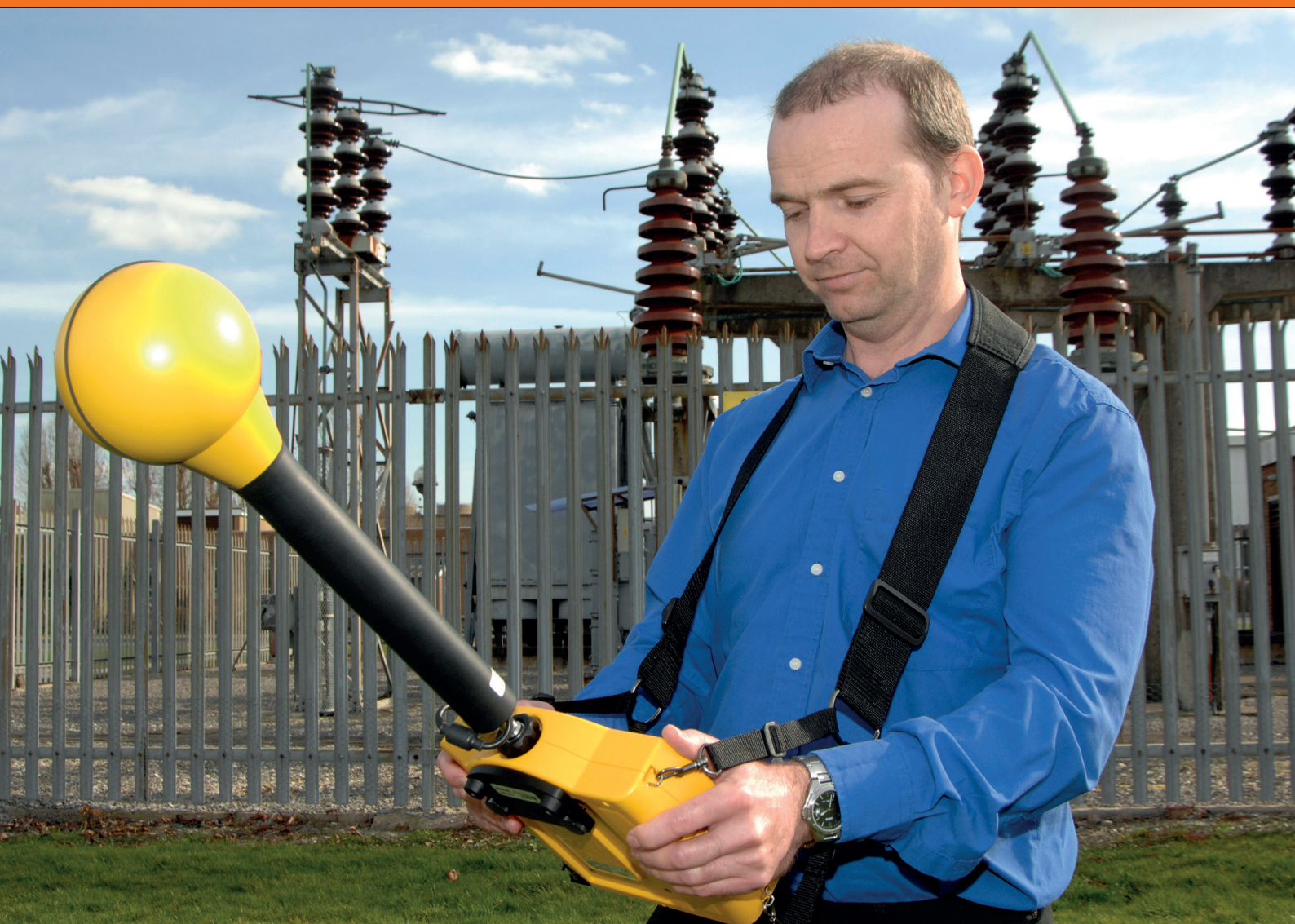




Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu

Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Aandachtspunten bij metingen aan elektromagnetische velden *in arbeidssituaties*



Volgens het Arbeidsomstandighedenbesluit moet de werkgever de risico's als gevolg van elektromagnetische velden op de arbeidsplaats beoordelen en indien nodig de sterkte ervan meten of berekenen. De beoordeling, meting of berekening moet worden uitgevoerd door deskundigen. Dit document is bedoeld om werkgevers en arbodeskundigen te helpen bij het selecteren van deskundigen en het beoordelen van de meetresultaten. Algemene informatie over risico's van elektromagnetische velden en de Nederlandse regelgeving is te vinden in de gids 'Elektromagnetische velden in arbeidssituaties' van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid¹.

Dit document geeft een aantal aandachtspunten voor het meten van de sterkte van elektrische, magnetische of elektromagnetische velden op de plek waar de werknemer zich kan bevinden, om te bepalen of deze mogelijk boven de actieniveaus in de Europese Richtlijn uitkomen. Deze actieniveaus voor sterkte van velden buiten het lichaam verschillen per frequentie. Omdat deze het meest voorkomen in de praktijk worden hier alleen de metingen voor het voldoen aan de lage en hoge actieniveaus voor blootstelling aan laagfrequente velden van 1 hertz tot 10 megahertz en aan de actieniveaus voor de blootstelling aan radiofrequente velden van 100 kilohertz tot 300 gigahertz besproken. In het gebied van 100 kilohertz tot 10 megahertz moet dus met drie actieniveaus rekening gehouden worden. Metingen voor het vergelijken met actieniveaus voor statische magnetische velden, contactstromen (0 kilohertz tot 110 megahertz), en opgewekte extremiteitstromen (10 tot 110 megahertz) worden hier niet besproken. In de bijlagen van de Richtlijn staan toelichtingen voor de juiste rekenregels. Voor uitgebreidere informatie over metingen is er de door de Europese Commissie uitgegeven Niet-bindende gids van goede praktijken (Deel 1 en 2)². Ook mogen andere passende Europese of internationale normen gebruikt worden.

Magnetisch, elektrisch of elektromagnetisch veld?

Een elektrisch veld wordt veroorzaakt door elektrische lading of een veranderend magnetisch veld. Een magnetisch veld wordt opgewekt door een bewegende elektrische lading of veranderend elektrisch veld. Wisselstroom met een bepaalde frequentie veroorzaakt dus ook een magnetisch veld met die frequentie. De richtlijn geeft actieniveaus voor zowel het magnetische en het elektrische veld.

Er is pas sprake van een elektromagnetisch veld als het elektrische en het magnetische veld gekoppeld zijn. Dit is in ieder geval zo in het zogenaamde 'verre veld', dat als conservatieve vuistregel op een afstand van tien keer de golflengte van de bron ontstaat. De golflengte kan je bepalen door de lichtsnelheid (300 miljoen meter per seconde) te delen door de frequentie. In het 'verre veld' is het dus niet nodig om de elektrische veldsterkte en de magnetische veldsterkte apart te meten: meet je de één, dan kan je de ander afleiden. De sterkte van het magnetische veld in ampère per meter (A/m) kan je in vacuüm en lucht afleiden door de sterkte van het elektrische veld in volt per meter (V/m) te delen door 377. Bij elektromagnetische velden geldt dat de ene component niet zonder de andere kan bestaan. Houd je de elektrische veldcomponent tegen met een kooi van Faraday (een gesloten kooi van metalen of stroom geleidend gaas met mazen kleiner dan de golflengte) dan houd je de magnetische veldcomponent ook tegen. Vaak bevind je je bij radiofrequente velden in het verre veld en is het belangrijkste effect energieoverdracht. Energieoverdracht door radiofrequente elektromagnetische velden wordt ook wel niet-ioniserende straling genoemd. Deze energieoverdracht leidt tot zogenaamde kortetermijn thermische effecten, zoals opwarming van weefsel. Radiofrequente elektromagnetische velden komen typisch voor bij apparatuur die bedoeld is voor communicatie of opwarming.

Bij de laagfrequente velden bevind je je doorgaans binnen tien golflengtes van de bron en dus in het zogenaamde 'nabije veld'. Het elektrische veld en het magnetische veld zijn dan niet of niet volledig gekoppeld en dus moeten beide worden gemeten en vervolgens vergeleken met de actieniveaus. In de praktijk blijkt het elektrische veld makkelijker af te schermeren terwijl het magnetische veld niet makkelijk is af te schermeren. Er kunnen zowel losse elektrische velden (bijvoorbeeld bij machines met hoogspanningsdelen of niet afgeschermd geleiders) als losse magnetische velden (bij stroomvoerende delen in apparatuur) worden veroorzaakt. Op de werkplek gaat het meestal om blootstelling aan magnetische velden. Laagfrequente magnetische velden veroorzaken een intern elektrisch veld in het lichaam. Boven een bepaalde sterkte kan dat leiden tot kortetermijn niet-thermische effecten zoals duizeligheid en het zien van lichtflitsen of het voelen van tintelingen en pijn. Laagfrequente magnetische velden komen typisch voor bij alle apparatuur die wisselstroom gebruikt, zoals bij elektromotoren en gelijkrichters.

¹ R. Stam, J.F.B. Bolte, M.J.M. Pruppers (2016) Elektromagnetische velden in Arbeidssituaties. Beknopte gids voor de Nederlandse situatie. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Den Haag.

² Europese Commissie (2015) Niet-bindende gids van goede praktijken voor de tenuitvoerlegging van richtlijn 2013/35/EU Elektromagnetische velden. Deel 1: Praktische gids; Deel 2: Praktijkvoorbeelden. Bureau voor publicaties van de Europese Unie, Luxemburg.

De actieniveaus zijn gesteld in de sterkte van het elektrische veld in volt per meter (V/m) en in de magnetische fluxdichtheid in microtesla (μT). Sommige meters geven de magnetische veldsterkte in ampère per meter (A/m). In vacuüm en lucht geldt dat de magnetische fluxdichtheid in microtesla gedeeld door een vaste omrekeningsfactor van 1,26 de magnetische veldsterkte in ampère per meter is. De gemeten sterkte van de velden moet in de 'root-mean-square' (RMS) waarde worden uitgedrukt. De RMS-waarde is de wortel uit het tijdsgemiddelde van het kwadraat van de veldsterkte. Dat is voor een golf met één frequentie, dus een zuivere sinus, gelijk aan de maximale uitslag gedeeld door wortel 2. Bij radiofrequente velden met frequenties van 100 kilohertz tot 6 gigahertz geldt dat het gemiddelde over 6 minuten van het kwadraat van de veldsterkte onder het kwadraat van de actieniveaus moet blijven. Daarnaast geldt dat de piekvermogensdichtheid, berekend als gemiddelde over de pulsbreedte, niet hoger mag zijn dan 1000 maal het actieniveau.

Middeling van niet-uniforme velden

Over enkele minuten, maar ook over de duur van de dag verandert de blootstelling op dezelfde plek. De sterkte van radiofrequente velden van zenders hangt af van het gebruikte zendvermogen, dat weer afhangt van de hoeveelheid communicatie en die varieert over de dag. Ook andere machines die met hoogfrequente velden werken, zoals plasticlassers, gaan gedurende gebruik door verschillende stadia, 'duty cycles', waarbij er met meer of minder vermogen gewerkt wordt. Ook de sterkte van laagfrequente magnetische velden varieert over de tijd en hangt direct samen met de gebruikte stroomsterkte. Deze verandert bijvoorbeeld tijdens snel aan- en uitschakelen of bij gebruik van een wisselend vermogen bij hetzelfde apparaat, zoals bij een boormachine.

Een veld is lokaal uniform als het over enkele meters niet van sterkte verandert. Een uniform veld bij radiofrequenties betekent dat het veld zich zover uitstrekt, dat het dezelfde amplitude lijkt te hebben overal op het vlak dat loodrecht op de voortplantingsrichting staat. Een uniform veld bij lage frequenties betekent dat het dezelfde sterkte heeft over een bepaald volume, zoals bijvoorbeeld een elektrisch veld tussen twee (oneindig uitgestrekte) parallelle platen.

Niet-uniforme velden komen voor bij zowel radiofrequente als laagfrequente velden. Op de werkplek is de veldsterkte niet overal hetzelfde en kan vooral bij radiofrequente velden binnen enkele decimeters verschillen, omdat door obstakels en reflectoren golven elkaar lokaal uitdoven of versterken. Ook kan een laagfrequent magnetisch veld afkomstig van een elektrische geleider vlakbij het lichaam, zoals een laskabel, over de lengte van een lichaamsdeel in sterkte verschillen. Het is dan ook nodig om gedurende langere tijd de blootstelling te bepalen (bij voorkeur op alle tijden dat er gewerkt wordt), op alle locaties en hoogtes waar iemand zich kan bevinden en op verschillende hoogtes langs het lichaam. Om de maximaal mogelijke blootstelling vast te stellen dient de veldsterkte te worden bepaald op een moment dat de gebruikte apparatuur maximaal belast is.

Om te garanderen dat de bijbehorende grenswaarde voor blootstelling niet wordt overschreden, zou elke willekeurig maximale gemeten RMS-waarde altijd onder het relevante actieniveau moeten blijven. Dat is echter conservatief omdat de achterliggende grenswaarden voor blootstelling dienen om het hele lichaam of een lichaamsdeel (hoofd, torso of extremiteiten) te beschermen. Daarom raadt de Niet-bindende gids aan om de gemeten veldsterkte op een lijn door de lengtes door het lichaam over 3 (laagfrequent) of 10 (hoogfrequent) posities op gelijke afstand over het lichaam te middelen voordat vergeleken wordt met het actieniveau. Voor laagfrequente velden van 1 hertz tot 10 megahertz wordt de veldsterkte over de posities gemiddeld. Er wordt niet gemiddeld als de veldsterkte alleen wordt vergeleken met het actieniveau voor de ledematen. Voor radiofrequente velden boven 100 kilohertz wordt de wortel van het gemiddelde van de kwadratische veldsterkte over de posities genomen.

Als een bron zich op enkele centimeters van het lichaam bevindt, kan het veld zowel inhomogeen als gelokaliseerd zijn. Het is dan niet voldoende om de velden te meten en te vergelijken met de actieniveaus. De sterkte in het lichaam moet dan direct bepaald worden en vergeleken worden met de grenswaarden voor blootstelling. Doorgaans geldt dat hoe complexer de middelingsprocedure, hoe beter de benadering van het niet-uniforme veld.

Meer bronnen en meer frequenties

De actieniveaus gelden voor één frequentie, maar doorgaans wekt apparatuur meer dan één frequentie tegelijk op. Inductieovens en gelijkrichters hebben bijvoorbeeld vaak boventonen of hogere harmonischen. Hogere harmonischen zijn veelvoud van de grondfrequentie waarop een apparaat werkt. Ook zijn er complexe signalen met een gepulseerde of gemoduleerde vorm die uit vele frequenties bestaan. Deze signalen zijn te ontbinden in aparte frequentiecomponenten. Daarnaast kan de blootstelling veroorzaakt worden door meer dan één bron, bijvoorbeeld als er meer dan één apparaat tegelijk in een ruimte kan worden gebruikt. De met de actieniveaus gewogen sommatie van al deze frequenties levert een blootstellingsindex op die kleiner moet zijn dan één. De sommatiemethode voor laagfrequente velden in de richtlijn is de gewogen-piekwaardemethode (Engels: 'weighted peak method'), die rekening houdt met zowel de RMS-amplitude als de fase van de frequentiecomponenten. Sommige meetinstrumenten hebben een software (Engels: 'shaped time domain') of hardware (RC-circuit) filter die de uitkomst van de gewogen-piekwaardemethode 'real time' kan weergeven. Voor radiofrequente velden is er de sommatieregel van multifrequente velden (Engels: 'multiple-frequency rule'), die conservatievere uitkomsten geeft dan de gewogen-piekwaardemethode omdat hij de RMS-amplitudes over de frequentiecomponenten sommeert, zonder rekening te houden met de fasen. Daarbij wordt dus van de meest extreme situatie uitgegaan dat alle toppen van de sinussen met verschillende golflengte tegelijk op hun piek zijn. Er mogen ook andere methodes gebruikt worden mits die vergelijkbare of conservatievere uitkomsten geven.

Let op dat in het overlappend gebied van laagfrequente en radiofrequente velden van 100 kilohertz tot 10 megahertz er meer vergelijkingen moeten worden gedaan: zowel met de actieniveaus voor niet-thermische als voor thermische effecten.

Meetonzekerheden

Bij meten zijn er altijd systematische fouten en toevallige fouten, die samenhangen met herhaalbaarheid. Samen leiden die tot een onzekerheid in de gerapporteerde gemeten waarde. Systematische fouten hangen bijvoorbeeld samen met de apparatuur, de antenne of de meetmethode. Denk aan de resolutie van de meetschaal, de niet-lineariteit tussen werkelijke en gerapporteerde veldsterkte bij oplopende veldsterkte, de richtinggevoeligheid van de meetantenne, de afnemende gevoeligheid voor golflengtes die niet een

aantal halve malen de lengte van de antenne hebben, de afstand tot reflecterende objecten op de werkplek, of (voor signalen die zijn gemoduleerd) de omgevingswarmte, omdat de antenne daar een beetje van uitzet. Toevallige fouten ontstaan vooral tussen verschillende mensen die metingen verrichten maar ook tussen tijdstippen en locaties. Doorgaans geldt dat hoe beter en duurder de apparatuur is, hoe minder gevoelig deze is voor systematische fouten, bijvoorbeeld doordat er al met hardware of software voor gecorrigeerd is. Bij professionele meetapparatuur geeft de fabrikant de meetonzekerheid. Bij een kalibratie worden de meetonzekerheid en mogelijke systematische afwijkingen opnieuw bepaald aan de hand van een zogenaamde gouden standaard, zoals een bron die met een zeer nauwkeurig in te stellen signaal zendt. Waar nodig worden er correcties en reparaties aan de meetapparatuur uitgevoerd.

De Niet-bindende gids van de Europese Commissie spreekt van twee mogelijke aanpakken om rekening te houden met meetonzekerheden: 'shared risk' en 'additive risk'. Bij 'shared risk' test je simpelweg of de gemeten waarde onder het actieniveau blijft. Als de meetwaarde dus gelijk is aan het actieniveau heb je door de meetonzekerheid 50% kans dat de werkelijke veldsterkte er boven ligt. Bij 'additive risk' houd je rekening met het betrouwbaarheidsinterval rond je gerapporteerde meetwaarde en houd je een kleinere kans aan dat de werkelijke veldsterkte boven het actieniveau komt. Als je bijvoorbeeld wilt dat maximaal 5% van de meetwaarden boven het actieniveau komt, moet je zorgen dat de bovengrens van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de gemeten waarde onder het actieniveau ligt.

Meetapparatuur en meetaanpak

Een meetaanpak kent verschillende stadia:


- ga na wat voor soort apparatuur aanwezig is en of deze bij normaal gebruik overschrijding van de actieniveaus kan geven;
- bedenk wat de te verwachten frequenties en modulaties van het veld zijn, die bepalen aan welke actieniveaus je dient te toetsen en of je de gewogen-piekmethode gebruikt of met een sommatieregel een blootstellingsindex berekent;
- vraag hoe de apparatuur over de dag gebruikt wordt en wat de 'duty cycles' zijn, want dat bepaalt wanneer de blootstelling maximaal is en dus wanneer er gemeten dient te worden;

- kijk bij de werkplek of er reflectoren, obstakels of bronnen zoals stroomgeleiders zijn, want dan is het veld niet uniform en kan men óf voor de conservatieve aanpak kiezen en de hoogst mogelijke lokale blootstelling toetsen aan de actieniveaus óf middelen over de hoogte van het lichaam;
- bepaal of de werknemer zich in het verre veld of het nabije veld bevindt, want dat bepaalt of het elektrische veld, het magnetische veld of beide moet(en) worden gemeten;
- om te voorkomen dat de persoon die meet te hoog wordt blootgesteld is het verstandig om eerst op grote afstand te beginnen met het meten. Doe desnoods eerst een simpele berekening met een conservatieve vuistregel om vast te stellen vanaf waar en wanneer mogelijk overschrijding van de actieniveaus kan plaatsvinden;
- kies een geschikt meetinstrument voor deze frequentie(s), signaalvorm en te verwachten variaties over de ruimte en de tijd;
- gebruik het juiste meetprotocol; bij het meten van elektrische velden kunnen personen, het meetinstrument zelf of de standaard waarop deze staat reflectoren worden en dus het eindresultaat van de meting beïnvloeden.
- veldsterktebereik en de gevoeligheid: is het dynamisch bereik wel breed genoeg om alle voorkomende veldsterktes waar te nemen? Zo moet het meetbereik van de apparatuur hoger liggen dan het actieniveau;
- gevoeligheid voor meetprotocollen en modulatieschema's: kan het meetinstrument ieder type gemoduleerd of gepulseerd signaal waarnemen, bijvoorbeeld GSM, LTE, AM, FM, digitale omroep?
- rapportagemogelijkheden van het meetinstrument: wordt het maximum en de RMS-waarde per frequentiecomponent gemeten, of is het meetinstrument breedbandig en wordt het resultaat al bewerkt gepresenteerd bijvoorbeeld met de gewogen-piekmethode?
- variatie in de tijd: zijn de bemonsteringsfrequentie ('sampling rate'), de integratietijd, de benodigde logtijd en de interne opslagcapaciteit voldoende om de meting snel genoeg uit te voeren terwijl alle kenmerken van het signaal worden gemeten?
- probekarakteristieken: meet de probe signalen van alle richtingen apart en even goed? Is de afmeting niet groter dan de variatie in het veld?

Het is van belang dat degene die de meting uitvoert deskundig genoeg is voor de te meten werksituatie en de te gebruiken apparatuur. Hoe complexer de apparatuur rond de werkplek, hoe groter is de kans dat er meer frequenties zijn en ruimtelijke variaties. Hiervoor is specifieke kennis van en ervaring met meetprotocollen nodig. In Nederland geeft het Nederland Normalisatie-instituut (NEN) meetnormen voor elektromagnetische velden uit, maar er zijn ook andere normen zoals die van het Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Er dient te worden gecontroleerd of de meetnormen geschikt zijn voor gebruik bij de bepalingen in de geldende Europese richtlijn (2013/35/EU) en in het Arbeidsomstandighedenbesluit.

De benodigde meetapparatuur hangt af van het type veld dat gemeten wordt. De belangrijkste kenmerken van meetapparatuur om te bekijken zijn:

- frequentiebereik en frequentiegevoeligheid: kan het apparaat wel alle frequenties die in het te meten signaal zitten waarnemen?
- meetonzekerheden volgens de fabrikant: hoe kleiner die zijn, des te groter is het aantal gevallen dat een gerapporteerde meetwaarde onder het actieniveau ook daadwerkelijk onder het actieniveau is;
- kalibratie: meetapparatuur raakt beschadigd, slijt en verloopt en moet dus regelmatig, bijvoorbeeld één keer in de twee jaar, opnieuw geijkt worden en gecontroleerd worden op defecten door een geaccrediteerd meetinstituut; is het kalibratierapport nog niet verlopen?
- het bedieningsgemak: kan de veldsterkte direct worden afgelezen? Hoe uitgebreid dient de training te zijn om het apparaat te kunnen gebruiken?



Deze publicatie is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

Auteur: J.F.B. Bolte

Juli 2016

De zorg voor morgen begint vandaag