

CODE VAN GOEDE PRAKTIJK VOOR HET GEBRUIK VAN
ALTERNIEVE BODEMONDERZOEKSTECHNIEKEN

XRF (handheld)

(x-ray fluorescence)



Beschrijving van de techniek

Een XRF (X-ray Fluorescence, oftewel een röntgen fluorescentie spectrometer) meet door middel van de uitzending van röntgenstraling diverse elementen, waaronder zware metalen. De meting wordt op een snelle en nauwkeurige manier uitgevoerd en meet zowel kwalitatief als kwantitatief. Doordat het een draagbaar apparaat is, kan het goed in het veld gebruikt worden. Dit brengt het grootste voordeel met zich mee; onmiddellijk inzicht in de mate van verontreinigingen waarop direct vervolgstappen kunnen worden ondernomen. De inzet van de Handheld-XRF leidt in het algemeen tot een verlaging van de doorlooptijden en tot significante besparingen op de uitvoerings- en analysekosten. Het maakt de tijdrovende en dure tussenanalyses door laboratoria overbodig. De XRF is bruikbaar voor allerlei vaste materiaalsoorten, waaronder bodem.

ALGEMENE INFORMATIE

A. Bodemcomponenten

De techniek kan toegepast worden voor het onderzoek naar de aanwezigheid van verontreinigingen in volgende bodemcomponenten:

Bodemfase		Opmerkingen
Bodemmatrix	X	Goed bruikbaar voor grondmonster met een maximaal vochtgehalte tot 15%, voor hogere vochtgehalten zijn correctiefactoren bekend
Grondwater	-	
Bodemlucht	-	

B. Geanalyseerde verontreinigingsparameters

Met de techniek kunnen volgende verontreinigingsparameters onderzocht worden:

Verontreinigingsparameter	Bodemmatrix	Grondwater	Bodemlucht	Opmerkingen
Aromaten(BTEX)	-	-	-	
Gechloroerde solventen (VOCL, CL-etheen, Cl-ethaan, gechloroerde aromaten)	-	-	-	
PAK	-	-	-	
Vluchtige KWS (C5-C10)	-	-	-	
Minerale Olie (C10-C40)	-	-	-	
Zware Metalen (+Kobalt)	X	-	-	Detectiegrenzen verschillen per parameter en per apparaat
Cyaniden	-	-	-	
LNAPL	-	-	-	
DNAPL	-	-	-	

Verontreinigingsparameter	Bodemmatrix	Grondwater	Bodemlucht	Opmerkingen
Andere	-	-	-	

C. Terreinkenmerken toepassingsgebied

De alternatieve bodemonderzoekstechniek is toepasbaar bij volgende omgevingskenmerken:

Bodemtype		Opmerkingen
Puin	X	Kalibratieset bodem is hier niet geschikt voor. Aanvullende kalibratiesets zijn beschikbaar bij leverancier of eigen correctiefactoren vaststellen.
Zand	X	
Leem	X	
Grind	X	
Veen	X	
Klei	X	
Zandsteen	X	
Andere... (leiesteen, metamorf gesteente, krijt)	X	Kalibratieset bodem is hier niet geschikt voor. Aanvullende Kalibratiesets zijn beschikbaar bij leverancier of eigen correctiefactoren vaststellen
Hydrogeologische karakteristieken		
Heterogeen en doorlatend	X	Bij een te hoog vochtgehalte (>15%) rekening houden met correctie resultaten (onderschatting) of droging van monsters.
Heterogeen en matig doorlatend	X	
Heterogeen en ondoorlatend	X	
Diepte		
Oppervlakkig	X	Techniek meet 0,6 cm ³ volume; door het plaatsen van boringen kunnen diepere metingen uitgevoerd worden.
1-5 m-mv	X	
5-10 m-mv	X	
10-15 m-mv	X	
>15 m-mv	X	
Bodembedekking		
Geen bodembedekking	X	Rechtstreeks mogelijk, echter niet te adviseren. Handmatige homogenisatie van genomen monster verbetert resultaat.
Klinkers	-	XRF betreft oppervlaktetechniek met beperkt indringingsdiepte.
Kasseistenen	-	
Tegels	-	
Asfalt	-	
Beton	-	
Andere...	-	
Minimale werkdimensie		
Dimensies l x b x h	2 x 2 x 2 (m)	Ivm veilig werken ten behoeve van het plaatsen van grondboringen (benodigde ruimte voor uitvoering van de meting is kleiner)
Techniek toepasbaar voor verontreinigde zone met:		
Kleine oppervlakte (1-5 m²)	X	Afperking grondverontreiniging
Medium oppervlakte (5 – 200 m²)	X	Afperking grondverontreiniging / veel resultaten verzamelen
Grote oppervlakte (>200 m²)	X	Afperking grondverontreiniging / veel resultaten verzamelen

D. Fysicochemische parameters

Met de techniek kunnen volgende fysicochemische parameters worden geanalyseerd:

Fysicochemische parameters	Bodemmatrix	Grondwater	Bodemlucht	Opmerkingen
pH	-	-	-	
EC	-	-	-	
Temperatuur	-	-	-	
Hydraulische conductiviteit	-	-	-	

E. Werkingsprincipe

De röntgenstraling wordt gericht op het monsteroppervlak. Door de energie worden elektronen in de schillen van een atoom aangeslagen naar een hogere schil, vervolgens zal dit elektron terugvallen naar de meest stabiele vorm waarbij een unieke energie vrijkomt (excitatie-energie). Elk element geeft hierbij een uniek x-ray spectrum af. De XRF telt het aantal vrijkomende signalen per seconde. De oppervlakte van de piek geeft het gehalte weer van het element. Op basis van telstatistiek wordt de aantoonbaarheidsgrens per element bepaald. Deze aantoonbaarheidsgrens is geen vaste waarde maar is afhankelijk van de gehanteerde meettijd en de matrix van het monster. De benodigde meettijd om tot een acceptabel aantoonbaarheidsgrens-niveau te komen is afhankelijk van het type apparaat en varieert van 30 seconden tot 2 minuten per meting. De gehalten kunnen op het display in p.p.m. worden afgelezen wat gelijk staat aan mg /kg. De resultaten worden opgeslagen op het apparaat en kunnen later gedownload worden.

F. Aanvullende informatie

Aanvullende informatie is opgenomen in onderstaande tabel:

Aanvullende informatie	Opmerkingen
Aard van de techniek	Handheld-analyzer
Meetfrequentie / meetsnelheid	1 x 30 sec / 2min (afhankelijk van type), 100 - 200 metingen per dag
Tijd nodig om de meetresultaten te bekomen	Onmiddellijk
Presentatie / visualisatie resultaten	Overzichtstabel met ingevoerde gegevens over monster, specificaties meting (tijdsduur, calibratieset), resultaten metingen (alle metalen met bijbehorende foutmarge). Optioneel inclusief GPS-coördinaten (op de nieuwste typen XRF's)
Ervaringsniveau veldwerker	medium / expert
Aard van het meetresultaat	Kwalitatief / Semi-kwantitatief / Kwantitatief (Zie technische voorschriften – hoofdstuk C)
Nauwkeurigheid / Detectielimiet / Meeteenheid	In ppm – Nauwkeurigheid en detectielimiet per metaal verschillend
Kostprijs gebruik	+ - 1000 € (excl. BTW) per dag (huur XRF inclusief operationele medewerker)
Kostprijs aankoop	+ - 30.000 – 40.000 € (excl. BTW)

TECHNISCHE VOORSCHRIFTEN

A. Richtlijnen vóór gebruik op terrein

1. Verplichting in het kader van het gebruik van XRF:
Er moet een vergunning aangevraagd worden voor het apparaat en een opvolging plaats nemen volgens de instructies van het FANC, Federale Agentschap voor Nucleaire Controle (<https://fanc.fgov.be>)
2. Kwaliteitsdocumentatie
 - a. Vastleggen kwaliteit apparaat in document prestatiekenmerken waarbij nauwkeurigheid en precisie worden vastgelegd.
 - b. Kwaliteitsplan noodzakelijk om gebruik van apparatuur vast te leggen.
3. Kalibratie
 - a. Apparatuur heeft standaard fabrieksinstellingen.
 - b. Voor het gebruik in bodem dient een specifieke bodem-kalibratie geïnstalleerd te worden. Hierbij is de kwaliteit van de XRF nauwkeurig gekalibreerd binnen het meetbereik van achtergrondwaarde tot een grootteorde van 2x interventiewaarde.
4. Intensiteit van gebruik van de alternatieve techniek
 - i. In Brussel en België - tot dusver sporadisch ingezet
 - ii. Binnen Nederland zijn diverse protocollen beschikbaar:
 1. Protocol bodemonderzoek ZIVEST / Zinkassen met behulp van "Handheld" Röntgen fluorescentie spectroscopie, Actief Bodembeheer de Kempen, februari 2009

2. Protocol milieukundige begeleiding bodemsanering met inzet van “Handheld” Röntgen fluorescentie spectroscopie, Actief Bodembeheer de Kempen, februari 2009
3. Handreiking voor het opzetten van een kwaliteitssysteem voor het meten van Zn, Pb, Cu en As gehalten in bodems verontreinigd met zinkassen met behulp van “Handheld” Röntgen fluorescentie spectroscopie, januari 2009, Geoconnect
4. Praktijkrichtlijn voor het meten van Zn, Pb, Cu en As gehalten in bodems verontreinigd met zinkassen met behulp van “Handheld” Röntgen fluorescentie spectroscopie, juli 2010, Geoconnect
5. Onderzoeksstrategie diffuus lood in de bodem van kinderspeelplaatsen, Concept 18 mei 2018, SIKB

B. Beschrijving werkwijze terrein

Een standaard procedure ziet er als volgt uit:

1. Uitvoeren van een energiekalibratie op de XRF (*niet voor alle typen XRF's noodzakelijk*)
2. Blanco test
3. Standaard referentiemateriaal (ISE 921) controleren en eventuele aanvullende referentiematerialen
4. Duplostalen nemen van elke locatie in functie van onderzoeksopzet (zie verder)
5. Praktijkmonsters meten (1 t/m 20 monsters)
6. Duplostalen praktijkmonsters opnieuw meten (*ten behoeve van controle precisie*)
7. Praktijkmonsters meten (21 t/m 40 monsters)
8. Duplostalen praktijkmonsters opnieuw meten (*ten behoeve van controle precisie*)
9. Praktijkmonsters meten (41 t/m 60 monsters)
10. Duplostalen praktijkmonsters opnieuw meten (*ten behoeve van controle precisie*)
11. (herhalen)
12. Blanco test
13. Standaard referentiematerialen (ISE 921) controleren en eventuele aanvullende referentiematerialen

Afhankelijk van de lokale situatie kan hiervan afgeweken worden. Kwaliteitscontrole aan de start en op het einde is verplicht, verdere invulling is afhankelijk van de vraagstelling van het onderzoek en de situatie van de locatie (bijvoorbeeld standaard duplo-metingen bij sterk heterogene verontreinigingen).

C. Richtlijnen na verwerving resultaten

Validatie van de resultaten:

- Kwalitatief : een snelle screening techniek waarop je je klassieke boringen en peilbuizen strategie nog op moet toepassen zoals beschreven in de Codes van Goede Praktijk van Leefmilieu Brussel maar die het voordeel hebben dat je je boorstrategie gericht kunt uitvoeren op bv het snel in kaart boringen van bronzones.
- Semi-kwantitatief : een gehalte als resultaat wat vergeleken kan worden met laboratoriummetingen maar dit resultaat moet nog gekalibreerd, afgetoetst of omgerekend worden met een klassieke meetmethode. Eindmonsters via het laboratorium blijven noodzakelijk, in het kader van de processturing worden de resultaten van de XRF als sturingsmiddel gebruikt en kan het aantal te analyseren monsters in het laboratorium dalen (10% van normale hoeveelheid grondmonsters).
- Kwantitatief: Resultaten van de XRF direct in het veld gebruiken voor verdere afperking van onderzoek / sanering. Resultaten die rondom de interventiewaarde / terugsaneerwaarde liggen (10% boven of

onder) inzetten in laboratorium of meerdere metingen op het monster uitvoeren om statistisch een nauwkeuriger resultaat te verkrijgen.

Diverse validatiestudies zijn uitgevoerd:

- SKB (2009). Demo-X: Inzet van röntgen fluorescentie voor het on-site meten van zware metaalgehalten in de bodem. SKB project PT7432.
- Van Egmond, F.M., Walraven, N. en Koomans, R.L. (2010). Validatie onderzoek XRF metingen bodemonderzoek spoedlocaties. Medusa rapport 2010-P-279 validatie onderzoek.
- GeoConnect (2010). Validatie handheld XRF metingen bodemonderzoek 'Oude Lepelfabriek' Grote Baan 5 te 3950 Reppel (Bocholt) in België. GeoConnect rapport GC 08-2010, 44 pp.
- GeoConnect (2011). Validatie handheld XRF metingen bodemonderzoek Bekaert terrein te Zwevegem in België. GeoConnect rapport GC 01-2011, 48 pp.
- Non-Destructive and In-Situ XRF Analysis, XRF Guru
- X-Ray Form Factor, Attenuation, and Scattering Tables, NIST, National Institute of Standards and Technology, Department of Commerce, US

VEILIGHEIDSVOORSCHRIFTEN SPECIFIEK VOOR DE TECHNIEK

Om de veiligheid van de veldwerkers te kunnen garanderen zijn standaard persoonlijke beschermingsmiddelen bij het gebruik van de alternatieve bodemonderzoekstechniek noodzakelijk.

Verplichting in het kader van het gebruik van XRF: Er moet een vergunning aangevraagd worden en een opvolging plaats nemen volgens de instructies van het FANC, Federale Agentschap voor Nucleaire Controle (<https://fanc.fgov.be>)

INFORMATIE VOOR DE GEBRUIKER

A. Leveranciers van de alternatieve bodemonderzoekstechniek (apparaat, product, service, analyses)

- Europa
 - Tauw Nederland: Bodemexpert voor de inzet van XRF op projecten (huur XRF inclusief expert)
 - Geoconnect (Nederland): Kennisdrager in opstellen van protocollen op het gebied van XRF
- Wereldwijd
 - Niton: leverancier apparatuur
 - Bruker: Leverancier apparatuur
 - Olympus: Leverancier apparatuur

B. Bibliografie - Literatuur

- Tauw Nederland - XRF
- Bodemrichtlijn.nl – Onderzoekstechnieken – XRF