ken voor/nadelen samplers; neem dit mee in keuze
- Bij buitensituaties inhaleerbaar stof via *PAS* niet betrouwbaar te meten (windsnelheden vanaf ca. 4 m/s)
- In rapportage: type sampler en windsnelheid

➤ Respirabel stof:

- Samplers geven redelijk vergelijkbaar resultaat

PreventPartner

netwerkorganisatie in de preventieve bedrijfsgezondheidszorg



Samenwerken zoals samenwerken bedoeld is

www.preventpartner.nl

info@preventpartner.nl