



Rijkswaterstaat



## Detectie van Niet Gesprongen Conventionele Explosieven

14 september 2007

# **Detectie van Niet Gesprongen Conventionele Explosieven**

14 september 2007

---

.....

## Colofon

<b>Uitgegeven door:</b>	Rijkswaterstaat AGI
<b>Informatie:</b>	Service desk Geo-Informatie
Telefoon:	015-2757700
Fax:	015-2757576
<b>Datum:</b>	14 september 2007
<b>Status:</b>	Definitief
<b>Versienummer:</b>	1.0

---

---

---

## Samenvatting

---

Dit document bevat een beschrijving van de geofysische detectietechnieken die gebruikt worden bij de opsporing van Niet Gesprongen Conventionele Explosieven (NGCE). Het document is bedoeld als aanvulling op de "Handreiking Niet Gesprongen Conventionele Explosieven" van Rijkswaterstaat. Medewerkers van Rijkswaterstaat moeten met dit document voldoende inzicht hebben in de mogelijkheden en beperkingen van deze technieken voor deze toepassing.

Voordat er bij een infrastructureel werk besloten wordt om over te gaan tot opsporing van NGCE dient er eerst een vooronderzoek uitgevoerd te worden, waarin ondermeer de risico's van de vermoede explosieven worden geanalyseerd in relatie tot het toekomstig gebruik van het betreffende gebied.

De geofysische technieken die het meest gebruikt worden voor de detectie van NGCE zijn magnetometrie en elektromagnetische metingen (metaaldetector). Met deze technieken zijn duidelijk de beste resultaten te behalen voor wat betreft het percentage gevonden objecten, het percentage "valse detecties" en het onderscheid tussen munitie en niet relevante objecten. Dit neemt niet weg dat het percentage valse detecties in het algemeen vrij hoog is. De ontwikkelingen in de techniek zijn er op gericht om dit te verbeteren, maar waarschijnlijk zal het altijd wel een zwak punt blijven.

Naast magnetometrie en elektromagnetische metingen wordt een viertal alternatieve technieken beschreven, die wél toepasbaar kunnen zijn, maar dan bij voorkeur als aanvulling. Bij detectie onder water zijn aanvullende technieken als side-scan-sonar en multibeam goed bruikbaar in het voortraject. Deze technieken dringen niet door in de bodem en geven dus geen informatie over volledig begraven NGCE, maar ze zijn wel zeer geschikt om een eerste indicatie (hoeveelheid en type) te krijgen van de objecten die aanwezig zijn. De overige twee technieken (grondradar en subbottom profiling) dringen wél door in de bodem en kunnen bijvoorbeeld aanvullende informatie geven over de diepteligging van begraven NGCE.

---

---

# Inhoudsopgave

---

## Samenvatting 5

### 1. Inleiding 9

- 1.1 Achtergrond 9
- 1.2 Doelstelling 10
- 1.3 Leeswijzer 10

### 2. Technieken 11

- 2.1 Inleiding 11
- 2.2 Meest gebruikte detectietechnieken 13
  - 2.2.1. Magnetometer 13
  - 2.2.2. Metaaldetector 17
  - 2.2.3. Combinatie magnetometrie en elektromagnetische inductie 20
- 2.3 Alternatieve technieken 21
  - 2.3.1. Inleiding 21
  - 2.3.2. Grondradar 21
  - 2.3.3. Subbottom profiling 25
  - 2.3.4. Side-scan-sonar 28
  - 2.3.5. Multibeam echolood 30
- 2.4 Plaatsbepaling 32
  - 2.4.1. GPS 32
  - 2.4.2. Meetketen 32

### 3. Referenties 35

---



---

# 1. Inleiding

---

## 1.1 Achtergrond

In verschillende fases van een infrastructureel werk kan besloten worden dat er onderzoek gedaan moet worden naar de aanwezigheid van NGCE (Niet Gesprongen Conventionele Explosieven), en dat eventueel aanwezige explosieven opgespoord en geruimd moeten worden. Om medewerkers ondersteuning te bieden bij de vraag op welke wijze er gehandeld moet worden heeft Rijkswaterstaat een handreiking opgesteld: "Handreiking Niet Gesprongen Conventionele Explosieven". Aanvullend op deze handreiking is een rapportage opgesteld die handvaten geeft voor het formuleren van afspraken over de risicoverdeling ten aanzien van NGCE in bestekken (UAV 1989) of contracten (UAV-GC 2005). Voor het opstellen van contracten zijn er standaardteksten beschikbaar bij IMG (Rijkswaterstaat Inkoopmanagement GWW).

Voordat er besloten wordt om over te gaan tot opsporing van NGCE dient er eerst een vooronderzoek uitgevoerd te worden, waarin ondermeer de risico's van de vermoede explosieven worden geanalyseerd in relatie tot het toekomstig gebruik van het betreffende gebied. Sinds januari 2007 mogen vooronderzoek en opsporing alleen worden uitgevoerd door bedrijven die voldoen aan de beoordelingsrichtlijn "Opsporen van conventionele explosieven" (BRL-OCE).

Het opsporen zelf begint met de detectie met behulp van geofysische technieken, inclusief de interpretatie van de meetgegevens. Daarbij wordt de ligplaats van de vermoedelijke NGCE vastgesteld. Daarna vindt het benaderen en identificeren van de gedetecteerde objecten plaats. Overigens vindt in het kader daarvan ook vaak weer een (her)detectie plaats, als onderdeel van het lokaliseren van een object. In bepaalde situaties, bijvoorbeeld als je veel explosieven bij elkaar verwacht, heeft detectie met geofysische technieken geen zin en kan direct begonnen worden met civieltechnische opsporing.

Het eindresultaat van het opsporingsproject, namelijk het opleveren van het gebied volgens de opdracht, wordt bepaald door de som van de detectie én de benadering. De opdrachtnemer kan naar redelijkheid alleen voor het eindresultaat verantwoording nemen, indien deze beide onderdelen heeft uitgevoerd. Bij voorkeur moeten daarom beide onderdelen door hetzelfde gecertificeerde bedrijf uitgevoerd worden.

---

## 1.2 Doelstelling

Dit document is een aanvulling op de in paragraaf 1.1 genoemde "Handreiking Niet Gesprongen Conventionele Explosieven" van Rijkswaterstaat. Deze aanvulling moet medewerkers van Rijkswaterstaat voldoende inzicht geven in de mogelijkheden en beperkingen van de geofysische detectietechnieken die gebruikt worden bij de opsporing van NGCE.

Met de informatie uit dit document moeten medewerkers van Rijkswaterstaat:

- (1) tot op zekere hoogte zelfstandig te kunnen beoordelen:
- of het (mogelijk) zinvol is om een detectieonderzoek uit te voeren met behulp van geofysische meettechnieken;
  - wat ongeveer de kosten zijn van het detectieonderzoek;
  - welke informatie een opdrachtnemer nodig heeft om een offerte te kunnen opstellen;
  - wat er afgesproken moet worden over de op te leveren producten;
  - of de door de opdrachtnemer beschreven aanpak (offerte, plan van aanpak) in orde is;
  - of de uitvoering en de opgeleverde producten in orde zijn
- (2) kunnen inschatten:
- wanneer voor het beoordelen van dit alles het inschakelen inhoudelijke expertise wenselijk is

Voor het inschakelen van inhoudelijke expertise kan een verzoek worden ingediend bij:

Rijkswaterstaat AGI  
Servicedesk Geo-informatie  
Telefoon: 015-2757700  
E-mail: [agi-geo-informatie@rws.nl](mailto:agi-geo-informatie@rws.nl)

Indien nodig kan Rijkswaterstaat AGI onafhankelijke externe ondersteuning vragen bij niet bij de betreffende opdracht betrokken bedrijven, universiteiten of kennisinstituten.

## 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de geofysische meettechnieken die gebruikt worden bij de opsporing van NGCE.

---

## 2. Technieken

---

### 2.1 Inleiding

De geofysische technieken die het meest gebruikt worden voor de detectie van NGCE zijn magnetometrie en elektromagnetische metingen (metaaldetector). Met deze technieken zijn duidelijk de beste resultaten te behalen voor wat betreft het percentage gevonden objecten, het percentage valse detecties (valse detectie = als verdacht aanwijzen van locaties waar geen munitie ligt) en het onderscheid tussen munitie en niet relevante objecten. Dit neemt niet weg dat het percentage valse detecties in het algemeen vrij hoog is. De ontwikkelingen in de techniek zijn er op gericht om dit te verbeteren, maar waarschijnlijk zal het altijd wel een zwak punt blijven.

Naast magnetometrie en elektromagnetische metingen worden in dit hoofdstuk nog een aantal alternatieve technieken beschreven, die wèl toepasbaar kunnen zijn, maar dan bij voorkeur als aanvulling op magnetometrie en elektromagnetische metingen. Twee van deze technieken (multibeam en side-scan-sonar) zijn zeer goed bruikbaar in het voortraject om een eerste indicatie (hoeveelheid en type) te krijgen van de aanwezige objecten op de waterbodem. Bij detectie op het land gebeurt dit min of meer vanzelfsprekend door visuele verkenning, onder water is dit meestal niet mogelijk. Beide technieken geven alleen informatie over het bodemoppervlak. Met deze technieken is het niet mogelijk om NGCE te detecteren die zich onder het bodemoppervlak bevinden, tenzij deze een herkenbare verstoring van het oppervlak veroorzaken. De andere twee alternatieve technieken (grondradar en subbottom profiling) dringen wèl door in de bodem en geven dus ook informatie over begraven NGCE. Nadeel van deze technieken is echter dat ook niet-metalen objecten worden gedetecteerd, waardoor het percentage valse detecties erg hoog kan zijn. Ook is de resolutie te grof om kleinere (kleiner dan enkele dm) objecten te vinden.

Subbottom profiling, side-scan-sonar en multibeam zijn akoestische methode die op land niet bruikbaar zijn. Grondradar daarentegen is oorspronkelijk ontwikkeld voor gebruik op land. De toepassing in (zoet) water is op dit moment in ontwikkeling. Een Nadeel van grondradar is dat deze techniek niet toepasbaar is in zout water.

Specifieke detectieapparaten worden in dit document niet genoemd. Voor achtergronden over apparaten wordt verwezen naar de informatie over UXO-detectie (UXO = Unexploded ordnance) op de website van USAEC (U.S. Army Environmental Command):  
<http://aec.army.mil/usaec/technology/>

Om inzicht te geven in de te verwachten kosten wordt bij de beschrijving van de technieken ingegaan op de factoren die de kosten bepalen. Het gaat hierbij om de volgende factoren:

- Kosten van de meetconfiguratie (met onderscheid tussen nat en droog).
- Geometrie van het gebied (grootte, vorm).
- Meetpatroon (bijvoorbeeld raaiafstand).
- Kosten van verwerking en interpretatie.
- Bijzondere omstandigheden (bijvoorbeeld bebouwing).

Het noemen van concrete bedragen of richtgetallen is achterwege gelaten omdat de situatie per onderzoek hiervoor te veel verschilt.

In de tabellen 1a en 1b wordt een overzicht gegeven van de beschreven technieken, met hun belangrijkste eigenschappen. De technieken die het meest gebruikt worden, worden beschreven in paragraaf 2.2. De alternatieve technieken worden beschreven in paragraaf 2.3. In paragraaf 2.4 wordt kort ingaan op mogelijkheden van combinaties van technieken. In paragraaf 2.5 tenslotte wordt een toelichting gegeven op het aspect plaatsbepaling dat voor alle beschreven technieken van belang is.

	<b>fysische eigenschap</b>	<b>actief signaal</b>	<b>welke objecten worden gedetecteerd</b>	<b>toepassingsgebied</b>	<b>dieptebereik</b>
magnetometrie	magnetisme	n.v.t. (passief)	magnetische objecten (ijzer)	land-/ waterbodems	tot enkele meters of dieper met boorgaten
elektromagnetische metingen	magnetisme	geïnduceerd magnetisch veld	alle goed geleidende objecten	land-/ waterbodems	tot 1à2 meter

*Tabel 1a: Meest gebruikte detectietechnieken*

grondradar	contrast in di-ëlektrische eigenschappen	radarsignaal	ook niet-metalen objecten	land-/ waterbodems (zoetwater)	tot 1à2 meter
sub-bottom profiling	contrast in akoestische impedantie	geluidspuls	ook niet-metalen objecten	alleen waterbodems	tot enkele meters
multibeam	contrast in akoestische impedantie	geluidspuls	ook niet-metalen objecten	alleen waterbodems	alleen bodem-oppervlak
side-scan-sonar	contrast in akoestische reflectie	geluidspuls	ook niet-metalen objecten	alleen waterbodems	alleen bodem-oppervlak

*Tabel 1b: Ondersteunende technieken*

---

## 2.2 Meest gebruikte detectietechnieken

### 2.2.1. Magnetometer

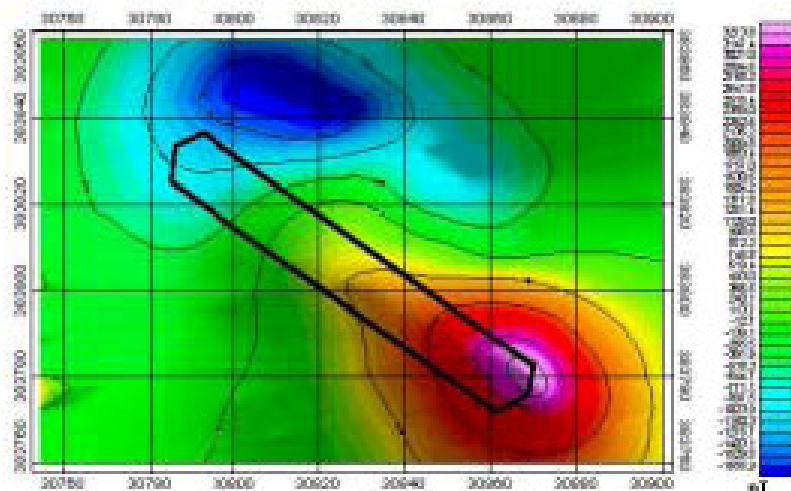
**Fysische parameter:** Magnetisme

#### Meetprincipe

Met een magnetometer wordt het aardmagnetische veld gemeten. Dit gebeurt op een passieve manier. Gemeten wordt het aanwezige veld. Er wordt geen veld geïnduceerd zoals bij de metaaldetector. Het gemeten veld bestaat uit een combinatie van het aardmagnetisch veld en verstoringen daarvan door magnetische objecten of gesteenten.

Men kan of de "totale veldsterkte" meten (d.w.z. de absolute grootte van het veld ongeacht zijn richting, zie figuur 1), of men kan de component in een bepaalde richting meten (b.v. de verticale component). Verder is het nog mogelijk om de gradiënt of de verandering van het veld in een bepaalde richting te meten. Bij deze laatste methode, ook wel gradiometrie genoemd, worden twee meetsondes op korte afstand (b.v. 1 m) van elkaar geplaatst en is het resultaat gebaseerd op het verschil van de beide sondes. Het voordeel van gradiometrie is tweeledig:

1. Er hoeft niet gecorrigeerd te worden voor tijdsafhankelijke veranderingen van het aardmagnetische veld (o.a. ten gevolge van zonneactiviteit), aangezien die voor de twee sondes dezelfde zijn.
2. Er is minder last van storingen van nabije grote objecten zoals de meetboot, aangezien de gradiënt sterker met de afstand afneemt dan het veld zelf.



Figuur 1; Opname met magnetometrie (kaartbeeld). Hier wordt de absolute veldsterkte weergegeven.

Er zijn verschillende soorten magnetometers die berusten op verschillende principes. Zo is de proton-precessiemagnetometer gebaseerd op meting van de precessiefrequentie van protonen en de

---

fluxgate-magnetometer is gebaseerd op meting van de magnetische verzadiging in een spoelensysteem. De fluxgate-magnetometer wordt dikwijls toegepast bij gradiometrie (bepaling veldgradiënt door verschilmeting met twee spoelen).

### **Soorten objecten (materiaal) / verstoringen die worden gedetecteerd**

Gedetecteerd worden magnetische objecten of gesteenten. Deze objecten of gesteenten zijn magnetisch doordat er of magnetische elementen (ijzer is de belangrijkste) of magnetische mineralen (de belangrijkste is magnetiet) in aanwezig zijn. Het magnetisch effect van een ijzeren object hangt niet alleen af van de hoeveelheid en het soort ijzer, maar ook van de geometrie van het object en de oriëntatie t.o.v. de richting van het aardmagnetische veld.

RVS (roestvast staal) is aanzienlijk moeilijker of zelfs in het geheel niet op te sporen doordat dit veel minder of soms zelfs geen magnetische eigenschappen bezit. Opsporing van hoogwaardig RVS is vrijwel alleen mogelijk op een eventueel breukvlak of op de lasnaden.

### **Volwassenheid techniek**

Magnetometrie wordt al tientallen jaren gebruikt en kan worden beschouwd als vrijwel uitontwikkelde inwintechneek. De belangrijkste ontwikkelingen hebben de laatste jaren plaatsgevonden in de digitale verwerking van de verkregen data (post processing). Hierdoor zijn de mogelijkheden om informatie te verkrijgen over grootte en gewicht van de gedetecteerde objecten sterk verbeterd, en kan het aantal "valse detecties" verminderd worden. De meest recente ontwikkelingen zijn gericht op het meten en verder verwerken van de vectorcomponenten van het magnetische veld.

### **Aanpak inwinning**

*Toepassing algemeen:* De magnetometer (of gradiometer) wordt langs raaien over de bodem bewogen. Raaiafstanden worden bepaald aan de hand van te detecteren obstakelmassa's en het vereiste dieptebereik. In de praktijk wordt wel gewerkt met raaiafstanden van 2 meter voor munitie vanaf 250 lbs (ferro massa van 60 kg).

Het verdient altijd aanbeveling om zo dicht mogelijk boven de bodem (en objecten) te meten. De resolutie van de methode wordt daardoor verbeterd.

*Toepassing onder water:* Een (ingepakte) magnetometer wordt achter een schip gesleept en in raaien zo dicht mogelijk over de waterbodem bewogen. De vaarsnelheid bedraagt circa 5 km/uur. In ondiep water kan de magnetometer vast aan het schip worden verbonden. In dieper water is het voor het dicht boven de bodem meten noodzakelijk om gebruik te maken van een towfish. Voor het onderzoeken van kleine gebiedjes worden onder water ook wel handheld magnetometers gebruikt die door duikers gehanteerd kunnen worden.

*Systemen met meer sensoren:* Door het meetsysteem uit te rusten als array met meerdere sensoren naast elkaar kan de hoeveelheid raaien beperkt worden en kan de kwaliteit van het resultaat verbeterd worden. De kwaliteitsverbetering is mogelijk doordat de gradiënt in dwarsrichting nauwkeuriger bepaald kan worden.

---

*3D-meting:* Metingen worden uitgevoerd vanuit een net van boorgaten; de onderlinge afstand wordt eveneens bepaald door te detecteren objecten. Bij meting vanuit boorgaten is er minder verstoring door hoger gelegen objecten.

*Plaatsbepaling:* Voor de plaatsbepaling van de magnetometer wordt in het algemeen gebruik gemaakt van GPS (DGPS of GPS-RTK, zie paragraaf 2.4.1).

### **Verwerking**

De huidige verwerkingssoftware maakt het mogelijk om informatie van verschillende locaties (raaien) te combineren, en direct informatie te berekenen over grootte en diepte van vermoedelijke objecten. Dit maakt het beter mogelijk om onderscheid te maken tussen munitie en kleine niet relevante objecten. Het resultaat bestaat dan niet alleen uit een kaart van de magnetische veldsterktes, maar ook uit de afgeleide gegevens van de objecten. Voor de verwerking en interpretatie is deskundig personeel nodig met specifieke kennis.

In sommige gevallen is het mogelijk om zonder computer (analoog) te werken waarbij de analyse direct in het terrein wordt uitgevoerd en weergegeven door een meetinstrument en gemarkeerd door de operator. Ook in dit geval zal de operator over veel ervaring, fysieke kennis en kennis van de apparatuur moeten beschikken om de juiste conclusies aan de meting te verbinden. Bij toepassing onder water is deze aanpak niet mogelijk.

### **Resultaten**

- Lijst van mogelijke objecten met vermelding van locatie (xy-coördinaten), diepte (t.o.v. mv. en/of NAP) en vermoedelijk gewicht (ijzer).
- Contourkaart met totale magnetische veldsterkte (in nanotesla, nT) of van de veldsterktegradiënt (in nT/m); in combinatie met boorgat-magnetometrie eventueel een 3D-beeld met dezelfde gegevens.

De nauwkeurigheid waarmee de locatie, diepteligging en gewicht van een magnetisch object kunnen worden vastgesteld wordt bepaald door:

- Nauwkeurigheid van de plaatsbepaling (zie paragraaf 2.4.1)
- Afstand tussen de raaien.
- Afstand tussen de meetpunten in de raai (t.g.v. update rate en voortbewegingssnelheid).
- Lokalisatie uit data magnetometrie, rekening houdend met mogelijke verstoringen.
- Diepte, gewicht (van het magnetisch materiaal) en oriëntatie t.o.v. het aardmagnetisch veld van het gemeten object.

Het dieptebereik is afhankelijk van de massa van de aanwezige hoeveelheid ijzer en neemt ongeveer lineair toe met de diameter van het object. De massa hangt samen met de derde macht van de diameter. Daardoor is de toename minder snel als je naar de massa kijkt. 10 kg ijzer is waarneembaar tot op ongeveer 4 m diepte, 1000 kg tot op 20 m. De detecteerbaarheid hangt mede af van de vorm van het

---

object en de oriëntatie in het aardmagnetisch veld. Bij gradiometrie is de toename van het dieptebereik met de massa minder groot dan bij "Total Field" metingen. De best haalbare nauwkeurigheid wordt bepaald door de "ruis" ten gevolge van diverse, niet steeds te identificeren of te compenseren, storingsbronnen.

De resultaten moeten inclusief interpretatie geleverd worden. Alleen een kaart met vlekken/anomalieën is niet voldoende om iets zinnigs te kunnen zeggen over de kwaliteit van de resultaten.

#### **Kosten:**

Bij magnetometrie (evenals bij metaaldetector, grondradar en subbottom profiler) is het voor het verkrijgen van een gebiedsdekkend beeld noodzakelijk om een vrij dicht raaienpatroon te meten (raaiafstand 1-2 meter). De meettijd is hierdoor een belangrijke kostenbepalende factor.

Vanwege de duurdere meetconfiguratie zijn de kosten bij toepassing onder water duidelijk hoger dan op het land.

#### **Voordelen**

*Algemeen:*

- Magnetometrie wordt beschouwd als één van de meest effectieve technieken voor detectie van NGCE in land- en waterbodems.

*Informatie over objecten:*

- Afhankelijk van de gebruikte systemen voor inwinning en verwerking kan magnetometrie redelijk goede informatie opleveren over de grootte, type en oriëntatie van objecten. Op deze manier is het (deels) mogelijk om niet relevante kleinere objecten weg te filteren.

#### **Nadelen**

*Niet gedetecteerde objecten en valse detecties:*

- Bij de toepassing van magnetometrie is het altijd mogelijk dat bepaalde objecten niet worden gevonden of dat er objecten worden aangewezen die in werkelijkheid niet relevant (b.v. klein) blijken te zijn. Afhankelijk van de gebruikte aanpak voor inwinning en verwerking kunnen er vrij vaak valse detecties voorkomen. gegeven.

*Informatie over objecten:*

- Met magnetometrie is het niet goed mogelijk om clusters van kleinere objecten te onderscheiden van individuele grotere objecten.
- Magnetometrie is altijd onderhevig aan equivalentie. Verschillende modellen kunnen dezelfde gegevens verklaren. Een zwaar en diep gelegen object kan (tot op zekere hoogte) hetzelfde meetresultaat opleveren als een lichter en ondiep gelegen object.

*Gevoeligheid voor verstoringen:*

- Hoger gelegen objecten verstoren de meting van dieper gelegen objecten.



- 
- Grote ijzeren objecten (damwanden, beton met wapening, schip, ed.) zullen het magnetisch veld beïnvloeden. Dit kan de nauwkeurigheid beperken. Er zijn echter compensatietechnieken waarmee deze effecten voor een belangrijk deel geëlimineerd kunnen worden. Bij veel Fluxgate gradiometers kan mechanische compensatie worden toegepast waarbij het magneetveld voor de bovenste sensor gelijk gemaakt wordt aan dat van de onderste sensor. Dit kan ook automatisch gebeuren, waarbij dan alle langgolvlige effecten worden uitgefilterd (Autotune).
  - Sommige typen magnetometers hebben een dode hoek. Dit speelt met name bij gradiometers die opgebouwd zijn uit twee of drie "Total Field" magnetometers.
  - Op onvoorspelbare momenten kan het aardmagnetisch veld verstoord worden door activiteit van de zon

### 2.2.2. Metaaldetector

**Alternatieve namen:** Elektromagnetische meting (EM).

**Fysische parameter:** Magnetisme

#### **Meetprincipe**

Een metaaldetector berust op het principe van elektromagnetische inductie. In tegenstelling tot magnetometrie is dit een actieve methode. Met behulp van een elektrische stroom in een zendspoel wordt een elektromagnetisch veld gecreëerd, dat in de ondergrond als geheel en speciaal in goed geleidende objecten inductiestromen opwekt. Het magnetisch veld veroorzaakt door deze inductiestromen wordt gemeten met een andere spoel: de ontvangspoel. De sterkte en duur van het geïnduceerde veld hangt onder meer af van de grootte, diepte, vorm, geleidbaarheid en oriëntatie van objecten in de ondergrond.

Metaaldetectie is een actieve methode. Het signaal kan dus worden aangepast om optimale informatie te verkrijgen over de te meten objecten.

#### **Soorten objecten (materiaal) / verstoringen die worden gedetecteerd**

Gedetecteerd worden alle goed geleidende (metalen) objecten. Ook niet ijzerhoudende metalen zoals koper en aluminium worden gedetecteerd. Ook kleine goed geleidende objecten worden gedetecteerd.

#### **Volwassenheid techniek**

Metaaldetectie wordt al tientallen jaren gebruikt en kan worden beschouwd als een volwassen inwintechneek. De belangrijkste ontwikkeling is dat het met geavanceerde verwerkingstechnieken beter mogelijk is om onderscheid te maken tussen verschillende soorten geleidende materialen.

---

## Aanpak inwinning

*Toepassing algemeen:* In het algemeen worden metaaldetectoren voor munitiedetectie gemonteerd op karretjes die met de hand door het terrein worden bewogen. In relatief vlak en open terrein kunnen ook door grotere voertuigen voortbewogen systemen gebruikt worden.

*Toepassing onder water (alleen zoet water):* Er is speciale EM-apparatuur ontwikkeld met een waterdichte behuizing voor gebruik onder water. De aanpak is dan vergelijkbaar met die voor de magnetometer onder water. De metaaldetector kan dan worden voortgesleept een schip. Voor onderzoek van kleinere gebiedjes zijn er ook handheld systemen beschikbaar die door duikers gehanteerd kunnen worden. De mogelijkheden van deze kleinere systemen zijn echter beperkt. Toepassing van metaaldetectoren in zout water is niet mogelijk.

*Systemen met meer sensoren:* Evenals bij magnetometrie kan bij metaaldetectie een array met meerdere sensoren naast elkaar gebruikt worden.

*Plaatsbepaling:* Voor de plaatsbepaling van de metaaldetector wordt in het algemeen gebruik gemaakt van GPS (DGPS of GPS-RTK, zie paragraaf 2.4.1).

## Verwerking

Evenals bij de verwerking van magnetometrie is het met de huidige verwerkingssoftware mogelijk om informatie van verschillende locaties (raaien) te combineren. Er is verwerkingssoftware waarmee de data van magnetometer en metaaldetector beide verwerkt kunnen worden, waarbij direct ook informatie berekend wordt over grootte en diepte van vermoedelijke objecten. Het resultaat bestaat dan niet alleen uit een kaart van het gemeten signaal in de ontvangspoel, maar ook uit de afgeleide gegevens van de objecten. Voor de verwerking en interpretatie is deskundig personeel nodig met specifieke kennis.

In sommige gevallen is het mogelijk om zonder computer te werken waarbij de analyse meteen ter plaatse door een of ander meetinstrument wordt weergegeven. Ook in dit geval zal de operator over veel ervaring, fysische kennis en kennis van de apparatuur moeten beschikken om de juiste conclusies aan de meting te kunnen verbinden.

## Resultaten

Beknopte beschrijving van de opgeleverde resultaten

- Lijst van mogelijke objecten met vermelding van locatie (xy-coördinaten), diepte (t.o.v. mv. en NAP) en vermoedelijk gewicht (ijzer). Wat kan aangegeven worden over onzekerheden?
- Contourkaart van het gemeten signaal in de ontvangspoel.

De nauwkeurigheid waarmee de locatie, diepteligging en gewicht van een geleidend object kunnen worden vastgesteld wordt bepaald door:

- Nauwkeurigheid van de plaatsbepaling (zie paragraaf 2.4.1)
- Afstand tussen de raaien.
- Afstand tussen de metingen in de raai (t.g.v. update rate en voortbewegingssnelheid).

- 
- Lokalisatie uit data metaaldetectie, rekening houdend met mogelijke verstoringen.
  - Diepte, gewicht en oriëntatie van het gemeten object t.o.v. het geïnduceerde veld.

De resultaten moeten inclusief interpretatie geleverd worden. Alleen een kaart met vlekken/anomalieën is niet voldoende om iets zinnigs te kunnen zeggen over de kwaliteit van de resultaten.

#### **Kosten:**

Bij metaaldetectie (evenals bij magnetometrie, grondradar en subbottom profiler) is het voor het verkrijgen van een gebiedsdekkend beeld noodzakelijk om een vrij dicht raaienpatroon te meten (raaiafstand 1-2 meter). De meettijd is hierdoor een belangrijke kostenbepalende factor.

Vanwege de duurdere meetconfiguratie zijn de kosten bij toepassing onder water duidelijk hoger dan op het land.

#### **Voordelen**

##### *Algemeen:*

- Metaaldetectie is een actieve methode. Het signaal kan dus worden aangepast om optimale informatie te verkrijgen over de te meten objecten.

##### *Gebiedskenmerken:*

- Vanwege de hoge inwinsnelheid is EM zeer geschikt voor grotere (open) gebieden.
- Kleinere metaaldetectoren zijn handzaam en goed te gebruiken in minder toegankelijk terrein.

##### *Informatie over objecten:*

- Met EM kan veelal een indicatie van de diepteligging worden verkregen.

##### *Gevoeligheid voor verstoringen:*

- In vergelijking met de magnetometer is de metaaldetector minder gevoelig voor versturende omgevingsinvloeden.

#### **Nadelen**

##### *Niet gedetecteerde objecten en valse detecties:*

- Bij de toepassing van EM blijft het altijd mogelijk dat bepaalde objecten niet worden gevonden of dat er objecten worden aangewezen die in werkelijkheid niet relevant blijken te zijn. Afhankelijk van de gebruikte aanpak voor inwinning en verwerking kunnen er vrij vaak valse detecties voorkomen, met name in gebieden met veel munitiefragmenten. Bepaalde metaaldelen kunnen een beeld geven dat overeenkomt met dat van munitie. Dit geldt met name voor EM-sensors die alleen uitgaan van de sterkte van het signaal.

##### *Fractiegrootte en dieptebereik:*

- EM is met name geschikt voor detectie van munitie in de bovenste meter van de bodem, hoewel de methode ook gebruikt kan worden voor de detectie van dieper begraven objecten. Omdat EM een actieve methode is, is de looptijd van het signaal 2x zo lang als bij

---

magnetometrie. De afname van het signaal met de diepte is hierdoor veel sterker.

*Informatie over objecten:*

- Metaaldetectie is altijd onderhevig aan equivalentie. Verschillende modellen kunnen (tot op zekere hoogte) dezelfde gegevens verklaren.
- EM metingen reageren vooral op de oppervlak van objecten en niet op de massa. Het is hierdoor bijvoorbeeld niet mogelijk om een zware bom te onderscheiden van een verblik met dezelfde grootte. Bij EM metingen is het niet mogelijk om de massa van een object te bepalen.

*Gevoeligheid voor verstoringen:*

- Grote ijzeren objecten (damwanden, beton met wapening, schip, ed.) kunnen interferentie veroorzaken en de meting verstoren.

*Risico voor detonatie:*

- Er is een klein risico dat munitie wordt gedetoneerd door het geïnduceerde magnetische veld. Dit risico is klein omdat de gebruikte veldsterktes klein zijn.

*Zout water:*

- Toepassing van EM in zout water is niet mogelijk

### **2.2.3. Combinatie magnetometrie en elektromagnetische inductie**

Combinatie van magnetometrie en elektromagnetische inductie (in één meetconfiguratie) kan in principe het aantal valse detecties terugbrengen. Bij RWS zijn hiervan geen ervaringen uit de praktijk bekend.

Omdat magnetometrie en elektromagnetische inductie gebruik maken van verschillende fysische eigenschappen bevat de ingewonnen data in principe aanvullende informatie. Men mag daarom verwachten dat de detectie betrouwbaarder wordt en dat het aantal valse detecties zal afnemen.

---

## 2.3 Alternatieve technieken

### 2.3.1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden vier alternatieve technieken behandeld, die wèl toepasbaar kunnen zijn, maar dan bij voorkeur als aanvulling op magnetometrie en/of elektromagnetische metingen. Achtereenvolgens worden de volgende technieken beschreven:

- Grondradar
- Subbottom profiling
- Side-scan-sonar
- Multibeam

Twee van deze technieken (multibeam en side-scan-sonar) zijn zeer goed bruikbaar in het voortraject om een eerste indicatie (hoeveelheid en type) te krijgen van aanwezige objecten op de waterbodem. Bij detectie op het land gebeurt dit min of meer vanzelfsprekend door visuele verkenning, onder water is dit meestal niet mogelijk. Beide technieken geven alleen informatie over het bodemoppervlak. Met deze technieken is het niet mogelijk om NGCE te detecteren die zich onder het bodemoppervlak bevinden, tenzij deze een herkenbare verstoring van het oppervlak veroorzaken.

De andere twee technieken (grondradar en subbottom profiling) dringen wèl door in de bodem en geven dus ook informatie over begraven NGCE. Door deze technieken te combineren met magnetometrie en elektromagnetische metingen kan het percentage valse detecties worden teruggebracht. Daarnaast zijn deze technieken soms bruikbaar in situaties waarbij de toepassing van magnetometrie en elektromagnetische metingen niet mogelijk is, bijvoorbeeld als er veel storende signalen zijn. Nadeel van deze technieken is echter dat ook niet-metalen objecten worden gedetecteerd, waardoor het percentage valse detecties erg hoog kan zijn. Ook is de resolutie te grof om kleinere objecten te vinden (kleiner dan enkele dm).

Subbottom profiling, side-scan-sonar en multibeam zijn akoestische methode die op land niet bruikbaar zijn. Grondradar daarentegen is oorspronkelijk ontwikkeld voor toepassing op land. De toepassing in (zoet) water is op dit moment in ontwikkeling. Een Nadeel van grondradar is dat deze techniek niet toepasbaar is in zout water.

### 2.3.2. Grondradar

**Alternatieve namen:** Ground Penetrating Radar (GPR), georadar, bodemradar.

**Fysische parameter:** Contrast in di-ëlektrische eigenschappen.

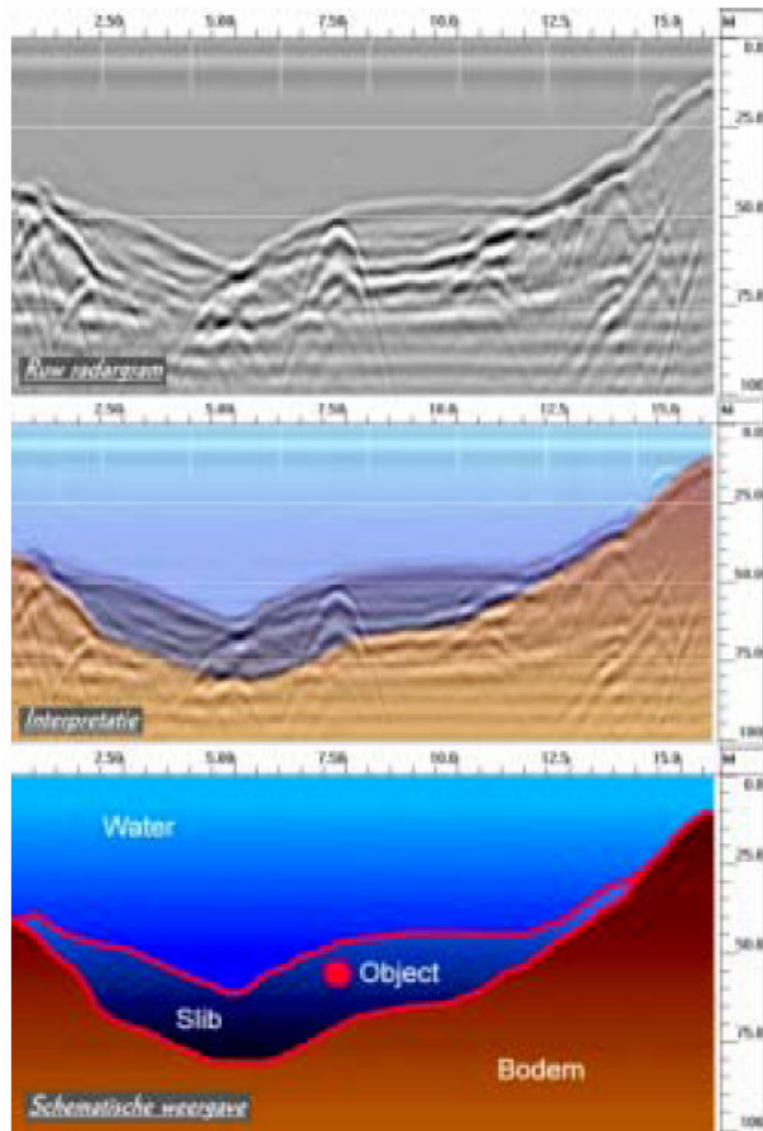
**Meetprincipe:** Met een zendantenne worden korte elektromagnetische pulsen (radar) uitgezonden. Deze pulsen reflecteren op

inhomogeniteiten in de bodem (contrasten in diëlektrische eigenschappen). Afhankelijk van de gebruikte apparatuur kunnen maximaal 30 tot 60 metingen per seconde uitgevoerd worden, waardoor een vrijwel continu profiel van de bodem wordt verkregen. Kennis van de voortplantingssnelheid in de verschillende lagen is op voorhand nodig. Relatief lage frequenties dringen verder door in de bodem, maar hebben een lagere resolutie dan de relatief hogere frequenties.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen laagfrequente grondradar (25-200 MHz), vaak aangeduid als georadar, en hoogfrequente grondradar (200 MHz-1 GHz), vaak aangeduid als bodemradar.

### Soorten objecten (materiaal) / verstoringen die worden gedetecteerd

Gedetecteerd worden objecten in de bodem en laagovergangen die gepaard gaan met contrasten in di-ëlektrische eigenschappen (zie figuur 2). Het kan daarbij gaan om metalen objecten, maar ook niet-metalen objecten (b.v. stenen) kunnen gedetecteerd worden.



Figuur 2: Opname en interpretatie van de grondradar (dwarsdoorsnede).

---

### **Volwassenheid techniek**

Grondradar wordt internationaal al enkele decennia gebruikt om de ondergrond op land tot enkele meters diep in kaart te brengen. Sinds enkele jaren wordt grondradar ook toegepast voor onderzoek van waterbodems.

De toepassing bij de detectie van NGCE is nog vrij nieuw en de mogelijkheden hiervoor zijn zeer beperkt.

### **Aanpak inwinning**

*Toepassing algemeen:* De grondradar wordt langs raaien over de bodem bewogen. Om een volledige dekking te krijgen is een raaiafstand van 0,5 m tot 1,0 m benodigd. Raaien worden afgewerkt met loopsnelheid of iets langzamer (1-4 km/uur). Voor detectie van NGCE is alleen hoogfrequente grondradar toepasbaar (200 MHz – 1 GHz). Bij laagfrequente grondradar is de resolutie niet voldoende. Voor het opsporen van objecten kan (evenals bij akoestische technieken) het beste gebruik gemaakt worden van bronnen met een grote openingshoek. Voor grondradar is dit over het algemeen niet zo'n probleem, omdat de gangbare bronnen een openingshoek hebben van ongeveer 40°. De toepassing van georadar op land is relatief eenvoudig. De methode wordt daarom vaak ingezet voor een quick-scan van de ondergrond.

*Toepassing onder water (alleen zoet water):* De antenne is verbonden aan een schip en er wordt gevaren in raaien. De vaarsnelheid van het schip bedraagt circa 1-4 km/uur. Voor zeer ondiep water (maximaal 3 tot 5 meter diep) kan de methode vanaf het wateroppervlak worden ingezet en hoeven geen speciale maatregelen genomen te worden. Voor dieper water moet de antenne dicht boven de bodem worden gebracht om voldoende doordringend vermogen te houden. De antenne moet dan in een waterdichte behuizing onder water worden gebracht. Toepassing van grondradar in zout water is niet mogelijk.

*Plaatsbepaling:* Voor de plaatsbepaling van de metaaldetector wordt in het algemeen gebruik gemaakt van GPS (DGPS of GPS-RTK, zie paragraaf 2.4.1).

### **Verwerking**

De verwerking van georadarmetingen is vrijwel identiek aan de verwerking van seismische data (zie paragraaf 2.3.3). Doordat de data van georadar dezelfde structuur heeft als seismische data kan gebruik gemaakt worden van dezelfde verwerkingssoftware. Hiermee kan de kwaliteit van de resultaten aanzienlijk verbeterd worden. Om diepteprofielen te construeren moet de snelheid van de elektromagnetische golven in de verschillende media bekend zijn. Dit betekent dat er ijkmonsters nodig zijn.

Een onbewerkt radargram is voor ongetrainde waarnemers vrijwel niet te interpreteren. Echo's van gezochte en ongezochte heterogeniteiten kunnen veel op elkaar lijken. Verschillen in voortplantingssnelheid, met name boven en onder de grondwaterspiegel geven een sterk vertekend beeld van de geometrie. Voor de verwerking en interpretatie is deskundig personeel nodig met specifieke kennis.

---

### **Kosten:**

Bij grondradar (evenals bij magnetometrie, metaaldetectie en subbottom profiler) is het voor het verkrijgen van een gebiedsdekkend beeld noodzakelijk om een vrij dicht raaienpatroon te meten (raaiafstand 1-2 meter). De meettijd is hierdoor een belangrijke kostenbepalende factor.

Vanwege de duurdere meetconfiguratie zijn de kosten bij toepassing onder water duidelijk hoger dan op het land.

### **Voordelen**

*Informatie over objecten:*

- In vergelijking met magnetometrie en metaaldetectie heeft grondradar als voordeel dat de diepteligging op een meer directie manier wordt gemeten, via de looptijd van het radarsignaal.
- In principe kan grondradar een driedimensionaal beeld van een object opleveren. Dit vereist echter wel een zeer geavanceerde aanpak van inwinning en verwerking. Er zijn hiervan bij RWS nog geen praktijkresultaten bekend.
- Bij detectie van explosieven met magnetometrie of metaaldetectie kan grondradar nuttige aanvullende informatie opleveren over de grootte en vorm van objecten. Op deze manier kan grondradar helpen bij het onderscheiden van munitie en niet relevante objecten.
- Een sterk punt van grondradar is dat de diepte van objecten veel beter bepaald kan worden dan met magnetometrie of EM.

*Gevoeligheid voor verstoringen:*

- Grondradar is minder gevoelig voor verstoringen van objecten dan magnetometrie en metaaldetectie.

### **Nadelen**

*Algemeen:*

- Eén van de belangrijkste beperkingen is dat vaak niet vooraf is aan te geven of de indringing in de bodem voldoende is.
- Een tweede belangrijke beperking is dat voor het verwerken van de data een ervaren specialist nodig is.

*Informatie over objecten:*

- Onder optimale omstandigheden kan grondradar worden gebruikt voor de detectie van individuele NGCE, maar zulke optimale omstandigheden komen zelden voor. De techniek kan wel gebruikt worden voor de detectie van clusters van NGCE

*Fractiegrootte en dieptebereik:*

- De indringdiepte in de bodem bedraagt voor zand enkele decimeters tot enkele meters. Voor klei bedraagt de indringdiepte maximaal één meter, maar meestal veel minder. Ook een klein gehalte aan klei kan de toepassingsmogelijkheden aanzienlijk beperken. Bij optimale omstandigheden kan munitie tot 1,5 m diep gedetecteerd worden.
- De resolutie van grondradar is afhankelijk van de gebruikte frequentie. Bij een 2x zo hoge frequentie is de resolutie 2x zo goed, maar daar staat tegenover dat de indringdiepte in de bodem 2x zo



---

klein is. Potentieel kunnen objecten met een grootte vanaf enkele decimeters gedetecteerd worden.

- Metingen vanaf het wateroppervlak zijn slechts mogelijk tot een waterdiepte van maximaal 3-5 meter. De mate van demping hangt sterk af van de elektrische geleiding van het water. In (zout) zeewater is de geleiding erg hoog en bedraagt de penetratie slechts enkele mm tot cm's. De toepassingen beperken zich dan ook tot zoet water.

### 2.3.3. Subbottom profiling

**Alternatieve namen:** Hoge resolutie seismiek (HRS), penetrerend echolood, ondiepe (reflectie) seismiek.

**Fysische parameter:** Contrast in akoestische impedantie ("schijnbare weerstand").

**Meetprincipe:** Een geluidspuls wordt opgewekt in een akoestische bron. De puls dringt door in de bodem, reflecteert op diverse laagovergangen (inclusief het water/ bodem grensvlak) en inhomogeniteiten in de bodem en wordt vervolgens weer gedetecteerd in een ontvanger. De gebruikte frequentie bedraagt circa 2–30 kHz. Relatief lage frequenties dringen verder door in de bodem, maar hebben een lagere resolutie dan de relatief hogere frequenties. De geluidssnelheid in de diverse lagen dient bekend te zijn; dit kan gebaseerd zijn op ervaring, maar ook via aanvullende boringen of sonderingen worden vastgesteld.

De term "Subbottom profiling" (of "Penetrerend echolood") wordt gebruikt voor ondiepe seismiek met één gecombineerde bron/ontvanger. Dit is de eenvoudigste vorm van reflectieseismiek.

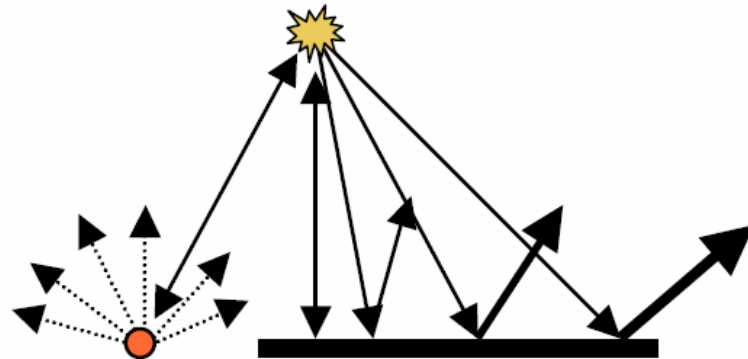
Wanneer er gewerkt wordt met meer ontvangers (en bronnen) kan de signaal-ruisverhouding verbeterd worden en er kan in principe een beter inzicht worden verkregen in de bodem en objecten daarin (3D-seismiek). Voor ondiepe toepassingen vallen de resultaten tot nu toe tegen. De resolutie is hiervoor vaak niet voldoende. Dit ligt niet aan de akoestisch techniek zelf. Voornaamste oorzaak is de onnauwkeurigheid in de positionering van bron en ontvangers.

Een bijzondere vorm is het parametrisch echolood waarbij twee hoogfrequente signalen worden uitgezonden, waarmee een lage verschilfrequentie wordt gegenereerd. Resultaat hiervan is o.a een smalle bundelhoek bij kleine afmetingen van de akoestische bron. Bij het zoeken is dit een nadeel omdat je een smallere strook kan bestrijken, maar als je iets vindt is het een voordeel omdat de resolutie en de plaatsbepaling beter zijn.

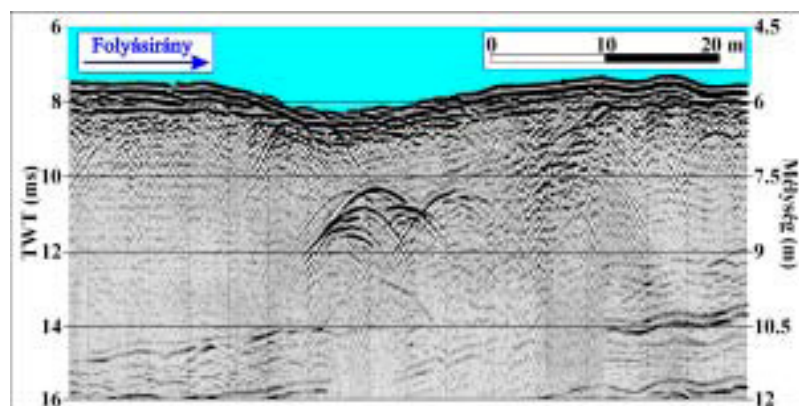
Voordeel hiervan is o.a een smalle bundelhoek bij kleine afmetingen van de akoestische bron.

### Soorten objecten (materiaal) / verstoringen die worden gedetecteerd

Gedetecteerd worden objecten in de bodem en laagovergangen die gepaard gaan met contrasten in akoestische eigenschappen (zie figuur 3 en 4). Het kan daarbij gaan om metalen objecten, maar ook niet-metalen objecten (b.v. stenen) kunnen gedetecteerd worden.



Figuur 3: Voorbeeld van verschillen in reflecties tussen gelaagdheden en objecten ('scatteraar')



Figuur 4: Opname met de subbottom profiler van een gaspijp (dwarsdoorsnede)

### Volwassenheid van de techniek

Reflectie-eismiek is een veel toegepaste en ver ontwikkelde techniek in de olie- en gaswinning. Subbottom profiling is de eenvoudigste vorm van deze techniek. Voor de detectie van explosieven zijn (bij RWS) nog geen praktijkervaringen bekend. De meningen over de mogelijkheden bij de detectie van NGCE lopen sterk uiteen.

### Aanpak inwinning

*Toepassingsgebied:* Toepassing voor detectie van explosieven is alleen mogelijk voor waterbodems.

*Meetopzet:* De bron /ontvanger is bevestigd aan een schip en verticaal gericht. De vaarsnelheid van het schip bedraagt circa 4 m/s. De gegevens worden opgenomen in raaien.

---

*Bundelbreedte:* Voor het opsporen van objecten met een beperkte ruimtelijke omvang maakt men veel gebruik van diffractie-energie (de diffractiehyperbolen zijn doorgaans goed te herkennen in de metingen). Vandaar dat men hier in het algemeen kan stellen dat een zo breed mogelijke bundel gewenst is.

### **Verwerking**

In de Nederlandse surveywereld vindt de meeste dataverwerking in real-time, on-line plaats. Dit is per definitie een 'primitieve' vorm van dataverwerking. Voor het off-line verwerken van meetgegevens bestaan uitgebreide mogelijkheden, die de kwaliteit van de meetgegevens aanzienlijk kunnen verbeteren. Goede data-acquisitie blijft wel de basis van een goed eindresultaat. Voor de verwerking en interpretatie is deskundig personeel nodig met specifieke kennis.

### **Resultaten**

Nauwkeurigheid plaatsbepaling in horizontale vlak: circa 0.2 m

Nauwkeurigheid plaatsbepaling in verticale vlak: 0.1–0.2 m

### **Kosten:**

Bij subbottom profiling (evenals bij magnetometrie, metaaldetectie en grondradar) is het voor het verkrijgen van een gebiedsdekkend beeld noodzakelijk om een vrij dicht raaienpatroon te meten (raaiafstand 1-2 meter). De meettijd is hierdoor een belangrijke kostenbepalende factor.

Vanwege de duurdere meetconfiguratie zijn de kosten bij toepassing onder water duidelijk hoger dan op het land.

### **Voordelen**

*Informatie over objecten:*

- In vergelijking met magnetometrie en metaaldetectie heeft subbottom profiling als voordeel dat de diepteligging op een meer directe manier wordt gemeten, via de looptijd van het akoestisch signaal.

### **Nadelen**

*Algemeen:*

- Akoestische technieken kunnen niet op land worden toegepast.
- Akoestische technieken kunnen in ondiep water niet goed ingezet worden in verband met het multiple effect: hierbij wordt het signaal van de waterbodem overschaduwd door herhaaldelijke sterke reflecties van het signaal tussen waterbodem en de antenne.
- Gasvorming in de bodem is berucht vanwege de hoge demping.

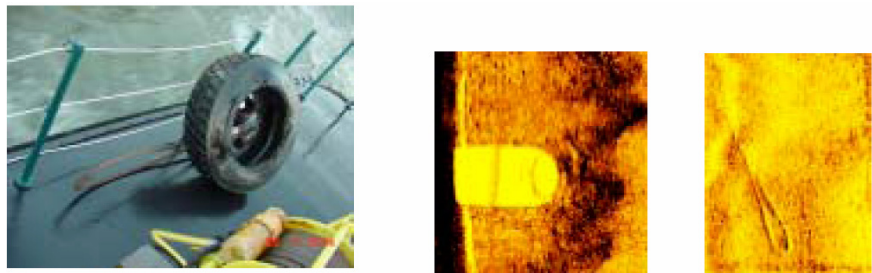
---

### 2.3.4. Side-scan-sonar

**Alternatieve naam:** Side-looking-sonar.

**Fysische parameter:** Reliëf in bodemoppervlak en contrast in akoestische reflectie.

**Meetprincipe:** Een bundel akoestische energie wordt in een zij-richting gestuurd. De uitgezonden puls genereert een continue stroom van echo's op het grensvlak water–bodem, waarbij de looptijd een maat is voor de locatie van de echo. De beeldvorming gebeurt door verschillen in reflectiekenmerken. Achter objecten die boven de bodem uitsteken treedt schaduwwerking op, waardoor het reliëf in beeld wordt gebracht (van zandribbels tot bodemvreemde objecten, zie figuur 5). Loodrecht op de vaarrichting is de bundel breed, waardoor een brede strook wordt afgedekt. In de vaarrichting is de bundel juist zeer smal, om een goede resolutie te krijgen. Het beeld wordt opgebouwd uit strepen haaks op de vaarrichting. De geluidspuls wordt opgewekt in een bron/ontvanger met een gebruikte frequentie van circa 100-1200 kHz. De resolutie is afhankelijk van de vaarsnelheid, de frequentie en de openingshoek in de vaarrichting.



*Figuur 5: Opname met side-scan-sonar van een autoband en een nylon tros (bovenaanzicht).*

#### **Soorten objecten (materiaal) / verstoringen die worden gedetecteerd**

Objecten op de waterbodem (ook niet metalen objecten).

#### **Volwassenheid techniek**

Side-scan-sonar is een zeer volwassen techniek waar we bij RWS veel ervaring mee hebben.

#### **Aanpak inwinning**

Een sonarvis wordt achter een schip gesleept en in raaien dicht over de waterbodem bewogen. Bij een grotere afstand tot de bodem is het reliëf minder goed zichtbaar. De vaarsnelheid bedraagt circa 5 km/uur. In ondiep water kan de sonar apparatuur vast aan het schip worden verbonden. In het raaienpatroon moet voldoende overlap worden aangehouden, rekening houdend met de minder goede kwaliteit van het beeld dichtbij het schip en op grote afstand van het schip. Het beste beeld wordt verkregen in twee stroken op middelgrote afstand aan weerszijden van het schip. Ondanks de benodigde overlap is de raaiafstand die bij side-scan-sonar kan worden aangehouden duidelijk groter dan bij de andere technieken (magnetometrie, EM, subbottom profiling).

---

Een interessante variant is de sector scan sonar waarmee vanaf een vaste locatie de bodem in beeld gebracht kan worden. Deze techniek is zeer geschikt voor het begeleiden van duikers bij inspectiewerk.

### **Verwerking**

Met behulp van standaard hydrografische inwinsoftware wordt de ingewonnen data vertaald naar een kaart in het gewenste coördinaatsysteem, waarin het reliëf (van zandribbels tot bodemvreemde objecten) te zien is door de schaduwwerking. Voor de verwerking en interpretatie is deskundig personeel nodig met specifieke kennis.

### **Resultaten**

Nauwkeurigheid in horizontale vlak: 1–2 m

Nauwkeurigheid in verticale vlak: 0.5–1 m

Fractiegrootte: potentieel vanaf enkele centimeters

### **Kosten:**

Bij side-scan-sonar (en in iets mindere mate bij multibeam) kan dankzij de brede bundel haaks op de vaarrichting een grote afstand tussen de raaien worden aangehouden. Hierdoor kan in korte tijd een vrij groot oppervlak ingemeten worden en zijn de kosten vrij laag, in vergelijking met de andere technieken.

### **Voordelen**

#### *Algemeen*

- Side-scan-sonar is een zeer volwassen techniek waar we er bij RWS veel ervaring mee hebben.

#### *Fractiegrootte en dieptebereik*

- Side-scan-sonar biedt een zeer hoge resolutie.

#### *Zoekbereik*

- Dankzij de brede bundel haaks op de vaarrichting kan een grote afstand tussen de raaien worden aangehouden. Onder ander hierdoor zijn de kosten vrij laag.

#### *Toepasbaarheid*

- Side-scan-sonar is zeer goed bruikbaar in het voortraject om een indicatie (hoeveelheid en type) te krijgen van de objecten die aanwezig zijn. Hierbij geldt de beperking dat alleen objecten worden gedetecteerd die op de bodem liggen, of die hun sporen nalaten op het bodemoppervlak.

### **Nadelen**

#### *Niet gedetecteerde objecten en valse detecties:*

- Begraven objecten in de waterbodem worden niet gedetecteerd, tenzij er een herkenbare verstoring aan het oppervlak te zien is. Met side-scan-sonar is het daarbij iets gemakkelijker om objecten te herkennen dan met multibeam.
- Multiple reflecties kunnen zorgen voor valse beelden.

#### *Toepasbaarheid*

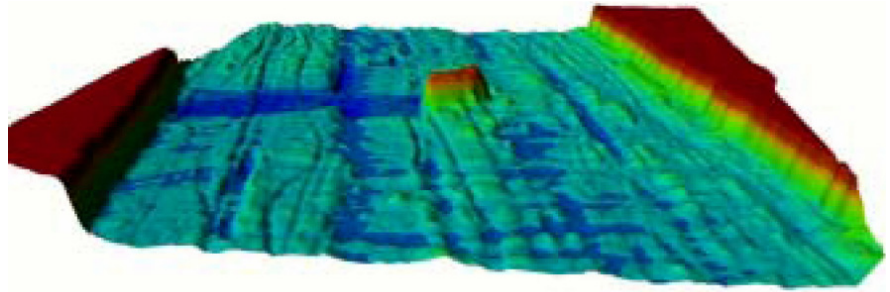
- Er is alleen sprake van toepassingsmogelijkheden op waterbodems.

---

### 2.3.5. Multibeam echolood

**Fysische parameter:** Contrast in akoestische impedantie (“schijnbare weerstand”).

**Meetprincipe:** Een geluidspuls wordt opgewekt in een bron/ontvanger. Het geluidssignaal weerkaatst op de bodem, keert terug en wordt gedetecteerd. De looptijd van de echo is een maat voor de afstand. Er wordt gebruik gemaakt van een groot aantal smalle bundels in verschillende richtingen, waardoor een brede strook van de bodem aan weerszijde van het schip onderzocht wordt (de onderzochte breedte bedraagt circa 3–7 keer de waterdiepte). De gebruikte frequentie bedraagt circa 100–500 kHz. Met deze techniek wordt de ligging van de bodem in kaart gebracht én objecten die op de bodem liggen (zie figuur 6).



*Figuur 6: Opname met multibeam van een scheepswrak (zijaanzicht).*

#### **Soorten objecten (materiaal) / verstoringen die worden gedetecteerd**

Objecten op de waterbodem (ook niet metalen objecten).

#### **Volwassenheid techniek**

Multibeam echolood is een zeer volwassen techniek waar we bij RWS veel ervaring mee hebben.

#### **Aanpak inwinning**

De multibeam bron/ontvanger is vast verbonden aan het schip en het schip vaart een raaienpatroon waarbij stroken worden opgenomen met een breedte van 3-7 maal de waterdiepte. Dicht bij het schip is de kwaliteit van de data het beste. De vaarsnelheid van het schip bedraagt circa 4 m/s.

#### **Verwerking**

Met behulp van standaard hydrografische inwinsoftware wordt de ingewonnen data vertaald naar gebiedsdekkende dieptegegevens in het gewenste coördinaatsysteem. Door deze gegevens op een handige manier weer te geven (juiste kleurschaal en/of berekende schaduweffecten) kunnen objecten op de waterbodem zichtbaar gemaakt worden. Voor de verwerking en interpretatie is deskundig personeel nodig met specifieke kennis.

---

## **Resultaten**

Nauwkeurigheid in horizontale vlak: 0.1–1 m

Nauwkeurigheid in verticale vlak: 0.1–0.5 m

Fractiegrootte: potentieel vanaf enkele centimeters

## **Kosten:**

Bij multibeam (en in nog sterkere mate bij side-scan-sonar) kan dankzij de brede bundel haaks op de vaarrichting een grote afstand tussen de raaien worden aangehouden. Hierdoor kan in korte tijd een vrij groot oppervlak ingemeten worden en zijn de kosten vrij laag, in vergelijking met de andere technieken.

## **Voordelen**

### *Algemeen*

- Multibeam echolood is een zeer volwassen techniek waar we er bij RWS veel ervaring mee hebben.

### *Fractiegrootte en dieptebereik*

- Multibeam echolood kan een zeer hoge resolutie leveren.

### *Toepasbaarheid*

- Multibeam echolood is zeer goed bruikbaar in het voortraject om een indicatie (hoeveelheid en type) te krijgen van de objecten die aanwezig zijn.

## **Nadelen**

### *Niet gedetecteerde objecten en valse detecties:*

- Begraven objecten in de waterbodem worden niet gedetecteerd, tenzij er een herkenbare verstoring aan het oppervlak te zien is. Met multibeam is het daarbij iets lastiger om objecten te herkennen dan met side-scan-sonar.

### *Waterdiepte*

- Vanaf 0,5– 1 m.

### *Toepasbaarheid*

- Er is alleen sprake van toepassingsmogelijkheden op waterbodems.

---

## 2.4 Plaatsbepaling

### 2.4.1. GPS

Bij de opsporing van NGCE wordt voor de plaatsbepaling in de meeste gevallen gebruik gemaakt van GPS. In deze paragraaf wordt een toelichting gegeven bij de belangrijkste varianten van deze techniek.

Als we een goedkope GPS ontvanger hebben die geen gebruik maakt van een referentiestation, zal de positie een (on)nauwkeurigheid hebben van zo'n 10 tot 20 meter.

Bij de opsporing van NGCE zijn betere nauwkeurigheden nodig. Om dit te bereiken kan gebruik gemaakt worden van DGPS (Differential Global Positioning System) en GPS/RTK (Real Time Kinematic). Het principe van deze methodes is dat er gemeten wordt met 2 GPS ontvangers die zich niet al te ver van elkaar bevinden, zodat de fouten die optreden tijdens de bepaling van de positie voor beide ontvangers hetzelfde zijn. Als nu van één ontvanger de exacte locatie bekend is, kan de fout in de positieberekening bepaald worden en doorgestuurd worden naar de andere ontvanger. Deze tweede ontvanger gebruikt de extra informatie om zijn positie te verbeteren.

Bij gebruik van een eigen basisstation en afstanden van maximaal ongeveer 10 km tussen basisstation en mobiele ontvanger zijn nauwkeurigheden mogelijk van 1 cm in X en Y en 3 cm in hoogte (RTK-GPS).

Door gebruik te maken van reeds beschikbare systemen is het mogelijk om het principe van DGPS te gebruiken zonder dat het nodig is om zelf met twee ontvangers te werken. Eenvoudige, vrij toegankelijke DGPS systemen geven een nauwkeurigheid van 1 tot 2 meter. Systemen van commerciële partijen geven betere nauwkeurigheden afhankelijk van de prijs die er voor betaald wordt. Je betaalt meer als je een hogere nauwkeurigheid wenst. In samenwerking met het Kadaster heeft Rijkswaterstaat de beschikking over het NETPOS systeem met een nauwkeurigheid van 1 cm in X en Y en 3 cm in hoogte.

### 2.4.2. Meetketen

De meting van de locatie van een bepaald object is te beschouwen als een keten met drie schakels:

- Locatie van de GPS-antenne in het gebruikte coördinatenstelsel.
- Offset van het detectieapparaat ten opzichte van de GPS-antenne.
- Meting van detectieapparaat naar het betreffende object.

Met GPS wordt in principe alleen de locatie van de gebruikte GPS-antenne bepaald. Voor het bepalen van de locatie van het detectieapparaat is daarnaast de offset van het apparaat ten opzichte



---

van de GPS-antenne van belang, en voor bepaalde apparaten ook de oriëntatie ten opzichte van het gebruikte coördinaatstelsel. De meting van het detectieapparaat naar het te meten object vormt de laatste schakel van de keten, die bij metingen onder water bekend staat als de hydrografische meetketen.

Voor het garanderen van de kwaliteit van de feitelijke metingen is het noodzakelijk dat voorafgaand aan de metingen een kalibratie wordt uitgevoerd van de gehele meetketen.

Bij voorkeur wordt de GPS-antenne recht boven het detectieapparaat gemonteerd, zodat de offset in XY-richting nul is en de offset in Z-richting eenvoudig gemeten kan worden. Bij deze werkwijze kunnen kleine afwijkingen ontstaan doordat de meetconfiguratie niet altijd precies verticaal zal staan. Voor nauwkeurige toepassingen kan het nodig zijn om alle offsets van het detectieapparaat ten opzichte van de GPS-antenne in te meten, en de oriëntatie van de meetconfiguratie te volgen met een gyro/motion sensor.

Met behulp van speciale software kan dan op elk gewenst tijdstip de locatie/oriëntatie van het detectieapparaat bepaald worden. Kanttekening hierbij is dat de benodigde hardware kostbaar kan zijn en dat er specialistische kennis nodig is

Met name in dieper water kan het lastig zijn om de GPS antenne vast te verbinden aan het detectieapparaat. De detectieapparatuur wordt dan gemonteerd in een towfish die aan een kabel wordt voortgesleept achter een schip. Met name bij het varen van bochten kan het dan lastig zijn om de benodigde offsets te bepalen.

---

---

## 3.Referenties

---

Beoordelingsrichtlijn voor het Procescertificaat "Opsporen Conventionele Explosieven (BRL-OCE)", november 2005

Handreiking en rapportage niet gesprongen conventionele explosieven, Berenschot, Utrecht, maart 2007

Handbook CEPA14-12, Reclamation of Land Contaminated by Munition-related activities, Saricon b.v.

Statusrapport hydrografie en waterbodemonderzoek, RWS-AGI, december 2003.

CUR 182, Geofysische technieken voor grondonderzoek, CUR Bouw en Infra, 1995