
AUTEURSRECHTEN

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de COB.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken, mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt. 'Innovatieve opsporingstechnieken voor kabels en leidingen', februari 2005, Stichting COB, Gouda."

AANSPRAKELIJKHEID

COB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en COB sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens COB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

VOORWOORD

- > aanleiding tot ontstaan van het rapport met probleemstelling;
- > maatschappelijk kader;
- > de naam van de begeleidende commissie en haar taakstelling;
- > mede erbij betrokken commissies en instanties
- > samenstelling van de commissie ten tijde van het afronden van het rapport, waarbij de volgende functies van de commissieleden vermeld worden: voorzitter, secretaris, rapporteur, coördinator, mentor.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	3
1.1	DOEL	3
1.2	AANPAK	3
1.3	OPBOUW RAPPORT	4
2	INVENTARISATIE TECHNIEKEN	5
2.1	BESTAAND ONDERZOEK	5
2.2	GEÏNVENTARISEERDE TECHNIEKEN	5
2.3	ELEKTROMAGNETISME, ACTIEF	6
2.4	ELEKTROMAGNETISME, PASSIEF	10
2.5	MECHANICA, ACTIEF	11
2.6	OVERIGE, PASSIEF	13
2.7	OVERIGE, ACTIEF	14
2.8	HYBRIDE SYSTEMEN	14
2.9	CONCLUSIES INVENTARISATIE	15
3	FUNCTIONEEL PROGRAMMA VAN EISEN	16
3.1	INLEIDING	16
3.2	ANALYSE	16
3.3	RESULTATEN ENQUÊTE	19
3.4	FUNCTIONEEL PROGRAMMA VAN EISEN	27
4	KWALITATIEVE BEOORDELING TECHNIEKEN	28
4.1	BEOORDELING TECHNIEKEN	28
4.2	SCENARIO'S	30
5	ADVIES: GO / NO GO	32
5.1	BEOORDELING SCENARIO'S	32
5.2	ADVIES	35
6	GO	36
6.1	BESCHRIJVING SCENARIO'S	36
6.2	PROJECTPLAN 2005	36
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	37
8	REFERENTIES	38
8.1	LITERATUUR	38
8.2	WEBSITES	38
	BIJLAGE(N)	
A	NOTITIE TNO FEL	
B	PRODUCENTEN	
C	ENQUÊTE INNOVATIEVE OPSPORINGSTECHNIEKEN	

SAMENVATTING

- > de probleemstelling of het kader, gevolgd door het doel van het onderzoek;
- > de gevolgde werkmethode: op welke wijze is het onderzoek uitgevoerd;
- > de belangrijkste resultaten en conclusies

1. INLEIDING

In Nederland liggen momenteel meer dan 1,75 miljoen strekkende kilometers kabels en leidingen in de ondergrond. De aanleg van deze kabels en leidingen heeft in het verleden niet altijd even gecoördineerd plaatsgevonden. Hierdoor laat de bereikbaarheid en vindbaarheid van de bestaande kabels en leidingen vaak te wensen over. Dit heeft tot gevolg dat, met name in stedelijke omgevingen, waar de druk op de ondergrond de laatste jaren steeds groter wordt, werken in de ondergrond steeds lastiger wordt.

Daarnaast kunnen onveilige situaties ontstaan en nemen de kosten van werkzaamheden en graafschades onevenredig toe. De behoefte bestaat om zonder daadwerkelijk fysiek in de ondergrond te gaan een beeld te krijgen van de in de ondergrond aanwezige kabels en leidingen. Momenteel ontbreekt echter de juiste technologie om dit op een betrouwbare manier te doen.

1.1. DOEL

Het project Innovatieve Opsporingstechnieken richt zich op de ontwikkeling van een gereedschap voor de detectie van ondergrondse kabels en leidingen. Het gereedschap zal zonder te graven een beeld moeten geven van de in de ondergrond aanwezige kabels en leidingen.

1.2. AANPAK

Om te komen tot een dergelijk gereedschap worden de volgende stappen achtereenvolgens doorlopen:

1. HAALBAARHEIDSSTUDIE

Allereerst is een inventarisatie van de sterktes en zwaktes van bestaande detectie- en locatietechnieken gemaakt en is een functioneel programma van eisen voor het gereedschap opgesteld. Het functioneel programma van eisen volgt uit een inventarisatie van de meningen uit de kabels en leidingen branche. Op basis van de inventarisatie en het functioneel programma van eisen is de haalbaarheid van een dergelijke gereedschap beoordeeld. Indien haalbaarheid wordt aangetoond dan zal een programma worden opgesteld voor de ontwikkeling van en het testen van een prototype.

2. ONTWIKKELING EN TESTEN PROTOTYPE

De meest kansrijke technieken zullen verder ontwikkeld worden tot een prototype welke in een praktijkproef getest zal worden. In de praktijkproef wordt het gereedschap getoetst aan de functionele eisen die in de vorige stap zijn gedefinieerd.

1.3. OPBOUW RAPPORT

In dit rapport worden de resultaten van de eerste stap “haalbaarheidsstudie” gerapporteerd. Allereerst worden, in hoofdstuk 2, technieken beschreven die mogelijk kunnen worden toegepast in het gereedschap. Vervolgens wordt het programma van eisen beschreven in hoofdstuk 3 en worden in hoofdstuk 4 de

geïnterpreteerde technieken beoordeeld op hun toepassingsmogelijkheid in een gereedschap. Hieruit volgen een aantal mogelijke scenario's die worden getoetst op de technische haalbaarheid (functioneel programma van eisen) en op de producthaalbaarheid. Dit wordt beschreven in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 wordt ten slotte het advies Go / No go verder toegelicht en het projectplan voor 2005 grof beschreven.

2. INVENTARISATIE TECHNIEKEN

Om tot een betrouwbare en zo volledig mogelijke inventarisatie van detectietechnieken te komen zijn, naast hulpmiddelen als internet, een aantal deskundigen geraadpleegd. Hierdoor is een zo compleet mogelijk overzicht van state of the art technieken ontstaan. Deze inventarisatie biedt houvast bij de keuze van veelbelovende technieken of methoden.

Centrale vragen in de inventarisatie zijn geweest:

- > wat zijn er voor fysische technieken?
- > wat kan het?
- > is het het antwoord?
- > wat is er dan mis mee?
- > is het te koop?
- > kan het de glasvezel op 2 meter diepte in de klei vinden?

Tabel 1 Geraadpleegde deskundigen

Deskundige	Expertise	Instituut
Msc. R. J. Dekker	Radar	TNO FEL
Drs. V. Hopman	Locatie- en detectie technieken	GeoDelft
Drs. C. M. Ort	Onderwater akoestiek	TNO FEL
Drs. R. A. van Overmeeren	Geodata acquisitie	TNO NITG
Ir. J.B. Rhebergen	Detectietechnieken	TNO FEL
Dr. A.J. Schoolderman	Detectietechnieken	TNO FEL
dr. K. Schutte	Signaal verwerking	TNO FEL
Dr. Ir. A. W. F. Volker	Imaging en data interpretatie	TNO TPD

2.1. BESTAAND ONDERZOEK

Op het gebied van leidingdetectie is in het verleden al het één en ander onderzocht. In COB kader is eind jaren negentig van de vorige eeuw onderzoek uitgevoerd naar ondiepe detectie technieken [7,8,9], waarbij het zogeheten Prikneus en Speurneus concept een rol speelde. In opdracht van CUR/COB is door Geodelft en TNO onderzoek gedaan naar methoden om voor het boorfront uit te kunnen kijken. Ook is er een studie verricht naar de mogelijkheden en onmogelijkheden van 3D-grondradarsystemen voor het in kaart brengen van ondiepe ondergrondse infrastructuur.

Uit deze onderzoeken kwam naar voren dat grondradar en hoge-resolutie seismische methoden potentieel de beste eigenschappen bezitten om de ondergrond in kaart te brengen.

2.2. GEÏNVENTARISEERDE TECHNIEKEN

De inventarisatie heeft zich geconcentreerd op technieken en gereedschappen die het mogelijk maken om kabels en leidingen vanaf het maaiveld te detecteren. Voor de volledigheid zijn tevens enkele technieken en gereedschappen opgesomd die vanuit de ondergrond kabels en leidingen kunnen detecteren.

De geïnventariseerde technieken zijn ingedeeld in categorieën. De categorieën zijn:

1. Elektromagnetisme
2. Mechanica
3. Overige fysica

Ieder van deze categorieën kan worden onderverdeeld naar actieve en passieve technieken. Actieve technieken maken gebruik van een kunstbron en 'luisteren' hoe de ondergrond daarop reageert. Passieve technieken luisteren alleen. Op basis van deze categorie indeling is getracht om een zo volledig mogelijk beeld te geven van de actuele stand van zaken met betrekking tot potentiële detectietechnieken. Enkele van de genoemde technieken zijn wellicht nog nieuw met betrekking tot het detecteren van kabels en leidingen, maar zijn voor de ideevorming en de volledigheid van de inventarisatie wel genoemd. Hybride systemen, die twee of meer technieken combineren, vormen ten slotte een vierde categorie.

2.3. ELEKTROMAGNETISME, ACTIEF

GRONDRADAR

ALGEMENE BESCHRIJVING

Grondradar is een niet-destructieve onderzoeksmethode die met behulp van elektromagnetische golven de ondiepe (enkele meters) ondergrond snel en met een hoge resolutie in kaart kan brengen. Door een zendantenne wordt een elektromagnetische golfvorm vanaf het maaiveld uitgezonden, waarna deze golfvorm zich voortplant in de ondergrond. Inhomogeniteit in de ondergrond resulteert in een reflectie. Het niet gereflecteerde deel van de golf reist dieper de ondergrond in.

TECHNISCHE ACHTERGROND VAN DE TECHNIEK

Het dieptebereik van de grondradar is afhankelijk van de frequentie van de uitgezonden elektromagnetische pulsen en van de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond. De bepalende parameter voor de meetmethode is de relatieve diëlektrische constante (ϵ_r) van de diverse materialen in de ondergrond. Deze parameter bepaalt de mate van reflectie en de voortplantingssnelheid van de golf in het medium. Voor alle geofysische technieken geldt dat de resolutie afneemt met de diepte. Hoe hoger de frequentie des te hoger de resolutie maar des te lager de indringdiepte. Zoek een optimum tussen resolutie en diepte door de juiste frequentie van de antenne te kiezen.

De meeste kabels en leidingen bevinden zich op maximaal twee meter onder het oppervlak. Grondradar is hierdoor als afbeeldingstechniek geschikt om kabels en leidingen in kaart te brengen, mits de grondslag het toelaat. Algemeen geldt dat de indringing in zand voldoende is. Maar voor klei en veen beperkt deze zich tot enkele decimeters.

Gebruikelijke grondradar frequenties voor het lokaliseren van kabels en leidingen is circa 200 tot 500 MHz. De resolutie die dan gehaald kan worden is, bij de typische diepte waarop de kabels en leidingen zich bevinden circa een decimeter.



BESTAANDE TOEPASSINGEN

Er zijn diverse commerciële meetsystemen op de markt, die allemaal vergelijkbare prestaties leveren. De grondradarmetingen worden veelal uitgevoerd vanaf het maaiveld. Ook is het mogelijk om vanuit een boorgat of buis te meten. In het verleden is er ook een rioolradar ontwikkeld. Dit systeem werd gebruikt om naast video-inspecties de kwaliteit van (betonnen) rioleringen te controleren. Het systeem is echter nooit grootschalig ingezet. Andere voorbeelden van enkele gereedschappen die gebruik maken van grondradar zijn gereedschappen voor de bepaling van de asfaltdikte, obstakel detectie, laagdikte ondergrond en grondwaterspiegel. In bijlage B is een overzicht gegeven van producenten. Op de websites van de producenten is informatie te vinden over de toepassingen van radar.

3D GRONDRADAR

ALGEMENE BESCHRIJVING

Voor het detecteren van kabels en leidingen is er de laatste jaren hard gewerkt aan multi-antenne systemen. Met een dergelijk systeem wordt met meerdere zend- en ontvangantennes tegelijkertijd gemeten.

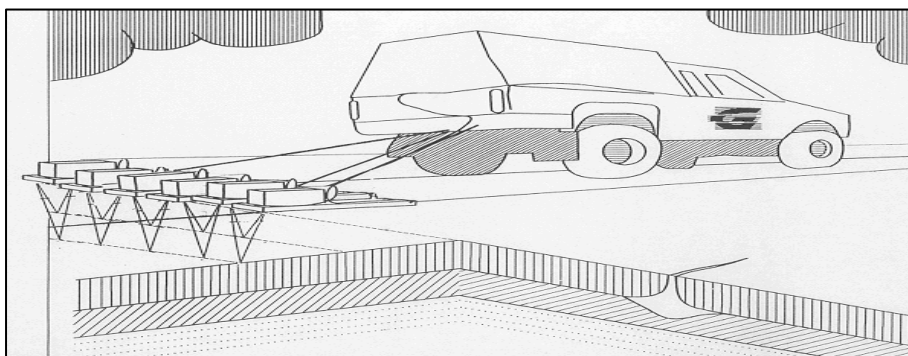
Een belangrijk onderdeel van grondradar, en met name van 3D grondradar, is de verwerking van de gemeten signalen tot afbeeldingen. Bij deze verwerking wordt voorkennis over de te lokaliseren objecten gebruikt. Een grondradar wordt in hard- en software ontwikkeld voor een specifiek type object.

TECHNISCHE ACHTERGROND VAN DE TECHNIEK

Met een multi-antenne systeem is het mogelijk om een groter oppervlak in een keer in kaart te brengen ten opzichte van een enkel zend- en ontvangststelsel. Een ander voordeel ten opzichte van een enkel zend- en ontvangststelsel is de grotere betrouwbaarheid van het beeld van de ondergrond omdat het object vanuit verschillende hoeken wordt 'belicht'. Hierdoor is er minder last van schaduwwerking als er meerdere objecten boven elkaar liggen. Operationeel is het voordeel dat het minder tijd vergt om een gebied te scannen zodat er minder oponthoud is voor gebruikers van het gebied.

BESTAANDE TOEPASSINGEN

Er komen steeds meer 'kant en klare' radar systemen op de markt waarbij op eenvoudige en snelle wijze een afbeelding van de ondergrond gepresenteerd wordt. Echter, het belangrijkste bij de grondradarsystemen is en blijft de keuze van de antenne. Dit is als het ware het oog waarmee in de grond gekeken wordt. Is dat oog slecht afgestemd op zijn omgeving dan zullen de resultaten minder betrouwbaar zijn.

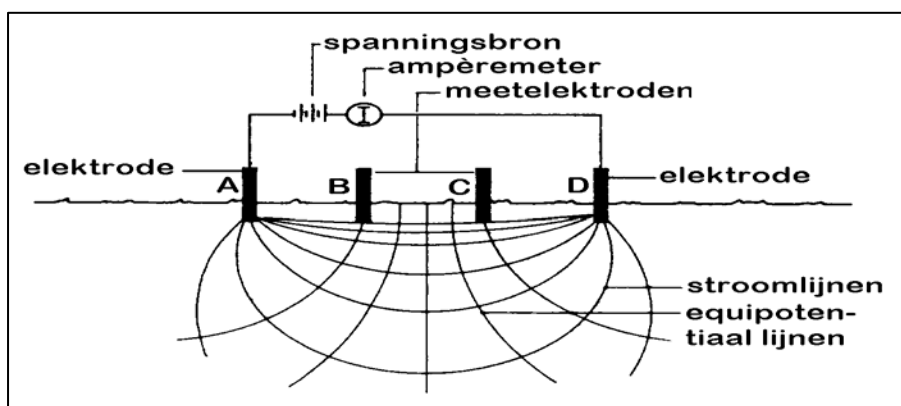


Er zijn recentelijk een aantal multi antenne systemen gebouwd, onder andere door Mala uit Zweden (zie bijlage B). Er is echter weinig bekend over de (commerciële) resultaten van dit multi antenne systeem. In Noorwegen is een bedrijf (3D radar AS) dat over een commercieel inzetbare antenne array beschikt. Ook over dit systeem is nog weinig van bekend.

ELEKTRISCHE WEERSTANDSMETING

ALGEMENE BESCHRIJVING

Geo-elektrische metingen geven informatie over de elektrische weerstand cq geleidbaarheid van de ondergrond. De elektrische weerstand van de ondergrond wordt bepaald door met twee elektroden een stroom de grond in te sturen en met twee potentiaalelektroden het spanningsverschil te meten.



TECHNISCHE MOGELIJKHEDEN

De weerstand is indicatief voor de grondslag (zand heeft een hoge, klei en veen een lagere weerstand). In de interpretatie worden de gegevens over weerstand daarom vooral gebruikt voor de vaststelling van de laterale uitbreidheid en de begrenzingen van structuren zoals zandgeulen in een kleipakket.

Aangezien deze techniek gebaseerd is op de verschillen in geleidbaarheid, is het mogelijk om elektrische geleidende kabels en leidingen te detecteren. Dit is echter nog niet gebruikelijk met deze techniek. De moeilijkheid zit in het gegeven dat geo-elektrische metingen volume metingen zijn. Dit betekent dat de aanwezigheid van een kabel en/of leiding te weinig bijdraagt aan de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond om als variatie aangemerkt te kunnen worden. In specifieke omstandigheden is het mogelijk om indirect de kabels/leidingen te lokaliseren door de sleuf waarin ze liggen te lokaliseren. Echter, praktisch gesproken is dit te omslachtig om met geo-elektrische metingen uit te voeren.

BESTAANDE TOEPASSINGEN

Met elektrische weerstandmetingen is het mogelijk om bijvoorbeeld zwakke plekken in dijken op te sporen of verontreinigingen door elektrisch geleidend puin in kaart brengen. Een andere toepassing is de geo-elektrische sonde waarmee niet vanaf maaiveld maar vanuit de grond de weerstand van de grond wordt bepaald.

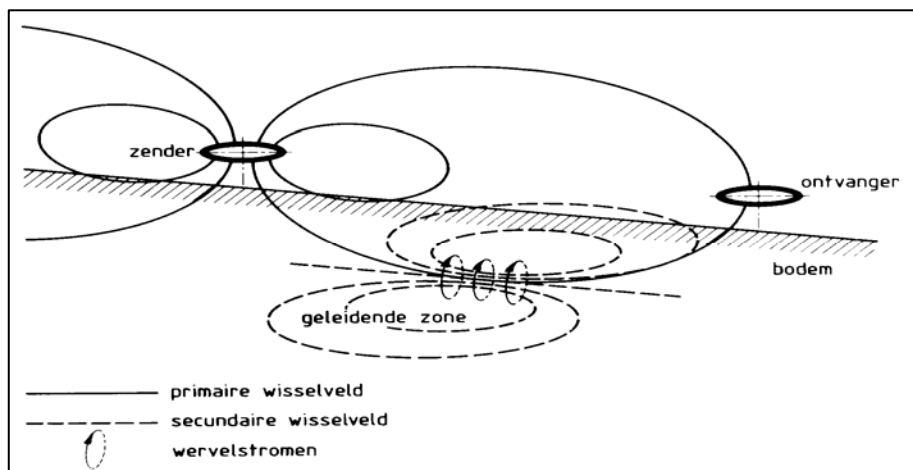
ELEKTROMAGNETISCHE INDUCTIE (ACTIEF)

ALGEMENE BESCHRIJVING

Bij elektromagnetisch inductie wordt de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond gemeten. Een zendspoel aan één kant van het instrument stuurt een wisselstroom met een vastgestelde frequentie in de grond. Deze wisselstroom wekt in de ondergrond een primair magnetisch veld op. Dit primair magnetische veld induceert in de ondergrond kleine stromen die een secundair magnetisch veld opwekken. Het secundaire magnetische veld wordt samen met het primaire veld door de ontvangstspool geregistreerd. Het meetsysteem is zodanig ontworpen dat het elektrisch geleidend vermogen van de ondergrond direct kan worden afgelezen.

TECHNISCHE MOGELIJKHEDEN

Elektromagnetische metingen worden beïnvloed door de aanwezigheid van elektrische geleiders als stalen hekken, hoogspanningsmasten en elektriciteitskabels.



Opsporingen van metaal in de ondergrond, waaronder (grote) kabels en leidingen is mogelijk. Echter, omdat de meting een volume grond meet is de positie nauwkeurigheid van een object laag. Een diepte indicatie is niet te geven. Door de vele mogelijke verstoringen van de metingen en de beperking tot het lokaliseren van alleen metalen kabels en leidingen is het systeem niet betrouwbaar genoeg om kabels en leidingen op te sporen.

BESTAANDE GEREEDSCHAPPEN

Een metaaldetector is een specifieke toepassing van elektromagnetische inductie. Deze handzame apparaten kunnen metalen objecten in de ondergrond tot 1 a 2 meter diepte detecteren. Het is een snel en goedkoop systeem. Echter, een nadeel is dat het systeem niet alle kabels en leidingen kan detecteren. Een ander nadeel is dat de resolutie sterk afhankelijk is van het object. Daarnaast is er geen betrouwbare diepte-indicatie mogelijk.

2.4. ELEKTROMAGNETISME, PASSIEF

ELEKTROMAGNETISCHE INDUCTIE (PASSIEF)

ALGEMENE BESCHRIJVING

In de actieve variant van electromagnetische inductie is er sprake van een zendspoel, die een veld genereert, en een ontvangspoel, die de resultante van dat veld, na wisselwerking met de bodem en zich daarin bevindende objecten, opneemt. Door veel kabels lopen echter al stromen (electriciteitskabels, cai, etc.) die electromagnetische velden opwekken. Er is dan alleen een ontvanstspoel nodig om dit signaal op te pikken.

TECHNISCHE TOEPASSING

Een veel voorkomende toepassing is de kabelzoeker. Electriciëns gebruiken een variant waarmee ze in muren de electriciteitskabels opsporen, maar ook voor kabels onder de grond zijn er kabelzoekers beschikbaar. Daarmee kunnen in eerste instantie dus alleen stroomvoerende draden worden opgespoord. De toepassing kan worden uitgebreid door op niet-stroomvoerende kabels en leidingen, zoals gasbuizen e.d., alsnog een stroom te zetten. Dit kan door een uiteinde op te graven, maar er zijn ook handzame kastjes beschikbaar die vanaf maaiveld een elektrische stroom in de kabels en leidingen induceren. De laterale positie van (potentieel) stroomvoerende kabels en leidingen is goed te bepalen. De diepteligging blijft onbekend.

BESTAANDE GEREEDSCHAPPEN

De kabelzoeker wordt door verschillende fabrikanten geleverd, is compact en eenvoudig te bedienen.

MAGNETOMETRIE

ALGEMENE BESCHRIJVING

Met magnetometrie wordt het locale aardmagnetische veld gemeten. Dit veld is homogeen mits er geen objecten in de bodem aanwezig zijn die het verstoren. De techniek reageert op veranderingen ten opzichte van het aardmagnetische veld.

TECHNISCHE MOGELIJKHEDEN

Voor de zeer gevoelige magnetometers ligt de toepassing vooral in de exploratie van grotere gebieden, waarbij gezocht wordt naar ertsen of aardolie. Kleine afwijkingen van het aardmagnetische veld worden dan geologisch (ook wel archeologisch) geïnterpreteerd. Het is ook een bekende techniek om vanuit boorgaten bommen op te sporen.

De aanwezigheid van een metalen of stroomvoerende draad kan echter ook worden waargenomen. Echter, door de gevoeligheid van het meetsysteem voor alle metalen voorwerpen (boven en onder de grond), is het systeem minder geschikt voor eenvoudige infrastructurele verkenning.

BESTAANDE GEREEDSCHAPPEN

Magnetometrie wordt gebruikt voor het zoeken van bommen. Een magnetosonde maakt ook gebruik van magnetometrie en meet het aardmagnetische veld in de bodem in plaats van vanaf maaiveld. In bijlage B zijn enkele producenten van apparatuur voor magnetometrie opgesomd. Op de websites van deze producten zijn enkele bestaande gereedschappen te vinden.

SPONTANE POTENTIALAAL

ALGEMENE BESCHRIJVING

De spontane potentiaal is een methode waarbij de, in de bodem, natuurlijk voorkomende elektrische signalen worden waargenomen. De aanwezigheid van kabels, leidingen en andere ondergrondse objecten veroorzaakt een kleine meetbare verstoring in de van nature aanwezige elektrische potentiaalverdeling langs het aardoppervlak. Door middel van een speciale sensor die over de grond wordt voortgetrokken wordt deze ladingsverdeling gemeten.

TECHNISCHE MOGELIJKHEDEN

In tegenstelling tot andere elektromagnetische technieken is de methode onafhankelijk van de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond. Dit betekent dat zowel in zand- als in kleigebieden kan worden gemeten. Met deze methode kunnen leidingen worden opgespoord van allerlei materialen zoals metaal, beton, kunststof. De resolutie is echter vrij grof en het levert geen informatie over de diepteligging. Ook is de methode vrij gevoelig voor de mate van homogeniteit van de ondergrond.

BESTAANDE GEREEDSCHAPPEN

De toepassing is alom bekend en wordt bijvoorbeeld al enige tijd toegepast bij het lokaliseren van lekkages in bouwkuipen, maar ook voor het opsporen van kabels en leidingen.

2.5. MECHANICA, ACTIEF

SEISMOGRAFIE

ALGEMENE BESCHRIJVING

Seismische methoden zijn gebaseerd op het afbeelden van de ondergrond met behulp van akoestische signalen die reflecteren bij variërende akoestische impedantie van de ondergrond. Seismische methode is hetzelfde als radar maar maakt gebruik van mechanische trillingen in plaats van elektromagnetische golven.

Bij akoestische reflectiemetingen wordt door middel van een trillingsbron een kortdurend akoestisch signaal uitgezonden in de grond. Waar het uitgezonden signaal aankomt bij een laagovergang of bij een obstakel, treedt (gedeeltelijke) reflectie of verstrooiing op van het signaal. Gereflecteerde en verstrooide signalen worden met behulp van één of meer akoestische ontvangers aan het maaiveld (of in een boorgat) gedetecteerd.

TECHNISCHE ACHTERGROND VAN DE TECHNIEK

De seismische methode is in alle grondsoorten toepasbaar. Echter, om de kabels en leidingen te kunnen “zien” moeten zeer hoge frequenties worden gebruikt. Een nadeel hiervan is dat deze hoge frequenties sterk worden gedempt door de ondergrond. Hier geldt het ‘godd’ probleem dat ook bij grondradar speelt: de benodigde golflengte volgt uit de objectomvang, en een korte golflengte betekenen veel demping en daardoor een geringere doordringdiepte in de bodem. In het eerder genoemde CUR-onderzoek werd seismiek desondanks als veelbelovend aangemerkt. Een veelgenoemd nadeel van seismische methoden is dat zij gevoelig zijn voor trillingsruis, zoals menselijke activiteiten, verkeer en bouwactiviteiten. Echter, bij de golflengtes die nodig zijn voor kabels is er nauwelijks nog sprake van trillingsruis.

Een nieuw probleem is echter om actuatoren (trillingsbronnen) en sensoren geschikt te maken voor deze korte golflengtes (30 kHz).

BESTAANDE TOEPASSINGEN

Geologische laagovergangen; detectie van zandgeulen. Een variant is refractie seismiek voor het bepalen van de grondwaterspiegel op enkele meters onder maaiveld. Een andere variant is seismiek met gebruikmaking van oppervlaktegolven voor het karakteriseren van de inhomogeniteit van de eerste 10-tal meters. Deze toepassingen zijn allen ‘laagfrequent’ (lange golflengte) en zijn dus nauwelijks in te zetten voor het opsporen van kabels en leidingen. *Mechanica, passief*

AKOESTISCHE EMISSIE

ALGEMENE BESCHRIJVING

Akoestische emissie is een fenomeen dat op kan treden als gevolg van mechanische effecten in de ondergrond. De techniek stamt uit een onderzoek in de jaren dertig naar gesteentes, waarbij werd ontdekt dat gesteente onder druk geluid produceert. Deze micro-seismic, ook wel acoustic emission of seismo-acoustic genoemd, wordt ook toegepast bij het opsporen van breuken in leidingen op de zeebodem. De breuk produceert een akoestisch signaal afkomstig van het onder druk ontsnappen van gas [12].

TECHNISCHE MOGELIJKHEDEN

Doordat de techniek alleen een lek in een leiding kan lokaliseren en niet de hele leiding, is de techniek echter minder geschikt voor het opsporen van kabels en leidingen. Voor het succesvol toepassen van akoestische emissie bij een lekkende water- of gasleiding zal het lek bovendien een meetbaar geluid moeten produceren. Hoewel het sterk afhangt van de praktijksituatie lijkt het niet erg waarschijnlijk dat er lekken zullen zijn die voldoende geluid produceren om zich van de achtergrondruis te kunnen onderscheiden.

BESTAANDE GEREEDSCHAPPEN

Opsporen van lekkages van gasleidingen op de bodem van de zee.

DRUKSENSOR

ALGEMENE BESCHRIJVING

Een andere methode om van binnenuit de positie van een leiding te bepalen is de druksensor. Deze sensor wordt met een kabel door de met water gevulde buis getrokken om zo het diepteverloop van de buis te bepalen. Deze zogenaamde diepteliggingmeting wordt veelal toegepast bij opleveringscontroles van gestuurde boringen. Hierbij speelt de vraag of de leiding wel op de door het bestek aangegeven diepte ligt. De nauwkeurigheid van het systeem bedraagt enkele centimeters in de diepte.

BESTAANDE GEREEDSCHAPPEN

Controle mbv diepteliggingmeting na gemaakte gestuurde boring tbv oplevering. Controle zettingsgedrag/snelheid bij het ophogen van een zandbaan/terrein. Bv bij betuweroute veelvuldig toegepast. Een zettingsslang wordt daarbij in de grond gelegd en druksensor om de zoveel tijd door heen getrokken. Dit vervangt de zakbaken die vaak in de weg staan doordat vrachtwagens gmet zando ze omver rijden.

2.6. OVERIGE, PASSIEF

THERMOGRAFIE

ALGEMENE BESCHRIJVING

Uitgangspunt van deze meetmethode is een temperatuurverschil, tussen het gebied waar de kabels en leidingen zich bevinden en de omliggende ondergrond. Met name transportleidingen van bijvoorbeeld stadsverwarming, water en riool kunnen in temperatuur verschillen met de omgeving. Deze temperatuur verschillen kunnen in kaart gebracht worden met thermografische metingen. Ook valt te denken aan de verschillen in opwarmtijd van de lossere structuur van de bodem in een sleuf en zijn omgeving.

TECHNISCHE MOGELIJKHEDEN

Hoewel de meetnauwkeurigheid van dit soort systemen hoog is, zal gezien de heterogeniteit van de ondergrond, het lokaliseren van leidingen met behulp van temperatuurverschillen, zich beperken tot de (grote diameter) transportleidingen in de ondergrond.

BESTAANDE GEREEDSCHAPPEN

Er zijn bijvoorbeeld tal van producenten van infrarood kijkers / camera's. Ze worden bijvoorbeeld bij stuwdammen of kanalen toegepast. Lekkage verraden zich door temperatuurverschil in het water. Ook claimt met dat het bruikbaar is voor bouwputten: bij afkoeling van het verse beton is er een temperatuurverschil tussen het water binnen en buiten de bouwput. Een lekkage zou dan gedetecteerd worden als een stroom koud grondwater in de warmere bouwput.

GRAVIMETRIE

ALGEMENE BESCHRIJVING

Met behulp van gravimetrie wordt de lokale waarde van het zwaartekrachtsveld in kaart gebracht. Afwijkingen in deze lokale waarden duiden op variaties in dichtheden van de ondergrond.

TECHNISCHE MOGELIJKHEDEN

Het systeem is erg gevoelig voor alle heterogeniteiten in de ondergrond. Door de heterogene ondergrond en de nauwkeurigheid waarmee de gravitatiekracht gemeten dient te worden leidt er toe dat moeilijk te onderscheiden is wanneer een afwijking veroorzaakt wordt door een kabel/leiding. Voor een vlakke homogene ondergrond zouden grote diameter kabels en leidingen mogelijk gedetecteerd kunnen worden, voor andere doeleinden is de gravimetrie als algemene detectiemethode echter ongeschikt.

BESTAANDE GEREEDSCHAPPEN

Gravimeters zijn te koop en worden door specialistische bureaus toegepast.

2.7. OVERIGE, ACTIEF

GYROSCOOP

ALGEMENE BESCHRIJVING

Voor veel glasvezelverbindingen geldt dat er met het oog op de toekomst meer buizen zijn gelegd om glasvezelkabels door te trekken, dan voor dat moment strikt noodzakelijk is. In de bundelbuizen zijn dan een of meer buizen leeg en beschikbaar voor een meetinstrument, bijvoorbeeld een gyroscoop. Met behulp van een gyroscooptechniek is nauwkeurig (cm schaal) de positie van die (bundel van) kabels en leidingen vast te leggen waarin de gyroscoop zich bevindt. De gyroscoop kan door middel van luchtdruk door de leiding geblazen worden. Ook is het mogelijk om met een kabelsysteem de sensor handmatig door de buis te trekken.

BESTAANDE GEREEDSCHAPPEN

Een aantal bedrijven zet het gyroscoop systeem (al dan niet aangevuld met versnellingsopnemers) op commerciële basis in. De nauwkeurigheid van het systeem bedraagt enkele centimeters in de positie van x, y en z.

2.8. HYBRIDE SYSTEMEN

In enkele bestaande gereedschappen wordt gebruik gemaakt van een combinatie van gereedschappen om zo de nadelen van de ene techniek te kunnen ondervangen door een andere techniek. Een voorbeeld van een bestaand gereedschap dat gebruik maakt van een combinatie van technieken is het 'tracer survey system' van het bedrijf 'Groundtracer' (zie bijlage B). Dit systeem maakt gebruik van spontale potentiaal metingen en radar. Het bedrijf claimt dat de methode de laterale ligging van ondergrondse objecten kan bepalen met een nauwkeurigheid van veelal enkele decimeters. Voor diepte-informatie kan eenvoudig een koppeling worden gemaakt met grondradar metingen. Omdat noch de standaard radar, noch potentiaal metingen de dunne glasvezel op 2 meter diepte kan lokaliseren en dit hybride systeem geen elementen bevat die daar wellicht een antwoord op vormen is ook dit systeem niet de onmiddellijke oplossing. Het systeem lijkt niet meer te zijn dan de som van de delen. Verder geldt voor dit systeem dat het gehanteerd moet worden door een daarvoor opgeleide specialist.

Een ander voorbeeld is het LOTUS-project. In dit project werd door TNO en Pipehawk (zie bijlage B) samengewerkt aan een onbemand voertuig voor mijndetectie en leidde tot multi sensor detectie (metaal detector, infrarood camera en grondradar) gevolgd met data fusion (het optellen van gegevens uit verschillende bronnen).

2.9. CONCLUSIES INVENTARISATIE

In het algemeen kan uit de inventarisatie het volgende worden afgeleid:

- > Het universele kabels en leidingen opsporingssysteem is nog niet te koop.
- > De glasvezelkabel op 2 meter diepte in de klei is nog onzichtbaar.

- > Er zijn wel een aantal systemen beschikbaar waarmee veel kan worden gevonden onder de grond.
- > Hoe meer een techniek kan vinden, hoe complexer het is in het gebruik.
- > De toepasbaarheid van geofysische technieken is afhankelijk van de gewenste dieptepenetratie en de resolutie: een diepere penetratie gaat meestal ten koste van de resolutie. De geologische opbouw van de ondergrond speelt hierbij een belangrijke rol. Daarnaast is de elektrische geleidbaarheid van de ondergrond, die mede afhangt van het chloride gehalte van het grondwater, veelal ook een belangrijke parameter die van invloed is op de meetresultaten.
- > Technieken gebaseerd op het afbeelden van de ondergrond hebben in potentieel een grotere kans om (individuele) kabels en leidingen op te sporen dan technieken die gebaseerd zijn op het bepalen van een parameter (zoals geleidbaarheid, magnetisme, gravitatie of temperatuur) van de ondergrond.

3. FUNCTIONEEL PROGRAMMA VAN EISEN

3.1. INLEIDING

De in het vorige hoofdstuk geïnventariseerde technieken moeten beoordeeld worden op hun geschiktheid voor toepassing in het gereedschap. Hiertoe is een functioneel programma van eisen opgesteld waaraan de geïnventariseerde technieken zullen worden getoetst. De centrale vraag bij het opstellen van het functioneel programma van eisen was: “Welke eisen moeten gesteld worden aan een gereedschap voor de detectie van ondergrondse kabels en leidingen?”. Om deze vraag adequaat te beantwoorden is een enquête (zie bijlage C) verstuurd aan 17 deelnemers van het COB platform kabels en leidingen welke deze al dan niet verder hebben doorgestuurd. Uiteindelijk hebben 15 deelnemers gehoor gegeven aan de oproep om de voor hen relevante vragen te beantwoorden. In de enquête zijn drie categorieën vragen opgenomen:

- > Koper / gebruiker
- > Technische eisen
- > Operationele eisen

Daarnaast is bij de geïnquêteerden geïnformeerd of er bij hen al technieken bekend waren die in het gereedschap konden worden toegepast.

In de enquête zijn zowel meerkeuze-vragen als openvragen opgenomen. De meerkeuzevragen betreffen onderwerpen waar een kwantificatie van een criterium wenselijk was, bijvoorbeeld de gewenste nauwkeurigheid. Zo werd voorkomen dat er een enorme spreiding in de antwoorden zou ontstaan en als gevolg daarvan een criterium niet kon worden afgeleid. Wel werd de mogelijkheid gegeven om, indien de gegeven antwoorden niet voldeden, een eigen antwoord in te vullen. De openvragen hadden betrekking op het beoogde gebruik, verdere wensen die nog niet in de enquête waren opgenomen en bestaande kennis.

Tevens werd verzocht om aan iedere vraag op de enquête een gewicht toe te kennen zodat iedere geïnquêteerde het belang van een bepaald aspect (criterium) kon aangeven.

3.2. ANALYSE

Ten behoeve van de uitwerking van de enquête tot een functioneel programma van eisen zijn de antwoorden van de enquête op twee punten geanalyseerd, te weten;

- > de wegingsfactoren die door de geïnquêteerden aan de vragen zijn toegekend
- > de crosscorrelatie

WEGINGSFACTOREN

Het gewicht dat aan iedere vraag van de enquête door de geënquêteerde kon worden toegekend kan variëren tussen 1 (onbelangrijk) en 5 (zeer belangrijk) (zie Tabel 2).

Tabel 2 Wegingsfactoren

Gewicht	Betekenis
1	Onbelangrijk
2	Weinig belangrijk
3	Matig belangrijk
4	Belangrijk
5	Zeer belangrijk

Het toegekende gewicht kon bij de uitwerking van de enquête tot het programma van eisen gebruikt worden om de verschillende antwoorden op een vraag op hun waarde te kunnen inschatten. De wegingsfactoren van gelijke antwoorden worden aan het eind gesommeerd. Niet iedere geënquêteerde heeft echter van de volledige range (1 tot en met 5) gebruik gemaakt (zie Tabel 3). Hierdoor zou een geënquêteerde die bijvoorbeeld alleen 4 en 5 heeft gebruikt een grotere invloed op de eis hebben dan een geënquêteerde die alleen 1 en 2 heeft gebruikt, terwijl ze beide van hetzelfde uitgangspunt zijn uitgegaan (1 en 4 is onbelangrijk, 2 en 5 is belangrijk). Om iedere geënquêteerde evenveel invloed op de uitkomst te geven worden de wegingsfactoren van de geënquêteerden die niet van de volledige range gebruik hebben gemaakt als volgt gemodificeerd.

- > allereerst wordt het gemiddelde van de range van een geënquêteerde bepaald
- > vervolgens wordt het verschil bepaald tussen het gemiddelde van de gewenste range (1-5) en het gemiddelde van de range van de geënquêteerde
- > dit verschil wordt ten slotte bij iedere wegingsfactor opgeteld

Tabel 3 Wegingsfactoren vragen enquête

		VRAGEN																		
		1	2	3	4	5a	5b	5c	5d	5e	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
GEËNQUÊTERDEN	A	3	5	2		4	4	4	4	4	4	5	4		2	5	5	4	4	
	B	1	5	2	5	5	5	1	4	4	5	5	5	5		3	2	3	3	3
	C																			
	D		5		3	4	4	4	4	4	4	5	5	5		4	5	5	5	4
	E	3	5	5		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4
	F																			
	G																			
	H	1	1	4	3	4	4	4	5	4	3	4	5	5		3	3	1	3	
	I		5	5			3	3	3	3	5	5				3	5		5	
	J	4	4	3	2	5	5	5	5	5	3	3	4	5	2	5	5	3	2	1
	K	4	5	3		5	3	3	5	5	5	4	3	3		3	5		5	
	L	5	4	5	5	5	4	3	5	5	4	5				5	5			
	M																			
	N	3	4	1	5	5	5	5	5	5										
	O	1	1	3		4	4	4	5	5	5	3	5	5		1	2	3	3	3

Geënquêteerde D heeft bijvoorbeeld gebruik gemaakt van een range van 3 tot 5 (zie Tabel 3). Het gemiddelde van deze range is 4. Het gemiddelde van de gewenste range is 3. Het verschil is dus -1 . Bij iedere wegingsfactor gegeven door geënquêteerde D wordt nu -1 opgeteld. Dit leidt tot een range van 2 tot 4.

In sommige gevallen heeft de geënquêteerde helemaal geen weging aan de vragen toegekend. In dat geval is aan elke vraag een gemiddelde weging van 3 toegekend. Indien de geënquêteerde aan slechts enkele vragen geen weging heeft toegekend wordt aan deze vragen eveneens de gemiddelde weging van 3 toegekend. Deze factor wordt niet gecorrigeerd volgens de hierboven genoemde wijze.

CROSSCORRELATIE

Om realistische en haalbare technische specificaties te verkrijgen worden ook de correlaties tussen vragen beschouwd. In het bijzonder betreft dit het verband tussen de vragen van de categorie “Koper” (markteisen) en de categorie “Technische eisen”. Geënquêteerden kunnen op twee manieren de enquête invullen, als een niet altijd realistische wensenlijst of als een afgewogen eisenlijst. Een voorbeeld daarvan is de correlatie tussen nauwkeurigheid en prijs. Een lage prijs en hoge nauwkeurigheid is zeer gewenst maar is geen realistische en haalbare eis en hebben een zeer lage correlatie. Een hoge prijs en een hoge nauwkeurigheid is daarentegen een realistische en haalbare eis en hebben een grote correlatie.

Indien een geënquêteerde bij de beantwoording van de vragen geen rekening heeft gehouden met de correlatie tussen vragen wordt de geënquêteerde hiervoor ‘bestraft’. Hieronder is voor de vragen waartussen correlaties bestaan in een tabel aangegeven welke correlatiecoëfficiënten gehanteerd worden.

Tabel 4 – Correlatiecoëfficiënten, c , tussen vragen 2&3 en vraag 5, 6 of 7

Markt	Technische eisen	HOG EIS	MIDDEL EIS	LAGE EIS
		(grote nauwkeurigheid / grote diepte / direct)		(lage nauwkeurigheid / kleine diepte / op kantoor)
HOG EIS (0-10.000 EURO & over een jaar)		0.2	0.6	1
MIDDEL EIS (10.000 – 20.000 EUR & over twee jaar)		0.6	1	1
LAGE EIS (>20.000 EURO & later)		1	1	1

De correlatiecoëfficiënten per geënquêteerde worden als volgt bepaald (zie Tabel 5).

- > allereerst wordt de gemiddelde eis van vraag 2&3 bepaald
- > vervolgens wordt voor vraag 5, 6 en 7 de eis per vraag bepaald en wordt per vraag de correlatiecoëfficiënt, c , uit Tabel 4 afgelezen en wordt de wegingsfactor van de vraag hiermee vermenigvuldigd
- > ten slotte wordt de gemiddelde correlatiecoëfficiënt berekend per geënquêteerde (zie Tabel 5) en worden de wegingsfactoren van zowel de vragen 2 als 3 hiermee vermenigvuldigd

Tabel 5 Bepaling correlatiecoëfficiënt per geënquêteerde

	eis voor vragen 2& 3	Gemiddelde correlatie coëfficiënt		eis voor vraag 5	c [-]	eis voor vraag 6	c [-]	eis voor vraag 7	c [-]
GEËNQUÊTERDEN	A	hoog	0.5	hoog	0.2	laag	1	hoog	0.2
	B	middel	0.9	laag	1	laag	1	hoog	0.6
	C	middel	0.6	hoog	0.6	hoog	0.6	hoog	0.6
	D	hoog	0.6	middel	0.6	laag	1	hoog	0.2
	E	hoog	0.2	hoog	0.2	hoog	0.2	hoog	0.2
	F	middel	0.9	middel	1	middel	1	hoog	0.6
	G	middel	0.9	laag	1	laag	1	hoog	0.6
	H	hoog	0.6	middel	0.6	laag	1	hoog	0.2
	I	hoog	0.6	middel	0.6	laag	1	hoog	0.2
	J	middel	1.0	middel	1	laag	1	laag	1
	K	hoog	0.6	middel	0.6	laag	1	hoog	0.2
	L	hoog	0.2	hoog	0.2	hoog	0.2	hoog	0.2
	M	middel	0.7	hoog	0.6	laag	1	hoog	0.6
	N	middel	0.6	hoog	0.6				
	O	hoog	0.3	middel	0.6	hoog	0.2	hoog	0.2

3.3. RESULTATEN ENQUÊTE

De resultaten van de enquête worden per categorie (koper, technische eisen, operationele eisen, andere technieken) besproken.

KOPER

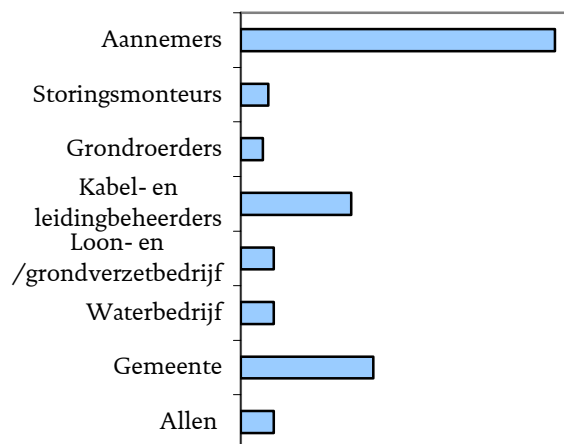
In de categorie ‘koper’ zijn vier vragen opgenomen die betrekking hebben op de uiteindelijke kopers van het gereedschap. Uit deze antwoorden moet blijken (1) wie het gereedschap uiteindelijk zal gaan kopen, en dus ook gebruiken, (2) wat het gereedschap mag kosten, (3) wanneer het gereedschap op de markt moet zijn en (4) hoe het gereedschap naast bestaande informatiesystemen over de ligging van kabels en leidingen kan bestaan. Op de volgende bladzijde zijn de resultaten van deze vier vragen weergegeven in histogrammen.

Uit de antwoorden op vraag 1 blijkt dat voorzien wordt dat zowel aanleggers als beheerders worden gezien als toekomstige koper van het gereedschap. De nadruk ligt echter duidelijk bij de aannemers.

Uit de antwoorden op vraag 2 en 3 blijkt dat het niet wenselijk is dat de kosten groter dan EUR 20.000,- zijn en dat het gereedschap uiterlijk over twee jaar op de markt moet zijn. Daarnaast zal het gereedschap voornamelijk gebruikt worden voor het identificeren van onduidelijke ligginggegevens.

KOPER

1. Wie gaat het gereedschap kopen? b.v. gemeente, aannemer etc.



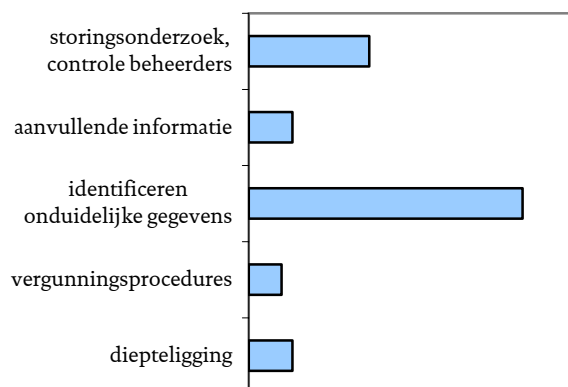
2. Hoeveel mag het gereedschap gaan kosten?



3. Hoe snel moet het gereedschap op de markt zijn?



4. Hoe kan het gereedschap gebruikt worden naast / binnen de gebruikelijke procedures nu (KLIC) en in de toekomst (bv Het Informatiehuis)

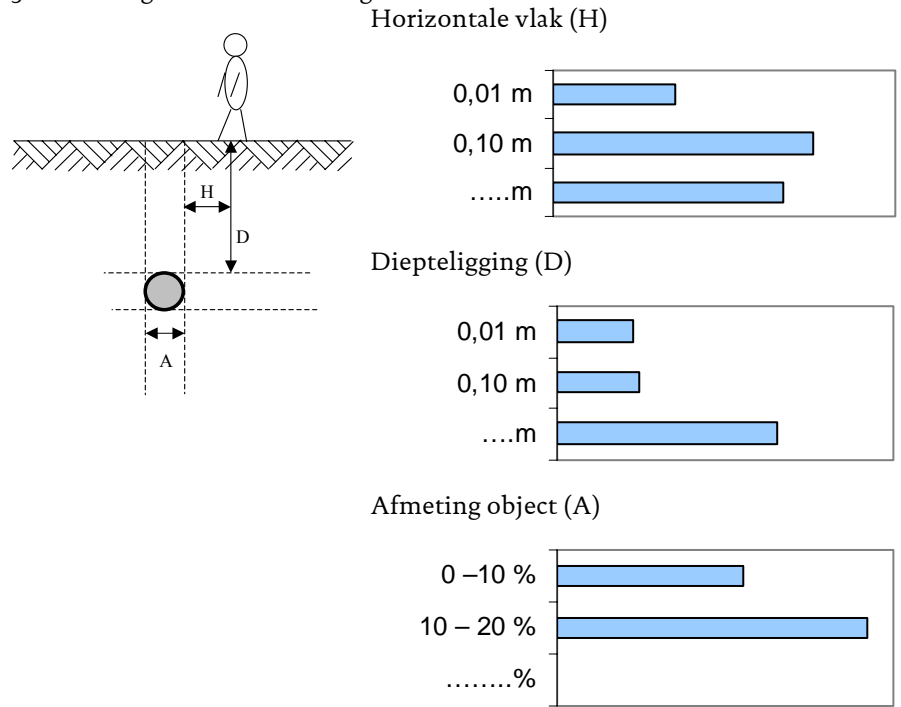


TECHNISCHE EISEN

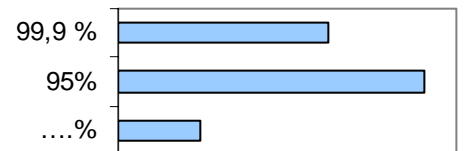
In de enquête zijn 6 vragen gesteld welke betrekking hadden op de eisen die gesteld moeten worden aan de technische mogelijkheden van het gereedschap. De resultaten van deze vragen zijn hieronder weergegeven.

TECHNISCHE EISEN (wat moet het gereedschap kunnen)

5. Wat is de gewenste nauwkeurigheid?



De kans dat het gereedschap een kabel of leiding detecteert welke ook aanwezig is



De kans dat het gereedschap een kabel of leiding detecteert, welke niet aanwezig is (vals alarm)



In vraag 5 werd gevraagd naar de gewenste nauwkeurigheid. Ten eerste werd gevraagd naar de maximaal toegestane afwijking in de afmeting en ligging van het gemeten object ten opzichte van de werkelijke afmeting en ligging van het object.

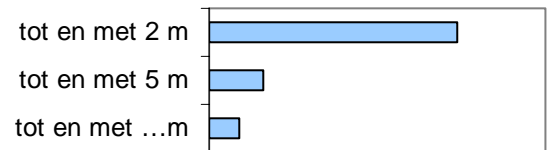
Bij de vraag over de nauwkeurigheid in het horizontale scoort 0,10 m het hoogst. Bij het open antwoord zijn de antwoorden niet gelijk maar lopen de antwoorden uiteen van 0,2 meter tot en met 1,5 meter. De meerderheid geeft dus de voorkeur aan **een nauwkeurigheid van 0,10 m in het horizontale vlak**.

Bij de vraag over de nauwkeurigheid van de diepteligging heeft de meerderheid het open antwoord ingevuld. Hierbij is 0,2, 0,25 en éénmaal 1,0 m ingevuld. Uit de sommatie van de wegingsfactoren die corresponderen met de antwoorden 0,2 en 0,25 m volgt de voorkeur voor **een nauwkeurigheid tussen 0,2 en 0,25 m in de diepteligging**.

Uit de antwoorden bij de vraag over de gewenste nauwkeurigheid van de afmeting van het object blijkt dat **de afwijking in afmeting niet groter mag zijn dan 20%**.

Ten tweede werd gevraagd naar de gewenste detectiekans waarbij zowel werd gevraagd naar de gewenste kans dat een aanwezige leiding wordt gedetecteerd alsook de kans op vals alarm. Hieruit blijkt dat vereist wordt dat de kans dat een gedetecteerd object aanwezig is niet kleiner mag zijn dan **95%** terwijl de kans op vals-alarm kleiner dan **5%** moet zijn.

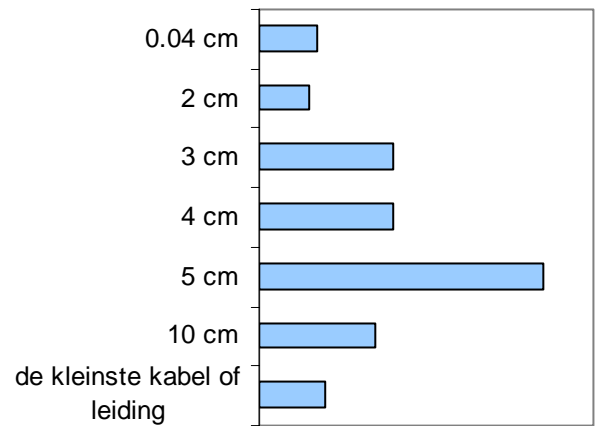
6. Wat is de gewenste range (diepte)?



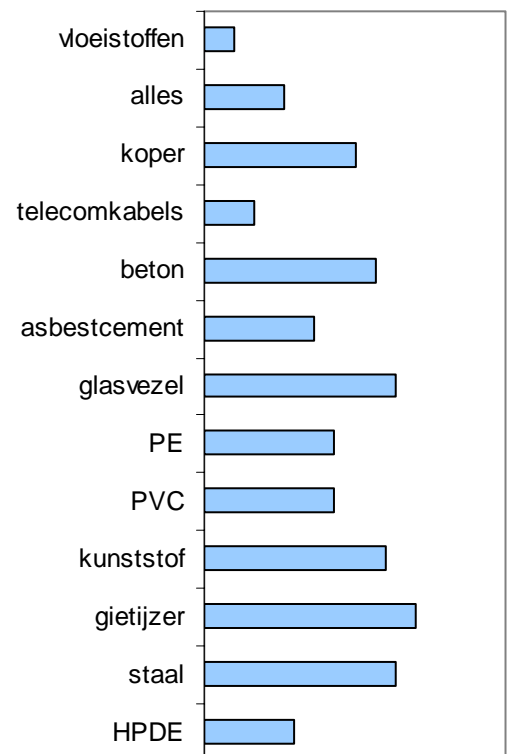
7. Hoe snel moeten de resultaten beschikbaar zijn?



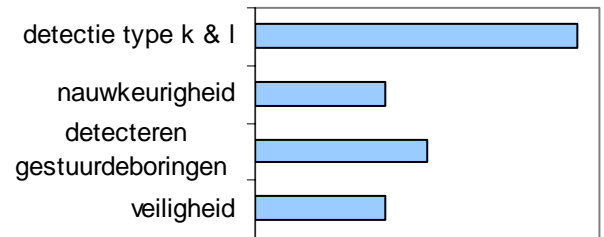
8. Welke afmetingen moet het detecteren?



9. Welke materialen moet het detecteren?



10. Andere technische eisen

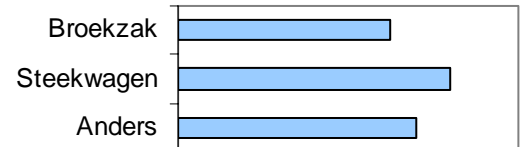


In de vragen 6 tot en met 10 wordt ingegaan op andere technische eisen dan de nauwkeurigheid..

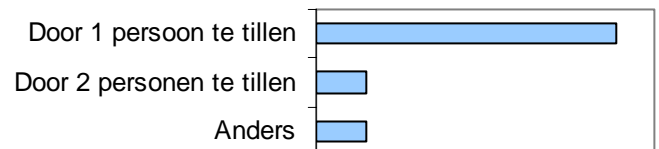
- > Uit de antwoorden op vraag 6 blijkt dat de gewenste range (diepte) beperkt blijft tot de **eerste 2 meter**.
- > De antwoorden op vraag 7 zijn bijna éénduidig en laat zien dat de resultaten direct, dat wil zeggen **ter plaatse, beschikbaar** moeten zijn.
- > Een meerderheid geeft aan dat de kleinste te detecteren afmeting gelijk moet zijn aan **5 cm**.
- > De te detecteren materialen zijn van tientallen soorten. Uit de antwoorden blijkt dat **gietijzer, staal, kunststof, glasvezel en beton** de belangrijkste materialen zijn.
- > Een eigenschap waar de geënquêteerden ook belang aan hechten is de mogelijkheid om **het type kabel of leiding te detecteren**.

OPERATIONELE EISEN

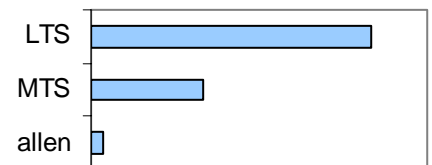
11. Hoe groot mag het gereedschap worden? (vervoer)



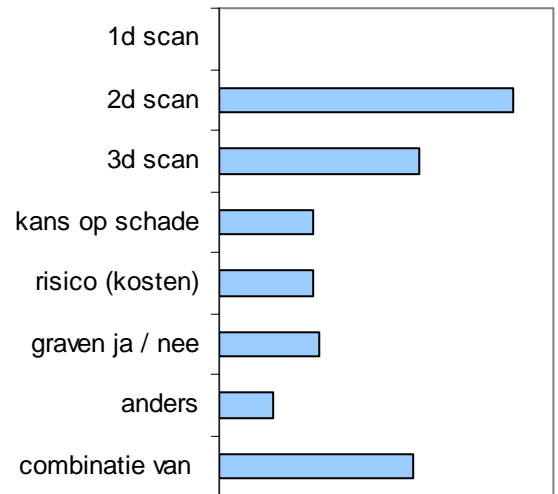
12. Hoe zwaar mag het gereedschap worden?



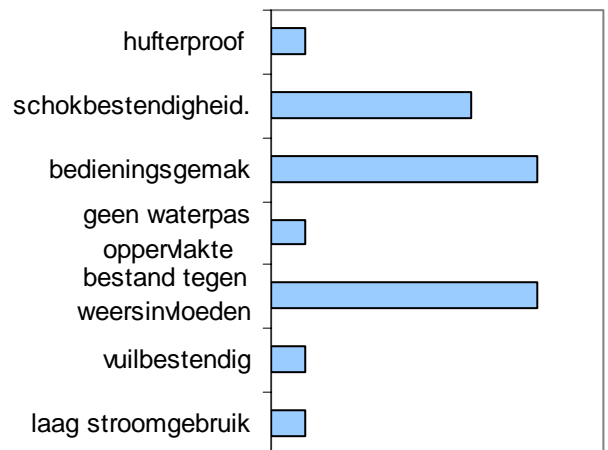
13. Wie gaat het gereedschap gebruiken? b.v. LTS, MTS ect.



14. Hoe moeten de resultaten uitgedrukt worden?



15. Zijn er nog andere operationele eisen? b.v. schokbestendigheid, waterdichtheid etc.



OPERATIONELE EISEN

De operationele eisen betreffen eisen die moeten voorzien in het gebruik van het gereedschap. Uit bovenstaande resultaten blijkt dat

- > een kleine voorkeur gaat naar een gereedschap wat in ieder geval met een **steekwagen** te vervoeren. Daarnaast blijkt uit de open antwoorden dat het gereedschap tenminste in een personenauto vervoerd moet kunnen worden.
- > een de meerderheid er de voorkeur aan geeft dat het gereedschap door **1 persoon** te tillen is.

De laatste vragen in de categorie operationele eisen betreffen de gebruiksvriendelijkheid.

- > Een gemiddelde **LTS-er** zou in staat moeten zijn om een meting met het gereedschap uit te voeren.
- > De resultaten moeten in grafische vorm getoond worden, waarbij de meerderheid een **2D scan** prefereert. Een andere optie dan de gegeven opties was een akoestisch signaal. Twee maal werd als gewenste combinatie de kans op schade + risico genoemd.
- > **Bestendigheid tegen weersinvloeden, bedieningsgemak en schokbestendigheid** zijn ook van belang.

De laatste vraag van de enquête betreft de beschikbare technieken die al dan niet geïntegreerd kunnen worden in het nieuwe systeem. In de tabel hieronder zijn de gegeven antwoorden opgesomd.

Tabel 6 Beschikbare technieken

Grondradar
detectie elektrische signalen
Metaaldetector
Radiodetection, NoPig (NP Inspection Services GmbH)
Draagbare kabelzoekapparatuur zoals van de leveranciers: radiodetection, GELAN en 3M
Duct runner: www.radiodetection.nl
Zie rapport UKWIR Report on asset location and condition assessment No 02/WM/12/1
röntgen / leidingzoeker

Naast technieken worden er ook enkele producten door de geënuquêteerden genoemd. De draagbare kabelzoekapparatuur van radiodetection, GELAN en 3M maken gebruik van elektromagnetische inductie.

3.4. FUNCTIONEEL PROGRAMMA VAN EISEN

Het functioneel programma van eisen wordt in de volgende tabel samengevat.

Tabel 7 Functioneel programma van eisen

	Aspect	Eis	Opmerkingen
1	Gebruiker	Aannemer	
2	Kosten	minder dan 20.000 Euro	
3	Ontwikkelingstijd	Uiterlijk over twee jaar	
4	Type gebruik	Identificeren onduidelijke ligginggegevens	
5a	Nauwkeurigheid horizontale vlak	0,10 m	
5b	Nauwkeurigheid in diepteligging	0,2 – 0,25 m	
5c	Totale afwijking in afmeting	< 20 %	
5d	Detectiekans	95%	lijkt te laag
5e	De kans op vals alarm	< 5%	
6	Range (diepte)	2 m	
7	Beschikbaarheid resultaten	Direct	
8	Kleinste te detecteren afmetingen	0,05 m	lijkt te groot
9	Materialen	gietijzer, staal, kunststof, glasvezel en beton	
10	Andere technische eisen	Detectie van type kabel of leiding	
11	Grootte	Met steekwagen en in personenauto te vervoeren	
12	Gewicht	Te dragen door 1 persoon	
13	Gebruiker	LTS	
14	Uitdrukking resultaten	2D scan	
15	Andere operationele eisen	Bestandheid tegen weersinvloeden, bedieningsgemak en schokbestendigheid	

OPMERKINGEN:

Vraag 5d: Een detectiekans van 95% lijkt te laag. Immers dat impliceert dat in één op de twintig gevallen een kabel of leiding niet gezien wordt, waarna graafwerkzaamheden tot beschadiging leiden. De vraag is of de geënquêteerden de vraag zo hebben gelezen.

Vraag 8: Kabels kunnen tot 1 cm doorsnede zijn. De vraag is waarom kabels tot 5 cm niet gezien hoeven te worden.

4. KWALITATIEVE BEOORDELING TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk worden de technieken beoordeeld op twee aspecten, te weten; de materialen die ze kan detecteren en in welke omstandigheden (grondsamenstelling) dit mogelijk is. Op basis van deze beoordeling worden scenario's opgesteld van kansrijke technieken of combinaties van technieken.

4.1. BEOORDELING TECHNIEKEN

In hoofdstuk 2 is een overzicht gegeven van technieken die kunnen worden gebruikt bij de detectie van kabels en leidingen in de grond. In dat overzicht wordt kort beschreven hoe de techniek werkt, in welke omstandigheden de techniek gebruikt kan worden en welke materialen het kan detecteren. Op basis van deze kwalitatieve beoordeling wordt bepaald welke technieken zullen worden opgenomen in de scenario's die vervolgens worden beoordeeld op hun haalbaarheid. Een scenario kan één techniek of combinatie van technieken betreffen maar kan ook de verdere ontwikkeling van bestaande gereedschappen betreffen. Hieronder wordt per techniek gemotiveerd waarom de techniek wel of niet in een scenario is opgenomen, vervolgens worden de scenario's beschreven.

GRONDRADAR

Grondradar is een techniek waarmee de kabels en leidingen van uitéénlopende materialen gedetecteerd kunnen worden. De techniek werkt echter minder goed in klei- en veengronden. Op deze punten zou de grondradar dus moeten worden aangevuld met een andere techniek. Grondradar komt terug in de scenario's A, B en C.

ELEKTRISCHE WEERSTANDSMETING

Deze techniek is alleen geschikt voor detectie van geleidende kabels en leidingen. De detectie is ook alleen mogelijk in specifieke omstandigheden (zie beschrijving van de techniek in paragraaf 2.3.3). Aangezien er meerdere technieken bestaan waarmee geleidende kabels en leidingen kunnen worden gedetecteerd, welke minder nadelen kennen dan de weerstandsmeting, wordt de techniek niet meegenomen in één van de scenario's.

MAGNETOMETRIE

Met deze techniek kunnen metalen kabels en leidingen of stroomvoerende draden worden gedetecteerd. Vanwege de beperkte toepassing wordt deze techniek niet opgenomen in één van de scenario's.

ELEKTROMAGNETISCHE INDUCTIE

Deze techniek is alleen geschikt voor detectie van geleidende kabels en leidingen. De detectie kan ook verstoord worden door geleidende objecten boven maaiveld, waardoor het systeem niet betrouwbaar genoeg is om kabels en leidingen op te sporen. Elektromagnetische inductie wordt daarom niet meegenomen in één van de scenario's.

SPONTANE POTENTIAAL

Met deze techniek kunnen in velerlei omstandigheden kabels en leidingen van allerlei materialen worden opgespoord. De precieze begrenzingen van de mogelijkheden zijn echter onduidelijk. Een voordeel is de relatief snelle en eenvoudige bepalingsmethode, een nadeel is de grove resolutie en het gebrek aan diepteinformatie. Gecombineerd met andere technieken, zoals met grondradar (zoals de Groundtracer), kan het zijn nut hebben. Deze techniek past goed in scenario C.

SEISMOGRAFIE

Met deze techniek zijn uitéénlopende materialen te detecteren en is toepasbaar in velerlei omstandigheden. De techniek is echter zeer gevoelig voor ruis, zoals menselijke activiteiten, verkeer en bouwactiviteiten. De techniek kent de beperkingen van grondradar niet waardoor het een prima aanvulling kan zijn grondradar. Deze techniek is daarom opgenomen in scenario B.

AKOESTISCHE EMISSIE

Deze techniek is voornamelijk geschikt voor de detectie van lekken in leidingen en niet voor de detectie van gehele leidingen. Aangezien dit geen aanvulling is op andere technieken zal deze techniek niet worden meegenomen in één van de scenario's.

DRUKSENSOR

Deze techniek is alleen geschikt voor leidingen welke met water zijn gevuld. Gezien de beperkte toepassingsmogelijkheden wordt de techniek niet meegenomen in één van de scenario's.

THERMOGRAFIE

Deze techniek is voor zover bekend nog niet eerder toegepast bij de detectie van kabels en leidingen, waardoor de sterke en zwakke punten onbekend zijn. Theoretisch zouden met deze techniek grote kabels en leidingen van uitéénlopende materialen gedetecteerd kunnen worden. Praktijkkennis ontbreekt echter. Omdat onbekend is onder welke omstandigheden de techniek toegepast kan worden wordt deze niet uitgewerkt in een scenario.

GYROSCOOP

Deze techniek is alleen geschikt voor leidingen waardoor al dan niet kabels zijn gelegd en waarvan de in- en of uitgang bereikbaar is. Gezien de beperkte toepassingsmogelijkheden wordt de techniek niet meegenomen in één van de scenario's.

GRAVIMETRIE

De toepassingsmogelijkheden van deze techniek is beperkt tot een homogene ondergrond. Daarnaast kunnen alleen kabels en leidingen met een grote diameter met deze techniek gedetecteerd worden. Aangezien de techniek geen aanvulling op andere technieken levert wordt de techniek niet meegenomen in één van de scenario's.

HYBRIDE SYSTEMEN

De combinatie van grondradar en spontane potentiaal meter is een bruikbare toepassing in de detectie van kabels en leidingen daarom wordt het meegenomen in scenario C.

4.2. SCENARIO'S

SCENARIO A: GRONDRADAR VOOR LIJNINFRASTRUCTUUR (1D OBJECTEN).

Het probleem bij grondradar is fundamenteel fysisch: de golflengte van de gebruikte radiogolven moet kleiner zijn dan de te detecteren objecten, maar kleinere golflengtes worden meer door de bodem gedempt. Hoe dieper men in de bodem wil kijken, hoe groter de golflengte moet worden, hoe groter de objecten zijn die nog gezien kunnen worden. Het bodembeslag is daarbij ook een factor en bij bepaalde grondtypen, zoals klei en veen, is de demping erg groot. De uitdaging is dus om grondradar geschikt te maken om een dunne kabel te vinden op 2 meter diepte in de klei.

Een belangrijk onderdeel van een grondradar systeem is de verwerking van de radarsignalen. Door in de signaalverwerking informatie over de aard van de te vinden objecten te gebruiken kan het 'zicht' van het systeem worden verbeterd. Het ligt daarom voor de hand een grondradarsysteem te ontwerpen dat de specifieke aard van kabels en leidingen gebruikt, bijvoorbeeld dat het lange dunne objecten zijn. Dat gepolariseerde radargolven onder verschillende hoeken door dunne objecten verschillend worden verstrooid kan ook bruikbaar zijn.

In dit scenario wordt een direct beschikbare grondradar genomen met een radiofrequentie die net voldoende is om objecten van 5 cm te zien. Voor dit apparaat wordt op kabels en leidingen gerichte signaalverwerking ontwikkeld. Deze configuratie wordt vervolgens getest een of meerdere praktijk en/of testvelden.

De verwachting is dat dit niet eerder dan eind 2006 tot een commercieel product zal leiden. In 2005 zal de aandacht vooral uit gaan naar het overwinnen van de fysische beperkingen. In 2006 zou er dus nog een aanzienlijke inspanning nodig zijn om in samenwerking met fabrikanten tot een product te komen. Het aantrekkelijke van dit scenario is dat het kan leiden tot een universele detector met voldoende nauwkeurigheid en betrouwbaarheid en met inzichtelijke presentaties. Het apparaat zal echter groot zijn (kruiwagen) en waarschijnlijk 50 tot 100 kE kosten.

SCENARIO B: GRONDSONAR (SEISMOGRAFIE)

Grondradar heeft vooral z'n beperkingen in veen en klei. Mede vanwege de hoge elektrische geleidbaarheid van die grondsoorten is de demping van radiogolven namelijk erg hoog. Veen en klei zijn veel voorkomende grondsoorten in belangrijke delen van het Nederland. Mechanische golven (seismografie, grondsonar) worden ook gedempt door de bodem, maar zeker bij veen en klei veel minder dan radiogolven. Uiteraard is ook bij dit soort golven het godd probleem leidend (golflengte vs. objectgrootte vs. diepte vs. demping). Met mechanische golven zijn op een zekere diepte in de klei in theorie dus dunnere objecten te vinden dan met radiogolven. Hierbij speelt in de praktijk echter ook de gevoeligheid/dynamiek van zenders en ontvangers van radar enerzijds en sonar anderzijds nog een rol.

Tot nu wordt seismografie vooral gebruikt voor de diepe ondergrond. Voor een ondiepe toepassing (grondsonar) met postprocessing mede gebaseerd op grondradar ligt de uitdaging waarschijnlijk vooral in het ontwikkelen van de zender en de ontvanger. Actuatoren en sensoren zijn in principe in veel maten

en gevoeligheden te krijgen, en de vraag is of er (betaalbare) componenten te vinden zijn die voldoen.

De verwachting is dat dit niet eerder dan eind 2007 tot een commercieel product zal leiden. In 2005 zal de aandacht vooral uit gaan naar het overwinnen van de fysische beperkingen. Ook moet worden onderzocht of de signaalverwerking voldoende snel is te krijgen. Het heeft weinig zin parallel daaraan de overige aspecten van product ontwikkeling te starten. Omdat in tegenstelling tot radar er geen fabrikanten zijn die reeds complete sonars leveren zal het omzetten naar een commercieel product waarschijnlijk langer duren dan 1 jaar.

Het aantrekkelijke van dit scenario is dat het kan leiden tot een universele detector met voldoende nauwkeurigheid en betrouwbaarheid en met inzichtelijke presentaties. Het apparaat zal waarschijnlijk compacter en goedkoper zijn dan scenario A (10 tot 50 kE).

SCENARIO C: BESTAANDE TECHNIEKEN

Uit de inventarisatie van state of the art technieken komt naar voren dat met name radar en elektromagnetische inductie veel gebruikte technieken zijn in gereedschappen voor de detectie van kabels en leidingen. Enkele van deze gereedschappen blijken zelfs op een aantal punten reeds aan het programma van eisen te voldoen. Daarnaast komen uit de inventarisatie eveneens gereedschappen voor de detectie van kabels en leidingen, op basis van andere technieken dan radar en elektromagnetische inductie, naar voren. De vraag is welk bestaande gereedschap het beste voldoet of verder kan worden uitgewerkt naar een gereedschap dat voldoet aan de eisen. In dit scenario wordt daarom een benchmark gehouden van beschikbare gereedschappen. In de benchmark worden nauwgezet de specificaties, de sterktes en de zwaktes van de op de markt zijnde gereedschappen in kaart gebracht door middel van het uitvoeren van testen. Dit wordt omgezet tot een schema dat gegeven bepaalde verlangens gereedschappen selecteert. Dit schema wordt uitgebouwd tot een protocol waarin wordt beschreven hoe na een klic-melding gehandeld kan worden in alle denkbare situaties. In feite wordt in dit scenario het gebrek aan een universele detector ondervangen door een procedure die alle mogelijke informatie laat inzetten. Op grond van de benchmark en gekoppeld aan het protocol kan er een functioneel programma van eisen worden opgesteld ten behoeve van de verdere ontwikkeling van bestaande producten en diensten. Men kan daarbij bijvoorbeeld denken aan eisen aan de gebruikersvriendelijkheid. In dit scenario zal nooit die onvermoede glasvezelkabel 2 meter diep in de klei worden gevonden. Het aantrekkelijke van dit scenario is echter dat iedereen in staat wordt gesteld de huidige, relatief goedkope producten en diensten op de juiste manier en ten volle te benutten. Het aantal ongelukken kan alleen daardoor al, wellicht aanmerkelijk, worden verminderd. Reeds eind 2005 kan dit een feit zijn. Tevens worden de voorwaarden geschapen voor verdere innovaties van producten en diensten bij de leveranciers zelf.

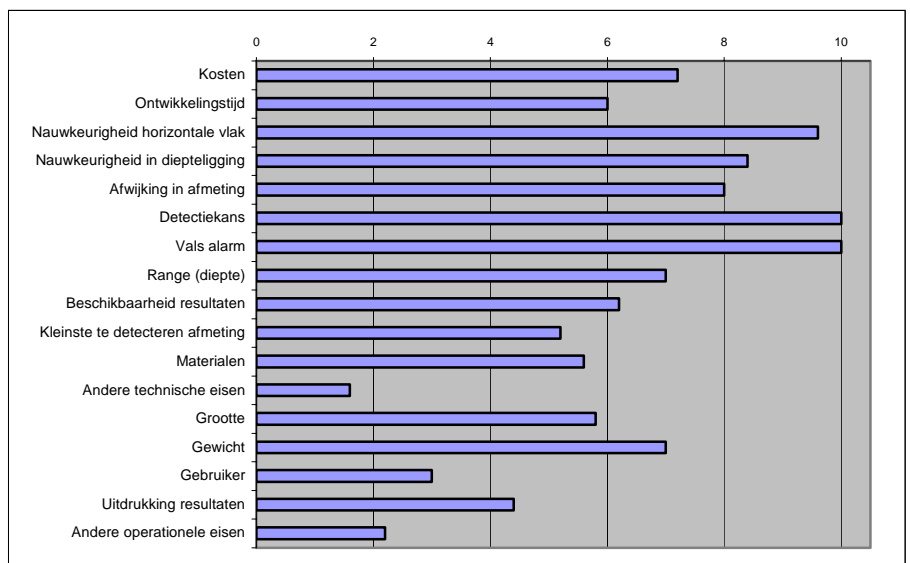
5. ADVIES: GO / NO GO

5.1. BEOORDELING SCENARIO'S

Voordat een advies Go / No go gegeven kan worden moet het meest kansrijke scenario worden bepaald. Dit wordt gedaan aan de hand van de functionele criteria waarmee de producthaalbaarheid beoordeeld kan worden. Deze criteria volgen rechtstreeks uit het functioneel programma van eisen dat is beschreven in hoofdstuk 3 en daar reeds zijn gegeven. Het meest kansrijke scenario wordt vervolgens nog getoetst op de projecthaalbaarheid aan de hand van projectcriteria zoals kosten en tijd.

PRODUCTHAALBAARHEID

Voor de volledigheid worden de functionele criteria nogmaals in de tweede kolom van Tabel 8 opgesomd. De beoordeling van de scenario's wordt uitgevoerd door per scenario een cijfer toe te kennen aan een bepaald criterium. Dit cijfer geeft aan in hoeverre het scenario aan het criterium voldoet. Hierbij wordt een range van 1 tot en met 10 gebruikt waarbij 1 gelijk staat aan zeer slecht en 10 aan uitmuntend. Voor ieder criterium geldt een minimum score welke volgt uit de sommatie van de wegingsfactoren per vraag en vervolgens geschaald is naar 1 tot 10 (zie figuur hieronder).



Indien een scenario op één van de criteria onder het minimum scoort valt dit scenario in principe af. Van de overgebleven scenario's wordt vervolgens de gemiddelde score bepaald. Het hoogst scorende scenario wordt als meest kansrijk gezien.

Tabel 8 Eisen

Aspect	Eis	minimum score	Scenario A	Scenario B	Scenario C
Kosten	< 20.000 Euro	7	4	6	10
Ontwikkelingstijd	Uiterlijk over twee jaar	6	7	4	10
Nauwkeurigheid horizontale vlak	0,10 m	9,5	10	10	9,5
Nauwkeurigheid in diepteligging	0,2 – 0,25 m	8,5	10	10	8,5
Totale afwijking in afmeting	< 20 %	8	10	10	8
Detectiekans	95%	10	10	10	10
De kans op vals alarm	< 5%	10	10	10	10
Range (diepte)	2 m	7	7	7	7
Beschikbaarheid resultaten	Direct	6,5	6,5	6,5	6,5
Kleinste te detecteren afmetingen	0,05 m	5	10	10	5
Materialen	gietijzer, staal, kunststof, glasvezel en beton	5,5	5,5	5,5	3
Andere technische eisen	Detectie van type kabel of leiding	1,5	1,5	1,5	1,5
Grootte	Met steekwagen en in personenauto te vervoeren	5,5	5,5	5,5	10
Gewicht	Te dragen door 1 persoon	7	10	10	10
Gebruiker	LTS	3	10	10	3
Uitdrukking resultaten	2D scan	2,5	10	10	3
Andere operationele eisen	Bestandheid tegen weersinvloeden, bedieningsgemak en schokbestendigheid	2	10	10	10
<i>Gemiddelde score</i>			8,1	8,0	7,4

Uit bovenstaande tabel blijkt dat alle scenario's op één eis onder het minimum scoren (zie vetgedrukte scores). Aangezien ook de gemiddelde score niet ver uit elkaar ligt worden alle scenario's beoordeeld op de projecthaalbaarheid.

PROJECTHAALBAARHEID

De haalbaarheid van het project wordt bepaald met behulp van project criteria. Dit betreffen criteria ten aanzien van kosten en tijd en aspecten waardoor kosten en tijd overschreden kunnen worden. In onderstaande tabel zijn de project criteria gegeven.

Tabel 9 Projectcriteria

Aspect	Criterium
Kosten	< 290.000,-- Euro
Doorlooptijd	< 2 jaar
Afhankelijkheid van derden - aantal partijen - aantal disciplines - prestaties van derden	Risico ja of nee

De totale kosten mogen in principe de begroting van EUR 290.000,-- niet overschrijden. Het projectcriterium "doorlooptijd" volgt uit de enquête (zie Tabel 7). De afhankelijkheid van derden wordt als een risico gezien voor wat betreft de overschrijding van kosten en tijd. Daarom zijn deze ook als projectcriterium in de beoordeling opgenomen. In onderstaande tabel wordt per scenario een score aan de criteria toegekend. De score kan 0, 1 of 2 zijn. Waarbij 0 aangeeft dat niet aan het criterium kan worden voldaan of dat het een groot risico geeft. 2 geeft aan dat wel aan het criterium kan worden voldaan

of geen risico vormt en 1 geeft aan dat er twijfel bestaat of al dan niet voldaan wordt aan het criterium of dat het een risico vormt.

Tabel 10 Beoordeling scenario's op projectcriteria

	Scenario A	Scenario B	Scenario C
Kosten	1	1	2
Doorlooptijd	1	0	2
Aantal partijen	2	2	1
aantal disciplines	2	0	2
prestaties derden	2	0	2
Totaal score	8	3	9

Uit bovenstaande tabel volgt dat Scenario B afvalt wegens een zeer geringe projecthaalbaarheid. Daarnaast volgt uit de tabel dat de haalbaarheid van scenario C het grootst is. De score van scenario A is echter niet veel kleiner dan de score van scenario C, daarom wordt tevens gekeken naar de score op het gebied van producthaalbaarheid (zie paragraaf 5.1). Hieruit volgt dat scenario A hoger scoort dan scenario C en er dus uit beide beoordelingen geen eenduidige keuze voor een bepaald scenario valt af te leiden. Hieronder zijn de sterkten en zwakten van beiden scenario's nogmaals kort opgesomd.

STERKTE - ZWAKTE SCENARIO A

De technische en operationele mogelijkheden van scenario A zijn groot. Een nadeel zijn de kosten van het uiteindelijke gereedschap. Daarnaast is het onzeker of het project binnen de begrote kosten gerealiseerd kan worden en binnen de gestelde tijd.

STERKTE - ZWAKTE SCENARIO C

Scenario C scoort qua producthaalbaarheid op vrijwel alle punten net minder dan scenario A. Dit komt voornamelijk voort uit het feit dat de technieken niet verder ontwikkeld zullen worden maar dat op basis van bestaande technieken een protocol wordt geschreven hoe er gehandeld moet worden na een KLIC melding. De projecthaalbaarheid lijkt echter groot omdat er geen onzekerheden bestaan die voortvloeien uit de ontwikkeling van een nieuwe techniek.

5.2. ADVIES

Uit bovenstaande opsomming van de sterkten en zwakten van beide scenario's (A en C) blijkt dat aan beide scenario's risico's kleven. De risico's zijn onder te verdelen in productrisico's (product voldoet niet aan programma van eisen) en projectrisico's. De projectrisico's zullen door middel van goed projectmanagement voorkomen moeten worden. De productrisico's zijn minder eenvoudig te voorkomen. Echter, mede door het feit dat in de branche een grote behoefte bestaat om alternatieve technieken te onderzoeken op hun mogelijkheden en ook omdat niet uit te sluiten is dat met bestaande technieken een oplossing mogelijk is, volgt dat een "Go" aan te bevelen is.

Echter, nu onbeslist blijft of scenario A of C de voorkeur verdient, en beide scenario's een belangrijke zwakte kennen, dienen nu andere overwegingen in de keuze te worden betrokken. Wij adviseren daarom de twee scenario's voor te leggen aan het Kabels en Leidingen Platform. De scenario's zijn dermate verschillend, met dermate verschillende implicaties voor alle betrokkenen, dat een besluit op Platformniveau mogelijk is en wenselijk lijkt.

6. GO

In dit hoofdstuk wordt het gekozen scenario vertaald in een projectplan voor de tweede fase van het onderzoek. In deze versie van het rapport is de keuze nog niet gemaakt. Zodra deze keuze bekend is, bijvoorbeeld door een stellingname van het Kabels en Leidingen Platform, zal dit hoofdstuk nader worden ingevuld.

6.1. BESCHRIJVING SCENARIO'S

SCENARIO A

In dit scenario wordt een direct beschikbare grondradar genomen met een radiofrequentie die net voldoende is om objecten van 5 cm te zien. Voor dit apparaat wordt op kabels en leidingen gerichte signaalverwerking ontwikkeld. Deze configuratie wordt vervolgens getest in een of meerdere praktijk en/of testvelden.

SCENARIO C

In dit scenario wordt een benchmark gehouden van beschikbare gereedschappen. In de benchmark worden nauwgezet de specificaties, de sterktes en de zwaktes van de op de markt zijnde gereedschappen in kaart gebracht door middel van het uitvoeren van testen. Dit wordt omgezet tot een schema dat gegeven bepaalde verlangens gereedschappen selecteert. Dit schema wordt uitgebouwd tot een protocol waarin wordt beschreven hoe na een klic-melding gehandeld kan worden in alle denkbare situaties.

6.2. PROJECTPLAN 2005

AANPAK

BETROKKEN PARTIJEN

PLANNING

AANSLUITING 2006 EN VERDER: NAAR DE MARKT MET EEN PRODUCENT

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Voor kabel- en leidingdetectie is een ruim aantal technieken beschikbaar. Echter, geen van de technieken kan alle soorten kabels en leidingen detecteren in alle omstandigheden. Verder blijft zelfs met een combinatie van technieken de glasvezelkabel op 2 meter diepte in de klei onzichtbaar.

Het programma van eisen laat zien dat de technische mogelijkheden van het gereedschap het belangrijkste worden geacht. De markteisen (zoals kosten) worden minder belangrijk geacht en er is weinig belangstelling voor de operationele eisen.

Uit de kwalitatieve beoordeling komen drie scenario's naar voren.

- (A) verdere ontwikkeling van een bestaande techniek (grondradar)
- (B) ontwikkelen van een nieuwe techniek (grondsonar)
- (C) test van bestaande producten, gecombineerd met ontwikkeling van een detectieprotocol

Uit de kwantitatieve beoordeling blijkt echter dat geen van de drie scenario's volledig aan het programma van eisen en de projecteisen kan voldoen.

Scenario's A en C zijn het meest belovend maar liggen dermate nek-aan-nek dat voorgesteld wordt de keuze over te laten aan het Kabels- en Leidingen Platform.

AANBEVELINGEN

De grootste risico's van scenario A betreffen kosten, van zowel het uiteindelijke product als van het project. Door aan het eind van iedere fase voornamelijk de projectkosten te evalueren is het mogelijk om op tijd bij te sturen en in de worst case de uitwerking van scenario A te stoppen.

Bij uitvoering van het projectplan 2005 zullen, voor een waarboring van de product en projecthaalbaarheid, de risico's die volgen uit de beoordeling van de scenario's gemonitord moeten worden.

Het opstellen van een beperkte begeleidingscommissie / klankbordgroep, die de belangen van de branche / opdrachtgevers behartigd, waaraan de projectgroep eens in de maand de voortgang rapporteert door middel van een beknopte rapportage.

8. REFERENTIES

8.1. LITERATUUR

- [1] Reiding, F.J. en Staalduinen, P.C. van; “Meet- en inspectietechnieken in de bouw” TNO-rapport 93-CON-R1381, TNO Bouw, 31 december 1993.
- [2] “Niet-destructief onderzoek van beton, deel I” CUR-rapport 5, 1956
- [3] “Niet-destructief onderzoek van beton, deel II” CUR-rapport 18, 1960
- [4] “Metingen op de bouwplaats”, CUR-rapport 21, 1961
- [5] “Niet-destructie onderzoek van beton, deel III” CUR-rapport 33, 1966
- [6] “L100 Ondiepe detectie technieken. Prototpe 3D-grondradar”, werkrapport, oktober 1999
- [7] Deen, J.K. van, V. Hopman; “Ontwikkelversie 3D-grondradar”, COB rapport L100, september 1997.
- [8] Deen, J.K. van, V. Hopman; “Definitiestudie radarinstrument Prikneus”, COB rapport L300, december 1997.
- [9] “Geofysische technieken voor grondonderzoek”, Cur-rapport 182, 1996
- [10] Drnevich & Gray; “Acoustic emissions in geotechnical engineering practice”, American society for testing and materials, juni 1981.

8.2. WEBSITES

- [11] <http://www.g-p-r.com/> biedt links en een tutorial, bibliografie en andere informatie over GPR.
- [12] <http://www.sss-mag.com/gpr.html> biedt links en een tutorial, bibliografie en nieuws over GPR.

BIJLAGE A

NOTITIE TNO FEL

MAGNETOMETRIE

Met behulp van magnetometrie wordt het lokale aardmagnetisch veld gemeten. Dit veld mag als homogeen worden verondersteld over afstanden kleiner dan enkele kilometers mits er geen objecten of structuren aanwezig zijn die dit veld verstoren. Worden echter lokaal verschillen gemeten in het aardmagnetisch veld ('magnetische anomalieën'), dan duidt dit op de aanwezigheid van gemagnetiseerde objecten of structuren in de bodem. Magnetometrie is daarmee een passieve techniek: de gebruikte apparatuur (de magnetometer) zendt geen velden uit, maar meet alleen één of meerdere componenten van het aardmagnetisch veld en de daarin aanwezige verstoringen. In de praktijk wordt vaak alleen de verticale component van deze velden of alleen de absolute waarde van het totale veld gemeten.

De sterkte van een verstoring zoals die door de apparatuur gemeten wordt, is afhankelijk van de mate waarin het object of de structuur gemagnetiseerd is en van de afstand van de meetapparatuur tot dit object of deze structuur. De afstandsafhankelijkheid is omgekeerd evenredig met de derde macht van de afstand ($\sim 1/R^3$ met R de afstand). Dit houdt in dat bij verdubbeling van de afstand, de gemeten sterkte van de verstoring $1/8$ maal zwakker wordt.

De mate waarin het object of de structuur gemagnetiseerd is, hangt in de eerste plaats af van de materiaaleigenschappen van het object of de structuur. Alleen ferromagnetisch materialen, zoals ijzer, nikkel of kobalt, kunnen voldoende gemagnetiseerd zijn om met behulp van magnetometrie te worden gedetecteerd. Ook kan het object of de structuur gedetecteerd worden als het permanent magnetisch materiaal bevat. Objecten die uit niet-magnetiseerbare metalen bestaan, zoals koper, aluminium, lood en de meeste soorten RVS, kunnen dus niet met behulp van magnetometrie gedetecteerd worden.

Naast de materiaaleigenschappen, hangt de magnetisatie van het object van een aantal andere factoren af, zoals de vorm van het object, de oriëntatie ten opzichte van het aardmagnetische veld, temperatuursveranderingen, etc. In de praktijk blijken objecten die met behulp van magnetometrie worden gedetecteerd, moeilijk te identificeren te zijn, mede door het grote aantal factoren dat invloed heeft op hun magnetisatie.

Magnetometrie kan in principe ook onder water worden gebruikt. Speciale waterdichte apparatuur wordt door enkele fabrikanten geleverd.

In veel praktische toepassingen van magnetometrie wordt het magneetveld tegelijkertijd gemeten door 2 sensoren (magnetometers) met een onderlinge afstand van 0,5 tot 2 meter. Door het verschil te nemen van de resultaten van de metingen met deze 2 sensoren, verdwijnt de bijdrage van het (homogeen te veronderstellen) aardmagnetische veld en houdt men alleen de bijdragen van eventuele magnetische anomalieën over. In dat geval spreekt men wel van

gradiometrie, omdat er een gradiënt gemeten wordt. De gradiënt van het magneetveld neemt als $1/R^4$ met de afstand R af.

Magnetometrie kan zowel vanaf het oppervlak van de te onderzoeken bodem worden toegepast, als in boorgaten.

Bekende fabrikanten van magnetometers en gradiometers voor de detectie van begraven objecten, zoals oude vliegtuigbommen uit WOII, zijn Ebinger, Foerster en Vallon.

METAALDETECTIE

In tegenstelling tot magnetometers, zenden metaaldetectoren een (in de tijd variërend) magneetveld uit. Metaaldetectie is in tegenstelling tot magnetometrie een actieve detectie-techniek. Het uit te zenden magneetveld wordt opgewekt door in één of meer zendspoelen (die deel uit maken van de metaaldetector) een stroom te laten lopen. Hiervoor worden zowel stroompulsen als sinusvormige stromen met frequenties tussen ongeveer 5 kHz en 100 kHz gebruikt. Het uitgezonden, in de tijd variërende magneetveld genereert in elektrisch geleidbare materialen (metalen) zogenaamde wervelstromen, die zelf weer secundaire, eveneens in de tijd variërende magneetvelden opwekken. Deze secundaire velden induceren in de ontvangstspoel(-en) van de metaaldetector stromen, waarmee de aanwezigheid van metalen objecten gedetecteerd kan worden. In sommige typen metaaldetectoren worden voor het zenden en ontvangen van de magneetvelden dezelfde spoelen gebruikt.

De sterkte van het secundaire magneetveld dat door de metaaldetector wordt ontvangen, hangt, naast de sterkte en frequentie van het uitgezonden veld, af van de afstand tussen het metalen object, de elektromagnetische eigenschappen van de grond waarin het metalen object zich bevindt en van eigenschappen van het object (vorm, oriëntatie ten opzichte van de metaaldetector, soort(-en) metaal van het object).

De afstandsafhankelijkheid is omgekeerd evenredig met de zesde macht van de afstand ($\sim 1/R^6$ met R de afstand). Dit houdt in dat bij verdubbeling van de afstand tussen de detector en het metalen object, het ontvangen magneetveld $1/64$ maal zwakker wordt.

Wanneer de grond onder de metaaldetector elektrisch geleidend is, zal het door de metaaldetector uitgezonden veld gedempt worden. Hierdoor neemt het ontvangen magneetveld nog sneller af dan volgens bovengenoemde relatie. De mate van demping ten gevolge van elektrisch geleidende grond neemt toe als functie van de frequentie van het door de detector uitgezonden magneetveld.

Uit verschillende testen is duidelijk dat grondsoorten met magnetische eigenschappen een sterke invloed kunnen hebben op de detectieprestaties van metaaldetectoren. Hoewel het waarschijnlijk is dat dit te maken heeft met een relaxatieproces van magnetische deeltjes in de grond die door het wisselende magneetveld worden gemagnetiseerd en die zich vervolgens weer in hun oorspronkelijke toestand richten, is dit mechanisme nog onvoldoende begrepen om een kwantitatieve beschrijving te geven.

De metaaldetectie-techniek kan in principe ook onder water worden gebruikt. Enkele fabrikanten leveren hiervoor speciale waterdichte apparatuur. Enige demping van het uitgezonden veld zal optreden bij gebruik in zeewater dat in

geringe mate geleidend is.

Naast handgedragen en voertuiggedragen metaaldetectoren, bestaat er ook een uitvoering waarbij een grote zendspoel op het oppervlak van het te onderzoeken terrein wordt gelegd. Binnen het oppervlak dat wordt omsloten door deze zendspoel wordt een kleinere ontvangspoel aangebracht. Het principe van deze methode is gelijk aan het boven beschreven principe van metaaldetectie.

Enkele bekende fabrikanten van metaaldetectoren die gebruikt worden voor de detectie van begraven objecten (oude munitieresten, landmijnen, etc), zijn Vallon, Foerster, Ebinger, Schiebel, Geonics en Guartel.

GRONDRADAR

Een grondradar, ook wel bodemradar of grondpenetrerende radar (afgekort GPR) genoemd, bestaat uit een zender en ontvanger. De zender stuurt via een antenne een elektromagnetische golf gepulst of continu de grond in. Een grondradar is dus een actieve detector. Terwijl de uitgezonden golf zich door de bodem voortplant wordt hij gedempt en vindt interactie met objecten in de bodem plaats. Deze variaties in de elektromagnetische eigenschappen van de omgeving (de bodem) geven reflecties van de golf die in de ontvanger worden opgevangen. Een basiseigenschap van een grondradar is dat niet alleen metalen objecten gedetecteerd kunnen worden, maar eigenlijk alles in de bodem dat voor de grondradar een contrast vormt met zijn omgeving, d.w.z. andere elektromagnetische eigenschappen heeft dan de betreffende grondsoort.

Afhankelijk van de toepassing zijn er verschillende manieren voor de ontvangst van de gereflecteerde golven mogelijk. Over het algemeen zijn bij grondradars de zender en ontvanger mechanisch gekoppeld en worden tegelijkertijd over het grondoppervlak bewogen. Sommige grondradars laten toe dat de afstand tussen zender en ontvanger veranderd wordt. Dit kan voordelen inhouden voor de detectie- en gebruiksmogelijkheden.

Om een zo goed mogelijke overdracht van elektromagnetische energie van de grondradar naar de bodem te krijgen zijn de meeste grondradars voorzien van antennes die ontworpen zijn voor direct contact met de bodem. Deze systemen kunnen bijvoorbeeld worden toegepast voor de inspectie van asfaltlagen van wegen of brugdekken. Er zijn enkele systemen die zodanig ontworpen zijn dat fysiek contact met de bodem niet vereist is, zoals de grondradars die speciaal ontwikkeld zijn voor de detectie van landmijnen.

Een voorbeeld van een grondradar die geheel of gedeeltelijk in de bodem wordt gebruikt, zijn de zogenaamde boorgatradars. Deze grondradars (of alleen de zend- of ontvangantenne) laat men in een boorgat zakken. Afhankelijk van het apparaat en de toepassing kan de radar bijvoorbeeld al metend en roterend weer naar boven getrokken worden zodat door een reflectiemeting in principe een drie-dimensionaal beeld van de directe omgeving van het boorgat kan worden verkregen. In typen boorgatradars waarbij de zender en de ontvanger gescheiden zijn, wordt gemeten tussen twee boorgaten of tussen een boorgat en het maaiveld (transmissiemeting).

De prestaties van grondradars worden gekenmerkt door het indringend vermogen en gevoeligheid van de ontvanger, de diepteresolutie en het onderscheidend vermogen.

Het indringend vermogen van de grondradar is de mate waarin de radar een voldoende sterke elektromagnetische golf de bodem in kan sturen om na reflectie op een bepaalde diepte voor de ontvanger nog net waarneembaar te zijn. Het indringend vermogen en de gevoeligheid van de ontvanger hangen daarom samen en zijn bovendien sterk afhankelijk van de bodemomstandigheden.

De diepteresolutie is de nauwkeurigheid waarmee de grondradar diepte-informatie of de laterale positie van een object in de bodem kan bepalen. De diepteresolutie is sterk afhankelijk van de eigenschappen van het object waaraan de golven reflecteren en de bodem.

Het onderscheidend vermogen is de mate waarin de grondradar naastliggende objecten van elkaar kan onderscheiden op een bepaalde detectie-afstand (diepte).

Het indringend vermogen wordt voornamelijk bepaald door de verliezen over het gehele signaalpad van de zender naar het te detecteren object en weer terug naar de ontvanger. Het indringend vermogen wordt hoofdzakelijk door de volgende drie factoren bepaald.

- > Materiaal verliezen (in het algemeen ten gevolge van de bodem). Deze verliezen zijn sterk afhankelijk van de aard (gelaagd/inhomogeen) van de bodem. Ook het vochtgehalte van de bodem speelt hierbij een belangrijke rol. Vocht kan mineralen oplossen waardoor ionen vrijgemaakt worden die de geleidbaarheid van de bodem verhogen en zo de verliezen doen toenemen. Tabel 1 toont de verliezen voor verschillende media voor zendfrequenties van 100 MHz and 1 GHz. N.B. Deze dempingswaarden zijn verkregen uit een sterk vereenvoudigd model en geven slechts een indicatie van de invloed van vocht.
- > Spreidingsverliezen. Dit is voor een puntverstrooier als gedetecteerd object (reflector) een functie van de omgekeerde vierde macht van de afstand ($\sim 1/R^4$ met R de afstand). Deze macht is echter afhankelijk van het type object (zie tabel 2.)
- > Reflectie- of verstrooiingsverliezen aan objecten die zich in de bodem bevinden.

Tabel 1 Demping als gevolg van verliezen in verschillende media bij 100 MHz en 1 GHz

Material	demping bij 100 MHz	demping bij 1 GHz
Klei (vochtig)	5-300 dB/m	50-3000 dB/m
Lemige bodem (vochtig)	1-60 dB/m	10-600 dB/m
Zand (droog)	0.01-2 dB/m	0.1-20 dB/m
Ijs	0.1-5 dB/m	1-50 dB/m
Zoet water	0.1 dB/m	1 dB/m
Zee water	1000 dB/m	10000 dB/m
Beton (droog)	0.5-2.5 dB/m	5-25 dB/m
Baksteen	0.3-2.0 dB/m	3-20 dB/m

Tabel 2 Relatie voor het detectiebereik van verschillende type objecten

Type object	Responsie afname
Punt verstrooier (klein bolletje)	(object diepte) ⁻⁴
Lijn reflector (pijp of kabel)	(object diepte) ⁻³
Vlakke reflector (glad tussenvlak)	(object diepte) ⁻²

Enkele fabrikanten die grondradars op de markt hebben gebracht die gebruikt kunnen worden voor de detectie van begraven objecten, zijn ERA, GeoCenters en Sensors&Software (PulseEcco).

BIJLAGE B

PRODUCENTEN

Techniek:	Producent:	URL:
Radar	Allied Associates Geophysical Ltd. Pipehawk Geophysical Survey Systems Inc. Ingegneria Dei Sistemi (IDS) MALA geoscience Roadscanners group 3d-radar Radar systems inc. Sensors & software inc. FutureGPR.com Penetradar corporation Geocenters ERA technology	http://www.allied-associates.co.uk http://www.pipehawk.com http://www.geophysical.com/ http://georadar.ids-spa.it http://www.malags.com http://www.roadscanners.com/index.php3 http://www.3dgeophysics.com http://www.radsys.lv/index.html http://www.sensoft.ca http://www.futuregpr.com http://www.penetradar.com/IRIS.htm http://www.geo-centers.com/ http://www.era.co.uk/
Resistivity	Allied Associates Geophysical Ltd. Geometrics Geonics Ltd Iris	http://www.allied-associates.co.uk http://www.geometrics.com http://www.geonics.com http://www.iris-instruments.com
Magnetometrie	Allied Associates Geophysical Ltd. Geometrics Geonics Ltd Iris ZHinstruments GEM systems advanced magnetometers Bartington instruments	http://www.allied-associates.co.uk http://www.geometrics.com http://www.geonics.com http://www.iris-instruments.com http://www.zhinstruments.cz http://www.gemsys.ca http://www.bartington.com
Electromagne-tische inductie metaal-detectoren	Geonics Ltd Amprobe (zie bijlage) Vallon GmbH Ebinger GmbH	http://www.geonics.com http://www.amprobe.de http://www.vallon.de/ http://www.ebingermbh.com/
Spontane potentiaal	Groundtracer	http://www.groundtracer.com/
Seismografie	Allied Associates Geophysical Ltd. Geometrics Nomis Seismographs Inc. Applied Acoustic Engineering Refraction Technology Inc Seistronix Sercel	http://www.allied-associates.co.uk http://www.geometrics.com http://www.nomis.com http://www.appliedacoustics.com http://www.reftek.com http://www.seistronix.com http://www.sercel.com

Techniek:	Producent:	URL:
Thermografie	Flir	http://www.flir.com
Gravimetrie	Allied Associates Geophysical Ltd. LaCoste & Romberg-Scintrex Inc. Micro-g solutions Inc	http://www.allied-associates.co.uk http://www.scintrexltd.com http://www.microgsolutions.com
Echo-akoestiek	Elak Nautik (Kiel) Marschall Acoustics	http://www.georentals.co.uk/sales.htm http://www.hydrophones.com
Hybride	TNO-FEL en Pipehawk Groundtracer	http://www.pipehawk.com http://www.groundtracer.com
Downhole toepassing (in een boorgat)	Allied Associates Geophysical Ltd. Geometrics Mount sopris Icefield Tools Corp Sercel	http://www.allied-associates.co.uk http://www.geometrics.com http://www.mountsopris.com http://www.icefieldtools.com/index.htm http://www.sercel.com

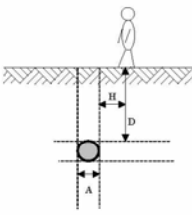
BIJLAGE C

ENQUÊTE INNOVATIEVE OPSPORINGSTECHNIKEN

Enquête INNOVATIEVE OPSPORINGSTECHNIKEN

Hieronder zijn 16 vragen gegeven. De antwoorden zullen gebruikt worden bij de formulering van een functioneel programma van eisen voor het gereedschap tbv de opsporing van kabels en leidingen. U wordt verzocht de voor u relevante vragen te beantwoorden en tevens een gewicht (1 tot 5 ~ onbelangrijk tot zeer belangrijk) toe te kennen aan de vragen. Hiervoor kunt u de laatste kolom gebruiken

Koper	gewicht
1. Wie gaat het gereedschap kopen? b.v. gemeente, aannemer etc.	
2. Hoeveel mag het gereedschap gaan kosten? 0 – 10.000 EURO <input type="checkbox"/> 10.000 – 20.000 EURO <input type="checkbox"/> EURO <input type="checkbox"/>	
3. Hoe snel moet het gereedschap op de markt zijn? Over een jaar <input type="checkbox"/> Over twee jaar <input type="checkbox"/> Later..... <input type="checkbox"/>	
4. Hoe kan het gereedschap gebruikt worden naast / binnen de gebruikelijke procedures nu (KLIC) en in de toekomst (bv Het Informatiehuis)	

Technische eisen (wat moet het gereedschap kunnen)	gewicht
5. Wat is de gewenste nauwkeurigheid? Horizontale vlak (H) 0,01 m <input type="checkbox"/> 0,10 m <input type="checkbox"/>m <input type="checkbox"/>	
 Diepteligging (D) 0,01 m <input type="checkbox"/> 0,10 m <input type="checkbox"/>m <input type="checkbox"/>	
Afmeting object (A) 0 – 10 % <input type="checkbox"/> 10 – 20 % <input type="checkbox"/>% <input type="checkbox"/>	
De kans dat het gereedschap een kabel of leiding detecteert welke ook aanwezig is ¹ 99,9 % <input type="checkbox"/> 95 % <input type="checkbox"/>% <input type="checkbox"/>	
De kans dat het gereedschap een kabel of leiding detecteert, welke niet aanwezig is (vals alarm) ¹ < 5 % <input type="checkbox"/> < 10 % <input type="checkbox"/>% <input type="checkbox"/>	

¹ NB Deze kansen zijn aan elkaar gerelateerd. Een (gewenste) grote kans op detectie van aanwezige leidingen leidt tot een grotere kans op vals alarm

6. Wat is de gewenste range (diepte)? tot en met 2 m <input type="checkbox"/> tot en met 5 m <input type="checkbox"/> tot en met <input type="checkbox"/>	
7. Hoe snel moeten de resultaten beschikbaar zijn? direct <input type="checkbox"/> op kantoor <input type="checkbox"/>	
8. Welke afmetingen moet het detecteren? vanaf cm <input type="checkbox"/>	
9. Welke materialen moet het detecteren? - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/>	
10. Andere technische eisen - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/>	

Operationele eisen	gewicht
11. Hoe groot mag het gereedschap worden? (vervoer) Broekzak <input type="checkbox"/> Steekwagen <input type="checkbox"/> Anders..... <input type="checkbox"/>	
12. Hoe zwaar mag het gereedschap worden? Door 1 persoon te tillen <input type="checkbox"/> Door 2 personen te tillen <input type="checkbox"/> Anders <input type="checkbox"/>	

13. Wie gaat het gereedschap gebruiken? b.v. LTS, MTS ect.	
14. Hoe moeten de resultaten uitgedrukt worden? 1. 1d scan <input type="checkbox"/> 2. 2d scan <input type="checkbox"/> 3. 3d scan <input type="checkbox"/> 4. kans op schade <input type="checkbox"/> 5. risico (kosten) <input type="checkbox"/> 6. graven ja / nee <input type="checkbox"/> 7. anders: <input type="checkbox"/> 8. combinatie van nummers: <input type="checkbox"/>	
15. Zijn er nog andere operationele eisen? b.v. schokbestendigheid, waterdichtheid etc.	

Bestaande technieken	gewicht
16. Zijn u technieken bekend welke (deels) voldoen aan de technische eisen? Nee <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/>	
17. Zo ja, welke? - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/>	