



Leidraad

Deeltjessensoren op de werkplek

Auteurs

Sander Ruiter, Hasnae Ben Jeddi,
Maaïke le Feber

TNO innovation
for life

Leidraad Deeltjessensoren op de werkplek

Deze leidraad is ontwikkeld om arbeidshygiënisten te ondersteunen bij het correct inzetten van low-cost deeltjessensoren voor het karakteriseren van blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de werkplek.

De informatie in de leidraad is ontwikkeld in samenwerking tussen arbeidshygiënisten uit de werkgroep 'Sensoren op de werkplek' en onderzoekers van TNO. Hierbij is gebruik gemaakt van recente inzichten, praktijk ervaringen en wetenschappelijke onderzoeksresultaten. Omdat er rond sensoren nog veel in ontwikkeling is zal de leidraad regelmatig worden [geüpdatet](#).

Scope van de leidraad

De leidraad richt zich op deeltjessensoren, waarvan het [sensing element](#) in de low-cost categorie valt (tot ongeveer €200). In dit segment zijn momenteel alleen sensoren beschikbaar die deeltjes met diameters van ongeveer 0,3 tot 12 µm kunnen meten. Senso-

ren voor ultrafijnstof (< 0,3µm) en inhaleerbaar stof (ook deeltjes > 12µm) of andere blootstellingen (bijv. gassen) vallen buiten de scope van deze leidraad. Daarnaast richt de leidraad zich specifiek op blootstellingsmetingen op de werkplek.

Leeswijzer

De leidraad bevat zowel theoretische als praktische informatie. Vanuit de samenvatting en via de links in het document kan verdiepende informatie worden gevonden. De knoppen rechts in het document kunnen worden gebruikt om snel te wisselen tussen hoofdstukken.

Algemeen	Theorie	Praktijk	En verder
1. Samenvatting	3. Wat zijn de deeltjessensoren?	6. Waar moet je op letten bij de selectie van een sensor?	10. Verdere informatie
2. Waarom meten met sensoren?	4. Waar kan je deeltjes-sensoren voor gebruiken?	7. Kwaliteitscontroles	11. Versiebeheer
	5. Waar kan je deeltjes-sensoren niet voor gebruiken?	8. Data omzetten naar informatie	12. Contactgegevens
		9. Sensoren succesvol inzetten	

Samenvatting	>
Waarom sensoren?	>
Wat zijn sensoren?	>
Toepassingen sensoren	>
Beperkingen sensoren	>
Selectie sensor	>
Kwaliteitscontroles	>
Metingen interpreteren	>
Sensoren inzetten	>
Verdere informatie	>
Versiebeheer	>

Gebruik deze knoppen om snel naar de betreffende informatie te gaan of ga naar de volgende pagina om door de leidraad te bladeren.

1 Samenvatting

Wat verstaan we in deze leidraad onder sensoren?

Deze leidraad richt zich op de toepassing van deeltjessensoren (afgekort tot alleen 'sensoren' in de rest van de leidraad). Sensoren zijn apparaten die de concentratie stof in de lucht kunnen meten en kunnen worden gebruikt om blootstelling aan gevaarlijke stoffen die als deeltjes in de lucht voorkomen te meten. In deze leidraad wordt gefocust op sensoren met een low-cost sensing element. Deze typen sensing elementen kunnen momenteel alleen deeltjes rond de respirabele en thoracale fractie meten.

Waarom meten met sensoren?

Ten opzichte van traditionele metingen op basis van filters zijn deze sensoren *goedkoper* (geen pompen, cyclonen, filters en laboratoriumanalyses), *informatiever* (door elke minuut/seconde te meten) en *sneller* (resultaten zijn direct af te lezen). Sensoren hebben echter ook de beperkingen dat de *nauwkeurigheid kan verschillen tussen situaties* en dat ze *minder specifiek* zijn (maken geen onderscheid in het type stof).

In sommige situaties kan het interessant zijn om sensoren in te zetten ter vervanging van of aanvulling op traditionele metingen.

Waar kan je sensoren wel voor gebruiken?

Sensoren zijn met name geschikt om oorzaken van blootstelling te achterhalen, bewustwording te creëren, situaties te vergelijken en prioriteren, verschillen tussen werknemers vast te stellen en de effectiviteit van beheersmaatregelen te monitoren.

Waar kan je sensoren niet voor gebruiken?

Sensoren kunnen niet direct worden gebruikt om te vergelijken met grenswaarden of opname in een blootstellingsregister. Daarvoor is eerst een situatie specifieke kalibratie nodig.

Een sensor selecteren

Om een sensor te selecteren is het belangrijk om te controleren dat de sensor geschikt is voor de beoogde toepassing. Daarom is het goed om ten minste te controleren of:

- De sensor de juiste *deeltjesgrootte* meet (bijv. respirabel stof of PM2.5).
- Het *concentratiebereik* van de sensor overeenkomt met de verwachte concentraties op de werkplek.
- De *meetfrequentie* (het aantal metingen per minuut/seconde) hoog genoeg is.
- De sensor geschikt is voor de beoogde *omgeving* (bijvoorbeeld geschikt is voor gebruik in ATEX-zones).
- De mate van *connectiviteit* geschikt is voor de toepassing.

Daarnaast kan het in bepaalde situaties relevant zijn om de volgende eigenschappen te controleren: *alarmfuncties, opslagruimte, batterijduur, feedback, afmetingen, bevestigingsmethoden, bijgeleverde software en extra (context)sensoren*.

Een sensor inzetten

Voordat een sensor wordt ingezet is het raadzaam om te controleren dat:

- De interne klok van de sensor gelijk staat met de lokale tijd.
- Er voldoende opslagruimte beschikbaar is.
- Overige instelling (bijv. meetfrequentie) juist staan ingesteld.
- De batterij voldoende is opgeladen.
- De in- en uitlaat van de sensor schoon is en niet wordt geblokkeerd wanneer geplaatst.

Daarnaast is het nuttig om periodiek:

- Verschillen tussen sensoren te controleren middels een colocatie.
- Drift of vervuiling te testen middels een bump-test of vergelijking met referentie.
- De sensoren schoon te maken of het sensing element te vervangen bij zichtbare vervuiling of afwijkende resultaten.

Data verwerken en interpreteren

Er zijn verschillende manieren om data van sensoren te interpreteren en analyseren.

- *Visuele inspectie*. Door het verloop van de deeltjesconcentratie over de tijd te bekijken kun je identificeren wanneer blootstellingspieken plaatsvinden. Daarnaast kan het informatie geven over (oplopende) achtergrondconcentraties.
- *Vergelijkende analyses*. Door datasets van bijvoorbeeld twee werknemers te vergelijken, kan er bepaald worden hoe deze van elkaar verschillen. Bijvoorbeeld op basis van de gemiddelde blootstelling, maar ook op basis van de variatie in de blootstelling (veel of weinig schommeling/piekblootstellingen).

Sensoren succesvol inzetten

Om tot een succesvolle (sensor)meting te komen, is het belangrijk om samen te werken met de (bemeten) medewerkers. Alleen als de medewerker de sensor op de juiste wijze draagt worden goede resultaten verkregen. Het is daarom belangrijk om vooraf het doel van de metingen te bespreken en met wie en in welke vorm de data gedeeld wordt.

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

Metingen interpreteren >

Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

2 Waarom meten met sensoren?

Blootstelling aan gevaarlijke stoffen kan tot gezondheidsschade leiden. Daarom wordt de blootstelling in kaart gebracht en beheerst indien nodig. Voor stoffen in deeltjesvorm (zoals houtstof, kwartsstof, meelstof, etc.) wordt de blootstelling normaal gesproken gravimetrisch bepaald door stof op een filter te verzamelen. Deze meetmethode geeft een gemiddelde blootstelling over de gehele meetduur. De analyses vinden plaats in een laboratorium, waardoor de metingen relatief duur zijn en het vaak enkele weken duurt voordat de resultaten beschikbaar zijn. De methode resulteert in een blootstellingswaarde die kan worden vergeleken met een grenswaarde om vast te stellen of de blootstelling voldoende is beheerst.

Het terugdringen van beroepsziekten lijkt te stagneren, ondanks inspanningen van overheid en bedrijfsleven. Meer gedetailleerde informatie over blootstelling zou hierin verandering kunnen brengen. Sensoren kunnen hieraan bijdragen. Sensoren zijn kleine, digitale apparaten die de concentratie stof in de lucht meten. Ze meten met hoge frequentie (per seconde tot minuut), waardoor het verloop van de concentratie of blootstelling over de meetduur zichtbaar wordt. Daarnaast geven ze direct het meetresultaat en is er geen laboratoriumanalyse nodig.

In vergelijking met gravimetrische blootstellingsmetingen hebben sensoren de volgende voordelen:

- *Goedkoper in gebruik*, waardoor meer gemeten kan worden. Zo kunnen meer medewerkers vaker bemeten worden, maar is het bijvoorbeeld ook mogelijk om met meerdere sensoren de concentratie deeltjes in een ruimte te monitoren.
- *Informatiever* door de hoge meetfrequentie kan je precies zien welke activiteiten en omstandigheden tot hoge blootstelling leiden zodat beter inzicht verkregen wordt in waar, wanneer en waardoor blootstelling ontstaat.

- *Sneller*, zodat eerder gereageerd kan worden op het resultaat van de metingen. De meetresultaten van sensoren zijn in real-time of direct na de meetperiode beschikbaar, waardoor direct duidelijk is of er sprake is van hoge blootstelling in de bemeten situatie. Hierdoor kan verdere blootstelling eerder worden voorkomen.

Maar ook de volgende beperkingen:

- *Variabele nauwkeurigheid*, waardoor sensoren niet zomaar kunnen worden ingezet om compliance ten opzichte van grenswaarden aan te tonen. De meetresultaten van sensoren kunnen zowel structurele afwijkingen (bias) als willekeurige afwijkingen (ruis) vertonen. De grootte van deze afwijkingen verschilt per situatie en moet daarom per situatie worden onderzocht om hiervoor te kunnen corrigeren.
- *Minder specifiek*, omdat een sensor alle stofdeeltjes in de lucht meet. Hierdoor kan er geen onderscheid gemaakt worden tussen verschillende stoffen, zoals dat met een vervolganalyse op een filtermonster voor gravimetrische bepaling wel kan.

Al met al kunnen sensoren eraan bijdragen dat we een completer beeld krijgen van blootstelling aan stoffen, dat in meer detail antwoord geeft op wie, waar en wanneer wordt blootgesteld. Met dit inzicht kunnen interventies gericht worden ingezet om zo de ziektelast door beroepsmatige blootstelling verder terug te dringen.

Deze voor- en nadelen van sensoren werden tijdens het symposium van de Nederlandse vereniging van Arbeidshygiëne in 2022 masaal erkend. Arbeidshygiënist gaven echter ook aan momenteel onvoldoende kennis en informatie te hebben om de juiste sensor op de juiste wijze in te zetten voor realistische doeleinden. Met deze leidraad willen we invulling geven aan deze kennisbehoefte.

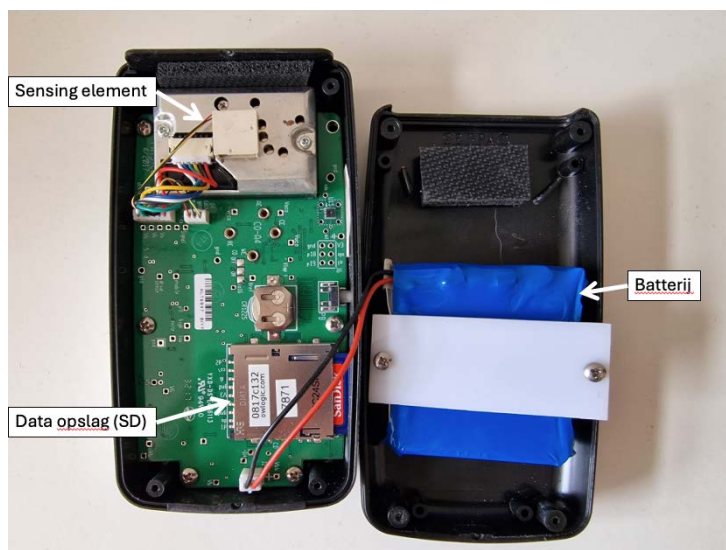
3 Wat zijn deeltjessensoren?

Een sensor is een apparaat dat de concentratie van vaste stof-deeltjes in de lucht kan meten. Deze sensoren worden voor verschillende toepassingen gebruikt, zoals het meten van binnen- en buitenluchtkwaliteit met commerciële apparaten, het automatiseren van ventilatie- en afzuigingsinstallaties, of het meten van de uitstoot van voertuigen. In de arbeidshygiëne worden sensoren steeds vaker ingezet om blootstelling aan gevaarlijke stoffen in kaart te brengen.

De definitie van een sensor is *een element dat fysieke of chemische eigenschappen van de omgeving kan detecteren en meten*. In de praktijk wordt het hele apparaatje, zoals ingezet op de werkvloer, een sensor genoemd maar dit bestaat eigenlijk uit veel meer dan alleen een sensor (Figuur 3.1). Om onderscheid te kunnen maken spreken we hier van *sensing element* als we het detecterende onderdeel bedoelen en van *sensor* als we het hele apparaatje bedoelen.

We richten ons in deze leidraad op deeltjessensoren die een low-cost optisch sensing element bevatten. Deze sensoren worden ook wel Low Cost Sensoren (LCS) genoemd. Er bestaan ook (veel) duurdere direct afleesbare deeltjes monitoren (Direct Reading Instruments; DRI), maar deze maken gebruik van andere technieken of zijn voorzien van aanvullende technieken om betere resultaten te verkrijgen.

Figuur 3.1: Interieur van een sensor, met enkele componenten aangewezen en benoemd.



Tabel 3.1: Definities van sensor en sensing element.

Sensor

Compleet apparaatje dat gebruikt wordt voor blootstellingsmetingen. Bevat naast een sensing element (vaak) ook een batterij, data opslag/communicatie, aansturing en behuizing.

Sensing element

Onderdeel van een sensor dat het aantal deeltjes in de lucht detecteert.

Samenvatting

>

Waarom sensoren?

>

Wat zijn sensoren?

> Hoe werken sensing elementen

> Soorten sensing elementen

Toepassingen sensoren

>

Beperkingen sensoren

>

Selectie sensor

>

Kwaliteitscontroles

>

Metingen interpreteren

>

Sensoren inzetten

>

Verdere informatie

>

Versiebeheer

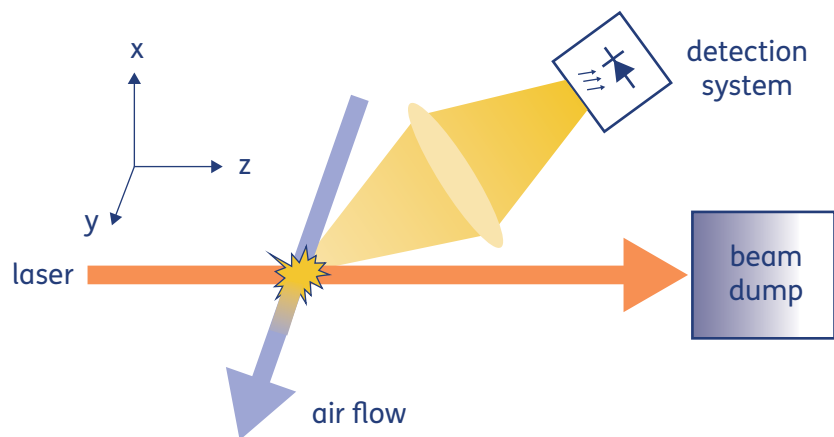
>

Sensoren bestaan in vele soorten en maten en kunnen dus ook behoorlijk in prijs verschillen (vaak tussen enkele honderden tot duizenden euro's). Zo bestaan er sensoren die op een display meteen weergeven wat ze meten, maar geen data opslaan. Ook bestaan er sensoren die zijn voorzien van een interne dataopslag, een bluetooth- of Wifi-module voor het draadloos verzenden van data, eventuele andere (deeltjes)sensoren, behuizing en een micro-processor om alles aan te sturen. Er bestaan standalone sensoren met bijvoorbeeld een SD-kaart maar ook sensoren die zijn aangesloten op een dashboard, waarbij je eigenlijk het hele servicepakket aanschaft. Al deze sensoren maken echter gebruik van vergelijkbare sensing elementen.

3.1 Hoe werken sensing elementen?

In het algemeen werken optische sensing elementen op een vergelijkbare manier. Ze bestaan uit een lichtbron, een detectiekamer en een lichtdetector (Figuur 3.2). Lucht met deeltjes wordt uit de omgeving aangezogen en kruist met een lichtbundel (vaak een laser), waardoor het licht verstrooid of geabsorbeerd wordt. De lichtdetector meet de intensiteit van het verstrooide of niet-geabsorbeerde licht onder één (of meerdere) bepaalde hoek(en). De hoek(en) waaronder gemeten wordt, is een keuze van de leverancier. Het signaal van de lichtdetector wordt omgerekend naar een concentratie van deeltjes in lucht.

Figuur 3.2: Optische sensing elementen bestaan uit lichtbron, detectiekamer en lichtdetector.



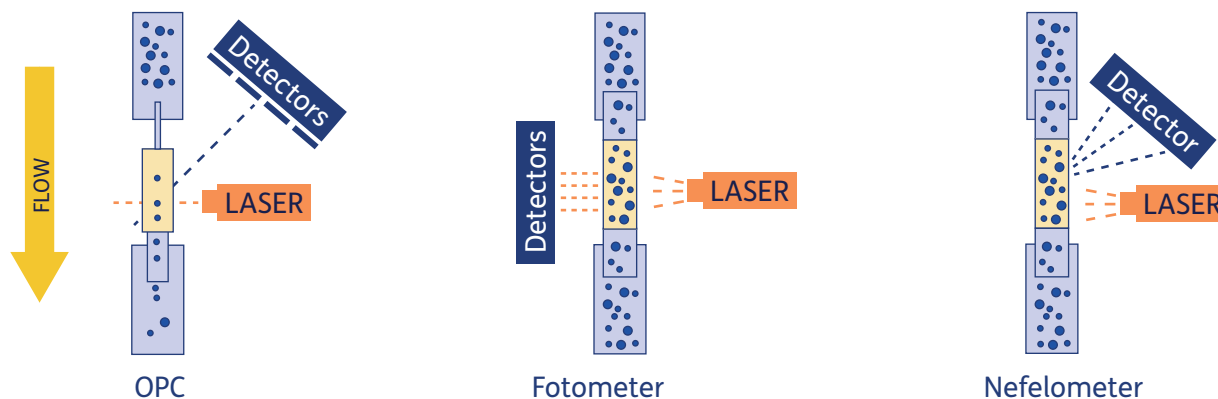
3.2 Verschillende soorten sensing elementen

Sensing elementen kennen kleine verschillen in de wijze waarop de deeltjes gedetecteerd worden en zijn op te delen in Optical Particle Counters (OPCs), fotometers en nefelometers (Figuur 3.3).

Bij OPCs worden deeltjes één voor één de detectiekamer ingezogen en op basis van de verstrooiingshoek wordt de grootte bepaald. Hierdoor kunnen deze sensing elementen zowel aantal als grootte van de deeltjes rapporteren. Bij fotometers worden meerdere deel-

tjes tegelijkertijd de meetkamer ingezogen. Fotometers meten de lichtabsorptie (of eigenlijk het intensiteitsverlies), waarbij geldt dat hoe meer deeltjes in de meetkamer zijn, hoe zwakker het signaal bij de detector. Fotometers zijn daarom geschikt voor het meten van hogere concentraties dan OPCs. Nefelometers zijn een combinatie van een OPC en fotometer. Alle deeltjes worden tegelijkertijd de detectiekamer ingezogen, maar de intensiteit van het verstrooide licht wordt onder een hoek gemeten.

Figuur 3.3: Meetprincipes van optische sensing elementen



Tabel 3.2: Verschillen tussen typen sensing elementen

Type sensing element	OPC	Fotometer	Nefelometer
Typische eigenschappen	- Nauwkeurige bepaling deeltjesgrootte - Veel size bins - Lager concentratiebereik (typisch 0 - 1 mg/m³). - Duurder dan nefelometers	- Geen selectie deeltjesgrootte door sensing element (cycloon of filter nodig) 1 size bin - Hoger concentratiebereik (typisch 0.1 - 100 mg/m³) - Mogelijkheid tot veldkalibratie (zeroen) - Momenteel weinig beschikbaar	- Deeltjesgrootteverdeling wordt niet gemeten maar berekend a.d.h.v. standaard verdeling - Lager concentratiebereik (typisch 0 - 1 mg/m³) - Verreweg de meest voorkomende sensing element in commerciële sensoren - Goedkoopste type sensing element (~€50)
Voorbeelden	Alphasense OPC-N3 Alphasense OPC-R2	PATS+ (uit productie) SKC HAZ-DUST 7204 (geen low-cost)	Sensirion SPS30 Plantower PMS5003, PMS7003 Tera Next-PM Novasense SDS011



Leidraad

Deeltjessensoren op de werkplek 3 Wat zijn deeltjessensoren?

Sensing elementen verschillen van elkaar in gebruikte lichtbron, luchtstromen en kanalen, eventueel verwarmingselementje, hoek(en) waaronder het verstrooide licht wordt gemeten en algoritme dat het signaal vertaalt naar de output. Hierdoor verschillen sensing elementen in prijs, maar ook in kwaliteit. Sensing elementen kosten op dit moment ongeveer 10-100 euro per stuk. Ze zijn commercieel verkrijgbaar, maar het is niet praktisch om ze los in te zetten voor werkplekmetingen.

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren?

> Hoe werken sensing elementen

Soorten sensing elementen

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

Metingen interpreteren >

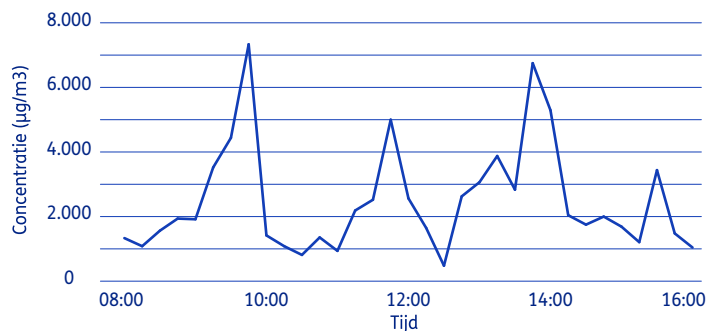
Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

4 Waar kan je deeltjessensoren voor gebruiken?

Op dit moment kunnen sensoren alleen worden ingezet voor vergelijkende of indicatieve metingen, zoals het vergelijken van concentraties of blootstellingen tussen personen of situaties. Sensoren zijn goed in staat de trend in de concentratie of blootstelling te volgen: als de concentratie in de lucht stijgt, stijgt ook de waarde van de sensormeting (Figuur 4.1). Hoewel sensoren concrete getallen (#/cm^3 of $\mu\text{g/m}^3$) als output geven, is de betrouwbaarheid van deze getallen momenteel te laag om sensoren direct te gebruiken om blootstelling kwantitatief te bepalen. Daarvoor is [kalibratie](#) nodig.



Figuur 4.1: Voorbeeld van een blootstellingsprofiel over de tijd van een sensor. Dit profiel laat zien wanneer de momenten van piekblootstelling zijn, wat bijvoorbeeld kan helpen te achterhalen wat de oorzaken zijn.

Sensoren kunnen zowel stationair als persoonlijk worden ingezet. Als een individu de sensor in zijn of haar ademzone draagt, wordt de persoonlijke blootstelling van deze persoon gemeten. Door een sensor naast een emitterende bron te plaatsen, wordt de emissie van de bron gemeten. Het is dus afhankelijk van het doel waar de sensor(en) geplaatst moet(en) worden. Sensoren kunnen bijvoorbeeld heel goed gebruikt worden:

- *Om oorzaken van blootstelling te achterhalen:* sensoren

geven het verloop van blootstelling in de tijd weer. Door hier contextuele informatie aan toe te voegen (bijv. welke taken op welke momenten werden uitgevoerd) kan gemakkelijk worden achterhaald wat de voornaamste oorzaken zijn van blootstelling. Omdat het verzamelen van contextinformatie niet altijd makkelijk is kan de combinatie van sensoren met videobeelden (Video Exposure Monitoring; VEM) uitkomst bieden.

- *Voor bewustwording en training:* sensoren kunnen worden gebruikt om de blootstelling van een medewerker tijdens zijn/haar werkzaamheden zichtbaar te maken. Het visualiseren van blootstelling kan heel overtuigend zijn, bijvoorbeeld door metingen met en zonder afzuiging te visualiseren, of met goed en slecht gepositioneerde afzuiging te vergelijken. Ook eigen manieren van werken kunnen tot blootstelling leiden, bijvoorbeeld het leegschudden van zakken, vegen in plaats van stofzuigen, of je hoofd tussen emissiebron en de afzuiging steken om beter te kunnen kijken. Ook voor dit doel kan VEM heel nuttig zijn.
- *Het prioriteren van situaties:* soms zijn er meerdere situaties waarin blootstelling aan deeltjes een rol speelt en waar gravimetrische metingen nodig kunnen zijn. Door deze situaties achtereenvolgend met dezelfde sensor te bemeten kan de situatie met de hoogste blootstelling geprioriteerd worden voor gravimetrische metingen.
- *Verschillen tussen medewerkers vaststellen (bijvoorbeeld het evalueren van een SEG):* door met een sensor verschillende medewerkers te bemeten kan een indicatie worden verkregen van verschillen in blootstelling tussen medewerkers.
- *Het monitoren van de effectiviteit van beheersmaatregelen (anders dan persoonlijke beschermingsmiddelen):* door bijvoorbeeld een sensor te plaatsen naast een bron die wordt afgezogen kan worden gemonitord of de afzuiging nog effectief is.

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

Metingen interpreteren >

Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

5 Waar kan je deeltjessensoren niet voor gebruiken?

Er is op dit moment beperkt inzicht in de nauwkeurigheid van sensoren en hoe deze verschilt tussen sensoren en situaties. Onderzoek dat sensoren heeft vergeleken met traditionele gravimetrische meetmethoden heeft aangetoond dat de nauwkeurigheid van een sensor sterk kan verschillen, afhankelijk van de stof die bemeten wordt. Zo kan een sensor bijvoorbeeld concentraties onderschatten wanneer deze lasrook meet, maar concentraties overschatten als er houtstof wordt gemeten. Deze structurele onder- of overschatting heet bias. Daarnaast kunnen er verschillen zitten tussen verschillende typen sensoren (zoals het voorbeeld in 5.1 laat zien).

Door dit beperkte inzicht in nauwkeurigheid is het moeilijk om vooraf te bepalen hoeveel een sensormeting afwijkt ten opzichte van de werkelijke stofconcentratie. Daardoor kunnen sensoren op dit moment niet direct worden ingezet als vervanging van gravimetrische bepalingen, zoals voor het *vergelijken met grenswaarden of opname in een blootstellingsregister*.

Naast deze kwantitatieve toepassingen zijn er semi-quantitatieve toepassingen denkbaar waarbij de getallen van de sensoren wel gebruikt worden, maar niet als kwantitatieve beoordeling van concentratie of blootstelling. Dit geldt bijvoorbeeld voor het *berekenen van een reductiefactor* voor een beheersmaatregel. In principe is het wel mogelijk een voor- en nameting te doen en op basis van de gemiddelde concentratie voor en na implementatie van de beheersmaatregel een reductiefactor uit te rekenen. Echter, uit laboratoriumexperimenten blijkt dat de over- of onderschatting van sensoren ten opzichte van gravimetrische metingen niet constant hoeft te zijn bij toenemende concentraties (een niet-lineaire

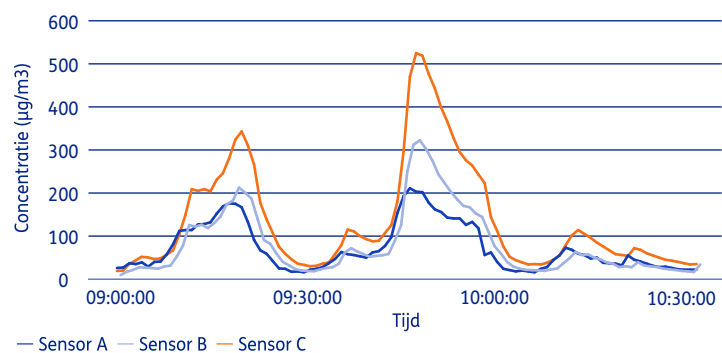
respons)¹. Hierdoor geeft de berekende reductiefactor slechts een indicatie van de effectiviteit, en kan deze niet gebruikt worden om te bepalen of de blootstelling voldoende is beheerst.

Bovenstaande betekent niet dat het onmogelijk is om met sensoren kwantitatieve metingen uit te voeren. Door sensoren te kalibreren kunnen structurele afwijkingen worden gecorrigeerd en kan de nauwkeurigheid van een sensor worden bepaald. Gekalibreerde sensoren kunnen over het algemeen worden toegepast voor kwantitatieve blootstellingsmetingen. Hoe deze kalibratie precies moet worden uitgevoerd, hoe een kalibratie zich vertaalt naar verschillende situaties en hoeveel metingen nodig zijn voor een kalibratie, is nog onduidelijk. Doordat hier nog geen wetenschappelijke consensus over is, worden sensormetingen momenteel niet algemeen geaccepteerd voor het aantonen van compliance aan een grenswaarde. Hier wordt momenteel onderzoek naar uitgevoerd en zodra hier meer duidelijkheid over is, wordt dit toegevoegd aan de leidraad. Een korte beschrijving over hoe een kalibratie kan worden uitgevoerd en waar op te letten, wordt gegeven in [hoofdstuk 8.1.1](#).

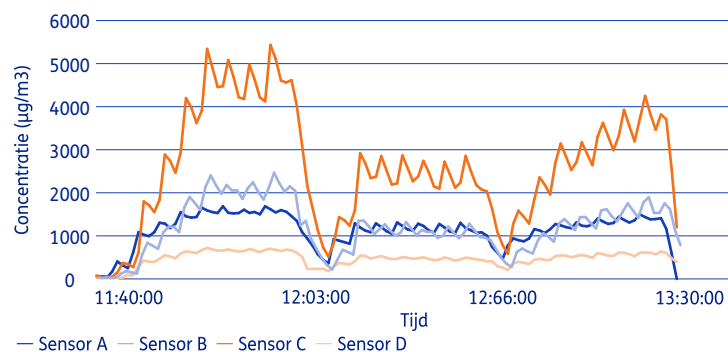
¹ Ruiter S, Kuijpers E, Saunders J, et al. Exploring Evaluation Variables for Low-Cost Particulate Matter Monitors to Assess Occupational Exposure. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(22):8602. Published 2020 Nov 19. doi:10.3390/ijerph17228602

5.1 Voorbeeld lasrook experimenten

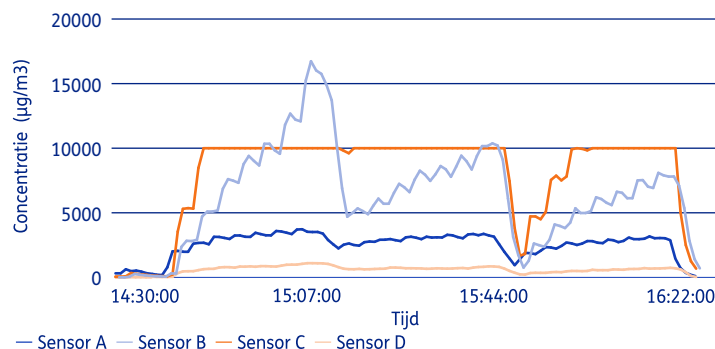
Een goed voorbeeld van hoe verschillende sensoren verschillende meetwaarden opleveren is van een drietal experimenten dat is gedaan met vier verschillende typen sensoren (A, B, C en D) en een lasser in een kleine, gesloten ruimte. De sensoren waren bevestigd aan een statief op twee meter afstand van een lasser. De lasser heeft drie experimenten uitgevoerd met drie verschillende lastechnieken (5.1 a, b en c), die verschillen in de hoeveelheid lasrook die vrijkomt. Voor experiment 1 heeft hij gedurende een half uur steeds één minuut gelast en daarna één minuut niet gelast, voor experimenten 2 en 3 was dit één minuut lassen en twee minuten niet lassen. Het patroon is drie keer herhaald per experiment. De ruwe meetresultaten van de sensoren zijn weergegeven in figuur 5.1.



Figuur 5.1a



Figuur 5.1b



Figuur 5.1c: Metingen van vier verschillende sensoren in een gesimuleerde werkomgeving met één lasser. Elke grafiek geeft één experiment weer. In experiment 1 is één minuut gelast, gevolgd door één minuten rust en voor experimenten 2 en 3 is dit één minuut lassen en twee minuten rust. Elk experiment heeft drie replica's van een half uur.

Bij experiment 1 (Figuur 5.1a) is te zien dat alle sensoren de veranderingen over de tijd goed weergeven, al is het patroon van één minuut lassen en één minuut rust niet zichtbaar. Daarnaast zijn de verschillen in gemeten concentraties relatief beperkt. In experiment 2 (Figuur 5.1b) zijn de concentraties hoger en worden de verschillen tussen de sensoren groter. De algemene veranderingen over de tijd worden nog steeds door alle sensoren waargenomen. Tijdens experiment 3 (Figuur 5.1c) zijn de concentraties nog weer hoger en lopen de verschillen tussen de sensoren verder op. Ook is te zien dat één sensor een ingebouwde bovengrens heeft van 10 mg/m³, waardoor de metingen afvlakken.

Hoewel de verschillen tussen de sensoren groot zijn, hoeft dit niet te betekenen dat de ene sensor beter is dan de andere. Door de sensoren te kalibreren kan structurele onder- of overschatting worden gecorrigeerd. Deze resultaten laten dus zien dat elke sensor een andere kalibratie nodig heeft. Ook kan het zijn dat er voor één type sensor meerdere kalibraties nodig zijn, afhankelijk van de gebruikte lastechniek. De samenstelling van lasrook kan namelijk verschillen per lastechniek, wat de mate van over- of onderschatting van de sensor mogelijk kan beïnvloeden.

Dit alles geeft weer dat de meeste sensoren direct toegepast kunnen worden voor kwalitatieve toepassingen (zoals identificeren van piekblootstellingen en variatie over tijd), maar ook dat absolute meetwaarden niet direct gebruikt kunnen worden zonder kalibratie.

5.2 Technische beperkingen van deeltjessensoren

De beperkingen van sensoren hebben verschillende technische oorzaken. Hieronder worden de meest voorkomende toegelicht.

5.2.1 Deeltjesgroottebereik

Optische [sensing elementen](#) kunnen door de gebruikte techniek geen deeltjes kleiner dan ~300 nm waarnemen. Daarnaast kunnen deeltjes groter dan ~12 µm niet (zonder pomp) door de sensor worden aangezogen. Sensoren zijn daardoor geschikt om de respirabele en thoracale fracties te meten, waarbij ze het ultrafijne deel (UFP) missen. UFPs dragen over het algemeen niet veel bij aan massa, maar kan wel aanzienlijk bijdragen aan deeltjesconcentraties in de lucht. Omdat blootstelling doorgaans uitgedrukt wordt in massa is het niet zo erg dat het UFP-deel niet gedetecteerd wordt.

Voor alle typen optische sensing elementen wordt het signaal van de lichtdetector door een algoritme omgezet in de output die de sensor geeft, bijvoorbeeld deeltjesaantallen (#/cm³) of massaconcentraties (µg/m³ of mg/m³). De output wordt vaak voor verschillende deeltjesgroottefracties (size bins) gegeven. De meeste sensing elementen zijn ontwikkeld voor metingen in de buitenlucht en geven PM1, PM2.5 en PM10 als output. Niet alle sensing elementen meten daadwerkelijk deeltjes van verschillende groottes; sommige berekenen de concentratie per size bin a.d.h.v. een algoritme. Dit hoeft geen problemen te geven in de praktijk, maar kan wel nuttig zijn om te weten bij het interpreteren van de meetresultaten. Of een sensor dit meet of berekent is eenvoudig te bepalen ([zie 7.2.1](#)).

5.2.2 Concentratiebereik

Welke concentraties sensoren kunnen meten is onder andere afhankelijk van het [type sensing element](#) in de sensor. De meeste sensoren en sensing elementen zijn ontwikkeld voor milieumetingen (algemene binnen- of buitenlucht), waar typische concentraties veel lager zijn dan op de werkplek. Soms is dit door een sensorfabrikant aangepast door een luchtverdunner in de sensor te bouwen.

5.2.3 Type deeltjes

Het algoritme dat het signaal van het sensing element vertaalt naar deeltjesaantallen of massaconcentratie is doorgaans afgestemd op één bepaalde situatie, bijvoorbeeld op metingen in de buitenlucht. Deeltjes kunnen echter verschillen van elkaar in eigenschappen die de meting beïnvloeden. Zo heeft een silicadeeltje een andere dichtheid, vorm en brekingsindex dan een houtstofdeeltje. Omdat de meeste sensoren voor de buitenlucht zijn ontwikkeld, is het algoritme vaak geoptimaliseerd voor typische deeltjes die in de buitenlucht voorkomen. Deze kunnen behoorlijk verschillen van (een mengsel van) deeltjes die op een werkplek relevant zijn, waardoor meetresultaten op de werkplek kunnen afwijken.

Structurele onder- of overschattingen gebaseerd op het type deeltje kunnen worden gecorrigeerd door middel van [kalibratie](#).

5.2.4 Omgevingsfactoren

De output van sensing elementen kan ook worden beïnvloed door omgevingsfactoren. Zo heeft luchtvochtigheid invloed op de deeltjesgrootte. Naarmate deeltjes meer de neiging hebben water op te nemen (hygroscopiciteit) zal dit effect groter zijn. Eenzelfde hoeveelheid deeltjes in de lucht met eenzelfde deeltjesgrootteverdeling zal hierdoor bij hoge luchtvochtigheid tot een hogere sensoroutput in massa leiden met een hogere vertegenwoordiging in grotere deeltjesfracties. Sommige sensoren maken gebruik van een verwarmingsselementjes om dit effect tegen te gaan.

6 Waar moet je op letten bij de selectie van een sensor?

Verschillende sensoren worden gekarakteriseerd door verschillende eigenschappen. Of eigenschappen belangrijk zijn, hangt af van hoe de sensor ingezet gaat worden. Als je bijvoorbeeld stofconcentraties continu wilt meten, is het belangrijk dat de meetgegevens automatisch worden verwerkt en opgeslagen, terwijl dit veel minder belangrijk is wanneer de sensor incidenteel ingezet wordt.

Wanneer je een sensor wilt aanschaffen is het daarom belangrijk om eerst te bepalen voor welk doel de sensor wordt ingezet. Aan de hand daarvan kan op een rij worden gezet welke specificaties de sensor moet hebben. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in essentiële specificaties (must haves) en specificaties die alleen maar gewenst zijn (nice to haves) (Figuur 6.1).

Figuur 6.1: Het doel waarvoor de sensor wordt ingezet bepaald de specificaties die de sensor moet hebben.



Om te helpen bij het opstellen van deze lijst, worden in de volgende paragrafen eigenschappen van sensoren beschreven met een korte beschrijving wanneer of waarom dit belangrijk kan zijn. Deze lijst specificaties is verder verdeeld in specificaties die bijna altijd relevant zijn en specificaties die vaak alleen voor bepaalde toepassingen relevant zijn.

6.1 Meestal relevante specificaties

6.1.1 Gemeten deeltjesgrootte

De meeste optische deeltjessensoren hebben een [meetbereik van 0,3 – 12 µm](#) en zijn dus geschikt voor het meten van respirabele of thoracale fracties. Voor het meten van ultrafijnstof of inhaleerbaar stof zijn sensoren in het algemeen niet geschikt.

Dat sensoren in het meetbereik van respirabel en thoracaal stof zitten, betekent niet dat sensoren ook altijd deze fracties rapporteren. Doordat de meeste sensoren zijn ontwikkeld voor milieu-toepassingen rapporteren ze vaak de deeltjesgroottefracties PM_{2,5} of PM₁₀. Soms worden ook de PM₄ of PM₅ fracties gerapporteerd, die relatief dicht in de buurt komen van de respirabele fractie. Ook is het mogelijk om uit verschillende deeltjesgroottefracties de respirabele fractie te [berekenen](#).

6.1.2 Concentratiebereik

Sensoren hebben vaak een (aanbevolen) meetbereik. Het is verstandig om te bepalen welke stofconcentraties verwacht worden tijdens de metingen en in welk concentratiebereik je graag onderscheid zou willen kunnen maken (zit er bijvoorbeeld nog een verschil in interpretatie tussen 10 en 11 mg/m³?).

Daarnaast is het belangrijk om te weten (en dat is niet altijd vooraf duidelijk), hoe de sensor omgaat met metingen boven het aanbevolen concentratiebereik. Soms heeft een sensor een cutoff en geeft geen hogere waarden dan bijvoorbeeld 10 mg/m³, ook niet als de concentratie in werkelijkheid vele malen hoger is. Voor het identificeren van blootstellingspieken hoeft dit geen probleem te zijn, maar voor het berekenen van een gemiddelde blootstelling

zal dit zorgen voor een onderschatting. [Zie ook experiment 3 in het voorbeeld lasrook.](#)

6.1.3 Meetfrequentie

Sensoren meten met een hoge frequentie, namelijk elke seconde tot elke paar minuten. Het is relatief eenvoudig om de data met hoge tijdsresolutie om te rekenen naar een lagere resolutie, maar het is niet mogelijk om de resolutie van de data na het meten hoger te maken. Indien voor een lagere tijdsresolutie wordt gekozen is het belangrijk om te weten wat de sensor doet: één keer meten in die periode, of meetdata middelen over die periode? Dit kan worden nagevraagd bij de leverancier. Bij sommige sensoren is de meetfrequentie instelbaar.

Voor het detecteren van blootstellingspieken bij zeer kortdurende taken (bijvoorbeeld het legen van één zak poeder) is een meetfrequentie van 1 meting per seconde aan te raden. Indien het gaat om de gemiddelde blootstelling over een dag kan worden volstaan met een lagere resolutie.

6.1.4 Omgevingsfactoren

De omgeving waarin de sensor gebruikt gaat worden kan invloed hebben op de eisen die aan de sensor gesteld moeten worden. Dit kan bijvoorbeeld eisen aan temperatuur- of luchtvochtigheid bestendigheid betreffen, bestendigheid tegen hoge luchtstromen of ten aanzien van toepasbaarheid in ATEX-zones (explosiegevaarlijke omgevingen).

6.1.5 Connectiviteit

Er zijn verschillende mogelijkheden waarvan een sensor gebruik kan maken om de meetdata naar een centrale opslag over te brengen:

- Direct naar een cloud, door middel van een LTE/IoT simkaart (vergelijkbaar met hoe een smartphone een internetverbinding gebruikt) of via een bestaand Wi-Fi netwerk. De gebruiker kan de data inzien via een website van de leverancier, waar de data vaak ook kunnen worden gedownload.
- Indirect naar een cloud, waarbij de data eerst, vaak via bluetooth, van de sensor naar een dichtbij gepositioneerde

stationaire gateway (kan ook een telefoon zijn) wordt verzonden. De gateway uploadt vervolgens de data naar een cloud via een simkaart. Indien de sensor en gateway te ver van elkaar zijn worden de data niet van de sensor naar de gateway verzonden. Om te voorkomen dat er data verloren gaat voor die periode, is het belangrijk dat een sensor een intern geheugen heeft. Soms wordt de data wel (in real-time) gevisualiseerd op een telefoon die gebruikt wordt als gateway, maar kan de data niet worden gedownload van de telefoon. Om bij de data te kunnen moet de website van de leverancier gebruikt worden.

- Vanuit interne sensor opslag, waarbij de sensor pas na de meting wordt uitgelezen door (vaak met een kabel) te koppelen aan een docking station of een computer. Een docking station kan fungeren als gateway naar de cloud of aangesloten worden op computer om de data in te kunnen zien. Hierbij is vervolgens een keuze of de data lokaal wordt opgeslagen of in een cloudopslag.

6.2 Toepassingsafhankelijke specificaties

6.2.1 Alarmfuncties

Sommige sensoren kunnen feedback geven aan gebruikers bij overschrijding van een zelf ingestelde luchtconcentratie door middel van optische, trillings- of geluidssignalen. Vaak zijn dit sensoren die specifiek zijn ontworpen voor blootstellingsmetingen op de werkplek. Indien een alarm niet (alleen) via de sensor moet worden gegeven, maar ook via een centraal systeem, is het belangrijk om ook rekening te houden met de connectiviteit van de sensor (zie bovenstaande punt).

6.2.2 Opslagruimte

Voor sommige toepassingen is het belangrijk om te controleren of de sensor voldoende opslagruimte bezit om alle metingen op te kunnen slaan. De meeste nieuwere sensoren beschikken over behoorlijke opslagruimte, die mogelijk pas te klein wordt bij lange meetperiodes (>1 week) met hoge meetfrequenties (1 meting per seconde).

6.2.3 Batterijduur

Voor draadloze sensoren is het goed om vooraf te bedenken hoe lang een sensor achter elkaar wordt ingezet. De meeste batterijen van sensoren gaan een dag tot een week mee. De batterijduur wordt sterk beïnvloed door de instellingen van de sensor (bijvoorbeeld de meetfrequentie), lage temperaturen (koude batterijen kunnen minder energie opnemen/leveren) en slijtage door langdurig gebruik.

6.2.4 Feedback over status sensor

Sommige sensoren geven een vorm van feedback over de status van de meting, zoals of de sensor aan staat, welke concentratie gemeten wordt of hoe lang er al gemeten is. Dit kan bijvoorbeeld via een display of een gekleurd LED-lampje.

6.2.5 Afmetingen en gewicht

Voor persoonlijke metingen is het wenselijk dat de sensor klein en licht is, zeker als deze langdurig wordt ingezet, bijvoorbeeld voor continue monitoring. Ook is het belangrijk dat de sensor de gangbare werkwijze niet verstoort. Maximale afmetingen van de meeste gangbare sensoren voor persoonlijke metingen is 15x10x5 cm en een gewicht van 250 gram.

6.2.6 Bevestigingsmethode en -materiaal

Voor persoonlijke blootstellingsmetingen moet de sensor in de ademzone (vaak op de schouder of revers) van de werknemer worden bevestigd. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden. Sommige sensoren hebben een (krokodillen)klem waarmee de sensor aan de werkkleding kan worden bevestigd. Soms leveren sensorfabrikanten een harnas of een riem/band, waar de sensor aan bevestigd kan worden.

Welke oplossing het beste past, hangt af van de toepassing. Bedenk hierbij dat het belangrijk is dat de inlaat van de sensor vrij blijft, de sensor ook regelmatig af wordt gedaan (bijvoorbeeld tijdens pauzes) en dat er mogelijk andere apparatuur is die de werknemer al draagt (bijvoorbeeld een gereedschapsriem).



Leidraad

Deeltjessensoren op de werkplek 6 Waar moet je op letten bij de selectie van een sensor?

6.2.7 Bijgeleverde dataverwerking en -analyse software

De meeste fabrikanten leveren ook software voor verwerking en/of analyse van de verzamelde sensordata. Soms is dit alleen voor het visualiseren van één meetserie in een figuur, maar soms is het ook een uitgebreider pakket waarmee de meetgegevens bijvoorbeeld kunnen worden bewerkt, ingedeeld in groepen of kunnen worden voorzien van notities.

6.2.8 Additionele (context)sensoren

Sommige sensoren bevatten meerdere sensing elementen en kunnen naast stofdeeltjes ook andere blootstellingen meten (bijvoorbeeld geluid of vluchtige stoffen). Daarnaast verzamelen sommige sensoren ook contextuele informatie, zoals de locatie van de meting d.m.v. GPS.

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor

> Meestal relevante specificaties

▶ Toepassingsafhankelijke specificaties

Kwaliteitscontroles >

Metingen interpreteren >

Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

7 Kwaliteitscontroles

Omdat de nauwkeurigheid van sensoren erg kan variëren tussen verschillende toepassingen, is het belangrijk om goed te controleren dat de sensor naar behoren werkt. Om te waarborgen dat een sensor goed functioneert zijn kwaliteitscontroles nodig. Welke controles moeten worden uitgevoerd en hoe vaak hangt af van de situatie, zoals de leeftijd van de sensor, hoeveel de sensor wordt gebruikt en bij welke concentraties.

Kwaliteitscontroles kunnen worden ingedeeld in routinematige controles vóór een meet sessie, eenmalige controles voor ingebruikname en periodieke controles.

Figuur 7.1: Kwaliteitscontroles van sensoren kunnen routinematig voor een meet sessie, eenmalig voordat de sensor in gebruik wordt genomen en periodiek worden uitgevoerd.

Routine checks voor een meet sessie >

Synchroniseren klok >

Controleren opslagruimte >

Batterij controleren >

Inspectie sensor >

Eenmalige controles voor ingebruikname >

Algemene testen >

Verschillen tussen sensoren >

Reactiesnelheid en timestamp >

Periodieke controles >

Vergelijking referentie >

Bump test >

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles

> Voor een meet sessie

> Voor ingebruikname

> Periodieke controle

Metingen interpreteren >

Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

7.1 Routine checks vóór een meetsessie

Voordat is een sensor wordt ingezet is het raadzaam om enkele dingen te controleren (indien relevant):

- Staat de interne klok van de sensor gelijk aan de lokale tijd?
- Is er voldoende opslagruimte beschikbaar?
- Staan de overige instellingen (bijvoorbeeld de meetfrequentie) juist ingesteld?
- Is de batterij voldoende opgeladen?
- Zijn de in- en uitlaat van de sensor schoon en worden deze niet geblokkeerd wanneer gedragen door een medewerker?

7.2 Eenmalige controles vóór ingebruikname

Voordat een sensor wordt ingezet voor het meten van blootstelling op de werkplek, wordt aangeraden om enkele testen uit te voeren om de werking van de sensor te controleren. In onderstaande sub-paragrafen staat een aantal testen dat hier inzicht in kan geven. Niet alle testen zijn van belang voor alle toepassingen.

7.2.1 Algemene testen bij eerste gebruik sensor

Bij het eerste gebruik van een sensor is het handig om enkele testen uit te voeren om te controleren of de sensor werkt zoals verwacht. Dit is voor alle toepassingen nuttig. Laad de sensor volledig op. Start daarna de meting en plaats de sensor in een willekeurige omgeving. Meet totdat de batterij van de sensor leeg is (of ten minste zo lang als de beoogde toepassing). Probeer tijdens de meting enkele (piek)bloomstellingen te simuleren, bijvoorbeeld door stofbronnen bij de sensor te plaatsen (brandende kaarsen of wierrook, opschudden van kussens, rookmelder testspray). Controleer tijdens en na de test de volgende punten:

- Kan je ergens zien dat de sensor aanstaat? Bijvoorbeeld een lichtje dat brandt?
- Kloppen de instellingen voor de beoogde toepassing? Zijn de instellingen aanpasbaar?
- Staat de interne klok correct? Wordt die automatisch geüpdatet?
- Hoe lang gaat de batterij mee?
- Kan je bij de data zoals verwacht en levert de sensor data zonder gaten?
- Wat is de verhouding in concentraties tussen de size bins (bijv. ratio PM1:PM2,5)?

- Als deze varieert, dan meet de sensor daadwerkelijk verschillende deeltjesgroottes.
- Als deze niet varieert, wordt de deeltjesgrootteverdeling bepaald door het algoritme.

7.2.2 Verschillen tussen sensoren (colocatie test)

Verschillende sensoren van hetzelfde type kunnen soms andere meetresultaten geven (Figuur 7.2). Dit kan komen door variatie in het productieproces of doordat de fabrikant elke sensor individueel kalibreert. Het is daarom goed vooraf te testen of deze verschillen in meetresultaten zich voordoen wanneer je meerdere sensoren aangeschaft hebt.

Plaats hiertoe meerdere sensoren naast elkaar (bij voorkeur alle sensoren die ingezet gaan worden). Probeer de inlaten dezelfde kant op te richten. Let op dat de uitlaat van één sensor niet in de inlaat van een andere sensor blaast. Zorg tijdens de meting voor geleidelijke variaties in concentratieniveaus, het liefst overeenkomend met het concentratiebereik van de beoogde toepassing. Zorg ook voor een periode met minimale blootstelling (de baseline). Meet gedurende enkele uren tot dagen.

Controleer na de test de verschillen in meetresultaten tussen de sensoren. Doe dit visueel (vergelijk het piekenpatroon en de baseline) of bereken eventueel gemiddelde waarden. Verschillen in hoogtes in de piekpatronen zijn voor deze test minder belangrijk, aangezien dit mogelijk ook kan komen door experimentele variatie.

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

Voor een meetsessie

Voor ingebruikname

> Periodieke controle

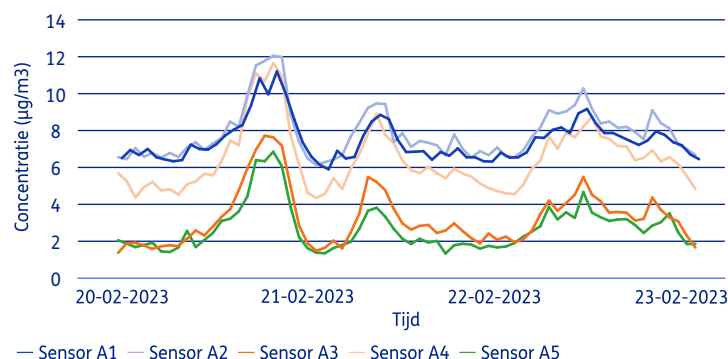
Metingen interpreteren >

Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

Figuur 7.2: Voorbeeld van sensoren met interdevice variatie.



7.2.3 Reactiesnelheid en timestamp

Sensoren kunnen verschillen in de snelheid waarmee ze reageren op veranderingen in blootstelling. Daarom is het verstandig vooraf te onderzoeken hoe snel een sensor reageert op veranderingen. Een trage respons op kortdurende blootstellingspieken kan namelijk leiden tot onderschatting van de gemiddelde concentraties.

Daarnaast is het verstandig om te controleren of de interne klok van de sensor goed is ingesteld en overeenkomt met de lokale tijd. Als dit niet het geval is wordt het erg lastig om metingen achteraf te kunnen verklaren.

Om de reactietijd en de interne klok te testen stel je één of meerdere sensoren bloot aan snel wisselende concentraties deeltjes. Dit kan bijvoorbeeld met rookmelder testspray. Registreer de exacte momenten waarop de piekblootstellingen worden gestart. Dit kan het makkelijkst via de klok op een smartphone, die gelijkloopt met de universele tijd.

Controleer hoe snel de sensor reageert op snelle veranderingen in concentraties, bijvoorbeeld door te berekenen hoe snel de sensor van achtergrond naar een relevante concentratie gaat (bijvoorbeeld de tijd van 0 tot 1000 µg/m³). Bedenk of deze reactiesnelheid

voldoende is voor de beoogde toepassing op basis van de duur van de taken en verwachte blootstellingen. Controleer tevens of de blootstellingspiek op het juiste moment is gemeten, door te checken of de timestamp van de eerste meting met een verhoging overeenkomt met de tijd waarop de blootstelling was uitgevoerd. Verschillen in timestamps komen vaak door verschillen in tijdzones (bijvoorbeeld lokaal en UTC) en/of wintertijd.

7.3 Periodieke controles

Gedurende het gebruik van een sensor is het belangrijk om periodiek te controleren of de sensor naar behoren functioneert en of de meetgegevens nog betrouwbaar zijn. Door veelvuldig gebruik kunnen meetresultaten na verloop van tijd afwijkende resultaten gaan geven ten opzichte van toen de sensor nieuw was (drift). Dit komt bijvoorbeeld doordat stofdeeltjes neerslaan op de lichtbron en/of de lichtdetector in het sensing element, waardoor het lichtsignaal wordt afgezwakt. Afhankelijk van het type sensing element kan deze afzwakking leiden tot overschatting of onderschatting van de concentratie. Ook kan de ophoping van stofdeeltjes verstoppingen veroorzaken in de sensor of het sensing element, waardoor minder lucht door de sensor gaat en concentraties lager uitvallen. Hierdoor ontstaat na verloop van tijd mogelijk een onderschatting van de blootstelling.

Drift kan op verschillende manieren worden gecorrigeerd of voorkomen. Het regelmatig schoonmaken van de sensor/sensing element kan drift beperken, bijvoorbeeld door deze door te blazen (let wel op dat je eventuele ventilatoren blokkeert zodat deze niet de verkeerde kant op draaien en kapotgaan). Sommige sensoren zijn ook zo ontworpen dat het gehele sensing element eenvoudig vervangen kan worden. Echt onderhoud van sensoren is specialistisch werk en vereist dat de sensor wordt opengeschoefd (wat de fabrieksgarantie kan doen vervallen). Bespreek periodieke controles daarom ook altijd met de fabrikant/leverancier van de sensoren.

Het testen of en hoeveel een sensor drift, kan op verschillende manieren. Het vergelijken met een betrouwbare referentie is de meest betrouwbare methode, maar is mogelijk lastiger om regel-

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

> Voor een meet sessie

> Voor ingebruikname

Periodieke controle

Metingen interpreteren >

Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

Leidraad Deeltjessensoren op de werkplek 7 Kwaliteitscontroles

matig uit te voeren. Een *bump test* of een [colocatie test](#) kunnen dan als alternatief gebruikt worden.

7.3.1 Vergelijking met referentie

De beste manier om te testen of sensoren driften, is door de sensoren periodiek (bijvoorbeeld elk half jaar) te vergelijken met parallelle metingen van een betrouwbare referentie.

Plaats hiertoe een betrouwbare referentie (bijvoorbeeld een gekalibreerde Direct-Reading Instrument of een gravimetrische sampler) naast de sensor en meet de blootstelling met beide methoden. Vergelijk de metingen met elkaar. In geval van gravimetrische metingen moet hiertoe wel eerst het [gemiddelde van de sensormeting worden uitgerekend](#).

Als het verschil tussen de sensor en de referentie over de tijd verandert, is er sprake van drift.

7.3.2 Bump test

Door de sensor gedurende zijn levensduur regelmatig (bijvoorbeeld elk half jaar) op een gecontroleerde manier bloot te stellen aan een bekende concentratie stof, kan worden bepaald of de sensor drift vertoond.

Plaats hiertoe de sensor in een afgesloten ruimte en introduceer een bekende of goed herhaalbare blootstelling. Dit kan bijvoorbeeld door een hoeveelheid teststof af te wegen en op een gestandaardiseerde manier te verspreiden. Sommige fabrikanten bieden ook gespecialiseerde kits aan om dit soort tests uit te voeren.

Om te bepalen of de sensor drift vertoond kunnen de resultaten van de verschillende halfjaarlijkse testen worden vergeleken. Als hier een duidelijke daling in respons zichtbaar is over de tijd, is er sprake van drift.

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

> Voor een meetsessie

> Voor ingebruikname

Periodieke controle

Metingen interpreteren >

Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

8 Data omzetten naar informatie

Na een meting wordt de data verwerkt en geïnterpreteerd. In dit hoofdstuk worden enkele voorbeelden gegeven van hoe sensor-data gecorrigeerd kan worden om de nauwkeurigheid te vergroten. Daarnaast worden voorbeelden gegeven voor hoe de metingen omgezet kunnen worden naar informatie die nodig is om te kunnen handelen.

Figuur 8.1: Sensormetingen kunnen worden gecorrigeerd zodat deze beter overeenkomen met de werkelijke concentraties of gewenste vorm, of geanalyseerd om de belangrijkste informatie uit de metingen te halen.

Corrigeren sensordata >

Kalibratie	>
Omrekenen deeltjesaantallen naar massa	>
Omrekenen naar relevante stoffracties	>

Analyses >

Blootstellingsprofielen interpreteren	>
Samenvattende statistieken	>
Vergelijkingen visualiseren met boxplots	>

[Samenvatting >](#)[Waarom sensoren? >](#)[Wat zijn sensoren? >](#)[Toepassingen sensoren >](#)[Beperkingen sensoren >](#)[Selectie sensor >](#)[Kwaliteitscontroles >](#)

Metingen interpreteren

[> Corrigeren](#)[> Analyseren](#)[Sensoren inzetten >](#)[Verdere informatie >](#)[Versiebeheer >](#)

8.1 Corrigeren van sensordata

Verschiede stappen kunnen worden uitgevoerd om sensormetingen te corrigeren, zodat deze beter overeenkomen met de werkelijke concentraties. Onderstaand zijn voorbeelden gegeven voor kalibratie, het handmatig berekenen van massaconcentraties en het berekenen van respirabel stoffracties.

8.1.1 Kalibratie van deeltjessensoren

Om sensoren kwantitatief in te zetten moeten deze eerst worden gekalibreerd. Dit kan worden gedaan door parallelle metingen uit te voeren met sensoren en een betrouwbare referentie (bijv. een gravimetrisch sampler). Deze *data paren* kunnen gebruikt worden om een kalibratiemodel op te stellen die sensormetingen kan corrigeren.

Hoe een kalibratie precies moet worden uitgevoerd wordt nog onderzocht. Wat al wel bekend is:

- De data paren waarop het kalibratiemodel is gebaseerd moeten representatief zijn voor situatie die bemeten wordt. Het is dus niet mogelijk om een kalibratiemodel voor één blootstellingssituatie te ontwikkelen en die toe te passen op blootstellingssituaties aan deeltjes met een andere samenstelling.
- Er moet voldoende spreiding zitten in de concentraties van de data paren. Bijvoorbeeld, een kalibratiemodel dat is ontwikkeld op basis van data paren tussen 0.1 en 1 mg/m³ stof is niet geschikt om metingen van 5 mg/m³ te corrigeren.
- Er zijn voldoende data paren nodig om het kalibratiemodel te ontwikkelen. Hoeveel er nodig zijn hangt af van de nauwkeurigheid van de sensor, waar minder data nodig is voor nauwkeurigere sensoren. Wetenschappelijk onderzoek loopt om hier een specifieke waarde aan te geven en dit te onderbouwen, maar ervaring leert dat minimaal 10 tot 20 data paren nodig zijn voor een goed kalibratiemodel.

TNO voert momenteel onderzoek uit naar hoeveel data paren in het algemeen nodig zijn voor het opstellen van een kalibratiemodel en of het mogelijk is om sector-brede kalibratiemodellen te ontwikkelen op basis van grote datasets. Daarnaast wordt de nauwkeurigheid van sensoren vergeleken met die van geaccepteer-

de meetmethoden zoals blootstellingsmodellen en gravimetrische meetmethoden, om zo de praktische toepassing van sensormetingen voor het aantonen van compliance aan een grenswaarde te kaderen.

De uitkomsten van dit onderzoek worden in een latere versie van de Leidraad gepubliceerd, inclusief een meer gedetailleerde beschrijving over hoe sensoren gekalibreerd kunnen worden.

8.1.2 Omrekenen van deeltjesaantallen naar massaconcentraties

De meeste sensoren rapporteren de massaconcentraties van het stof dat is gemeten (bijv. in µg/m³ of mg/m³). Sommige sensoren geven ook de deeltjesaantallen (bijv. in #/cm³). Op basis van de deeltjesaantallen kan met gebruik van natuurkundige formules de massaconcentratie berekend worden. Dit heeft als voordeel dat de gebruiker specifieke deeltjeseigenschappen (zoals de dichtheid of vormfactor) kan toevoegen in de omrekening.

Voor het omrekenen van deeltjes- naar massaconcentraties kunnen verschillende formules gebruikt worden. Hiervoor is minimaal informatie nodig over het aantal deeltjes, de gemiddelde deeltjesgrootte (afgeleid van de size bin waar de concentratie is gemeten) en de dichtheid van het materiaal (formule 1). Wanneer de dichtheid onbekend is, wordt vaak een waarde van 1 g/cm³ gebruikt (de dichtheid van water). Tabel 8.1 geeft dichtheden van veelvoorkomende materialen.

$$M = \frac{\pi}{6} D^3 N \rho$$

Waarin M staat voor de massaconcentratie in µg/m³, D voor de gemiddelde diameter van de deeltjes in cm, N voor het aantal deeltjes in #/cm³, ρ voor de dichtheid van het materiaal in g/cm³.

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

Metingen interpreteren

Corrigeren

> Analyseren

Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

Tabel 8.1: Dichtheden van verschillende stoffen (uit Hinds et al., 2022²).

Stof	Dichtheid (g/cm ³)	Stof	Dichtheid (g/cm ³)
Aluminium	2.7	Paraffine	0.9
Aluminiumoxide	4.0	Plastic	1-1.6
Ammoniumsulfaat	1.8	Pollen	0.45-1.05
Asbest	2.0-2.8	Polystyreen	1.05
Asbest, chrysotiel	2.4-2.6	Polyvinyl toluen	1.03
Steenkool	1.2-1.8	Cement	3.2
Vliegias	0.7-2.6	Kwarts	2.6
Glas	2.4-2.8	Natriumchloride	2.2
Graniet	2.6-2.8 i	Zwavel	2.1
IJs	0.92	Zetmeel	1.5
IJzer	7.9	Talk	2.6-2.8
IJzeroxide	5.2	Titaniumdioxide	4.3
Kalksteen	2.7	Hout (droog)	0.4-1.0
Lood	11.3	Zink	6.9
Marmer	2.6-2.8	Zinkoxide	5.6
Natuurlijke vezels	1-1.6		

Voorbeeldberekening

Omrekenen van een deeltjesconcentratie kwartsstof naar massaconcentraties.

Meetgegevens:

Aantal deeltjes (N) = 1000 #/cm³

Gemiddelde diameter deeltjes (D) = 1,75 µm

Dichtheid (ρ) = 2,6 g/cm³

Invullen in formule 1 geeft:

$\pi/6 \cdot 1,75^3 \cdot 1000 \cdot 2,6 = 729.60 \text{ µg/m}^3$

8.1.3 Size bins omrekenen naar relevante stoffracties, bijvoorbeeld respirabel stof

Sensoren geven vaak concentraties in deeltjesgroottefracties die worden gebruikt in milieutoepassingen (bijv. PM_{2.5}: alle deeltjes kleiner dan 2,5 µm), terwijl voor werkplektoepassingen vaak respirabel stof gemeten wordt (Figuur 8.1). In dit geval kan het nuttig zijn om de concentraties van de PM fracties om te rekenen naar de respirabele fractie.

Hiervoor kan gebruik worden gemaakt van de conventies in ISO7708. In deze standaard staat beschreven wat de bijdrage is van een bepaalde deeltjesgrootte voor de respirabele stoffractie.

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

Metingen interpreteren

Corrigeren

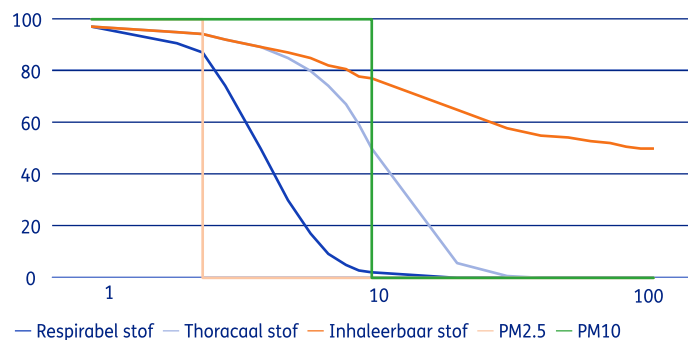
> Analyseren

Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

² Hinds, William C., and Yifang Zhu. Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. John Wiley & Sons, 2022.

Figuur 8.2: Deeltjesgroottefracties volgens de conventies in ISO 7798

Voor de berekening worden de massaconcentraties eerst verdeeld in zo klein mogelijk size bins, die zowel een onder- als bovengrens kennen. Voor de berekening wordt de gemiddelde diameter per size bin gebruikt. Daarna worden de massaconcentraties van de verschillende size bins bij elkaar opgeteld, proportioneel aan hun bijdrage volgens de respirabele conventie (Tabel 8.2).

Tabel 8.2: Size bins en bijdrage aan respirabele stoffractie.

Size bin van de sensor (µm)	Gebruikte diameter voor berekening (µm)	Bijdrage aan de respirabele stoffractie (%)
0,3 – 0,5	0,4	98,81
0,5 – 1	0,75	97,75
1 – 2,5	1,75	92,98
2,5 – 5	3,75	56,39
5 – 10	7,5	6,047

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

Metingen interpreteren

Corrigeren

> Analyseren

Sensoren inzetten >

Verdere informatie >

Versiebeheer >

Voorbeeld data:

Onderstaande tabel geeft een typische weergave van sensordata over verschillende deeltjesgroottefracties. Let op dat de fracties overlappen (PM2.5 bevat zowel de deeltjes kleiner dan 1 µm als tussen 1 µm en 2,5 µm).

Timestamp	PM1	PM2.5	PM5	PM10
09:00:00	25 µg/m ³	30 µg/m ³	50 µg/m ³	100 µg/m ³
09:01:00	30 µg/m ³	40 µg/m ³	80 µg/m ³	160 µg/m ³

Stap 1:**omrekenen PM fracties naar size bins**

Als eerste worden meetwaarden omgerekend naar size bins, die de concentraties binnen een specifieke deeltjesgrootte geven. Dit wordt gedaan door de verschillen tussen de PM concentraties te bepalen (bijv. alle deeltjes tussen 1 en 2.5 µm = PM2.5 – PM1).

Timestamp	Bin1 (gem. 0,65 µm)	Bin2 (gem. 1,75 µm)	Bin3 (gem. 3,75 µm)	Bin4 (gem. 7,5 µm)
09:00:00	25 µg/m ³	(30 – 25) = 5 µg/m ³	20 µg/m ³	50 µg/m ³
09:01:00	30 µg/m ³	10 µg/m ³	40 µg/m ³	80 µg/m ³

- Bin 1 is PM1 met een gemiddelde deeltjesgrootte van 0.65 µm (gemiddelde tussen 0.3 en 1 µm)
- Bin 2 is PM2.5 – PM1 met een gemiddelde deeltjesgrootte van 1.75 µm
- Bin 3 is PM5 – PM2.5 met een gemiddelde deeltjesgrootte van 3.75 µm
- Bin 4 is PM10 – PM5 met een gemiddelde deeltjesgrootte van 7.5 µm.

Stap 2: bijdrage aan respirabele fractie berekenen

Vervolgens wordt berekend hoeveel de size bin gemiddeld bijdraagt aan de respirabele fractie, volgens de percentages uit de respirabele conventie.

09:00:00	25 * 0,9835 = 24,58 µg/m ³	5 * 0,9298 = 4,649 µg/m ³	20 * 0,5639 = 11,28 µg/m ³	50 * 0,06047 = 3,024 µg/m ³
09:01:00	29,51 µg/m ³	9,298 µg/m ³	22,56 µg/m ³	4,838 µg/m ³

Stap 3: size bins bij elkaar optellen

Tot slot worden de concentraties van de verschillende size bins bij elkaar opgeteld.

Timestamp	PM1	PM2.5	PM5	PM10	Respirabele fractie
09:00:00	25 µg/m ³	30 µg/m ³	50 µg/m ³	100 µg/m ³	24.58 + 4,649 + 11,28 + 3,024 = 43,53 µg/m ³
09:01:00	30 µg/m ³	40 µg/m ³	80 µg/m ³	160 µg/m ³	66,21 µg/m ³

Samenvatting



Waarom sensoren?



Wat zijn sensoren?



Toepassingen sensoren



Beperkingen sensoren



Selectie sensor



Kwaliteitscontroles



Metingen interpreteren

Corrigeren

> Analyseren

Sensoren inzetten



Verdere informatie



Versiebeheer



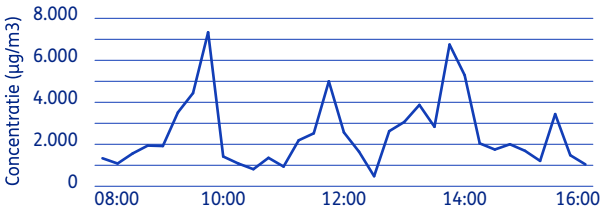
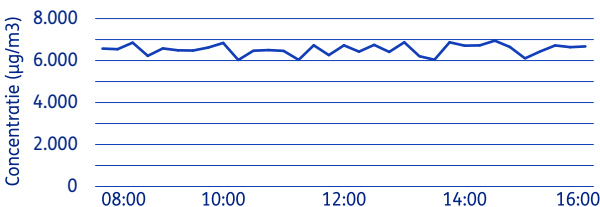
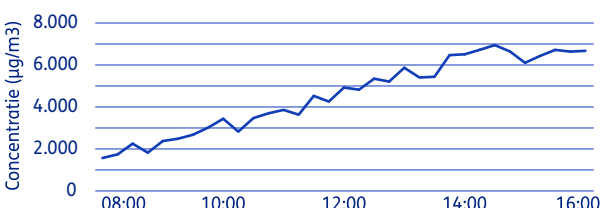
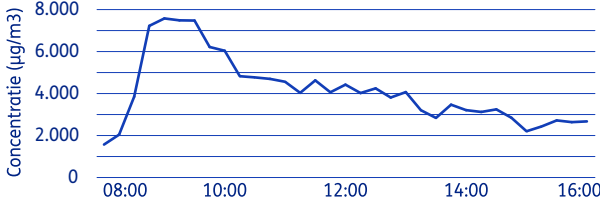
8.2 Analyseren van sensormetingen

Omdat sensoren in hoger frequentie meten, kunnen veranderingen over de tijd weergegeven worden. Een weergave van de concentraties over de tijd noemen wij een blootstellingsprofiel. Deze blootstellingsprofielen kunnen op zichzelf al informatie geven over hoe/waar/wanneer een persoon is blootgesteld, maar er zijn ook verschillende analyses mogelijk om meer inzicht te krijgen.

8.2.1 Blootstellingsprofielen interpreteren

Een gebruikelijke eerste stap is het visueel inspecteren van een blootstellingsprofiel. Door te bekijken wanneer de momenten van hoge blootstelling zijn geweest en door te achterhalen welke activiteiten op die momenten werden uitgevoerd, kan worden achterhaald waarom een werknemer is blootgesteld. Ook kan de vorm van het blootstellingsprofiel algemene informatie over de blootstelling geven. In figuur 8.3 staan een aantal tips bij het interpreteren van een blootstellingsprofiel.

Figuur 8.3: Interpretatie van blootstellingsprofielen

Blootstellingsprofiel	Omschrijving	Interpretatie
	Veel piekblootstellingen	Blootstelling is afkomstig van tijdelijke bronnen. Waarschijnlijk bepaalde taken of specifieke locaties.
	Constante hoge concentraties.	Blootstelling is gerelateerd aan een continue proces en/of activiteit.
	Concentratie loopt op gedurende meting.	Stof komt mogelijk herhaaldelijk in de lucht, waardoor een 'stapeling' plaatsvindt. Bijvoorbeeld stof waait op nadat het eerst op de grond is neergeslagen.
	Concentratie daalt langzaam na een piek.	Combinatie van een stof genererende activiteit en beperkte algemene beheersmaatregelen (zoals ruimteventilatie).

[Samenvatting](#)

[Waarom sensoren?](#)
[Wat zijn sensoren?](#)
[Toepassingen sensoren](#)
[Beperkingen sensoren](#)
[Selectie sensor](#)
[Kwaliteitscontroles](#)
[Metingen interpreteren](#)
[Corrigeren](#)
[Analyseren](#)
[Sensoren inzetten](#)
[Verdere informatie](#)
[Versiebeheer](#)

In sommige gevallen kan door de hoge meetfrequentie en lagere nauwkeurigheid van de sensoren een blootstellingsprofiel erg grillig zijn (veel ruis). Het kan hierdoor lastig zijn om patronen over de tijd te detecteren. Het blootstellingsprofiel kan vloeiender gemaakt worden door de data te *smoothen*. Dit kan bijvoorbeeld door een voortschrijdend gemiddelde (moving average) te berekenen door bij elk datapunt het gemiddelde te berekenen van de 10 voorgaande datapunten.

8.2.2 Samenvattende statistieken: gemiddelden en standaarddeviaties berekenen uit sensordata

Blootstellingsprofielen van verschillende werknemers die vergelijkbare taken verrichten zijn nooit identiek. Dit wordt veroorzaakt door verschillen in duur of volgorde van uitgevoerde werkzaamheden, persoonlijke manieren van werken of verschillen in omstandigheden. Daardoor is het lastig om meerdere blootstellingsprofielen te vergelijken en kan het nuttig zijn om de profielen samen te vatten in bepaalde statistische grootheden, zoals het gemiddelde of de standaarddeviatie.

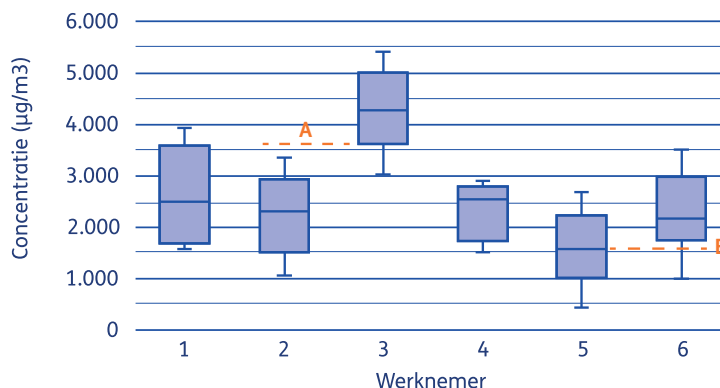
Gebruik voor het middelen van sensordata het rekenkundig gemiddelde en niet het geometrisch gemiddelde (die voor verschillende andere berekeningen in de arbeidshygiëne vaak wel gebruikt wordt). Vergelijkingen met referentiemetingen hebben aangegeven aan dat het rekenkundig gemiddelde het beste overeenkomt. Let wel: Het berekenen van gemiddelden maakt het mogelijk blootstellingsprofielen met elkaar te vergelijken, maar de gemiddelde waarde is niet betrouwbaar genoeg om te vergelijken met grenswaarden.

Naast het gemiddelde kan het ook nuttig zijn om de standaarddeviatie (of standaardafwijking) te berekenen van een meetserie. Dit is een maat voor de spreiding van de individuele meetpunten. Een hogere standaarddeviatie staat dus voor meer variatie in de gemeten concentraties, en waarschijnlijk voor meer piekblootstellingen.

8.2.3 Vergelijkingen visualiseren: boxplots

Om meerdere blootstellingsprofielen, inclusief de spreiding van individuele meetpunten, te vergelijken kan gebruik gemaakt worden van boxplots. Dit kan bijvoorbeeld relevant zijn voor het vergelijken van dagmetingen van werknemers die tot dezelfde functiegroep behoren. Verschillen in grootte van de boxplots geven verschillen in variatie in blootstelling weer en verschillen in de hoogte van de boxplots geven verschillen in concentraties weer. Een algemene regel bij het vergelijken van boxplots is: als de boxes (Q1 t/m Q3) tussen groepen niet overlappen, is er bijna zeker een relevant verschil tussen de metingen (lijn A in figuur 8.3). Als de mediaan van één van de boxplots buiten de box van de andere valt, is er *waarschijnlijk* een verschil tussen de twee groepen (lijn B in figuur 8.3).

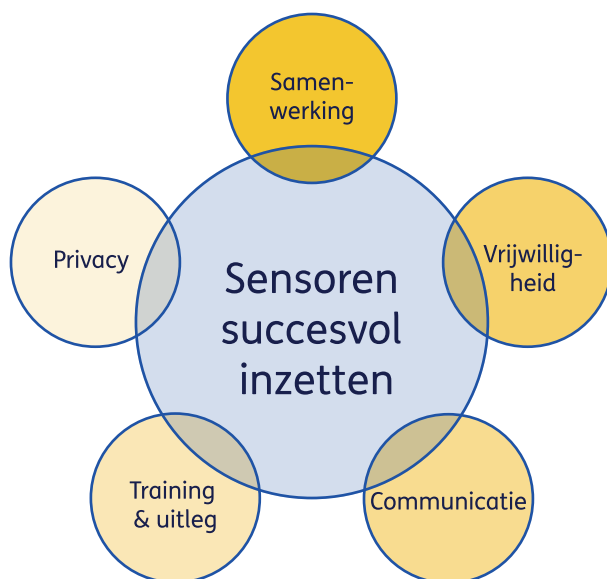
Figuur 8.4: Boxplots van dagmetingen van 6 medewerkers die tot eenzelfde functiegroep behoren



9 Sensoren succesvol inzetten

Behalve het zorgvuldig overwegen voor welke toepassing je welke sensor wilt en kunt inzetten en hoe je ervoor zorgt dat de sensor-data je de informatie brengen die je nodig hebt, zijn er nog enkele andere onderwerpen die aandacht behoeven:

Figuur 9.1: Om sensoren succesvol in te zetten is het belangrijk om na te gaan waar de gegevens voor gebruikt gaan worden en daarop voor te bereiden.



9.2.1 Samenwerken aan betere werkomstandigheden

De beste resultaten worden verkregen als er sprake is van samenwerking tussen werkgever, werknemer en arbeidshygiënist. Het is daarom aan te bevelen transparant te zijn en zowel werkgever als werknemers te betrekken bij het plan om met sensoren te gaan meten en uit te leggen wat het doel is, wat precies gemeten wordt, van wie de data is, waar en hoe lang de data wordt opgeslagen, welke informatie met wie gecommuniceerd wordt en wat de vervolgacties zullen zijn.

9.2.2 Vrijwilligheid

Bij het creëren van goede samenwerking hoort ook de mogelijkheid voor medewerkers om geen sensoren te hoeven dragen als ze dat niet willen.

9.2.3 Communicatie

Net als bij conventionele metingen is het belangrijk zorgvuldig over de resultaten te communiceren. In vergelijking met conventionele metingen vormen de voordelen van sensormetingen (informatiever en sneller) aanleiding om extra goed over communicatie na te denken.

Het is goed vooraf afspraken te maken met alle betrokken over welke informatie met wie en welk doel wordt gecommuniceerd. Hierbij is het belangrijk zorgen over eventueel misbruik van data te bespreken en maatregelen af te spreken om dit te voorkomen. De arbeidshygiënist kan hier een intermediaire rol kiezen door de data zelf te analyseren en alleen over de resultaten te communiceren.

Indien ruwe sensordata met medewerkers wordt besproken is het belangrijk dat de resultaten in perspectief worden geplaatst. Wat zegt een getal, of een piek in een blootstellingsprofiel? Loopt de medewerker nu een risico of niet? En wat gaat er gebeuren om de

[Samenvatting >](#)[Waarom sensoren? >](#)[Wat zijn sensoren? >](#)[Toepassingen sensoren >](#)[Beperkingen sensoren >](#)[Selectie sensor >](#)[Kwaliteitscontroles >](#)[Metingen interpreteren >](#)[Sensoren inzetten >](#)[Verdere informatie >](#)[Versiebeheer >](#)

gezondheid van de medewerker verder te beschermen? Dit verdient in het bijzonder de aandacht als een sensor in real time wordt gebruikt en de meetresultaten ook door medewerkers kunnen worden gezien.

9.2.4 Geef medewerkers training en uitleg

Geef medewerkers training en uitleg, opdat ze sensoren correct kunnen gebruiken (bijvoorbeeld ervoor zorgen dat de inlaat niet afgedekt wordt door kleding of materiaal; zien of de batterij leeg is of dat de internet connectie verbroken wordt en daarop te handelen). De medewerkers zijn cruciaal in het correct gebruiken van sensoren en voor het verzamelen van goede data. Zij kunnen ook waardevolle informatie geven m.b.t. het wel/niet goed functioneren van de sensor en of het in de praktijk werkbaar is met een sensor.

9.2.5 Privacy en gegevensbescherming

Regelmatig wordt de vraag gesteld of sensordata persoonlijke data is en onder de privacywetgeving vallen. In principe geldt dat als een individu traceerbaar is uit de sensordata, de data onder de privacywetgeving valt. De kans dat een individu uit alleen sensordata traceerbaar is, is echter bijzonder klein. Dit is natuurlijk geheel anders als er bijvoorbeeld ook GPS-gegevens worden opgeslagen; dan gaat het wel om gevoelige data. Om de sensordata te kunnen interpreteren en terugkoppelen moet meer informatie worden opgeslagen dan alleen de sensordata. Dit is niet anders dan bij conventionele blootstellingsmetingen. Indien gevoelige data worden verzameld kan toestemming gevraagd worden van de medewerkers middels een toestemmingsverklaring (informed consent). Hierin moet dan duidelijk staan welke data wordt verzameld met welk doel, waar deze data wordt opgeslagen en hoe lang, wie toegang heeft tot de data en wat de rechten zijn van de medewerkers ten aanzien van de sensordata. De data moet dan ook geanonimiseerd of gepseudonimiseerd worden opgeslagen, waarbij encryptie en toegang autorisatie kan worden overwogen.

Sensorleveranciers kunnen gebruik maken van een automatische cloudopslag van sensordata van hun sensoren. Hiermee is de data automatisch voor hun toegankelijk en herleidbaar naar het IP-adres van de sensor (dit is ongeveer tot op postcode niveau). Hoewel individuen niet traceerbaar zijn, geldt dit soms wel voor bedrijven waar de metingen worden uitgevoerd.

Daarnaast kan de cloudopslag in delen van de wereld zijn ondergebracht waar andere privacyregels gelden dan in Nederland, waardoor het onduidelijk is wie toegang hebben tot de data in de cloud.

De inzet van video kan erg behulpzaam zijn in het begrijpen van een blootstellingsprofiel. Op video is echter veel te zien, zelfs met een body worn camera: collega's, bedrijfsprocessen, informatie op schermen of telefoon, inhoud en codes van kluisjes, etc. Het is belangrijk medewerkers hier goed op voor te bereiden en bewust van te maken. Niet alleen de bemeeten medewerker, maar ook de collega's. Daarnaast vraagt het discretie van de arbeidshygiënist en, in overleg met de medewerker, een zorgvuldige selectie van beelden die breder getoond worden.

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

Metingen interpreteren >

Sensoren inzetten

Verdere informatie >

Versiebeheer >

10 Verdere informatie

10.1 Commercieel beschikbare deeltjessensoren

In tabel 10.1 wordt een lijst gegeven van commercieel beschikbare deeltjessensoren die zijn ontwikkeld voor het meten van blootstelling op de werkplek. Deze lijst is in de leidraad opgenomen omdat arbeidshygiënisten aangeven daar behoefte aan te hebben.

N.B. Onderstaande lijst geeft geen volledig overzicht en vermelding in deze lijst geeft geen garanties over de nauwkeurigheid van de sensoren.

10.2 Tools en andere informatiebronnen

De tools en informatiebronnen in tabel 10.2 kunnen gebruikt worden voor het verkrijgen van verdere informatie over het gebruik van sensoren (op de werkplek).

Tabel 10.1: Lijst deeltjessensoren.

Sensor (fabrikant)	Beschrijving
UPAS V2.1+ (Access sensor technologies)	Wordt vooral in onderzoekstoepassingen gebruikt. Meet naast fijnstof (PM1, 2.5, 4 en 10) ook verschillende andere parameters en bevat een sampler voor gravimetrische samples.
XD1+ (Trolex)	Speciaal ontwikkeld voor gebruik op de werkplek. Meet PM1, 2.5, 4.25 en 10. Kan aangestuurd/uitgelezen worden met een app.
DustCanary TREND 420 (Air-Met)	Speciaal ontwikkeld voor gebruik op de werkplek. Meet respirabel stof. Kan aangestuurd/uitgelezen worden met een app.
Dustlight (Latai GmbH)	Speciaal ontwikkeld voor gebruik op de werkplek. Meet PM1, 2.5 en 10. Kan aangestuurd/uitgelezen worden met een app.
AeroGuard (Plymovent)	Speciaal ontwikkeld voor gebruik op de werkplek. Alleen geschikt voor stationair gebruik. Meet naast PM1, 2.5, 4 en 10 ook verschillende andere parameters. Kan aangestuurd/uitgelezen worden met een app.
OmniTrak (TSI)	Modulair systeem met sensoren voor verschillende blootstellingen. PM module meet PM1, 2.5, 4 en 10.

Tabel 10.2: Tools en informatiebronnen over het gebruik van sensoren.

Beschrijving	Link
Lezing van prof. John Volckens over de werking van PM sensoren en gebruik in blootstellingsonderzoek.	Youtube
Air Quality Sensor Performance Evaluation Center, dat een groot aantal luchtkwaliteit sensoren test (vooral voor milieutoepassingen)	AQ-SPEC website
EVADE-software voor het koppelen van video-opnames aan sensormetingen.	NOISH-website
Infobladen over hoe om te gaan met sensordata i.r.t. privacy	TNO-website

Samenvatting >

Waarom sensoren? >

Wat zijn sensoren? >

Toepassingen sensoren >

Beperkingen sensoren >

Selectie sensor >

Kwaliteitscontroles >

Metingen interpreteren >

Sensoren inzetten >

Verdere informatie

Versiebeheer >

11 Versiebeheer

Versienummer	Versiedatum	Aanpassingen
1.1 (concept)	18-03-2025	Verwerken feedback klankbordgroep 'Sensoren op de werkplek', NLA en SZW.
1.0 (concept)	13-12-2024	Eerste concept

[Samenvatting >](#)[Waarom sensoren? >](#)[Wat zijn sensoren? >](#)[Toepassingen sensoren >](#)[Beperkingen sensoren >](#)[Selectie sensor >](#)[Kwaliteitscontroles >](#)[Metingen interpreteren >](#)[Sensoren inzetten >](#)[Verdere informatie >](#)[Versiebeheer](#)

Auteurs

Sander Ruiter, Hasnae Ben Jeddi,
Maaïke le Feber

Ontwikkeld in samenwerking met de
klankbordgroep 'Sensoren op de werkplek'.

Deze leidraad is mede tot stand gekomen
dankzij financiële bijdragen van de
Nederlandse Arbeidsinspectie (NLA) en het
Ministerie van SZW (MAPA Programma).

TNO innovation
for life

Contact

Sander Ruiter

Scientist exposure & risk assessment
Health & Work

✉ sander.ruiter@tno.nl

☎ +31 611054134

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door
middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder vooraf-
gaande schriftelijke toestemming van TNO.

tno.nl