Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Het gebruik van biomonitoring en sensoring binnen de arbeidsomstandigheden – praktische en ethische overwegingen

RIVM Rapport 2018-0096

A. Krom et al.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Het gebruik van biomonitoring en sensoring binnen de arbeidsomstandigheden – praktische en ethische overwegingen

RIVM Rapport 2018-0096

Colofon

© RIVM 2018
Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2018-0096

A. Krom (auteur), RIVM
W. ter Burg (auteur), RIVM
V.P.L. van de Weijgert (auteur), RIVM
N.G.M. Palmen (auteur), RIVM

Contact:
Wouter ter Burg
Milieu en Veiligheid\Centrum Veiligheid Stoffen en Producten\Nanotechnologie, Arbo, Transport
Wouter.ter.burg@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW), in het kader van uitvoering van de wettelijke taken REACH en CLP (Z110001), onderwerp biomonitoring en sensoren.

Dit is een uitgave van:
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Het gebruik van biomonitoring en sensoring binnen de arbeidsomstandigheden – praktische en ethische overwegingen

Met het oog op hun veiligheid worden werknemers zo min mogelijk aan chemische stoffen blootgesteld. Er zijn meerdere methoden om blootstelling te meten. Twee veelbelovende technieken die de huidige meetmethoden kunnen aanvullen, zijn biomonitoring voor de blootstelling in het lichaam en sensoring voor de blootstelling buiten het lichaam. De informatie die deze technieken opleveren kan worden gebruikt om de gezondheid van werknemers beter te beschermen. Zorgvuldigheid in het gebruik van de technieken is geboden. Dat betreft bijvoorbeeld het voldoen aan de privacywetgeving in het omgaan met persoonsgegevens, de beslisruimte die werknemers wordt geboden om meetmethoden toe te staan (zelfbeschikking) of het opleggen van verantwoordelijkheden aan werknemers om hun gedrag aan te passen aan meetuitslagen. Voorwaarde is dat de balans tussen voor- en nadelen van deze metingen voor werknemers positief uitpakt. Dit vraagt om een brede karakterisering van de gevolgen van het gebruik van de technieken vanuit verschillende perspectieven. Om die balans positief uit te laten pakken, is het nodig dat de beschikbare informatie over blootstellingen daadwerkelijk wordt gebruikt.

Dit blijkt uit een studie van het RIVM waarin de praktische en ethische voor- en nadelen ten opzichte van de huidige technieken op een rij zijn gezet. Dit rapport kan afwegingen in de Sociaal-Economische Raad (SER) over de vraag of deze technieken in Nederland meer kunnen worden ingezet, onderbouwen. Beschreven wordt hoe effectief de technieken zijn, in hoeverre ze ingrijpend kunnen zijn en in welk opzicht. Ook is aangegeven wat de rechten, plichten en verantwoordelijkheden zijn van de werknemer, werkgever, bedrijfsarts en de arbeidshygiënist (blootstellingsdeskundige). Deze partijen hebben de verantwoordelijkheid om samen te bepalen of de blootstellingsmetingen en maatregelen om blootstelling te beperken ‘in redelijke verhouding’ staan tot het doel.

Bij biomonitoring worden stoffen gemeten in lichaamsmateriaal zoals bloed of urine. Het wordt in Nederland al op kleine schaal gebruikt, waar dit elders in Europa en in de Verenigde Staten al op grotere schaal gebeurd. Biomonitoring is een goede aanvulling als stoffen moeilijk te meten zijn in de lucht of als mensen vooral via de huid aan stoffen blootstaan. Een nadeel is dat gemeten wordt in lichaamsvloeistoffen. Ook is het aantal stoffen waarvoor meetprotocollen en biologische grenswaarden beschikbaar zijn nog beperkt.

Bij sensoring wordt de blootstelling aan stoffen buiten het lichaam gemeten met kleine elektronische apparaatjes. Voordelen zijn dat ze direct uitslag geven van de metingen en gemakkelijk te dragen zijn. Een nadeel is dat het lastig is om metingen aan specifieke activiteiten van de werknemer te koppelen. Ook zijn ze nog niet geschikt om de blootstelling te toetsen aan grenswaarden.

Kernwoorden: biomonitoring, sensoring, sensor, ethiek, arbeidsomstandigheden, gevaarlijke stoffen, blootstelling, zorgvuldigheid, wenselijkheid, voor- en nadelen, wettelijke grenswaarden, verantwoordelijkheid

Synopsis

The use of biomonitoring and sensoring at the workplace – practical and ethical considerations

To ensure the safety of workers the exposure to chemical substances should be as low as reasonably possible. There are several ways to measure the exposure. Two promising techniques that could complement current measuring techniques are biomonitoring, to assess internal exposure, and sensoring, to assess external exposure. Information acquired through these methods can be used for worker health protection. Careful application of these techniques is important. This also includes considerations on dealing with private information under privacy law and whether workers should be able to decide for themselves to join measurement campaigns. The balance between pros and cons should be beneficial for the worker. To create a positive balance, it is crucial that the measurement data are indeed used to protect the worker.

This is based on the RIVM research that lists the pros and cons of these techniques with respect to both practical and ethical aspects. The information gathered serves as background information to support discussions within the Social and Economic Council of the Netherlands (SER) about the question whether or not to apply these techniques more prominently in the Netherlands. The report describes how effective biomonitoring and sensoring are (and to what aim), and the extent to which exposure measurements can be intrusive, for instance concerning bodily integrity. In addition, the report addresses the rights, duties and responsibilities of key-actors, such as employers, employees, and health and safety workers (physicians and occupational hygienists). They have a shared responsibility to determine if the exposure measurements and exposure reduction measures are proportional to the goals at hand.

Biomonitoring is used to determine substances in bodily fluids, such as blood or urine, as a measure for exposure. On a small scale it is used in the Netherlands and more often across Europe and in the United States of America. Biomonitoring is very useful for those substances that are difficult to measure in the air or if dermal exposure is the main route of exposure. A disadvantage is that bodily fluids are required. Furthermore, the number of substances for which measurement protocols and biological limit values exist is limited.

Sensoring is used to measure substances using small electronic devices (sensors). The advantages are that the devices provide real-time results and are easy and light weight to wear. A disadvantage is that the measurements are difficult to relate to specific activities of the worker. Also, they are not yet suitable to test exposure to limit values.

Keywords: Biomonitoring, sensoring, ethics, sensors, occupational health (policy), worker, responsibility, substances

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 21

2 Inventarisatie van de voor- en nadelen van biomonitoring en sensoren op de werkplek — 23
2.1 Inleiding — 23
2.2 Voor- en nadelen van biomonitoring op de werkplek — 29
2.3 Voor- en nadelen van sensoren op de werkplek — 38
2.4 Conclusies — 42

3 Welke aspecten spelen een rol bij biologische grenswaarden indien we deze willen gebruiken in het arbodomein? — 43
3.1 Inleiding — 43
3.2 Wetenschappelijke arbeidstoxicologische aspecten — 43
3.3 Technische aspecten — 45
3.4 Praktische aspecten — 47
3.5 Wettelijke aspecten — 52
3.6 Biomonitoring in een PAGO — 53
3.7 Biomonitoring in andere EU-lidstaten — 57
3.8 Conclusies — 63

4 Ethische aspecten van biomonitoring en sensoring op de werkplek — 65
4.1 Inleiding — 65
4.2 Wat kan ethische reflectie bijdragen? — 65
4.3 Ethische aspecten – per fase — 79
4.4 Relevante trends — 110
4.5 Conclusies — 112

5 Conclusies — 121

6 Referenties — 125

Bijlage 1. Overzicht van voor- en nadelen biomonitoringstechnieken en -media — 131

Bijlage 2. Biologische grenswaarden voor Cadmium, PAKs en MDA — 133

Bijlage 3. Voorstel van Morley et al. (2017) voor een ethisch kader t.b.v. sensoring op de werkplek — 141

Samenvatting

Werkgevers zijn verplicht een arbeidsomstandighedenbeleid te voeren, wat inhoudt dat ze ervoor moeten zorgen dat hun werknemers onder veilige en gezonde omstandigheden kunnen werken. In het kader van de risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) zijn werkgevers verplicht de blootstelling aan gevaarlijke stoffen te beoordelen. In de werksituatie wordt daartoe de blootstelling via de luchtwegen en de huid beoordeeld. Dit kan men doen door de inhalatie en huidblootstelling te meten, of te schatten met behulp van modellen. Het meten van de blootstelling buiten het lichaam, ook wel omgevingsmonitoring genoemd, kan kostbaar en tijdrovend zijn. Het gebruik van sensoren (wearables) om de omgevingslucht te monitoren is een nieuwe ontwikkeling in het domein van de arbeidsomstandigheden die een aantal nadelen van de traditionele omgevingsmonitoring kan wegnemen. Naast het meten van de blootstelling in de omgevingslucht van de werknemer, bestaat ook de mogelijkheid om de blootstelling in het lichaam, bijvoorbeeld in bloed of urine, te monitoren via biomonitoring.

Naar aanleiding van de snelle ontwikkelingen voor het bepalen van de blootstelling aan gevaarlijke stoffen door middel van ‘sensoring’ en inzichten en ervaringen in andere EU-lidstaten, is de Minister van SZW voornemens hierover in brede zin advies te vragen aan de Sociaal-Economische Raad (SER)-commissie Arbeidsomstandigheden. Om de SER-commissie te faciliteren bij het formuleren van een advies, heeft het Ministerie van SZW aan het RIVM gevraagd een rapport op te stellen waarin ingegaan wordt op onderstaande onderzoeksvragen:

1. Wat zijn de technische, praktische en economische voor- en nadelen van het gebruik van biomonitoring en sensoren op de werkplek?
2. Hoe kunnen biomonitoring en sensoren worden ingebed in de Nederlandse arbeidsomstandigheden?
3. Wat zijn de ethische aspecten die een rol spelen bij biomonitoring en gebruik van sensoren op de werkplek?

In deze opdracht wordt nagegaan in hoeverre biomonitoring gebruikt kan worden als (aanvulling op de) blootstellingsbeoordeling. Biologische monitoring en biochemische effectmonitoring zijn onderzocht. Dit betreft het aantonen van de moederstof, metabolieten of verbindingen met die stoffen in biologische media zoals bloed, urine, uitgeademde lucht et cetera. Biomonitoring ten behoeve van het identificeren van biologische en klinische effecten (effect monitoring) en biologische gevoeligheden zijn buiten beschouwing gelaten. Bij sensoren is eenzelfde afweging gemaakt, waarbij alleen aandacht wordt besteed aan sensoren die de blootstelling aan gevaarlijke stoffen tijdens normale werkzaamheden registeren. Alarmeringssensoren en bio(metrische)sensoren zijn buiten beschouwing gelaten.

1. Wat zijn de technische, praktische en economische voor- en nadelen van het gebruik van biomonitoring en sensoren op de werkplek?
In dit rapport zijn de voor- en nadelen van biomonitoring en sensoring uiteengezet ten opzichte van de huidige methodieken voor omgevingsmonitoring. Deze voor- en nadelen zijn gebaseerd op zowel openbare literatuur als interpretaties van de onderzoekers. In het overzicht wordt aangegeven op welke van de volgende actoren het voor- of nadeel betrekking heeft: werkgever, werknemer, arbeidshygiënisten/bedrijfsarts/gezondheidsmedewerkers en/of de autoriteiten. Het overzicht laat zien dat de (recente) ontwikkelingen voordelen met zich mee brengen binnen het wettelijk kader van de arbeidsomstandigheden. Belangrijk *voordeel van biomonitoring* is dat de blootstelling over alle blootstellingsroutes wordt bepaald. Dit is vooral van belang voor stoffen die gemakkelijk via de huid en/of mond kunnen worden opgenomen. Doordat men via biologische monitoring de totale blootstelling meet via alle opnameroutes, is het een goede manier om te controleren of de reeds genomen arbeidshygiënische maatregelen de blootstelling voldoende beheersen. Daarbij wordt ook de effectiviteit van eventuele persoonlijke beschermingsmiddelen als adembescherming en handschoenen meegenomen. Een ander voordeel van biomonitoring is dat voor een aantal stoffen de blootstelling moeilijk in de lucht kan worden bepaald maar wel via biomonitoring. Recente ontwikkelingen binnen de biomonitoring zorgen ervoor dat vooral technische, persoonlijke en financiële nadelen van deze techniek worden verkleind. Hierdoor wordt de keuze om biomonitoring (mede) in te zetten als methode om de blootstelling van werknemers te beoordelen eenvoudiger gemaakt. De *nadelen van biomonitoring* bestaan voor een groot deel uit het werken met biologische media, wat zeer belangrijke zorgvuldigheidseisen ten aanzien van het verkrijgen en bewaren van persoonlijke media en persoonlijke gegevens met zich meebrengt. Een fundamenteel nadeel van biomonitoring is dat men (indicatoren van) blootstelling in het lichaam meet, in plaats van erbuiten. De bedoeling in de arbeidshygiënische strategie is om stoffen buiten het lichaam te houden. Het is dan contra-intuïtief om vervolgens in het lichaam te meten.

Sensoring is een relatief nieuwe ontwikkeling binnen de arbeidshygiëne. Het belangrijkste *voordeel van sensoring* is vooral de real-time meting en opslag van gegevens. Dit is voordelig voor de werkgever omdat met minder middelen inzicht kan worden verkregen in de blootstelling van werknemers aan gevaarlijke stoffen. Daarnaast zijn sensoren klein en licht waardoor een werknemer minder hinder ondervindt tijdens zijn werkzaamheden ten opzichte van de gangbare manier om de omgevingsblootstelling te meten. De gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist kan met behulp van sensoren inzicht krijgen in de blootstelling tijdens verschillende werkzaamheden en op basis hiervan eventueel gerichter advies geven voor te nemen maatregelen, maar het is tegelijk ook lastig gebleken om specifieke werkzaamheden te koppelen aan de uitslagen van een sensor omdat een goed logboek moet worden bijgehouden door de werknemer. Een ander belangrijk nadeel is dat voor het toetsen aan grenswaarden het gebruik van sensoren nog niet gevalideerd is.

Voor zowel biomonitoring als sensoring geldt dat communicatie over de reden van de toegepaste technieken, hun voorspellende waarde en het omgaan met persoonlijke gegevens cruciaal zijn.

2. Hoe kunnen biomonitoring en sensoren worden ingebed in de Nederlandse arbeidsomstandigheden?
Op basis van bovengenoemde voordelen kan biomonitoring een belangrijke aanvullende rol spelen bij de beoordeling van de totale blootstelling aan een stof. Omdat van slechts een beperkt aantal stoffen biomonitoringsmethodieken en richtlijnen beschikbaar zijn, en biologische grenswaarden zijn afgeleid, is het gebruik van biomonitoring in de praktijk in Nederland echter beperkt. Het opzetten van een biomonitoringsonderzoek vereist specialistische kennis op het gebied van gevaarlijke stoffen zodat samenwerking tussen bedrijfsarts en arbeidshygiënist een noodzakelijke voorwaarde is. Daarnaast zijn de resultaten van biomonitoring te beschouwen als medische data en kunnen ze alleen op groepsniveau, niet herleidbaar tot een persoon, worden gedeeld met de bedrijfsleiding. In tegenstelling tot omgevingsmonitoring, waar werknemers verplicht kunnen worden om deel te nemen aan het onderzoek, zijn werknemers vrij om deel te nemen aan een periodiek arbeidsgezondheidskundig onderzoek (PAGO) op basis van biomonitoring. Een biologische grenswaarde is noodzakelijk indien biomonitoring wordt toegepast in het kader van een PAGO. Deze grenswaarde kan bestaan uit een gezondheidskundige biologische grenswaarde, of een niet-gezondheidskundige biologische richtwaarde, die de achtergrondconcentratie weergeeft van een lichaamsvreemde stof in de algemene bevolking. De meeste onderzoeksinstituten en lidstaten maken onderscheid tussen deze twee typen biologische grenswaarden. In Europa is alleen voor lood en anorganische loodverbindingen een bindende biologische grenswaarde vastgesteld, er zijn voor meer dan 100 stoffen (niet-bindende) biologische grenswaarden en/of richtwaarden afgeleid. Hierbij wordt opgemerkt dat juist die stoffen waarvoor biologische grenswaarden zijn afgeleid vaak relevant zijn in de zin dat ze zeer toxisch zijn en veel gebruikt worden of voorkomen, zoals bijvoorbeeld chroom, benzeen, en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs). In Duitsland, Frankrijk, Finland en België is biomonitoring een essentieel arbeidsgeneeskundig instrument voor het beoordelen van het risico van werknemers die aan gevaarlijke stoffen worden blootgesteld, en in Engeland wordt biomonitoring gezien als een aanvullende methode, naast omgevingsmonitoring, om inzicht in de blootstelling van werknemers te krijgen. In het kader van REACH is nog relatief weinig aandacht voor biomonitoring al heeft biomonitoring in een aantal dossiers een belangrijke rol gespeeld. Implementatie van biomonitoring in het huidige arbeidsomstandighedenbeleid heeft al plaatsgevonden voor lood en loodverbindingen. Ook voor andere stoffen kan biomonitoring worden geadviseerd omdat biomonitoring een onderdeel is van de RI&E, en als zodanig meegenomen moet worden in het contract dat een werkgever met een arbodienst c.q. bedrijfsarts afsluit. Daartoe kunnen de biologische grenswaarden en richtwaarden die al beschikbaar zijn in andere landen gebruikt worden.

Sensoren bevinden zich op dit moment in de ontwikkelingsfase. Deze nieuwe techniek om de blootstelling in de omgeving te monitoren kan,

mits voldaan wordt aan validatie-eisen, geïmplementeerd worden in het huidige arbeidsomstandighedenbeleid.

3. Wat zijn de ethische aspecten die een rol spelen bij biomonitoring en gebruik van sensoren op de werkplek?
Roepen biomonitoring en sensoring nieuwe ethische vragen op ten opzichte van omgevingsmonitoring? In dit rapport wordt besproken welke bijdrage ethische reflectie kan leveren aan het identificeren en beantwoorden van deze vragen. De focus ligt op het *verhelderen* van welke morele keuzes aan de orde zijn, ten behoeve van nadere gedachtevorming onder betrokken partijen. *Geïllustreerd* wordt welke onderliggende ethische waarden een rol spelen, en hoe omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring deze waarden kunnen beïnvloeden.
In de praktijk zal bij het bevorderen van waarden vaak een *afweging* moeten worden gemaakt, zeker als het bevorderen van de ene waarde invloed heeft op de mate waarin andere belangrijke waarden kunnen worden beschermd of bevorderd. Een voorbeeld is omgevingsmonitoring, waar – als de werksituatie daar aanleiding toe geeft – werknemers verplicht aan moeten meewerken. De politieke afweging die daarbij is gemaakt, houdt onder meer in dat bij omgevingsmonitoring individuele vrijheid van werknemers (desnoods) beperkt mag worden ten behoeve van een veilige en gezonde werkplek.

Grote overlap in ethische aspecten
Dit rapport laat zien dat bij omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring in beginsel steeds dezelfde onderliggende waarden een rol spelen. Een belangrijke vraag bij de rechtvaardiging van programma's voor blootstellingsmeting op de werkplek is hoe de balans tussen mogelijke voor- en nadelen voor individuele werknemers eruit ziet. Of het nu gaat om omgevingsmonitoring, biomonitoring of sensoring, in de regel zullen we steeds verwijzen naar dezelfde waarden: Wat is de mogelijke invloed op de *gezondheid* en/of het *welzijn* van de werknemer? Hoe belangrijk is individuele *zelfbeschikking*? Onder welke voorwaarden mogen *privacy*gevoelige gegevens worden gedeeld, met wie en voor welk doel? Onder welke voorwaarden mogen invasieve handelingen worden verricht (*lichamelijke integriteit*)? Is een bepaalde verdeling van lusten en lasten *rechtvaardig*? Hoe kan het individuele en publieke belang van *vertrouwen* worden geborgd? Wat mogen betrokken partijen van elkaar verwachten? Wat zijn hun rechten, plichten, en *verantwoordelijkheden*?

Antwoorden kunnen verschillen, evenals hoe pregnant vragen naar voren komen
Daarmee is niet gezegd dat het moreel gezien om het even is of voor het meten van blootstelling op de werkplek gebruik wordt gemaakt van omgevingsmonitoring, biomonitoring of sensoring. Deze methoden kunnen in specifieke omstandigheden bijvoorbeeld bijdragen aan een heel andere balans tussen voor- en nadelen voor een werknemer. Daardoor pakt de beoordeling mogelijk niet alleen anders uit, het kan ook andere eisen stellen aan de beoordeling zelf. Dat vertaalt zich bijvoorbeeld in:

- Hoe zwaar mogelijke nadelen voor een werknemer meewegen (zwaarder als de werknemer zelf geen direct voordeel van

deelname mag verwachten, zoals bij onderzoek naar nieuwe biomarkers).
- De voorwaarden voor deelname aan een programma (deelname aan omgevingsmonitoring is verplicht als de werksituatie daar aanleiding toe geeft, deelname aan biomonitoring en sensoring is optioneel[1]).
- Wat nodig is om geïnformeerde toestemming vorm te geven (mondeling of schriftelijk, expliciete of veronderstelde toestemming).
- Welke informatie met wie mag worden gedeeld (bijvoorbeeld geen medische data naar de werkgever, mogelijk wel individuele blootstellingsdata als de werknemer daar adequaat geïnformeerd toestemming voor geeft).
- Hoe en door wie terugkoppeling van resultaten aan werknemers moet worden vormgegeven (bij biomonitoring bijvoorbeeld door de bedrijfsarts, bij omgevingsmonitoring en sensoring eventueel door andere professionals).
- Hoe strikt de ethische beoordeling en randvoorwaarden moeten zijn (strikter naarmate de toxicologische relevantie en validiteit van een meetmethode meer onzeker zijn).

Afhankelijk van de toepassing kunnen ethische aspecten soms ook pregnanter naar voren komen. Zo is bij omgevingsmonitoring en sensoring min of meer duidelijk wat de rechten, plichten en verantwoordelijkheden van alle betrokken partijen zijn. Daarentegen is dit ten aanzien van biomonitoring deels nog een open vraag. De rol van de arbeidshygiënist/toxicoloog ten aanzien van biomonitoring is bijvoorbeeld onduidelijk. Met de opkomst van biomonitoring in het arbodomein, worden deze vragen pregnanter, en wordt het belangrijker om hier nader invulling aan te geven.

Wat kan ethische reflectie bijdragen?
Een belangrijke bijdrage die ethische reflectie kan leveren is het *verhelderen* van morele keuzes. Welke waarden en normen zijn in het spel? En hoe kunnen omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring het beschermen en/of bevorderen van deze waarden beïnvloeden? Daarbij gaat het zowel om voorwaarden die aan methoden voor blootstellingsmeting gesteld kunnen of moeten worden (*zorgvuldigheid*) als om vragen over de *wenselijkheid* van toepassingen.
Het onderscheid tussen wenselijkheid en zorgvuldigheid levert twee algemene ethische vragen op ten aanzien van (mogelijke) programma's voor omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring op de werkplek:
1. (In hoeverre) is de technologie verantwoord, in het licht van de waarden die in het spel zijn? (wenselijkheid).
2. Hoe kan een programma waarin een technologie wordt gebruikt verantwoord worden toegepast? Aan welke voorwaarden moet het programma daartoe voldoen? (zorgvuldigheid).

Ethische reflectie levert extra vragen op, maar het biedt ook houvast en handelingsperspectief, in de vorm van criteria en overwegingen die

[1] Met uitzondering van sensoring bij ioniserende straling.

gebruikt kunnen worden voor de beoordeling van programma's voor blootstellingsmetingen, zoals:

- *Effectiviteit*: voor welke doelen kunnen omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring gebruikt worden, en hoe effectief dragen de technieken bij aan de realisering van die doelen? Zijn er ongewenste neveneffecten?
- *Subsidiariteit*: het uitgangspunt dat in beginsel het minst ingrijpende middel om een doel te bereiken de voorkeur heeft.
- *Proportionaliteit*: de gedachte dat een middel in de juiste verhouding moet staan tot het doel.
- *Alpartijdigheid*: het uitgangspunt om zo veel mogelijk rekening te houden met het perspectief (belangen en opvattingen) van alle betrokken partijen.
- *Universaliseerbaarheid*: het uitgangspunt om situaties, handelingen en keuzes te beoordelen met behulp van waarden en normen die in principe op iedereen gelijkelijk van toepassing kunnen zijn.

Inzicht in hoe technologieën (kunnen) uitwerken in de praktijk kan een zinvolle bijdrage leveren aan het verhelderen, concretiseren en verdiepen van morele criteria en overwegingen. En tot het verwerven van meer inzicht in de betekenis die ze hebben voor onze leefwereld, en voor praktijk(en) waarin wordt overwogen om technologie (breder) toe te passen.

Geïllustreerd wordt hoe verschillende morele uitgangspunten kunnen helpen om praktische vragen te beantwoorden. Het rapport laat bijvoorbeeld zien:

- Hoe deze uitgangspunten gebruikt kunnen worden om een keuze te maken tussen omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring. Bijvoorbeeld door na te gaan in hoeverre de technieken kunnen bijdragen aan arbo-gerelateerde doelen zoals het evalueren of preventieve maatregelen succesvol zijn geweest (effectiviteit), welke van deze technieken het minst ingrijpend is, in welke opzichten (subsidiariteit), en of gebruik van de techniek in een redelijke verhouding staat tot het doel (proportionaliteit).
- Dat het STOP-principe uit de arbeidshygiënische strategie aanleiding kan zijn om, *als* biomonitoring aan de orde is, dit waar mogelijk en in beginsel altijd in combinatie met omgevingsmonitoring (en/)of sensoring toe te passen. Met biomonitoring alleen kan namelijk niet of moeilijk inzicht worden gekregen in bronnen van blootstelling – inzicht dat behulpzaam is voor het tweede element uit het STOP-principe: het nemen van technische maatregelen bij de bron.
- Dat het bij de vraag hoe blootstellingsmetingen relevante waarden beïnvloeden, van belang is om (ook) uit te gaan van hoe betrokken partijen deze waarden invullen en waarderen. Als zij uitgaan van een andere invulling, kunnen zij wel eens tot een tegengestelde conclusie komen in hoeverre de betreffende waarde wordt bevorderd (alpartijdigheid).
- Dat werknemers niet van anderen kunnen verwachten dat alleen *zij* deelnemen aan vrijwillige programma's voor blootstellingsmeting. Dat is niet universaliseerbaar. Immers, als elke werknemer zo zou redeneren, doet niemand mee, en is het

niet mogelijk om (anonieme) groepsrapportages te maken (universaliseerbaarheid).
- Dat het wel of niet nemen van verdere preventieve maatregelen op basis van blootstellingsmetingen ook de uiteindelijke balans tussen voordelen en mogelijke nadelen van blootstellingsmetingen voor werknemers beïnvloedt. Als de data niet worden ingezet om de beoogde voordelen te realiseren, dan zou die balans negatief kunnen doorslaan. Management van de resultaten raakt dus met terugwerkende kracht ook aan de morele rechtvaardiging voor specifieke blootstellingsmetingen.
- Dat bij het bepalen van de frequentie van blootstellingsmetingen het raadzaam is om na te gaan hoe de frequentie van invloed is op de balans tussen de voordelen en mogelijke nadelen voor werknemers. Op basis van het principe van subsidiariteit geldt dat investeren in blootstellingsarme technieken – en hiervan in beperkte mate de effectiviteit monitoren – in beginsel de voorkeur heeft boven frequent meten.
- Dat bij afwegingen tussen waarden die in de praktijk zullen moeten worden gemaakt, (1) we ons kunnen beperken tot de beschikbare technologieën en daaruit steeds de minst ingrijpende middelen kunnen kiezen, maar ook (2) kunnen onderzoeken welke mogelijkheden er zijn om *eerder* in het proces – dus voordat specifieke technieken zich als keuzeopties aandienen om blootstelling op de werkplek te meten – aandacht te besteden aan hoe bevorderd kan worden dat belangrijke waarden *samen kunnen gaan* in de ontwikkeling van technieken voor blootstellingsmeting (subsidiariteit).

Zicht op mogelijke spanningen tussen waarden
Bij het toepassen van blootstellingsmetingen kunnen verschillende waarden met elkaar op gespannen voet komen te staan. In het rapport worden daarvan verschillende voorbeelden gegeven. Bijvoorbeeld:
- De basis van maatregelen waar individuele werknemers van kunnen profiteren, bestaat uit informatie over blootstellingsgroepen. Dit beschermt de privacy van werknemers, maar kan ook van invloed zijn op de mate waarin de arbeidsomstandigheden afgestemd kunnen worden op eventuele behoeften van individuele werknemers aan extra bescherming tegen blootstelling. Er kan dus een spanning optreden tussen de waarden privacy en gezondheid. Dit onderstreept het belang dat blootstellingsgroepen voldoende representatief moeten zijn. Als technologie om blootstelling te beperken of te voorkomen voldoende flexibel is, zodat de technologie in het gebruik aangepast kan worden aan individuele behoeften, zouden eventuele spanningen tussen privacy en gezondheid verkleind kunnen worden.
- Naast gezondheid en veiligheid speelt een groot aantal andere waarden een rol in de werkcontext, waaronder productiviteit. Deze waarden kunnen elkaar versterken, maar doen dat niet automatisch. Trends zoals langer gezond werken, de ontwikkeling van geneeskunde die voorspellend, preventief, gepersonaliseerd en participatief is *(P4 Medicine*), de opkomst van de *quantified workplace*, van *quantified self*, en marktwerking in de arbo-dienstverlening kunnen tot nieuwe afwegingen van waarden en

belangen leiden. Bijvoorbeeld een sterkere nadruk op verhoging van productiviteit, of een sterkere verwachting dat werknemers meewerken aan blootstellingsmetingen ten behoeve van hun eigen gezondheid (en eventueel de gezondheid van collega's).

- Wenselijkheidsvragen kunnen zicht bieden op nieuwe ethische aspecten, naast wat het gebruik van technologie ons kan opleveren. Zo komt ten aanzien van verantwoordelijkheden van betrokken partijen bijvoorbeeld naar voren:
- Dat nieuwe technologische mogelijkheden automatisch gepaard gaan met een uitbreiding van verantwoordelijkheden. Zodra een technologie beschikbaar is, heb je als individu niet alleen een keuze, maar moet je als het ware ook kiezen. En draag je de verantwoordelijkheid voor de keuze, om een technologie al dan niet te gebruiken. Individuele vrijheid en verantwoordelijkheid komen sterker op de voorgrond te staan.
- Dat door toepassing van technologie verantwoordelijkheden kunnen verschuiven. Zo kan het door toenemende technische mogelijkheden om blootstelling te meten, gebeuren dat werknemers meer informatie krijgen over (mogelijke) blootstelling dan zij zouden willen ontvangen en dan aanvankelijk bij de eigen verantwoordelijkheid voor hun gezondheid hoort. Kennis van mogelijke blootstelling roept bijvoorbeeld automatisch de vraag op wat een werknemer zelf kan doen om blootstelling aan gevaarlijke stoffen te beperken. Dat kan tot een verschuiving van verantwoordelijkheid leiden, als de beschikbare kennis over blootstelling de verwachting meebrengt dat de *werknemer* zijn of haar gedrag aanpast, en de nadruk minder komt te liggen op andere opties om blootstelling te beperken. Dat kan weer de verwachting meebrengen dat de werknemer kennis over (mogelijke) blootstelling ook altijd tot zich neemt, om op die manier invulling te kunnen geven aan zijn of haar eigen verantwoordelijkheid. En zo is de cirkel rond: kennis schept verantwoordelijkheid, verantwoordelijkheid vereist kennis. In het uiterste geval zou het recht op niet-weten uitgehold kunnen worden door een dergelijke dynamiek. Dat roept de morele vraag op wat de betekenis en de reikwijdte is van het recht op niet-weten van werknemers tegen de achtergrond van (a) toenemende mogelijkheden om inzicht te krijgen in blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de werkplek, en (b) de zorgplicht van werkgevers.
- Dat technologie vanuit het perspectief van een werkgever vragen kan oproepen over de reikwijdte van zijn verantwoordelijkheid. Omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring zijn technieken die een werkgever kunnen helpen om invulling te geven aan zijn zorgplicht (voor een gezonde en veilige werkomgeving). Een verschil tussen omgevingsmonitoring en sensoring, enerzijds, en biomonitoring, anderzijds, is dat waar omgevingsmonitoring en sensoring inzicht geven in de (mogelijke) blootstelling op de plek waar de technieken worden toegepast, biomonitoring automatisch inzicht geeft in de totale (daadwerkelijke) blootstelling, los van waar de blootstelling heeft plaatsgevonden. Biomonitoring biedt daarmee automatisch zicht op eventuele blootstelling buiten de werkplek, een domein waar de morele verantwoordelijkheid van een werkgever in beginsel geen betrekking op heeft.

- Dat zaken die eerder als privé werden gezien een aandachtspunt kunnen worden in de werksfeer. De lichamelijke en geestelijke conditie en leefgewoonten van werknemers kunnen van invloed zijn op hun functioneren in het werk. In preventief medisch onderzoek wordt daarom onder andere gekeken naar riskante leefgewoonten. Biomonitoring kan bijdragen aan de (verdere) normalisering van aandacht voor het privéleven van werknemers vanuit de werksfeer, doordat biomonitoring automatisch inzicht geeft in daadwerkelijke blootstelling aan gevaarlijke stoffen, los van waar de blootstelling heeft plaatsgevonden, op het werk of daarbuiten.

Bij het inventariseren van voor- en nadelen spelen ook ethische overwegingen een rol
Voor- en nadelen van een technologie verwijzen altijd naar onderliggende waarden en waarderingen. Dit rapport laat zien dat we bij het beschrijven van voor- en nadelen van technologie voor blootstellingsmeting impliciet kunnen uitgaan van specifieke opvattingen van de onderliggende waarden, bijvoorbeeld individuele autonomie als een kwestie van hoeveel keuzeopties we hebben (een alternatieve opvatting kijkt naar of we ons met die opties kunnen identificeren). Ethische reflectie kan helpen om beide (waarden en waarderingen) expliciet te maken. Dat heeft een aantal voordelen:

- het stelt anderen in staat om zich er expliciet toe te verhouden;
- het kan zicht bieden op handelingsperspectief dat rekenschap geeft van relevante waarden en waarderingen; en
- het voorkomt dat we onbedoeld een specifieke opvatting van een waarde tot norm verheffen.

In dit rapport wordt besproken welke ethische aspecten zoal relevant zijn in programma's voor blootstellingsmeting. We lichten de belangrijkste er uit:

- In elke blootstellingsgroep moeten voldoende deelnemers zijn om te voorkomen dat de resultaten herleidbaar zijn tot individuen. Werknemers zijn wat dat betreft afhankelijk van elkaar voor hun bescherming, en de werkgever is afhankelijk van coöperatie tussen deelnemers bij de invulling van zijn zorgplicht (in de situatie waarin deelname vrijwillig is). Deze punten spelen in kleinere organisaties sterker dan in grotere organisaties.
  Bij afwezigheid van informatie op groepsniveau, komt de vraag op wat dit betekent voor de zorgplicht van de werkgever. Het morele uitgangspunt 'ought implies can' is hier van toepassing. Als deze informatie niet beschikbaar is, dan kan een werkgever mogelijk wel een blootstellingsbeoordeling maken, maar geen gerichte preventieve maatregelen nemen die ten goede komen aan de groep. Het zou dan onredelijk zijn om dit toch van de werkgever te verwachten. Een manier om ook in deze situatie zijn zorgplicht in te vullen, is als de werkgever probeert om de nadelen van deelname zo veel mogelijk te beperken, en de voordelen te vergroten, waardoor mogelijk meer werknemers bereid zijn om deel te nemen. In theorie zou een vorm van (anonieme) data delen tussen bedrijven waarin werknemers hetzelfde werk doen ook een uitkomst kunnen bieden, als de blootstelling van werknemers vergelijkbaar is.

- Een onbedoeld effect van blootstellingsmetingen kan zijn dat er *normopvulling* optreedt. Dat zou kunnen optreden als metingen laten zien dat de blootstelling aan gevaarlijke stoffen onder de norm zit. De indruk zou kunnen ontstaan dat het geen kwaad kan om het werken met bepaalde stoffen te continueren, zolang de blootstelling maar niet tot normoverschrijding leidt. In dat geval zou niet alleen sprake zijn van een neveneffect, maar van een effect dat ingaat tegen één van de beoogde effecten van blootstellingsmetingen – reductie van blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de werkplek.
- Het initiatief voor preventieve maatregelen op de werkvloer ligt meestal bij de organisatie. Met behulp van eigen technologie en eigen metingen zouden werknemers ook in toenemende mate om maatregelen kunnen vragen op basis van eigen meetgegevens. Zij zouden daarbij een beroep kunnen doen op het recht op informatie. Het borgen van een gezonde en veilige werkomgeving, is in zekere zin een gezamenlijk belang van werkgevers en werknemers. Vanuit dat perspectief is de vraag wie het initiatief neemt voor metingen secundair. Primair is de vraag hoe betrokken partijen invulling (willen) geven aan deze gezamenlijke uitdaging, op een manier die rechtdoet aan alle relevante waarden en belangen. Wie wanneer het beste welke technologie in kan zetten, volgt daar als het ware uit.
- Voor de meeste gevaarlijke stoffen is er geen grenswaarde vastgesteld. Voor sommige stoffen (zoals lood) zijn er verschillende grenswaarden. Het is denkbaar dat daarbij in de praktijk verschillen ontstaan wat betreft het beschermingsniveau dat aan werknemers wordt geboden, als verschillende bedrijven verschillende waarden hanteren. De vraag zou dan kunnen worden gesteld in hoeverre (grote) verschillen in het niveau van bescherming rechtvaardig zijn. Bij de afwezigheid van een *wettelijke* grenswaarde komt deze vraag pregnanter naar voren.
- Bij het bestaan van verschillende publieke grenswaarden (zoals bij lood-in-bloed) rijst voor bedrijven de vraag welke als uitgangspunt te nemen. Met het vaststellen van een bedrijfsgrenswaarde die lager ligt dan de wettelijke grenswaarde nemen bedrijven een extra morele verantwoordelijkheid op zich, bovenop waar zij zich wettelijk aan moeten houden.
- Geïnformeerde toestemming kan in de praktijk grote uitdagingen met zich meebrengen, bijvoorbeeld als personen of groepen extra kwetsbaar zijn. Deze personen/groepen lopen per definitie meer risico, en kunnen ook verminderd autonoom zijn. Voorbeelden zijn werknemers die onder druk staan van mogelijke werkloosheid of een reorganisatie. Of personen die moeten vrezen voor (andere) nadelige gevolgen van niet toestemmen, bijvoorbeeld indien uitsluiting van bepaalde werkzaamheden een lagere beloning met zich mee kan brengen. Dit kan een zodanige druk met zich meebrengen dat er mogelijk wel een getekend toestemmingsformulier is, maar toch geen sprake is van een werkelijk autonome keuze.
  Dit heeft een aantal implicaties. Ten eerste, dat altijd gecontroleerd moet worden of de aangeboden informatie adequaat is en begrepen wordt, en of de beslissing werkelijk vrijwillig wordt genomen. Ook gezien de context, waarin sprake

is van een afhankelijkheidsrelatie tussen werknemers en de werkgever. In de praktijk ligt hier een belangrijke rol voor de medisch professional. Ten tweede, bij het nagaan of een persoon deel wil nemen, speelt vertrouwen een cruciale rol, bijvoorbeeld vertrouwen dat de informatie adequaat is, dat de informatie uit het onderzoek betrouwbaar is, alleen voor de gespecificeerde doeleinden wordt gebruikt, en dat dit gebruik de belangen van de werknemer niet zal schaden. Gebrek aan vertrouwen, bijvoorbeeld achterdocht dat blootstellingsinformatie bij het UWV of de verzekeraar terechtkomt, kan een negatieve invloed hebben op de motivatie tot deelname.

- Individuen hebben het recht op zelfbeschikking en privacy. Het recht op (informationele) privacy correspondeert met de zwijgplicht van (bedrijfs)artsen. Het beroepsgeheim heeft betrekking op het geheim van het *individu/de patiënt*. Dat geheim mag in beginsel niet met anderen worden gedeeld. De bedrijfsarts heeft de plicht om hierover tegen anderen te zwijgen. Ook als blootstellingsmetingen informatie kunnen opleveren over iemands geschiktheid voor een functie, bijvoorbeeld als de blootstelling aan een gevaarlijke stof hoog is. Daardoor *kunnen* belangenconflicten optreden voor de bedrijfsarts. Als *arts* staat het belang van het individu centraal. Als *bedrijfs*arts is er ook een verantwoordelijkheid om de belangen van de organisatie in de gaten te houden. De mogelijkheid van belangenconflicten stelt bijzondere eisen aan de bedrijfsarts, om bestand te zijn tegen eventuele druk die kan ontstaan om bepaalde informatie toch te delen.
- Deze voorbeelden illustreren hoe ethische reflectie kan *verhelderen* welke morele keuzes aan de orde zijn bij de vraag of specifieke vormen van blootstellingsmeting ingezet kunnen of moeten worden, en zo ja welke. Tevens komt een reeks morele uitgangspunten aan bod, en wordt geïllustreerd hoe deze kunnen helpen om gestructureerd en constructief met die ethische vragen en aspecten om te gaan. Overwogen zou kunnen worden om dit verder uit te werken tot een breed gedragen beoordelingskader waarmee ethische aspecten en keuzes systematisch beoordeeld en beantwoord kunnen worden, in combinatie met de technisch-wetenschappelijke aspecten.

1 Inleiding

Werkgevers zijn verplicht een arbeidsomstandighedenbeleid te voeren, hetgeen inhoudt dat ze ervoor moeten zorgen dat hun werknemers onder veilige en gezonde omstandigheden kunnen werken (Artikel 3 Arbeidsomstandighedenwet). Het arbeidsomstandighedenbeleid van de werkgever voor de blootstelling aan gevaarlijke stoffen kan worden ingevuld door (1) een overzicht te maken van de stoffen waaraan de werknemers worden blootgesteld, (2) deze blootstelling te beoordelen, (3) maatregelen te nemen ter vermindering van de blootstelling indien daartoe aanleiding is, (4) te borgen dat de blootstelling beheerst blijft, en (5) een periodiek arbeidsgezondheidskundig onderzoek aan te bieden.

Het beoordelen van de blootstelling dient te gebeuren door de inhalatie of huidblootstelling te meten, of te schatten met behulp van modellen. Vervolgens wordt de concentratie getoetst aan publieke grenswaarden indien beschikbaar, of aan private grenswaarden die door de werkgever zelf moeten worden vastgesteld. Huidblootstelling en de risico's ervan worden doorgaans vooral kwalitatief beoordeeld. Indien een stof via de huid kan worden opgenomen krijgt de stof een H-notatie in het publieke grenswaardestelsel, wat leidt tot het nemen van eventuele aanvullende maatregelen. In het algemeen betekent het wel dat het beleid in Nederland met name is gefocust op de beheersing van de uitwendige inhalatoire blootstelling van werknemers. Alleen voor werknemers die aan lood of anorganische loodverbindingen worden blootgesteld bestaat een aanvullende wettelijke verplichting tot het meten van de inwendige loodblootstelling door middel van de concentratie lood-in-bloed. Daarnaast dient de werkgever te voldoen aan de eisen die in het kader van de REACH-wetgeving worden opgelegd. Dit betekent dat de werkgever moet controleren of de blootstellingsscenario's die zijn beschreven in het extended Safety Data Sheet (e-SDS) plus de daarbij behorende maatregelen ter beheersing van de inhalatie- en huidblootstelling worden opgevolgd.

Het meten van de uitwendige blootstelling aan gevaarlijke stoffen is tijdintensief en kostbaar. Dit heeft tot gevolg dat er nog maar weinig wordt gemeten en vaak blootstellingsmodellen worden gebruikt om de uitwendige inhalatieblootstelling te schatten. Er zijn echter snelle ontwikkelingen zowel in de technische mogelijkheden als de maatschappelijke acceptatie van wearables. Wearables zijn stukjes elektronica die men op het lichaam draagt. Het gebruik van de wearables wordt 'sensoring' genoemd; een sensor is een waarnemingsinstrument. Een bekend voorbeeld van een wearable is bijvoorbeeld de 'fitbit' die het aantal stappen, de hartslag en andere parameters meet en opslaat in het geheugen, waarna de data vervolgens via de computer kunnen worden uitgelezen en geanalyseerd. Met behulp van specifieke wearables kan de blootstelling aan gevaarlijke stoffen worden gemeten en kan mogelijk het aantal blootstellingsmetingen worden verhoogd doordat, naast metingen door werkgevers, werknemers hun eigen blootstelling meten en hun eigen database met blootstellingsgegevens opbouwen. Dit wordt ook wel 'citizen' of 'worker science' genoemd. De ontwikkeling van wearables voor het meten van uitwendige blootstelling aan gevaarlijke stoffen leidt tot de

vraag of deze manier van meten een bijdrage kan leveren aan de verplichtingen in het kader van het arbobeleid voor gevaarlijke stoffen.

Naast het meten van de uitwendige blootstelling aan gevaarlijke stoffen kan ook de inwendige blootstelling worden bepaald. Dit wordt biomonitoring genoemd. Binnen Nederland en de EU is slechts één wettelijke biologische grenswaarde vastgesteld, namelijk voor werknemers die aan lood en ionenverbindingen van lood blootstaan. In tegenstelling tot Nederland wordt binnen een aantal EU-lidstaten ook voor andere gevaarlijke stoffen biomonitoring gezien als een integraal onderdeel van de blootstellingsbeoordeling, en zijn biologische grenswaarden afgeleid.

Naar aanleiding van de snelle ontwikkelingen voor het bepalen van de blootstelling aan gevaarlijke stoffen door middel van 'sensoring' en het gebruik van biomonitoring door andere EU-lidstaten[2], is de Minister van SZW voornemens hierover in brede zin advies te vragen aan de SER-commissie Arbeidsomstandigheden. Onderdeel van de adviesaanvraag is de vraag of het vaststellen van biologische grenswaarden wenselijk is waardoor werkgevers deze grenswaarden kunnen gebruiken wanneer zij biomonitoring inzetten ten behoeve van de wettelijk verplichte blootstellingsbeoordeling aan gevaarlijke stoffen.

Om de SER-commissie te faciliteren bij het formuleren van een advies, heeft het Ministerie van SZW aan het RIVM gevraagd een rapport op te stellen waarin ingegaan wordt op onderstaande onderzoeksvragen:

1. Wat zijn de technische, praktische en economische voor- en nadelen van het gebruik van biomonitoring en sensoren op de werkplek?
2. Hoe kunnen biomonitoring en sensoren worden ingebed in de Nederlandse arbeidsomstandigheden, waarbij aandacht wordt besteed aan zowel wettelijke als niet-wettelijke aspecten?
3. Wat zijn de ethische aspecten die een rol spelen bij biomonitoring en gebruik van sensoren op de werkplek?

Na een toelichting op gehanteerde begrippen wordt in hoofdstuk 2 de eerste vraag bediscussieerd bezien vanuit het perspectief van de werkgever, de werknemer, de arbeidshygiënisten, bedrijfsarts, gezondheidsmedewerkers en de autoriteiten. In hoofdstuk 3 zal de tweede vraag worden behandeld, waarbij aandacht wordt besteed aan wetenschappelijke, technische, praktische aspecten van biomonitoring, en welke aspecten een rol spelen indien biomonitoring in een periodiek arbeidsgezondheidskundig onderzoek (PAGO) wordt toegepast. Sensoring wordt nog niet toegepast voor blootstellingsbeoordeling omdat de validiteit en betrouwbaarheid van de sensoren in de onderzoeksfase zit, en zal daarom niet worden behandeld in hoofdstuk 3. De ethische aspecten ten aanzien van biomonitoring en sensoring worden in hoofdstuk 4 besproken, waarna in hoofdstuk 5 een overzicht wordt gegeven van de belangrijkste discussiepunten ten aanzien van de vraag of sensoring en biomonitoring een (grotere) rol kunnen spelen in de beoordeling van de blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de werkplek.

[2] Voorbeelden van EU-lidstaten die biomonitoring gebruiken: Engeland, Duitsland, Frankrijk, Finland, België.

2 Inventarisatie van de voor- en nadelen van biomonitoring en sensoren op de werkplek

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de voor- en nadelen uiteengezet van biomonitoring enerzijds en sensoring anderzijds ten opzichte van de huidige methodieken voor luchtbemonstering (ook wel omgevingsmonitoring genoemd). Daarbij wordt aandacht besteed aan technische aspecten, de voorspellende waarde alsook de kosten. In het overzicht wordt aangegeven op welke van de volgende actoren het voor- of nadeel betrekking heeft: werkgever, werknemer, arbeidshygiënisten/ bedrijfsarts en gezondheidsmedewerkers, en/of de autoriteiten. Hierbij wordt opgemerkt dat in de praktijk er geen harde scheiding zal bestaan tussen omgevingsmonitoring enerzijds en de 'nieuwe' technieken anderzijds. Het ligt meer voor de hand dat biomonitoring en sensoren een aanvulling kunnen vormen op het huidige monitoringsbeleid.

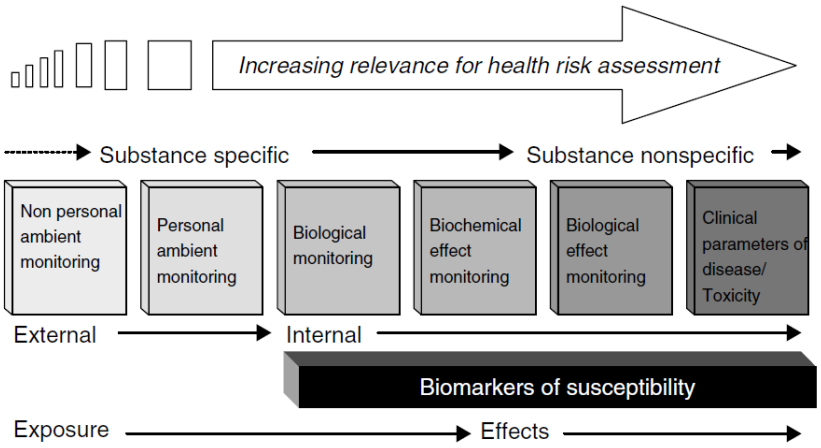
De termen biomonitoring en sensoren behoeven een toelichting alsook hoe deze technieken op dit moment kunnen worden toegepast. Omdat de twee technieken ook worden uitgezet ten opzichte van de huidige omgevingsmonitoring zal in een tekstkader de omgevingsmonitoring worden beschreven.

2.1.1 Toelichting begrippen

- Omgevingsmonitoring: het meten van de externe blootstelling aan een chemische agens in de omgevingslucht van een werknemer. Hiertoe worden twee soorten metingen gerekend (IDEWE, 2018; NVvA, 2002):
  - persoonlijke metingen (Engels: Personal Air Sampling): metingen met behulp van door de bemeten persoon gedragen apparatuur;
  - semi-persoonlijke metingen: metingen die niet met door de persoon gedragen apparatuur worden verricht, maar toch steeds lucht monsteren nabij de ademzone van de bemeten persoon en daarmee persoonlijke metingen benaderen.
- Biomonitoring of biologische monitoring: het meten (bemonstering en analyse) en schatten van de aanwezigheid van chemische stoffen van de werkplek en/of van hun metabolieten in lichaamsvloeistoffen en/of weefsels, uitscheidingsproducten of in combinaties van deze, teneinde de blootstelling te kunnen vergelijken met een geschikte norm (Bos et al, 1998).
- Biochemische effectmonitoring: het meten van hemoglobine-adducten en DNA-adducten als maat voor de blootstelling aan carcinogenen (Bos et al., 1998).
- Biologische effectmonitoring: continue of herhaalde meting van vroege biologische effecten ten gevolge van blootstelling aan een stof met als doel de blootstelling en de gezondheidsrisico's te kunnen vergelijken met referentiewaarden, gebaseerd op kennis van de relatie tussen blootstelling en biologische effecten (Bos et al., 1998).

- Biomarker: een chemische stof, zijn metaboliet, of het product van een interactie tussen een chemische stof en een of ander doelmolecuul of cel die in het menselijk lichaam wordt gemeten (WHO, 2006).
- Wearables: apparaten die men op het lichaam draagt.
- Sensoren: een (zeer gevoelig) waarnemingsinstrument.
- Sensoring: het meten met behulp van sensoren waarbij gebruik wordt gemaakt van wearables.

Biomonitoring
Met biomonitoring kan de biologische aanwezigheid van stoffen, biochemische effecten, biologische effecten en klinische parameters worden aangetoond in het lichaam. Dit zijn allemaal indicatoren voor gevoeligheid van het lichaam voor de betreffende stof. Onderzoek naar biologische effecten en klinische parameters wordt ook wel health surveillance of medisch onderzoek genoemd, en valt niet noodzakelijk onder de term biomonitoring (zie Figuur 2.1 gekopieerd uit Boogaard et al., 2009; General and applied toxicology, chapter 113).



Figuur 2.1: Monitoringstechnieken om de blootstelling en effecten te meten in het kader van risicobeoordeling (uit Bogaard et al., 2009).

In geval van biochemische effecten, denk bijvoorbeeld aan specifieke binding van de stof aan lichaamseiwitten, DNA-adducten en epigenetische veranderingen (zit in het grensgebied van biochemische en bio-effect monitoring), is de relatie met de stof waaraan iemand is blootgesteld vaak nog te maken.

Bij gebruik van biologische effecten en klinische parameters is de relatie met de blootstelling vaak veel lastiger om te maken, omdat het klinische effect en/of de ziekte door andere oorzaken kunnen zijn ontstaan (niet-stofspecifieke indicatoren). In de praktijk worden biologische effecten gemonitord om progressie tot een ziekte te kunnen voorkomen; bijvoorbeeld immunologische parameters bij mogelijke blootstelling aan sensibiliserende stoffen of eiwitten in urine als indicatie voor nierschade. Het meten van biologische effecten kan dus dienen als **early warning signal.** Screening op gevoeligheid en ziekten kan worden uitgevoerd in het kader van het voorkomen van verergering van een situatie, en heeft daardoor een preventief medisch karakter. Biologische effectmonitoring

kan nuttig zijn in gevallen waar expositiemetingen in het lichaam lastig zijn of wanneer effecten al bij zeer lage blootstellingen optreden. In die gevallen is het meten van biologische effecten eenvoudiger en relevanter.

Bij alle biomarkers voor gevoeligheid kan men kijken naar indicatoren voor verhoogde gevoeligheid voor bepaalde nadelige effecten. Denk hierbij aan verhoogde of verlaagde enzymactiviteiten of polymorfisme (van bepaalde enzymen kunnen er binnen populaties variaties zijn in vormen) waardoor mensen minder bestand zijn tegen een agens. Nadrukkelijk ligt in dat geval niet de focus op de blootstelling op het werk, maar het 'in kaart brengen' van de biologische 'structuur' van een werknemer. Screening op gevoeligheid en ziekten kan worden uitgevoerd in het kader van het voorkomen van verergering van een situatie en heeft daardoor een medisch karakter.

Onder 'biomonitoring van stoffen' verstaan we in de context van arbeidsomstandigheden: het meten van concentraties van stoffen, metabolieten daarvan of andersoortige stofindicatoren, zoals specifieke adductvormingen, in lichaamsvloeistoffen of haren, nagels, uitgeademde lucht van werknemers, en het met die meetresultaten inzicht krijgen in de blootstelling van werkenden. Het achterliggende doel is om daarmee de relatie tussen blootstelling en risico's op gezondheidseffecten te evalueren.
In Figuur 2.1 is te zien dat de relevantie voor risicobeoordeling voor gezondheid toeneemt naarmate er een verschuiving optreedt van blootstellingskarakterisering naar gezondheidseffectkarakterisering. Dit ligt voor de hand, omdat je direct het eindpunt meeneemt in bijvoorbeeld een PAGO. Echter, Figuur 2.1 laat ook zien dat daarbij de relatie tot een stof minder specifiek zal zijn, terwijl bij blootstelling aan chemische stoffen juist de mogelijkheden tot preventie liggen.

Omdat binnen de huidige opdracht de focus ligt op het gebruik van biologische monitoring en sensoren om de blootstelling aan chemische stoffen in kaart te brengen, worden zowel de biologische aanwezigheid van stoffen als biochemische monitoring in de komende paragrafen verder beschreven.

Biologische grenswaarde
Een biologische grenswaarde geeft de maximale concentratie aan, die een stof in het lichaam of uitscheidingsproducten (zoals bloed en urine) mag bereiken. Een biologische grenswaarde valt onder de definitie van grenswaarde conform de toelichting bij het 'Arbeidsomstandighedenbesluit'.

Sensoren
Een sensor is een kunstmatige uitvoering van wat in de biologie een zintuig wordt genoemd, dat wil zeggen: een waarnemingsinstrument. Een sensor neemt de omgeving waar en kan soms ook informatie verzamelen. Met deze informatie kan worden beoordeeld of sprake kan zijn van een mogelijk nadelig gezondheidseffect bij werkenden, bijvoorbeeld ten gevolge van te hoge blootstelling aan gevaarlijke stoffen. Sensoren die functioneren als alarm, zoals koolstofmonoxide meters, zijn al ingeburgerd in het domein van de monitoring van arbeidsomstandigheden. Het gebruik van sensoren met alarmfunctie kan

ook worden toegepast op een werknemer. In deze rapportage zal er minder aandacht zijn voor sensoren als alarmsysteem, omdat zij er doorgaans niet op gericht zijn inzage te geven in te blootstelling van de werknemer tijdens reguliere werkzaamheden, maar om werknemers te behoeden voor mogelijke arbeidsongevallen.

Binnen het kader van de arbeidsomstandigheden worden de sensoren geschaard onder de wearables. Waarin de sensoren zich vooral onderscheiden is dat zij meestal direct uitleesbaar zijn en geen analytisch instrumentarium nodig hebben. Sensoren zijn doorgaans passieve meetmethoden, echter kunnen ook werken in combinatie met actieve luchtaanvoer (zie Duarte et al., 2014).

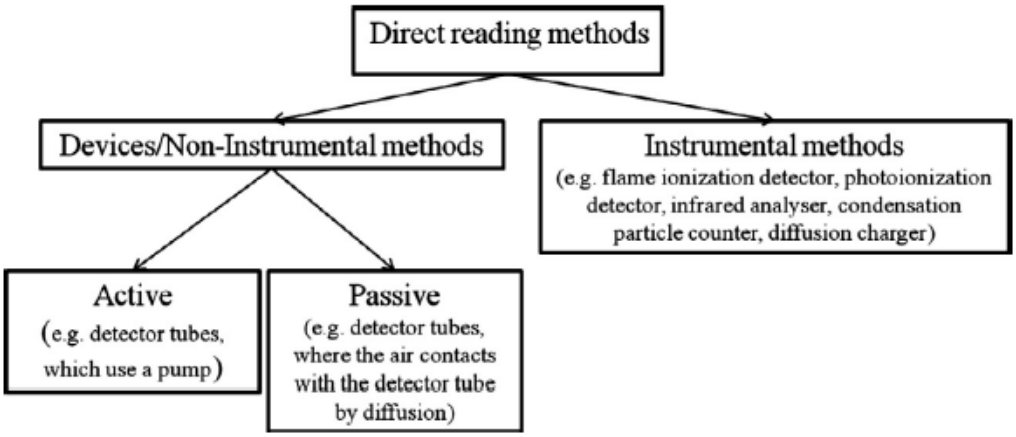


Fig. 1. Classification of direct-reading methods.

Figuur 2.2: Schematische weergave van real-time meetmethoden (uit Duarte et al., 2014).

Er zijn verschillende technieken beschikbaar voor sensoren. Doorgaans heeft dit vooral invloed op de wijze van detectie (contact, verkleuring, elektrisch signaal) maar niet hoe een stof in aanraking komt met de sensor (bijvoorbeeld door aanzuiging van lucht).

Daarnaast zijn er biosensoren. Er zijn twee typen biosensoren te onderscheiden: 1) een sensor die biologische waarden kan detecteren, zoals bloedsuiker of hartritme, 2) een sensor waarbij het detectiemiddel bestaat uit een organisme, zoals bacteriën of algen.

Omgevingsmonitoring

Omgevingsmonitoring geeft inzicht in de externe blootstelling van een werknemer (lucht en huid). De inhalatoire blootstelling kan kwantitatief worden bepaald door middel van metingen, bij voorkeur in de ademzone, en door schatting met behulp van blootstellingsmodellen. Door vergelijking met een specifieke externe grenswaarde wordt beoordeeld of maatregelen genomen moeten worden om gezondheidseffecten te voorkomen. Een werknemer is verplicht deel te nemen aan blootstellingsonderzoek door omgevingsmonitoring. Huidblootstelling wordt in de praktijk niet gemeten; als een stof gemakkelijk via de huid wordt opgenomen, worden zo nodig beschermende maatregelen genomen.

Blootstellingsschatting in het kader van de wettelijke Risico-inventarisatie en -evaluatie

In het kader van de wettelijke Risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) is een werkgever verplicht om de blootstelling aan gevaarlijke stoffen te inventariseren en te evalueren, en indien nodig maatregelen te treffen om de blootstelling te beheersen. Dit vloeit voort uit de zorgplicht van de werkgever jegens zijn werknemers voor een veilige en gezonde werkomgeving. De blootstellingsbeoordeling concentreert zich op blootstelling via de luchtwegen en de huid, en kan worden uitgevoerd door:

- het uitvoeren van metingen; de zogenaamde omgevingsmonitoring;
- het schatten van de blootstelling met behulp van modellen.

Voor de validatie van modellen wordt gebruik gemaakt van blootstellingsmetingen, en worden de modellen verder geoptimaliseerd. Voorwaarde voor het gebruik van modellen is echter dat de gebruiker zeer goed moet zijn ingevoerd in het gebruik van het betreffende model, en dat het blootstellingsscenario inclusief alle in te voeren parameters voor het betreffende model duidelijk is (Fransman, 2017; Lamb et al., 2015). Omdat het gebruik van modellen veel goedkoper en sneller is dan het uitvoeren van blootstellingsmetingen, wordt deze methode in de praktijk het meest toegepast.

Met omgevingsmonitoring wordt inzicht verkregen in de *externe* blootstelling van werknemer(s) met vergelijkbare blootstelling aan een chemische stof. Indien metingen worden uitgevoerd, wordt de luchtconcentratie in de ademzone van werknemers met een vergelijkbare functie bepaald door middel van personal air sampling (PAS). De wijze waarop een dergelijk onderzoek dient te worden uitgevoerd en geëvalueerd is vastgelegd in een norm (NEN 689[3]). Hierbij worden werknemers ingedeeld in groepen met vergelijkbare blootstelling, waarna wordt bepaald hoeveel monsters binnen die groep genomen moeten worden. Meestal betekent dit dat niet alle blootgestelde werknemers worden benaderd om bemonsterd te worden. Werknemers zijn verplicht om aan dit type onderzoek mee te werken op basis van art. 11 van de Arbowet[4] (Artikel 11 Arbeidsomstandighedenwet). In dit artikel staat dat het werknemer verplicht is in zijn doen en laten op de arbeidsplaats, overeenkomstig zijn opleiding en de door de werkgever gegeven instructies, naar vermogen zorg te dragen voor zijn eigen veiligheid en gezondheid en die van de andere betrokken personen. Met name is de werknemer verplicht om de werkgever, deskundige personen en de arbodienst, indien nodig bij te staan bij de uitvoering van hun verplichtingen en taken op grond van deze wet.

De luchtconcentratie in de **ademzone** van een werknemer kan ook worden geschat met behulp van modellen. Voor de blootstellingbeoordeling binnen één bedrijf wordt daartoe in Nederland met name Stoffenmanager gebruikt. Daarnaast zijn in het kader van

[3] https://www.nen.nl/NEN-Shop/Norm/NENEN-6892018-en.htm

[4] Artikel 11f Arbeidsomstandighedenwet: de werkgever en de werknemers en de andere deskundige personen, bedoeld in artikel 13, eerste tot en met derde lid, de personen, bedoeld in artikel 14, eerste lid, en de arbodienst, indien nodig bij te staan bij de uitvoering van hun verplichtingen en taken op grond van deze wet.

REACH ook ECETOC-TRA en de Advanced Reach Tool (ART) ontwikkeld. Riedman et al. (2015) hebben de drie modellen geëvalueerd met als conclusie dat ART nauwkeurige resultaten geeft op voorwaarde dat de blootstellingsscenario's zeer nauwkeurig zijn beschreven, en op basis daarvan alle gegevens die in het model ingevoerd moeten worden bekend zijn. Als er onduidelijkheid is met betrekking tot enkele in te voeren parameters, dan wordt Stoffenmanager aanbevolen omdat dit een robuuster model is. ECETOC-TRA wordt niet aanbevolen voor de beoordeling van de inhalatoire blootstelling van werknemers (Riedman et al., 2015). Landberg (2018) heeft blootstellingsmetingen vergeleken met blootstellingsschattingen. Zij waarschuwt voor het gebruik van ECETOC-TRA (v 3.1). Ook ART schat de blootstelling in het algemeen te laag in, terwijl Stoffenmanager bij hoge blootstellingen een onderschatting van de blootstelling geeft, en bij lage blootstellingen een overschatting.

Door de gemeten of geschatte luchtconcentratie te vergelijken met de luchtgrenswaarde voor die stof, die is vastgelegd voor een bepaalde blootstellingsduur, wordt beoordeeld of de werknemer niet aan een te hoge concentratie is blootgesteld. In beginsel dienen alle grenswaarden gezondheidskundige grenswaarden te zijn. Dat betekent dat als de blootstelling lager is dan die gezondheidskundige grenswaarde, geen gezondheidseffecten zijn te verwachten. Voor stoffen zonder drempelwaarde is het echter niet mogelijk om een veilige gezondheidskundige grenswaarde af te leiden. Voor deze stoffen wordt de grenswaarde bepaald na acceptatie van een restrisico. In Nederland wordt voor dergelijke stoffen een streefwaarde (extra risico van 1:25000 bij 40 jaar blootstelling) en een verbodswaarde (extra risico van 1:250 bij 40 jaar blootstelling) vastgesteld voor deze stoffen. Daarbij is voor de vaststelling van de grenswaarde de streefwaarde leidend. Alleen indien deze streefwaarde technisch niet haalbaar is, kan tijdelijk een hogere grenswaarde worden vastgesteld tot maximaal de verbodswaarde. Voor een aantal stoffen is een wettelijke ofwel publieke grenswaarde vastgesteld door het Ministerie van SZW. Voor stoffen die geen wettelijke/publieke grenswaarde hebben, moet de werkgever een bedrijfs- ofwel private gezondheidskundige grenswaarde afleiden. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van adviesgrenswaarden van SCOEL of de Gezondheidsraad, van grenswaarden die andere organisaties hebben afgeleid, van werker DNELs (Derived No Effect Levels) die in het kader van REACH zijn afgeleid, of van Hazard Banding. Het afleiden van een bedrijfs/private grenswaarde is echter in de praktijk niet gemakkelijk. Er is echter een leidraad beschikbaar die helpt bij het afleiden van bedrijfs/private grenswaarden (leidraad).

Het is mogelijk om blootstelling via de **huid** kwantitatief meten door (Diemel et al., 2009):

- Het wassen van een (deel van) de huid na het werk, waarbij de wasvloeistof wordt opgevangen en geanalyseerd;
- Het gebruik van een tape of 'pad', die op de huid wordt aangebracht, na het werk wordt verwijderd en vervolgens geanalyseerd. Ook handschoenen of complete overalls worden hiervoor wel gebruikt.
- Het toevoegen van een fluorescerende stof aan de gebruikte stof (product). Door bestraling met licht van een bepaalde golflengte

kan na het werk de verontreiniging van de huid zichtbaar worden gemaakt.

Momenteel ontbreekt het aan guidance welke van bovenstaande methoden gebruikt dienen te worden voor het meten van de huidblootstelling (WHO, 2014). Daarnaast is het mogelijk de huidblootstelling kwantitatief te schatten met behulp van modellen zoals ECETOC-TRA, RISKOFDERM of BEAT. Stoffenmanager kan de huidblootstelling alleen kwalitatief inschatten.

In de arbeidshygiënische praktijk wordt blootstelling via de huid voornamelijk kwalitatief bepaald door na te gaan of huidblootstelling kan plaatsvinden via direct contact, via damp of aërosolen, of contact via gecontamineerde oppervlakken. Dit wordt nagegaan in de RI&E. Op basis van de CLP-classificatie wordt nagegaan of een stof irriterend, corrosief, sensibiliserend of toxisch is voor de huid. Ook wordt nagegaan of de stof een H-notatie heeft, wat aangeeft dat een stof gemakkelijk door de huid kan worden opgenomen. Als huidblootstelling kan plaatsvinden aan stoffen die schadelijk kunnen zijn voor de huid dienen maatregelen te worden genomen om huidblootstelling te voorkomen.

In het kader van REACH worden huid DNELs afgeleid voor werknemers door de registrant of importeur van een stof. Op basis van de huidblootstelling en de huid DNEL binnen een bepaald blootstellingsscenario worden maatregelen vastgesteld waaraan een werkgever zich dient te houden, tenzij hij kan aantonen dat hij op een andere manier minimaal eenzelfde veiligheidsniveau kan bereiken.

Orale opname wordt in het kader van arbeidsomstandigheden (zowel binnen OSH als REACH) in de regel niet beoordeeld, omdat men ervan uitgaat dat deze verwaarloosbaar is als wordt voldaan aan een goede hygiëne op de werkplek. In geval van blootstelling aan lood en anorganische loodverbindingen is gebleken dat orale blootstelling wel een reëele bijdrage levert aan de totale blootstelling. Vandaar dat er naast een publieke luchtgrenswaarde ook een publieke biologische grenswaarde van kracht is voor lood en anorganische loodverbindingen.

Tekstbox 1: Blootstellingsschatting in het kader van RI&E

2.2 Voor- en nadelen van biomonitoring op de werkplek

De voor- en nadelen van biomonitoring en sensoren op de werkplek om de blootstelling aan stoffen te schatten worden hieronder gepresenteerd, onderscheiden naar biomonitoring en sensoren. Het overzicht is zodanig opgezet dat de voor- en nadelen worden afgezet tegen de huidige praktijk van luchtbemonstering en het Nederlandse grenswaardestelsel. Hieronder wordt ook verstaan het toepassen van 15-minuten tijdsgewogen gemiddelden en plafondwaarden (grens waarboven de concentratie niet mag komen gedurende de werkdag) als grenswaarde en de huidnotaties. Het overzicht richt zich vooral op de technische (incl. stofspecificiteit), praktische (waaronder voorspellende en beschermende waarden) en in beperkte mate de economische aspecten van de twee technieken. Daarbij wordt het overzicht gegeven per belanghebbende

(stakeholder) in de keten, de werkgever, werknemer, arbeidshygiënist en gezondheidskundige medewerker (bijvoorbeeld bedrijfsarts en/of verzekeringsarts) en de autoriteiten.

Het overzicht van de voor- en nadelen is gebaseerd op een aantal literatuurreferenties. De lezer dient zich te realiseren dat de referenties algemene beschrijvingen geven van de voor- en nadelen. De relevantie van de beschreven voor- en nadelen *voor de verschillende actoren* in onderstaande paragrafen zijn de interpretatie van de auteurs van deze rapportage.

Tekstbox 2: Disclaimer m.b.t. interpretatie van de voor- en nadelen van de twee beschreven technieken

Biomonitoring is, zoals al vermeld, geen nieuwe techniek en wordt al toegepast, ook binnen het kader van werknemersveiligheid. Voor sommige stoffen kan het zijn dat het toetsen van het niveau van blootstelling aan een gevaarlijke stof betrouwbaarder is aan een biologische norm dan aan een norm voor de luchtgrenswaarde. Dit is bijvoorbeeld het geval als een dergelijke stof vooral via de huid of via verschillende routes (lucht, huid en/of mond) wordt opgenomen in het lichaam, of als het nemen en analyseren van luchtmonsters die nodig zijn voor de toetsing aan een grenswaarde moeilijk, tijdrovend of onbetrouwbaar is. Op dit moment is in Nederland één wettelijke biologische grenswaarde vastgesteld, namelijk voor lood-in-bloed. Dat er in Nederland alleen voor lood en loodverbindingen een biologische grenswaarde is afgeleid en niet voor andere stoffen, heeft ook te maken met het principe in de ‘Arbeidsomstandighedenwetgeving’ dat men blootstelling aan gevaarlijke stoffen wil voorkómen. Dit heeft geleid tot een voorkeur voor het meten buiten het lichaam. In Tekstblok 3 worden de wettelijke verplichtingen beschreven met betrekking tot de biologische monitoring van lood en loodverbindingen in Nederland. Dit geeft een beeld hoe biomonitoring in Nederland uitgevoerd kan worden.

Biologische monitoring van lood en loodverbindingen
Naast een wettelijke grenswaarde van 0,15 mg/m^3 lucht als gemiddelde over een achturige werkdag is er voor lood en loodverbindingen een biologische grenswaarde afgeleid. Deze bedraagt 70 microgram per 100 ml bloed (Artikel 4.19a Arbeidsomstandighedenregeling).

SCOEL adviseert een grenswaarde voor een lood-in-bloed-concentratie van 30 microgram/100 ml bloed, en tekent daarbij aan dat deze waarde niet geheel beschermend is voor vrouwen in de vruchtbare leeftijd (SCOEL 2002/SUM/83). Om deze reden hebben veel bedrijven een bedrijfsgrenswaarde vastgesteld die lager is dan de wettelijke grenswaarde, en wordt extra aandacht besteed aan vrouwen in de vruchtbare leeftijd die mogelijk worden blootgesteld aan lood en loodverbindingen.

Als werknemers potentieel blootstaan aan lood of loodverbindingen moet een werkgever twee keer per jaar een lood in bloed onderzoek aanbieden aan zijn werknemers (Artikel 4.20b Arbeidsomstandighedenregeling). De werknemers kunnen hiervan gebruikmaken, maar zijn dit niet verplicht. Deze frequentie mag worden verlaagd naar één keer per jaar als:

1. het loodgehalte van geen enkele werknemer meer bedraagt dan 50 µg/100 ml bloed;
2. uit twee opeenvolgende voorafgaande metingen de lood-in-luchtconcentratie minder bedraagt dan 100 µg/m^3 lucht. (NB: De lood-in-luchtconcentratie dient elke drie maanden te worden bepaald)

Het bepalen en toetsen van de lood-in-bloedconcentratie is noodzakelijk omdat naast inhalatoire blootstelling, ook orale blootstelling een relevante bijdrage kan vormen aan de totale blootstelling aan lood voor werknemers. Hoewel eten, drinken en roken verboden zijn op de werkplek, kan toch relevante blootstelling plaatsvinden via de finger-shunt (hand-mondcontact). Bovendien kan ingestie optreden (inslikken van aanvankelijk ingeademd lood) en kunnen werknemers ook buiten het werk blootgesteld worden.

Voorlichting over de gezondheidseffecten van lood, en instructie over een veilige manier van werken moet regelmatig door de werkgever worden gegeven. Ook dienen maatregelen ter reductie van de blootstelling als bronafzuiging regelmatig op hun werking te worden gecontroleerd. Indien adembescherming is voorgeschreven is het sterk aan te bevelen om deze op effectiviteit te testen door middel van een zogenoemde fit-test, waarbij eventuele randlekkage kan worden opgespoord.

Indien ondanks al deze preventieve maatregelen de lood-in-bloedconcentratie te hoog blijkt te zijn, is het belangrijk op zoek te gaan naar de oorzaak. Dit kan de bedrijfsarts doen door de werknemer op te roepen op het spreekuur, waarna de arbeidshygiënist wordt ingeschakeld om de bron(nen) op te sporen. Omdat de lood-in-bloedwaarde valt onder het medisch geheim, zijn de lood-in-bloedconcentraties alleen bij de bedrijfsarts en de betreffende medewerker bekend. Als controle op de genomen maatregelen, dient bij het daarop volgende lood-in-bloedonderzoek van die werknemer de lood-in-bloedwaarde weer minimaal te voldoen aan de wettelijke grenswaarde, of als een lagere bedrijfsgrenswaarde is afgeleid aan deze bedrijfsgrenswaarde.

Naast evaluatie van individuele lood-in-bloedgegevens door de bedrijfsarts kan een groepsanalyse op functieniveau worden gemaakt. Daarbij is het heel belangrijk dat de gepresenteerde data niet tot de persoon te herleiden zijn in verband met het medisch geheim. Op deze wijze kan men nagaan of bepaalde groepen werknemers aan te hoge concentraties lood zijn blootgesteld, kunnen trends in de blootstelling worden opgespoord, en kan worden nagegaan of de reeds genomen maatregelen ter beheersing van de blootstelling voldoende zijn. Dit betekent dat de groepsanalyse van de lood-in-bloed waarden aanleiding kan zijn voor het nemen van additionele maatregelen, die in de Risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) en het plan van aanpak opgenomen dienen te worden. De groepsrapportage moet zowel aan de werkgever als aan de werknemersvertegenwoordiging worden aangeboden. De lood-in-bloedgegevens van werknemers dienen langdurig (40 jaar) bewaard te worden door de bedrijfsarts/arbodienst; lood in luchtmetingen dienen langdurig (circa 30 jaar) door de werkgever te worden bewaard.

Tekstbox 3: Voorbeeld: biomonitoring voor lood en loodverbindingen in Nederland

Om een algemeen beeld te krijgen van de voor- en nadelen van biomonitoring voor de verschillende actoren, is het belangrijk om de verschillende technieken kort te bespreken. Dit spitst zich met name toe op welke biologische media kunnen worden bemonsterd. Een overzicht van de voor- en nadelen bij de uitvoering per biomonitoringstechniek en -medium wordt in de bijlage gegeven (Bijlage 1).

- *Bloed*: invasieve techniek waarbij bloed wordt afgenomen. Bepaling van stoffen kan in bloedserum, -plasma, -eiwitten, of -cellen plaatsvinden. Afhankelijk van de stof of het biochemisch effect wordt een monsternamestrategie opgezet waarin staat wanneer er bloed moet worden afgenomen. Omdat voor sommige analyses tegenwoordig lagere hoeveelheden (een bloeddruppel) nodig zijn, zijn technieken als vingerprikken mogelijk. Dit is wat minder invasief/belastend. Levensstijl kan de metingen beïnvloeden en dus worden in bepaalde gevallen instructies meegegeven zoals geen voedselconsumpties meer na een bepaald tijdstip.
  Relatief veel stoffen zijn meetbaar in het bloed.
- *Urine*: non-invasieve techniek waarbij de werknemer gevraagd wordt op bepaalde tijden of gedurende de hele dag de urine op te vangen. Ook hier is de monsternamestrategie stofafhankelijk. Per persoon is de urineproductie verschillend. Daarom worden correcties uitgevoerd op basis van creatinine-excretie in urine. Levensstijl kan de metingen beïnvloeden en dus worden soms instructies meegegeven.
  Relatief veel stoffen zijn meetbaar in urine.
- *Uitgeademde lucht*: non-invasieve techniek waarbij werknemers in een ademanalyse-apparaat moeten uitademen. Dit is een techniek in opkomst, echter met de beperking dat stoffen bepaalde eigenschappen moeten hebben om te kunnen worden gemeten en ze moeten worden uitgeademd. Levensstijl heeft minder invloed op resultaten, omdat de analyse vaak tijdens of direct na werktijd wordt uitgevoerd. Deze techniek kan ook worden gebruikt om biologische effecten te identificeren (sommige effecten zorgen voor de productie van vluchtige stoffen welke worden uitgeademd).
- *Haar*: (non-)invasieve techniek waarbij haar wordt geknipt van de hoofdhuid (meestal korte nekharen). Beperkt toepasbaar omdat de stof bepaalde eigenschappen moet bezitten, waardoor de stof in het haar traceerbaar zou zijn. Daarnaast is het nog zeer moeilijk om op basis van haarmonsters de blootstelling te kwantificeren. Ook kunnen monsters gemakkelijk besmet raken door de (buiten)lucht en persoonlijke verzorgingsmiddelen.
- *Neusspoelingen*: invasieve techniek waarbij de neusholte wordt uitgespoeld. Dit kan als onprettig worden ervaren. Het geeft in feite externe markers voor blootstelling aan stoffen, evenals biochemische effectparameters, zoals witte bloedcellen, immunologische parameters en bacteriële en virale parameters.
- *Speeksel/wangslijm*: invasieve techniek waarbij het wangslijmvlies en de tong worden afgenomen met een ‘wattenstaafje’. Ook kan speeksel verzameld worden. Deze techniek wordt vooral toegepast om stoffen te identificeren, maar niet om ze te kwantificeren.

Bloed, urine en uitgeademde lucht worden in de praktijk het meest bemonsterd. De overige beschreven media/technieken zijn in ontwikkeling voor gebruik in het kader van arbeidsomstandigheden. Op dit moment worden ze vooral voor stofidentificatie toegepast. Naast de genoemde media kunnen nog andere media onderzocht worden, die ongewoon zijn in de arbeidsomstandigheden: feces, borstmelk, zweet en nagels.

Hierna worden de voor en nadelen ten opzichte van omgevings-monitoring van biomonitoring op een rij gezet, uitgesplitst naar een paar categorieën. Het overzicht is gebaseerd op de volgende bronnen: SCOEL 2013; WHO, 2015, Bogaard et al., 2009; Van Alphen et al., 2011. Tevens wordt aangegeven voor welke stakeholders het een voor- of nadeel betreft. De stakeholders die meegenomen worden zijn de werkgever, werknemer, gezondheidswerker/bedrijfsarts/arbeidshygiënist en de autoriteiten. Het wordt opgemerkt dat de voor- en nadelen van de besproken technieken in biomonitoring (en later ook sensoring) zeer stofafhankelijk kunnen zijn, waarbij per geval de voor- en nadelen kunnen verschillen. Een eenduidige en algemeen geldende conclusie met betrekking tot de ‘beste’ oplossing is daarom ook niet te trekken.

Stofspecifieke argumenten

Voordelen van biomonitoring

- Biomonitoring is een oplossing voor stoffen waarbij de **orale en/of dermale route van relatief groot belang** is. Dit is een voordeel voor alle betrokkenen.
- Voor een beperkt aantal stoffen (meer dan 100) zijn **biologische grenswaarden en/of meetprotocollen beschikbaar**, zie onder andere Lauwerys en Hoet (2001). Deze protocollen zijn juist ontwikkeld voor stoffen, waarvoor men erkent dat omgevingsmonitoring lastig kan zijn. Dit is een voordeel voor de werkgever en de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist en de autoriteiten.
- Biomonitoring is een mogelijke oplossing voor stoffen die **technisch lastig of gevaarlijk zijn om te analyseren** in de omgevingslucht. Dit is een voordeel voor alle betrokken partijen.
- In zijn algemeenheid is biomonitoring goed bruikbaar voor stoffen met **halfwaardetijden > 4 uur**. Dit heeft als voordeel dat de werkzaamheden niet onderbroken hoeven te worden en op geschikte tijden monsters kunnen worden afgenomen.

Nadelen van biomonitoring

- Voor een stof waarvan men de blootstelling via biomonitoring wil beoordelen kunnen meerdere protocollen of technieken bestaan. Dit op zichzelf kan een voordeel zijn, echter er is **geen harmonisatie** met betrekking tot welke technieken te prefereren zijn. Het veld is nog in ontwikkeling. Dit is een nadeel voor alle betrokkenen.
- Het medium dat wordt gebruikt voor biomonitoring (bijvoorbeeld uitademingslucht) bepaalt voor een groot deel welke stoffen hierin kunnen worden geanalyseerd. De **techniek is dus beperkend** voor dat type stoffen dat kan worden geanalyseerd met behulp van die techniek. Dit is een nadeel voor de werkgever, de werknemer en de gezondheidswerker/bedrijfsarts/

arbeidshygiënist, omdat voor specifieke situaties de minst hinderende techniek niet gekozen kan worden.

- Inzicht in de blootstelling van stoffen/metabolieten met een **zeer lage halfwaardetijd (< 4 uur)** door middel van biomonitoring is meestal niet mogelijk, met uitzondering van uitademingslucht. De stof is immers al verwijderd uit het lichaam op het moment van monstername. Dit is een nadeel voor de werkgever en de gezondheidswerker/bedrijfsarts/arbeidshygiënist
- Voor veel stoffen zijn er **kennishiaten in de literatuur**. Zo kan de stof zelf wel gemeten worden in het lichaam, maar is het onbekend wat het betekent qua blootstelling en effect. Dit is vooral een nadeel voor de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist evenals voor de communicatie naar werkgever en werknemer.
- **Extrapolatie vanuit externe grenswaarden** is soms onduidelijk/onzeker vanwege hierboven genoemde kennishiaten, met conservatisme als gevolg in de extrapolatie naar biologische grenswaarden uitgevoerd door gezondheidswerker, bedrijfsarts of arbeidshygiënist. Hierdoor worden mogelijk maatregelen getroffen die onnodig zijn, of niet getroffen die wel nodig zijn. Dit is een nadeel voor de werkgever en werknemer.

Technische argumenten

Voordelen van biomonitoring

- Biomonitoring geeft inzicht in de concentratie van de stof of zijn metaboliet(en) IN het lichaam van een werknemer. Er is een **directe link met de blootstelling** van die betreffende werknemer omdat biomonitoring de som van de blootstelling via verschillende routes van een werknemer weergeeft, waarbij het effect van eventuele persoonlijke beschermingsmiddelen wordt meegenomen. Dit betekent dat de werknemer persoonlijk inzicht krijgt in zijn/haar totale blootstelling. De bedrijfsarts kan een groepsrapportage maken op functieniveau waarbij wordt geëvalueerd of de genomen maatregelen voldoende zijn. Deze informatie is voor werkgever en de personeelsvertegen-woordiging input voor de RI&E en het plan van aanpak. Het betreft een voordeel voor alle betrokkenen.
- Biomonitoring geeft de mogelijkheid om **meerdere stoffen tegelijk** te bemonsteren en te analyseren (bijvoorbeeld meerdere metalen). Dit is een voordeel voor werkgever, werknemer en gezondheidswerker/ bedrijfsarts/arbeidshygiënist, omdat in dat geval slechts een beperkt aantal monsternamemomenten zijn die veel informatie op kunnen leveren. Wanneer sprake is van **afwijkende protocollen, dan is het niet mogelijk om betreffende stoffen in één monster te analyseren**.
- **Protocollen voor biomonitoring** (monstername en analyse) en wetenschappelijke onderbouwing voor een redelijk aantal stoffen zijn beschikbaar (Lauwerys en Hoet, 2001). Dit is een voordeel voor de werkgever, de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist en de autoriteiten. Echter, gezien het feit dat het aantal protocollen ten opzichte van het aantal industriële stoffen maar klein is, en omdat deze protocollen vaak niet zijn gestandaardiseerd c.q. geharmoniseerd, is dit tegelijkertijd ook een nadeel.

- De monstername voor biomonitoring is **relatief eenvoudig** ten opzichte van omgevingsmonitoring (dit voordeel kan stofafhankelijk zijn). Dat is een voordeel voor de werknemer die geen apparatuur hoeft te dragen gedurende de werkzaamheden, en de gezondheidswerker/bedrijfsarts/arbeidshygiënist die op een relatief eenvoudige manier inzicht krijgen in de totale blootstelling van de werknemers.

Nadelen van biomonitoring

- Het **gebruik van invasieve technieken** (zoals bloedafname) kan voor werknemers een reden zijn om niet deel te nemen aan een biomonitoring onderzoek. Hierdoor kunnen de resultaten minder representatief zijn. Dit is een nadeel voor alle betrokkenen.
- Bij gebruik van invasieve technieken, bijvoorbeeld bloedafname, is **gekwalificeerd en getraind (medisch) personeel** nodig. Dit kan een belemmering zijn voor een dergelijk type monstername voor de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.
- Ook het feit dat het om **persoonlijk biologisch materiaal** gaat, en dat persoonlijke gegevens noodzakelijk zijn om de gegevens te kunnen interpreteren, kan aanleiding zijn voor medewerkers om niet deel te nemen aan biomonitoring, waardoor een biomonitoring onderzoek onvoldoende wordt gedragen door de medewerkers, en er onvoldoende metingen worden uitgevoerd om inzicht te krijgen in de blootstelling van de medewerkers. **Zorgvuldigheid en communicatie** zijn van groot belang voor zowel het technische aspect, als wat er met gegevens uiteindelijk wordt gedaan (en hoort dus ook thuis bij nadelen van beschermende/voorspellende waarde). Dit is een nadeel voor de werkgever, de werknemer en de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist;
- Monsters genomen tijdens biomonitoring moeten vaak op een bepaalde manier worden bewaard en binnen een bepaalde termijn worden geanalyseerd, omdat het biologisch materiaal betreft. **Opslag en vervoer** van de monsters kan dus een probleem zijn voor de werkgever en de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist vanwege de maatregelen die ervoor getroffen moeten worden.
- Met name bij invasieve biomonitoring technieken wordt werknemers verzocht op een gepland tijdstip (soms midden op een werkdag) aanwezig te zijn bij de gezondheidswerker die het monster afneemt. De planning hiervan kan kortstondig **interfereren met de reguliere werkzaamheden** en is een nadeel voor de werkgever, werknemer, en niet gemakkelijk voor de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.

Beschermende/voorspellende waarde

Voordelen

- Met behulp van biomonitoring worden gegevens verzameld van alle werknemers die deelnemen. Hij/zij krijgt inzicht in zijn eigen blootstelling, wordt direct betrokken bij het onderzoek waardoor hij/zij zich **beter bewust** wordt van de risico's en het nut en effect van beschermingsmaatregelen. Indien een werknemer een

verhoogde biomonitoring uitslag heeft, kunnen **specifiek voor die werknemer maatregelen** worden getroffen ter vermindering van de blootstelling. Dit zijn voordelen voor de werknemer en werkgever.

- Op basis van een groepsrapportage gemaakt door de bedrijfsarts kan de **blootstelling aan de betreffende stof worden bepaald** en kan worden geëvalueerd of de **reeds genomen beschermingsmaatregelen voldoende** zijn. Omdat de concentratie van een stof IN het lichaam wordt gemeten na opname via alle blootstellingsrouters, wordt de effectiviteit van alle beschermende maatregelen meegenomen. Dit is een voordeel voor werkgever, werknemer en gezondheidswerker/ bedrijfsarts/arbeidshygiënist.
- Omdat biomonitoring de concentratie IN het lichaam meet, heeft biomonitoring een **directere relatie met systemische gezondheidseffecten** dan wanneer de concentratie van een stof buiten het lichaam wordt bepaald. Dit is een voordeel voor de werkgever, de werknemer en de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.
- Ook kan biomonitoring soms worden ingezet voor **vroege detectie** van bekende stoffen of biologische effecten in het lichaam, waarna een werkgever maatregelen kan nemen om de blootstelling te reduceren om verergering tot ziekte te voorkomen. Dit is een voordeel voor de werkgever, de werknemer en gezondheidswerker/ bedrijfsarts/arbeidshygiënist.

Nadelen

- Biomonitoring is **niet per definitie een monitoring van de gezondheidsstatus** van de werknemer. Vooral bij de werknemer kunnen verkeerde verwachtingen ontstaan over wat biomonitoring hen kan opleveren. Dit is een nadeel voor de werknemer (dit is een tegenhanger van voorgaande twee laatste punten onder voordelen voor beschermende/voorspellende waarde).
- Biomonitoring kan alleen worden gebruikt voor inzicht in de blootstelling van stoffen die systemische beschikbaar komen. Het geeft geen inzicht **voor stoffen met enkel lokale effecten**, omdat ze niet gedetecteerd worden in het biologisch materiaal of omdat het niets zegt over een voorspelling van gezondheidseffecten. Dit is een nadeel voor de werknemer, werkgever en de gezondheidswerker/ bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.
- Omdat biomonitoring de concentratie in het lichaam meet en daarmee de blootstelling over meerdere dagen, kan biomonitoring niet of lastig worden gebruikt voor het **opsporen van bronnen** van (pieken in de) blootstelling. Dit is een nadeel voor de werkgever en gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.
- Indien de biomonitoring methodiek voor een stof is gebaseerd op het meten van zijn metaboliet, en de gemeten metaboliet aan meerdere moederstoffen te relateren is, dan weet je niet van welke stof je de blootstelling aan het bepalen bent; het **vertroebelt de voorspelbaarheid**. Dit is een nadeel voor alle betrokkenen.

- Werknemers zijn **niet verplicht** om deel te nemen aan biomonitoring, hierdoor kan **selectiebias** ontstaan (bepaalde groepen werknemers zullen zijn oververtegenwoordigd tijdens het onderzoek). Ook kan het aantal werknemers te laag zijn om een groepsanalyse op uit te voeren. Dit is nadelig voor de werkgever en gezondheidswerker/bedrijfsarts/arbeidshygiënist.
- Biomonitoring meet een stof IN het lichaam, wat betekent dat een werknemer is blootgesteld en de stof heeft opgenomen in het lichaam. In **principe is men dan te laat** omdat we willen voorkomen dat een stof wordt opgenomen. Dit vereist de juiste interpretatie van de resultaten en een zorgvuldige communicatie naar de blootgestelde werknemer. Dit is nadelig voor werknemer, werkgever, gezondheidswerker/bedrijfsarts/arbeidshygiënist en autoriteiten.
- Er is op dit moment een **beperkt aantal biologische grenswaarden** (ca. 100) beschikbaar. Dit is een nadeel voor de werknemer, gezondheidswerker/bedrijfsarts/arbeidshygiënist en de autoriteiten.
- Een **directe link tussen blootstelling op het werk** en blootstelling gemeten met biomonitoring is soms moeilijker te leggen omdat mensen ook buiten het werk kunnen worden blootgesteld aan betreffende stof. Dit maakt het ook moeilijk voor inspecties te controleren. Het is een nadeel voor de werkgever, gezondheidswerker/ bedrijfsarts/arbeidshygiënist en de autoriteiten.

Financiële argumenten

Voordelen

- Biomonitoring samples kunnen eventueel worden **hergebruikt** om de blootstelling aan een andere stof te bepalen (toestemming is vereist van de werknemer en er mag geen afbraak plaatsvinden tijdens opslag). Dit is een voordeel voor de werkgever.
- Wanneer **meerdere stoffen** gelijktijdig kunnen worden bepaald met biomonitoring bespaart dit kosten. Dit is een voordeel voor de werkgever.
- De gezondheidswerker/bedrijfsarts/arbeidshygiënist krijgt meer werk op het gebied van biomonitoring. De **rol van de bedrijfsarts** en mogelijk arbeidshygiënist wordt belangrijker omdat PAGO biomonitoring moet worden voorbereid, uitgevoerd en gecommuniceerd naar werknemers. Daarnaast kan een niet tot de persoon herleidbaar groepsrapport worden geschreven door de bedrijfsarts. Dit is een voordeel voor de gezondheidswerker/ bedrijfsarts/arbeidshygiënist.
- Afname in **verzuim op het werk** door een beter handelsperspectief met betrekking tot gezondheid. Dit is een voordeel voor alle partijen.

Nadelen

- Er zal getraind **personeel moeten worden ingehuurd of aangenomen** om biomonitoring te kunnen uitvoeren (vaak verder gaand dan bij omgevingsmonitoring het geval is). Dit is een nadeel voor de werkgever.

- **Opslag en vervoer** van biologisch materiaal kan kostbaar zijn; een nadeel voor de werkgever.
- Er zullen **(meer) biologische grenswaarden** moeten worden afgeleid of vastgesteld; een nadeel voor de werkgevers en autoriteiten.
- Meer biomonitoring methoden zullen moeten worden **gestandaardiseerd en geborgd**; een nadeel voor de werkgevers en autoriteiten.

2.3 Voor- en nadelen van sensoren op de werkplek

Het gebruik van (bio)sensoren om de blootstelling aan chemische stoffen in kaart te kunnen brengen is een snel ontwikkelend veld in het kader van arbeidsomstandigheden. De ontwikkelingen richten zich vooral op de uitbreiding van de toepassingen van sensoren voor metingen en de ontwikkeling van nieuwe sensoren, die kleiner zijn en vaak ook sneller resultaten genereren dan andere 'traditionele' uitleesapparatuur. In deze rapportage wordt de nadruk gelegd op de sensoren als hulpmiddel om concentraties te detecteren (hiermee wordt echter niet bedoeld een alarmfunctie) en/of kwantificeren in de lucht of op de huid. Daarnaast zijn er ook ontwikkelingen waarbij sensoren biologische materialen sneller kunnen uitlezen (bijvoorbeeld stoffen in de urine) en die dus veelbelovend zijn in combinatie met biomonitoringsstrategieën. Er wordt een vergelijking gemaakt met de huidige beschikbare meetapparatuur.

In het overzicht hieronder wordt per actor de voor- en nadelen van sensoren besproken ten opzichte van conventionele omgevings-monitoringapparatuur. De gebruikte bronnen zijn: Duarte et al., 2014; NIOSH, 2012; AIHA, 2016; en recente lezingen tijdens het NVvA jaarsymposium (12 april 2018). De interpretatie van de voor- en nadelen voor de verschillende actoren is door de auteurs van deze rapportage gedaan.

Stofspecifieke argumenten

In vergelijking met de 'traditionele' omgevingsmonitoring is het op het gebied van stofspecificieke verschillen niet bekend of er voor- en nadelen zijn van het gebruik van sensoren voor de omgevingsmonitoring wanneer we kijken naar fysisch-chemische eigenschappen van stoffen. De ontwikkelingen van sensoren lijken nu wel toe te spitsen om het onderscheidend vermogen van sensoren te vergroten. Als voorbeeld werd genoemd dat sensoren in staat zijn om bijvoorbeeld BTEX (benzeen, tolueen, ethylbenzeen en xyleen) te kunnen identificeren, echter niet wat het aandeel is van bijvoorbeeld tolueen. Stofspecificiteit en dus de sensitiviteit van de sensor zou moeten worden vergroot. Sensoren kunnen ook worden toegepast in biologische media, waardoor wel metabolieten van een moederstof kunnen worden gedetecteerd. Het voordeel zit hier echter meer in de toepassing van biomonitoring.

Technische argumenten

Voordelen

- **Real-time metingen**, snel uitleesbaar op de werkplek of vanaf een afstand/controlekamer. Hierdoor zijn geen monsternames, vervoer en opslag van monsters en laboratoria nodig. Bij nieuwe

werkzaamheden kan direct inzicht verkregen worden in de blootstelling. Dit is een voordeel voor alle partijen.

- De ontwikkeling van **digitale technieken** en integratie hiervan met draadloos internet kan een centrale rol gaan spelen bij het verzamelen en verzenden van deze informatie, ook op persoonlijk niveau. Hierdoor kan sneller en beter inzicht worden verkregen in de blootstelling van werknemers. Dit is een voordeel voor alle partijen.
- Sensoren zijn **makkelijk** te plaatsen. Zij kunnen geïntegreerd worden in bijvoorbeeld helmen, veiligheidsvesten, of op gewenste plekken. Verder zijn sensoren vaak licht in gewicht. Hierdoor **belemmeren ze de werknemer minimaal** tijdens de werkzaamheden. Dit zijn vooral voordelen voor de werkgever, werknemer en de gezondheidswerker/ bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.
- Sensoren kunnen ook gebruikt worden om **huidblootstelling** te monitoren, door depositie van stoffen op de sensor te monitoren. Dit is een voordeel voor alle partijen.
- Vanwege het lage gewicht en de kleine omvang van sensoren is het **eenvoudig om meerdere stoffen tegelijk te bemonsteren** door meerdere sensoren toe te passen. Dit verhoogt de waarde van de monitoringcampagne en kan het aantal keren dat een werknemer om medewerking wordt gevraagd verlagen. Dit is een voordeel voor alle partijen.
- Vanwege het gebruikersgemak van sensoren, kan er ook **vaker gemonitord** worden. Hierdoor wordt een **beter tijdbeeld** verkregen van de blootstelling. Dit is een voordeel voor de werkgever, de gezondheidswerker/bedrijfsarts/arbeidshygiënist en autoriteiten.
- Vanwege hetzelfde gemak, klein en relatief goedkoop, kunnen **meerdere mensen tegelijk gemonitord worden.** Dit geeft per ruimte ook een betere informatiedichtheid. Dit is een voordeel voor de werkgever, de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist en autoriteiten.
- **Technische ontwikkelingen** zorgen ervoor dat de werknemers als ‘monitoringsstations’ kunnen dienen middels draadloze technieken (voordeel op zichzelf), smartphones als sensoren, waardoor er inzicht verkregen wordt van ‘hotspots’ van blootstellingen op een bedrijfslocatie. Dit is een voordeel voor werkgevers en de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.

Nadelen

- Op dit moment is de ontwikkeling van sensoren in volle gang. Dat betekent dat de **beschikbaarheid van sensoren** voor chemische stoffen in het algemeen nog **beperkt** is. Indien er wel sensoren geschikt zijn voor bepaalde stoffen is de kans groot dat de meetmethodiek nog niet gevalideerd is. Dit is een nadeel voor werkgevers, werknemers en gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.
- In navolging van het eerste punt zijn ook de **reproduceerbaarheid, sensitiviteit, specificiteit** van sensoren als meetmethodiek nog relatief onbekend. Specificiteit is vaak een beperking vanwege mogelijke kruisreacties bij

indicator-sensoren (sensor slaat aan op gelijkende stoffen; zie ook voorbeeld met betrekking tot BTEX). Dit is een nadeel voor werkgevers en gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.
- Doordat de sensoren klein zijn, zijn resultaten ook ge**makkelijker te beïnvloeden** (sensoren kunnen bijvoorbeeld worden afgedekt door kleding). Dat kan tot onbruikbare resultaten leiden. Toezicht op de monitoring blijft gewenst. Dit is een nadeel voor werkgevers, werknemers en gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.
- Werknemers kunnen **vaker bemonsterd** worden of met meerdere sensoren tegelijkertijd vanwege het gemak. Dit is een nadeel voor de werknemer omdat zij daardoor mogelijk beperkt worden in de bewegingsvrijheid of juist veel vaker worden ingezet voor monitoren.
- Het **koppelen van contextuele informatie tijdens het werk** aan de meetresultaten is lastig, waardoor het moeilijk kan zijn om verhoogde meetresultaten en/of pieken te koppelen aan bepaalde activiteiten. Dit is een nadeel voor werkgevers en gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.
- Bij directe informatievoorziening op bijvoorbeeld de smartphone kan dit **afleidend/verwarrend** zijn, omdat de gegevens real-time worden gepresenteerd maar mogelijk niet op een begrijpelijke manier. Dit is een nadeel voor de werknemer en de werkgever.
- Er is **geen voorschrift over wat moet worden vastgelegd** met betrekking tot metingen met behulp van sensoren, **hoe zij moeten worden gekalibreerd en onderhouden**. NB: De norm EN 482 is voor de gangbare meetinstrumenten ingetrokken en wordt momenteel herzien. Het is onduidelijk wanneer de nieuwe verschijnt, en of daarin rekening is gehouden met sensoren. Dit betreft overigens een private activiteit en valt daardoor niet onder auspiciën van de autoriteiten. Dit is een nadeel voor werkgevers en gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist.

Beschermende/voorspellende waarde

Voordelen

- Sensoren leveren real-time metingen, direct inzage in eigen handelen en effecten van acties die daarop volgen. Werknemers zien het belang van het meten van de blootstelling ten behoeve van het identificeren van mogelijke gezondheidsrisico's. Hierdoor is het bruikbaar voor het nemen van **maatregelen, gedragsverandering en scholing**. Dit is een voordeel voor alle partijen.
- Real-time blootstellingsrapportagesystemen en actieve waarschuwingssystemen kunnen op basis van real-time sensormetingen worden ontwikkeld en leiden tot **empowerment van werknemers**.
- Door gebruik van sensoren wordt het gemakkelijker om meer en vaker te meten. Hierdoor komen **meer meetgegevens over de tijd en per blootgestelde groepen** beschikbaar. Dit vergroot de voorspellende waarde van het blootstellingsonderzoek op de werkplek. Dit is een voordeel voor alle partijen:
  - meer stoffen;
  - real time, waardoor allocatie van bronnen mogelijk is;

  - geeft meer handvatten om het management te overtuigen dat maatregelen nodig zijn op bepaalde plekken in het productieproces;
  - herhalingsmetingen zullen sneller worden uitgevoerd (met name evaluatie na genomen maatregelen; gebeurt nu vaak niet).
- Deze nieuwe technologie faciliteert ook de **ontwikkeling van persoonlijke blootstellingsdossiers** die bij wisseling van baan meegenomen kunnen worden naar de nieuwe werkgever.
- Sensoren kunnen ook een **alarmfunctie** hebben om te waarschuwen voor acuut gevaar. Dit is vooral een voordeel voor een werknemer, maar ook voor de andere partijen.
- De mogelijkheid om **een duidelijkere link te leggen tussen ziekte en blootstelling** neemt toe bij meer/betere blootstellingsdata. Dit is een voordeel voor alle partijen.

Nadelen

- Het gebruik van sensoren is nog maar **beperkt gevalideerd voor gebruik.** Hierdoor is een vergelijking met een Nederlandse of Europese grenswaarde niet mogelijk. Dit is een nadeel voor werkgevers en de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist omdat zij dan geen compliance kunnen aantonen. Sommige sensoren zijn nadrukkelijk ook niet bedoeld voor dit aspect, bijvoorbeeld wanneer de sensoren een detectiefunctie hebben.
- Real-time uitlezen door derden van de blootstelling kan ook worden gezien als **inbreuk op de privacy** van de werknemer. Dit is een nadeel voor de werknemer.
- De werknemer heeft deskundige hulp nodig bij de **interpretatie van de resultaten** (geldt ook bij de 'oude methoden', alleen nu bestaat een mogelijkheid dat een werknemer ze eerder ziet dan experts). Dit eist **vaardigheden op het gebied van arbeidshygiëne, toxicologie en risicocommunicatie** (dit is uiteraard geen nadeel). Het nadeel schuilt voornamelijk in de mogelijkheid dat onjuiste conclusies kunnen worden getrokken. Dit is een nadeel voor de werkgever, werknemer en de gezondheidswerker/bedrijfsarts/arbeidshygiënist.
- De sensoren kunnen een situatie van **schijnveiligheid** creëren waar werknemers zien of merken dat meetresultaten beneden normen blijven, of dat de sensor geen signaal voor gevaar afgeeft. Dit is vooral een nadeel voor de werknemer.
- **De toegankelijkheid van de data** voor onderzoek is in principe niet beter dan bij de 'oude methoden' (bedrijfsleven beheert de data). Als sensoren beter beschikbaar komen, kunnen werkgevers wellicht sneller zelf het initiatief nemen om te gaan meten. Deze data worden beheerd door het bedrijf. Dit is mogelijk een nadeel voor de gezondheidswerker/bedrijfsarts/ arbeidshygiënist en de autoriteiten.

Financiële argumenten

Voordelen

- De sensoren geven real-time output. Het is niet nodig om monsters te nemen en voor vervoer en opslag te zorgen. Ook relatief dure analytische werkzaamheden bij gecertificeerde

laboratoria zijn niet nodig. De **kosten kunnen daardoor afnemen**. Dit is vooral een voordeel voor de werkgever.
- Sensoren (als meetinstrument) zijn **relatief goedkoop**; de kosten van eventuele inhuur van sensoren zijn daardoor naar verwachting laag. Mogelijk is toezicht op de monitoring alsnog wel nodig. De lage materiaalkosten zijn een voordeel voor de werkgever.
- Er kunnen met sensoren meer metingen worden gedaan per tijdseenheid, waardoor de **opbrengst van meetmomenten groter** is. Dit is een voordeel voor de werkgever.

Nadelen
- Op dit moment zijn **de meeste sensoren alleen geschikt voor onderzoek**. De 'traditionele' omgevingsmonitoring is nog steeds noodzakelijk wat resulteert in (tijdelijke) **dubbele kosten**. Dit is een nadeel voor de werkgever.
- Opslag en beheer van alle gegevens kan **verhoogde kosten** met zich meebrengen.

2.4 Conclusies

De overzichten van de voor- en nadelen van biomonitoring en sensoring op de werkplek laten zien dat de (recente) ontwikkelingen voordelen met zich mee kunnen brengen binnen het wettelijk kader van de arbeidsomstandigheden, maar dat er aan een aantal voorwaarden moet worden voldaan om de nadelen zo veel mogelijk in te kunnen perken.

Recente ontwikkelingen binnen de biomonitoring zorgen ervoor dat vooral technische en persoonlijke nadelen worden verkleind. Hierdoor wordt de keuze om over te gaan tot biomonitoring eenvoudiger gemaakt. Ook zorgen deze ontwikkelingen ervoor dat de mogelijke hoge kosten vanwege laboratoriumgebruik afnemen. De nadelen van biomonitoring bestaan er voor een groot deel uit dat er met biologische media wordt gewerkt, wat zeer belangrijke zorgvuldigheidseisen ten aanzien van het verkrijgen en bewaren van persoonlijke media en persoonlijke gegevens met zich meebrengt. Een fundamenteel nadeel van biomonitoring ten opzichte van de conventionele omgevingsmonitoring is dat men blootstelling – of indicatoren van blootstelling – in het lichaam meet, in plaats van erbuiten zoals bij omgevingsmonitoring. De bedoeling in de arbeidshygiënestrategie is om stoffen buiten het lichaam te houden. Het is dan contra-intuïtief om vervolgens in het lichaam te meten. Communicatie over de reden van de toegepaste technieken, hun voorspellende waarde en het omgaan met persoonlijke gegevens is daarom cruciaal.

Sensoring is een relatief nieuwe ontwikkeling binnen de arbeidshygiëne. Om die reden, is het lastig om een volledig beeld te schetsen van de voor- en nadelen van sensoren. Het is ook nog onduidelijk voor hoeveel en welk type stoffen deze techniek op dit moment bruikbaar is, en voor hoeveel stoffen het in de toekomst bruikbaar zal kunnen zijn. Het belangrijkste hedendaagse voordeel zit bij sensoring vooral in de real-time aflezing van gegevens (voordeel voor werkgever en gezondheidswerker/bedrijfsarts/arbeidshygiënist) en de eenvoud van het bemeten doordat de nieuwe sensoren kleiner zijn en laag in gewicht.

3 Welke aspecten spelen een rol bij biologische grenswaarden indien we deze willen gebruiken in het arbodomein?

3.1 Inleiding

De huidige uitwerking van de regelgeving met betrekking tot blootstelling aan gevaarlijke stoffen van werknemers is in Nederland voornamelijk gericht op het beheersen van de externe blootstelling via de luchtwegen en de huid. Dit hoofdstuk bespreekt een aantal aspecten dat van belang is indien biologische grenswaarden in toenemende mate worden gehanteerd om de blootstelling aan gevaarlijke stoffen te beoordelen en te beheersen. Achtereenvolgens zal een aantal wetenschappelijke, technische en praktische aspecten van biomonitoring worden besproken. Vervolgens wordt nagegaan welke rol biomonitoring in een PAGO zou kunnen innemen.

Sensoring wordt nog niet toegepast voor blootstellingsbeoordeling omdat de validiteit en betrouwbaarheid van de sensoren in de onderzoeksfase zit, en zal daarom niet worden behandeld in dit hoofdstuk.

3.2 Wetenschappelijke arbeidstoxicologische aspecten

Het doel van biomonitoring is om de *geïntegreerde blootstelling* aan een stof te bepalen en daarmee de gezondheidsrisico('s) ten gevolge van die blootstelling te beoordelen (Boogaard et al., 2009). Met geïntegreerde blootstelling wordt bedoeld zowel de opname via de luchtwegen, de mond en de huid, als blootstelling aan alle bronnen van de betreffende stof waaraan de persoon is blootgesteld (ook buiten het werk). Daarbij wordt ook rekening gehouden met individuele gevoeligheid en met de werkbelasting van de werknemer. Met werkbelasting wordt hier bedoeld de hoeveelheid energie die de werkzaamheden eisen, wat zich vertaalt in het ademminuutvolume van de werknemer en daarmee de dosis van een stof die wordt ingeademd. Ook blootstelling ten gevolge van een meer of minder dan achturige werkdag wordt meegenomen. Daarmee heeft biomonitoring een belangrijk gezondheidskundig voordeel ten opzichte van omgevingsmonitoring omdat bij omgevingsmonitoring alleen de luchtconcentratie tijdens het werk wordt gemeten.

Bij biomonitoring wordt gebruik gemaakt van een biomarker. De biomarker kan de stof zelf zijn (moederstof), maar ook een stofwisselingsproduct (bijvoorbeeld het meten van 1-hydroxypyreen voor inzicht in de blootstelling aan pyreen. Pyreen wordt daarbij gebruikt als indicator voor het complexe mengsel van polycyclische koolwaterstoffen). Omdat bij biomonitoring een stof of zijn metaboliet in het lichaam wordt aangetroffen betekent dit dat de werknemer daadwerkelijk blootgesteld is geweest. Het is echter afhankelijk van de hoogte, de duur en de frequentie van blootstelling of deze blootstelling leidt tot gezondheidseffecten en/of ziekte. De gemeten concentratie van de biomarker wordt vergeleken met zijn biologische grenswaarde. Omdat bij biomonitoring de concentratie van een biomarker in lichaamsvloeistoffen wordt gemeten, is de ervaring dat bij een overschrijding van de biologische grenswaarde uitleg over een mogelijk gelopen

gezondheidsrisico van groot belang is. Er zijn verschillende soorten biologische grenswaarden waarop later in dit stuk wordt ingegaan. Ook in het kader van REACH worden biomonitoringsdata aangeboden door registranten, en incidenteel wordt ook door het Risk Assessment Comittee (RAC) van ECHA naar biomonitoringsdata gevraagd ter evaluatie van de blootstelling in het kader van een risicobeoordeling (Bowmer, 2017). Biomonitoring geeft inzicht in de totale blootstelling (luchtwegen, mond, huid, alle bronnen) van een individu aan een bepaalde stof of zijn stofwisselingsproduct (metaboliet). Dit is essentieel anders dan bij omgevingsmonitoring, waarbij alleen de blootstelling via de luchtwegen kwantitatief wordt beoordeeld.

In het kader van omgevingsmonitoring worden werknemers verdeeld in gelijk blootgestelde groepen, waarna bij een steekproef van werknemers een PAS[5]-meting wordt uitgevoerd. Als een werknemer wordt uitgekozen voor deelname is hij/zij verplicht hiertoe op basis van de artikel 11 van de Arbeidsomstandighedenwet. Dat betekent dat resultaten worden verkregen van elke groep blootgestelde werknemers met vergelijkbare blootstelling. In het kader van een biomonitoringsonderzoek wordt iedere blootgestelde werknemer die op basis van de RI&E hiervoor in aanmerking komt, in de gelegenheid gesteld deel te nemen aan het onderzoek, echter hij/zij is dit niet verplicht. Indien hiervan een groepsrapportage wordt gemaakt, kan het zo zijn dat niet alle gelijk blootgestelde groepen zijn vertegenwoordigd in het onderzoek, omdat werknemers niet hebben deelgenomen aan het onderzoek, of dat de groepen niet groot genoeg waren om te voorkomen dat de resultaten tot een individu herleidbaar zijn.
Dit betekent dat zowel bij omgevingsmonitoring als bij biomonitoring meestal niet alle werknemers worden bemonsterd. Vanwege de verplichte deelname aan omgevingsmonitoring worden wel blootstellingsgegevens verkregen per blootstellingsgroep. In principe kan bij een biomonitoringsonderzoek de hele onderzoekspopulatie deelnemen aan het onderzoek, maar zij zijn dit niet verplicht, waardoor bepaalde blootstellingsgroepen ondervertegenwoordigd kunnen zijn om een conclusie op groepsniveau te kunnen trekken.

Omdat omgevingsmonitoring plaatsvindt op een (gedeelte van een) werkdag bij een aantal werknemers binnen een gelijke blootstellingsgroep is dit type monitoring afhankelijk van tijdstip en plaats van monstername. Biomonitoring is een geïntegreerde blootstellingsweergave. De concentratie in een lichaamsvloeistof (bloed of urine) is namelijk afhankelijk van de opname, de verdeling, het metabolisme en de uitscheiding van de stof/metaboliet, en is daarmee minder afhankelijk van kortdurende variaties in de externe blootstelling dan bij omgevingsmonitoring. Ook voor biomonitoring geldt echter dat het tijdstip/de tijdstippen waarop de monsters moeten worden genomen afhankelijk is van de te meten stof en zijn halfwaardetijd (zie ook de paragraaf over toxicokinetiek). Echter, biomonitoring is minder afhankelijk van het tijdstip en plaats van monstername, vergeleken bij omgevingsmonitoring.

[5] PAS: Personal Air Sampling. Met behulp van deze methode wordt de concentratie van een stof in de ademzone van de werknemer bemonsterd.

Omdat biomonitoring de totale blootstelling aan een stof of zijn metaboliet weergeeft, geeft het geen informatie over de locatie van de bron of over de wijze van opname (luchtwegen, huid of mond). Als op basis van biomonitoring blijkt dat maatregelen ter reductie van de blootstelling moeten worden genomen, is een goede analyse van de werkzaamheden, de werkplekken of thuisblootstelling (bijvoorbeeld hobby's) nodig. Als blootstelling via de lucht de belangrijkste blootstellingsroute is kan door middel van omgevingsmonitoring en een goede analyse van de werkzaamheden inzicht worden verkregen in de belangrijkste blootstellingsbronnen, waarna kan worden bepaald welke maatregelen het meest effectief zijn. Met behulp van biomonitoring is het moeilijker om een blootstellingsbron te lokaliseren dan met omgevingsmonitoring, als uit de meetresultaten blijkt dat maatregelen ter beperking van de blootstelling noodzakelijk zijn.

Met biomonitoring wordt de daadwerkelijke opname van een stof bepaald. Dit betekent de inwendige blootstelling bij gebruikmaking van alle maatregelen, inclusief persoonlijke beschermingsmiddelen als adembescherming en chemisch bestendige handschoenen. Bij omgevingsmonitoring wordt in de praktijk meestal buiten de adembescherming gemeten, waarna de blootstelling wordt bepaald door toepassing van een reductiefactor die aan het betreffende adembeschermingsmiddel is toebedeeld.
Omdat biomonitoring de inwendige blootstelling aan een stof meet, nadat alle maatregelen ter preventie van de blootstelling zijn genomen, wordt deze methode vaak gebruikt om de effectiviteit van genomen maatregelen (technisch of beleid) te evalueren.

In Nederland zijn voor een aantal stoffen biologische grenswaarden afgeleid door de Gezondheidsraad. Daarnaast worden biologische grenswaarden afgeleid door een aantal commissies en een aantal EU-lidstaten (zie paragraaf 3.7). In de literatuur zijn overzichten gegeven van beschikbare methodes, actieniveaus en grenswaarden die door onderzoeksinstellingen in andere landen zijn afgeleid. Mooie overzichten zijn gegeven in de boeken van Lauwerys en Hoet (2001) en het hoofdstuk geschreven door Boogaard in het boek General and Applied Toxicology (Boogaard, 2009). Het is moeilijk een overzicht te geven van het aantal beschikbare methodieken omdat de methodieken vaak toepasbaar zijn op groepen verbindingen; bijvoorbeeld de polycyclische aromatische koolwaterstoffen, of kobalt en zijn anorganische verbindingen. Om toch een indruk te geven van het aantal stof(groepen) met beschikbare methodieken en biologische grenswaarden kan bijvoorbeeld het overzicht in Boogaard worden gehanteerd. Het betreft 110 stof(groepen). Hieruit kan worden afgeleid dat voor een aantal belangrijke stoffen zowel een biomonitoringsmethodiek als een biologische grenswaarde beschikbaar is.

3.3 Technische aspecten

Als biomonitoring wordt ingezet in het kader van een PAGO om de blootstelling van werknemers aan gevaarlijke stoffen te evalueren dan is er behoefte aan een grenswaarde. Deze grenswaarde kan bestaan uit (1) een gezondheidskundige biologische grenswaarde, waarbij ervan uit wordt gegaan dat blootstelling onder die grenswaarde geen

gezondheidsschade met zich meebrengt, of (2) een biologische richtwaarde, die de achtergrondconcentratie weergeeft van een lichaamsvreemde stof in de algemene bevolking. Dit komt overeen met respectievelijk de BLV- en BGV-methodiek van SCOEL (zie ook paragraaf 3.7). Alleen als voldoende informatie beschikbaar is over onderstaande factoren, is het mogelijk om kwantitatieve gezondheidskundige biologische grenswaarden of biologische richtwaarden af te leiden (Boogaard, 2009), en biomonitoring in te zetten als evaluatiemethodiek om de blootstelling van werknemers aan gevaarlijke stoffen.

3.3.1 *Monstername en analyse*

Evenals bij omgevingsmonitoring zijn ook bij biomonitoring zowel de monstername als de analyse van de monsters cruciale stappen in het onderzoek. Met monstername wordt de fase bedoeld waarin monsters worden verzameld, eventueel worden voorbehandeld, opgeslagen en getransporteerd naar het laboratorium. Tijdens deze fases kunnen monsters worden gecontamineerd. Voor een juiste monstername zijn Standaard Operating Procedures (SOPs) noodzakelijk voor iedere biomarker. De analyse van de biomarkers dient ook geprotocolleerd te zijn door middel van SOPs om fouten te voorkomen. Daarbij is kwaliteitscontrole van de analyse van de biomarker van groot belang. Daarbij zijn zowel precisie als sensitiviteit van de chemische analyse van belang. Met precisie wordt bedoeld reproduceerbaarheid van de meting zowel binnen het laboratorium als tussen verschillende laboratoria. Met de sensitiviteit wordt bedoeld de laagste concentratie die voldoende betrouwbaar kan worden bepaald (Scheepers et al., 2009).

3.3.2 *Toxicokinetiek*

Bij biologische monitoring wordt de blootstelling via alle blootstellingsroutes (oraal, dermaal en inhalatoir), aan alle bronnen (werkomgeving en daarbuiten) weergegeven. Daarbij wordt de fysiologische variatie tussen personen meegenomen (SCOEL, 2013). Zo kan genetisch polymorfisme[6] een rol spelen bij de verwerking van een stof door het lichaam, waardoor er verschillen in de concentratie van een biomarker kunnen ontstaan tussen mensen. Bij het vaststellen van een biologische grenswaarde voor een stof wordt rekening gehouden met een eventuele variatie tussen personen. Door middel van de toxicokinetiek van een stof wordt inzicht gekregen in de opname, verdeling, metabolisme en uitscheiding van de betreffende stof. Toxicokinetiek geeft inzicht in de concentratie van de stof en/of zijn metaboliet in de tijd in het bloed en de organen, en de uitscheiding van de stof en/of zijn metaboliet bijvoorbeeld via de urine. Inzicht in de toxicokinetiek van een stof is nodig omdat een biomarker voor die stof op een bepaald moment in de tijd wordt bepaald. Alleen met een goed inzicht in de kinetiek van de stof en/of zijn metaboliet(en) kan een relatie tussen de externe blootstelling en de concentratie in het bloed of de urine worden bepaald. Dat inzicht is nodig om de gemeten concentratie van een biomarker te koppelen aan de externe blootstelling.

[6] Genetisch polymorfisme; een verandering in een bepaald gen bij een dusdanig groot percentage van de populatie voorkomt dat niet meer van een mutatie kan worden gesproken.

Voor veel stoffen is een biomarker beschikbaar die niet gebaseerd is op de moederstof, maar op een metaboliet van die stof. Ook dan is kennis van de toxicokinetiek essentieel ten behoeve van het verkrijgen van inzicht in de blootstelling aan de moederstof.
Ook de halfwaardetijd van een biomarker is een zeer belangrijke parameter die is gerelateerd aan metabolisme en uitscheiding van de biomarker. Kennis van de halfwaardetijd van een stof is essentieel bij het opzetten van een protocol voor biomonitoring in verband met het tijdstip/de tijdstippen van monstername.

3.3.3 Dosis-respons curve

Het vaststellen van een oorzakelijk verband tussen een stof en een gezondheidseffect is zeer complex en is vergelijkbaar met het afleiden van een grenswaarde voor de omgevingslucht. Het vinden van een correlatie tussen de concentratie van een stof en een gezondheidseffect is niet genoeg; de relatie moet ook consistent zijn en biologisch kunnen worden verklaard.
Ter beoordeling van het gezondheidsrisico van een stof is een dosis-respons curve van de biomarker nodig van de stof waarvoor die biomarker is gekozen. Op basis van deze dosis-respons curve wordt vervolgens een biologische grenswaarde afgeleid. De dosis-respons curves zijn vaak gebaseerd op dierexperimenteel onderzoek, waarbij relatief hoge blootstellingen zijn toegepast. Vaak ontbreekt de relatie tussen de dosis en de respons bij lage blootstellingen; blootstellingen die relevant zijn voor de mens. Daarom worden statistische technieken toegepast om met gebruikmaking van alle beschikbare data toch een biologische grenswaarde af te leiden. De gemeten concentratie van een biomarker kan vervolgens worden vergeleken met de biologische grenswaarde in het kader van een PAGO.

3.4 Praktische aspecten

3.4.1 Protocollering

Of biomonitoring een bijdrage kan leveren in de bescherming van werknemers die tijdens de arbeid met gevaarlijke stoffen werken, wordt nagegaan in de RI&E (Artikel 4.2 Arbeidsomstandighedenbesluit). De RI&E is in eerste instantie gericht op beoordeling van de externe blootstelling van werknemers door middel van omgevingsmonitoring. In de RI&E kan biomonitoring wel worden opgenomen als werkwijze om de blootstelling aan een gevaarlijke stof te evalueren. In de Arbeidsomstandighedenwet staat namelijk vermeld: ‘De werkgever stelt de werknemers periodiek in de gelegenheid een onderzoek te ondergaan, dat erop is gericht de risico's die de arbeid voor de gezondheid van de werknemers met zich brengt zoveel mogelijk te voorkomen of te beperken’ (Artikel 18 Arbeidsomstandighedenwet).
In de RI&E wordt nagegaan of verantwoord met gevaarlijke stoffen wordt gewerkt door:

1. Te inventariseren met welke stoffen wordt gewerkt per groep blootgestelde werknemers met vergelijkbare werkzaamheden.
2. Te beoordelen of de blootstelling lager is dan de publieke of private grenswaarde. Dit zijn grenswaarden voor de omgevingslucht van werknemers (ademzone).

3. Eventueel maatregelen voor te stellen die de blootstelling verlagen, in elk geval tot onder de publieke of private grenswaarde.
4. Te borgen dat de blootstelling ook in de toekomst onder de publieke of private grenswaarde blijft. Dit betekent dat na eventuele veranderingen in de werkzaamheden bovenstaande stappen opnieuw moeten worden doorlopen en dat werknemers voorlichting en instructie krijgen hoe ze veilig kunnen werken met de stof(fen).
5. Onder borging hoort ook eventueel het advies van de bedrijfsarts om een PAGO uit te voeren. Binnen dat PAGO kan biomonitoring worden ingezet om te evalueren of alle maatregelen die zijn genomen om de blootstelling te beheersen ook daadwerkelijk hebben geleid tot het gewenste blootstellingsniveau.

De bedrijfsarts, eventueel in samenwerking met de toxicoloog en/of arbeidshygiënist, dient dus op basis van de RI&E een advies te geven of biomonitoring wenselijk is. Er zijn weliswaar protocollen beschikbaar voor een aantal gevaarlijke stoffen die een handleiding geven aan de bedrijfsarts, maar deze hebben geen wettelijke status met uitzondering van lood-in-bloed. Alleen voor werknemers die aan lood worden blootgesteld bestaat een wettelijke verplichting tot het aanbieden van een lood-in-bloedonderzoek, is een publieke grenswaarde gegeven en een onderzoekfrequentie vastgesteld. Voor de overige gevaarlijke stoffen is de huidige praktijk dat biomonitoring slechts in weinig situaties wordt geadviseerd. Hiervoor zijn meerdere redenen aan te geven, waaronder het feit dat veel RI&E's niet op orde zijn (Hoorweg en Middelveld, 2017; Terwoert et al., 2013) en er dus bij veel bedrijven geen up-to-date inzicht is in de blootstelling aan gevaarlijke stoffen. Daarnaast is er een gebrek aan kennis bij de meeste bedrijfsartsen om een goed biomonitoringsonderzoek op te zetten, uit te voeren, de uitslagen te interpreteren en te evalueren. Nadat de bedrijfsarts in samenwerking met de arbeidshygiënist een advies heeft gegeven over een biomonitoringsonderzoek, dient de ondernemingsraad of personeelsvertegenwoordiging hiermee in te stemmen. Omdat zij instemmingsrecht hebben voor de RI&E, en biomonitoring onderdeel uitmaakt van de RI&E, hebben zij ook voor dit onderdeel instemmingsrecht. (Artikel 27 Wet op de ondernemingsraden, Memorie van toelichting). Omdat een werkgever verplicht is tot het hebben van een RI&E, en biomonitoring een onderdeel is van de RI&E, dient biomonitoring meegenomen te worden in het contract dat een werkgever met een arbodienst c.q. bedrijfsarts afsluit. Indien een biomonitoringsonderzoek wordt aangeboden door de werkgever, en de OR/PVT heeft ingestemd met het biomonitoringsonderzoek, zijn werknemers vrij of ze deelnemen aan dit onderzoek. Er is dus geen verplichting tot deelname (Memorie van toelichting, art. 17).

In het kader van een EU-project (5th framework programme) is in 2003 een start gemaakt met het maken van een richtlijn voor biomonitoring

van een aantal carcinogene stoffen.[7] Dit project heeft echter niet geleid tot beschikbare protocollen voor de bedrijfsarts.
Hierna zullen de aspecten die belangrijk zijn bij het opzetten van een blootstellingsonderzoek door middel van biomonitoring worden besproken (Scheepers, 2009).

1. De **onderzoeksvraag moet helder** zijn. Zo kan biomonitoring worden gebruikt om de blootstelling na een chemisch incident te reconstrueren, maar ook voor de evaluatie van reeds genomen maatregelen ter beheersing van de reguliere blootstelling (inclusief persoonlijke beschermingsmiddelen als adembescherming en handschoenen). Biomonitoring vindt plaats in het kader van een arbeidsgezondheidskundig onderzoek. Dit betekent dat er (meestal) meerdere meetmomenten zullen zijn. Zo kan het effect van een verbetering van de arbeidsomstandigheden op de blootstelling van de werknemers worden gemeten door zowel vóór als na de interventie de biologische waarde te meten.
2. De **onderzoeksgroep moet worden vastgesteld**. Op basis van de RI&E, met name de evaluatie gevaarlijke stoffen, is duidelijk welke (groepen) werknemers een verhoogd risico lopen.
3. De **methodiek moet duidelijk** zijn. Dit is afhankelijk van de te evalueren stof en de methode waarvoor wordt gekozen. Een goed overzicht biedt het boek van Lauwerys en Hoet (2001). Voor een aantal stoffen moet een monster worden afgenomen voordat blootstelling plaatsvindt (meestal maandagochtend) dat vervolgens wordt vergeleken met een monster op het eind van de werkdag en/of de werkweek. Andere stoffen kunnen direct worden vergeleken met een biologische grenswaarde. Afhankelijk van de vraagstelling kunnen beide onderzoeksopzetten worden uitgebreid door het toevoegen van een zogenaamde controlegroep, die uit werknemers bestaat die niet aan de stof zijn blootgesteld, maar verder vergelijkbaar zijn met de onderzoeksgroep.
4. **Een aantal gegevens** van de deelnemers aan het onderzoek zal moeten worden **vastgelegd** omdat ze mogelijk invloed hebben op het resultaat van de biomonitoring: geslacht, geboortedatum, alcohol- en medicijngebruik, rookgedrag, voeding, eventueel dieet en gebruik supplementen.

3.4.2 Interpretatie van de biomonitoring data; wel of geen biologische grenswaarde?

Biomonitoring in het kader van een PAGO heeft zin als een grenswaarde beschikbaar is. Dit kan zijn (1) een gezondheidskundige biologische grenswaarde of (2) een niet-gezondheidskundige biologische richtwaarde (achtergrondconcentratie in de algemene bevolking).

Voor *stoffen met een drempelwaarde* (niet-genotoxisch werkingsmechanisme) dient een gezondheidskundige biologische grenswaarde beschikbaar te zijn. Deze zal vaak gerelateerd zijn aan een gezondheidskundige inhalatiegrenswaarde, en dient als benchmark

[7] Biomonecs: http://www.2020-horizon.com/BIOMONECS-Development-of-analytical-methods-for-biological-monitoring-of-exposure-to-carcinogenic-substances(BIOMONECS)-s15234.html

waartegen de uitslag van biomonitoring afgezet wordt, en op basis waarvan maatregelen genomen dienen te worden bij overschrijding van deze biologische grenswaarde. Voor *stoffen met een genotoxisch werkingsmechanisme* kunnen biologische richtwaarden worden afgeleid. Dit zijn geen gezondheidskundige biologische grenswaarden, maar vormen de bovenste 90^{e} of 95^{e} percentiel van een stof of een metaboliet in een niet-blootgestelde bevolking. Als een stof of metaboliet niet in de niet-blootgestelde bevolking kan worden aangetoond, dan kan de detectielimiet worden gebruikt.

Het heeft geen zin een PAGO biomonitoring op te starten wanneer geen biologische grenswaarde of biologische richtwaarde is vastgesteld. Men weet in dat geval niet waartegen men de uitslag van de biologische monitoring moet afzetten. Wanneer een lichaamsvreemde stof niet in het lichaam aanwezig behoort te zijn maar wel wordt aangetoond middels een biomarker, geeft dit aan dat de werknemer is blootgesteld. Het geeft echter geen inzicht in mogelijke gezondheidseffecten ten gevolge van die blootstelling. Daarom is het hebben van een biologische grenswaarde of biologische richtwaarde essentieel voor de evaluatie van de resultaten van een PAGO. Nederland heeft slechts één *publieke* biologische grenswaarde, namelijk voor lood en anorganische loodverbindingen. Het afleiden van een '*private* biologische grenswaarde' door de werkgever is wellicht binnen de Nederlandse wetgeving een optie. Net als voor het afleiden van private luchtgrenswaarden kan daarbij gebruik worden gemaakt van grenswaarden die door anderen zijn afgeleid. De Gezondheidsraad heeft voor een aantal stoffen biologische grenswaarden afgeleid en er is een aantal commissies, REACH en EU-lidstaten die biologische grenswaarden en biologische richtwaarden afleiden. Het afleiden van gezondheidskundige biologische grenswaarden en richtwaarden door bedrijven zelf is lastig omdat het zeer specialistisch werk is. Dat zal daarom maar binnen een beperkt aantal sectoren kunnen worden uitgevoerd (bijvoorbeeld de farmaceutische sector).

Wanneer biomonitoring niet wordt ingezet in het kader van een PAGO, maar in het kader van een onderzoeksvraag, kan het echter wel nodig zijn om biologische monitoring uit te voeren zonder dat een biologische grenswaarde beschikbaar is. Omdat biologische monitoring de totale blootstelling van een werknemer aan een stof of zijn metaboliet meet, kan het voor stoffen waarbij huid- of orale blootstelling een rol speelt en bij stoffen die afkomstig zijn uit meerdere bronnen, nodig zijn om deze blootstellingsmethodiek te gebruiken om een causale relatie tussen blootstelling en een gezondheidseffect te kunnen leggen. Een belangrijke voorwaarde voor een causaal verband is namelijk dat er een dosis-respons relatie wordt gelegd tussen de blootstelling en een gezondheidseffect.

3.4.3 Communicatie (naar werknemer en op groepsniveau)

Werknemers moeten regelmatig worden voorgelicht over de gevaren van het werken met gevaarlijke stoffen, instructie krijgen hoe ze veilig met deze stoffen kunnen werken, en er moet toezicht zijn op naleving daarvan. Indien op basis van de RI&E een PAGO wordt geadviseerd door de bedrijfsarts (in samenwerking met de arbeidshygiënist) en een biomonitoringsonderzoek wordt opgezet, moet aan een aantal extra voorwaarden worden voldaan, die hierna worden beschreven.

Vóór de start van een PAGO waarbinnen biomonitoring wordt aangeboden, dienen werknemers te worden voorgelicht over dit onderzoek. Dat kan individueel of op groepsniveau. Daarnaast is het aan te bevelen om ter ondersteuning ook schriftelijke informatie te geven over:

- het doel van het onderzoek;
- de te onderzoeken parameters, en hun relatie met het doel van de studie;
- de rol van de deelnemers; wijze van sampling, wanneer wordt gesampled, in invullen van de vragenlijsten en eventuele andere vragen. Belangrijk is aan te geven dat deelname op vrijwillige basis gebeurt;
- de wijze waarop de privacy zal worden geborgd gedurende en na het onderzoek (anonymisering monsters, wie beheert de monsters en de data, wijze van bewaren, bewaartermijn, eventueel gebruik van de monsters in de toekomst);
- wie wordt uitgenodigd om deel te nemen aan het onderzoek (in- en exclusiecriteria);
- de procedure voor geïnformeerde toestemming moet worden uitgelegd;
- wanneer en hoe de resultaten zullen worden gepresenteerd;
- of er een compensatie wordt gegeven voor deelname aan het onderzoek;
- hoe de studie wordt gefinancierd (in het kader van een PAGO gebeurt dit door de werkgever). De uitvoerende instantie (de bedrijfsarts) is echter onafhankelijk en heeft zijn medisch beroepsgeheim. Hij mag in geen geval de resultaten van een PAGO presenteren die tot een individu herleidbaar zijn.

Tijdens de hele onderzoeksperiode moet duidelijk zijn wie de werknemer kan benaderen in het geval hij/zij vragen heeft over het onderzoek.

De terugkoppeling van de resultaten dient zeer zorgvuldig te gebeuren omdat het gaat om medische gegevens. Terugkoppeling dient in elk geval te gebeuren naar de werknemer die heeft deelgenomen aan de biomonitoring. Deze terugkoppeling dient te gebeuren door de bedrijfsarts omdat het medische gegevens betreft. In de praktijk krijgt de werknemer een schriftelijke uitslag waarin zijn uitslag wordt vergeleken met een grenswaarde, en wordt een interpretatie gegeven wat die uitslag betekent en welke acties hieraan verbonden zijn. Indien bijvoorbeeld de lood-in-bloedgrenswaarde is overschreden wordt meestal aan de werknemer gevraagd een afspraak te maken op het spreekuur van de bedrijfsarts, waarbij wordt nagegaan welke oorzaak aan de hoge lood-in-bloedwaarde ten grondslag ligt. De bedrijfsarts zal daarbij de hulp nodig hebben van de arbeidshygiënist omdat deze kennis heeft over de blootstelling en hoe deze te beheersen. De bedrijfsarts mag individuele resultaten van een PAGO echter niet delen met de arbeidshygiënist omdat het medische gegevens betreft, hoewel dit voor de beheersing van het mogelijke gezondheidsrisico wel gewenst zou zijn.

Daarnaast kan de bedrijfsarts door de werkgever worden gevraagd om een groepsrapportage te maken. Een dergelijke rapportage dient als evaluatie van de reeds genomen maatregelen per groep medewerkers met vergelijkbare blootstelling. Daarbij is het essentieel dat de individuele uitslagen van medewerkers niet tot de persoon herleidbaar

zijn. Dit kan betekenen dat blootstellingsgroepen met te weinig deelnemers niet worden opgenomen in een groepsrapportage. De huidige praktijk is dat de groepsrapportages ook door de toxicoloog of arbeidshygiënist worden gemaakt, mede omdat zij beter zijn getraind in het omgaan met databases en statistiek dan bedrijfsartsen. Dit kan problemen opleveren omdat het medische gegevens betreft en dient dus altijd te gebeuren onder supervisie van de bedrijfsarts.

3.5 Wettelijke aspecten

Biomonitoring maakt onderdeel uit van een PAGO. Daarmee dient het te voldoen aan de eisen uit de regelgeving ten aanzien van de bewaartermijn van een PAGO: 'De resultaten van het arbeidsgezondheidskundig onderzoek worden in passende vorm geregistreerd en voor iedere werknemer tot ten minste **40 jaar na beëindiging van diens blootstelling aan gevaarlijke stoffen** bewaard, evenals de lijst van werknemers, bedoeld in artikel 4.15 (werknemers blootgesteld aan carcinogene of mutagene stoffen of processen), en het register van blootgestelde werknemers, bedoeld in artikel 4.53, eerste lid (werknemers blootgesteld aan asbest)' (artikel 4.10c, vierde lid van het Arbobesluit). Dit is veel langer dan de bewaartermijn voor reguliere medische dossiers van vijftien jaar (Wet op de geneeskundige behandelingsovereenkomst (WGBO)).

Omdat bij biomonitoring gebruik wordt gemaakt van lichaamsvloeistoffen (bloed, urine) waarin de concentratie van een stof of zijn metaboliet wordt bepaald, is in dit rapport ervan uitgegaan dat voldaan moet worden aan de Wet op de geneeskundige behandelingsovereenkomst (WGBO). Deze wet ligt aan de basis van alle zorgverlening. Hierin is vermeld dat geen medische informatie aan de werkgever mag worden verstrekt. Voor medische informatie geldt het beroepsgeheim. Daarop kan een uitzondering worden gemaakt onder strikte condities en een afgebakende termijn, als de deelnemer aan de biomonitoring toestemming geeft om zijn of haar gegevens te delen.[8]

In de praktijk is samenwerking tussen bedrijfsarts en arbeidshygiënist noodzakelijk om een PAGO op te zetten. Dit omdat de arbeidshygiënist inzicht heeft in de aard, mate en duur van de blootstelling aan gevaarlijke stoffen voor de verschillende groepen werknemers. De uitvoering gebeurt vaak door een (bedrijfs)verpleegkundige of doktersassistent(e) onder verantwoordelijkheid van de bedrijfsarts. De individuele terugkoppeling van de resultaten dient door de bedrijfsarts te worden gedaan; dit omdat de interpretatie en de communicatie van de gegevens zeer zorgvuldig moet gebeuren. Indien groepsrapportages gemaakt worden, mag dit alleen als de gegevens niet tot het individu herleidbaar zijn. In de praktijk speelt een arbeidshygiënist of toxicoloog hier regelmatig een rol in, en heeft deze functionaris inzicht in de data om een groepsrapportage te kunnen schrijven. Hier is ook wel wat voor te zeggen, omdat biomonitoring van stoffen of metabolieten inzicht geeft in de blootstelling van verschillende functiegroepen, en daarmee een evaluatie geeft van reeds genomen maatregelen om de blootstelling te reduceren.

[8] In de praktijk zal een werknemer steeds goed moeten afwegen of van die mogelijkheid gebruik wordt gemaakt. Zie paragraaf 4.3.3.2.

Biomonitoring bevindt zich daarmee op het kruispunt tussen de werkzaamheden van de arbeidshygiënist, de toxicoloog en de bedrijfsarts. Ze hebben elkaar nodig om een goed biomonitoringsonderzoek op te zetten, uit te voeren, te evalueren en eventueel maatregelen ter verbetering voor te stellen. De positie van de arbeidshygiënist en bedrijfsarts is in de wet geregeld; zij zijn kerndeskundigen (Artikel 13 Arbeidsomstandighedenwet, Artikel 14 Arbeidsomstandighedenwet). Het inzien van biomonitoringsdata door de arbeidshygiënist is echter niet geregeld omdat het medische data betreft. Het zou goed zijn om de positie van met name de arbeidshygiënist in de wet te regelen als biomonitoring een meer prominente plaats krijgt in het arbodomein.

Biomonitoring van stoffen kan niet worden uitgevoerd in het kader van een aanstellingskeuring.[9] Een aanstellingskeuring is alleen maar rechtmatig als het gaat om bijzondere functie-eisen. Dat is bij biomonitoring van stoffen niet het geval, daar wil men inzicht hebben in de blootstelling aan een stof. Nadat een werknemer in dienst is gekomen, moet aan hem/haar een PAGO worden aangeboden wanneer hij/zij voor de eerste keer kan worden blootgesteld aan gevaarlijke stoffen (Artikel 4.10a Arbeidsomstandighedenbesluit). Dit PAGO kan biomonitoring omvatten (zogenoemde nulmeting).

3.6 Biomonitoring in een PAGO

3.6.1 Wat zijn volgens bedrijfsartsen argumenten om een PAGO biomonitoring op te zetten?

Voor een aantal stoffen waaraan werknemers kunnen worden blootgesteld geldt dat de bedrijfsarts (in samenwerking met de arbeidshygiënist) biomonitoring kan adviseren op basis van de RI&E. De redenen hiervoor kunnen zijn:

- De stof wordt gemakkelijk via de huid of mond opgenomen. Omdat biomonitoring de totale blootstelling meet wordt de blootstelling via luchtwegen, huid en mond gemeten.
- Evaluatie van reeds genomen maatregelen ter beheersing van de blootstelling. Biomonitoring evalueert of de maatregelen ter reductie van de blootstelling voldoende zijn, met in acht name van alle maatregelen, inclusief de persoonlijke beschermingsmiddelen.

Daarnaast is het aanbieden van biomonitoring verplicht bij werknemers die aan lood en anorganische loodverbindingen worden blootgesteld. Nederland heeft namelijk een wettelijke biologische grenswaarde voor de concentratie lood-in-bloed voor werknemers die worden blootgesteld aan lood en anorganische loodverbindingen (Artikel 4.19a Arbeidsomstandighedenregeling).

Voor kwik en tweewaardige anorganische kwikverbindingen (gemeten als kwik) is een voetnoot geplaatst in het overzicht van wettelijke grenswaarden (Bijlage XIII Arbeidsomstandighedenregeling): ‘Tijdens de blootstellingsmonitoring voor kwik en zijn tweewaardige anorganische verbindingen wordt rekening gehouden met relevante biologische

[9] Een aanstellingskeuring is een onderzoek dat een bedrijfsarts op verzoek van de werkgever verricht aan het slot van een sollicitatieprocedure, en kan ertoe leiden dat een sollicitant niet wordt aangenomen.

monitoringtechnieken in aanvulling op de luchtgrenswaarde.' Er wordt echter geen biologische grenswaarde gegeven.

Naast het gebruik van biomonitoring voor inzicht in de totale blootstelling tijdens *normale* werkzaamheden, kan biomonitoring ook worden gebruikt bij *kleinschalige chemische incidenten*. Er bestaat een richtlijn voor kleinschalige incidenten waarbij de algemene bevolking is betrokken: 'GGD-richtlijn medische milieukunde; Biomonitoring bij kleinschalige (chemische) incidenten' (RIVM, 2012). Het doel van deze richtlijn is om na te gaan en tot een besluit te komen wanneer en waarvoor biomonitoring zinvol is. Deze richtlijn is opgesteld voor de GGD, maar elementen uit deze richtlijn kunnen worden gebruikt indien een richtlijn biomonitoring voor werknemers wordt opgesteld.

3.6.2 *Hoe is essentiële samenwerking met arbeidshygiënist en eventueel veiligheidskundige of toxicoloog geregeld in de praktijk; is hiervan een meer algemeen beeld te geven?*

De essentiële samenwerking tussen bedrijfsarts en arbeidshygiënist of toxicoloog is essentieel voor biomonitoring maar werkt niet goed in de praktijk (Hoorweg en Middelveld, 2017). Zie ook paragraaf 3.5 over wettelijke aspecten.
De bedrijfsarts zal samen met de arbeidshygiënist in het kader van een RI&E moeten beslissen of een PAGO biomonitoring wordt aanbevolen. Hoe tot een dergelijk besluit wordt gekomen is momenteel niet beschreven. Een leidraad voor zowel de bedrijfsarts als de arbeidshygiënist met betrekking tot de opzet, de uitvoering, de evaluatie en de communicatie van een PAGO biomonitoring kan daarbij behulpzaam zijn.

3.6.3 *Welke stakeholders moeten hierbij betrokken worden?*

Bij de opzet van een biomonitoringsonderzoek binnen een bedrijf dienen de volgende partijen betrokken te worden:

- Werkgever; hij is verantwoordelijk voor veilige en gezonde arbeidsomstandigheden voor zijn werknemers.
- Bedrijfsarts; hij/zij geeft advies om een PAGO biomonitoring al of niet op te zetten, maar heeft hierbij de essentiële hulp nodig van de arbeidshygiënist.
- Arbeidshygiënist; hij/zij is de deskundige op het gebied van het beoordelen van de blootstelling in het kader van de RI&E, en kan aangeven welke (groepen) werknemers aan welke stoffen worden blootgesteld, en hoe deze blootstelling zich verhoudt tot publieke/ private grenswaarden.
- Ondernemingsraad/personeelsvertegenwoordiging; de OR/PVT dient betrokken te worden bij de RI&E en daarmee bij de opzet van een PAGO biomonitoring; zij hebben instemmingsrecht (Artikel 27 Wet op de ondernemingsraden).

3.6.4 *Kan omgevingsmonitoring door biologische monitoring worden vervangen?*

Biomonitoring kan een rol spelen in het beoordelen van werknemersblootstelling. Het voordeel van biomonitoring is dat het de totale blootstelling aan een stof of zijn metaboliet meet. Afhankelijk van de *eigenschappen van de stof* en het *doel* van het biomonitoringsonderzoek kan voor één of beide typen onderzoek worden

gekozen. Het is dus niet mogelijk om bovenstaande vraag in algemene zin te beantwoorden.

Ten aanzien van de **stofeigenschappen** spelen de volgende overwegingen een rol:

- Bij relevante huidopname of opname via de mond van een stof wordt geadviseerd om de mogelijkheden voor biomonitoring uit te zoeken. Bij biomonitoring wordt de blootstelling via alle blootstellingsroutes bepaald, terwijl bij omgevingsmonitoring alleen de inhalatieblootstelling kwantitatief goed kan worden bepaald.
- Een irriterende stof met lokale werking zal alleen met omgevingsmonitoring kunnen worden gemeten; biologische monitoring is dan niet mogelijk. Stoffen die een lokaal effect veroorzaken, zoals irritatie van de luchtwegen of long/luchtwegeffecten, zullen een luchtgrenswaarde hebben die op dat betreffende gezondheidseffect is gebaseerd. Voor deze stoffen heeft het geen zin een biologische grenswaarde af te leiden omdat het kritische effect een lokaal effect is. Biologische grenswaarden worden namelijk afgeleid op basis van systemische gezondheidseffecten.[10] Dezelfde stof zal waarschijnlijk pas systemische effecten laten zien bij hogere concentraties, zodat een biologische grenswaarde niet beschermend is voor de lokale gezondheidseffecten (SCOEL, 2013).
- Voor stoffen met een halfwaardetijd minder dan vier uur kunnen de mogelijkheden tot biomonitoring zeer beperkt zijn, zo niet mogelijk.

Ten aanzien van de **doelstelling** van het onderzoek zijn onderstaande punten van belang:

- Bronopsporing is makkelijker door middel van omgevingsmonitoring dan door biomonitoring. Met name als omgevingsmonitoring kan worden uitgevoerd met apparatuur die de luchtconcentratie in de tijd meet (loggers) kan door middel van het bijhouden van een logboek door de werknemer, een bron relatief makkelijk worden opgespoord. Het betreft dan echter alleen blootstelling via de luchtwegen.
- Omdat resultaten van biomonitoring medische gegevens zijn, kunnen individuele gegevens van blootstelling niet worden gedeeld met de werkgever en OR/PVT. Wel kan de bedrijfsarts een gesprek aangaan met een werknemer met een te hoge blootstelling met als doel na te gaan waar de blootstelling vandaan komt. Daarna kan de bedrijfsarts een arbeidshygiënist inschakelen om mee te denken hoe de blootstelling kan worden verlaagd. Indien dezelfde werkzaamheden worden uitgevoerd door een groep werknemers, en deze groep zodanig groot is dat de gegevens niet tot het individu te herleiden zijn, kan een groepsanalyse worden gemaakt die wél met de werkgever en OR/PVT kan worden gedeeld, op basis waarvan maatregelen kunnen worden genomen. De minimale groepsgrootte die nodig

[10] Systemische gezondheidseffecten zijn het tegengestelde van lokale gezondheidseffecten. Systemische gezondheidseffecten vinden in het algemeen niet plaats op de plek waar de stof in contact komt met het lichaam. De stof moet namelijk eerst worden geabsorbeerd en algemeen beschikbaar komen in het lichaam.

is om anonimiteit te waarborgen dient in een leidraad biomonitoring te worden vastgelegd.

3.6.5 *Wat zijn ervaringen met biomonitoring?*

In Nederland wordt biomonitoring weinig uitgevoerd. Naast het wettelijk verplichte lood-in-bloedonderzoek voor werknemers die aan lood zijn blootgesteld wordt ook biomonitoring toegepast voor blootstelling aan onder andere chroom, benzeen, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), (zie link: Industox). Hierna worden enkele ervaringen genoemd uit de praktijk, waaruit kan worden opgemaakt dat het zorgvuldig toepassen van het instrument, inclusief de communicatie daaromheen, kan leiden tot verbeterde werkomgevingen:

- Biomonitoring is een goed instrument om inzicht te krijgen in de totale blootstelling aan een stof (alle blootstellingsroutes, alle bronnen), op voorwaarde dat het onderzoek goed wordt voorbereid, uitgevoerd en gecommuniceerd naar de betreffende werknemers. Daarnaast is het belangrijk dat er maatregelen worden genomen ter reductie van de blootstelling als daar op basis van het onderzoek aanleiding toe is.
- Deelname aan biomonitoring is vrijwillig en de respons is mede afhankelijk van de wijze waarop de communicatie tijdens het hele traject verloopt.
- Als biomonitoring wordt aangeboden op het moment dat er binnen het bedrijf een reorganisatie in voorbereiding is of wordt uitgevoerd, is de persoonlijke ervaring van één van de auteurs dat de opkomst niet hoog zal zijn. Ondanks het feit dat biomonitoring onder het beroepsgeheim van de bedrijfsarts valt, zijn werknemers bang dat de uitslag consequenties kan hebben voor hun baanzekerheid.
- Een werknemer is niet verplicht om informatie te verschaffen over zijn medische gegevens, inclusief zwangerschap. De werkgever mag hier niet naar vragen. Dit geldt ook voor resultaten van biomonitoring. De werknemer kan echter wel specifieke schriftelijke toestemming geven dat zijn resultaten uit het betreffende biomonitoringsonderzoek worden gedeeld met een persoon binnen het bedrijf (bijvoorbeeld de preventiemedewerker), waarmee wordt geregeld dat de preventiemedewerker inzicht krijgt in de blootstelling van de werknemer. Op deze manier kunnen eventueel gericht acties worden genomen indien de blootstelling van een werknemer relatief hoog blijkt te zijn.
- Biomonitoring van gevaarlijke stoffen mag niet worden ingezet in het kader van een aanstellingskeuring (zie paragraaf 3.5 over wettelijke aspecten).
- Omdat een werknemer eventueel kan zijn blootgesteld aan dezelfde stof bij een vorige werkgever, wordt soms geadviseerd om een nulmeting uit te voeren. Dat betreft biologische monitoring NADAT de werknemer in dienst is gekomen en VOORDAT hij wordt blootgesteld aan de te meten stof. Omdat ook voeding een belangrijke bron van inname kan zijn voor bepaalde stoffen, kan het voor die stoffen aan te raden zijn om een nulmeting uit te voeren. Als de concentratie van de biomarker op een later tijdstip is verhoogd ten opzicht van deze

nulmeting, geeft dat aan dat de werknemer na de indiensttreding is blootgesteld aan die stof.

3.6.6 Krijgen bedrijfsartsen wel eens ethische vragen naar aanleiding van een PAGO biomonitoring en hoe gaan ze daarmee om?

Navraag bij een aantal bedrijfsartsen heeft opgeleverd dat in het kader van een PAGO geen ethische vragen worden gesteld.

Als biomonitoring wordt gebruikt in het kader van wetenschappelijk onderzoek, dan zal de medisch-ethische commissie de onderzoeksopzet kritisch beoordelen. Dit valt echter buiten het kader van het huidige rapport.

3.7 Biomonitoring in andere EU-lidstaten

Ten behoeve van de evaluatie van de blootstelling aan chemicaliën van werknemers worden door verschillende onderzoeksinstellingen in verschillende landen biologische grenswaarden afgeleid. In deze paragraaf wordt kort de inbedding in het nationale beleid van biologische grenswaarden voor de beheersing van werknemer-blootstelling besproken van Engeland, Duitsland, Frankrijk, Finland en België. Omdat deze landen ook gebruikmaken van biologische grenswaarden die zijn afgeleid door SCOEL, REACH en de ACGIH in Amerika, worden ook de activiteiten van deze commissies gepresenteerd. Op basis van gegevens van SCOEL en uit Duitsland, Engeland en in de openbare literatuur zijn voor een drietal stoffen/stofgroepen, die mogelijk in aanmerking komen voor een Europees afgeleide grenswaarde, een beknopt overzicht gegeven van de op dit moment aanbevolen biologische grenswaarden (zie Bijlage 2).

3.7.1 SCOEL

SCOEL is in 1995 opgericht door de Europese Commissie met als doel het verstrekken van *advies* aan de Commissie over toxicologisch onderzoek van chemische stoffen met het oog op de beoordeling van de effecten ervan op de gezondheid van werknemers. Het vaststellen van een luchtgrenswaarde of een biologische grenswaarde gebeurt door de Europese Commissie. Er is slechts één biologische grenswaarde door de Commissie vastgesteld, namelijk die voor blootstelling aan lood en zijn ionenverbindingen. Indien SCOEL een biologische grenswaarde heeft afgeleid voor een stof (met uitzondering van lood en zijn ionenverbindingen) zijn lidstaten niet verplicht om een biologische grenswaarde in hun regelgeving op te nemen.

Het advies van SCOEL is dat alle stoffen met een huidnotatie zo mogelijk een gezondheidskundige Biological Limit Value (BLV) moeten krijgen (Johanson, 2017).
BLV's zijn gezondheidskundige grenswaarden en kunnen op drie manieren worden afgeleid (SCOEL, 2013):

1. Op basis van humane studies waarbij een gezondheidseffect direct kan worden gekoppeld aan de concentratie van een stof of metaboliet gemeten door middel van biomonitoring.
2. Bij gebrek aan dergelijke studies kan op basis van de occupational exposure level (OEL) door middel van kinetische modellen een BLV worden afgeleid.

3. Een BLV op basis van biologische EFFECT-monitoring kan alleen worden afgeleid met behulp van humane data.

Het eerste en derde type BLV is direct gekoppeld aan een gezondheidseffect en worden door SCOEL geprefereerd boven het tweede type BLV dat in principe een blootstellingsmaat is.

Naast BLV's leidt SCOEL ook Biological Guidance Values (BGV's) af. Dit zijn niet-gezondheidskundige grenswaarden. De BGV is de bovenste 90^{e} of 95^{e} percentiel van een stof of een metaboliet, in een niet-blootgestelde bevolking. Als een stof of metaboliet niet de niet-blootgestelde bevolking kan worden aangetoond, dan kan de detectielimiet als BGV worden gebruikt.

Inmiddels zijn door SCOEL voor een aantal stoffen BLV's en BGV's afgeleid (Johanson, 2017; SCOEL, 2014):

- BLVs: aniline, benzeen, cadmium, koolstof disulfide, dimethyl formamide, dinitro-o-cresol, hexachloorbenzeen, methoxy- and ethoxyethanol en hun acetaten, waterstof fluoride, lood en anorganische loodverbindingen, lead chromaat, kwik en anorganische divalente kwikverbindingen, methyleenchloride, NMP, phenol, propyleen oxide, tetrachloor ethyleen en trichloor ethylene (n=19);
- BGVs: acrylamide, beryllium, MDA, MOCA, nikkel en nikkel verbindingen, PAKs die BaP bevatten, en o-toluidine (n=8).

3.7.2 *REACH*

Binnen het kader van REACH is er vooralsnog weinig aandacht voor biomonitoringsgegevens, hoewel de REACH guidance R14 met betrekking tot werknemersblootstelling (ECHA, 2016) wel de bruikbaarheid van biomonitoring in de blootstellingsbeoordeling onderstreept. Ook wordt in guidance R8 met betrekking tot de risicobeoordeling aandacht geschonken aan hoe de biomonitoringsgegevens kunnen worden vergeleken met een (interne) Derived No Effect Level (DNEL). In de praktijk, puttend uit eigen ervaring, worden biomonitoringsgegevens zelden gebruikt in REACH registratiedossiers. Uitzonderingen zijn de restrictiedossiers en autorisatiedossiers van ftalaten, waarbij biomonitoringsgegevens zijn gebruikt en in beschouwing genomen door evaluerende instanties uit lidstaten en het Risk Assessment Committee (RAC).

Sinds 2017 is een Europees biomonitoringsprogramma gestart (HBM4EU), waarin stoffen en stofgroepen worden geïdentificeerd en geprioriteerd voor biomonitoring. ECHA volgt deze ontwikkelingen nauwgezet. De focus in 2017 en 2018 ligt op tien stoffen/stofgroepen: phtalaten, bisphenol-a, gepolyfluoreerde chemicaliën (PFC's), vlamvertragers, cadmium, chroom, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), anilines, mengsels en opkomende/toenemende stoffen (ECHA biomonitoring).

3.7.3 *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*

In Amerika (VS) leidt het BEI Committee (wetenschappelijk commissie) van de American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) zogenoemde biological exposure indices (BEI) af. Op hun

website geeft de ACGIH onderstaande beleidsverklaring ten aanzien van het gebruik van TLV (Threshold Limit Values; dit zijn de luchtgrenswaarden) en BEI af: 'De Threshold Limit Values (TLV's) en Biological Exposure Indices (BEI's) zijn ontwikkeld als richtlijnen voor het beheersen van gezondheidsrisico's. Deze aanbevelingen of richtlijnen zijn bedoeld voor gebruik in de arbeidshygiënische praktijk, en dienen alleen geïnterpreteerd en gebruikt te worden door een persoon die in deze discipline is opgeleid. Ze zijn niet ontwikkeld voor gebruik als wettelijke normen en ACGIH is geen voorstander van het gebruik als zodanig. Er wordt echter erkend dat personen of organisaties in bepaalde omstandigheden van deze aanbevelingen of richtlijnen gebruik willen maken als aanvulling op hun programma voor veiligheid en gezondheid op het werk. ACGIH zal zich niet verzetten tegen het gebruik ervan op deze manier, als het gebruik van TLV's en BEI's in deze gevallen zal bijdragen tot de algehele verbetering van de bescherming van werknemers. De gebruiker moet echter de beperkingen herkennen die afhankelijk zijn van het juiste gebruik en de verantwoordelijkheid dragen voor dergelijk gebruik' (ACGIH website).

De BEI is gerelateerd aan de blootstelling van gezonde werknemers die via inhalatie aan de TLV zijn blootgesteld. Uitzonderingen zijn de BEI's voor chemicaliën waarvoor de TLV's zijn gebaseerd op bescherming tegen niet-systemische effecten (bijvoorbeeld irritatie of ademhalingsstoornissen) waarbij biologische monitoring wenselijk is vanwege de mogelijkheid van significante absorptie via een extra route van binnenkomst (meestal de huid).

De lijst met TLV/BEI-waarden is niet gratis en kan worden besteld met deze link: http://www.acgih.org/forms/store/ProductFormPublic/2018-guide-to-occupational-exposure-values.
Er zijn 45 BEI's afgeleid voor de volgende stoffen/stofgroepen: aceton, aniline, arseen en oplosbare arseenverbindingen, benzeen, 1,3-butadieen, 2-butoxyethanol, cadmium en anorganische cadmiumverbindingen, koolstofdisulfide, koolmonoxide, chloorbenzeen, cholinesterase-inhibitors agv pesticiden, chroom-6, kobalt en anorganische kobaltverbindingen, cyclohexanol, cyclohexanon, dichloormethaan, N,N-dimethylacetamide (DMAc), N,N-dimethylformamide (DMF), 2-ethoxyethanol en 2-ethoxyethylacetaat, ethylbenzeen, fluoriden, furfural, 1,6-hexamethyleen diisocyanaat, n-hexaan, lood en anorganische loodverbindingen, kwik, methanol, methemoglobine, 2-methoxyethanol en 2-methoxyethyl acetaat, methyl n-butyl keton, methyl chloroform, 4,4-methyleen bis(2-chlooraniline), methyl ethyl keton, methyl isobutyl keton, N-methyl-2-pyrrolidon, naftaleen, nitrobenzeen, parathion, pentachloorfenol, fenol, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), 2-propanol, styreen, tetrachloorethyleen, tetrahydrofuraan, tolueen, tolueen diisocyanaat (2,4 of 2,6), trichloorethyleen, uranium, xylenen.

3.7.4 *Engeland*

Het beoordelen van de blootstelling van werknemers is geregeld in 'Control of substances hazardous to health The Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 (as amended)'. Biomonitoring kan worden gebuikt als omgevingsmonitoring geen betrouwbare indicatie van de blootstelling geeft; het wordt gezien als een extra

methode om de blootstelling te beoordelen. Als de bedrijfsarts biomonitoring adviseert dan dient de werkgever in principe biomonitoring aan te bieden, tenzij hij op een andere manier kan aantonen dat de blootstelling op vergelijkbare of betere manier is beheerst. Een biomonitoringsonderzoek wordt opgezet en begeleid door de bedrijfsarts zo nodig in samenwerking met de arbeidshygiënist. Zie ook: 'Biological monitoring in the workplace; A guide to its practical application to chemical exposure'.

Het Britse gezondheids- en veiligheidslaboratorium (HSL) biedt onderzoek en analytische ondersteuning aan de Health and Safety Executive (HSE), andere overheidsafdelingen en werkgevers. HSE heeft Biological Monitoring Guidance Values (BMGV's) geïntroduceerd in hun richtlijn EH40 – 'Occupational Exposure Limits', die kunnen worden gebruikt om de biologische monitoringsresultaten in termen van blootstelling te interpreteren. BMGV's kunnen zowel health based zijn als niet health based. Elke waarde heeft een informatieblad met de monitoringsmethode en andere details (HSE). Meer informatie over de toepassing van biologische monitoring is beschikbaar op de website van de HSE via http://www.hse.gov.uk/pubns/indg245.htm. Op dit moment zijn er voor zeventien stoffen/stofgroepen biologische grenswaarden beschikbaar in Engeland, te weten butanon (MEK), butoxyethanol, koolmonoxide, chloorbenzeen, chroom, cyclohexanon, dichloormethaan (methyleen chloride), dimethylacetamide, glycerol trinitraat (nitroglycerine), isocyanaten, lindaan, MbOCA (2,2'-dichloor-4,4'-methyleendianiline), kwik, 4-methylpentaan-2-one (MIBK), 4,4'-methyleendianiline (MDA), Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAKs) en xyleen.

Het gebruik van BMGV's is niet wettelijk verplicht en werknemers kunnen vrijwillig deelnemen aan biomonitoringsonderzoek. Iedere deelnemer dient een formulier voor geïnformeerde toestemming te ondertekenen. Biologische monitoring wordt gebruikt om aan te tonen dat de reeds genomen maatregelen afdoende zijn. Indien een BMGV wordt overschreden, betekent dit dat aanvullende maatregelen moeten worden genomen ter beheersing van de blootstelling. Naast BMGV's beveelt de EU via SCOEL BLV's (op gezondheid gebaseerde richtwaarden) of BGV's (bevolkingsreferentiewaarden) aan. Hiernaar wordt via een link verwezen op de HSE-website.

3.7.5 Duitsland

In Duitsland is biomonitoring een essentieel en gebruikelijk arbeidsgeneeskundig instrument voor het beoordelen van het risico van werknemers die aan gevaarlijke stoffen worden blootgesteld. Het vormt een integraal onderdeel van preventieve medische onderzoeken op voorwaarde dat analytische procedures en biologische grenswaarden beschikbaar zijn. De bepaling of biomonitoring noodzakelijk is, wordt gemaakt door de bedrijfsarts. De bevindingen van de biomonitoring worden geëvalueerd, teruggekoppeld naar de werknemer en vastgelegd. De gegevens vallen onder het medisch beroepsgeheim. Daarnaast worden de resultaten gebruikt ter evaluatie van reeds genomen maatregelen ter beheersing van de blootstelling (ArbMedVV; Drexler, 2017).

In Duitsland leidt de MAK Kommission van de Deutsche Forschungsgemeinschaft gezondheidskundige BAT-waarden (Biologische Arbeitsstoff Tolerantz Werte) af. Voor genotoxische stoffen of bewezen carcinogenen kan geen gezondheidskundige grenswaarde (BAT-waarde) worden afgeleid. Daartoe heeft Duitsland de zogenaamde EKA-waarden afgeleid (Exposure Equivalant for Carcinogenic Substances). Deze EKA-waarden geven de biomonitoring concentratie weer die hoort bij een corresponderende range van externe luchtconcentraties (Boogaard, 2009).

Een overzicht van grenswaarden die in Duitsland kunnen worden gebruikt voor de beoordeling van testresultaten van biomonitoring is gegeven door BAuA:

- Biologische grenswaarden volgens de Verordening gevaarlijke stoffen/TRGS 903 (dit betreffen circa 60 stoffen of stofgroepen).
- Equivalentiewaarden voor kankerverwekkende gevaarlijke stoffen (getolereerde en aanvaarde concentratie) (TRGS 910).
- Andere waarden voor evaluatie:
  - Biologische waarde van de Senaatscommissie voor onderzoek naar gezondheidsrisico's van chemische verbindingen van de Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG): BAT (Biologische Arbeidsstoff Toleranz-Werte), bewijs van EKA (Expositionsequivalente für krebserzeugende Arbeidsstoffe), BLW (Biologische Leit-Werte), BAR (Biologische Arbeidsstoff-Referenzwerte).
  - Biological Limit Values (BLV) en Biological Guidance Values (BGV) van het Wetenschappelijk Comité inzake grenswaarden voor beroepsmatige blootstelling (SCOEL/EU) [deels].
  - Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte van het Zwitserse Instituut voor ongevallenverzekering (BBT-SUVA).
  - Biomonitorings grenswaarden voor gevaarlijke stoffen van de Oostenrijkse ‘Verordening inzake gezondheidstoezicht op de werkplek 2014’ (VGÜ 2014).
  - Biologische Monitoring Guidance Values (BMGV’s) van de Health and Safety Executive (UK): Health Guidance Values (HGV’s), Benchmark Guidance Values (BGV’s).
  - Referentiewaarden, Human Biomonitoring (HBM)-waarden (HBM-I en -II) van de Humane Biomonitoring Commissie van de Duitse Umweltbundesamt.
  - Referentiewaarden NHANES van de ‘Centers for Disease Control and Prevention’ (VS) [gedeeltelijk].

3.7.6 Frankrijk

Biomonitoring en de bewaking van de externe blootstelling zijn verschillende en aanvullende benaderingen voor het beoordelen van beroepsmatige blootstelling aan chemische agentia en zijn beide een integraal onderdeel van de beoordeling van chemische risico's. In Frankrijk zijn werkgevers verplicht de blootstelling door middel van omgevingsmonitoring te bepalen indien een wettelijke grenswaarde is vastgesteld (artikelen R.4412-27 en R.4412-76 van de arbeidswetgeving). Bedrijfsartsen dienen biomonitoring voor te schrijven indien van toepassing, en zij moeten de werknemers informeren over de resultaten die op hen betrekking hebben, en over de interpretatie van die resultaten. Werkgevers moeten zelf worden geïnformeerd over de anonieme, algehele interpretatie van biomonitoringresultaten, waarbij de

medische vertrouwelijkheid wordt gerespecteerd voor individuele resultaten (artikel R.4412-51). In Frankrijk is alleen biomonitoring van het lood-in-bloedgehalte wettelijk vastgesteld (decreet nr. 2003-1254 van 23 december 2003) (Good Practice Guidelines, 2016). Daarnaast wordt biomonitoring nog voor een aantal andere stoffen ingezet. Deze stoffen zijn opgenomen in de Biotox-website van INRS (link: Biotox website). Het betreft ongeveer 100 stoffen of stofgroepen (Biotox stoffen overzicht).

Voor de interpretatie van biomarkers wordt onderstaande volgorde gehanteerd ten aanzien van biologische grenswaarden (Good Practice Guidelines, 2016):

1. wettelijke biologische grenswaarde (alleen voor lood-in-bloed);
2. grenswaarden die door ANSES worden voorgesteld;
3. wanneer deze niet beschikbaar zijn, dan wordt geadviseerd de meest recente of de laagste waarde te kiezen uit de volgende biologische grenswaarden:
    a. SCOEL (BLVs);
    b. ACGIH (BEIs);
    c. Duitse DFG (BATs, EKAs, BLWs);
    d. Finse FIOH (BALs).

Een speciale werkgroep binnen ANSES leidt biologische limietwaarden (BLV's) of biologische referentiewaarden (BRV's) af. Deze worden besproken en uiteindelijk goedgekeurd in een expertgroep voor het vaststellen van grenswaarden. De werkgroep en de expertgroep zijn onafhankelijk en multidisciplinair (toxicologen, bedrijfsartsen, arbeidshygiënisten, epidemiologen en chemici). Voordat een grenswaarde wordt vastgesteld, vindt openbare consultatie plaats.

Voor stoffen met een drempelwaarde wordt een BLV afgeleid die overeenkomt met blootstelling aan:

- de wettelijke grenswaarde;
- de concentratie behorend bij een OEL (TGG 8 uur);
- een gezondheidseffect waarvoor een point of departure (POD) beschikbaar is op basis van humane studies waarna een aantal veiligheidsfactoren zijn toegepast.

Voor stoffen zonder drempelwaarde wordt een BLV afgeleid op basis van risicogetallen indien de data dit toelaten. Daarnaast wordt op een BRV vastgesteld op basis van het 95^{e} percentiel van de biomarker in de algemene bevolking indien deze gegevens beschikbaar zijn (Viau, 2017).

3.7.7 Finland

In Finland kunnen werkgevers de blootstelling aan gevaarlijke stoffen beoordelen door middel van omgevingsmonitoring of door biomonitoring; beide zijn geldige methoden. Werknemers zijn niet verplicht om deel te nemen aan biomonitoringsonderzoek. Volgens een medewerker van FIOH nemen veel werknemers deel aan biomonitoringsonderzoek. Een mogelijke reden is dat er goed wordt gecommuniceerd over het onderzoek en omdat biomonitoring wordt ingebed in een groter kader (gezondheidsbewaking).
Het Finnish Institute of Occupational Health (FIOH) ondersteunt bij de uitvoering en interpretatie van biomonitoring. Biomonitoringresultaten

worden, voor zover mogelijk, afgezet tegen (Upper) Reference limits voor niet-blootgestelden of tegen Biomonitoring action limits (BAL) (FIOH).

- De (Upper) Reference limits voor niet-blootgestelden is de 95^{e} percentiel voor Finnen die niet zijn blootgesteld via het werk.
- De BAL zijn concentraties waarvan het FIOH adviseert dat deze niet moeten worden overschreden als gevolg van beroepsmatige blootstelling. De lood-in-bloedwaarde is juridisch bindend; grenswaarden voor een aantal andere stoffen zijn geregeld in 'the Decree on Concentrations Known to be Hazardous 1214/2016'. Voor enkele stoffen zijn target levels voor biologische grenswaarden afgeleid op basis van DNELs (i.e. chroom, nikkel en tetrachloorethyleen).
- In totaal zijn er voor dertien stoffen/stofgroepen waarden afgeleid: lood, arsenicum, chroom, phenol, ethylbenzeen, styreen, kwik, MOCA, xylene, nikkel tetrachlooretheen, thiothiazolidine carboxyl zuur (TTCA), tolueen en trichlooretheen.

3.7.8 *België*

In België moet een werkgever een risicoanalyse uitvoeren en daarvoor de meest geschikte methode kiezen. Dat kan een omgevingsmeting zijn of biomonitoring. Biomonitoring is geregeld via het Koninklijke Besluit KB 11-3-2002. Het KB geeft aan dat de werkgever de nodige maatregelen moet nemen om de werknemers die blootgesteld worden aan gevaarlijke chemische agentia te onderwerpen aan een passend gezondheidstoezicht, tenzij uit de RI&E blijkt dat dit zonder enig nut is. Wanneer een bindende biologische grenswaarde is vastgesteld, is het gezondheidstoezicht verplicht. In België is, net als in Nederland, alleen een bindende grenswaarde vastgesteld voor werknemers die met lood en ionenverbindingen van lood werken (lood-in-bloed). Werknemers zijn verplicht om deel te nemen aan een lood-in-bloedonderzoek. Zij moeten van die verplichting op de hoogte worden gebracht voor aanvang van hun werkzaamheden. Deelname door werknemers aan biologische monitoring voor andere stoffen dan lood en ionenverbindingen is niet verplicht.
Een veelgebruikte bron voor grenswaarden is de site van het Laboratorium voor arbeids- en milieuhygiëne. In de praktijk worden in België vaak de BEI (ACGIH) gebruikt. Het boek van Lauwerys en Hoet (2001) is een standaardwerk op het gebied van biologische monitoring en wordt als naslagwerk gebruikt.

3.8 Conclusies

In het huidige beleid ten aanzien van de blootstelling aan gevaarlijke stoffen in Nederland wordt gefocust op monitoring van de inhalatieblootstelling tijdens het werk door middel van metingen en/of modellen. Indien huidblootstelling een rol speelt, wordt dit kwalitatief aangeduid door een H-indicatie toe te kennen aan de stof. Biomonitoring geeft in tegenstelling tot omgevingsmonitoring kwantitatief inzicht in de geïntegreerde blootstelling van alle blootstellingsroutes (lucht, huid en via de mond) en alle bronnen (werk en privé). Indien zowel huidblootstelling als blootstelling via de mond belangrijke blootstellingsroutes zijn voor een stof, kan biomonitoring een belangrijke rol spelen in de beoordeling van de totale blootstelling aan een stof. Een belangrijke waarde van biomonitoring is dat deze methode kan worden gebruikt als controle op

alle reeds genomen maatregelen ter voorkoming van blootstelling aan gevaarlijke stoffen, inclusief persoonlijke beschermingsmiddelen.

Omdat de resultaten van biomonitoring medische data zijn kunnen ze alleen op groepsniveau, niet herleidbaar tot een persoon, worden gedeeld met de bedrijfsleiding, die verantwoordelijk is voor het arbeidsomstandighedenbeleid. Werknemers zijn vrij om deel te nemen aan een onderzoek op basis van biomonitoring omdat het valt onder het PAGO, dit in tegenstelling tot omgevingsmonitoring waarbij deelname verplicht is.

Het gebruik van biomonitoring in de praktijk is echter beperkt omdat van slechts een beperkt aantal stoffen biomonitoringsmethodieken en richtlijnen beschikbaar zijn, en biologische grenswaarden zijn afgeleid. Voor meer dan 100 stoffen zijn er methodieken en richtlijnen beschikbaar, dit betreft overigens vaak wel relevante stoffen qua toxicologische eigenschappen en veelvuldig gebruik. Ook vereist het opzetten van een biomonitoringsonderzoek specialistische kennis op het gebied van gevaarlijke stoffen, zodat samenwerking tussen bedrijfsarts en arbeidshygiënist een noodzakelijk voorwaarde is. De individuele terugkoppeling van de resultaten dient zeer zorgvuldig te gebeuren, aangezien het om medische gegevens gaat en, indien een groepsrapportage wordt gemaakt, de resultaten niet herleidbaar mogen zijn tot individuen.

Indien biomonitoring wordt toegepast in het kader van een PAGO, is het noodzakelijk om een biologische grenswaarde te hebben. Deze grenswaarde kan bestaan uit (1) een gezondheidskundige biologische grenswaarde, of (2) een niet-gezondheidskundige biologische richtwaarde, die de achtergrondconcentratie weergeeft van een lichaamsvreemde stof in de algemene bevolking. De meeste onderzoeksinstituten en lidstaten maken onderscheid tussen deze twee typen biologische grenswaarden. In Europa is alleen voor lood en loodverbindingen een bindende biologische grenswaarde vastgesteld (Annex II Council Directive 98/24/EC). In Duitsland, Frankrijk, Finland en België is biomonitoring een essentieel arbeidsgeneeskundig instrument voor het beoordelen van het risico van werknemers die aan gevaarlijke stoffen worden blootgesteld. Ook Engeland accepteert biologische monitoring als een manier om inzicht te krijgen in de blootstelling aan gevaarlijke stoffen van werknemers. Ook door SCOEL, ACGIH, en in diverse EU-landen worden biologische grenswaarden afgeleid, die bruikbaar kunnen zijn voor toepassing in Nederland. In het kader van REACH is nog weinig aandacht voor biomonitoring. Evenals voor omgevingsmonitoring geldt ook voor biologische monitoring dat voor dezelfde stof deze grenswaarden kunnen verschillen tussen de verschillende instituten en/of landen.

4 Ethische aspecten van biomonitoring en sensoring op de werkplek

4.1 Inleiding

Het gebruik van biomonitoring en/of sensoring op de werkplek brengt naast technische en wetenschappelijke aspecten, ook *ethische* aspecten met zich mee. Doel van dit hoofdstuk is om deze in kaart te brengen. Centrale vraag is in hoeverre biomonitoring en sensoring nieuwe ethische vragen oproepen ten opzichte van omgevingsmonitoring. De opbrengst is een overzicht van aandachtspunten bij het overwegen van biomonitoring en/of sensoring op de werkplek.[11] Met als focus: het *verhelderen* van morele keuzes, ten behoeve van nadere gedachtevorming onder betrokken partijen.

Leeswijzer

In paragraaf 4.2 staat de vraag centraal welke bijdrage ethische reflectie kan leveren aan het overwegen van programma's voor blootstellingsmeting op de werkplek. Concrete voorbeelden van biomonitoring en sensoring zijn het uitgangspunt. Vervolgens worden steeds enkele stappen 'naar achteren' gezet om ethische aspecten inzichtelijk te maken. Door te *illustreren* (a) welke onderliggende waarden een rol spelen, en (b) hoe omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring deze waarden kunnen beïnvloeden. De bespreking volgt zo veel mogelijk de opbouw in fasen van eventuele monitoringsprogramma's (paragraaf 4.3), zoals die ook elders in dit rapport is gebruikt. Daarna komen enkele trends aan bod die onderdeel zijn van de maatschappelijke context waarin de ethische aspecten van biomonitoring en sensoring hun betekenis krijgen (paragraaf 4.4). Tot slot werken we in paragraaf 4.5 de belangrijkste conclusies uit.

4.2 Wat kan ethische reflectie bijdragen?

4.2.1 Centrale ethische begrippen

Als discipline houdt *ethiek*[12] zich bezig met systematische reflectie op de moraal (Bolt et al., 2007). *Moraal* is het geheel van waarden en normen dat door een individu of binnen een groep, instelling of cultuur als een belangrijke richtlijn voor het eigen handelen wordt beschouwd. Ethiek houdt zich dus bezig met reflectie op de waarden en normen die richtlijn zijn voor ons handelen.[13]

Toegepast op het meten van blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de werkplek is dan een eerste vraag: welke waarden en normen zijn daarvoor het uitgangspunt? Dat er arbeidsomstandigheden*wetgeving* is die ook betrekking heeft op blootstelling op de werkplek, biedt een

[11] De ethische aspecten die in dit hoofdstuk aan bod komen, zijn gebaseerd op literatuuronderzoek. Inclusief enkele bronnen die gebruik hebben gemaakt van empirisch onderzoek onder betrokken partijen.
[12] De term ethiek is afgeleid van het Griekse *ethos*. Ethos heeft betrekking op uitwendige factoren (gewoonte, zede, gebruik) en op inwendige factoren (o.a. karakter, innerlijke houding) (Ten Have et al., 2009).
[13] De moraal kan op drie manieren worden onderzocht: (1) Descriptief (beschrijvend): *welke waarden en normen spelen een rol?* (2) Normatief (voorschrijvend): *zijn deze normen en waarden 'goed'?* (3) Meta-ethisch. Meta-ethiek is gericht op achterliggende vragen, bijvoorbeeld de betekenis van termen als verantwoordelijkheid en autonomie (Bolt et al., 2007). Dit hoofdstuk is zo veel mogelijk *beschrijvend* opgesteld.

eerste algemeen antwoord. Naast waarden en normen binnen een bedrijf, gaat het ook om relevante waarden en normen in de samenleving in bredere zin.

Waarden en normen worden vaak in één adem genoemd. Dat is begrijpelijk, want ze hangen nauw met elkaar samen. *Waarden* hebben betrekking op zaken die op zichzelf nastrevenswaardig zijn. Het kan gaan om ervaringen en/of situaties, maar ook om eigenschappen van mensen, organisaties of van de samenleving als zodanig. Waarden geven een ideaal aan, en geven betekenis aan ons handelen (Bolt et al., 2007; Ten Have et al. 2009). Voorbeelden van waarden zijn: gezondheid, liefde, vriendschap, vertrouwen, autonomie, privacy, verantwoordelijkheid, solidariteit en veiligheid. Veel van deze waarden zijn ook relevant in de context van het beperken van blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de werkplek. Denk aan veiligheid, gezondheid, privacy en verantwoordelijkheid. Of aan solidariteit, bijvoorbeeld als werknemers samen optrekken voor veiliger werkomstandigheden nu, of voor volgende generaties werknemers, die ook veilig moeten kunnen werken.

Bij het overwegen van technische toepassingen zoals omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring is dan de vraag: in hoeverre draagt het gebruik van deze technologieën bij aan het beschermen of bevorderen van centrale waarden, zoals de gezondheid van werknemers, of een veilige en gezonde werkplek?

In de praktijk zal bij het bevorderen van waarden vaak een *afweging* moeten worden gemaakt: als het bevorderen van de ene waarde de mate beïnvloedt waarin andere waarden kunnen worden beschermd of bevorderd. Een voorbeeld is omgevingsmonitoring, waar werknemers op basis van artikel 11 van de Arbeidsomstandighedenwet verplicht aan moeten meewerken, als de werksituatie daar aanleiding toe geeft (paragraaf 2.1). De politieke afweging die daarbij is gemaakt, houdt onder meer in dat bij omgevingsmonitoring individuele vrijheid van werknemers (desnoods) beperkt mag worden ten behoeve van een veilige en gezonde werkplek.

Normen zijn gedragsregels of handelingsvoorschriften die aangeven wat we in bepaalde situaties behoren te doen of na te laten. Het zijn middelen om belangrijke waarden zo veel mogelijk te realiseren (Bolt et al., 2007). Bij het overwegen van normen is daarom steeds de vraag: welke waarden beoogt een norm te beschermen of bevorderen, en in hoeverre draagt het stellen van deze specifieke norm(en) daaraan bij? Dat is ook relevant voor de vraag of er naast publieke grenswaarden voor lood-in-bloed en anorganische loodverbindingen, nog andere wettelijke grenswaarden moeten worden gesteld.[14]

Grenswaarden zijn voorbeelden van normen ten aanzien van blootstelling op de werkplek. Ze hebben een voorschrijvend karakter: ‘Een biologische grenswaarde geeft de maximale concentratie aan die

[14] Dat kan algemeen onder andere afhangen van in hoeverre optimaal gebruik van overige/bestaande opties a) bijdraagt aan het beschermen en bevorderen van alle relevante waarden, en b) betrokken partijen in staat stelt om invulling te geven aan hun verantwoordelijkheden.

een stof in het lichaam of uitscheidingsproducten… *mag bereiken*.' (paragraaf 2.1.1; cursivering toegevoegd)

Centrale en meer algemene normen in het arbodomein zijn dat men blootstelling aan gevaarlijke stoffen zoveel mogelijk wil *voorkomen*,[15] en wel zoveel mogelijk *bij de bron*. Op basis van deze uitgangspunten kan een overzicht worden gemaakt van technische mogelijkheden om blootstelling dichter bij of verder van de bron te beperken of tegen te gaan, en welke daarvan *in beginsel* de voorkeur hebben.[16] Dat komt bijvoorbeeld tot uiting in de arbeidshygiënische strategie die uitgaat van het STOP-principe:

- **S**ubstitutie
- **T**echnische oplossingen (bij bron)
- **O**rganisatorische oplossingen
- **P**ersoonlijke bescherming

Voordat technische opties om blootstelling aan specifieke stoffen te voorkomen worden ingezet, moet volgens het STOP-principe worden gekeken of een gevaarlijke stof echt noodzakelijk is om te gebruiken en of er geen geschikte en minder gevaarlijke alternatieven beschikbaar zijn. Deze en andere normen moeten helpen om onderliggende waarden zoals veiligheid en gezondheid op de werkplek zo veel mogelijk te realiseren.

Algemeen kan gesteld worden dat de zorgplicht van werkgevers inhoudt dat *als* werknemers aan (mogelijk) gevaarlijke stoffen blootgesteld kunnen worden, dit een verantwoordelijkheid met zich meebrengt om blootstelling te monitoren als dat technisch kan.[17]

Het STOP-principe kan ook handvatten bieden bij vragen over het gebruik van omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring. Bijvoorbeeld bij de vraag of biomonitoring zonder omgevingsmonitoring of sensoring kan worden ingezet. Hoewel de technieken zelf geen directe beschermende waarde hebben,[18] bieden ze wel verschillende mogelijkheden om blootstelling zo dicht mogelijk bij de bron te helpen voorkomen of te beperken. Bij omgevingsmonitoring en sensoring wordt immers *buiten* het lichaam gemeten, bij biomonitoring *in* het lichaam. Omgevingsmonitoring en sensoring bieden daardoor de mogelijkheid om (op basis van de inzichten die de metingen bieden) eerder en dichter bij een externe bron preventieve actie te ondernemen, vergeleken met biomonitoring. Anders gezegd: wat betreft de norm 'preventie zoveel mogelijk bij de bron' ben je met biomonitoring in het algemeen later dan met omgevingsmonitoring en/of sensoring. Bovendien zal biomonitoring een integrale blootstelling meten, waarbij ook andere bronnen worden meegenomen. Zo bezien zou het STOP-principe aanleiding kunnen zijn om, *als* biomonitoring aan de

[15] Het Arbeidsomstandighedenbesluit spreekt consequent over blootstelling van werknemers aan gevaarlijke stoffen die moet worden 'voorkomen of geminimaliseerd'.
[16] Dit is op zichzelf geen argument voor of tegen vormen van blootstellingsmeting. Zo is het bijvoorbeeld denkbaar dat er de komende tientallen jaren nog veel stoffen gebruikt zullen worden waar alleen een 'TOP'-strategie realistisch is (geen substitutie mogelijk). Als blijkt dat grenswaarden niet behaald worden in de praktijk kan meer druk ontstaan om te innoveren richting substitutie.
[17] Dit eventueel ook met het oog op blootstelling in het milieu, en doorwerking richting toekomstige generaties.
[18] Omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring voorzien vooral in *informatie over* mogelijke blootstelling, op basis waarvan eventueel aanvullende preventieve actie kan worden ondernomen.

orde is, dit waar mogelijk en in beginsel altijd in combinatie met omgevingsmonitoring (en/) of sensoring toe te passen.[19]

Normen worden meestal uitgedrukt in termen van *plichten* (Bolt et al. 2007). Zo heeft de Rijksoverheid een zorgplicht jegens burgers, op basis van haar systeemverantwoordelijkheid om te zorgen voor een veilige en gezonde leefomgeving voor burgers. En hebben werkgevers een plicht om te zorgen voor een veilige en gezonde werkomgeving, en de plicht om werknemers een arbeidsgezondheidskundig onderzoek aan te bieden indien de werkomstandigheden daar om vragen (als onderdeel van hun zorgplicht) (art. 18 Arbeidsomstandighedenwet). Werknemers op hun beurt hebben bijvoorbeeld de plicht om mee te werken aan omgevingsmonitoring, en *kunnen* in sommige gevallen de plicht hebben om deel te nemen aan een Preventief Medisch Onderzoek (PMO) (als dat geregeld is in de cao). Deze voorbeelden van normen gaan steeds over *juridische* plichten, dat wil zeggen plichten die bij wet zijn geregeld en die ook wettelijk afdwingbaar kunnen zijn.
Naast juridische normen kunnen ook morele normen worden onderscheiden. Een voorbeeld zou zijn als binnen een bedrijf de (sociale) norm is dat werknemers meedoen aan een PMO, ook als ze daartoe niet wettelijk verplicht zijn.

Spreken we over plichten, dan spreken we automatisch ook over *rechten*. Rechten en plichten corresponderen met elkaar. Concreet: als iemand een bepaald recht heeft, dan heeft iemand anders een bepaalde plicht. Die plicht moet het mogelijk maken om datgene waar het recht recht op geeft, te kunnen realiseren. Het belang van autonomie, of zelfbeschikking, komt tot uiting in specifieke rechten van individuen. Tabel 4.1 laat zien welke specifieke rechten van individuen samenhangen met hun recht op autonomie en welke plichten van anderen dit zoal meebrengt.[20]

[19] In plaats daarvan zou ook eerst een berekening gedaan kunnen worden met bijvoorbeeld Stoffenmanager.
[20] Ontleend aan Ten Have et al. (2009). Deze en andere rechten liggen ook vervat in de *Convention on Human Rights and Biomedicine* (CoE 1997).

Tabel 4.1: Zelfbeschikkingsrechten van individuen en corresponderende plichten van anderen

Recht van individuen	Correspondeert (o.a.) met
Recht op *gezondheid* (op een bepaald moment kan ongezondheid onze mogelijkheden tot zelfbeschikking beperken).	Zorgplicht van overheid en werkgevers (tot respectievelijk het borgen van een gezonde en veilige leef- en werkomgeving).
Recht op *privacy* (valt uiteen in lichamelijke integriteit en informationele privacy; algemeen geldt dat invasieve handelingen een sterkere rechtvaardiging behoeven dan niet-invasieve handelingen).	Zwijgplicht (beroepsgheim) van de behandelend arts (beschermt informationele privacy) De plicht van artsen om voor invasieve handelingen geïnformeerde toestemming (beschermt zelfbeschikking en lichamelijke integriteit).
Recht op *informatie* (zonder adequate informatie kun je niet zelf je eigen belangen behartigen).	(O.a.) de plicht van bedrijfsartsen en werkgevers om werknemers de informatie te verschaffen die zij nodig hebben om een weloverwogen keuze te kunnen maken.
Recht op *niet-weten* (kennis kan soms meer kwaad doen dan goed. Zo kan informatie dat je een verhoogde kans hebt om een ernstige ziekte te krijgen tot grote ongerustheid leiden).	(O.a.) de plicht van bedrijfsartsen om in beginsel alleen die informatie met een werknemer te delen die een werknemer tot zich wil nemen (bijv. uitslagen van onderzoek).

In beginsel houdt het recht op autonomie ook in dat je beslissingen mag nemen die (zeer) nadelig voor je uitpakken.[21] Dat stelt bijvoorbeeld grenzen aan (hard) paternalisme, waarbij tegen jouw wil handelingen worden verricht die 'goed voor je zijn' (Dworkin, 2017). Aandachtspunt bij het overwegen van omgevingsmonitoring, biomonitoring en/of sensoring op de werkplek is of het gebruik van deze technieken invloed kan hebben op de mate waarin individuen genoemde zelfbeschikkingsrechten kunnen uitoefenen (positief of negatief).

Net als bij plichten kan bij rechten onderscheid gemaakt worden tussen een juridische en een morele variant. In beide gevallen geldt dat idealiter duidelijk is wie op grond waarvan welke corresponderende plichten heeft, wat partijen op grond waarvan van elkaar mogen verwachten. Bij nieuwe technologische ontwikkelingen is dat vaak niet op voorhand duidelijk.

We hebben gezien waar ethiek zich in grote lijnen mee bezighoudt. In de volgende paragraaf wordt op hoofdlijnen aangegeven hoe ethische reflectie behulpzaam kan zijn het inventariseren van morele aspecten van omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring op de werkplek.

[21] Op voorwaarde dat je wilsbekwaam bent.

4.2.2 *Wenselijkheid en zorgvuldigheid*

Technologische ontwikkelingen kunnen nieuwe ethische vragen oproepen. In de ethiek worden deze in twee groepen verdeeld: vragen over wenselijkheid en vragen over zorgvuldigheid.[22] *Wenselijkheidsvragen* hebben betrekking op de vraag of, en in hoeverre een technologie verantwoord is, in het licht van de waarden die in het spel zijn. Wenselijkheidsvragen gaan dus over de technologie zelf, of de technologie als zodanig wenselijk of toelaatbaar is.[23] *Zorgvuldigheidsvragen* gaan over hoe een technologie verantwoord kan worden toegepast. Ze gaan, met andere woorden, over het formuleren van voorwaarden voor de toepassing van de technologie (Ten Have et al., 2009).

Zorgvuldigheid- en wenselijkheidsvragen bieden zicht op andere ethische aspecten. Zo wordt bij het stellen van zorgvuldigheidsvragen de technologie zelf als een gegeven beschouwd. Dat is moreel relevant omdat de ontwikkeling en toepassing van technologie niet waardevrij zijn, maar altijd worden bepaald door achterliggende waarden. Waarden die, als het ware, zijn ingebouwd in de technologie. Denk aan waarden als kennisverwerving, het bevorderen van gezondheid, of het opheffen van lijden. Als we een technologie als gegevenheid beschouwen, dan nemen we mogelijk ongemerkt ook de specifieke waarden over die in de technologie zijn ingebouwd. Wenselijkheidsvragen bieden de mogelijkheid om op die achterliggende waarden te reflecteren, en na te gaan hoe deze zich verhouden tot waarden buiten het technologische domein (Ten Have et al., 2009). Dat kunnen *andere* waarden zijn (bijvoorbeeld welzijn), maar het kan ook gaan om dezelfde waarden die anders worden *ingevuld* en/of *gewogen*. Vragen die dan aan de orde kunnen komen zijn bijvoorbeeld: Wat bedoelen we eigenlijk met gezondheid? Brengt de technologie een specifieke opvatting van gezondheid met zich mee? In welk(e) opzicht(en) willen we gezondheid beschermen of bevorderen? In hoeverre kan de technologie ons hierin ondersteunen?

Wenselijkheids- en zorgvuldigheidsvragen bieden niet alleen zicht op andere ethische aspecten, ze brengen ook een andere benadering van ethiek met zich mee. Zorgvuldigheidsvragen lijken qua karakter op technologie. De focus ligt op het inschatten en berekenen van gevolgen, het vinden van oplossingen en het beheersen van problemen. Er is niets mis met aandacht voor gevolgen of het vinden van oplossingen voor problemen. Integendeel. Het punt is: als we de beoordeling van een technologie *louter* afhankelijk maken van de gevolgen die een technologie heeft, dan committeren we ons automatisch aan een specifieke stroming binnen de ethiek.[24] Vanuit dit perspectief geldt: als gezondheid intrinsiek goed is, dan is alles wat daartoe leidt ook moreel juist. (Ten Have et al. 2009) We zouden dan al een belangrijke ethische

[22] De term ‘ethische vraag’ kan de indruk wekken dat er sprake is van een probleem. Zo wordt de term hier niet gebruikt. Er wordt – neutraler – gedoeld op aspecten die relevant zijn om mee te nemen in de beoordeling.
[23] In dit rapport worden geen uitspraken gedaan over de wenselijkheid van omgevingsmonitoring, biomonitoring en/of sensoring op de werkplek. Het perspectief is bedoeld als input voor de nadere gedachtevorming onder betrokken partijen.
[24] Benaderingen die morele juistheid louter laten afhangen van het bereiken van intrinsieke doelen of gevolgen worden respectievelijk ‘teleologisch’ (*telos* = doel) en ‘consequentialistisch’ (consequentie = gevolg) genoemd. Ze worden vaak afgezet tegen ‘deontologische’ benaderingen (*deon* = wat gedaan moet worden). Volgens deontologische benaderingen zijn gevolgen niet irrelevant, maar is het morele gehalte van ons handelen er niet van afhankelijk. De morele waarde van ons handelen ligt er volgens deze benaderingen bijvoorbeeld in dat we iets doen *omdat* het onze morele plicht is, ook als dat slechte gevolgen heeft (Ten Have et al., 2009).

keuze hebben gemaakt, nog voordat de reflectie op welke technologie dan ook van start is gegaan. Wenselijkheidsvragen kunnen de aandacht vestigen op andere aspecten die relevant zijn voor de evaluatie van een technologie, naast wat de technologie *op kan leveren*. Voorbeelden van vragen die dan aan de orde kunnen komen zijn: Hoe moeten we bepalen welke vorm van lijden zo problematisch is dat een specifieke technologie er als oplossing voor ontwikkeld moet worden? En wie moet(en) dat bepalen? (Ten Have et al., 2009). Hoe belangrijk vinden we gezondheid eigenlijk in verhouding tot andere waarden? En kan het gebruik van een technologie invloed hebben op de mate waarin deze andere waarden gerealiseerd kunnen worden? (positief of negatief).

Het onderscheid tussen wenselijkheid en zorgvuldigheid levert twee algemene ethische vragen op ten aanzien van (mogelijke) programma's voor omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring op de werkplek:

1. (In hoeverre) is de technologie verantwoord, in het licht van de waarden die in het spel zijn? (wenselijkheid).
2. Hoe kan een programma waarin deze technologie (/technologieën) worden gebruikt verantwoord worden toegepast? Aan welke voorwaarden moet het programma daartoe voldoen? (zorgvuldigheid).

4.2.3 Bij het inventariseren van voor- en nadelen spelen ook ethische overwegingen een rol

In hoofdstuk 2 is in kaart gebracht welke voor- en nadelen van biomonitoring en sensoring ten opzichte van omgevingsmonitoring zoal worden genoemd in de literatuur. Dit hoofdstuk biedt in twee opzichten een aanvulling. Ten eerste door – aan de hand van enkele voorbeelden – te laten zien hoe ook bij het in kaart brengen van voor- en nadelen ethische aspecten al een rol spelen. Ten tweede door te laten zien hoe wenselijkheidsvragen een aanvulling kunnen bieden op het inventariseren van mogelijke voorwaarden voor programma's voor omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring op de werkplek.

4.2.3.1 Voor- en nadelen hebben vooral betrekking op zorgvuldigheid

Het inventariseren van voor- en nadelen sluit nauw aan bij het perspectief van zorgvuldigheidsvragen (zie paragraaf 4.2.2). Het is een kleine (en logische) stap van mogelijke voordelen naar de vraag onder welke *voorwaarden* deze voordelen gerealiseerd kunnen worden. Hetzelfde geldt voor mogelijke nadelen: onder welke voorwaarden kunnen deze worden beperkt of voorkomen? De nadruk ligt dan op de mogelijke *gevolgen* van technologie. Als het lukt om voor alle mogelijke voor- en nadelen voorwaarden te benoemen, dan kan eenvoudig de indruk ontstaan dat de technologie zelf ook verantwoord is. Het punt is: dat volgt er niet automatisch uit. Wenselijkheid gaat zoals we zagen niet alleen over wat een technologie op kan leveren.

4.2.3.2 Voor- en nadelen verwijzen naar onderliggende waarden en waarderingen

Een voor- of nadeel van een technologie is altijd een voor- of nadeel voor *iets* of *iemand*. Dat iets als voordeel wordt gezien, houdt met andere woorden een bepaalde *waardering* in vanuit het perspectief van de betreffende partij. Bij een voordeel is de waardering positief, bij een nadeel negatief. Ethische reflectie kan helpen om beide (waarden en

waarderingen) expliciet te maken. Dat stelt anderen in staat om zich er expliciet toe te verhouden, en kan zicht bieden op handelingsperspectief dat rekenschap geeft van relevante waarden en waarderingen. Tekstbox 4 geeft een voorbeeld rond biomonitoring en omgevingsmonitoring.

In paragraaf 2.2 werd als voordeel voor onder andere werknemers genoemd dat de monstername voor biomonitoring relatief eenvoudig is ten opzichte van omgevingsmonitoring. Het voordeel: een werknemer hoeft geen apparatuur te dragen tijdens het werk. Het voordeel van biomonitoring bestaat er hier dus uit dat het een nadeel wegneemt van een andere toepassing: persoonlijke metingen in het kader van omgevingsmonitoring.
Welke waarden en waarderingen zijn daarbij in het spel? Een waarde die een rol kan spelen is welzijn. Het dragen van apparatuur kan invloed hebben op het gemak waarmee iemand normaal gesproken zijn of haar werk uitvoert. Dat kan als storend worden ervaren. Resultaat: verminderd welzijn (een negatieve waardering). Als biomonitoring dit effect niet heeft (doordat geen apparatuur hoeft te worden gedragen), kan dat op dit punt leiden tot een positieve waardering van biomonitoring ten opzichte van omgevingsmonitoring.

Tekstbox 4: Voor- en nadelen verwijzen naar onderliggende waarden en waarderingen

Het voert te ver om hier voor alle voor- en nadelen die eerder in het rapport aan bod komen te expliciteren welke onderliggende waarden en waarderingen in het spel zijn. We volstaan met een aantal algemene opmerkingen, die voor alle beschrijvingen van voor- en nadelen van belang zijn.

- De informatie die in de literatuur te vinden was over voor- en nadelen van biomonitoring en sensoring heeft vooral betrekking op het beschrijven van technieken met als doel om nuttige informatie te verschaffen. In hoofdstuk 2 is geprobeerd om te laten zien hoe mogelijke voor- en nadelen verder uitgesplitst zouden kunnen worden naar verschillende betrokken partijen/ stakeholders. Het betreft in eerste instantie een inschatting van (technische) experts, en zou als basis kunnen dienen voor een verder gesprek tussen en met betrokken partijen/stakeholders over de mogelijke voor- en nadelen van omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring op de werkplek.
- Door betrokken waarden en waarderingen expliciet te maken, kan aanvullend handelingsperspectief ontstaan. Zo hoeft een mogelijk nadeel van omgevingsmonitoring ten opzichte van biomonitoring (zie Tekstbox 4) niet automatisch in de richting van biomonitoring te wijzen. Als mogelijke bezwaren of weerstand tegen omgevingsmonitoring te maken hebben met welzijn, dan zou onderzocht kunnen worden in hoeverre het mogelijk is om aanpassingen te doen aan de technologie voor omgevingsmonitoring of aan hoe de apparatuur kan worden gedragen.
- Bij het beschrijven van voor- en nadelen van technologie voor blootstellingsmeting kunnen we impliciet uitgaan van *specifieke opvattingen* over de onderliggende waarden. Tekstbox 5 geeft een voorbeeld waarbij een voordeel van biomonitoring inhoudt dat het

bijdraagt aan een specifieke opvatting van autonomie: autonomie als de vrijheid om te kiezen (keuzevrijheid). Relevant daarbij is dat technologie ook ongewenste effecten kan hebben. *Als* deze een persoon verhinderen om iets te doen wat hij of zij wil, dan kan zijn of haar vrijheid worden aangetast (Schermer, 2007). In dat geval worden mogelijk aan de ene kant keuzeopties toegevoegd (positief effect op autonomie), terwijl andere keuzeopties kunnen wegvallen (negatief effect op autonomie). Algemeen aandachtspunt bij het inventariseren van voor- en nadelen is: welke opvatting(en) van onderliggende waarden (zoals autonomie) nemen we als uitgangspunt? Door dit te verhelderen kan worden voorkomen dat specifieke opvattingen van waarden impliciet of onbedoeld tot *norm* worden verheven.

‘Biomonitoring geeft inzicht in de concentratie van de stof of zijn metaboliet(en) in het lichaam van een werknemer. Er is een directe link met de blootstelling van die betreffende werknemer omdat biomonitoring de som van de blootstelling via verschillende routes van een werknemer weergeeft, waarbij het effect van eventuele persoonlijke beschermingsmiddelen wordt meegenomen. Dit betekent dat de werknemer persoonlijk inzicht krijgt in zijn/haar totale blootstelling. De bedrijfsarts kan een groepsrapportage maken op functieniveau waarbij wordt geëvalueerd of de genomen maatregelen voldoende zijn. Deze informatie is voor werkgever en de personeelsvertegenwoordiging input voor de RI&E en het plan van aanpak. Het betreft een voordeel voor alle betrokkenen.’ (paragraaf 2.2)

Bij het voordeel voor werknemers spelen onder andere de waarden gezondheid en autonomie een rol. Hoe kan inzicht in de totale blootstelling de realisatie van die waarden positief beïnvloeden? In beide gevallen: doordat inzicht kan bijdragen aan handelingsperspectief. Als je weet in hoeverre je bent blootgesteld, kun je gerichte(re) keuzes maken.

Autonomie als keuzevrijheid

Dat inzicht in de totale blootstelling een voordeel voor de werknemer is, veronderstelt een specifieke invulling van het begrip autonomie, namelijk autonomie als vrijheid van denken en handelen: autonomie als keuzevrijheid. Vanuit dit perspectief wordt onze autonomie bevorderd als we meer keuze-opties hebben waar we vrijwillig uit kunnen kiezen.[25] Biomonitoring draagt vanuit dit perspectief bij aan onze autonomie doordat het keuzeopties toevoegt, en in zoverre we daar vrijwillig uit kunnen kiezen.

Autonomie als zelfverwerkelijking

Volgens een andere opvatting draait autonomie om zelfverwerkelijking. Daar is een bepaalde mate van keuzevrijheid voor nodig, maar van belang is vooral dat ons handelen een uitdrukking is van onze visie op wat we belangrijk, wenselijk of nastrevenswaardig vinden. Waar het om draait is dat we ons identificeren met onze projecten, waarden, doelen en verlangens. Als we deze beredeneerd aanvaarden, ons ermee

[25] Vergelijk Ten Have et al. (2009: pagina’s 85-86).

identificeren en daarmee tot iets eigens maken, pas dan zijn we onszelf in wat we wensen of doen. Pas dan zijn we in deze betekenis autonoom (Ten Have et al., 2009). Over de mate waarin biomonitoring *in dit opzicht* de autonomie van werknemers vergroot, kunnen vooraf geen algemene conclusie worden getrokken. Het is immers niet op voorhand zeker dat de keuze om inzicht te krijgen in onze totale blootstelling naadloos in elk levensplan past.

Tekstbox 5: In welk opzicht beïnvloedt een technologie onze autonomie?

- Voor- en nadelen hoeven geen statische gegevens te zijn. Zo kunnen verschuivingen optreden in de waarderingen van betrokken actoren. En het hangt af van de mate waarin de betreffende technologieën *flexibel* zijn. In Tekstbox 4 werd al gehint op de mogelijkheid van aanpassingen aan de technologie om te bevorderen dat bepaalde waarden worden beschermd (in het voorbeeld: welzijn).[26] In de techniekethiek staat het zodanig ontwerpen van technologie dat deze sensitief is voor waarden, en daaraan aangepast kan worden, bekend als *Value Sensitive Design*.[27]
- Welk beeld komt naar voren uit het overzicht van voor- en nadelen? Het is denkbaar dat betrokken partijen de verschillende technologische opties om blootstelling op de werkplek te meten in beginsel anders ordenen. Aanpassingen in bijvoorbeeld de technologie (zie vorig punt) kunnen mogelijk bijdragen aan een grotere overlap tussen de voorkeuren van betrokken partijen. In alle andere gevallen is een *afweging* nodig, waarbij sommige waarden sterker bevorderd zullen worden dan andere. En waarbij het bevorderen van de ene waarde ten koste kan gaan van de mate waarin andere waarden beschermd kunnen worden. Daarbij ontstaat een specifieke verdeling van lusten en lasten tussen betrokken partijen. Hoe lusten en lasten worden verdeeld is ook moreel van belang, bijvoorbeeld vanuit het oogpunt van rechtvaardigheid.

4.2.4 De meerwaarde van wenselijkheidsvragen rond specifieke manieren om blootstelling op de werkplek te meten

Wenselijkheidsvragen kunnen zicht bieden op nieuwe ethische aspecten, naast wat het gebruik van technologie ons kan opleveren. Het kan ook aanvullend handelingsperspectief bieden.

4.2.4.1 Vragen en verantwoordelijkheden kunnen verschuiven

Technologische ontwikkelingen kunnen een rol spelen in het herformuleren van een vraagstuk. Daarmee kunnen ook verplaatsingen van het vraagstuk optreden en verschuivingen van de verantwoordelijkheid voor het vinden van een oplossing (Ten Have et al., 2009).

[26] Zie bijvoorbeeld Dechesne et al. (2013) voor een bespreking van ethische uitdagingen bij sensoren die opnieuw geconfigureerd moeten kunnen worden.
[27] Vormen van *Value Sensitive Design* kunnen ook worden toegespitst op specifieke waarden. Zo staat bij benaderingen onder de noemer *Safe-by-design* de waarde veiligheid centraal. Zie bijvoorbeeld http://www.nanoreg2.eu/safe-design voor een Safe-by-designbenadering op het gebied van nanomaterialen. Recent is meer aandacht ontstaan voor de mate waarin techniekontwerp rekening kan houden met verschuivingen in waarden en waarderingen. Zie bijvoorbeeld: http://designforvalues.tudelft.nl/2018/erc-grant-for-ibo-van-de-poel-for-research-on-design-for-changing-values/

Nieuwe technologische mogelijkheden gaan automatisch gepaard met een uitbreiding van verantwoordelijkheden. Zodra een technologie beschikbaar is, lijkt het aanmeten van een houding dat dingen ons overkomen, niet meer goed verdedigbaar. Individuele vrijheid komt sterker op de voorgrond te staan. En daarmee ook individuele verantwoordelijkheid (Ten Have et al., 2009; Bauer, 2008). Zodra een technologie beschikbaar is, heb je als individu niet alleen een keuze, maar moet je als het ware ook kiezen. En draag je de verantwoordelijkheid voor de keuze om een technologie al dan niet te gebruiken. Tekstbox 6 geeft een voorbeeld voor biomonitoring en voor sensoring vanuit het perspectief van een werknemer.

Biomonitoring geeft inzicht in de blootstelling aan stoffen die een persoon in elke denkbare situatie opgedaan kan hebben. Niet alleen in de werksituatie, maar bijvoorbeeld ook in de thuissituatie. Wanneer de technologie aanvankelijk wordt ingezet om blootstelling in de werkomgeving te helpen beperken of voorkomen, kan de morele aandacht zo ook in toenemende mate uitgaan naar de privésfeer. Als technologie de grens tussen domeinen doet vervagen, komt automatisch ook de vraag op hoe in de betreffende domeinen zal worden omgegaan met het mogelijke gebruik van deze technologie en de data die dit oplevert. Bijvoorbeeld hoe in de werksfeer wordt omgegaan met informatie over blootstelling in de privésfeer. Kan informatie over risico's die werknemers buiten het werk lopen, een rol gaan spelen in de arbeidsrelatie?

Sensoring: Met behulp van goedkopere en op het lichaam gedragen kleinere sensoren, kan (mogelijke) persoonlijke blootstelling worden gemeten. Naast vooropgezette wetenschappelijke surveys, kunnen mensen ook hun eigen blootstelling meten, en hun eigen database met blootstellingsgegevens opbouwen. De huidige risicobeoordeling op groepsniveau kan dan verschuiven naar individuele precisie-beoordeling. Het initiatief voor preventieve maatregelen op de werkvloer ligt meestal bij de organisatie. Met behulp van eigen technologie en eigen metingen zouden werknemers ook in toenemende mate om maatregelen kunnen vragen op basis van eigen meetgegevens. Zij zouden daarbij een beroep kunnen doen op het recht op informatie (zie Tabel 4.1).

Tekstbox 6: Technologie zorgt voor uitbreiding van verantwoordelijkheden

Ook vanuit het perspectief van een werkgever kan technologie vragen oproepen over de reikwijdte van zijn verantwoordelijkheid. Tekstbox 7 bespreekt een aantal betekenissen waarin een partij verantwoordelijk kan zijn. De tekstbox laat ook zien dat, vergeleken met omgevingsmonitoring en sensoring, biomonitoring automatisch ook informatie verschaft over blootstelling in domeinen waar de morele verantwoordelijkheid van een werkgever in beginsel geen betrekking op heeft.

Causale, morele, en juridische verantwoordelijkheid
De term verantwoordelijkheid heeft meerdere betekenissen. Iemand is *causaal* verantwoordelijk als hij of zij een oorzakelijke bijdrage heeft geleverd aan een bepaald gevolg. Een vervolgvraag is of we iemand daar ook *moreel* voor verantwoordelijk houden. Morele verantwoordelijkheid valt uiteen in *attributieve* en *substantiële* verantwoordelijkheid (Bolt et al., 2007). Bij attributieve verantwoordelijkheid is de vraag of (het effect van) bepaald gedrag moreel toeschrijfbaar is aan een partij. Bij substantiële verantwoordelijkheid gaat het om morele verwachtingen die we van een partij hebben, gelet op de rol die deze partij heeft (bijvoorbeeld als ouder, overheid, werkgever, werknemer, arbeidshygiënist, et cetera). Voorbeelden van substantiële verantwoordelijkheid zijn de zorgplicht van de overheid voor een veilige en gezonde leefomgeving, en de zorgplicht van werkgevers voor een veilige en gezonde werkomgeving. Van *juridische* verantwoordelijkheid is sprake als iemand wettelijk gezien aansprakelijk is/ kan worden gesteld.

Toekomstig handelen en/of de effecten van eerder gedrag
Een tweede onderscheid is tussen prospectieve en retrospectieve verantwoordelijkheid. In het eerste geval slaat verantwoordelijkheid alleen op de toekomst (toekomstig handelen). In het tweede geval op wat al gebeurd is (consequenties van eerder gedrag) (Ten Have et al., 2009).

Voorbeeld: zorgplicht van de werkgever
Omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring zijn technieken die een werkgever kunnen helpen om invulling te geven aan zijn zorgplicht (voor een gezonde en veilige werkomgeving). Een verschil tussen omgevingsmonitoring en sensoring, enerzijds, en biomonitoring, anderzijds, is dat waar omgevingsmonitoring en sensoring inzicht geven in de (mogelijke) blootstelling op de plek waar de technieken worden toegepast, biomonitoring automatisch inzicht geeft in de totale (daadwerkelijke) blootstelling, los van waar de blootstelling heeft plaatsgevonden. Biomonitoring biedt daarmee automatisch zicht op eventuele blootstelling buiten de werkplek, een domein waar de **morele verantwoordelijkheid** van een werkgever in beginsel geen betrekking op heeft.[28]
Vanuit het oogpunt van ***aansprakelijkheid*** (voor eventuele gezondheidsschade bij werknemers) kan het voor werkgevers en werknemers nuttig zijn om inzicht te krijgen in de mate waarin blootstelling aan gevaarlijke stoffen toegeschreven kan worden aan de werksituatie (of juist aan situaties buiten het werk, of bij een andere werkgever).

Tekstbox 7: Verschillende betekenissen van 'verantwoordelijkheid'

4.2.4.2 Het belang van de maatschappelijke en culturele context

De ontwikkeling en toepassing van technologie worden altijd bepaald door achterliggende waarden (paragraaf 4.2.2). Technologische en maatschappelijke ontwikkelingen zijn dus nauw met elkaar verweven.

[28] In beginsel valt dit binnen de eigen verantwoordelijkheid van het individu.

Ethische reflectie neemt daarom altijd ook de maatschappelijke en culturele context van een technologie in beschouwing.
In de literatuur worden enkele bekende mechanismen genoemd die op de achtergrond ook een rol kunnen spelen bij het al dan niet gebruiken van omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring op de werkplek:

- Wat technisch mogelijk is, is vaak beter aan te geven dan wat we mogen of moeten doen. Dat laatste omvat een vraag naar waarden en doeleinden, en is vaak niet eenduidig te verwoorden. In de praktijk moeten vaak beslissingen worden genomen in situaties van onzekerheid. Dat kan de neiging meebrengen om ons te laten leiden door wat technisch mogelijk is.
- Besluitvorming in een setting die raakt aan onze gezondheid wordt gekenmerkt door 'anticiperende beslissingsspijt'. Daarvan is sprake als een individu er bij voorbaat van uitgaat dat hij of zij spijt zal krijgen als een technische mogelijkheid niet wordt benut (Ten Have et al., 2009). *Wat als ik toch ben blootgesteld en ziek kan worden?* (werknemer) *Wat als mijn werknemers toch zijn blootgesteld en ziek worden/uitvallen?* (werkgever)

Mechanismen als deze richten de aandacht op impliciete factoren die ons handelen kunnen bepalen.

4.2.5 *Complementaire benaderingen: wat kan een programma rechtvaardigen en hoe werkt een technologie uit in de praktijk?*

In het voorgaande hebben we gezien hoe twee typen vragen (zorgvuldigheid en wenselijkheid) elk verschillende ethische aspecten van technologieën zoals biomonitoring en sensoring inzichtelijk kunnen maken. Ten aanzien van de ethische aspecten kunnen globaal twee benaderingen worden onderscheiden: de één is gericht op het rechtvaardigen van een programma, de ander op hoe technologie uitwerkt in de praktijk. Deze benaderingen kunnen elkaar aanvullen.

Een eerste benadering richt zich vooral op wat mogelijke programma's voor biomonitoring en sensoring zou kunnen *rechtvaardigen*. Welke uitgangspunten zijn relevant om te bepalen of deze technologieën op de werkplek kunnen worden ingezet? En zo ja, onder welke voorwaarden? Kunnen sommige testen bijvoorbeeld verplicht worden? Of moet al dan niet testen juist een vrijwillige keuze van werknemers blijven? Noem dit benadering 1. In de medische ethiek wordt bij de rechtvaardiging vaak een beroep gedaan op een aantal centrale principes: autonomie, weldoen, niet-schaden en rechtvaardigheid (zie bijvoorbeeld Manno et al., 2014; Morley et al., 2017).[29] In paragraaf 4.3 komen deze principes uitgebreider aan bod.

Als we gericht zijn op het *rechtvaardigen* van een programma, dan nemen we een normatief-ethisch gezichtspunt in. In Tekstbox 8 worden de kenmerken van een ethisch gezichtspunt kort toegelicht.

[29] In dit verband wordt vaak verwezen naar *Principles of Biomedical Ethics* van Tom Beauchamp en James Childress. Zie bijvoorbeeld Beauchamp en Childress (2009). Een belangrijke vraag is in hoeverre het nodig is om bij de rechtvaardiging van handelen op basis van die principes, in te gaan op onderliggende ethische theorieën. Zie Arras (2016). Voor dit rapport is dat in elk geval niet nodig, omdat geen *beoordeling* wordt gegeven.

Een 'ethisch gezichtspunt':

- Is **normatief**: handelingen of keuzes worden geëvalueerd in het licht van waarden en normen.
- Is gericht op fundamentele, **op zichzelf nastrevenswaardige doeleinden**.
- Gaat uit van '**alpartijdigheid**': zo veel mogelijk rekening houden met het perspectief (belangen en opvattingen) van alle betrokken partijen.
- Gaat uit van '**universaliseerbaarheid**': situaties/handelingen/keuzes worden beoordeeld met behulp van waarden en normen die in principe op iedereen gelijkelijk van toepassing kunnen zijn (Bolt et al.**, 2007)**.

Tekstbox 8: Kenmerken van een 'ethisch gezichtspunt'

Een tweede benadering is er vooral op gericht om te begrijpen *hoe het gebruik van technologieën in de praktijk uitwerkt*. Bijvoorbeeld: hoe ervaren gebruikers technologieën voor biomonitoring en sensoring? Beïnvloedt het gebruik hun gezondheid of welzijn? Hebben monitoringsprogramma's invloed op de verhoudingen tussen betrokken partijen? Noem dit benadering 2. Vorstenbosch (2009) voegt een aantal interessante aspecten toe aan de benadering die uitgaat van centrale principes als autonomie, weldoen, niet-schaden en rechtvaardigheid. Vorstenbosch pleit in het algemeen voor een 'fenomenologische' benadering van apparaten en praktijken en hun interactie. Het gaat om praktijkonderzoek, waarbij concrete ervaringen centraal staan. Dit kan bijdragen aan het verhelderen, concretiseren en verdiepen van concepten zoals autonomie, privacy en schade en tot het verwerven van meer inzicht in de betekenis die ze hebben voor de leefwereld, en praktijk(en) waarin wordt overwogen om technologie (breder) toe te passen. Cruciaal: het gaat daarbij niet in de eerste plaats om het *rechtvaardigen* van het wel of niet toepassen van technieken (zoals biomonitoring en sensoring op de werkplek), maar om het *begrijpen* van wat de toepassing van nieuwe technieken kan doen met een praktijk (zoals de werkplek) en bijbehorende relaties (inclusief verdeling van rollen en verantwoordelijkheden).

Benadering 1 en 2 kunnen elkaar aanvullen. Zo kan benadering 1 bijvoorbeeld ideeën opleveren voor mogelijk praktijkonderzoek. Stel, dat een voorwaarde voor biomonitoring is dat het geen nadelig effect mag hebben op het welzijn van werknemers (benadering 1). Onderzoek naar het effect van biomonitoring op het welzijn van werknemers (benadering 2) kan dan input leveren om te bepalen of, en zo ja, hoe, *in de praktijk* aan deze voorwaarde kan worden voldaan. Omgekeerd kan benadering 2 elementen aandragen die relevant zijn voor de rechtvaardiging van een programma. Stel, dat bij de rechtvaardiging van een sensoring programma wordt uitgegaan van een specifieke verdeling van verantwoordelijkheden tussen betrokken partijen (benadering 1). Als uit praktijkonderzoek zou blijken dat het gebruik van sensoringtechnieken leidt tot een *verschuiving* in verantwoordelijkheden tussen betrokken partijen (benadering 2), dan kan dat nieuwe vragen opleveren ten aanzien van de wenselijkheid en/of de inrichting van het bewuste sensoringprogramma.

In de praktijk zullen benadering 1 en 2 veelal door elkaar lopen. Bij het overwegen of ontwerpen van programma's voor biomonitoring en/of sensoring op de werkplek kan het zinvol zijn om ze in gedachten te houden als verschillende benaderingen die elkaar kunnen aanvullen. Figuur 4.1 geeft enkele voorbeelden van vragen die dan aan bod kunnen komen, en hoe deze vragen onderling samenhangen.[30]

Wat kan een programma rechtvaardigen? (benadering 1)	Hoe pakt de technologie in de praktijk uit? (benadering 2)
Welke voorwaarden worden gesteld aan een programma voor blootstellingsmeting?	Is praktijkonderzoek nodig om na te gaan of daar in specifieke werk-situaties aan kan worden voldaan?
Geven deze aanleiding om het beoordelingskader aan te passen?	Wat zijn ervaringen in de praktijk? Komen daar nieuwe inzichten of aspecten uit naar voren?

Figuur 4.1: Samenhang tussen twee benaderingen om ethische aspecten van onderzoek naar blootstelling in kaart te brengen

4.3 Ethische aspecten – per fase

In een overzichtsartikel over ethische aspecten van biomonitoring op de werkplek wordt per fase van een monitoringsprogramma aangegeven welke ethische vragen een rol spelen (Manno et al., 2014).

- Fase 1: Doel, opzet en planning van het onderzoek.
- Fase 2: Het verzamelen, opslaan en analyseren van samples.
- Fase 3: Interpretatie, communicatie en management van resultaten.

In dit rapport is deze indeling overgenomen. Hieronder wordt per fase kort aangegeven in hoeverre biomonitoring en sensoring nieuwe ethische vragen oproepen ten opzichte van omgevingsmonitoring op de werkplek.[31] Ethische aspecten worden *geïllustreerd* aan de hand van concrete voorbeelden. Voor biomonitoring is dat het bepalen van lood-in-bloed (zie paragraaf 2.1.1), voor sensoring een recent project van RIVM in samenwerking met TNO. Tekstbox 9 geeft een korte beschrijving van het sensoring project.

Project Meten op de werkplek (sensoring project RIVM i.s.m. TNO)

RIVM heeft in samenwerking met TNO een onderzoek uitgevoerd naar het gebruik van sensoren op de werkplek. Het betrof een geluidsensor, een UV-sensor en een fijnstofsensor die alle drie gelijktijdig geïntegreerd in een veiligheidsvest door een werknemer werden gedragen.

[30] De voorbeelden zijn geformuleerd in termen van *zorgvuldigheid*, maar kunnen ook betrekking hebben op de *wenselijkheid* van een technologie – als de ervaring met een technologie in een specifieke setting dusdanig is dat het gebruik van deze technologie in deze setting niet (langer) verantwoord wordt geacht.
[31] Aandachtspunt is dat ethische reflectie per fase in programma's ongemerkt de nadruk kan leggen op zorgvuldigheidsvragen (zie paragraaf 4.2.2).

Werknemers (n=4) kregen vooraf voorlichting over risico's van blootstelling aan geluid, UV, fijnstof en het doel van het onderzoek werd toegelicht. Eén van de doelen betrof het onderzoeken van de draagbaarheid/gemak van de sensoren tijdens het werk. Werknemers werd gevraagd om een toestemmingsformulier te ondertekenen voorafgaand aan de metingen. Na afloop werd aan de uitvoerder en de werknemers gevraagd een vragenlijst in te vullen over hun ervaringen met betrekking tot de pilot, het draaggemak en eventuele verbeterpunten. Op basis van de vragenlijsten kon worden geconcludeerd dat uitvoerder en werknemers het nut van het uitvoeren van metingen inzien, enige hinder hebben gehad van de sensoren op het meetvest. De meeste deelnemers zijn bereid om weer aan dergelijk onderzoek mee te doen. Eén deelnemer gaf aan niet nogmaals deel te willen nemen, want 'die dingen zitten best wel in de weg'.

Tekstbox 9: Sensoring op de werkplek (pilot RIVM i.s.m. TNO)

4.3.1 Fase 1: Doel, opzet en planning van het onderzoek

4.3.1.1 Doel

Omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring kunnen voor verschillende doelen worden ingezet: 1) om te bepalen of preventieve maatregelen effectief zijn geweest (door te toetsen aan een grenswaarde), 2) als onderdeel van surveillance, 3) voor bronopsporing en 4) voor onderzoek (bijvoorbeeld om biomarkers of sensoren te valideren). Een eerste handvat voor de morele beoordeling van specifieke technologieën is het principe van **effectiviteit**: in hoeverre kunnen ze bijdragen aan het effectief realiseren van deze doelen? De voor- en nadelen uit hoofdstuk 2 zijn hiervoor nuttige input. Zo bleek bijvoorbeeld dat biomonitoring wel inzicht geeft in de totale daadwerkelijke blootstelling, maar niet of lastig kan worden gebruikt voor het opsporen van bronnen van (pieken in de) blootstelling. Een nadeel ten opzichte van omgevingsmonitoring en sensoring (paragraaf 2.2-2.3).[32]

1. Preventie

Preventie is geen doel op zich, maar een middel tot iets anders: het beschermen van iets dat op zichzelf nastrevenwaardig is: gezondheid (een waarde). Omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring kunnen *indirect* bijdragen aan het beschermen van gezondheid. Ze leveren informatie op die gebruikt kan worden om beschermende maatregelen te nemen (als er blootstelling is) en te bepalen of preventieve maatregelen effectief zijn geweest. Hun beschermende waarde ligt daarmee vooral in welke *beslissingen* worden genomen op basis van de inzichten die de technieken bieden in de mate van (mogelijke) blootstelling. Ter vergelijking: persoonlijke beschermingsmaatregelen leveren een directe bijdrage aan het voorkomen van (specifieke) blootstelling en het beschermen van gezondheid.

Gezondheid kan zowel positief als negatief worden opgevat. Tekstbox 10 geeft enkele voorbeelden en laat zien dat omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring *als methoden om blootstelling te meten*

[32] Schulte en Hauser (2009) bespreken een reeks factoren die van invloed zijn op het benutten van de potentie van biomarkers.

primair verbonden zijn met negatieve gezondheid (de afwezigheid van ziekte), en indirect bij kunnen dragen aan positieve gezondheid.

Positieve en negatieve gezondheid

Gezondheid kan zowel positief als negatief worden opgevat. Volgens een *negatieve* notie van gezondheid slaat gezondheid op de afwezigheid van iets: ziekte. Volgens een *positieve* notie slaat gezondheid op de aanwezigheid van iets. Wat het positieve is dat aanwezig moet zijn om van gezondheid te kunnen spreken, wordt vanuit verschillende wetenschappelijke disciplines anders ingevuld:

- *Statistisch*: de conditie van het menselijke lichaam die het meest voorkomt bij een bepaalde populatie.
- *Sociologisch*: het vermogen van een individu om maatschappelijke activiteiten te verrichten, en maatschappelijke rollen te vervullen.
- *Biologisch*: adaptatie aan de omgeving/ het goed functioneren van het organisme (en zijn of haar nageslacht, en fertiliteit).
- *Psychologisch*: optimale zelfverwerkelijking.
- *Politiek(e wetenschap)*: volledig lichamelijk, geestelijk en maatschappelijk welbevinden.
- *Antropologisch*: een proces van menswording, gedragen door een harmonieuze verhouding tussen de mens en zijn situatie.

Een en dezelfde toepassing kan tegelijkertijd zowel een positieve als een negatieve invloed hebben op de gezondheid van een individu. Bijvoorbeeld als a) blootstelling wordt voorkomen, en daarmee eventuele gezondheidsschade ten gevolge van de blootstelling (gezondheid in negatieve zin), terwijl b) het gebruik van de technologie tot minder welzijn leidt (bijvoorbeeld als het dragen van een sensor het werk hindert, zoals bij een deelnemer in de pilot Meten op de werkplek).[33] Verminderd welzijn kan ook invloed hebben op andere waarden, zoals productiviteit. In die zin zijn eventuele signalen van negatief welzijn als gevolg van (bijvoorbeeld) het dragen van sensoren ook vanuit bedrijfseconomisch oogpunt van belang. Zeker als dergelijke effecten zouden aanhouden en zich niet alleen op korte termijn voordoen (bijvoorbeeld in verband met de nodige gewenning en aanpassing van de manier van werken).

Als methoden om blootstelling te meten zijn omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring primair verbonden met een negatieve opvatting van gezondheid: de afwezigheid van (blootstellingsgerelateerde) ziekte. Door de technieken in te zetten om blootstelling (indirect) te beperken kan ook worden bijgedragen aan positieve gezondheid, bijvoorbeeld aan het vermogen van een individu om maatschappelijke activiteiten – zoals arbeid – te verrichten (sociologisch perspectief), of aan algeheel welbevinden (politiek).

Tekstbox 10: Omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring zijn primair verbonden met negatieve gezondheid

[33] NB: Dit zegt nog niets over de aanvaardbaarheid van de toepassing.

Preventie richt zich meestal op gezonde personen. Daardoor is er meestal geen 'hulpvraag', maar wordt preventie aangeboden, mogelijk zonder dat mensen daar zelf om vragen. Dit zou kunnen veranderen onder invloed van zelfmonitoring.

Preventie door beïnvloeding van onze leefstijl
Eén manier om preventie te bewerkstelligen is door het bevorderen van een gezonde leefstijl. Het gaat hierbij niet (alleen) om gedrag van werknemers op het werk, maar breder om hoe individuen zich gedragen, ook buiten het werk, en welke invloed dat heeft op hun gezondheid. De lichamelijke en geestelijke conditie en leefgewoonten van werknemers kunnen van invloed zijn op hun functioneren in het werk. In preventief medisch onderzoek wordt daarom onder andere gekeken naar riskante leefgewoonten. Dat betekent dat zaken die eerder als privé werden gezien nu een aandachtspunt zijn in de werksfeer. Deze verbreding heeft in zekere zin moreel gezien de weg vrijgemaakt voor de toepassing van technieken die over de grens van de werksfeer reiken, zoals biomonitoring. Het inzetten van biomonitoring versterkt en bestendigt deze verbreding, doordat automatisch inzicht wordt verkregen in de totale blootstelling, inclusief eventuele blootstelling buiten de werksituatie. Biomonitoring draagt, met andere woorden, bij aan de (verdere) normalisering van aandacht voor het privéleven van werknemers vanuit de werksfeer. Omgevingsmonitoring en sensoring in de privésfeer zouden dat effect ook kunnen hebben. Belangrijk verschil is dat biomonitoring dit effect door de aard van de techniek zelf heeft. Omgevingsmonitoring en sensoring zijn niet uit zichzelf domein-overstijgend. Er zou dus eerst een aparte beslissing moeten worden genomen om de technieken eventueel ook buiten de werksfeer te gebruiken. Zoals in de thuisomgeving, op sportvelden of in publieke ruimten.

Vormen van preventie die zijn gericht op het bevorderen van een gezonde leefstijl roepen specifieke ethische vragen op. Bijvoorbeeld:

- Activiteiten die de gezondheid bevorderen zijn voornamelijk gericht op beïnvloeding van persoonlijk gedrag. Individuen worden daarbij aangesproken op hun verantwoordelijkheid. De rol van de maatschappelijke context van gedrag en leefpatroon kan hierbij op de achtergrond raken. Dat heeft ook morele implicaties. Kortgezegd: gerichtheid op individueel gedrag kan bestaande politieke, economische en culturele verhoudingen legitimeren, waarbij het risico bestaat dat individuen worden aangepast aan een ongezonde structuur (Ten Have et al., 2009). Wat betreft de werkplek, kan het volgen van het STOP-principe helpen om dit risico tegen te gaan. Het STOP-principe houdt immers in dat eerst wordt gekeken naar mogelijkheden voor substitutie van gevaarlijke stoffen, dan naar technische maatregelen bij de bron, en pas dan naar organisatorische maatregelen en persoonlijke bescherming (waarbij gedrag van werknemers een rol speelt).
- Rationaliteit: verondersteld wordt dat betere kennis leidt tot beter handelen, dat iemand die weet wat goed is, op termijn ook het goede zal kiezen. In de praktijk blijkt dat mensen niet altijd rationeel handelen, bijvoorbeeld als ze tegen hun eigen overtuigingen in handelen. Ook dit kan morele consequenties krijgen. Als mensen weten wat gezond is en daar niet naar

handelen, hebben ze misschien een duwtje in de rug nodig. Dit roept de ethische vraag op: is het wenselijk of zelfs verplicht dat wij zo gezond mogelijk zijn, en wetenschappelijke kennis toepassen en onze leefstijl zo nodig aanpassen? En als mensen dat niet vanzelf doen, mogen anderen hen daar dan toe aanzetten? Weegt een mogelijke inbreuk op de autonomie op tegen de gezondheidswinst? (Ten Have et al., 2009)

2. Surveillance

Surveillance op de werkplek valt uiteen in twee brede groepen. Het kan gericht zijn op het in kaart brengen van trends in blootstelling aan schadelijke stoffen op de werkplek (*hazard surveillance*). En het kan gericht zijn op het volgen van de gezondheid van werknemers (*health surveillance*) (Koh en Aw, 2003). Omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring kunnen onderdeel zijn van surveillanceprogramma's op de werkplek, respectievelijk voor het monitoren van trends in blootstelling aan schadelijke stoffen (alle drie de technieken), en voor het in kaart brengen van eventuele schadelijke effecten van blootstelling (biologische effectmonitoring en gebruik van biomarkers voor gevoeligheid).[34]
Bij biomonitoring is het belangrijkste voordeel dat verwacht mag worden informatie over het blootstellingsniveau, of tekenen van vroege biologische effecten van blootstelling, dat als basis kan dienen voor (verdere) preventieve maatregelen. In de praktijk komt het minder vaak voor dat biomonitoring wordt ingezet om zicht te krijgen op een grotere gevoeligheid van werknemers om lage of beperkte blootstellingsniveaus te tolereren en effect te sorteren onder omstandigheden die anderszins als acceptabel worden gezien (Manno et al., 2014).

Bij gezondheidssurveillance zullen kwesties van weldoen en niet-schaden in veel gevallen betrekking hebben op één en dezelfde persoon. Verwachte voordelen en mogelijke schade voor de werknemer moeten altijd tegen elkaar worden afgewogen (Manno et al., 2014). Op basis van het principe van autonomie geldt dat de mogelijke voordelen en de mogelijke schade vanuit het perspectief van de direct betrokkene moeten worden beschreven.
Eén van de criteria voor gezondheidssurveillance is als het niet mogelijk is om blootstelling aan gevaarlijke stoffen verder te beperken, bijvoorbeeld wanneer de aanwezigheid van een gevaarlijke stof essentieel is voor of inherent is aan het werkproces en er geen alternatieven beschikbaar zijn. In dat geval kan sprake zijn van een moreel dilemma, namelijk bij het overwegen wat een essentieel onderdeel is van een industrieel proces, enerzijds, versus de mate van aanvaardbare risico's voor werknemers die blootgesteld (moeten) worden als onderdeel van hun werk (Koh en Aw, 2003).

3. Bronopsporing

Biomonitoring geeft inzicht in de daadwerkelijke totale blootstelling (voor zover meetbaar). Met biomonitoring alleen kan niet of moeilijk inzicht worden gekregen in bronnen van blootstelling. Als er blootstelling is geweest, zijn omgevingsmonitoring en/of sensoring nodig om te

[34] Omgevingsmonitoring en sensoring kan wel werken als *proxy* voor gezondheidssurveillance. Als metingen ruim onder de relevante grenswaarde blijven, is er ook minder aanleiding om op die effecten te controleren.

identificeren wat waarschijnlijke bronnen zijn, en of deze zich op de werkplek bevinden.

4. Onderzoek

Verschillende doelen brengen elk hun eigen ethische aspecten met zich mee. Bij *onderzoek* geldt bijvoorbeeld dat deelnemers daar zelf geen direct voordeel van hebben. De mogelijke voordelen, de mogelijke schade en de perceptie van beide hebben dan geen betrekking op hetzelfde individu.[35] Dat geldt bijvoorbeeld voor onderzoek naar nieuwe of niet-gevalideerde biomarkers, waarbij het voordeel voor de betrokken werknemer(s) niet zeker is of waarvan de betrokken werknemer(s) geen onmiddellijk voordeel heeft/hebben. Dat vereist een meer conservatieve risk-benefit analyse (Manno et al., 2014). Dat wil zeggen: aan de veilige kant gaan zitten, door rekening te houden met grotere schade en door terughoudend te zijn bij het inschatten van de mogelijke voordelen. Als individuen geen direct voordeel (kunnen) hebben van deelname, dan weegt de mogelijke schade aan het deelnemende individu zwaarder dan het mogelijke voordeel, dat in dit geval immers voordelen voor *anderen* betreft. Het niveau van risico dat wordt geaccepteerd is algemeen dan ook (veel) hoger bij het gebruik van gevalideerde biomarkers, dan bij nieuwe of ongevalideerde biomarkers, waarvan het voordeel (indien aanwezig) veel moeilijker te bepalen kan zijn (Manno et al., 2014).

Van doelen naar middelen

Morley et al. (2017) betogen dat altijd het minst ingrijpende middel moet worden gebruikt om de gestelde doelen te bereiken.[36] Dit principe van **subsidiariteit** is ook relevant voor de keuze tussen omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring. Centrale vragen op basis van het principe van subsidiariteit zijn:

- In welke opzichten kan een technologie ingrijpend zijn/als ingrijpend worden ervaren, en welke daarvan worden meegewogen?
- Hoe scoren de verschillende handelingsopties op deze punten? Hoe ingrijpend zijn ze in de relevante opzichten?

Het overzicht van voor- en nadelen uit hoofdstuk 2 kan hiervoor als input dienen. Zo zagen we dat vergeleken met omgevingsmonitoring en sensoring, sommige vormen van biomonitoring *invasief* zijn, zoals het afnemen van bloed, neusspoelingen en het afnemen van wangslijm. Bovendien worden bij biomonitoring medische data verkregen. Vanuit het oogpunt van informationele privacy en lichamelijke integriteit maakt dat biomonitoring bijvoorbeeld ingrijpender dan omgevingsmonitoring en sensoring. Op basis van het principe van subsidiariteit geldt algemeen dat minder ingrijpende opties in beginsel de voorkeur hebben boven opties die ingrijpender zijn. Omgevingsmonitoring en sensoring hebben op basis van dit principe daarom in beginsel de voorkeur boven biomonitoring. En bij biomonitoring hebben niet-invasieve opties (urine, uitgeademde lucht) daarom in beginsel de voorkeur boven invasieve opties (bloedafname, neusspoeling, wangslijm). Toch kan een keuze voor een invasieve optie gerechtvaardigd zijn, bijvoorbeeld als

[35] Zie CIOMS (2016) voor internationale ethische richtlijnen voor gezondheidsonderzoek met mensen.
[36] Zie Bijlage 3 voor het volledige beoordelingskader voor sensoring, zoals voorgesteld door Morley et al. (2017).

(mogelijke) blootstelling aan één of meerdere gevaarlijke stoffen alleen op die manier kan worden vastgesteld. Of als bepaalde arbodoelen (die zelf ook gerechtvaardigd zijn) alleen op die manier effectief kunnen worden bereikt. We zien hier dus dat de morele overwegingen (zoals effectiviteit en subsidiariteit) die gebruikt kunnen worden voor de beoordeling van technieken voor blootstellingsmetingen, met elkaar verbonden zijn, en altijd in samenhang moeten worden toegepast.

Bij het inventariseren van welke handelingsopties effectief kunnen bijdragen aan (bijvoorbeeld) het beperken van blootstelling op de werkplek is de volledige arbeidshygiënische strategie van belang. Volgens het STOP-principe (paragraaf 4.2.1) gaat substitutie vooraf aan technische oplossingen (bij de bron), en gaan deze weer vooraf aan organisatorische oplossingen en persoonlijke bescherming. Deze volgorde kan begrepen worden uit een combinatie van eerder besproken punten. Om te beginnen de verantwoordelijkheid van werkgevers om te zorgen voor een veilige en gezonde werkplek. Vanuit dat perspectief heeft blootstelling aan zo min mogelijk schadelijke stoffen de voorkeur. Substitutie kan daarbij helpen. Vanuit het perspectief van werknemers is ook te begrijpen waarom persoonlijke bescherming de laatste trede is in het STOP-principe: substitutie en technische oplossingen bij de bron zijn voor werknemers minder ingrijpend.

Schermer (2007) voegt hier aan toe dat de middelen die we gebruiken proportioneel moeten zijn. Dat wil zeggen: ze moeten in de ‘juiste’ verhouding staan tot het doel, en er moet een goede balans zijn tussen de goede en schadelijke effecten van ons handelen (Ten Have et al., 2009). Schermer vraagt daarbij ook aandacht voor onbedoelde effecten. Zo zou door beschikbaarheid van technologie ook de (sociale) norm kunnen veranderen van wat aanvaardbaar is. De marge van acceptabel gedrag kan veranderen naarmate het in principe mogelijk is om gedrag meer te reguleren. Ter illustratie: niemand is verplicht een beugel te dragen, maar vrijwel alle kinderen met scheve tanden krijgen er één. Welke sociale normen zijn verbonden aan technologieën als omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring, en kan het gebruik van deze technologieën invloed hebben op wat als aanvaardbaar wordt gezien (qua werksituaties en gedrag)? Wie maakt de uiteindelijke afweging (van doel, middel en onbedoelde effecten)? Is dat de persoon zelf? De werkgever? De verzekeraar? Iemand anders? Gezamenlijk? Een ander onbedoeld effect kan zijn dat er *normopvulling* optreedt. Dat zou kunnen optreden als metingen laten zien dat de blootstelling aan gevaarlijke stoffen onder de norm zit. De indruk zou kunnen ontstaan dat het geen kwaad kan om nog even langer door te werken, zolang de blootstelling maar onder de norm blijft. In dat geval zou niet alleen sprake zijn van een neveneffect, maar van een effect dat ingaat tegen een van de beoogde effecten van blootstellingsmetingen – reductie van blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de werkplek.

Collectieve doelen of bescherming van het individu?
Bij de beoordeling van monitoringsprogramma’s komen in de literatuur twee perspectieven naar voren: het bevorderen van maatschappelijke doelen (Morley et al., 2017) en de bescherming van het individu (Manno

et al. 2014).[37] Bescherming van het individu wordt vaak uitgewerkt in termen van twee algemene waarden: weldoen en niet-schaden. Deze principes betekenen in deze context kortgezegd dat een test ten goede moet komen van de werknemer en geen (significant) negatief effect mag hebben[38] (Manno et al., 2014). Bij maatschappelijke of collectieve doelen kunnen we bijvoorbeeld denken aan het belang van een duurzaam (en betaalbaar) pensioenstelsel, wat een stimulans kan zijn om werknemers zo lang mogelijk gezond en productief te houden. Op iets kleinere schaal kunnen we denken aan bescherming van de *groep* werknemers, als collectief doel van blootstellingsmaatregelen.
Het laatste voorbeeld geeft aan dat maatschappelijke/collectieve doelen en de bescherming van het individu elkaar niet noodzakelijk uitsluiten. Als werknemers als groep tegen blootstelling worden beschermd, kunnen leden van de groep daar bijvoorbeeld ook van profiteren. Het relevante punt is hier dat *als* verschillende waarden en doelen met elkaar botsen, de twee perspectieven een ander antwoord kunnen geven op de vraag welke trade-offs aanvaardbaar of proportioneel zijn.[39]
Vanuit een collectivistisch perspectief kunnen eventuele negatieve effecten voor een werknemer (gezondheid, welzijn, privacy, et cetera) bijvoorbeeld minder zwaar wegen dan vanuit een individualistisch perspectief. Dit onderstreept het belang om doelen van monitoringsprogramma's vooraf expliciet te maken.

Prioritering
Bij het overwegen van specifieke vormen om blootstelling te meten en/of tegen te gaan spelen om te beginnen schaarste en *prioritering* een rol. Je kunt je geld immers maar één keer uitgeven. Prioritering is ook moreel gezien relevant. In theorie is het bijvoorbeeld denkbaar dat een keuze gemaakt moet worden tussen investeren in biomonitoring (dat een indirecte bijdrage kan leveren aan preventie) en investeren in maatregelen die de blootstelling verminderen, zoals puntafzuiging. Reflectie op onderliggende waarden kan behulpzaam zijn bij het maken van dergelijke keuzes. Daardoor *kunnen* spanningen tussen waarden optreden. Zo zagen we eerder dat het een belangrijk voordeel is voor werkgevers als via biomonitoring in een keer de mogelijke blootstelling aan meerdere stoffen kan worden bepaald. Als omgevingsmonitoring, biomonitoring en/of sensoring aan de orde zijn, speelt opnieuw de vraag wat prioriteit krijgt. Op welke stoffen richten we ons? Waarom deze stoffen, en niet andere? Hoe en door wie wordt dat bepaald?

Keuzes in de werksfeer wat betreft welke technieken worden ingezet om blootstelling te meten hebben invloed op welke afwegingen van waarden uiteindelijk aan de orde zijn in concrete arbeidsomstandigheden. Maar de mogelijke invloed op welke waardenafwegingen in de werksfeer aan

[37] Genoemde auteurs betrekken hun perspectief op respectievelijk sensoring (maatschappelijke doelen) en biomonitoring (bescherming individu). Er is echter geen reden om op voorhand een specifiek perspectief te beperken tot een specifieke toepassing: de perspectieven kunnen zowel bij omgevingsmonitoring als bij biomonitoring en sensoring worden toegepast.
[38] Een centrale vraag daarbij is welke vormen van schade bij de afweging moeten worden meegenomen. Zie bijvoorbeeld Holtug (2002) voor een handzaam overzicht van verschillende manieren waarop 'schade' kan worden geïnterpreteerd. Holtug bespreekt deze opvattingen in het kader van een evaluatie van het zogeheten 'schadebeginsel', het principe dat globaal inhoudt dat de overheid de vrijheid van individuen mag beperken om schade aan derden te voorkomen.
[39] Voor mogelijke spanningen tussen individuele en collectieve overwegingen zie bijvoorbeeld HSE (2001).

de orde zijn, begint al eerder. Het raakt bijvoorbeeld aan de vraag in welke technologieën om te beginnen wordt geïnvesteerd, en aan de prioritering in de verdeling van budget voor onderzoeksprogramma's. Ter illustratie: als vooral financiering zou worden vrijgemaakt voor onderzoek naar invasieve technieken voor biomonitoring, dan kan dat als gevolg hebben dat in concrete werkomstandigheden vaker afwegingen moeten worden gemaakt tussen lichamelijke integriteit, enerzijds, en veiligheid en gezondheid anderzijds. En grotere afwegingen tussen informationele privacy, enerzijds (biomonitoring betreft medische data), en veiligheid en gezondheid, anderzijds.

Deze invalshoek (welke factoren zijn van invloed op welke waarden in concrete omstandigheden tegen elkaar moeten worden afgewogen?) kan ook bijdragen aan handelingsperspectief wat betreft hoe in de praktijk wordt omgegaan met het toepassen van criteria voor de beoordeling van technologieën voor blootstellingsmeting. Neem het principe van subsidiariteit (zie boven), op basis waarvan minder ingrijpende middelen in beginsel de voorkeur hebben boven middelen die meer ingrijpend zijn. Bij de toepassing van dat criterium zijn er verschillende opties. Een optie is om de beschikbare technologieën als uitgangspunt te nemen, en daaruit de minst ingrijpende middelen te kiezen die in specifieke arbeidsomstandigheden effectief inzicht kunnen geven in (mogelijke) blootstelling aan gevaarlijke stoffen. In dat geval ligt de nadruk op *zorgvuldigheid*[40], waarbij de technologieën als gegeven worden genomen.

Je kunt alleen blootstelling meten met technologieën die er al zijn. Als in specifieke situaties keuzes gemaakt moeten worden over hoe om te gaan met mogelijke blootstelling op de werkplek, zal dus een keuze gemaakt moeten worden tussen technologieën die op dat moment voorhanden zijn. Het perspectief van *wenselijkheid* biedt aanvullend handelingsperspectief. Een algemene vraag zou kunnen zijn: wat vinden betrokken partijen van de afwegingen tussen waarden die in de praktijk gemaakt moeten worden bij de keuze tussen verschillende technische mogelijkheden om blootstelling te meten? Afhankelijk van hoe dat oordeel uitpakt (positief of negatief), kan deze vraag aanleiding geven om te onderzoeken welke mogelijkheden er zijn om *eerder* in het proces – dus voordat specifieke technieken zich als keuzeopties aandienen om blootstelling op de werkplek te meten – aandacht te besteden aan hoe bevorderd kan worden dat belangrijke waarden *samen kunnen gaan* in de ontwikkeling van technieken voor blootstellingsmeting.[41] Als dat lukt, dan verkleint dit mogelijk de noodzaak om deze waarden bij de *toepassing* van de technologie tegen elkaar af te wegen.
Het perspectief van *wenselijkheid* sluit nauw aan bij ontwikkelingen in het bedrijfsleven, zoals de toenemende aandacht voor Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen (MVO)[42], en bij ontwikkelingen in de financiering van onderzoek, zoals het programma Maatschappelijk Verantwoord Innoveren van NWO, en *Responsible Research and*

[40] Zie paragraaf 4.2.2.
[41] Zie ook paragraaf 4.2.3.2 voor een korte bespreking van *Value Sensitive Design*.
[42] Zie bijvoorbeeld MVO Nederland: https://mvonederland.nl/wat-mvo/wat-is-mvo.

Innovation (RRI), een belangrijk element in de financiering van onderzoek vanuit de Europese Commissie.[43]

4.3.1.2 Opzet en planning

De opzet van een programma voor omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring heeft inhoudelijke, administratieve en praktische kanten. De administratieve kant heeft betrekking op het schriftelijk vastleggen van hoe het programma in elkaar zit, zoals:

- Wat de beoogde doelen/de centrale vragen zijn (deze moeten helder en begrijpelijk zijn).
- Wat de beoogde doelgroep van het programma is.
- Of, en zo ja, welke voordelen deelnemers van deelname mogen verwachten en wat mogelijke risico's zijn van deelname.
- Wat de beoogde methodiek is, bijvoorbeeld de methodiek voor blootstellingsmeting.
- Onder welke voorwaarden deelnemers meedoen (vrijwillig of verplicht).
- Indien deelname vrijwillig is, hoe de toestemmingsprocedure in elkaar zit (mondelinge of schriftelijke toestemming), en waar precies toestemming voor wordt gevraagd.
- Hoe deelnemers worden voorgelicht over het programma (mondeling, schriftelijk, of beide).
- Waarover deelnemers worden voorgelicht (doel van het programma, hun rol en rechten).
- Bij wie deelnemers terecht kunnen mochten zij aanvullende vragen of opmerkingen hebben.
- Of, en zo ja, welke gegevens worden verzameld en welke monsters worden genomen, en hoe de vertrouwelijkheid wordt geborgd (bijvoorbeeld door de gegevens te coderen, zodat ze niet rechtstreeks tot individuen te herleiden zijn).
- Bij codering van gegevens en monsters: door wie, waar en hoe de codering plaatsvindt hoe de codes in een archief worden bewaard, hoe lang de lijst met codes moet worden bewaard en wie verantwoordelijk is voor de vernietiging.
- Of monsters bewaard kunnen blijven voor nader onderzoek, hoe lang, voor welk onderzoek, en wie verantwoordelijk is voor de vernietiging.
- Wie bij het programma betrokken zijn, wat hun rol is en welke verantwoordelijkheden zij hebben.
- Welke uitkomsten van het onderzoek naar wie gecommuniceerd zullen worden en met welk doel (individuele resultaten, groepsrapportage).
- Welke consequenties de verkregen inzichten kunnen hebben (bijvoorbeeld in termen van preventieve acties).

Om kort te gaan, moeten in de opzet zo precies mogelijk alle facetten van het programma worden beschreven. Dat betekent ook dat over ethische aspecten die samenhangen met een programma voor omgevingsmonitoring, biomonitoring of sensoring, inhoudelijke morele

[43] Voor NWO-MVI, zie: https://www.nwo.nl/onderzoek-en-resultaten/programmas/maatschappelijk+verantwoord+innoveren. Voor RRI in de financiering vanuit de Europese Commissie, zie: https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/responsible-research-innovation.

keuzes worden gemaakt. Ten minste impliciet, soms expliciet. Zo heeft de Autoriteit Persoonsgegevens in het kader van de nieuwe Europese privacywet een tienstappenplan gemaakt[44], waaraan moet worden voldaan bij het gebruik van privacygevoelige informatie.[45] Werknemers zullen vooraf aan het biomonitoringsonderzoek moeten worden voorgelicht, zowel mondeling als op schrift, waarna ze een formulier voor geïnformeerde toestemming dienen te ondertekenen. In de voorlichting moet zijn opgenomen het doel van het onderzoek, hun rol in de studie, hun rechten (waaronder het recht zich te allen tijde terug te trekken uit het onderzoek, en te allen tijde hun resultaten in te zien en te laten verwijderen, en het recht op dataportabiliteit[46]). Daarnaast dienen de monsters in verband met de vertrouwelijkheid van de gegevens gecodeerd te worden. Op deze manier kunnen eventuele analyses ten behoeve van onderzoek blind worden uitgevoerd. Er moet worden aangegeven door wie, waar en hoe de monsters worden gecodeerd en hoe de codes in een archief worden bewaard. Ook moet worden vastgelegd met wie de data worden gedeeld, met welk doel, en hoe lang de lijst met codes moet worden bewaard, en wie verantwoordelijk is voor de vernietiging hiervan.
Indien het doel van de biomonitoring is het uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek, dan zal het onderzoeksprotocol langs een ethische commissie moeten. In die gevallen moet altijd ook een beschrijving worden gegeven van ethische aspecten, en hoe daarmee om wordt gegaan. Ook zal moeten worden nagegaan of de monsters kunnen worden bewaard ten behoeve van toekomstig onderzoek, en hoelang (Scheepers, 2009). Overwogen kan worden om ook in andere gevallen in de opzet van programma's steeds expliciet aandacht te besteden aan ethische aspecten.
Indien biomonitoring wordt uitgevoerd in het kader van een periodiek arbeidsgezondheidskundig onderzoek (PAGO), dan dient de bedrijfsarts een onderzoeksopzet te maken en deze voor te leggen aan de personeelsvertegenwoordiging (PVT) of ondernemingsraad (OR). De PVT en OR hebben instemmingsrecht. Bij het opzetten van de onderzoeksopzet zal de bedrijfsarts samen moeten werken met de arbeidshygiënist, omdat hij/zij inzicht heeft in de blootstelling van de verschillende groepen werknemers.

Frequentie heeft ethische implicaties
Planning heeft betrekking op de vraag wanneer omgevingsmonitoring, biomonitoring en/of sensoring worden ingezet, en hoe vaak. We zagen eerder al dat de technieken elk hun eigen eisen stellen aan wat er nodig is om werknemers te bemonsteren (paragraaf 2.2-2.3). Dat brengt ook

[44] https://autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/onderwerpen/voorbereiding-avg#stap-1-bewustwording-5890
[45] Sinds 25 mei 2018 geldt de Algemene verordening gegevensbescherming (AVG) (Eng.: *General Data Protection Regulation*, GDPR). De AVG zorgt onder meer voor versterking en uitbreiding van privacyrechten en meer verantwoordelijkheden voor organisaties. Zo hebben organisaties een verantwoordingsplicht om aan te tonen dat zij zich bij de verwerking van persoonsgegevens aan de wet houden. Met documenten moeten zij kunnen aantonen dat zij de juiste organisatorische en technische maatregelen hebben genomen om aan de AVG te voldoen. Organisaties moeten bijvoorbeeld bewijzen dat zij geldige toestemming hebben verkregen voor de verwerking van persoonsgegevens. Organisaties kunnen verplicht zijn om een *Data protection impact assessment* (DPIA) uit te voeren, en om een functionaris voor de gegevensbescherming (FG) aan te stellen. Bron: https://autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/onderwerpen/avg-nieuwe-europese-privacywetgeving/algemene-informatie-avg Welke implicaties de AVG *precies* heeft voor de omgang met data uit blootstellingsmetingen, valt buiten het bereik van dit rapport.
[46] https://autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/onderwerpen/avg-europese-privacywetgeving/rechten-van-betrokkenen

mogelijke verschillen met zich mee wat betreft hoe vaak de technieken ingezet kunnen worden. Hoewel biomonitoring in beginsel vaak kan worden ingezet, brengt de techniek (in de huidige vorm) met zich mee dat de normale werkzaamheden moeten worden onderbroken om werknemers te kunnen bemonsteren.[47] Dat geldt ook voor omgevingsmonitoring en sensoring. Voor de pilot 'Meten op de werkplek' moesten deelnemers bijvoorbeeld een vest aangemeten krijgen waarin een geluidsensor, een UV-sensor en een fijnstofsensor waren geïntegreerd.[48] Verschil met (huidige vormen van) biomonitoring op de werkplek is dat omgevingsmonitoring en sensoring technisch gezien ingezet zouden kunnen worden voor *continue* monitoring.

Hoe vaak de technieken worden ingezet, heeft ook ethische implicaties, naast een mogelijke positieve bijdrage aan een veilige en gezonde werkplek (wat betreft het voorkomen van gezondheidsschade door blootstelling aan gevaarlijke stoffen). Continue monitoring kan bijvoorbeeld invloed hebben op het welzijn van werknemers (het voortdurend worden bekeken), op het werkgemak (als omgevingsmonitoring en sensoring het nodig maken om de manier van werken iets aan te passen, of een bepaalde mate van ongemak meebrengen), op de productiviteit van werknemers (als gevolg van de vorige punten). Het kan ook invloed hebben op de privacy van werknemers: hij of zij wordt immers continu gemeten. En als de apparatuur direct uitleesbaar is, ook voor anderen. Dergelijke effecten zullen minder vaak optreden naarmate omgevingsmonitoring en sensoring minder vaak worden ingezet (en als apparatuur niet direct uitleesbaar is, of wel direct uitleesbaar maar niet zichtbaar voor anderen). Als met camera's wordt gewerkt, kan dit ook invloed hebben op de privacy van andere werknemers. Morley et al. (2017) pleiten er daarom voor dat bij het gebruik van camera's andere werknemers in de gelegenheid worden gesteld om buiten het opnamegebied te werken.

Ook bij biomonitoring heeft de frequentie ethische implicaties. Immers, naarmate vaker wordt gemeten in lichaamsmateriaal, kunnen gezondheidsrisico's optreden (bij bloedafname), en zijn er mogelijke grotere risico's voor de privacy van de werknemer (er wordt meer data verzameld, en meer lichaamsmateriaal opgeslagen). Het punt is: dergelijke effecten zijn van invloed op de balans tussen de te verwachten voordelen van deelname voor een werknemer, en de mogelijke nadelen (voor de werknemer, maar mogelijk ook voor de werkgever, als inzet van de technieken effect heeft op de productiviteit). En daarmee zijn ze van invloed op de rechtvaardiging van het programma. Een voorwaarde is immers dat de balans positief uitpakt voor de werknemer. Bij het bepalen van de frequentie is het daarom raadzaam om na te gaan hoe de frequentie van invloed is op de balans tussen de voordelen en mogelijke nadelen voor werknemers. Op basis van het principe van subsidiariteit

[47] Dat geldt vooral voor bloedafname. Daarvoor moet een planning worden gemaakt, en komen werknemers 1 voor 1 naar de doktersassistente voor bloedafname. Het nemen van urinemonsters heeft minder impact op de planning. Werknemers krijgen een potje waarin ze urine verzamelen aan het begin en/of het einde van de werkdag/-week, en leveren dat in.

[48] Het omhangen van meetapparatuur wordt in werktijd gedaan, en vraagt veel coördinatie met de afdelingsleiding in verband met de stoffen die zullen worden behandeld, vooral bij batch-gewijze processen. Dat is een grote uitdaging die er vaker toe leidt dat er niet gemeten kan worden omdat de te meten stof die dag niet wordt gebruikt.

geldt dat investeren in blootstellingsarme technieken en beperkt hiervan de effectiviteit monitoren in beginsel de voorkeur heeft boven frequent meten. Uiteraard geldt daarbij dat ook een lage frequentie kan resulteren in een onbalans tussen voordelen en mogelijke nadelen van een monitoringsprogramma.

4.3.1.2.1 Wetenschappelijke methode

Voorspellende waarde

De voorspellende waarde kan per toepassing verschillen. Zo geldt voor *omgevingsmonitoring* dat persoonlijke metingen (waarbij de werknemer meetapparatuur op zijn of haar lichaam draagt en in de ademzone wordt gemeten) preciezere informatie geven dan semi-persoonlijke metingen (waarbij de werknemer de apparatuur niet op zijn/haar lichaam draagt, en de lucht in de buurt van de ademzone van de persoon wordt bemonsterd). Metingen in de ademzone is de standaard.
Semi-persoonlijke metingen *benaderen* persoonlijke metingen (paragraaf 2.1.1). Hierdoor kan het nodig zijn om verschillende waarden tegen elkaar af te wegen. Stel, dat het dragen van apparatuur (persoonlijke meting) invloed heeft op het welzijn van de werknemer (minder gebruiksgemak en bewegingsvrijheid). Stel dat semi-persoonlijke meting dit effect niet heeft. Dan ontstaat als het ware een dilemma. De ene optie levert preciezere informatie, maar beïnvloedt het welzijn van een werknemer (persoonlijke meting). De andere optie heeft dat effect op het welzijn van een werknemer niet, maar levert minder precieze informatie op. Welke optie de voorkeur heeft, hangt dan onder andere af van:

- de vraag of de voorspellende waarde van de semi-persoonlijke meting groot genoeg wordt geacht (om de waarde gezondheid afdoende te beschermen);
- hoe de invloed van het gebruik van specifieke meetmethoden op andere waarden (zoals privacy en welzijn) wordt gewogen.

Welk effect het gebruik van een meetmethode precies heeft op een werknemer, zal in een bepaalde mate afhankelijk zijn van de persoon in kwestie. Dat brengt twee ethische aspecten met zich mee. Ten eerste, het belang van aandacht voor de individuele werknemer, voor wie de balans van voordelen en mogelijke nadelen immers positief moet uitpakken. Ten tweede, de mate waarin de technologie flexibel genoeg is om rekening te kunnen houden met persoonlijke wensen en voorkeuren. Bijvoorbeeld wat er nodig is om de technologie gemakkelijk op het lichaam te kunnen dragen.[49]

Manno et al. (2014) betogen ten aanzien van *biomonitoring* dat hoe meer onzeker de toxicologische relevantie en validiteit van een biomarker zijn, hoe strikter de ethische beoordeling en randvoorwaarden moeten zijn. Dat valt te begrijpen vanuit de gedachte dat de balans van voor- en nadelen voor een werknemer positief moet zijn. Immers: hoe onzekerder ook de mogelijke voordelen van de toepassing zijn voor de werknemer. Het punt geldt dan ook algemener, en is ook van toepassing op hoe sterk de voorspellende waarde is van omgevingsmonitoring en sensoring. Voor biomonitoring betekent dit dat standaard procedures met gevalideerde biomarkers en die geen gezondheidsrisico voor

[49] Zie ook paragraaf 4.2.3.2 voor een korte bespreking van *Value Sensitive Design*.

werknemers meebrengen, in de regel niet hoeven te worden goedgekeurd door een onafhankelijke interne of externe ethische raad. Dat is anders bij epidemiologisch onderzoek met behulp van biomarkers en bij onderzoeksprojecten gericht op het testen of ontwikkelen van nieuwe biomarkers (Manno et al., 2014). In die gevallen is beoordeling nodig door een onafhankelijke ethische raad (Ten Have et al., 2009). Tekstbox 11 laat aan de hand van een hypothetisch voorbeeld zien hoe de mate van sensitiviteit en specificiteit van een biomarker de ethische aanvaardbaarheid kunnen beïnvloeden.

De voorspellende waarde van een biomarker is vermoedelijk de belangrijkste factor bij het plannen van een biomonitoringsprogramma. Dit hangt af van de specificiteit en de sensitiviteit van een biomarker, maar ook van de prevalentie van een ziekte/ gezondheidseffect die een biomarker zou moeten vaststellen. Dat kan het verschil maken tussen een ethisch aanvaardbaar en een ethisch onaanvaardbaar onderzoek. Een hypothetisch voorbeeld kan dit illustreren.
Een sensitiviteit van 80% (20% vals negatief) en een specificiteit van 98% (2% vals positief) levert bij een prevalentie van een ziekte van 50% een cost-benefit verhouding op van 1:40. Bij een prevalentie van een ziekte van 1% is de cost-benefit ratio 2:1. Het eerste onderzoek zal door de bank genomen ethisch aanvaardbaar worden geacht, het tweede onderzoek niet. Het is niet op voorhand en in algemene zin mogelijk om aan te geven waar het omslagpunt zit tussen een ethisch aanvaardbaar en een ethisch onaanvaardbaar programma (Manno et al., 2014).

Tekstbox 11: De invloed van specificiteit en sensitiviteit op ethische aanvaardbaarheid

Omgaan met onzekerheid vraagt om morele keuzes
Bij de omgang met onzekerheden, bijvoorbeeld over de voorspellende waarde, komen verschillende ethische keuzes kijken. In een eerder hoofdstuk zagen we al dat om het gezondheidsrisico van een stof te beoordelen, een dosis-respons curve van de biomarker nodig is van de stof waarvoor die biomarker is gekozen. Op basis van deze dosis-respons curve wordt vervolgens een biologische grenswaarde afgeleid. De dosis-respons curves zijn vaak mede gebaseerd op dierexperimenteel onderzoek, waarbij relatief hoge blootstellingen zijn toegepast.[50] Vaak ontbreekt de relatie tussen de dosis en de respons bij lage blootstellingen; blootstellingen die relevant zijn voor de mens. Daarom worden statistische technieken toegepast om met gebruikmaking van alle beschikbare data toch een biologische grenswaarde af te leiden. Dit punt geldt breder: de hele risicobeoordeling en alles wat daaruit volgt is (vaak mede) gebaseerd op dierexperimenteel onderzoek. Daarbij worden uit voorzorg allerlei onzekerheidsfactoren toegepast, om rekening te houden met de kans dat de mens toch gevoeliger is dan een dier. Dat omvat een afweging, namelijk dat wordt geaccepteerd dat mogelijk niet de juiste soort wordt

[50] Bij voldoende data wordt uitgegaan van epidemiologisch onderzoek.

getest[51], maar het toch toepasbaar wordt geacht tenzij anders wordt aangetoond. Doel is vaak om een beschermende waarde af te leiden.

Bovenstaand voorbeeld ging over de ethische implicaties van een *afnemende* voorspellende waarde. Een *toename* van sensitiviteit van meetmethoden kan ook ethische implicaties hebben. Door ontwikkelingen in de analytische chemie kunnen chemicaliën of hun metabolieten in vrijwel elke biologische sample worden vastgesteld. De toename van sensitiviteit heeft voordelen doordat stoffen in veel lagere concentraties kunnen worden aangetoond, maar kan ook een negatieve impact hebben op de perceptie van risico's. Daarbij kan de aanwezigheid van chemicaliën in lichaamsvloeistoffen soms als schadelijk worden gezien, los van de concentratie of dosis (Manno et al., 2014).

Verschillen in beschermende waarde
Naast aandacht voor voorspellende waarde, is ook de *beschermende* waarde relevant. Grenswaarden liggen niet alleen op een bepaalde hoogte, deze grenzen worden getrokken. Hoe hoog de grens ligt waarboven preventieve actie moet worden ondernomen, is een morele en politieke keuze. Voor de meeste stoffen zijn er geen wettelijke grenswaarden voor werknemers.[52] Voor lood is er naast een wettelijke grenswaarde van 0,15 mg/m^3 lucht als gemiddelde over een achturige werkdag, een biologische grenswaarde afgeleid. Deze bedraagt 70 microgram per 100 ml bloed (artikel 4.19a Arbeidsomstandighedenregeling). SCOEL adviseert een maximale lood-in-bloedconcentratie van 30 microgram/100 ml bloed, en tekent daarbij aan dat deze waarde niet geheel beschermend is voor vrouwen in de vruchtbare leeftijd (SCOEL 2002/SUM/83). Om deze reden hebben veel bedrijven een bedrijfsgrenswaarde vastgesteld die lager is dan de wettelijke grenswaarde,[53] en wordt extra aandacht besteed aan vrouwen in de vruchtbare leeftijd die mogelijk aan lood en loodverbindingen worden blootgesteld. Hier spelen dus enkele aanvullende waarden een rol. Allereerst de reproductieve autonomie van een vrouwelijke werknemer, die in deze context bijvoorbeeld betrekking heeft op de beschikbaarheid van voldoende informatie om bewuste keuzes te kunnen maken ten aanzien van een eventuele zwangerschap. Verder gaan ook de belangen van het ongeboren kind een rol spelen, inclusief het recht op een open toekomst.[54] Als een ongeboren kind risico loopt om onherstelbare ernstige schade op te lopen door blootstelling aan een gevaarlijke stof, dan zou dat recht in het geding kunnen komen. Op dit punt kan voor vrouwelijke werknemers een moreel dilemma optreden. Enerzijds kunnen werkgevers aanvullende preventieve maatregelen nemen als zij op de hoogte zijn van een (wens tot) zwangerschap. Anderzijds kan het melden van een (wens tot) zwangerschap (onbewust) mee gaan wegen in beslissingen over de dienstbetrekking, bijvoorbeeld als sprake is van een tijdelijk contract. Met het vaststellen van een bedrijfsgrenswaarde die lager ligt dan de wettelijke grenswaarde nemen bedrijven een extra morele

[51] Testen op mensen brengt uiteraard weer eigen morele aspecten met zich mee. Deze worden in de praktijk onder andere afgewogen tegen het welzijn van (proef)dieren.
[52] Door monitoring en sensoring kan blijken dat een gezondheidskundige grenswaarde haalbaar is.
[53] Zie Textbox 3 in paragraaf 2.2.
[54] Een ethisch aspect bij reprotoxische stoffen is het voorkomen van effecten bij volgende generaties.

verantwoordelijkheid op zich, bovenop waar zij zich wettelijk aan moeten houden.

Bij het bestaan van verschillende (grens)waarden rond dezelfde stof is denkbaar dat in de praktijk verschillen ontstaan wat betreft het beschermingsniveau dat aan werknemers wordt geboden, bijvoorbeeld als verschillende bedrijven verschillende waarden hanteren. Als in alle gevallen ten minste aan de wettelijke grenswaarde wordt voldaan, zal geen sprake zijn van rechtsongelijkheid: alle werknemers wordt immers ten minste de bescherming geboden die wettelijk is vereist. Vanuit moreel oogpunt kan verschillend worden gedacht over het optreden van verschillen in het beschermingsniveau bovenop de wettelijke norm. Eén perspectief is om eventuele bescherming die wordt geboden bovenop het voldoen aan de wettelijke norm te zien als 'prijzenswaardig maar niet vereist' (ook moreel niet).[55] Vanuit een ander perspectief zou de vraag kunnen worden gesteld in hoeverre (grote) verschillen in het niveau van bescherming rechtvaardig zijn. Bij de *afwezigheid* van een wettelijke grenswaarde komt deze laatste vraag pregnanter naar voren. Bij het bestaan van verschillende publieke grenswaarden (zoals bij lood-in-bloed) rijst voor bedrijven in elk geval de vraag welke als uitgangspunt of als richtsnoer te nemen.[56]

Validatie
Beoordeling van de validiteit (sensitiviteit, specificiteit) kan verschillende directe en indirecte ethische implicaties hebben.
Voor biomarkers geldt algemeen:

- biomarkers voor blootstelling zijn makkelijker te valideren dan biomarkers voor gezondheidseffecten of voor gevoeligheid (vanwege een hogere sensitiviteit en specificiteit);
- hoe meer gevalideerd een biomarker is, hoe groter het voordeel en de ethische aanvaardbaarheid;
- hoe groter de onzekerheid wat betreft de relevantie, sensitiviteit en specificiteit van een biomarker, hoe voorzichtiger de toepassing moet zijn, en hoe strikter de ethische beoordeling moet zijn (Manno et al., 2014).

Deze overwegingen zijn ook relevant voor sensoring op de werkplek. Gebruik van sensoren zit veelal nog in de validatiefase (paragraaf 2.3). Dat geldt ook voor de sensoren die zijn gebruikt in het pilotproject 'Meten op de werkplek' van het RIVM in samenwerking met TNO (zie Tekstbox 9).

Voor de validatie van modellen voor het schatten van de blootstelling aan gevaarlijke stoffen wordt gebruik gemaakt van blootstellingsmetingen, met behulp waarvan de modellen verder worden geoptimaliseerd. Omdat het gebruik van modellen veel goedkoper en sneller is dan het uitvoeren van blootstellingsmetingen, wordt deze methode in de praktijk het meest toegepast. Daarbij wordt een afweging gemaakt tussen kosten en de waarde gezondheid. Afhankelijk van de voorspellende waarde van de modellen (en de expertise van de gebruiker om het model te gebruiken),

[55] Handelingen die prijzenswaardig zijn maar niet vereist zijn, staan in de ethiek bekend als 'supererogatoir'.
[56] Bij carcinogenen zijn werkgevers verplicht om *steeds* naar verlaging van blootstelling te streven, ook als de blootstelling beneden de grenswaarde ligt (art. 4.17-4.18 Arbeidsomstandighedenbesluit).

kan dit van invloed zijn op de balans tussen de voordelen en mogelijke nadelen voor de werknemer. Dat hoeft uiteraard niet te betekenen dat de balans daarmee scheef wordt. Het punt is (steeds): welke afweging van waarden wordt gemaakt, en hoe staan betrokken partijen daar tegenover?

4.3.2 *Fase 2: Het verzamelen, opslaan en analyseren van samples*

Centrale vragen ten aanzien van deze fase zijn: welke samples worden verzameld, onder welke voorwaarden, hoe(lang) kunnen de samples worden bewaard, en voor welke doeleinden?

Nederland heeft zich sterk gericht op omgevingsmonitoring, en minder op biomonitoring. Het principe uit de arbeidsomstandighedenwetgeving dat men blootstelling aan gevaarlijke stoffen wil voorkomen, heeft geleid tot een voorkeur om blootstelling *buiten* het lichaam te meten. Dat kan ook worden begrepen vanuit het principe van subsidiariteit; het principe om in beginsel altijd het minst ingrijpende middel te kiezen om een doel te bereiken (paragraaf 4.3.1.1). Immers: sommige vormen van bemonstering ten behoeve van biomonitoring zijn invasief, en kunnen (beperkte) gezondheidsrisico's voor werknemers met zich mee brengen. Zo bestaat bij bloedafname altijd het risico om een infectie op te lopen (of te verspreiden). Op basis van het principe van subsidiariteit hebben niet-invasieve vormen van bemonstering in beginsel de voorkeur, en minder invasieve middelen (bijvoorbeeld de vingerprik voor bloedafname) in beginsel de voorkeur boven technieken die invasiever zijn (zoals reguliere bloedafname). Ook de aard van de samples kan een rol spelen bij de gerichtheid op specifieke methoden om blootstelling te meten. Bij biomonitoring betreft de sample immers lichaamsmateriaal, en welke gevaarlijke stoffen in het lichaam(smateriaal) van de werknemer kunnen worden aangetoond. Bij omgevingsmonitoring en sensoring betreft het samples uit de nabije omgeving van de werknemer.
Als leefstijl of gedrag de metingen kan beïnvloeden[57] dan kunnen instructies worden gegeven voor wat een werknemer beter wel en niet kan doen. Bijvoorbeeld niet eten tussen een bepaalde tijd en het moment van bloedafname.

4.3.2.1 Welke samples?

Bij het bepalen van welke samples worden verzameld kunnen verschillende waarden een rol spelen. Naast de vraag welke type sample het beste inzicht geeft in mogelijke blootstelling (waarde: gezondheid), kan bijvoorbeeld welzijn een rol spelen. Zo kunnen neusspoelingen of het dragen van sensoren als onprettig worden ervaren. Net als eerder geldt ook hier dat eventuele effecten op het welzijn van werknemers per persoon kunnen verschillen. Steeds is de vraag: hoe pakt de balans voor voordelen en mogelijke nadelen concreet uit, en welke mogelijkheden zijn er om deze balans zo gunstig mogelijk te laten uitvallen?

[57] Zoals bij bepaling van blootstelling in bloed, bij het gebruik van sensoren en bij de conventionele manier van omgevingsmonitoring.

4.3.2.2 Selectie van deelnemers

Zowel bij omgevingsmonitoring, als bij biomonitoring en sensoring worden meestal niet alle werknemers bemonsterd. Bij *omgevingsmonitoring* worden werknemers ingedeeld in groepen met vergelijkbare blootstelling, waarna wordt bepaald hoeveel monsters binnen die groep genomen moeten worden om conclusies op groepsniveau te kunnen trekken. Bij *biomonitoring* kunnen in principe alle blootgestelde werknemers in de gelegenheid worden gesteld om deel te nemen aan het onderzoek. Of alle werknemers worden bemonsterd, is afhankelijk van de keuze van betrokken werknemers. *Sensoring* kan worden aangeboden aan alle werknemers, maar er kan ook voor worden gekozen om werknemers in te delen in groepen met vergelijkbare blootstelling, en hieruit een steekproef te nemen. Hieronder komen enkele ethische aspecten aan bod rond de selectie van deelnemers.

4.3.2.3 Deelname: onder welke voorwaarden?

Er is een belangrijk verschil tussen omgevingsmonitoring, enerzijds, en biomonitoring en sensoring, anderzijds. Bij *omgevingsmonitoring* zijn werknemers die worden benaderd, verplicht om deel te nemen. Daardoor worden automatisch gegevens verkregen per blootstellingsgroep. *Biomonitoring* kan worden aangeboden aan alle werknemers, maar zij zijn niet verplicht om deel te nemen. Ook bij sensoring op de werkplek is deelname niet verplicht. Afhankelijk van de keuze die werknemers maken, is het mogelijk dat niet uit alle relevante blootstellingsgroepen informatie wordt verkregen over blootstelling.
De voorwaarden waaronder werknemers deelnemen hebben verschillende ethische aspecten. Dat biomonitoring en sensoring niet verplicht zijn kan worden begrepen als het resultaat van een specifieke afweging, namelijk dat in deze gevallen het belang van inzicht in blootstellingsgegevens per blootstellingsgroep niet opweegt tegen het recht op zelfbeschikking van werknemers. Dat deelname aan omgevingsmonitoring verplicht is, kan ook worden begrepen als het resultaat van een specifieke afweging, namelijk dat het recht op zelfbeschikking van werknemers in dit geval niet opweegt tegen het belang van het verkrijgen van inzicht in blootstellingsgegevens per blootstellingsgroep.
Verplichte deelname door een deel van de werknemers heeft ook ethische aspecten. Relevante vragen in dit verband zijn bijvoorbeeld: hoe worden deelnemers geselecteerd en hoe kan voorkomen worden dat werknemers op basis van persoonsgebonden aspecten (kunnen) worden geselecteerd? Vormen van blinde loting kunnen hierbij behulpzaam zijn.

Zorgplicht en eigen verantwoordelijkheid

Inzicht in blootstellingsgegevens per blootstellingsgroep komt in beginsel ten goede aan alle blootgestelde werknemers, inclusief de werknemers die niet deelnemen of hoeven deel te nemen. Het biedt daardoor ook een basis voor de werkgever om zijn zorgplicht jegens alle werknemers in te vullen. Bij afwezigheid van informatie op groepsniveau, komt daardoor de vraag op wat dit betekent voor de zorgplicht van de werkgever. Het morele uitgangspunt ‘ought implies can’ is hier van toepassing. Als deze informatie niet beschikbaar is, dan kan een werkgever mogelijk wel een blootstellingsbeoordeling maken, maar geen gerichte preventieve maatregelen nemen die ten goede komen aan de groep. Het zou dan onredelijk zijn om dit toch van de werkgever te verwachten. De afwezigheid van gegevens per

blootstellingsgroep is mogelijk in het nadeel van alle blootgestelde werknemers. Hier ontstaat een interessante wisselwerking tussen de zorgplicht van de werkgever, enerzijds, en de eigen verantwoordelijkheid van werknemers, anderzijds. In veel gevallen zal het niet nodig zijn dat alle werknemers deelnemen om adequate informatie te krijgen ten behoeve van preventieve maatregelen op groepsniveau. Afhankelijk van hoe werknemers aankijken tegen de balans van mogelijke voordelen en mogelijke nadelen, kunnen zij meer of minder gemotiveerd zijn om zelf deel te nemen. Vanuit instrumenteel oogpunt kan dit een voorkeur meebrengen dat voldoende anderen deelnemen. Hier is het principe van universaliseerbaarheid relevant (zie Tekstbox 8). Op basis van dit principe kunnen werknemers niet van anderen verwachten dat alleen *zij* deelnemen. Immers, als elke werknemer zo zou redeneren, doet niemand mee. Elke werknemer heeft hierin dus altijd ook een eigen verantwoordelijkheid. Een manier om ook in deze situatie zijn zorgplicht in te vullen, is als de werkgever probeert om de nadelen van deelname zo veel mogelijk te beperken, en de voordelen te vergroten. In theorie zou een vorm van (anonieme) data delen tussen bedrijven waarin werknemers hetzelfde werk doen ook een uitkomst kunnen bieden, vanuit de gedachte dat de blootstelling van werknemers mogelijk vergelijkbaar is.

(Onder)vertegenwoordiging
De voorwaarden waaronder werknemers deelnemen kunnen ook gevolgen hebben voor de mate waarin blootgestelde groepen vertegenwoordigd zijn in een groepsrapportage. Bij *omgevingsmonitoring* speelt deze vraag niet. De verplichting tot deelname brengt namelijk automatisch met zich mee dat alle blootgestelde groepen vertegenwoordigd zijn in een groepsrapportage. Bij *biomonitoring* en *sensoring* is vertegenwoordiging van alle blootgestelde groepen in de groepsrapportage niet automatisch gegarandeerd. Dat is afhankelijk van hoeveel werknemers uit elke blootstellingsgroep deelnemen. Ondervertegenwoordiging van specifieke groepen in een groepsrapportage heeft als gevolg dat de werkgever geen preventieve maatregelen kan nemen die zijn toegespitst op wat voor die groep de meest effectieve manier is om blootstelling verder te beperken of te voorkomen. Dat betekent mogelijk ook dat aan deze groepen verhoudingsgewijs minder (goed) bescherming kan worden geboden. Een belangrijke groep in dit verband is de technische dienst. Deze groep is meestal klein en is heel moeilijk te ‘vangen’ met behulp van omgevingsmonitoring omdat iedere dag de blootstelling weer anders is. Biomonitoring kan dan interessant zijn voor deze groep. Echter omdat deze groep per definitie al klein is, is de kans groot dat de werkgever geen informatie zal krijgen over deze groep.
Bij de beoordeling van deze situatie kunnen overwegingen van rechtvaardigheid opkomen. Verschillende opvattingen van rechtvaardigheid kunnen in beginsel tot verschillende conclusies leiden, of de genoemde situatie onrechtvaardig is, of dat het vooral gezien moet worden als het resultaat van het niet benutten van gelijke kansen. Tekstbox 12 illustreert dit aan de hand van twee opvattingen van rechtvaardigheid.

Gelijke kansen of gelijke uitkomsten?
Of we een situatie als rechtvaardig of onrechtvaardig beoordelen, hangt in mogelijk af van wat we als het geëigende criterium zien om dat te bepalen. Volgens één opvatting is rechtvaardigheid een kwestie van het bieden van *gelijke kansen* (*equity*). Verschillen tussen individuen hoeven vanuit dit perspectief niet onrechtvaardig te zijn, als de individuen om te beginnen maar gelijke kansen hadden (Miller, 2017). Volgens een andere opvatting is rechtvaardigheid een kwestie van *gelijke uitkomsten*. Dat deze individuen om te beginnen gelijke kansen hadden, is in deze opvatting secundair. De wens om gelijke uitkomsten te bevorderen kan in deze opvatting ook een basis zijn om bepaald gedrag van de betrokken individuen te verwachten (Miller, 2017).

Toegepast op blootstellingsmetingen
Beide opvattingen zijn verenigbaar met de gedachte dat alle personen met hetzelfde type of niveau van risico op dezelfde manier moeten worden behandeld, ongeacht leeftijd, sekse, culturele of sociale status.

Volgens rechtvaardigheid als *equity* moeten werknemers gelijke kansen krijgen om hun gezondheid te beschermen, waarbij 'objectieve' verschillen tussen werknemers in acht moeten worden genomen bij het beschermen van de gezondheid van individuele werknemers (zie bijvoorbeeld Manno et al., 2014).
Het principe van gelijke kansen houdt ook in dat risico's en voordelen gelijk verdeeld moeten worden tussen zowel werknemers, als tussen werknemers en andere partijen, zoals de arbeidsdeskundige of de werkgever, in het geval van juridische aansprakelijkheid. In de praktijk is dit niet altijd eenvoudig te realiseren:

- Werknemers hebben algemeen minder toegang tot juridische en regulatoire documentatie dan andere partijen.
- Publieke en private belangen kunnen soms met elkaar op gespannen voet staan (wat kan resulteren in een strijd om zelf zo min mogelijk lasten te dragen/risico te lopen).
- Soms kan het nodig zijn om de vrijheid van individuen te beperken om risico voor derden te reduceren (bijvoorbeeld verplichte biomonitoring op alcoholgebruik bij professionele chauffeurs) (Manno et al., 2014).

Als ongelijke uitkomsten het resultaat zijn van autonome keuzes van de betrokken individuen, terwijl zij gelijke kansen hadden, is de situatie vanuit dit perspectief niet onrechtvaardig.

Volgens de uitkomstgerichte opvatting van rechtvaardigheid zou elke werknemer in beginsel dezelfde bescherming moeten krijgen. Dat een situatie waarin het beschermingsniveau verschillend is, het resultaat is van autonome keuzes, neemt volgens deze opvatting niet noodzakelijk weg dat we de uitkomst onrechtvaardig kunnen noemen.

Tekstbox 12: Twee opvattingen van 'rechtvaardigheid'

Wat mogen werknemers van elkaar verwachten, en werkgevers van werknemers?
Zelf deelnemen aan biomonitoring of sensoring is geen garantie dat de bescherming die de blootstellingsgroep waartoe de werknemer behoort

nodig heeft, ook kan worden geboden. Dat hangt samen met privacyoverwegingen. Groepsrapportages zijn bedoeld voor de werkgever. Een werkgever mag een werknemer niet vragen naar gegevens over individuele blootstelling. Op de achtergrond speelt de overweging dat dergelijke gegevens (onbedoeld) een rol kunnen gaan spelen in de arbeidsovereenkomst, en bijvoorbeeld kunnen leiden tot uitsluiting van bepaalde werkzaamheden, of tot baanverlies, bijvoorbeeld als zich onverhoopt een reorganisatie aan zou dienen.[58] Om dit te helpen voorkomen mogen blootstellingsrapportages aan werkgevers niet herleidbaar zijn tot individuen. Dat betekent dat in elke blootstellingsgroep voldoende deelnemers moeten zijn om te voorkomen dat de resultaten herleidbaar zijn tot individuen. Werknemers zijn wat dat betreft afhankelijk van elkaar voor hun bescherming, en de werkgever is afhankelijk van coöperatie tussen deelnemers bij de invulling van zijn zorgplicht (in de situatie waarin deelname vrijwillig is). Deze punten spelen in kleinere organisaties sterker dan in grotere organisaties.

Stel, dat er onvoldoende deelnemers zijn om een groepsrapportage te kunnen maken. Mogen werknemers (dan) van elkaar verwachten dat ook anderen deelnemen? Mag een werkgever dit verwachten om invulling te kunnen geven aan zijn zorgplicht en tegelijk de privacy van werknemers te kunnen blijven borgen?[59] Als het antwoord op die vragen ‘ja’ is, dan kan dat een basis bieden voor een actievere opstelling van de werkgever om werknemers te stimuleren om mee te doen. Ook zouden werknemers elkaar onderling kunnen aanspreken en motiveren. Aandachtspunt daarbij is dat in de praktijk niet altijd duidelijk onderscheid kan worden gemaakt tussen vormen van sociale druk die de vrijwilligheid bewaren, en vormen van sociale druk die de vrijwilligheid van keuzes ondergraven. Dat hangt deels af van persoonlijke eigenschappen: de ene persoon is gevoeliger voor sociale druk dan de ander.

4.3.2.4 Geïnformeerde toestemming

Een bekend mechanisme om de autonomie van individuen (werknemers, burgers) te beschermen is het inrichten van een procedure waarin zij geïnformeerde toestemming kunnen geven. Algemeen houdt het recht op autonomie ook in dat een persoon zich op elk moment zonder opgaaf van reden terug mag trekken en dat hij of zij altijd het recht heeft om zijn of haar meetresultaten in te zien.

Geïnformeerde toestemming (informed consent) heeft twee elementen: het informatievereiste en het toestemmingsvereiste. Beide kunnen meer of minder strikt worden opgevat. Algemeen geldt dat naarmate de mogelijke nadelen van deelname groter zijn en de te verwachten voordelen meer onzeker, op beide punten strengere eisen worden gesteld. Dat kan ook een rol spelen bij overwegingen om toestemming schriftelijk vast te leggen, of dat mondelinge toestemming volstaat. Manno et al. (2014) stellen bijvoorbeeld dat bij routinematige *biomonitoring*sprogramma’s met gevalideerde biomarkers mondelinge

[58] We zagen eerder dat als bijvoorbeeld biomonitoring wordt aangeboden in de periode waarin een reorganisatie speelt, dit van invloed kan zijn op de motivatie van werknemers om deel te nemen.
[59] Wat als binnen een bedrijf minder werknemers met een bepaalde stof werken dan nodig is om een (anonieme) groepsrapportage te kunnen maken, en de werkgever de plicht heeft om een biomonitoringsonderzoek aan te bieden? Is biomonitoring in dat geval mogelijk?

toestemming *kan* volstaan. Voor invasieve of nog niet gevalideerde biomarkers moet daarentegen schriftelijke geïnformeerde toestemming worden verkregen van alle werknemers (blootgesteld of niet). Vereisten zijn: (a) adequate en duidelijke informatie over de risico's en de voordelen van deelname voor de werknemers en andere betrokkenen; (b) het recht om zich op elk moment zonder opgaaf van redenen terug te trekken; en (c) informatie over doel(en) van het onderzoek, de betekenis van de test, de procedure rond het nemen van samples, en over mogelijke uitkomsten van het onderzoek en hun interpretatie. Dit omvat vergelijking met relevante referentiewaarden, voorziene handelingen wat betreft risicomanagement en de mogelijke consequenties wat betreft (on)geschiktheid voor werk en (verlies van) werk (Manno et al., 2014).

Morley et al. (2017) betogen met betrekking tot *sensoring* op de werkplek dat werkgevers zouden moeten overwegen of een aanvankelijke of voortdurende dienstbetrekking toestemming impliceert. Dit introduceert een nieuw element in de discussie, namelijk de vraag of bij vrijwillige deelname toestemming altijd expliciet moet worden gevraagd en expliciet moet worden gegeven (mondeling of schriftelijk), of dat toestemming in sommige gevallen kan worden *verondersteld* totdat het tegendeel blijkt. Ook als mondelinge toestemming of veronderstelde toestemming in beginsel zou volstaan, kan schriftelijke toestemming een functie hebben. Het legt niet alleen vast *dat* een werknemer vrijwillig instemt, maar ook waarmee precies. Bij eventuele onduidelijkheid of onenigheid zou daarop kunnen worden teruggegrepen.
Autonomie is ook belangrijk vanuit het perspectief van de bedrijfsarts. De achtergrond is dat zich situaties voor kunnen doen waarin de relatie tussen de bedrijfsarts en de werknemer, enerzijds, en de relatie tussen de bedrijfsarts en de werkgever, anderzijds, met elkaar op gespannen voet staan. Het kan daarom behulpzaam zijn om de professionele autonomie van de bedrijfsarts expliciet vast te leggen (Manno et al., 2014).

Verplichte deelname sluit geïnformeerde toestemming niet noodzakelijk uit
Als een test verplicht is (zoals bij omgevingsmonitoring) betekent dit niet automatisch dat geïnformeerde toestemming overbodig is. Op basis van het principe van autonomie en het principe van subsidiariteit hebben niet-dwingende maatregelen de voorkeur boven dwingende maatregelen. Het vragen van toestemming geeft daar uitdrukking aan. Bovendien: als iemand bereid is om vrijwillig aan omgevingsmonitoring mee te werken, is het ook niet nodig om hem of haar te dwingen. Dat zal ook het draagvlak voor het programma (en de onderlinge verhoudingen) ten goede komen.

Uitdagingen
Geïnformeerde toestemming kan in de praktijk grote uitdagingen met zich meebrengen, bijvoorbeeld als personen of groepen extra kwetsbaar zijn. Deze personen/groepen lopen per definitie meer risico, en kunnen ook verminderd autonoom zijn. Voorbeelden zijn werknemers die onder druk staan van mogelijke werkloosheid of een mogelijke reorganisatie. Of personen die moeten vrezen voor (andere) nadelige gevolgen van niet toestemmen, bijvoorbeeld uitsluiting van bepaalde werkzaamheden wat mogelijk een lagere beloning met zich meebrengt. Dit kan een zodanige

druk met zich meebrengen dat er mogelijk wel een getekend IC-formulier is, maar toch geen sprake is van een werkelijk autonome keuze.

De vraag of werkelijk geïnformeerde toestemming is verkregen, kan ook opkomen rond het gebruik van biomarkers. Het begrip van biomarkers (en hun beperkingen) door werknemers wordt vaak sterk bepaald door sterke verwachtingen en het vermogen om onderscheid te maken tussen gevalideerde en niet-gevalideerde biomarkers[60] (Manno et al., 2014).

Dit heeft een aantal implicaties. Ten eerste, dat altijd gecontroleerd moet worden of de aangeboden informatie adequaat is en begrepen wordt, en of de beslissing werkelijk vrijwillig wordt genomen. Ook gezien de context, waarin sprake is van een afhankelijkheidsrelatie tussen werknemers en de werkgever. In de praktijk ligt hier een belangrijke rol voor de medisch professional. Ten tweede, bij het nagaan of een persoon deel wil nemen, speelt vertrouwen een cruciale rol, bijvoorbeeld vertrouwen dat de informatie adequaat is, dat de informatie uit het onderzoek betrouwbaar is, alleen voor de gespecificeerde doeleinden wordt gebruikt, en het gebruik de belangen van de werknemer niet zal schaden (Manno et al., 2014). Gebrek aan vertrouwen, bijvoorbeeld achterdocht dat blootstellingsinformatie bij het UWV of een verzekeraar terechtkomt, kan een negatieve invloed hebben op de motivatie tot deelname.
Geïnformeerde toestemming verkrijgen is kortom maatwerk, wat betreft welke informatie wordt verstrekt[61], in welke bewoordingen, en het bewaken van de voorwaarden voor vertrouwen.

Biomonitoring, zo zagen we, mag momenteel niet worden gebruikt in het kader van een aanstellingskeuring. Wel is het mogelijk om een zogeheten nulmeting te doen. Een werknemer krijgt dan een arbeidsgezondheidskundig onderzoek aangeboden, waarbij de blootstelling aan een stof of zijn metaboliet wordt bepaald, nadat de werknemer in dienst is getreden, maar vóórdat de werkzaamheden worden gestart met de betreffende stof (paragraaf 3.6.5). In deze gevallen is het scheppen van de mogelijkheden dat de informatie begrepen wordt, van bijzonder belang. De uitkomsten van de nulmeting zouden immers consequenties hebben voor de verlenging van zijn of haar contract.

Biomarkers voor gevoeligheid worden in de praktijk nog zelden toegepast. Dat hangt bijvoorbeeld samen met kwesties rond validatie en voorspellende waarde. Als technische ontwikkelingen het mogelijk maken om de sensitiviteit en specificiteit van biomarkers voor gevoeligheid te vergroten, kunnen oude vragen weer opnieuw opkomen, bijvoorbeeld of deze biomarkers (alsnog) een rol kunnen spelen bij de evaluatie van de geschiktheid van werknemers voor een functie of om vast te stellen of aanvullende maatregelen specifiek voor deze werknemer moeten worden genomen.

[60] Deze vraag speelt sterker bij het (eventuele) gebruik van achtereenvolgens biomarkers voor blootstelling, effect of gevoeligheid.
[61] Aandachtspunt is bijvoorbeeld dat volledige informatie contraproductief kan werken en leidt tot een *information overload*.

Zelf meten?
Het bovenstaande gaat steeds uit van programma's voor blootstellingsmetingen waarbij het initiatief bij de werkgever ligt. De beschikbaarheid van handzame en betaalbare sensoren schept de mogelijkheid dat werknemers *zelf* blootstelling op de werkplek gaan meten. Op dit moment is er een fijnstofmeter die bijvoorbeeld aan een rugzak kan worden gehangen en die via een app een collectief beeld geeft van luchtkwaliteit in steden via een app die dit aan gps koppelt. Het is denkbaar dat dit ook op de werkvloer toegepast zal gaan worden. De vraag of dit juridisch gezien mag, en zo ja, of werknemers hierover met externen mogen communiceren, valt buiten dit onderzoek. We volstaan met enkele ethische overwegingen.

Eigen metingen door werknemers kunnen bijdragen aan het zelf nemen van verantwoordelijkheid voor de eigen gezondheid. Wat betreft blootstelling aan gevaarlijke stoffen ligt deze verantwoordelijkheid nu primair bij werkgevers. Los van wie er meet, en van wie het initiatief uitgaat, is de cruciale vraag wat er met de uitkomsten van metingen wordt gedaan. Ook als werknemers zelf meten, is medewerking van de werkgever nodig om blootstelling op de werkplek te beperken, als de meetresultaten daar aanleiding toe geven. Dat roept de vraag op waarom werknemers zelf zouden gaan meten. In theorie zijn er verschillende mogelijkheden: ter aanvulling van metingen vanuit het bedrijf (bijvoorbeeld als werknemers vinden dat er te weinig metingen worden verricht), als extra check op die metingen, et cetera. Wat deze redenen gemeen hebben, is het signaal dat ervan uitgaat, namelijk dat metingen die vanuit het bedrijf worden verricht, niet afdoende (zouden) zijn. Dat kan positief uitpakken, bijvoorbeeld als daarmee niet alleen het belang van voldoende metingen wordt onderstreept, maar het (waar nodig) ook de bereidheid vergroot om voldoende metingen te verrichten. Het kan ook minder positief uitpakken, bijvoorbeeld als de relatie tussen werkgever en werknemers er door onder druk komt te staan.

Vanuit moreel oogpunt kunnen we ook een andere vraag als uitgangspunt nemen, dan of zelf meten door werknemers *mag*. We zagen al dat bij het borgen van een veilige en gezonde werkomgeving sprake is van onderlinge afhankelijkheid, zowel tussen werkgevers en werknemers, als tussen werknemers onderling. Het borgen van een gezonde en veilige werkomgeving, is in zekere zin ook een gezamenlijk belang van werkgevers en werknemers. Vanuit dat perspectief is de vraag wie het initiatief neemt voor metingen, secundair. Primair is de vraag hoe betrokken partijen invulling (willen) geven aan deze gezamenlijke uitdaging, op een manier die rechtdoet aan alle relevante waarden en belangen. Wie wanneer het beste welke technologie in kan zetten, volgt daar als het ware uit. De uitkomst *kan* wellicht zijn dat eigen metingen door werknemers daar een rol in kunnen spelen.

4.3.3 *Fase 3: Interpretatie, communicatie en management van resultaten*

Welk beeld we hebben van wetenschap kan doorwerken bij de interpretatie van de uitkomsten van blootstellingsmetingen, bij de communicatie daarover en bij management van de resultaten. Als partijen die betrokken zijn bij methoden voor blootstellingsmeting een ander beeld van wetenschap hebben, dan heeft dit ook ethische implicaties. Tekstbox 13 illustreert twee beelden van wetenschap:

(1) wetenschap als objectief, die losstaat van menselijke waardering en moraal, en (2) wetenschap als inherent waardegeladen. Dit hoofdstuk is geschreven vanuit perspectief (2).

Wetenschap als los van of inherent verbonden met menselijke waardering en moraal

Eén beeld van wetenschap is dat wetenschap objectief is, in de zin dat zij losstaat van menselijke waardering en moraal. In de visie van wetenschap als waardevrij, zijn ethische criteria pas aan de orde bij de toepassing van wetenschappelijke inzichten en/of technologieën, niet bij de totstandkoming en de interpretatie van die inzichten en/of technologieën. Een ander beeld van wetenschap ziet wetenschap als inherent waardegeladen (Ten Have et al., 2009; Caux et al., 2007). Volgens dit perspectief spelen waarden bijvoorbeeld al een rol bij de vraag waar wetenschappelijk onderzoek naar zal worden gedaan. Denk aan de keuze tussen onderzoek naar biomonitoring en onderzoek naar mogelijkheden om robots werk te laten overnemen waar blootstellingsrisico's zouden kunnen bestaan. In het ene geval lopen mensen mogelijk gezondheidsrisico's, in het andere geval niet. Daar staat tegenover dat in het laatste geval mogelijk sprake is van baanverlies. Fysieke veiligheid en sociale veiligheid kunnen hier met elkaar op gespannen voet staan. Welke feiten dat onderzoek vervolgens boven tafel brengt, is daarbij ten minste door die onderliggende waarden geïnformeerd.

Tekstbox 13: Beelden van wetenschap en hun ethische implicaties

4.3.3.1 Interpretatie van data

Hoe 'hard' blootstellingsdata voor ons zijn, kan worden beïnvloed door of we deze data zien als *losstaand* van menselijke waardering en moraal, of als inherent daarmee *verbonden* (zie Tekstbox 13). In het eerste geval zijn feiten onpersoonlijke representaties van de objectieve werkelijkheid (hard), in het tweede geval zijn feiten altijd ook het resultaat van onze blik op de wereld, vanuit ons perspectief (zachter). Wanneer betrokkenen bij blootstellingsmetingen verschillende beelden van wetenschap hebben, zullen zij 'dezelfde' data anders interpreteren.

Andere interpretaties van data kunnen ook de (hardere of zachtere) basis leggen voor ander handelingsperspectief. Gesprekken over welke interpretatie van data de voorkeur heeft, zullen in het eerste perspectief (wetenschap als waardevrij) eerder de vorm aannemen van discussie over wetenschappelijke methodologie en statistische analyse. Die elementen kunnen ook in gesprekken vanuit het tweede perspectief (wetenschap als waardegeladen) een rol spelen, met dit verschil dat uiteenlopende interpretaties van data eerder ook verklaard zullen worden door te verwijzen naar een verschil in waardeoriëntaties tussen de gesprekspartners en/of naar verschillende waarderingen van risico's en onzekerheden.

Het voorbeeld maakt duidelijk dat de interpretatie van blootstellingsdata een uitdaging kan vormen voor communicatie over en besluitvorming op basis van die data (onder andere Viau, 2005). Dit geldt zowel voor data uit omgevingsmonitoring als voor data uit biomonitoring en sensoring op de werkplek. Wat betreft *biomonitoring*: verschillende typen biomarkers

(voor *blootstelling*, biologisch *effect*, en bijzondere *gevoeligheid*) hebben een verschillende ethische waarde en aanvaardbaarheid.[62] Het is daarom relevant dat testuitslagen in de praktijk verschillend kunnen worden geïnterpreteerd. Als deze verschillen en hun implicaties in een toestemmingsformulier worden toegelicht, kunnen betrokkenen er expliciet op ingaan, en kan een werknemer er in beginsel een geïnformeerde keuze over maken. Uitdaging is dat dit zeer complexe materie is, en dus mogelijk niet eenvoudig is uit te leggen. Dat kan de vraag oproepen of een techniek wel of niet op de werkplek toegepast moet worden. *Als* ze worden toegepast, is bijzondere aandacht vereist voor de interpretatie en het mogelijke gebruik van data van biomarkers voor extra gevoeligheid van individuen voor bepaalde gevaarlijke stoffen.[63] Dit zou immers zicht kunnen bieden op in hoeverre een werknemer geschikt is voor een bepaalde functie, wat betreft blootstelling, en daarmee implicaties kunnen hebben voor kansen op werk, of voor uitsluiting van werk. Als biomarkers voor gevoeligheid op deze manier op de werkplek zouden worden gebruikt, zijn de specificiteit en sensitiviteit van groot belang. Als het aanvaardbaar zou worden geacht om de geschiktheid van werknemers voor bepaald werk op deze manier te bepalen, zou immers voorkomen moeten worden dat vals negatieven worden toegelaten tot zeer risicovolle werkomstandigheden, en dat vals positieven ten onrechte worden uitgesloten (vergelijk Manno et al., 2014).

4.3.3.2 Bescherming van data en communicatie

Bescherming van data

Individuen hebben het recht op zelfbeschikking en privacy.[64] Het recht op (informationele) privacy correspondeert zoals we zagen met de zwijgplicht van (bedrijfs)artsen (zie Tabel 4.1). Het beroepsgeheim heeft betrekking op het geheim van het *individu/de patiënt* (Ten Have et al., 2009). Dat geheim mag in beginsel niet met anderen worden gedeeld. De bedrijfsarts heeft de plicht om hierover tegen anderen te zwijgen. Ook als blootstellingsmetingen informatie kunnen opleveren over iemands geschiktheid voor een functie, bijvoorbeeld als de blootstelling aan een gevaarlijke stof hoog is. Daardoor kunnen belangenconflicten optreden voor de bedrijfsarts. Als *arts* staat het belang van het individu centraal. Als *bedrijfs*arts is er ook een verantwoordelijkheid om de belangen van de organisatie in de gaten te houden. De mogelijkheid van belangenconflicten stelt bijzondere eisen aan de bedrijfsarts, om bestand te zijn tegen eventuele druk die kan ontstaan om bepaalde informatie toch te delen. Tekstbox 14 laat zien dat het beroepsgeheim zowel een individueel als een publiek belang dient, en dat de zwijgplicht naast bescherming aan het individu ook bescherming biedt aan de arts.

[62] Biomarkers voor gevoeligheid kunnen, maar hoeven niet noodzakelijk betrekking te hebben op het klinische gebied. Het is al mogelijk om op enzymniveau aan te tonen of een persoon mogelijk gevoeliger is voor bepaalde stoffen.

[63] Het betreft hier biomarkers voor bijzondere gevoeligheid van een individu voor bepaalde stoffen. Mogelijke extra gevoeligheid kan al op enzymniveau worden aangetoond. Dergelijke testen zijn ook denkbaar buiten de arbeidscontext, meer op klinisch gebied.

[64] Sinds de invoering van de nieuwe Europese privacywet (AVG, Algemene verordening gegevensbescherming) op 25 mei 2018 gelden strengere eisen voor de omgang met privacygevoelige informatie. Zie paragraaf 4.3.1.2 voor een algemene beschrijving van de belangrijkste wijzigingen.

De zwijgplicht (of geheimhoudingsplicht) vormt de kern van de hippocratische traditie en wordt algemeen gezien als de hoeksteen in de vertrouwensrelatie tussen arts en patiënt. Het beroepsgeheim dient zowel een individueel als een algemeen belang:

- **Individueel belang**: een patiënt moet alles aan zijn arts kunnen vertellen in het vertrouwen dat die informatie niet aan anderen wordt doorgegeven of voor andere doeleinden wordt gebruikt.
- **Publiek of algemeen belang**: het is in het belang van de volksgezondheid dat iedereen zich tot een arts moet kunnen wenden als hij hulp nodig heeft. Daarbij moet geen angst aanwezig zijn dat vertrouwelijke gegevens aan derden worden doorgegeven.

Deze twee belangen hangen samen met de bijzondere aard van de geneeskunde: in een behandelrelatie is een bepaalde mate van intimiteit noodzakelijk. Om de arts in staat te stellen een zo goed mogelijke behandeling te kiezen, is persoonlijke informatie vaak onontbeerlijk. De publieke voorwaarde daarvoor is het beroepsgeheim.

Beschermende werking
De zwijgplicht heeft een beschermende werking voor de patiënt, maar tevens voor de hulpverlener. Dat laatste is ook van belang voor bedrijfsartsen en verzekeringsartsen. Een werkgever en een bedrijf kunnen immers belangen hebben bij de medische informatie die de arts tijdens een consult of medische keuring ter ore is gekomen. Op de arts zou dan druk uitgeoefend kunnen worden. In de wettelijke bepaling van het beroepsgeheim is daarom naast de zwijgplicht een verschoningsrecht opgenomen. Een arts kan zich zelfs ten overstaan van de rechter verschonen om op bepaalde vragen geen antwoord te geven.

Bron: Ten Have et al. (2009)

Tekstbox 14: Het beroepsgeheim dient een individueel en publiek belang en beschermt naast het individu ook de arts

Het beroepsgeheim geldt in beginsel ten opzichte van iedereen (behalve tegenover het individu zelf) (Ten Have et al., 2009). Het is mogelijk om er uitzonderingen op te maken, maar die moeten dan goed beargumenteerd worden. Tekstbox 15 bespreekt om welke redenen de zwijgplicht doorbroken kan worden.

- Doorbreking van de zwijgplicht kan nodig zijn **ten behoeve van andere behandelaars**. Hierbij wordt de toestemming van de patiënt verondersteld. In het kader van een goede behandeling kan het noodzakelijk zijn om gegevens te verstrekken aan medebehandelaars. In dat geval dient niet meer informatie te worden verstrekt dan nodig is voor de behandeling.

- Doorbreking van het beroepsgeheim is mogelijk **wanneer de patiënt zelf daarvoor toestemming geeft**. Het kan dan gaan om informatieverstrekking aan derden die niet bij de behandeling

betrokken zijn. Als de patiënt bijvoorbeeld verzoekt om gegevens te verstrekken aan een derde, is de zwijgplicht opgeheven. De arts moet daarbij wel nagaan of het verzoek van de patiënt vrijwillig is en of hij kan overzien wat de consequenties zijn.

- De zwijgplicht kan worden opgeheven door **wettelijke voorschriften**. Het gaat dan om gevallen waarin het algemeen belang ten aanzien van informatieverstrekking groter wordt geacht dan het individueel belang van de patiënt op geheimhouding (voorbeelden zijn de aangifte van besmettelijke ziekten, aangifte van een doodsoorzaak en dwangbehandeling bij psychiatrische stoornissen).
- Doorbreking van het beroepsgeheim kan ten slotte gerechtvaardigd zijn **wanneer een morele afweging moet worden gemaakt tussen het belang van de patiënt enerzijds en het belang van derden of de samenleving anderzijds**. Er kan dan een belang zijn dat zwaarder weegt dan de geheimhoudingsplicht (voorbeelden zijn kindermishandeling, een beraamde moord, et cetera).[65]

Bron: Ten Have et al. (2009: 167)

Tekstbox 15: Mogelijke redenen om het beroepsgeheim te doorbreken

Wat betekent dit voor de omgang met informatie over werknemers in de context van blootstellingsmetingen op de werkplek? Daarvoor moet worden nagegaan:

- Wat *een goede behandeling* in deze context inhoudt, wie daarbij als *medebehandelaars* (kunnen) gelden en of het in dat kader *noodzakelijk* is om bepaalde gegevens met hen te delen. Zijn er in de context van blootstellingsmetingen professionals voor wie een afgeleid beroepsgeheim[66] kan gelden, en waarbij toestemming van de werknemer mag worden verondersteld? (reden 1).
- Hoe breed het criterium kan worden opgevat dat doorbreking van het beroepsgeheim mogelijk is *als het individu daar toestemming voor geeft* (reden 2). Wie mag daarvoor het initiatief nemen? Mag dat naast de werknemer ook de bedrijfsarts zijn?[67] En zijn er beperkingen ten aanzien van met wie deze informatie dan gedeeld mag worden? Bijvoorbeeld ook met de werkgever?.
- Of er een algemeen belang is ten aanzien van informatieverstrekking dat groter kan worden geacht dan het individueel belang van de werknemer op geheimhouding? (reden 3).

[65] De argumenten om doorbreking van het beroepsgeheim te rechtvaardigen moeten daarbij helder zijn. Gezondheidsjurist Leenen heeft hiervoor zes criteria geformuleerd. Zie Ten Have et al. (2009).
[66] In de reguliere zorg geldt bijvoorbeeld een afgeleid beroepsgeheim voor paramedici, verpleegkundigen en secretaressen. HSE (1997) benadrukt in het algemeen het belang om ervoor te zorgen dat iedereen die betrokken is bij biomonitoringsprogramma's zich houdt aan richtlijnen voor biomonitoring op de werkplek. ICOH (2014) specificeert aan welke ethische richtlijnen *occupational health professionals* zich dienen te houden.
[67] We zagen eerder dat de werkgever niet om medische en/of individuele blootstellingsdata van een werknemer mag *vragen* (paragraaf 3.6.5).

- Of er een morele afweging gemaakt mag worden tussen het belang van de werknemer, enerzijds, en het belang van derden of de samenleving, anderzijds (reden 4).[68]

Bij de beantwoording van deze vragen zijn ook de genoemde belangen relevant die het beroepsgeheim dient. Het individuele belang om alles aan de arts te kunnen vertellen, en het publieke belang om zich tot een arts te kunnen (en durven) wenden als dat nodig is, zonder angst dat vertrouwelijke gegevens aan derden worden verstrekt (zie Tekstbox 14). Het draait met andere woorden om behoud van vertrouwen. Om een voorbeeld te geven: in de praktijk is samenwerking tussen bedrijfsarts en arbeidshygiënist nodig om een arbeidsgezondheidskundig onderzoek op te zetten. Dit omdat de arbeidshygiënist inzicht heeft in de aard, mate en duur van de blootstelling aan gevaarlijke stoffen voor de verschillende groepen werknemers. De uitvoering gebeurt vaak door een (bedrijfs)verpleegkundige of doktersassistent(e) onder leiding van de bedrijfsarts (paragraaf 3.5). Hierbij is inzicht in vertrouwelijke gegevens nodig. Onder welke voorwaarden mogen deze gegevens worden ingezien? Is hier reden 1 van toepassing (en dus veronderstelde toestemming van de werknemer) of reden 2 (expliciete toestemming)?

Een werknemer zou in beginsel geïnformeerde toestemming kunnen geven voor het onder strikte voorwaarden (doel, bewaarduur, et cetera) delen van medische informatie met zijn of haar werkgever. Aandachtspunt is dat ook als deze informatie formeel alleen voor de gespecificeerde doelen gebruikt mag worden, en alle betrokken partijen dat ook onderschrijven, de informatie onbedoeld en onbewust mogelijk toch een rol kan gaan spelen in andere situaties. Dit kan nadelige gevolgen hebben voor de werknemer, bijvoorbeeld als de informatie inzicht geeft in zijn of haar (medische) geschiktheid voor een functie. Dit benadrukt het belang om steeds expliciet na te gaan of een werknemer kan overzien wat de consequenties kunnen zijn van het delen van medische informatie.

Communicatie
Bij de omgang met data uit biomonitoringsonderzoek kan de vraag opkomen hoe deze data eigenlijk moeten worden gekwalificeerd. Gaat het om medische data of om blootstellingsdata? Die vraag is van belang omdat voor medische data automatisch het beroepsgeheim geldt, en strengere eisen gelden voor de omgang met deze data. Het antwoord heeft dus praktische en morele implicaties.[69]
In de literatuur worden gegevens uit biomonitoring als medische gegevens gezien.[70] Individuele gegevens over blootstelling kunnen daarom (in principe) niet worden gedeeld met de werkgever en de ondernemingsraad/personeelsvertegenwoordiging. Consequentie is dat de werkgever geen gerichte maatregelen kan inzetten om de blootstelling van specifieke personen te beheersen. De basis van maatregelen waar

[68] Bij deze vraag is relevant wat om te beginnen als doel van het programma voor blootstellingsmeting wordt gezien: bescherming van het individu of het bevorderen van bepaalde collectieve doelen (paragraaf 4.3.1.1).
[69] Als met definities morele discussies samenhangen, dan zijn er in het algemeen twee opties. Ofwel (1) De definitie *volgt* de uitkomst van de morele discussie, dan wel (2) De definitie speelt zelf een rol in het *beslechten* van de morele discussie. Vergeleken met optie 2 stelt optie 1 betrokken partijen eenvoudiger in staat om zich te verhouden tot de waarden en waarderingen die in het spel zijn.
[70] https://oshwiki.eu/wiki/Biological_monitoring_(biomonitoring).

individuele werknemers van kunnen profiteren bestaat uit informatie over blootstellingsgroepen. Dit beschermt de privacy van werknemers, maar kan ook van invloed zijn op de mate waarin de arbeidsomstandigheden afgestemd kunnen worden op eventuele behoeften van individuele werknemers aan extra bescherming tegen blootstelling. Er kan dus een spanning optreden tussen de waarden privacy en gezondheid. Dit onderstreept het belang dat blootstellingsgroepen voldoende representatief moeten zijn. Als technologie om blootstelling te beperken of te voorkomen voldoende flexibel is, en aangepast kan worden aan individuele behoeften, zouden eventuele spanningen tussen privacy en gezondheid wellicht verkleind kunnen worden.[71]

Vanuit het oogpunt van privacybescherming zijn zowel directe als indirecte mogelijkheden om geïnformeerd te worden over medische aangelegenheden van belang. Het hoeft in de praktijk niet altijd nodig te zijn om rechtstreeks inzicht te hebben in medische gegevens om te weten dat er iets mis is. Ter illustratie: bij werken in verontreinigde grond wordt een medische keuring verplicht gesteld. Wie goedgekeurd is, krijgt een pasje. Dat wordt gecontroleerd als de werknemer op een locatie met verontreinigde grond komt. Technisch gezien staan er geen medische gegevens op, maar de werkgever krijgt op deze manier wel inzicht in dat er iets niet goed is.

Het niveau en de vorm van de communicatie kunnen op verschillende manieren worden afgestemd op om welke data het gaat, hoe gevoelig de data zijn, en welke gevolgen het delen van specifieke informatie met specifieke anderen kan hebben. Vanuit dit perspectief worden internationaal gezien data over gevoeligheid meestal alleen aan de betrokken werknemer gecommuniceerd. Individuele aan gezondheid gerelateerde data kunnen, en moeten soms aan de arts worden gecommuniceerd, terwijl collectieve data aan de werkgever en de ondernemingsraad/personeelsvertegenwoordiging moeten worden gecommuniceerd. Werkgevers kunnen mogelijk ook inzicht krijgen in individuele blootstellingsinformatie, op basis van geïnformeerde toestemming[72] (Manno et al., 2014).

Om wat voor data het gaat, kan ook implicaties hebben voor wie welke data aan wie communiceert. Bij de individuele terugkoppeling van de resultaten van biomonitoring dient dit door de bedrijfsarts te worden gedaan; dit omdat de interpretatie en de communicatie van de gegevens complex is en zeer zorgvuldig moet gebeuren. Daarbij is (ook ethisch gezien) relevant dat sommige resultaten gemakkelijker uit te leggen zijn dan andere. Resultaten van biomarkers voor blootstelling zijn gemakkelijker uit te leggen dan biomarkers voor effecten of gevoeligheid, terwijl ze minder informatief kunnen zijn voor de individuele risicobeoordeling. Omgekeerd zijn biomarkers voor effecten meestal meer indicatief voor individuele risico's, maar moeilijker uit te leggen aan werknemers. Nog moeilijker uit te leggen (en te

[71] Zie paragraaf 4.2.3.2 over Value Sensitive Design.
[72] Sommige auteurs laten ook de mogelijkheid open dat werkgevers op basis van geïnformeerde toestemming inzicht zouden kunnen krijgen in individuele gezondheidsinformatie (effecten of gevoeligheid). Zie bijvoorbeeld Manno et al. (2014). Vergelijk hiertoe de vragen in de hoofdtekst rond mogelijke redenen om het beroepsgeheim te doorbreken.

interpreteren) zijn data over gevoeligheid. Om verkeerde interpretatie te voorkomen moet communicatie van individuele en collectieve resultaten gepaard gaan met adequate informatie over hun relevantie en mogelijke uitkomsten in termen van preventieve actie[73] (Manno et al., 2014).

Bij het maken van groepsrapportages speelt in de praktijk vaak een arbeidshygiënist/toxicoloog een rol, en heeft deze inzicht in de data om een groepsrapportage te kunnen schrijven. Zoals we eerder zagen is de rol van de arbeidshygiënist/toxicoloog ten aanzien van biomonitoring juridisch nu onduidelijk (paragraaf 3.5). Als biomonitoring een prominentere rol krijgt in het arbodomein, wordt dit punt pregnanter. De vragen op basis van Tekstbox 15 kunnen hierbij wellicht behulpzaam zijn.

Toenemende mogelijkheden van biomonitoring op de werkplek roepen de vraag op of werknemers alle informatie die daarmee kan worden gegenereerd ook tot zich moeten nemen, om zo tot gedrag te kunnen komen dat hun gezondheid kan bevorderen.[74] Door toenemende technische mogelijkheden om blootstelling te meten, kan het voorkomen dat werknemers meer informatie krijgen over (mogelijke) blootstelling dan zij zouden willen en dan bij de eigen verantwoordelijkheid voor hun gezondheid hoort. Kennis van mogelijke blootstelling roept automatisch de vraag op wat een werknemer zelf kan doen om blootstelling aan gevaarlijke stoffen te beperken. Dat kan tot een verschuiving van verantwoordelijkheid leiden, als de beschikbare kennis over blootstelling de verwachting meebrengt dat de *werknemer* zijn of haar gedrag aanpast, en de nadruk minder komt te liggen op andere opties om blootstelling te beperken. Dat kan weer de verwachting meebrengen dat de werknemer kennis over (mogelijke) blootstelling ook altijd tot zich neemt, om op die manier invulling te kunnen geven aan zijn of haar eigen verantwoordelijkheid. En zo is de cirkel rond: kennis schept verantwoordelijkheid, verantwoordelijkheid vereist kennis. In het uiterste geval zou het recht op niet-weten uitgehold kunnen worden door een dergelijke dynamiek. Dat roept de morele vraag op wat de betekenis en de reikwijdte is van het recht op niet-weten van werknemers tegen de achtergrond van (a) toenemende mogelijkheden om inzicht te krijgen in blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de werkplek, en (b) de zorgplicht van werkgevers.

4.3.3.3 Management van de resultaten

In eerdere hoofdstukken is beschreven in welke situaties omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring ingezet kunnen worden, en welke acties op basis van de uitkomsten juridisch gezien genomen kunnen en moeten worden. Het is om verschillende redenen ook moreel van belang om – wanneer blootstellingenmetingen daar aanleiding toe geven – verdere preventieve actie te ondernemen om blootstelling verder te beperken of te voorkomen. Een werkgever geeft daarmee om te beginnen invulling aan zijn zorgplicht. Of, en zo ja, welke nadere actie wordt ondernomen is ook van invloed op de uiteindelijke balans tussen voordelen en mogelijke nadelen van

[73] Morello-Frosch et al. (2009) bespreken verschillende benaderingen om te bepalen wanneer welke resultaten uit biomonitoring terug te rapporteren aan deelnemers.
[74] Zie bijvoorbeeld Deck en Kosatsky (1999) voor een kader dat gebruikt kan worden om te bepalen welke informatie teruggekoppeld wordt aan deelnemers aan onderzoek naar biomarkers voor blootstelling.

blootstellingsmetingen voor werknemers. Als de data niet worden ingezet om de beoogde voordelen te realiseren, dan kan de balans doorslaan in de min, afhankelijk van eventuele nadelen voor de werknemer die de metingen zelf met zich meebrengen. Management van de resultaten raakt dus met terugwerkende kracht ook aan de morele rechtvaardiging voor specifieke blootstellingsmetingen.[75]

Bij omgevingsmonitoring en sensoring is min of meer duidelijk wat de rechten, plichten en verantwoordelijkheden van alle betrokken partijen zijn, en hoe deze zich tot elkaar verhouden. Dat geldt in mindere mate voor biomonitoring. We zagen al het voorbeeld van de rol van arbeidshygiënist/toxicoloog ten aanzien van biomonitoring. Dit punt geldt algemener, en geldt zowel voor gebruik van biomonitoring voor de beoordeling van blootstelling, voor de beoordeling van aan arbeid gerelateerde gezondheidsrisico's en voor onderzoek naar nieuwe biomarkers. De precieze rechten, plichten en verantwoordelijkheden van alle betrokkenen is deels nog een open vraag. Met de opkomst van biomonitoring in het arbodomein, is het zowel praktisch als moreel en juridisch gezien van belang om hier nader invulling aan te geven. In dit hoofdstuk zijn enkele aandachtspunten genoemd die daarbij relevant kunnen zijn, zoals:

- mogelijke selectie op basis van gezondheidsstatus (selectie aan de poort);[76]
- verschuiving en uitbreiding van verantwoordelijkheden, inclusief mogelijke druk op het recht op niet-weten;
- toenemende druk op werknemers (aanpassing van gedrag om zo gezond mogelijk te blijven, inclusief aandacht voor leefstijl);
- toenemende druk op medisch professionals (om inzicht te geven in gezondheidsinfo van de werknemer).

4.4 Relevante trends

Er zijn enkele trends die het belang van reflectie op ethische aspecten van biomonitoring en sensoring op de werkplek versterken.[77]

Langer gezond werken
Duurzaamheid van het pensioenstelsel is een belangrijke reden om te stimuleren dat werknemers tot op latere leeftijd doorwerken. Daardoor neemt ook het belang toe om tot op hogere leeftijd gezond en productief te zijn.[78] Inzichten die verkregen (kunnen) worden uit omgevingsmonitoring, sensoring en biomonitoring kunnen daardoor in een nieuw licht komen te staan. Naast input voor het borgen van een veilige en gezonde *werkplek*, kunnen deze ook een rol gaan spelen in het langer gezond en productief houden van *werknemers*. Dat brengt een iets andere waardenoriëntatie met zich mee, en kan tot nieuwe afwegingen van waarden en belangen leiden. Bijvoorbeeld een sterkere verwachting

[75] In de praktijk wordt niet altijd optimaal gebruik gemaakt van gegevens over blootstelling op de werkplek. Hoorweg en Middelveld (2017) geven een praktijkbeeld van de omgang met arbeidsgerelateerde (medische) gezondheidsgegevens en gegevens over beroepsmatige blootstelling aan gezondheidsrisico's in vijf sectoren (bouw, metaal, zorg, transport en logistiek, chemie).
[76] Van Damme en Casteleyn (2003) bespreken deze kwestie in relatie tot biomonitoring.
[77] Deze selectie van trends kan mogelijk verder worden uitgebreid.
[78] https://www.arboportaal.nl/actueel/nieuws/2018/05/07/secretaris-generaal-szw-langer-doorwerken-vraagt-maatwerk-en-cultuuromslag

dat werknemers meewerken aan blootstellingsmetingen ten behoeve van hun eigen gezondheid (en eventueel de gezondheid van collega's).
Dit kan worden versterkt door een andere trend, de opkomst van de *quantified workplace*.

Quantified workplace
Hierbij worden sensoren op grote schaal op de werkplek ingezet om beweging en gedrag van werknemers te meten, onder andere met het oog op het verhogen van de productiviteit: 'to measure every aspect of someone's performance' (Marr, 2015).

P4 Medicine
P4 Medicine staat voor gezondheidszorg die voorspellend (*predictive*), gepersonaliseerd (*personalized*), preventief (*preventive*), en participatief (*participatory*) is. Dit zou een stimulans kunnen zijn voor bijvoorbeeld biologische effectmonitoring en/of het gebruik van biomarkers voor gevoeligheid. Ook bij P4 Medicine is productiviteit een centrale waarde. Het P4 Medicine Institute schrijft hierover op de website: *'Patients (sick people) and consumers (healthy people) will use personalized actionable information in their homes and workplaces to live healthier, more productive lives.'*[79]

Quantified Self
Verschillende elementen van P4 Medicine sluiten nauw aan bij een andere trend, de opkomst van de Quantified Self (QS)-beweging. QS houdt zich bezig met het fenomeen dat de mens in toenemende mate technologie integreert in zijn leven, met het doel informatie te verzamelen over zichzelf en hiervan te leren. Centraal staat 'selftracking', waarbij individuen dagelijks bijhouden hoeveel ze bewegen, wat ze eten, wat hun hartslag en bloeddruk is, hoe laat ze naar bed gaan, hoe vaak ze de hond uitlaten of hoeveel luiers ze verwisselen. De verwachting is dat dit inzichten oplevert op basis waarvan betere beslissingen kunnen worden genomen.[80] Martijn de Groot, programmaleider van het (Groningse) Qauntified Self Institute zegt over de verwachte effecten: *'Zelfmeten op grote schaal leidt tot een verschuiving van kennis over groepen naar kennis over het individu. Dit kan […] een radicale verandering in de gezondheidszorg betekenen. Denk aan geïndividualiseerde geneeskunde en medicatie.'*[81]

Trends zoals quantified self en de quantified workplace geven *uitdrukking* aan de normalisering van het altijd en overal meten en monitoren van de gezondheid, en leveren daar zelf ook een bijdrage aan. Dit kan ook van invloed zijn op de algemene houding ten aanzien van omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring op de werkplek.

Marktwerking in de arbodienstverlening

Tussen 1993 en 1998 is marktwerking binnen het socialezekerheidsstelsel en de arbodienstverlening ingevoerd, om de relatief hoge ziekteverzuim- en arbeidsongeschiktheidspercentages in

[79] http://p4mi.org/
[80] https://www.quantifiedself.nl/#start
[81] https://www.quantifiedself.nl/#institute

Nederland terug te dringen (Plomp et al., 2009). Marktwerking brengt onder andere de mogelijkheid met zich mee dat als het advies van een bedrijfsarts een werkgever niet aanstaat, een andere bedrijfsarts kan worden ingeschakeld. Dat kan (onbedoeld) druk meebrengen om gewenste conclusies te trekken en gewenste aanbevelingen te doen.

4.5 Conclusies

Roepen biomonitoring en sensoring nieuwe ethische vragen op vergeleken met omgevingsmonitoring? In dit hoofdstuk is zichtbaar gemaakt welke bijdrage ethische reflectie kan leveren bij het identificeren en beantwoorden van deze vragen. De focus lag op het verhelderen van *welke* morele keuzes zoal aan de orde zijn, ten behoeve van nadere gedachtevorming onder betrokken partijen. *Geïllustreerd* is welke onderliggende waarden zoal een rol spelen, en hoe omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring deze waarden kunnen beïnvloeden.
In de praktijk zal bij het bevorderen van waarden vaak een *afweging* moeten worden gemaakt, als het bevorderen van de ene waarde, invloed heeft op de mate waarin andere belangrijke waarden kunnen worden beschermd of bevorderd. Een voorbeeld is omgevingsmonitoring, waar – als de werksituatie daar aanleiding toe geeft – werknemers verplicht aan moeten meewerken. De politieke afweging die daarbij is gemaakt, houdt onder meer in dat bij omgevingsmonitoring individuele vrijheid van werknemers (desnoods) beperkt mag worden ten behoeve van een veilige en gezonde werkplek.

Preventie is geen doel op zich, maar een middel tot iets anders: het beschermen van iets dat op zichzelf nastrevenswaardig is: gezondheid (een waarde). Omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring kunnen hier *indirect* aan bijdragen. Ze leveren informatie op die gebruikt kan worden om beschermende maatregelen te nemen (als er blootstelling is) en te bepalen of preventieve maatregelen effectief zijn geweest. Hun beschermende waarde ligt daarmee vooral in welke *beslissingen* worden genomen op basis van de inzichten die de technieken bieden in de mate van (mogelijke) blootstelling.

Grote overlap in ethische aspecten
Dit hoofdstuk laat zien dat bij omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring in beginsel steeds dezelfde onderliggende waarden een rol spelen. Een belangrijke vraag bij de rechtvaardiging van programma's voor blootstellingsmeting op de werkplek is hoe de balans tussen mogelijke voor- en nadelen voor individuele werknemers eruit ziet. Of het nu gaat om omgevingsmonitoring, biomonitoring of sensoring, in de regel zullen we steeds verwijzen naar dezelfde waarden: Wat is de mogelijke invloed op de *gezondheid* en/of het *welzijn* van de werknemer? Hoe belangrijk is individuele *zelfbeschikking*? Onder welke voorwaarden mogen *privacy*gevoelige gegevens worden gedeeld, met wie en voor welk doel? Onder welke voorwaarden mogen invasieve handelingen worden verricht (*lichamelijke integriteit*)? Is een bepaalde verdeling van lusten en lasten *rechtvaardig*? Hoe kan het individuele en publieke belang van *vertrouwen* worden geborgd? Wat mogen betrokken partijen van elkaar verwachten? Wat zijn hun rechten, plichten, en *verantwoordelijkheden*? *Antwoorden kunnen verschillen, evenals hoe pregnant vragen naar voren komen*

Daarmee is niet gezegd dat het moreel gezien om het even is of voor het meten van blootstelling op de werkplek gebruik wordt gemaakt van omgevingsmonitoring, biomonitoring of sensoring. Deze methoden kunnen in specifieke omstandigheden bijvoorbeeld bijdragen aan een heel andere balans tussen voor- en nadelen voor een werknemer. Daardoor pakt de beoordeling mogelijk niet alleen anders uit, het kan ook andere eisen stellen aan de beoordeling zelf. Dat vertaalt zich bijvoorbeeld in:

- Hoe zwaar mogelijke nadelen voor een werknemer meewegen (zwaarder als de werknemer zelf geen direct voordeel van deelname mag verwachten, zoals bij onderzoek naar nieuwe biomarkers).
- De voorwaarden voor deelname aan een programma (deelname aan omgevingsmonitoring is verplicht als de werksituatie daar aanleiding toe geeft, deelname aan biomonitoring en sensoring is optioneel[82]).
- Wat nodig is om geïnformeerde toestemming vorm te geven (mondeling of schriftelijk, expliciete of veronderstelde toestemming).
- Welke informatie met wie mag worden gedeeld (bijvoorbeeld geen medische data naar de werkgever, mogelijk wel individuele blootstellingsdata als de werknemer daar adequaat geïnformeerd toestemming voor geeft).
- Hoe en door wie terugkoppeling van resultaten aan werknemers moet worden vormgegeven (bij biomonitoring bijvoorbeeld door de bedrijfsarts, bij omgevingsmonitoring en sensoring eventueel door andere professionals).
- Hoe strikt de ethische beoordeling en randvoorwaarden moeten zijn (strikter naarmate de toxicologische relevantie en validiteit van een meetmethode hoe meer onzeker zijn).

Afhankelijk van de toepassing kunnen ethische aspecten soms ook pregnanter naar voren komen. Zo is bij omgevingsmonitoring en sensoring min of meer duidelijk wat de rechten, plichten en verantwoordelijkheden van alle betrokken partijen zijn. Daarentegen is dit ten aanzien van biomonitoring deels nog een open vraag. De rol van de arbeidshygiënist/toxicoloog ten aanzien van biomonitoring is bijvoorbeeld onduidelijk. Met de opkomst van biomonitoring in het arbodomein, worden deze vragen pregnanter, en wordt het belangrijker om hier nader invulling aan te geven.

Wat kan ethische reflectie bijdragen?
Een belangrijke bijdrage die ethische reflectie kan leveren is het *verhelderen* van morele keuzes. Welke waarden en normen zijn in het spel? En hoe kunnen omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring het beschermen en/of bevorderen van deze waarden beïnvloeden? Daarbij gaat het zowel om voorwaarden die aan methoden voor blootstellingsmeting gesteld kunnen of moeten worden (*zorgvuldigheid*) als om vragen over de *wenselijkheid* van toepassingen.

[82] Met uitzondering van sensoring bij ioniserende straling.

Het onderscheid tussen wenselijkheid en zorgvuldigheid leverde twee algemene ethische vragen op ten aanzien van (mogelijke) programma's voor omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring op de werkplek:

1. (In hoeverre) is de technologie verantwoord, in het licht van de waarden die in het spel zijn? (wenselijkheid).
2. Hoe kan een programma waarin een technologie wordt gebruikt verantwoord worden toegepast? Aan welke voorwaarden moet het programma daartoe voldoen? (zorgvuldigheid).

Ethische reflectie levert extra vragen op, maar het biedt ook houvast en handelingsperspectief, in de vorm van criteria en overwegingen die gebruikt kunnen worden voor de beoordeling van programma's voor blootstellingsmetingen. Zoals:

- *Effectiviteit*: voor welke doelen kunnen omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring gebruikt worden, en hoe effectief dragen de technieken bij aan de realisering van die doelen? Zijn er ongewenste neveneffecten?
- *Subsidiariteit*: het uitgangspunt dat in beginsel het minst ingrijpende middel om een doel te bereiken de voorkeur heeft.
- *Proportionaliteit*: de gedachte dat een middel in de juiste verhouding moet staan tot het doel.
- *Alpartijdigheid*: het uitgangspunt om zoveel mogelijk rekening te houden met het perspectief (belangen en opvattingen) van alle betrokken partijen.
- *Universaliseerbaarheid*: het uitgangspunt om situaties, handelingen en keuzes te beoordelen met behulp van waarden en normen die in principe op iedereen gelijkelijk van toepassing kunnen zijn.

Inzicht in hoe technologieën (kunnen) uitwerken in de praktijk kan een zinvolle bijdrage leveren aan het verhelderen, concretiseren en verdiepen van morele criteria en overwegingen. En tot het verwerven van meer inzicht in de betekenis die ze hebben voor onze leefwereld, en praktijk(en) waarin wordt overwogen om technologie (breder) toe te passen.

Geïllustreerd is hoe verschillende morele uitgangspunten kunnen helpen om praktische vragen te beantwoorden. Het hoofdstuk laat bijvoorbeeld zien:

- Hoe deze uitgangspunten gebruikt kunnen worden om een keuze te maken tussen omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring. Bijvoorbeeld door na te gaan in hoeverre de technieken kunnen bijdragen aan arbo-gerelateerde doelen zoals het evalueren of preventieve maatregelen succesvol zijn geweest (effectiviteit), welke van deze technieken het minst ingrijpend is, in welke opzichten (subsidiariteit), en of gebruik van de techniek in een redelijke verhouding staat tot het doel (proportionaliteit).
- Dat het STOP-principe uit de arbeidshygiënische strategie aanleiding kan zijn om, *als* biomonitoring aan de orde is, dit waar mogelijk en in beginsel altijd in combinatie met omgevingsmonitoring (en/)of sensoring toe te passen. Met biomonitoring alleen kan namelijk niet of moeilijk inzicht worden gekregen in bronnen van blootstelling
  – inzicht dat behulpzaam is voor het tweede element uit het

STOP-principe: het nemen van technische maatregelen bij de bron.

- Dat het bij de vraag hoe blootstellingsmetingen relevante waarden beïnvloeden, van belang is om (ook) uit gaan van hoe betrokken partijen deze waarden invullen en waarderen. Als zij uitgaan van een andere invulling, kunnen zij wel eens tot een tegengestelde conclusie komen over of de betreffende waarde wordt bevorderd (alpartijdigheid).
- Dat werknemers niet van anderen kunnen verwachten dat alleen *zij* deelnemen aan vrijwillige programma's voor blootstellingsmeting. Dat is niet universaliseerbaar. Immers, als elke werknemer zo zou redeneren, doet niemand mee, en is het niet mogelijk om (anonieme) groepsrapportages te maken (universaliseerbaarheid).
- Dat het wel of niet nemen van verdere preventieve maatregelen op basis van blootstellingsmetingen ook de uiteindelijke balans tussen voordelen en mogelijke nadelen van blootstellingsmetingen voor werknemers beïnvloedt. Als de data niet worden ingezet om de beoogde voordelen te realiseren, dan zou die balans kunnen doorslaan in de min. Management van de resultaten raakt dus met terugwerkende kracht ook aan de morele rechtvaardiging voor specifieke blootstellingsmetingen.
- Dat bij het bepalen van de frequentie van blootstellingsmetingen het raadzaam is om na te gaan hoe de frequentie van invloed is op de balans tussen de voordelen en mogelijke nadelen voor werknemers. Op basis van het principe van subsidiariteit geldt dat investeren in blootstellingsarme technieken en beperkt gebruik hiervan om de effectiviteit te monitoren in beginsel de voorkeur heeft boven frequent meten.
- Dat bij afwegingen tussen waarden die in de praktijk zullen moeten worden gemaakt, (1) we ons kunnen beperken tot de beschikbare technologieën en daaruit steeds de minst ingrijpende middelen kunnen kiezen, maar ook (2) kunnen onderzoeken welke mogelijkheden er zijn om *eerder* in het proces – dus voordat specifieke technieken zich als keuzeopties aandienen om blootstelling op de werkplek te meten – aandacht te besteden aan hoe bevorderd kan worden dat belangrijke waarden *samen kunnen gaan* in de ontwikkeling van technieken voor blootstellingsmeting (subsidiariteit).

Zicht op mogelijke spanningen tussen waarden

Bij het toepassen van blootstellingsmetingen kunnen verschillende waarden met elkaar op gespannen voet komen te staan. In dit hoofdstuk zijn daarvan verschillende voorbeelden gegeven. Bijvoorbeeld:

- De basis van maatregelen waar individuele werknemers van kunnen profiteren, bestaat uit informatie over blootstellingsgroepen. Dit beschermt de privacy van werknemers, maar kan ook van invloed zijn op de mate waarin de arbeidsomstandigheden afgestemd kunnen worden op eventuele behoeften van individuele werknemers aan extra bescherming tegen blootstelling. Er kan dus een spanning optreden tussen de waarden privacy en gezondheid. Dit onderstreept het belang dat blootstellingsgroepen voldoende representatief moeten zijn. Als technologie om blootstelling te beperken of te voorkomen

voldoende flexibel is, zodat de technologie in het gebruik aangepast kan worden aan individuele behoeften, zouden eventuele spanningen tussen privacy en gezondheid wellicht verkleind kunnen worden.
- Naast gezondheid en veiligheid speelt een groot aantal andere waarden een rol in de werkcontext, waaronder productiviteit. Deze waarden kunnen elkaar versterken, maar doen dat niet automatisch. Trends zoals langer gezond werken, *P4 Medicine*, *quantified workplace*, *quantified self*, en marktwerking in de arbodienstverlening kunnen tot nieuwe afwegingen van waarden en belangen leiden. Bijvoorbeeld een sterkere nadruk op verhoging van productiviteit en een sterkere verwachting dat werknemers meewerken aan blootstellingsmetingen ten behoeve van hun eigen gezondheid (en eventueel de gezondheid van collega's).

Wenselijkheidsvragen kunnen zicht bieden op nieuwe ethische aspecten, naast wat het gebruik van technologie ons kan opleveren. Zo kwam ten aanzien van verantwoordelijkheden van betrokken partijen bijvoorbeeld naar voren:
- Dat nieuwe technologische mogelijkheden automatisch gepaard gaan met een uitbreiding van verantwoordelijkheden. Zodra een technologie beschikbaar is, heb je als individu niet alleen een keuze, maar moet je als het ware ook kiezen. En draag je de verantwoordelijkheid voor de keuze, om een technologie al dan niet te gebruiken. Individuele vrijheid en verantwoordelijkheid komen sterker op de voorgrond te staan.
- Dat door toepassing van technologie verantwoordelijkheden kunnen verschuiven. Zo kan het door toenemende technische mogelijkheden om blootstelling te meten, voorkomen dat werknemers meer informatie krijgen over (mogelijke) blootstelling dan zij zouden willen en dan bij de eigen verantwoordelijkheid voor hun gezondheid hoort. Kennis van mogelijke blootstelling roept automatisch de vraag op wat een werknemer zelf kan doen om blootstelling aan gevaarlijke stoffen te beperken. Dat kan tot een verschuiving van verantwoordelijkheid leiden, als de beschikbare kennis over blootstelling de verwachting meebrengt dat de *werknemer* zijn of haar gedrag aanpast, en de nadruk minder komt te liggen op andere opties om blootstelling te beperken. Dat kan weer de verwachting meebrengen dat de werknemer kennis over (mogelijke) blootstelling ook altijd tot zich neemt, om op die manier invulling te kunnen geven aan zijn of haar eigen verantwoordelijkheid. En zo is de cirkel rond: kennis schept verantwoordelijkheid, verantwoordelijkheid vereist kennis. In het uiterste geval zou het recht op niet-weten uitgehold kunnen worden door een dergelijke dynamiek. Dat roept de morele vraag op wat de betekenis en de reikwijdte is van het recht op niet-weten van werknemers tegen de achtergrond van (a) toenemende mogelijkheden om inzicht te krijgen in blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de werkplek, en (b) de zorgplicht van
- Dat technologie vanuit het perspectief van een werkgever vragen kan oproepen over de reikwijdte van zijn verantwoordelijkheid. Omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring zijn

technieken die een werkgever kunnen helpen om invulling te geven aan zijn zorgplicht (voor een gezonde en veilige werkomgeving). Een verschil tussen omgevingsmonitoring en sensoring, enerzijds, en biomonitoring, anderzijds, is dat waar omgevingsmonitoring en sensoring inzicht geven in de (mogelijke) blootstelling op de plek waar de technieken worden toegepast, biomonitoring automatisch inzicht geeft in de totale (daadwerkelijke) blootstelling, los van waar de blootstelling heeft plaatsgevonden. Biomonitoring biedt daarmee automatisch zicht op eventuele blootstelling buiten de werkplek, een domein waar de morele verantwoordelijkheid van een werkgever in beginsel geen betrekking op heeft.

- Dat zaken die eerder als privé werden gezien een aandachtspunt kunnen worden in de werksfeer. De lichamelijke en geestelijke conditie en leefgewoonten van werknemers kunnen van invloed zijn op hun functioneren in het werk. In preventief medisch onderzoek wordt daarom onder andere gekeken naar riskante leefgewoonten. Biomonitoring kan bijdragen aan de (verdere) normalisering van aandacht voor het privéleven van werknemers vanuit de werksfeer, doordat biomonitoring automatisch inzicht geeft in daadwerkelijke blootstelling aan gevaarlijke stoffen, los van waar de blootstelling heeft plaatsgevonden, op het werk of daarbuiten.

Bij het inventariseren van voor- en nadelen spelen ook ethische overwegingen een rol

Voor- en nadelen van een technologie verwijzen altijd naar onderliggende waarden en waarderingen. Dit hoofdstuk laat zien dat we bij het beschrijven van voor- en nadelen van technologie voor blootstellingsmeting impliciet kunnen uitgaan van specifieke opvattingen van de onderliggende waarden, bijvoorbeeld individuele autonomie als een kwestie van hoeveel keuzeopties we hebben (een alternatieve opvatting kijkt naar of we ons met die opties kunnen identificeren). Ethische reflectie kan helpen om beide (waarden en waarderingen) expliciet te maken. Dat heeft een aantal voordelen:

- het stelt anderen in staat om zich er expliciet toe te verhouden;
- het kan zicht bieden op handelingsperspectief dat rekenschap geeft van relevante waarden en waarderingen;
- het voorkomt dat we onbedoeld een specifieke opvatting van een waarde tot norm verheffen.

In dit hoofdstuk is besproken welke ethische aspecten zoal relevant zijn in programma's voor blootstellingsmeting. We lichten de belangrijkste eruit:

- In elke blootstellingsgroep moeten voldoende deelnemers zijn om te voorkomen dat de resultaten herleidbaar zijn tot individuen. Werknemers zijn wat dat betreft afhankelijk van elkaar voor hun bescherming, en de werkgever is afhankelijk van coöperatie tussen deelnemers bij de invulling van zijn zorgplicht (in de situatie waarin deelname vrijwillig is). Deze punten spelen in kleinere organisaties sterker dan in grotere organisaties.
  Bij afwezigheid van informatie op groepsniveau, komt de vraag op wat dit betekent voor de zorgplicht van de werkgever. Het morele uitgangspunt 'ought implies can' is hier van toepassing. Als deze informatie niet beschikbaar is, dan kan een werkgever

mogelijk wel een blootstellingsbeoordeling maken, maar geen gerichte preventieve maatregelen nemen die ten goede komen aan de groep. Het zou dan onredelijk zijn om dit toch van de werkgever te verwachten. Een manier om ook in deze situatie zijn zorgplicht in te vullen, is als de werkgever probeert om de nadelen van deelname zoveel mogelijk te beperken, en de voordelen te vergroten. In theorie zou een vorm van (anonieme) data delen tussen bedrijven waarin werknemers hetzelfde werk doen ook een uitkomst kunnen bieden, vanuit de gedachte dat de blootstelling van werknemers mogelijk vergelijkbaar is.

- Een onbedoeld effect van blootstellingsmetingen kan zijn dat er *normopvulling* optreedt. Dat zou kunnen optreden als metingen laten zien dat de blootstelling aan gevaarlijke stoffen onder de norm zit. De indruk zou kunnen ontstaan dat het geen kwaad kan om nog even langer door te werken, zolang de blootstelling maar onder de norm blijft. In dat geval zou niet alleen sprake zijn van een neveneffect, maar van een effect dat ingaat tegen een van de beoogde effecten van blootstellingsmetingen – reductie van blootstelling aan gevaarlijke stoffen op de werkplek.
- Het initiatief voor preventieve maatregelen op de werkvloer ligt meestal bij de organisatie. Met behulp van eigen technologie en eigen metingen zouden werknemers ook in toenemende mate om maatregelen kunnen vragen op basis van eigen meetgegevens. Zij zouden daarbij een beroep kunnen doen op het recht op informatie. Het borgen van een gezonde en veilige werkomgeving, is in zekere zin een gezamenlijk belang van werkgevers en werknemers. Vanuit dat perspectief is de vraag wie het initiatief neemt voor metingen, secundair. Primair is de vraag hoe betrokken partijen invulling (willen) geven aan deze gezamenlijke uitdaging, op een manier die rechtdoet aan alle relevante waarden en belangen. Wie wanneer het beste welke technologie in kan zetten, volgt daar als het ware uit.
- Voor de meeste gevaarlijke stoffen is er geen grenswaarde vastgesteld. Voor sommige stoffen (zoals lood) zijn er verschillende grenswaarden. Het is denkbaar dat daarbij in de praktijk verschillen ontstaan wat betreft het beschermingsniveau dat aan werknemers wordt geboden, als verschillende bedrijven verschillende waarden hanteren. De vraag zou dan kunnen worden gesteld in hoeverre (grote) verschillen in het niveau van bescherming rechtvaardig zijn. Bij de afwezigheid van een *wettelijke* grenswaarde komt deze vraag pregnanter naar voren.
- Bij het bestaan van verschillende publieke grenswaarden (zoals bij lood-in-bloed) rijst voor bedrijven de vraag welke als uitgangspunt te nemen. Met het vaststellen van een bedrijfsgrenswaarde die lager ligt dan de wettelijke grenswaarde nemen bedrijven een extra morele verantwoordelijkheid op zich, bovenop waar zij zich wettelijk aan moeten houden.
- Geïnformeerde toestemming kan in de praktijk grote uitdagingen met zich meebrengen, bijvoorbeeld als personen of groepen extra kwetsbaar zijn. Deze personen/ groepen lopen per definitie meer risico, en kunnen ook verminderd autonoom zijn. Voorbeelden zijn werknemers die onder druk staan van mogelijke werkloosheid of een mogelijke reorganisatie. Of personen die moeten vrezen voor (andere) nadelige gevolgen van niet toestemmen, bijvoorbeeld

uitsluiting van bepaalde werkzaamheden wat mogelijk een lagere beloning met zich meebrengt. Dit kan een zodanige druk met zich meebrengen dat er mogelijk wel een getekend toestemmingsformulier is, maar toch geen sprake is van een werkelijk autonome keuze.

- Dit heeft een aantal implicaties. Ten eerste, dat altijd gecontroleerd moet worden of de aangeboden informatie adequaat is en begrepen wordt, en of de beslissing werkelijk vrijwillig wordt genomen. Ook gezien de context, waarin sprake is van een afhankelijkheidsrelatie tussen werknemers en de werkgever. In de praktijk ligt hier een belangrijke rol voor de medisch professional. Ten tweede, bij het nagaan of een persoon deel wil nemen, speelt vertrouwen een cruciale rol, bijvoorbeeld vertrouwen dat de informatie adequaat is, dat de informatie uit het onderzoek betrouwbaar is, alleen voor de gespecificeerde doeleinden wordt gebruikt, en het gebruik de belangen van de werknemer niet zal schaden. Gebrek aan vertrouwen, bijvoorbeeld achterdocht dat blootstellingsinformatie bij het UWV of de verzekeraar terechtkomt, kan een negatieve invloed hebben op de motivatie tot deelname.
- Individuen hebben het recht op zelfbeschikking en privacy. Het recht op (informationele) privacy correspondeert met de zwijgplicht van (bedrijfs)artsen. Het beroepsgeheim heeft betrekking op het geheim van het *individu/de patiënt*. Dat geheim mag in beginsel niet met anderen mogen worden gedeeld. De bedrijfsarts heeft de plicht om hierover tegen anderen te zwijgen. Ook als blootstellingsmetingen informatie kunnen opleveren over iemands geschiktheid voor een functie, bijvoorbeeld als de blootstelling aan een gevaarlijke stof hoog is. Daardoor *kunnen* belangenconflicten optreden voor de bedrijfsarts. Als *arts* staat het belang van het individu centraal. Als *bedrijfs*arts is er ook een verantwoordelijkheid om de belangen van de organisatie in de gaten te houden. De mogelijkheid van belangenconflicten stelt bijzondere eisen aan de bedrijfsarts, om bestand te zijn tegen eventuele druk die kan ontstaan om bepaalde informatie toch te delen.

Hoe verder?
Doel van dit hoofdstuk was om te *verhelderen* welke morele keuzes aan de orde zijn bij de vraag of specifieke vormen van blootstellingsmeting ingezet kunnen of moeten worden, en zo ja, welke. Een scala aan ethische aspecten en vragen rond omgevingsmonitoring, biomonitoring en sensoring op de werkplek is aan bod gekomen. Tevens is een reeks morele uitgangspunten besproken, en is geïllustreerd hoe deze kunnen helpen om gestructureerd en constructief met die ethische vragen en aspecten om te gaan. Overwogen zou kunnen worden om dit verder uit te werken tot een breed gedragen beoordelingskader waarmee ethische aspecten en keuzes systematisch beoordeeld en beantwoord kunnen worden, in combinatie met de technisch-wetenschappelijke aspecten.

5 Conclusies

Dit rapport is bedoeld om de SER-commissie Arbeidsomstandigheden te faciliteren bij het formuleren van een advies over het gebruik van 'biomonitoring' en 'sensoring' in het kader van de wettelijk verplichte blootstellingsbeoordeling aan gevaarlijke stoffen.
Daartoe zijn drie onderzoeksvragen geformuleerd die in dit rapport zijn bediscussieerd, i.e.:

1. Wat zijn de technische, praktische en economische voor- en nadelen van het gebruik van biomonitoring en sensoren op de werkplek? (zie ook hoofdstuk 2)
2. Hoe kunnen biomonitoring en sensoren worden ingebed in de Nederlandse arbeidsomstandigheden? (zie ook hoofdstuk 3)
3. Wat zijn de ethische aspecten die een rol spelen bij biomonitoring en gebruik van sensoren op de werkplek? (zie ook hoofdstuk 4)

In dit hoofdstuk worden de conclusies van de eerste twee onderzoeksvragen samengevoegd. De belangrijkste conclusies rond ethische aspecten van biomonitoring en sensoring (onderzoeksvraag 3) komen aan bod in paragraaf 4.5.[83]

De overzichten van de technische, praktische en financiële voor- en nadelen van biomonitoring en sensoring op de werkplek laten duidelijk zien dat de (recente) ontwikkelingen voordelen met zich mee kunnen brengen binnen het wettelijk kader van de arbeidsomstandigheden. Hoewel de voor- en nadelen zijn afgezet tegen de huidige methoden voor omgevingsmonitoring, wil dat niet zeggen dat deze technieken de omgevingsmonitoring zou moeten vervangen. Nadrukkelijk gaat het erom of deze technieken van toegevoegde waarde kunnen zijn.

Biomonitoring
Uit de analyse van voor- en nadelen blijkt onder andere dat de meerwaarde van biomonitoring behaald kan worden juist voor die stoffen die lastig te meten zijn in de lucht en voor stoffen waarbij ook de blootstelling via de huid een rol speelt bij de totale blootstelling. Een duidelijk voorbeeld is blootstelling aan lood en loodverbindingen, waarvoor in Europa en Nederland een wettelijke biologische grenswaarde is afgeleid.

In principe is dus al bekend dat deze techniek een toegevoegde waarde heeft. Biomonitoring wordt in feite al lang toegepast in werkvelden zowel binnen als buiten het wettelijk kader van de arbeidsomstandigheden. In tegenstelling tot Nederland wordt biomonitoring in een aantal EU-landen als een integraal onderdeel van de blootstellingsbeoordeling van werknemers aan gevaarlijke stoffen gezien. In die landen zijn voor een beperkt aantal stoffen biomarkers en grenswaarden vastgesteld, en zijn richtlijnen (SOPs) ontwikkeld voor zowel monstername als analyse. In Nederland heeft biomonitoring echter nog geen grote rol van betekenis, al

[83] Aanleiding is dat de ethische aspecten van biomonitoring en sensoring, zoals besproken in hoofdstuk 4, niet eenvoudig uit elkaar getrokken kunnen worden.

is het onbekend op welke schaal bedrijven zelf al biomonitoring toepassen in hun dagelijkse praktijk.

Recente ontwikkelingen binnen de biomonitoring zorgen ervoor dat vooral technische en nadelen met betrekking tot invasieve technieken worden verkleind. Ook zorgen deze ontwikkelingen ervoor dat de mogelijke hoge kosten vanwege laboratoriumgebruik afnemen. De nadelen van biomonitoring bestaan er voor een groot deel uit dat er voor slechts een beperkt aantal stoffen biologische grenswaarden bestaan en dat er met biologische media wordt gewerkt. Een fundamenteel nadeel van biomonitoring ten opzichte van de 'traditionele' omgevingsmonitoring is dat men blootstelling – of indicatoren van blootstelling – in het lichaam meet, in plaats van erbuiten zoals bij omgevingsmonitoring. De bedoeling in de arbeidshygiënestrategie is om stoffen buiten het lichaam te houden. Het is dan contra-intuïtief om vervolgens in het lichaam te meten, ook al meet je dan wel de totale blootstelling. Communicatie over de reden van de toegepaste technieken, hun voorspellende waarde en het omgaan met persoonlijke gegevens is daarom cruciaal.

In de Nederlandse wet- en regelgeving is de werkgever verantwoordelijk voor het arbobeleid, en daarmee voor een goede inventarisatie van de blootstelling. In de huidige regelgeving is de bedrijfsarts aan zet om een biomonitoringsonderzoek op te zetten, uit te voeren, te analyseren en te communiceren binnen het kader van een arbeidsgezondheidskundig onderzoek (PAGO). Daarbij is samenwerking met de arbeidshygiënist essentieel omdat hij/zij inzicht heeft in de blootstelling van de verschillende groepen blootgestelde werknemers. De arbeidshygiënist heeft echter geen toegang tot de resultaten van het onderzoek omdat het medische gegevens betreft, terwijl het wel de aangewezen kerndeskundige is die maatregelen ter reductie van de blootstelling kan voorstellen. Voorbereiding van biomonitoringsonderzoek is zeer belangrijk, met name ten aanzien van de te beantwoorden vraagstelling, de methode en de uitvoering van het onderzoek, het beheer van de data (medische gegevens), de analyse en communicatie van de resultaten naar de betreffende werknemer. Een voorstel tot biomonitoring moet worden goedgekeurd door de ondernemingsraad of personeelsvertegenwoordiging. Naast terugkoppeling van de biomonitoringsresultaten naar de individuele werknemer kan een groepsanalyse worden gemaakt, op voorwaarde dat de gegevens niet tot een persoon herleidbaar zijn. Op deze wijze kan worden nagegaan of de reeds genomen maatregelen ter beheersing van de blootstelling voldoende zijn. In tegenstelling tot omgevingsmonitoring kunnen werknemers niet worden verplicht om vervolgens deel te nemen aan biomonitoringsonderzoek en er is dus toestemming nodig van de werknemer.
Biomonitoring kan worden ingezet in het kader van een PAGO, wat betekent dat het onderzoek plaatsvindt nadat de werknemer is aangesteld. Het is niet geoorloofd biomonitoring uit te voeren in het kader van een aanstellingskeuring.

Sensoring
Sensoring is een relatief nieuwe ontwikkeling binnen de arbeidshygiëne. Om die reden, is het moeilijk om een volledig beeld te schetsen van de voor- en nadelen van sensoren. Het is ook nog onduidelijk voor hoeveel

stoffen deze techniek op dit moment bruikbaar is en voor hoeveel stoffen het in de toekomst bruikbaar zal kunnen zijn. Het belangrijkste hedendaagse voordeel zit bij sensoring vooral in de real-time aflezing van gegevens (voordeel voor werkgever en gezondheidswerker/ bedrijfsarts/arbeidshygiënist) en de eenvoud van het bemeten doordat de nieuwe sensoren kleiner zijn en laag in gewicht. Bewustwording en mogelijk zelfs gedragsverandering bij werknemers en werkgevers van blootstelling en mogelijke risico's kan door het gebruik van sensoren gefaciliteerd worden. De sensoren zijn echter nog niet zodanig valide en betrouwbaar dat de resultaten, i.e. concentraties, kunnen worden vergeleken met een publieke of private grenswaarde.

6 Referenties

Arras, J. (2016). 'Theory and Bioethics', *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2016 Edition), Edward N. Zalta (ed.), https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/theory-bioethics/

AIHA (American Industrial Hygiene Association), 2016. The future of sensors. ISBN-13: 978-1-935082-54-5.

Bauer, S. (2008). 'Societal and ethical issues in human biomonitoring – a view from science studies', Environ Health; Suppl 1: S10, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2423460/

Beauchamp, T.L., J.F. Childress (2009). *Principles of Biomedical Ethics*. Oxford/New York: Oxford University Press, 6th edition.

Boogaard (2009). In Chapter 113 Biomarkers of the workplace and environment of: General and Applied Toxicology, 6 Volume Set, 3rd Edition. Bryan Ballantyne (Editor), Timothy C. Marrs (Editor), Tore Syversen (Editor). ISBN: 978-0-470-72327-2. John Wiley and Sons, Chisester, UK, volume 4 part 10; p. 2759-2790.

Bos, R.P., P.J. Boogaard, R.F.M. Herber, W.L.A.M. de Kort, A.C. Monster en T.M. Pal (1998). TM. Biomonitoring, een onmisbaar Arbo-instrument; Deel 1 Begripsbepaling en doelstelling, TBV 6, nr. 4, 1998, https://www.researchgate.net/profile/Peter_Boogaard/publication/254767511_Biomonitoring_een_onmisbaar_Arbo-instrument_Deel_1_Begripsbepaling_en_doelstelling/links/586fa83308ae8fce491dcdff/Biomonitoring-een-onmisbaar-Arbo-instrument-Deel-1-Begripsbepaling-en-doelstelling.pdf?origin=publication_list

Bowmer, T. (2017). In Abstract Book, 10th International Symposium on Biological Monitoring in Occupational and Environmental Health (ISBM-10), 'Biomonitoring for Chemical Risk Assessment and Control', 1-4 October 2017, Naples, Italy.

Caux, C., D.J. Roy, L. Guilbert, C. Viau (2007), 'Anticipating ethical aspects of the use of biomarkers in the workplace: A tool for stakeholders', Social Science & Medicine 65, p. 344-354.

CIOMS (2016). International Ethical Guidelines for Health-related Research Involving Humans. Prepared by the Council For International Organizations of Medical Sciences (CIOMS) in collaboration with the World Health Organization (WHO). Geneva: CIOMS.

CoE (1997). Convention for the Protection of Human Rights and Dignity of the Human Being with regard to the Application of Biology and Medicine: Convention on Human Rights and Biomedicine. Oviedo: Council of Europe.

Dechesne, F., M. Warnier en Van den Hoven (2013). 'Ethical requirements for reconfigurable sensor technology: a challenge for value sensitive design', Ethics and Information Technology, Vol. 15, Issue 3, p. 173-181, https://doi.org/10.1007/s10676-013-9326-1

Deck, W., T. Kosatsky (1999). 'Communicating Their Individual Results to Participants in an Environmental Exposure Study: Insights from Clinical Ethics', Environmental Research, Section A 80, S223-S229.

Diemel, J., J. Maas, H. Siegert en P. Wielaard (2009). Dossier Algemeen Stoffenbeleid, http://www.arbokennisnet.nl/images/dynamic/Dossiers/Gevaarlijke_stoffen/D_Algemeen_stoffenbeleid.pdf

Drexler, H. (2017). In Abstract Book, 10th International Symposium on Biological Monitoring in Occupational and Environmental Health (ISBM-10), 'Biomonitoring for Chemical Risk Assessment and Control", 1-4 October 2017, Naples, Italy.

Duarte, K., C.I.L. Justino, A.C. Freitas, A.C. Duarte, T.A.P. Rocha-Santos (2014). Direct-reading methods for analysis of volatile organic compounds and nanoparticles in workplace air. Trends in Analytical Chemistry 53 (2014) 21-32.

Dworkin, G. (2017). 'Paternalism', The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/paternalism/

ECHA (2016). Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment Chapter R.14: Occupational exposure assessment. Version 3. 0 - August 2016.

ECHA (2012). Guidance on information requirements and chemical safety assessment Chapter R.8: Characterisation of dose [concentration]-response for human health. Version 2.1 – November 2012.

Fransman, W. (2017). Annals of Work Exposures and Health, vol. 61, p. 907-910.

Good practice guidelines; Biomonitoring of Occupational Exposure to Chemicals, 2016. Santé Publique France, ANSES, INRS.

Holtug, N. (2002). 'The harm principle', Ethical Theory and Moral Practice, Vol. 5, Issue 4, p. 357-389.

Hoorweg, E. en M. Middelveld (2017). Wettelijk kader in de praktijk; Praktijkbeeld van de omgang met arbeidsgerelateerde (medische) gezondheidsgegevens en gegevens over beroepsmatige blootstelling aan gezondheidsrisico's. Capgemini Consulting, https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2018/02/02/wettelijk-kader-in-de-praktijk/20180129+Rapport+Wettelijk+Kader+in+de+Praktijk.pdf

HSE (1997). Biological monitoring in the workplace. A guide to its practical application to chemical exposure. Sudbury, Suffolk: Health and Safety Executive.

HSE (2001). Reducing risks, protecting people. HSE's decision-making process. Sudbury, Suffolk: Health and Safety Executive.

ICOH (2014). International Code of Ethics for Occupational Health Professionals. Third edition. Rome: ICOH.

IDEWE (2018). http://www.idewe.be/wps/portal/nl/dienstverlening/beleid-organisatie/6/2/!ut/p/b0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOI9PZ3dvYMDTQwMAk1cDDwD_AKDjF0DjCy8DfQLsh0VAdOIszs!/

Johanson, G. (2017). In Abstract Book, 10th International Symposium on Biological Monitoring in Occupational and Environmental Health (ISBM-10), 'Biomonitoring for Chemical Risk Assessment and Control', 1-4 October 2017, Naples, Italy.

Koh, D., T. Aw (2003). 'Surveillance in occupational health', Occupational and Environmental Medicine, Vol. 60, Issue 9, pp. 705-710, http://oem.bmj.com/content/60/9/705

Landberg, H. (2018). The Use of Exposure Models in Assessing Occupational Exposure to Chemicals, Doctoral dissertation, Lund University, Sweden.

Lamb, J., S. Hesse, B.G. Miller, L. MacCalman, K. Schroeder,. J. Cherrie en M. van Tongeren (2015). Evaluation of Tier 1 Exposure Assessment Models under REACH (eteam) Project; Final Overall Project Summary Report, Research Project F 2303, https://www.baua.de/EN/Service/Publications/Report/F2303-D26-D28.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Lauwerys en Hoet (2001). Industrial Chemical Exposure: Guidelines for Biological Monitoring, Third Edition. ISBN 9781566705455.

Manno, M., F. Sito, L. Licciardi (2014). 'Ethics in biomonitoring for occupational health', Toxicology Letters, Volume 231, Issue 2, 1 December 2014, p. 111-121, https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.10.004; http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378427414013769

Marr, B. (2015). 'The Quantified Workplace: Big Data or Big Brother?', *Forbes* (May 11), https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2015/05/11/the-nanny-state-meets-the-quantified-workplace/#5d43ab69faf4

Miller, D. (2017). 'Justice', The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/justice/

Morello-Frosch, R., J. Green Brody, P. Brown, R. Gasior Altman, R.A. Rudel, C. Pereze (2009). 'Toxic ignorance and right-to-know in biomonitoring results communication: a survey of scientists and study participants', Environmental Health 8:6, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2654440/

Morley, A., G. DeBord, M.D. Hoover (2017). 'Wearable Sensors: An Ethical Framework for Decision-Making', NIOSH Science Blog, https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2017/01/20/wearable-sensors-ethics/

NIOSH (2012). A NIOSH TECHNICAL REPORT Components for Evaluation of Direct-Reading Monitors for Gases and Vapors DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health.

NVvA (2002). Vastleggen van gegevens van afzonderlijke blootstellingsmetingen van de werkplekatmosfeer. https://www.arbeidshygiene.nl/-uploads/files/insite/werkplekatmosfeer.pdf

Plomp, H.N., G. van der Wal, A.N.H. Weel (2009). 'Marktwerking in de sociale zekerheid en Arbo-dienstverlening', Ned Tijdschr Geneeskd. 1999;143:1374-8, https://www.ntvg.nl/artikelen/marktwerking-de-sociale-zekerheid-en-arbo-dienstverlening/volledig

Riedmann, R.A., B. Basic en D. Vernez (2015). Sensitivity Analysis, Dominant Factors, and Robustness of the ECETOC TRA v3, Stoffenmanager 4.5, and ART 1.5 Occupational Exposure Models, Risk Analysis, vol 35, nr. 2: 211-225.

RIVM (2012). Biomonitoring bij kleinschalige (chemische) incidenten. GGD richtlijn medische milieukunde. RIVM Rapport 609300023/2012.

Scheepers, P.T.J. (2009). Biomarkers of exposure to carcinogens. In: B. Ballantyne, T Marrs T Syversen (eds) General and applied toxicology, 3rd edition, John Wiley and Sons, Chisester, UK, vol. 4 part 7; p. 1841-1856.

Schermer, M. (2007). Gedraag je! Ethische aspecten van gedragsbeïnvloeding door nieuwe technologie in de gezondheidszorg. Preadvies ten behoeve van het jaarsymposium van de Nederlandse Vereniging voor Bio-ethiek (NVBe) op 8 november 2007. Utrecht: NVBe.

Schulte, P.A., J.E. Hauser (2012). 'The use of biomarkers in occupational health research, practice, and policy', Toxicology Letters 213 (2012) 91-99.

SCOEL (2002). Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for lead and its inorganic compounds. SCOEL/SUM/83

SCOEL (2013). Methodology for the Derivation of Occupational Exposure Limits. Scientific Committee on Occupational Exposure Limits. Key Documentation (version 7).

SCOEL (2014). List of recommended health-based biological limit values (BLVs) and biological guidance values (BGVs); Scientific Committee on Occupational Exposure Limits. European Commission.

Ten Have, H.A.M.J., R.H.J. ter Meulen, E. van Leeuwen (2009). Medische ethiek. Derde herziene druk. Houten: Bohn Stafleu van Loghum.

Terwoert, J., E. Goedhart, D. Theodori, N. Palmen en M. le Feber (2013). Bedrijfsgrenswaarden stoffen; Functioneren regeling in de praktijk, naleving en effectiviteit, situatie in andere Europese landen, TNO2013 R10319/3.

Van Alphen, W.J.T., R. Houba, A.A.M. Leutscher, H.P. Pennekamp, K.B.J. Schreibers (2011). Handboek Arbeidshygiëne 2011. Kluwer Alphen aan den Rijn. 2011. ISBN: 9789013079883

Van Damme, K., L. Casteleyn (2003). 'Current scientific, ethical and social issues of biomonitoring in the European Union', Toxicology Letters 144 (2003) 117-126.

Viau, C. (2005). 'Biomonitoring in occupational health: Scientific, socio-ethical, and regulatory issues', Toxicology and Applied Pharmacology 207 (2005) S347-S353.

Viau, C. (2017). In Abstract Book, 10th International Symposium on Biological Monitoring in Occupational and Environmental Health (ISBM-10), 'Biomonitoring for Chemical Risk Assessment and Control', 1-4 October 2017, Naples, Italy.

Vorstenbosch, J. (2009). Hoe maakt u het? Technologie in een veranderende gezondheidszorg. Over dossiers, robots en tests in de zorg. Den Haag: ZonMw.

WHO (2006). Environmental Health Criteria 237. Principles for evaluating health risks in children associated with exposure to chemicals. WHO, 2006.

WHO (2014). IPCS Environmental Health Criteria 242; Dermal exposure, http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_242.pdf

WHO (2015). Human biomonitoring: facts and figures. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2015.

Overige (internet)bronnen:

- Arboportaal (nieuwsbericht 7 mei 2018, Secretaris-generaal SZW: langer doorwerken vraagt maatwerk en cultuuromslag): https://www.arboportaal.nl/actueel/nieuws/2018/05/07/secretaris-generaal-szw-langer-doorwerken-vraagt-maatwerk-en-cultuuromslag
- Autoriteit Persoonsgegevens
  - Algemene informatie AVG (Algemene verordening gegevensbescherming): https://autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/onderwerpen/avg-nieuwe-europese-privacywetgeving/algemene-informatie-avg
  - In 10 stappen voorbereid op de AVG: https://autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/onderwerpen/voorbereiding-avg#stap-1-bewustwording-5890
  - Rechten van betrokkenen: https://autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/onderwerpen/avg-europese-privacywetgeving/rechten-van-betrokkenen
- Design for Changing Values: http://designforvalues.tudelft.nl/2018/erc-grant-for-ibo-van-de-poel-for-research-on-design-for-changing-values/
- Maatschappelijk Verantwoord Innoveren (NWO-MVI): https://www.nwo.nl/onderzoek-en-resultaten/programmas/maatschappelijk+verantwoord+innoveren (laatst geraadpleegd 15 mei 2018)
- Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen (MVO Nederland): MVO Nederland: https://mvonederland.nl/wat-mvo/wat-is-mvo (laatst geraadpleegd 15 mei 2018)
- OSHwiki Biological monitoring: https://oshwiki.eu/wiki/Biological_monitoring_(biomonitoring)
- P4 Medicine Institute: http://p4mi.org/
- Quantified Self Institute: https://www.quantifiedself.nl/#institute
- Responsible Research and Innovation (RRI): https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/responsible-research-innovation (laatst geraadpleegd 15 mei 2018)
- Safe-by-design op het gebied van nanomaterialen: http://www.nanoreg2.eu/safe-design (laatst geraadpleegd 15 mei 2018)

Bijlage 1. Overzicht van voor- en nadelen biomonitoringstechnieken en -media

Hieronder wordt per techniek de voor- en nadelen uiteengezet in vergelijking tot de luchtmonstername.

Medium	**Voordelen**	**Nadelen**
Bloed	• Stoffen goed kwantificeerbaar. • Meerdere stoffen kunnen worden bekeken per monster. • Adductvorming van bijvoorbeeld stof-bloedeiwitten kan worden meegenomen. • Nieuwe technieken, vingerprik of prik in oorlel (minder invasief/pijnlijk). • Veel ervaring met bloedmonstername in werknemersveiligheid. • Controle op de monstername.	• Invasief. • Monstername door getraind personeel (medische handeling). • Levensstijl kan monsterkwaliteit beïnvloeden. • Relatief veel bloed nodig. • Niet prettig voor werknemer. • Moet direct voor, tijdens en/of direct na het werk.
Urine	• Werknemer kan zelf monstername doen. • Veel ervaring met urinemonstername in werknemersveiligheid. • Stoffen goed kwantificeerbaar.	• Stof moet via urine worden uitgescheiden. • Verschillen in urineproductie, effect van veel/weinig drinken. • Levensstijl kan monsterkwaliteit beïnvloeden. • Monstername vaak ook thuis (bij 24-uurs sampling) en er is geen controle op.
Uitgeademde lucht	• Kan ook biologische effecten detecteren. • Tijdens of direct na werk. • Vaak direct uitleesbaar (gekoppeld aan analyse apparaat).	• Beperkt aantal stoffen kan worden gescreend (moet worden uitgeademd). • Omgevingslucht (kort voor de test) kan resultaten beïnvloeden. • Vooral relevant voor inhalatieblootstelling.

Medium	Voordelen	Nadelen
Haar	• Historische blootstelling, het geeft in grote lijnen weer waaraan een persoon is blootgesteld over de lange termijn. Kan dienen als screeningsmethode voordat men verder onderzoek naar blootstelling doet.	• Hoofd(nek)haar wordt verwijderd. • Historische blootstelling en geeft geen zicht op huidige blootstelling. • In ontwikkeling, echter problemen blijven bestaan tussen relatie hoogte en duur blootstelling en hoeveelheden in haar. • Detecteert alleen de aanwezigheid, geeft geen kwantitatieve schatting. • Externe factoren (gel, wassen, omgevingslucht) beïnvloeden resultaten. • Meet geen directe blootstelling (beperkt door haargroei). • Vereist dat mensen hoofdhaar hebben
Neus-spoelingen	• Lokale blootstelling wordt gemonsterd. • Meerdere stoffen en deeltjes kunnen worden bemonsterd. • Ook geschikt voor biologische agentia. • Afweer-immuun gerelateerde parameters kunnen ook bemonsterd worden.	• Invasief* • Indicator of surrogaat voor inschatting van systemische blootstelling, maar is in feite een externe blootstelling (de stof heeft nog geen lichaamsbarrière gepasseerd). • Niet prettig voor werknemer. • Alleen relevant voor inhalatieblootstelling
Speeksel/ wangslijm-vlies	• Snelle screening op aanwezigheid stoffen. • Werknemer ondervindt weinig hinder.	• Invasief* • Externe blootstelling als maat voor systemische blootstelling. • Detecteert alleen de aanwezigheid, geeft geen kwantitatieve schatting. • Alleen relevant voor inhalatieblootstelling en mogelijke ingestie. • Soms te weinig medium om mee te kunnen werken.

* In principe wordt de fysieke integriteit van de persoon niet aangetast en zou de techniek als non-invasief kunnen worden bestempeld, echter vindt de handeling plaats in de neus- of mondholte wat als invasief wordt beschouwd.

Bijlage 2. Biologische grenswaarden voor Cadmium, PAKs en MDA

Cadmium
Cadmiumblootstelling kan geschat worden door middel van het meten van de cadmiumwaarden in het bloed (Cd-B) of de urine (Cd-U). Het voordeel van het biomonitoren van Cd-B of Cd-U is dat hierbij alle blootstellingsroutes worden geïntegreerd, zowel werkgerelateerd als omgevingsblootstellingen via bijvoorbeeld roken en gecontamineerd voedsel. Iets wat niet mogelijk is als er alleen omgevingsmonitors gebruikt worden.

Om de cadmiumblootstelling te bepalen aan de hand van urine of bloed is het belangrijk dat het metabolisme in het lichaam in beeld gebracht is. Cadmium wordt getransporteerd, afhankelijk van de blootstellingsroute (inhalatoir of oraal), naar de lever, waar een cadmium-metallothionene complex gevormd kan worden. Dit complex gaat via het bloed naar de nieren waarna het complex uit elkaar gaat en uitgescheiden worden via de urine. De hoeveelheid Cd-U kan worden uitgedrukt in µg Cd/g creatine of in µg Cd/l urine. In het bloed wordt het totaal cadmium gemeten, zowel vrije fractie als aan het complex gebonden.

Cadmium heeft een lange halfwaardetijd in het lichaam en hoopt op in de nieren en lever. Het voordeel van het meten van Cd-U ten opzichte van de Cd-B is dat hiermee de langdurige blootstelling in beeld gebracht wordt, dit omvat dus ook historische blootstellingen. In het geval van een incident kiest men vaak voor het meten van de Cd-B, omdat dit een betrouwbaarder beeld geeft van het incident.

Het verschil in grenswaarden komt voornamelijk door het verschil in toxicologisch eindpunt waarop men de waarde gebaseerd heeft en de cadmiumwaarden in de gemiddelde populatie, zie hiervoor de tabel.
Bij het afnemen van de monsters moet vooral rekening gehouden worden met contaminatie wat de resultaten kan beïnvloeden.

	Medium	Dosismaat/ grenswaarde	Monsterafname	Opmerking
1.	Urine	BLV van 2 µg Cd/g creatinine.		Gebaseerd op de waarde waarbij niertoxiciteit kan optreden
4.	Urine	Grenswaarde van 3 µg Cd/g creatinin	Spot urine (blaas legen gevolgd door een glas water drinken. Dan na een uur urine afname)	• Bij chronische Cd-blootstelling • Roken, leeftijd en nierschade kan de resultaten beïnvloeden • -OSHA raadt actie aan als de grenswaarde>3 µg/g creatinine
		Grenswaarde van 300 µg B(2)-M/g creatinine	Spot urine (blaas legen gevolgd door een glas water drinken. Dan na een uur urine afname)	• Voordeel: geen contaminatie • -Nadeel: weinig goede analysemethodes
	Bloed	Grenswaarde van 5 µg Cd/L	Venapunctie	• Bij een incident of korte blootstelling is de Cd waarde in het bloed relevanter • -Roken en leeftijd kan de resultaten beïnvloeden
6.	Urine	BAT-waarde van 15 µg Cd/L		Gebaseerd op de waarde waarbij niertoxiciteit optreedt
	Bloed	BAT-waarde van 15 µg Cd/L		Gebaseerd op de waarde waarbij niertoxiciteit optreedt
10.*	Urine	BEI-waarde van 5 µg Cd/g creatinine		
	Bloed	BEI-waarde van 5 µg Cd/L		
8.	Urine	Grenswaarde van 10 µg/g creatinine.		• Gebaseerd op de waarde waarbij niertoxiciteit optreedt • Aanbevolen wordt om boven de 10 µg/g creatinine controles uit te voeren
	Bloed	Grenswaarde van 10 µg/L		Gebaseerd op de waarde waarbij niertoxiciteit optreedt

	Medium	Dosismaat / grenswaarde	Monsterafname	Opmerking
9.	Urine	Grenswaarde van 10 µg/g creatinine		
7.	Urine	BAR-waarde van 0.8 µg/L		
	Bloed	BAR-waarde van 1 µg/L		
15.	Urine	Gemiddelde volwassen populatie; incl. rokers: 0,6-1,8 µg Cd/g creatinine, niet-rokers:0,6-1,2 µg Cd/g creatinine.	Spot urine over 24 uur (aantal afnames afhankelijk van het onderzoek)	• Nadeel: grotere kans op contaminatie, hoeveelheid gedronken vloeistof en tijd na toiletbezoek kan van invloed zijn. • Vrouwen kunnen een lagere Cd-waarde hebben, doordat zij minder creatinine uitscheiden (onder discussie) • Eten van oesters kan de Cd-waarde verhogen.
	Bloed	Gemiddelde volwassen populatie; niet-rokers: 0,1-1,0 µg Cd/L → 90% lager dan 0,6 µg Cd/L, rokers: hoger, maar maximaal 3 µg Cd/L		

BLV = Biological limit values (US)
BAT = Biologischer Arbeitsstoff Toleranzwert (DE)
BEI = Biological Exposure Index
BAR = Biologische Arbeitsstoff Referenzwerte (DE)
B(2)-M = beta-2-microglobuline
- Blauwe tekst is additionele data uit de literatuur.

PAKs

Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs) is een verzamelnaam voor een grote groep organische stoffen die twee of meer aromatische ringen bevat en welke vaak in mengselvorm voorkomen. PAKs accumuleren in het lichaam en een aantal van deze PAKs is kankerverwekkend. PAKs met een laag molecuulgewicht (≤ 3 aromatische ringen) worden voornamelijk via de urine uitgescheiden, PAKs met een hoog molecuulgewicht (> 3 aromatische ringen) via de feces [19]. Men wordt voornamelijk via inhalatie en de huid blootgesteld, waardoor alleen luchtmetingen niet voldoende zijn om de blootstelling te schatten. Een

aantal PAKs is daarnaast niet vluchtig en worden daarom niet aangetoond in omgevingsmonitoring terwijl er wel degelijk huidblootstelling kan optreden. Bovendien is er een breed spectrum aan PAKs (met wisselende mogelijkheden voor omgevingsmonitoring) en is het dus ook voor de stofgroep/mengsel gunstig om de totale blootstelling via alle routes met biomonitoring in kaart te brengen.

Metabolisme van PAKs is een complex proces. De meeste PAKs worden gedeactiveerd, maar sommige worden geactiveerd en kunnen kanker veroorzaken. Om de beroepsmatige blootstelling aan PAKs in te schatten, waarbij benzo[a]pyreen in het mengsel voorkomt, wordt vaak 1-hydroxypyrene (1-OHP) in de urine als indicator gebruikt en uitgedrukt in µmol/mol creatinine. Dit is een metaboliet van onder andere benzo[a]pyreen en pyreen, een PAK die veel voorkomt bij beroepsmatige blootstelling. 1-OHP wordt voornamelijk gebruikt als biomarker voor lage PAK-blootstelling en is een indicator voor de blootstelling via verschillende bronnen, zoals beroepsmatig, verkeer, voedsel en de huishoudelijke omgeving.

Er moet rekening gehouden worden met een achtergrondwaarde van 1-OHP die niet door beroepsmatige blootstelling veroorzaakt wordt, maar van externe bronnen komt. Bovendien is 1-OHP niet het eindproduct van de metabolismeroute. Er kan gekozen worden om ook de eindmetabolieten te bepalen in de urine om een preciezer beeld te krijgen van de blootstelling volgens SCOEL. De hoeveelheid van deze metabolieten wordt minder beïnvloed door individuele rook- en eetgewoontes.

Het verschil tussen grenswaarden wordt voornamelijk veroorzaakt door een verschil in monsterafnamemoment of de referentiegroep die gebruikt is. Doordat 1-OHP urinewaarden toenemen naarmate de week vordert, wordt het aangeraden om op maandag pre-dienst en vrijdag post-dienst een monster af te nemen. Op deze manier kan de gemiddelde blootstelling gedurende de week geschat kan worden.

Er moet rekening gehouden worden met het feit dat de hoeveelheid metabolieten in de urine afneemt naarmate de PAKs waaraan men is blootgesteld een hoger molecuulgewicht hebben. Deze worden namelijk in grote mate uitgescheiden via gal. Hierdoor is het onmogelijk om de precieze blootstelling te schatten voor alle PAK-mengsels, wat dan wel de keuze voor de biomarker gelinkt aan BaP verklaard. Voorwaarde is dat de mengselverhoudingen waar BaP dus in aanwezig moet zijn, wel bekend is.

	Medium	Dosismaat/ grenswaarde	Monsterafname	Opmerking
3.	Urine	BGV van 0,5 µg 1-OHP		Gebaseerd op de waarde waar mensen die niet beroepsmatig zijn blootgesteld niet overheen gaan.
5.	Urine	BMGV van 4,0 µmol 1-OHP/mol creatinine	Spot urine post-dienst	Gebaseerd op de UK HSE BMGV. Deze is gebaseerd op het 90e percentiel van metingen genomen uit industrieën waarbij een goede controle is gebruikt.
		1.4 µmol 1-OHP/mol creatinine		Nog onder review door de Workcover NSW BOEL committee.
7.	Urine	BAR van 0,3 µg 1-OHP/g creatinine	Spot urine post-dienst	In geval van langdurige blootstelling afname na verschillende eerdere diensten.
11.	Urine	BMGV van 4,0 µmol 1-OHP/mol creatinine	Spot urine post-dienst	
16.	Urine	Gemiddelde volwassen populatie; niet-rokers: 0,04 µmol 1-OHP/mol creatinine, matige rokers: 0,20 µmol 1-OHP/mol creatinine, zware rokers: 1,16 µmol 1-OHP/mol creatinine	Spot urine over 24 uur (aantal afnames afhankelijk van het onderzoek)	• Bij werknemers die beroepsmatig worden blootgesteld heeft roken een minder grote invloed op de PAK-waarde. • Kans op contaminatie groot.
17.	Urine	20-74 µg 1-OHP/g creatinine		

BGV = Biological Guidance Value
BAR = Biologische Arbeitsstoff Referenzwerte (DE)
BMGV = Biological monitoring guidance value (UK)
- Blauwe tekst is additionele data uit de literatuur.

MDA

Methyleendifenyl diamine (MDA) is hepatotoxisch, kan nierschade veroorzaken en is waarschijnlijk kankerverwekkend. Het kan dermaal, oraal en via inhalatie in het lichaam komen. Ook voor deze stof geldt dus dat biomonitoring handig is om de totale blootstelling in kaart te brengen. Bovendien heeft MDA een lage dampspanning en is de voornaamste blootstellingsroute via de huid.

MDA wordt in zijn geheel uitgescheiden of kan geoxideerd worden tot MDA hemoglobine-adducten. De hoeveelheid MDA in urine kan uitgedrukt worden in µmol/mol creatinine of µg/L urine.
Als MDA gedetecteerd wordt in de urine heeft er gegarandeerd beroepsmatige blootstelling plaatsgevonden, aangezien blootstelling aan MDA niet buiten de werkvloer mogelijk is.

Om de blootstelling aan MDA te schatten worden voornamelijk urinemonsters gebruikt, aangezien de MDA-waarde in het bloed gelijk is aan (hiermee wordt bedoeld direct relateerbaar) de MDA-waarde in urine en urine afname minder invasief is voor het lichaam.
Het verschil in grenswaarden wordt veroorzaakt doordat deze afgeleid zijn van detectielimieten van verschillende analysemethodes of omdat er wordt uitgegaan dat de gemiddelde populatie een bepaalde waarde niet kan overschrijden.

Het is belangrijk dat het urinemonster gelijk na afname gestabiliseerd wordt, anders is het mogelijk dat de MDA-waarde onderschat wordt. Bovendien is er een interindividueel verschil in de hoeveelheid en welke metabolieten worden uitgescheiden.

	Medium	**Dosismaat/ grenswaarde**	**Monsterafname**	**Opmerking**
13.	Urine	BAT van 10 µg MDA/L	Afname post-dienst	
14.	Urine	BAR: 0,5 µg/L		Is gebaseerd op een detectielimiet van 0,5 µg/L met de aanname dat niet-blootgestelde mensen deze waarde niet overschrijden.
18.	Urine	91% van de post-dienst monsters had een waarde < 50 nmol MDA/mmol creatine, dit was voor 88% van de pre-dienst monsters het geval.	Spot urine: 1 monster post-dienst en 1 pre-dienst de volgende dag	• Bij MDA-inhalatie is er een snelle absorptie en excretie, maximale excretie is aan het einde van de dienst. Dermale opname is langzamer en de maximum excretie is de volgende ochtend. • Twee afnames om zowel inhalatie- als huidblootstelling af te dekken.

	Medium	Dosismaat/ grenswaarde	Monsterafname	Opmerking
2.	Urine	BGV van 1 µg Cd/g creatinine.		Gebaseerd op het analytische detectielimiet, aangezien waarden boven dit limiet een indicatie zijn externe blootstelling, aangezien MDA niet van nature in het milieu voorkomt.
12.	Urine	BMGV van 50 µmol/mol creatinine	Post-dienst afname bij inhalatieblootstelling, pre-dienst afname de volgende dag voor dermale blootstelling.	

BAT = Biologischer Arbeitsstoff Toleranzwert (DE)
BAR = Biologische Arbeitsstoff Referenzwerte (DE)
BGV = Biological Guidance Value
BMGV = Biological monitoring guidance value (UK)

Referenties

1. SCOEL (2010). Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for cadmium and its inorganic compounds.
2. SCOEL (2012). Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for 4,4'-Diaminodiphenylmethane (MDA).
3. SCOEL (2016). Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Polycylic Aromatic Hydrocarbon mixtures containing benzo[a]pyrene (PAH).
4. OSHA (1994). Occupational Safety and Health standards for cadmium in Shipyard Employment and construction.
5. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and occupational health issues. AIOH (2016).
6. MAK collection (2009). Cadmium un seine anorganischen verbindungen [BAT value documentation in German language, 2009].
7. DFG (2012). MAK- und BAT-Werte-Liste 2012, Mitteilung 48, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe.
8. WHO (1980). Recommended health-based limits in occupational exposure to heavy metals: report of a WHO study group.
9. Ewers *et al.* (1999). Reference values and human biological monitoring values for environmental toxins. Report on the work and recommendations of the commission on human biological monitoring of the German Federal Environmental Agency. International archives of occupational and environmental health, 72 (4), 255-260.
10. ACGIH (2008). TLVs and BEIs: Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. Signature Publications, Cincinnati.

11. HSE (2007). EH40/2005 Workplace exposure limits. HSE (2007).
12. HSE (1999). Biological monitoring values for occupational exposure: a United Kingdom perspective.
13. DFG (2007). MAK- und BAT-Werte-Liste 2007, Mitteilung 43, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe.
14. DFG (2012). Addendum zu 4,4'-Diaminodiphenylmethan. Arbeitsmedizinisch-Toxikologische Begrundungen von BAT-werten.
15. EFSA (2009). Scientific opinion: cadmium in food.
16. Srogi, K. (2007). Monitoring of environmental exposure to polyclcyclic aromatic hydrocarbons: a review. Environmental chemistry letters, 5 (4), 169-195.
17. Angerer, J., Mannschreck, C. & Gundel, J. (1997). Biological monitoring and biochemical effect monitoring of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. International Archives of Occupational and Environmental Health, 70 (6), 365.
18. Cocker, J., Nutley, B.P. & Wilson, H.K. (1994). A biological monitoring assessment to methylene dianiline in manufactures and users. Occupational and Environmental Medicine 51 (8), 519-522.
19. Ciganek, M. & Neca, J. (2006). Polycyclic aromatic hydrocarbons in porcine and bovine organs and tissues. Veterinarni Medicina, 51(5), 239–47.

Bijlage 3: Voorstel van Morley et al. (2017) voor een ethisch kader t.b.v. sensoring op de werkplek

Morley et al. (2017) betogen dat draagbare sensoren meer en meer gemeengoed worden om de veiligheid en gezondheid van werknemers te monitoren. Als gevolg daarvan kunnen verschillende waarden met elkaar op gespannen voet komen te staan, en kunnen ethische dilemma's ontstaan die onze aandacht vragen. Om te bevorderen dat innovatie en het bedachtzaam overwegen van ethische kwesties gelijke tred houden, stellen zij een ethisch kader voor dat kan dienen als instrument voor besluitvorming over programma's waarin draagbare sensoren worden gebruikt om de veiligheid en gezondheid van werknemers te monitoren. De auteurs stellen voor om potentiële monitoringsprogramma's daarbij te evalueren op basis van de mate waarin zij een aantal centrale ethische **doelen** bevorderen:

1. Pas draagbare sensoren toe ten behoeve van de maatschappij (rechtvaardiging).
2. Gebruik het minst ingrijpende middel om de doelen te bereiken (optimalisering).
3. Anticipeer en voorkom of minimaliseer potentiële nadelige gevolgen (minimalisering van schade).

Potentiële monitoringsprogramma's zouden volgens de auteurs vervolgens geëvalueerd moeten worden op basis van de mate waarin deze programma's een aantal centrale ethische **waarden** bevorderen:

a) individuele autonomie (geïnformeerde toestemming);
b) het beleid, de procedures en de doelen van het monitoringsprogramma worden in duidelijke en begrijpelijke termen openbaar gemaakt, en worden ook feitelijk door werknemers begrepen (openbaarheid). Feitelijk begrip is cruciaal voor geïnformeerde toestemming;
c) toekomstige ontsluiting van de data wordt beschreven, evenals het doel ervan;
d) als gebruik wordt gemaakt van video-opnames, dan moeten niet-deelnemers de mogelijkheid hebben om buiten het opnamegebied te werken;
e) toestemming is essentieel voor autonomie. Werkgevers zouden een opt-in proces moeten overwegen;
f) werkgevers zouden moeten overwegen of een aanvankelijke of voortdurende dienstbetrekking toestemming impliceert. Essentieel voor toestemming is dat het vrijwillig moet worden gegeven;
g) cultuurgevoeligheid: betrek stakeholders met verschillende culturele perspectieven om monitoringsprogramma's te ontwikkelen die voldoende cultuurgevoelig zijn;
h) individuele controle: bevorder de controle van individuen over hun eigen informatie door ze te beschermen tegen inbreuken op hun informationele privacy;
i) belangen van werkgevers: bevorder de legitieme belangen van werkgevers in bedrijfsbeveiliging (*organizational security*), productiviteit en een goede reputatie;

j) rechtvaardigheid/redelijkheid/billijkheid (*fairness*);
k) verhelder eigendom en verantwoordelijkheid/toerekenbaarheid/ controleerbaarheid (*accountability*) van verzamelde informatie
l) specificeer voorwaarden voor verplichte externe rapportage (bijvoorbeeld wetshandhaving) en strafmaatregelen;
m) identificeer verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid voor onjuistheden in de informatieverzameling (inclusief eventuele compensatiemaatregelen voor geleden schade).

Door bij de evaluatie van potentiële monitoringsprogramma's na te gaan in hoeverre de programma's bovenstaande doelen en waarden bevorderen, kan volgens de auteurs worden bijgedragen aan verantwoordelijk en aansprakelijk gebruik van beloftevolle (nieuwe) technologieën.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag