

Eindrapportage toepassing geofysische technieken bij grootschalige terreinen

17 december 2008

Eindrapportage toepassing geofysische technieken bij grootschalige terreinen

SKB project PT7440

Technologie projecten in het onderdeel 'Bewezen technieken'

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze opgave 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 enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van SKB.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron, SKB, Gouda, op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt.

Aansprakelijkheid

SKB 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 SKB 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 SKB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Rapportinformatieblad

Titel rapport:

Eindrapportage toepassing geofysische technieken bij grootschalige terreinen

SKB rapportnummer: PT7440

Project rapportnummer: 5

Auteur(s):

Rutger Smeenk
Guido van de Coterlet

Aantal bladzijden

Rapport: 62
Bijlagen: 3

Uitvoerende organisaties (consortium)

Tauw (penvoerder)
Medusa Explorations bv
Dienst Landelijk Gebied regio Oost
Dienst Vastgoed Defensie Directie Noord
Rijkswaterstaat Directie Zuid-Holland

Uitgever

SKB, Gouda

Samenvatting

Een consortium onder leiding van Tauw heeft een vergelijking gemaakt tussen twee onderzoeksstrategieën voor bodemonderzoek op grootschalige locaties. Een regulier onderzoek conform de NEN 5740 grootschalig onverdacht strategie, is vergeleken met een alternatief onderzoek waarbij de locatie eerst gescreend werd met geofysische meetmethoden aangevuld met een regulier onderzoek op basis van 40 % van de NEN 5740 grootschalig onverdacht strategie. Doel van het onderzoek is aan tonen dat een alternatief onderzoek doeltreffender is wat betreft het opsporen verontreinigingen dan een regulier onderzoek.

Uit de verschillende vergelijkingen is gebleken dat onderzoeksmethoden statistisch gelijkwaardig zijn. Voor het opsporen van zintuiglijke verontreinigingen is de alternatieve onderzoeksopzet doeltreffender. Vooral lijnvormige of (grotere) vlakvormige objecten of verstoringen worden met de alternatieve onderzoeksmethode goed gedetecteerd. Voor verontreinigingen in het grondwater bleek de reguliere methode doeltreffender.

Trefwoorden

Gecontroleerde termen:

Radar, Grootschalig, Technieken
Bodemverontreiniging, Normen

Vrije trefwoorden:

Grondradar, Groundtracer, NEN 5740,
Onverdacht, Geofysische



Inhoud

0	Voorwoord	9
1	Inleiding	11
2	Achtergrond	15
2.1	Vooronderzoek volgens NVN 5725.....	15
2.2	De NEN 5740.....	16
2.2.1	De NEN 5740 grootschalig onverdacht.....	16
2.2.2	De NEN 5740 en geofysische opsporingsmethoden.....	18
2.3	Introductie geofysische technieken.....	18
2.3.1	Medusa.....	19
2.3.2	Radar.....	23
2.3.3	Tracer.....	25
2.3.4	Magnetometer.....	26
3	Aanpak	29
3.1	Onderzoeksopzet.....	29
3.2	Vergelijking resultaten.....	31
3.2.1	Waardering.....	31
3.2.2	Hypothese.....	33
4	Locaties	35
4.1	Beekhuizerzand Harderwijk (Dienst Vastgoed Defensie).....	35
4.2	Grondlichaam A4 Delft - Schiedam (Rijkswaterstaat).....	38
4.3	MOB Veldhuizen Loenen (Dienst Landelijk Gebied).....	40
5	Uitgevoerde werkzaamheden	43
5.1	Locatie Beekhuizerzand.....	43
5.2	Locatie A4 Delft - Schiedam.....	44
5.3	Locatie Veldhuizen.....	45
6	Resultaten	47
6.1	Resultaten onderzoek.....	47
6.1.1	Algemene conclusies Beekhuizerzand.....	47
6.1.2	Algemene conclusies Locatie A4 Delft - Schiedam.....	47
6.1.3	Algemene conclusies Locatie MOB Veldhuizen.....	48

6.2	Resultaten statistische vergelijking	49
6.2.1	Locatie Beekhuizerzand	49
6.2.2	Locatie A4 Delft - Schiedam	49
6.2.3	Locatie MOB Veldhuizen	49
6.3	Conclusie statistische vergelijking	50
6.4	Algemene conclusies	50
7	Discussie	53
7.1	Algemeen	53
7.2	Onverdachte locatie	53
7.3	Locatie specifieke omstandigheden	54
7.3.1	Bodemopbouw	54
7.3.2	Geohydrologie	55
7.3.3	Begroeiing	55
7.3.4	Verharding	55
7.4	Nauwkeurigheid	56
8	Generieke methode geofysisch onderzoek	57
8.1	Algemeen	57
8.2	Geofysisch onderzoek	58
8.2.1	Keuze techniek	58
8.2.2	Vaststellen meetstrategie	58
8.3	Aanvullend veldwerk	58
9	Samenvatting en conclusies	61

Bijlage(n)

- a. Statistische methodiek
- b. Schema's techniekeuze
- c. Projectvoorstel



0 Voorwoord

De onderliggende rapportage bevat de resultaten van de resultaten van een onderzoek in de Tender "Technologische ontwikkelingsprojecten" van maart 2007. Deze tender had tot doel om de opschalingmogelijkheden van "proven technology" te onderzoeken met het oog op "goedkoper en doelmatiger" onderzoek of sanering.

Doel van dit onderzoek was de doeltreffendheid van een alternatieve onderzoeksmethode naar verontreinigingen op grootschalige onderverdachte locaties te onderbouwen. Het beoogde resultaat is aantonen dat door gebruik te maken van geofysische opsporingstechnieken bij grootschalige onverdachte locaties er een kwalitatief beter onderzoek beschikbaar is.

In de periode maart 2007 tot december 2008 is in een breed consortium met input van adviesbureau's, grootgrondbezitters en universiteiten enthousiast gewerkt aan dit onderzoek. Zowel Rutger Smeenk (Hogeschool Larenstein te Velp) als Margo Oomes (Universiteit Utrecht) zijn op dit project afgestudeerd en hebben een enorme bijdrage geleverd aan dit onderzoek.

Wij hebben door middel van dit onderzoek aangetoond dat alternatieve technieken meerwaarde kunnen leveren voor onderzoek op grote locaties. Hiermee hopen wij de ogen te openen voor het toepassen van alternatieve onderzoekstechnieken bij grootschalige terreinen.

Namens het consortium leggen wij u dit rapport met genoegen voor.

drs. G.M. van de Coterlet



1 Inleiding

Deze rapportage betreft het samenvattende eindrapport van het SKB-project 'Inzet van geofysische technieken bij grootschalig bodemonderzoek' (SKB kenmerk PT7440). Er wordt in deze rapportage dieper ingegaan op gebruikte methodes, het hoe en waarom van het project en de resultaten van het project.

Aanleiding

In het landelijke gebied vinden regelmatig onderzoeken plaats van grote, relatief onverdachte terreindelen. Conform de huidige protocollen worden deze gebieden intensief onderzocht op basis van de NEN 5740 onverdacht strategie in combinatie met een vooronderzoek conform de NVN 5725. Op een grootschalige locatie wordt een onderzoeksinspanning gehanteerd die afhankelijk is van de oppervlakte. Bij een oppervlakte van 20 ha worden volgens het onderzoeksprotocol circa 1,9 boringen per ha geplaatst. Door de statistische aanpak wordt in veel gevallen relatief veel onderzoek verricht op terreindelen die de achtergrondwaarde kwaliteit bezitten. De kans dat een immobiele bodemverontreiniging met een beperkte omvang wordt opgespoord is zeer beperkt (ordegrootte van enkele procenten). Voor het landelijke gebied kenmerkende bodemverontreinigingen worden vaak veroorzaakt door (illegale) dempingen en stortgaten.

Tauw heeft in meerdere projecten ervaringen opgedaan met de inzet van geofysische technieken bij het opsporen van dempingen en storten, al dan niet op grootschalige terreinen. Gebleken is dat de technieken vaak succesvol zijn. Er is daarom het idee ontstaan om te onderzoeken of er mogelijk een alternatief ontwikkeld kan worden voor de huidige onderzoeksstrategie voor grootschalige locaties. Gedachte hierachter is dat met behulp van geofysische technieken de kans op het opsporen van ongedocumenteerde dempingen en storten drastisch wordt vergroot ten opzichte van het reguliere protocol.

Doel

Doel van dit onderzoek is aantonen dat een beperkt bodemonderzoek voorafgegaan door een screening met geofysische opsporingsmethoden doeltreffender is in het opsporen van typische verontreinigingen en verstoringen in grootschalige landelijke locaties ten opzichte van traditionele bodemonderzoeken (zogenaamd NEN 5740¹ grootschalig onverdacht). Typische verontreinigingen zijn bijvoorbeeld (illegale) stortjes, dempingen en puinpaden. Dit betreffen, in relatie tot het totale onderzoeksgebied, relatief kleine (punt)bronnen waarbij statistisch gezien de kans dat deze met een regulier (NEN) onderzoek aangetroffen worden zeer klein is.

¹ NEN 5740: Bodem - Onderzoeksstrategie bij verkennend onderzoek - Onderzoek naar de milieuhygiënische kwaliteit van bodem en grond, oktober 1999

Consortium

De relevante stakeholders bij het probleem zijn vooral de grootgrondbezitters in Nederland. Hierbij kan gedacht worden aan Defensie die oude oefenterreinen verkoopt, Rijkswaterstaat die grote stukken grond aankoopt voor de aanleg of verbreding van snelwegen of Staatsbosbeheer die landelijk gebied wil herontwikkelen tot natuur. In eerste instantie is ervoor gekozen om het voorstel te richten op overdrachtssituaties bij gelijkblijvende of toekomstig minder gevoelige functies. In deze situatie zijn er namelijk slechts twee partijen die onderling afspraken maken, er is dus (in overleg) geen noodzaak om specifieke normen (NVN-5725, NEN-5740) te voldoen. Ten einde een draagvlak te creëren onder grootgrondbezitters is een consortium opgesteld van de volgende bedrijven:

- Tauw (pervoerder)
- Medusa Explorations bv (Geofysisch onderzoeksbureau)
- Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouw (RWS)
- Dienst Landelijk Gebied (DLG)
- Dienst Vastgoed Defensie directie Noord (DVD)

Binnen het consortium is Tauw de pervoerder en spil binnen het proces.

Medusa Explorations BV wordt ingezet voor de uitvoering van de geofysische onderzoeken. Zij zijn een hierin gespecialiseerd onafhankelijk bureau. Daarnaast worden de heren E. Slob en B. Hoogendoorn van de TU Delft ingezet als onafhankelijk deskundige bij het geofysisch onderzoek. De heren Slob en Hoogendoorn zijn verbonden aan de faculteit Geotechnologie van de TU in Delft en hebben ruime ervaring op het gebied van Geofysische technieken.

Voor de gekozen locaties zijn zowel de probleemhebber (DVD, RWS en DLG) als de partijen die belang hebben bij de uitvoering van een gedegen onderzoek betrokken. Zowel Staatsbosbeheer als de gemeente Harderwijk maken daarom onderdeel uit van de klankbordgroep voor dit project. Daarnaast wordt een locatie van Rijkswaterstaat onderzocht welke al in hun bezit is. Wel is het zo dat de consortiumleden (met uitzondering van Tauw en Medusa) niet bij alle demonstratieprojecten zijn betrokken.

Tauw heeft ruime ervaring met geofysische onderzoeksprojecten in het landelijk gebied. In de meeste gevallen betrof dit projecten met DLG waarbij daadwerkelijk naar dempingen of stortjes gezocht is. Medusa Explorations is een bedrijf dat is gespecialiseerd in geofysische opsporingsmethoden en verzorgt de technische kant van het onderzoek. Medusa Explorations heeft sterke banden met de Rijksuniversiteit Groningen en de NGD van het Kernfysisch Versneller Instituut.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de achtergrond van het project en de huidige norm voor bodemonderzoek besproken. De gehanteerde strategie in het project komt in hoofdstuk 3 aan bod, hoofdstuk 4 beschrijft de onderzochte locaties. Hoofdstuk 5 benoemt de uitgevoerde werkzaamheden per locatie en de resultaten van het onderzoek staan in hoofdstuk 6. Discussie van de resultaten staat in hoofdstuk 7 en in hoofdstuk 8 worden handvaten voor een generieke onderzoeksmethodiek gegeven. De conclusies tot slot staan in hoofdstuk 9.

2 Achtergrond

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de huidige onderzoeksprotocollen en de stappen die worden doorlopen bij het uitvoeren van een verkennend bodemonderzoek. Hierbij wordt onderbouwd wat de gedachte is achter het idee voor een onderzoeksprotocol waarbij geofysische opsporingsmethoden worden betrokken.

2.1 Vooronderzoek volgens NVN 5725

Een vooronderzoek volgens NVN 5725 wordt uitgevoerd voorafgaand aan het feitelijke onderzoek van de bodem. Het uitvoeren van een vooronderzoek leidt tot de afbakening van het besluitvormingsgebied en de onderzoekslocatie. Tevens worden op basis van het vooronderzoek eventuele deellocaties onderscheiden en onderzoekshypothese(s) opgesteld.

Voor het uitvoeren van het vooronderzoek dienen verscheidene bronnen te worden geraadpleegd om informatie te verzamelen die in de volgende categorieën vallen:

- Historisch gebruik van de locatie
- Huidig gebruik van de locatie
- Toekomstig gebruik van de locatie
- Financieel juridische informatie
- Bodemopbouw en geohydrologie

Met betrekking tot het detailniveau van het vooronderzoek en de soorten en aantallen bronnen die geraadpleegd dienen te worden, worden drie niveau's onderscheiden. Dit zijn:

- Verminderd basisniveau
- Basisniveau
- Plusniveau

De bronnen die hierbij geraadpleegd kunnen worden zijn divers. De drie verschillende uitwerkingsniveaus voor het vooronderzoek onderscheiden zich dan ook door het aantal bronnen dat wordt geraadpleegd. Zo kan bij een vooronderzoek op verminderd basisniveau worden volstaan met mondelinge informatie van bijvoorbeeld een opdrachtgever, gemeente en het bestuderen van snel toegankelijke bronnen als een topgrafische kaart, bodemkaart of luchtfoto. Bij een vooronderzoek op basisniveau worden onder andere gemeentelijke of streekarchieven betrokken (Hinderwetarchieven, Wm-archieven, bouwarchieven en tankarchieven). Bij een vooronderzoek op plusniveau worden bijvoorbeeld ook interviews met eigenaren, omwonenden of anderzijds betrokkenen afgenomen of een luchtfoto-interpretatie uitgevoerd. In de meeste gevallen wordt voor, extensief gebruikte, grootschalige locaties een vooronderzoek op basisniveau uitgevoerd.

De reden hiervoor is dat er vaak weinig informatie aanwezig is en met een onderzoek op plusniveau er te weinig extra informatie wordt verkregen. Hierdoor wegen de kosten vaak niet op tegen de baten.

Het eindresultaat van een vooronderzoek bestaat uit een beschrijving van de geraadpleegde bronnen en een beschrijving van de locatie aan de hand van de verschillende onderwerpen (historisch en huidig gebruik, bodemopbouw enzovoort). Tevens wordt er een conclusie getrokken over de toe te passen onderzoeksstrategie volgens de NEN 5740.

2.2 De NEN 5740

De NEN 5740 beschrijft hoe een verkennend bodemonderzoek dient te worden uitgevoerd. De NEN 5740 is een norm voor verkennend bodemonderzoek en schrijft velerlei zaken voor. Het gaat bijvoorbeeld om het monsternamepatroon, diepte en aantallen van boringen en het samenstellen van mengmonsters. In de NEN 5740 staan verscheidene strategieën, grofweg zijn er twee typen: voor verdachte locaties en onverdachte locaties. Dit onderscheid wordt gemaakt op basis van het vooronderzoek waar een conclusie wordt getrokken met betrekking tot de te volgen onderzoeksstrategie.

2.2.1 De NEN 5740 grootschalig onverdacht

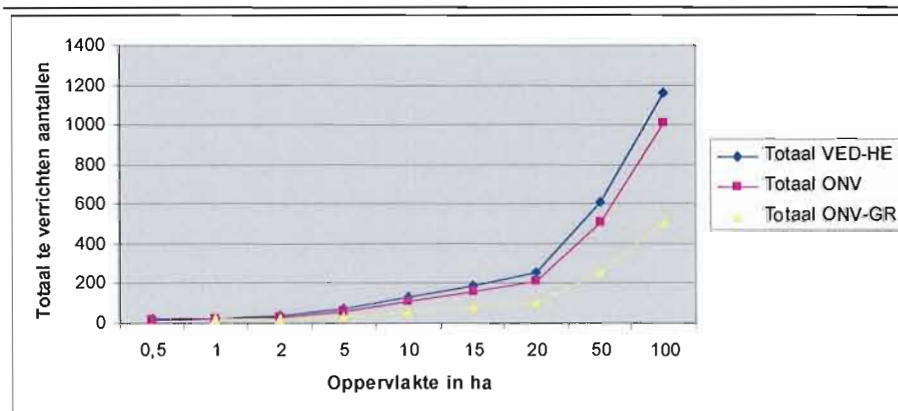
In de NEN strategie worden twee typen onverdacht strategieën onderscheiden voor kleine en grote locaties. De NEN omschrijft een grootschalige locatie als een *“gebied waar altijd sprake is geweest van een gelijksoortig en extensief gebruik. Bijvoorbeeld een natuur- of landbouwgebied met één gebruiksvorm en geringe antropogene beïnvloeding”*. De strategie voor onverdachte locaties is in de praktijk waarschijnlijk de meest gebruikte strategie uit de NEN. Bij grootschalige locaties (> 5 ha) is de grootschalig onverdachte strategie vaak de enige strategie die wordt overwogen. Dit komt mede doordat bij veel strategieën de NEN opmerkt dat bij een oppervlakte groter dan 5 ha de grootschalig onverdacht strategie mag worden toegepast. De grootschalig strategie is zo opgesteld dat de boorinspanning per ha afneemt bij een toenemend oppervlakte van de locatie totdat deze nog 50 % van de gewone onverdachte strategie bedraagt. In tabel 1 zijn de boorinspanningen van enkele veel gebruikte strategieën naast elkaar gezet voor een oplopend oppervlak. Hieruit, en uit figuur 1, komt duidelijk naar voren hoe de boorinspanning bij grootschalige onverdacht minder hard oploopt ten opzichte van andere strategieën.

Naast de strategieën voor onverdachte locaties zijn er in NEN ook strategieën voor verdachte locaties opgenomen. Dit zijn bijvoorbeeld VED-HE voor verdachte locaties, diffuse bodembelasting, heterogeen verdeelde stof op schaal van monsterneming Of VEP-BO bij ondergrondse tanks.

Tabel 1 Aantallen te plaatsen boringen en peilbuizen voor drie strategieën

Soort boringen (m -mv)	1,0	2,0	Pb	0,5	2,0	Pb	0,5	2,0	Pb
Oppervlakte locatie in ha	VED-HE			ONV			ONV-GR		
0,5	15	3	1	11	3	1			
1	18	4	2	14	4	2	14	4	2
2	27	6	3	21	6	3	17	4	3
5	54	12	6	42	12	6	21	4	6
10	99	22	11	77	22	11	39	5	11
15	144	32	16	112	32	16	56	8	16
20	189	42	21	147	42	21	74	10	21
50	459	102	51	357	102	51	179	25	51
100	909	202	51	707	202	101	354	51	101

Pb = peilbuis


Figuur 1 Uit te voeren werkzaamheden totaal (boringen + peilbuizen) voor drie strategieën

Uiteindelijk is de oppervlakte van de onderzoekslocatie vaak de doorslaggevende factor om de onverdachte strategie toe te passen. Vanaf circa 5 ha wordt in de praktijk in de meeste gevallen de intensiteit van de grootschalig onverdacht strategie gehanteerd, de NEN biedt hier ook de mogelijkheid toe in de toelichting op de betreffende strategieën.

2.2.2 De NEN 5740 en geofysische opsporingsmethoden

In de huidige NEN 5740 strategieën wordt vrijwel geen gebruik gemaakt van alternatieven voor het plaatsen van boringen. Alleen bij de zoekstrategie ONB biedt de NEN de optie gebruik te maken van geofysische opsporingsmethoden. De ONB strategie wordt gebruikt voor locaties waar op basis van het vooronderzoek het vermoeden bestaat dat er bodemverontreiniging aanwezig is maar niet bekend is waar de bodembelasting heeft plaats gevonden. De ONB strategie moet worden gezien als een extra vooronderzoek, op basis van de uitkomsten van het ONB onderzoek wordt het daadwerkelijke onderzoeksprotocol gekozen (bijvoorbeeld VEP, VEP-BO, VEP-HO of VEP-HE). In het tekstkader staat de letterlijke omschrijving die wordt gegeven in de toelichting op de ONB strategie met betrekking tot geofysische opsporingsmethoden.

"In sommige gevallen is het mogelijk geofysische meetmethoden toe te passen om de plaats van de bodembelasting te achterhalen. Met geo-elektrische en elektromagnetische methoden kunnen verstoringen, ophogingen en andere diffuse heterogene verontreinigingen worden opgespoord. Ondergrondse tanks en vaten kunnen worden getraceerd met magnetometrie en grondradar. Grondradar kan ook worden toegepast voor het opsporen van olieverontreinigingen. Geofysische methoden zijn over het algemeen niet geschikt voor het opsporen van lokale lozingen van andere (organische) vloeistoffen dan olie. Om een verontreiniging met vluchtige organische oplosmiddelen op te sporen kan eventueel gebruik worden gemaakt van bodemluchtonderzoek met een veldsonde."

Bron: NEN 5740 Bodem. Onderzoeksstrategie bij verkennend onderzoek. 1999

2.3 Introductie geofysische technieken

Geofysische technieken is een verzamelnaam voor sensoren die worden ingezet om non-destructief (de bodem wordt niet geroerd) onderzoek te doen naar bijvoorbeeld geologie, bodemopbouw of het opsporen van objecten in de ondergrond. Met behulp van sensoren wordt een (continu) beeld van de bodem gemaakt. Afhankelijk van het soort techniek kan informatie worden verkregen over dieptes variërend van enkele decimeters tot tientallen meters in de ondergrond. Hieronder worden de technieken die ingezet zijn besproken.

In de verschillende (deel)onderzoeken is gebruik gemaakt van een aantal geofysische meetmethoden. De methoden zijn gekozen uit een breed scala beschikbare geofysische meetmethoden (zoals bijvoorbeeld omschreven in geofysische tekstboeken²), waarbij een aantal randvoorwaarden de keuze hebben bepaald:

- Het te gebruiken systeem moet snel grote gebieden kunnen karteren en moet eenvoudig kunnen worden toegepast
- De analyse van de meetresultaten van een groot gebied moet op een snelle, automatische manier, kunnen gebeuren
- Het te gebruiken systeem moet in eerdere projecten zijn toegepast
- Het te gebruiken systeem moet informatie leveren over de opbouw en samenstelling van de bodem en eventuele objecten daarin

Op basis van deze randvoorwaarden is ervoor gekozen om een Medusa sensor, GroundTracer / GPR, en magnetometer te gebruiken.

2.3.1 Medusa

Het Medusa systeem is een geofysisch meetsysteem ontwikkeld voor de bepaling van textuur, korrelgrootte en chemische samenstelling van de toplaag (bovenste 50 cm) van de bodem. De Medusa sensor meet de (van nature voorkomende) radioactieve straling uit de grond. Deze straling is afkomstig van langlevende isotopen van kalium (⁴⁰K), uranium (²³⁸U) en thorium (²³²Th). Daarnaast zijn er zeer lage concentraties cesium (¹³⁷Cs) in de grond aanwezig, uit de fall-out ten gevolge van het ongeluk met de nucleaire reactor in Chernobyl (1986) en de bovengrondse kernproeven in de vroege jaren '60 van de vorige eeuw. Al deze radioactieve stoffen komen in zeer lage concentraties voor in de bodem, en vormen qua straling geen gevaar voor de volksgezondheid.

De door Medusa gebruikte methode wordt ook wel spectraal gamma genoemd en wordt veel gebruikt in boorgatmetingen en geologische exploratie vanuit de lucht.

Uit eerder onderzoek³ is gebleken dat verschillende mineralen en bodemtypen kunnen worden onderscheiden doordat ze verschillen in concentraties ⁴⁰K, ²³⁸U en ²³²Th. Dit verschijnsel noemt men de "radiometrische vingerafdruk"⁴ van een mineraal.

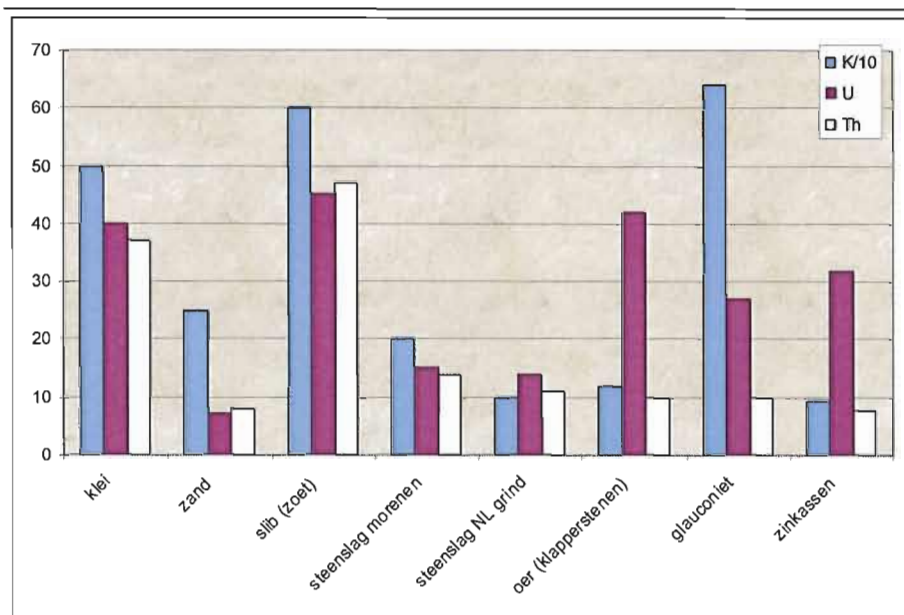
² Kearey, P., M. Brooks, and I. Hill, *An introduction to Geophysical Exploration*. 2002: Blackwell Science Ltd. 262

³ de Meijer, R.J., et al., Provenance of coastal sediments using natural radioactivity of heavy mineral sands. *Rad. Protection Dos.*, 1988. 24: p. 55-58

⁴ De "fingerprint" van een mineraal is de concentratievector [C_K, C_U, C_{Th}], waarbij de concentraties C gegeven zijn in Bq/kg DS (Bequerels per kilogram drogestof), waarbij de Bequerel de eenheid van straling is

De mate waarin de mineralen verschillen is afhankelijk van het soort mineraal (kleimineralen zijn anders dan zinkerts), van de afkomst (graniet uit de Alpen is anders dan Schots graniet) en van de ouderdom (erosie van mineralen leidt onder meer tot het uitwassen van radioactieve isotopen).

De fingerprint van een mineraal kan in het lab worden bepaald door onder gecontroleerde omstandigheden in een monster de concentraties ^{40}K , ^{238}U en ^{232}Th te bepalen. Tegelijk kunnen van hetzelfde monster ook andere eigenschappen worden bepaald (bijvoorbeeld de zware-metaalconcentratie, de textuur, de mineraalsamenstelling, et cetera). In veel gevallen blijkt er een relatie te bestaan tussen één of meer van de radioactieve stofconcentraties en één (of meer) van de textuur- of chemische eigenschappen van het monster. Als zo een relatie ook bestaat voor een *verzameling* monsters uit een gebied, kan een ijklijn worden bepaald. Zo een ijklijn beschrijft dan de vertaling van de radiometrische data naar de gewenste bodemeigenschap (textuur of chemie)



Figuur 2 Voorbeeld van de fingerprint van veel voorkomende gesteenten en mineralen in Nederland

Het veldsysteem voor het meten van radioactiviteit bestaat uit een (4 liter groot) scintillatiekristal dat in een continue meting de gammastraling die uit de grond komt, vastlegt. Naast de hoeveelheid straling (de intensiteit) meet het systeem ook de energieverdeling (de "kleurenspectra") van de straling. Deze spectra worden - afhankelijk van de instellingen van de apparatuur - 1 tot 10 keer per seconde vastgelegd. Parallel aan de radioactiviteit wordt ook de positie van de sensor gemeten met behulp van een dGPS systeem. Na de meting wordt voor elke meetpunt de concentratie van ^{40}K , ^{238}U , ^{137}Cs en ^{232}Th in de grond bepaald.

Bij geofysisch onderzoek worden verschillende meetsystemen gebruikt voor het meten van radioactieve straling. De Medusa-sensor gebruikt echter een aantal unieke analysemethoden die deze techniek uitermate geschikt maakt voor een kwantitatieve analyse van het zinkasgehalte in de weg en bodem.

In standaard meetsystemen voor metingen van radioactiviteit wordt slechts een deel van het spectrum gebruikt voor analyse. De "Full Spectrum Analysis" methode⁵ gebruikt het gehele spectrum voor de analyse waardoor de nauwkeurigheid van de metingen sterk toeneemt. Hierdoor neemt de ruis in de gegevens sterk af. Uit een studie⁶ blijkt dat dit een factor 4 kan bedragen.

De Medusa-sensor is geijkt. De ijking van de Medusa sensor is gebaseerd op computermodellen en op calibratiemetingen⁷. Hierdoor zijn de waarden die door het systeem worden gemeten absoluut gemaakt, met andere woorden de waarden die met de Medusa-sensor in het veld worden gemeten zijn gelijk aan metingen die in een laboratorium worden uitgevoerd. Hierdoor kan een geochemisch model (op basis van goed controleerbare laboratorium metingen) worden gebruikt om metingen van radioactiviteit te vertalen naar bijvoorbeeld bodemsamenstelling.

Afbeelding 3 laat zien hoe de metingen van de Medusa-sensor en de grondradar (in combinatie met de groundtracer) tegelijk kunnen worden uitgevoerd door beide meetsystemen op / aan een quad te monteren: de Medusa-sensor achterop de quad op een hoogte van circa 50 cm boven het maaiveld, en de grondradar achter de quad. Als beide systemen aanwezig zijn wordt er ook gedurende de gehele meetsessie continu data van de Medusa-sensor en de grondradar (+ groundtracer) opgeslagen.

⁵ Hendriks, P.H.G.M., J. Limburg, and R.J. de Meijer, *Full-spectrum analysis of natural [gamma]-ray spectra*. Journal of Environmental Radioactivity, 2001. 53(3): p. 365-380

⁶ Koomans, R.L., J. Limburg, and E.R.v.d. Graaf, *Towards lightweight airborne gamma spectrometry, a case study*. Whitepaper Medusa Explorations BV, 2008

⁷ Graaf, E.R.v.d., R.L. Koomans, and J. Limburg, *Calibration of spectral gamma tools*. Whitepaper Medusa Explorations BV, to be published



Figuur 3 Quad met daaraan gemonteerd de Medusa-sensor (achter op de bagagedrager van de Quad) en de grondradar (antenne achter de Quad)

Tabel 2 Typische kenmerken van de gebruikte Medusa sensor

Kenmerken	Medusa sensor
Diepte bereik ingenieurstoepassing	Bovenste 50 cm
Fysische grootheid	Radioactiviteit
Uitgedrukt in	Bq/kg of ppm van de radioactieve elementen K, U en Th
Afgeleide eigenschappen	Bodemsamenstelling, kleigehalte, korrelgrootte, verontreinigingsgraad, geologische formatie
Typische meetsnelheid	1 hz
Statisch / bewegend	Beide
Platform	Handheld, carborne, airborne, seaborne
Passief/actief	Passief
Model voor interpretatie	Kwantitatief
Gevoelig voor omgevingsparameters	Nee

2.3.2 Radar

Een grondradarsysteem bestaat uit een combinatie van een elektromagnetische zender en ontvanger. Bij het meten wordt een hoogfrequente radiopuls door de zendspoel uitgezonden en gereflecteerd op bepaalde lagen of objecten in de bodem, die andere elektromagnetische eigenschappen hebben dan de bodem eromheen. De meting legt de looptijd van de radiopuls vast tussen het moment van uitzenden en het moment van ontvangst van een reflectie.

De looptijd wordt bepaald door de diepte van het object waarop de reflectie plaatsvindt, waarbij de voortplantingssnelheid van de radargolf in de grond afhangt van de diëlectrische constante van de bodem. De methode is enigszins vergelijkbaar met seismische metingen, waarbij een uitgezonden geluidsgolf weerkaatst op bodemlagen of objecten met verschillende dichtheden.

In de praktijk wordt met het grondradar systeem bewegend, een semi-continue meting uitgevoerd: tientallen keren per seconde wordt een puls uitgezonden en wordt de looptijd van de reflecties (en daarmee de diepte van de reflector) geregistreerd. Tegelijkertijd wordt de positie van het systeem vastgelegd met een dGPS systeem. De metingen worden al rijdend / lopend uitgevoerd.

De kwaliteit van metingen met een grondradar wordt vooral bepaald door de geleidbaarheid van de bodem: in een ondergrond met een relatief hoge geleidbaarheid zal het signaal snel afzwakken met de diepte, waardoor er minder sterke reflecties worden waargenomen bij de ontvanger aan de oppervlakte. Ook de keuze van het radarsysteem speelt een belangrijke rol in de kwaliteit van metingen: de amplitude van een signaal met een relatief hoge frequentie (in dit geval 500-750 MHz) neemt eerder af met de diepte dan de amplitude van een relatief lage frequentie (300 MHz). Dit betekent dat een hoog frequent signaal een beter onderscheidend vermogen heeft in de bovenste lagen, maar dat de penetratiediepte een stuk minder is dan bij een systeem met een laag frequent signaal. Bij het zoeken naar bepaalde objecten moet er dus rekening mee worden gehouden op welke diepte deze objecten gevonden zullen worden en wat de omvang ervan is.

Wanneer grote gebieden in kaart worden gebracht met een radarsysteem is een compleet handmatige analyse van de radarbeelden erg tijdrovend. Om de metingen toch praktisch inzetbaar te maken, zijn de metingen automatisch geanalyseerd met een reflectieanalyse. Bij de reflectiescan wordt de complete radar dataset opgedeeld in verschillende diepte intervallen.

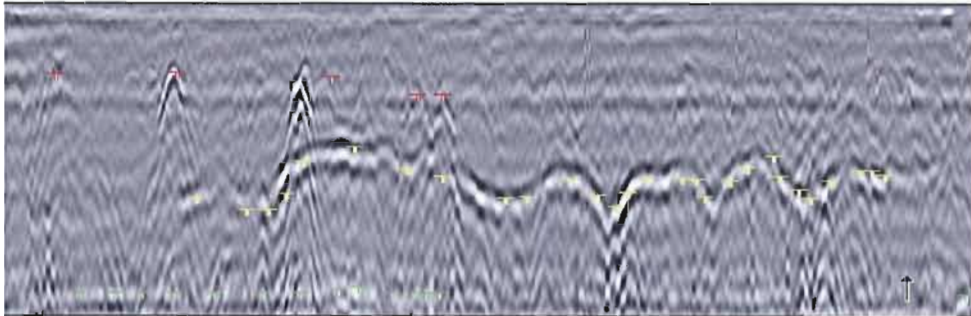
Bij elke positie en diepte-interval wordt de gemiddelde gereflecteerde energie van het radarsignaal bepaald. Naarmate deze hoger is, is het reflecterende object harder. Bodems waarin veel puin of andere bodemvreemde objecten te vinden zijn, laten een hoge gereflecteerde waarde zien; bodems die vrij zijn van objecten laten een veel lagere reflectie zien⁸.

Het resultaat van deze reflectie analyse geeft een kwalitatief maar gebiedsdekkend beeld van de aanwezigheid van objecten / harde lagen in de bodem. Om deze reflectiekaart goed te interpreteren, worden de radarbeelden op geselecteerde locaties vaak in detail bekeken en worden vaak aanvullende boringen geplaatst. Een voorbeeld van een radarbeeld is weergegeven in figuur 4.



Figuur 4 Voorbeeld van een 'carborne' meetsysteem. Twee luchtgekoppelde radarantennes (twee blauwe doze) achter op de meetkar en een gammasensor (Medusa) is in de kar gemonteerd

⁸ Oomes, M., *Automated GPR data analysis for the detection of small polluted zones in large fields*, in *Faculty of Earth Sciences*. 2008, Utrecht University: Utrecht



Figuur 5 Radarprofiel met bodemlagen en objecten: de groene en gele markers geven een laag weer, de parabooltjes (rode puntjes) zijn reflecties van het radarsignaal op bodemvreemde objecten. De x-as is de gereden afstand, de y-as is evenredig met de diepte (circa 6 - 8 m)

Tabel 2 Typische kenmerken van de gebruikte GPR sensor

Kenmerken	GPR
Diepte bereik ingenieurstoepassing	0-5 m
Fysische grootte	Electromagnetisch veld
Uitgedrukt in	Radargram
Afgeleide eigenschappen	Bodemopbouw
Typische meetsnelheid	10-100 hz
Statisch / bewegend	Bewegend
Platform	Handheld, carborne
Passief / actief	Actief
Model voor interpretatie	Kwalitatief
Gevoelig voor omgevingsparameters	Ja

2.3.3 Tracer

De gebruikte grondradar bevat ook een GroundTracer modus. De Tracer methode meet de inductiespanning die ontstaat wanneer een antenne over een (ruimtelijk) variërend statisch elektrisch veld wordt bewogen.

Het Tracer systeem meet deze inductiespanning langs het oppervlak met een hoge resolutie en met hoge snelheid (> 50 metingen per m), zonder direct contact met de bodem. Bodemopbouw heeft invloed op dit elektrische veld: het signaal varieert vooral op belangrijke overgangen in de ondergrond, of wanneer objecten aanwezig zijn. De uitkomsten zijn afhankelijk van de richting van bewegen, en van de snelheid van meten.

Het resultaat van een Tracermeting is een kaart waarin variaties zijn weergegeven. Waar deze variaties precies vandaan komen is op voorhand niet te zeggen. De variatiekaart kan worden gebruikt om boringen gericht te plaatsen.

De interpretatie van Tracer metingen is kwalitatief, maar de metingen zijn eenvoudig uitvoerbaar en geven snel een resultaat. De metingen worden al rijdend / lopend uitgevoerd.

Tabel 3 Typische kenmerken van de gebruikte GroundTracer

Kenmerken	GroundTracer
Diepte bereik ingenieurstoepassing	
Fysische grootte	Elektromagnetisch veld
Uitgedrukt in	Radargram
Afgeleide eigenschappen	Voorkomen opgeloste zouten, ertsgesteenten
Typische meetsnelheid	10-100 hz
Statisch / bewegend	Bewegend
Platform	Handheld, carborne
Passief / actief	Passief
Model voor interpretatie	Kwalitatief
Gevoelig voor omgevingsparameters	Ja

2.3.4 Magnetometer

Het aardmagnetisch veld kan variëren door de aanwezigheid van metalen in de ondergrond. Een magnetometer meet de sterkte van het aardmagnetisch veld. Door deze sterkte van het aardmagnetisch veld al lopend in kaart te brengen en de locaties aan positie te koppelen, kan een kaart worden gemaakt waar de variaties in het aardmagnetisch veld zichtbaar worden. Deze variatiekaart kan worden gebruikt voor het nemen van monsters of het graven van proefsleuven. De sterkte van het aardmagnetisch veld wordt uitgedrukt in Tesla.

De gebruikte magnetometer is een Gemsys GSM-19 Overhauser walking gradiënt Magnetometer (zie figuur 6). Dit type is een totaal-veld magnetometer of gradiometer en maakt gebruik van quantum fysische effecten van een waterstof-atoom. De metingen worden uitgevoerd met een nauwkeurigheid kleiner dan 0.0015 nT.

Tabel 4 Typische kenmerken van de gebruikte magnetometer

Kenmerken	Magnetometer
Diepte bereik ingenieurstoepassing	Enkele m
Fysische grootheid	Totaal magnetisch veld
Uitgedrukt in	nT
Afgeleide eigenschappen	Ligging en diepte metalen objecten
Typische meetsnelheid	0.5 hz
Statisch / bewegend	Bewegend
Platform	Handheld, airborne
Passief / actief	Passief
Model voor interpretatie	Kwalitatief
Gevoelig voor omgevingsparameters	Ja



Figuur 6 Gemsys GSM-19 Overhauser walking gradiënt Magnetometer

Door de grote gevoeligheid van de gebruikte magnetometer veroorzaakt elk metaal dat in de buurt van de sensor komt een verstoring in het magnetisch veld (zelfs mobiele telefoons, sleutels, kleingeld en overige kleine metalen voorwerpen gaven een zichtbare verstoring in het magnetometersignaal). Na het uitvoeren van enige tests, bleek dat de afstand tussen quad en magnetometer minstens 2 m moest zijn om de storende invloed van de quad op het magnetische veld te elimineren. Montage op een dergelijke wijze bleek in de praktijk niet werkbaar te zijn: het in te meten veld was dermate oneffen, en moeilijk toegankelijk dat hierdoor schade aan het meetsysteem werd verwacht. Daarnaast is de meetsnelheid van de magnetometer van 1 meting per 2 seconden te laag voor een efficiënte koppeling met de quad. Het gevolg was dat de metingen lopend verricht moesten worden, door de grote oppervlaktes van de in te meten terreinen is er geen gebiedsdekkend beeld gemaakt van de verschillende terreinen.

3 Aanpak

In dit hoofdstuk wordt de gehanteerde strategie in het project uitgelegd. Aan bod komen onder andere de strategie voor het veldonderzoek en de gehanteerde statistische methodiek voor het maken van de vergelijking.

3.1 Onderzoeksopzet⁹

Om aan te tonen dat er een kwalitatief beter resultaat ontstaat wanneer er met geofysische technieken gewerkt wordt zal er met twee sporen gewerkt worden (zie figuur 7):

- Spoor 1: Regulier onderzoek conform de NEN 5740 grootschalig onverdacht (kan ook een reeds bestaand onderzoek zijn)
- Spoor 2: Geofysisch onderzoek in combinatie met beperkt regulier onderzoek (40 % van de NEN inspanning)

Om een statistische vergelijking mogelijk te maken moeten de resultaten van het reguliere onderzoek vergelijkbaar zijn met de resultaten van het geofysische onderzoek. Dit houdt in dat de methodiek voor zowel het reguliere als het geofysische onderzoek zoveel mogelijk identiek zijn.

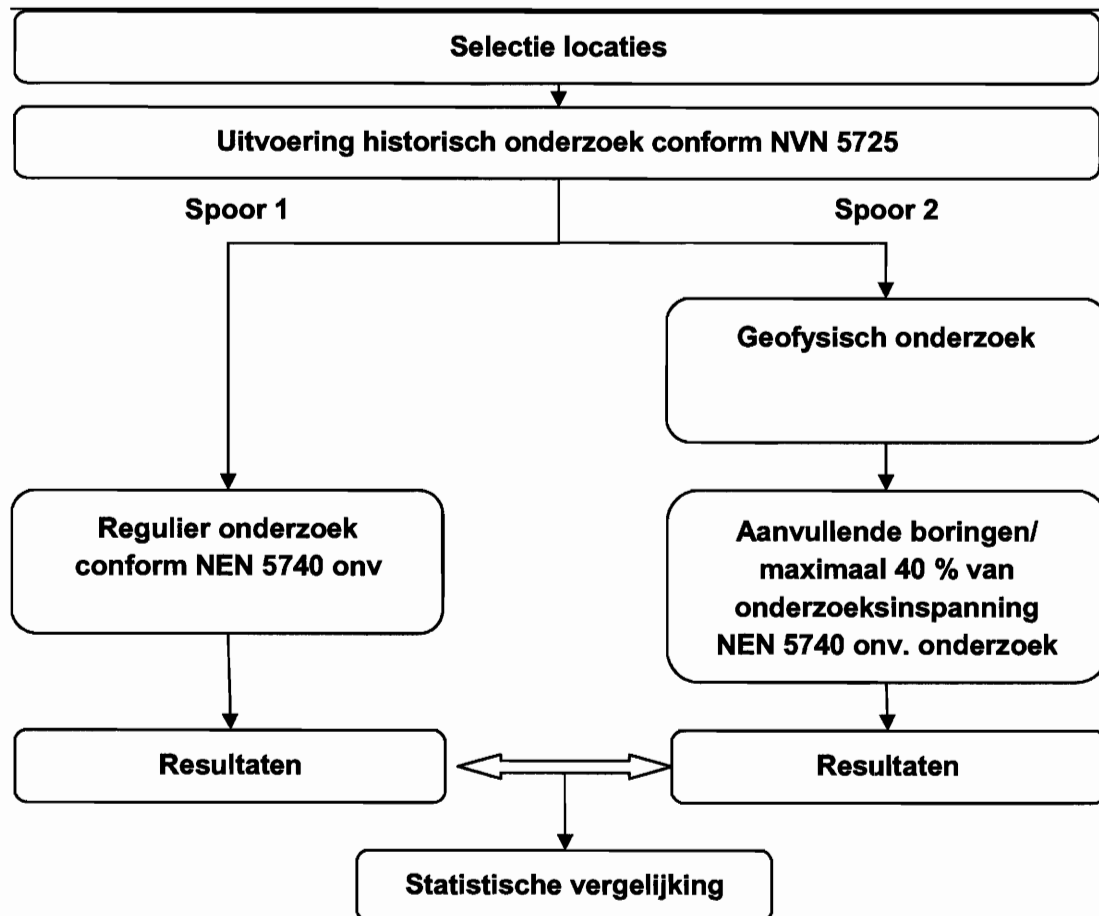
Daarom is er gekozen voor de volgende onderzoeksopzet:

1. Regulier vooronderzoek conform NVN 5725 welke éénmalig uitgevoerd wordt. Dit onderzoek wordt voor beide sporen gebruikt
2. Regulier verkennend bodemonderzoek conform de NEN 5740 grootschalig onverdacht voor de gehele locatie op basis van het vooronderzoek. Hierbij wordt getracht verontreinigingen met behulp van het vooronderzoek en veldwaarnemingen zo goed mogelijk te traceren. In twee gevallen is dit onderzoek reeds uitgevoerd door andere bedrijven. In het andere geval is dit door een vestiging van Tauw uitgevoerd
3. Geofysisch onderzoek waarbij de resultaten van het vooronderzoek worden meegenomen in de geofysische onderzoeksstrategie
4. Aanvullend bodemonderzoek naar aanleiding van de resultaten van het geofysische onderzoek. Hierbij wordt maximaal 40 % van de door de NEN onverdacht strategie voorgeschreven boringen geplaatst en analyses uitgevoerd
5. De resultaten van het bodemonderzoek conform NEN 5740 grootschalig onverdacht worden vergeleken met de resultaten van het bodemonderzoek op basis van het geofysische onderzoek. Hierbij wordt gekeken naar zowel zintuiglijke als analytische verontreinigingen. Door middel van een statistische onderbouwing zal gekeken worden of er een significant verschil tussen de twee onderzoeken aanwezig is

⁹ Gebaseerd op projectvoorstel 'Toepassing geofysische technieken bij grootschalige terreinen' (Tauw, Guido van de Cotert), zie ook bijlage c

Uitgangspunt hierbij is dat de resultaten van het eerste spoor, behouden het historisch onderzoek, niet gebruikt mogen worden voor het onderzoek volgens het tweede spoor. Zoals ook uit figuur 7 blijkt zijn de beide onderzoekssporen gescheiden tot het moment dat de resultaten van beide sporen bekend zijn.

Voor een staffel van maximaal 40 % van de oorspronkelijke onderzoeksopzet is gekozen doordat uit praktijkervaring¹⁰ blijkt dat tot deze aanvullende boorintensiteit het geofysische onderzoek goedkoper is. Tevens denken wij dat 40 % van het aantal boringen en analyses nog groot genoeg is om een goed beeld van de locatie te kunnen krijgen.



Figuur 7 Onderzoeksopzet

¹⁰ Coterlet G.M. v.d. Kostendaling geofysische technieken opent nieuwe mogelijkheden in vakblad Bodem, oktober 2006)

3.2 Vergelijking resultaten

De resultaten van de twee onderzoekssporen worden per locatie vergeleken. Omdat de twee steekproeven van ongelijke grootte zijn wordt statistiek toegepast om te kunnen concluderen of een onderzoek volgens spoor 2 significant beter is dan volgens spoor 1. Met behulp van een statistische toets wordt bepaald of beide steekproeven mogelijk uit een zelfde populatie komen. Indien dit niet het geval is kan aan de hand van de uitkomst bepaald worden welke van de twee sporen 'significant' beter is. De gehanteerde statistische methodiek wordt in bijlage a uitgelegd.

De vergelijking vindt per locatie plaats op basis van:

1. Zintuiglijke waarnemingen
2. Milieuhygiënische analyseresultaten

3.2.1 Waardering

Zintuiglijke waarnemingen

Zintuiglijke waarnemingen van bodemvreemd materiaal zijn een indicator van de aanwezigheid van bodemverontreiniging. Zo zijn verbrandingsresten (kooldeeltjes) een aanwijzing voor de aanwezigheid van de stofgroep PAK (polycyclische aromatische koolwaterstoffen) en is een oliefilm in een oliepannetje een indicatie voor de aanwezigheid van een minerale olie verontreiniging. Op basis van zintuiglijke waarnemingen in het veld kan dus al een zeker verwachting worden uitgesproken over de parameters die bij chemische analyse verhoogd voor zullen komen. In de praktijk wordt een systeem van cijfercodering gebruikt om de mate van de bijmenging te beschrijven. Deze loopt van één tot en met vijf, voor dit onderzoek is dit vereenvoudigd naar één tot en met drie (1 = weinig, 2 = matig, 3 = veel) Daarnaast is het soort bijmenging ook nog van belang voor de ernst van de verontreiniging. Een oliefilm is over het algemeen een zwaardere indicator van verontreiniging dan een puinbijmenging.

De in het veld visueel waargenomen bodemvreemde materialen worden daarom geschaald en vergeleken volgens de volgende methode:

1. Aantal boorpunten waar zintuiglijk bodemvreemd materiaal is aangetoond
2. Verontreinigingsscore op basis van aantal en de mate van zintuiglijk aangetoonde bijmengingen

Bij het aantal zintuiglijk verontreinigde boorpunten die aangetoond zijn kan een verdere onderverdeling worden gemaakt. Gedachte hierachter is dat bijvoorbeeld een ernstige olieverontreiniging een grotere impact heeft als een lichte bijmenging met puin. In de onderstaande tabel staat beschreven hoe de ernst en soort van bijmenging wordt gewaardeerd. Zo krijgt een boring met veel kooldeeltjes en een matige puinbijmenging bijvoorbeeld vier punten.

Tabel 6 Waardering voor zintuiglijke waarnemingen

	Puin	Olieplaatjes	Oliefilm	Metaal	Kooldeeltjes	Overig
Weinig	1	1	2	1	1	1
Matig	1	2	3	2	2	2
Veel	2	3	3	3	3	3

Op basis van de bovenstaande tabel wordt een totaalscore toegekend aan de twee onderzoekssporen voor het aantal zintuiglijke bijmengingen aangetoond en het aantal boorpunten waar deze zijn aangetoond. Deze scores worden statistisch vergeleken.

Milieuhygiënische analyseresultaten

Op basis van de NEN 5740 grootschalig onverdacht strategie worden monsters geanalyseerd voor het NEN 5740 pakket. Dit omvat de volgende stoffen: arseen (As), cadmium (Cd), chroom (Cr), koper (Cu), kwik (Hg), lood (Pb), nikkel (Ni), zink (Zn), minerale olie, EOX en PAK(10).

Net als bij de zintuiglijke waarnemingen is er ook bij de milieuhygiënische analyseresultaten een onderverdeling gemaakt. De gedachte hierachter is dat een verontreiniging boven de interventiewaarde, vanuit beleidsoogpunt en risico's, een grotere impact geeft dan een verontreiniging boven de streefwaarde. Voor de milieuhygiënische analyseresultaten wordt zodoende de volgende waardering aangehouden.

Tabel 7 Waardering voor milieuhygiënische analyseresultaten

	Score
> Streefwaarde	1
> Toetsingswaarde	5
> Interventiewaarde	10

Voor EOX bestaan geen toetsings- of interventiewaarden. Zodoende wordt hiervoor (conform de NEN) 3,0 mg/kg d.s. aangehouden als toetsingswaarde (gehalte waarbij uitsplitsing gewenst is), en 6,0 mg/kg d.s. als interventiewaarde.

Net als bij de zintuiglijke waarnemingen wordt ook voor de milieuhygiënische analyseresultaten een totaalscore toegekend op basis van tabel 7 aan de twee sporen. Het aantal boorpunten waar verontreiniging is aangetoond en het aantal stoffen waarvoor verontreiniging is aangetoond worden statistisch vergeleken.

3.2.2 Hypothese

De hypothese van het onderzoek is dat er met behulp van een onderzoek volgens spoor 2 een kwalitatief beter resultaat oplevert dan een onderzoek volgens spoor 1. Uitgangspunt hierbij is dat de kosten van beide sporen ongeveer gelijk zijn, het onderzoek volgens spoor 2 mag in ieder geval niet onevenredig veel duurder zijn.

Met betrekking tot de kwaliteit van de onderzoekssporen worden de volgende deelhypotheses per locatie getoetst:

1. Aantal boringen waar zintuiglijke bijmenging is aangetoond in spoor 2 > spoor 1
2. Score voor zintuiglijke bijmenging in spoor 2 > spoor 1
3. Aantal boringen waar analytische verontreiniging is aangetoond in spoor 2 > spoor 1
4. Score voor analytische verontreiniging op stofniveau in spoor 2 > spoor 1

Deze hypothesen worden per locatie getoetst. Uiteindelijk worden deze resultaten samengevoegd om conclusies te kunnen trekken.

Op basis van de uitkomsten van de statistische uitwerking wordt volgens onderstaande toetsing bepaald of er al dan niet sprake is van succes met betrekking tot de hoofdonderzoeksvraag.

Er wordt uitgegaan van een (gedeeltelijk) succes als voor één of twee locaties een significant verschil wordt aangetoond. Ook is er sprake van gedeeltelijk succes als voor de drie locaties tezamen één van de volgende punten wordt aangetoond bij spoor 2:

- Statistisch significant meer zintuiglijk verontreinigde boorpunten
- Statistisch significant hogere score voor zintuiglijke verontreinigingen
- Statistisch significant meer boringen waar analytisch verontreiniging is aangetoond
- Statistisch significant hogere score aangetoond voor analytische verontreiniging op stofniveau

Het project wordt als niet succesvol gezien als:

- Statistisch aangetoond wordt dat het reguliere onderzoek (spoor 1) voor één van de bovenstaande vier punten significant beter werkt, voor één of meerdere van de te onderzoeken locaties

4 Locaties

Voor dit project zijn een drietal grootschalige locaties geselecteerd. De selectie heeft plaatsgevonden op basis van diversiteit van de locaties. Er zijn drie grootschalige locaties gekozen die qua gebruik, bodemsamenstelling en bodembelasting van elkaar verschillen maar wel binnen de scope van grootschalig onverdacht vallen. In dit hoofdstuk een beschrijving van de locaties en de (mogelijke) historische bodembelasting.

4.1 Beekhuizerzand Harderwijk (Dienst Vastgoed Defensie)¹¹

Algemeen

Beekhuizerzand is een militair oefenterrein gelegen naast de A28 en het spoor aan de zuidoost zijde van de stad Harderwijk. Het militaire oefenterrein bestaat voor een deel uit stuifzanden (circa 45 ha), samen met bos- en heidegebieden. Het terrein staat bekend als een oefenterrein (OT) waarbij zowel oefeningen met voertuigen als met manschappen plaatsvonden. Het oefenterrein is in gebruik door Defensie maar in eigendom van de gemeente Harderwijk.



Figuur 8 Luchtfoto Beekhuizerzand (bron eigen collectie Tauw)

¹¹ Informatie verkregen doormiddel van historisch onderzoek bij Dienst Vastgoed Defensie Directie Noord. Gesprekken met Geert Hurkens en Roel Jansen van de gemeente Harderwijk en meerdere locatiebezoeken

Defensie wil het terrein de komende jaren in gebruik houden. Vanuit haar verantwoordelijkheid rond mogelijke historische bodemverontreinigingen in dit dynamische gebied heeft Defensie de intentie om meer inzicht te verkrijgen in de historische belasting van het terrein gerelateerd aan het gebruik.

Historie

Het oefenterrein Beekhuizerzand wordt sinds lange tijd door defensie gehuurd van de gemeente Harderwijk. Sinds begin jaren '90 is er sprake van een oefenterrein met recreatief medegebruik. Daarvoor werd het intensief gebruikt door defensie, en werd er op het stuifzand en in het bos met materieel (voertuigen en dergelijke) en manschappen meerdaagse oefeningen gehouden. Voor de jaren '90 waren de bivakken voor de soldaten in de bosrand zuidelijk van het stuifzand gelegen. Later zijn de bivakken naar de noordelijke bosrand verplaatst. Het is bekend dat er op het stuifzand gedurende een periode een tankwrak ten behoeve van oefeningen heeft gestaan.

In 2004 en 2005 zijn er bomen gekapt en is het stuifzand afgeplagd met als doel het stuifzand weer open te krijgen en weer te laten stuiven. Het is nu een van de weinige (grote) stuifzand gebieden in Nederland.



Figuur 9 Batterijenstortje zoals in het verleden op Beekhuizerzand aangetroffen (L), overzichtsfoto (R)

Problematiek

In het verleden hebben op het OT Beekhuizerzand bodembedreigende activiteiten plaatsgevonden. Op het terrein worden plaatselijk batterijen aangetroffen welke door soldaten bij oefeningen zijn gebruikt. De tot op heden aangetroffen stortjes bevinden zich op een relatief klein oppervlak in relatie tot het totale terrein. Het vermoeden bestaat dat er misschien nog meer van deze stortjes aanwezig zijn. Doordat het Beekhuizerzand een stuifzandgebied is kwamen in het verleden de stortjes sporadisch aan het oppervlak.



Bij eerder regulier bodemonderzoek zijn geen stortjes onder het huidige maaiveld aangetoond. Deze stortjes met batterijen veroorzaken in sommige gevallen ook een grondwaterverontreiniging.

Conclusie vooronderzoek

Uit bovenstaande situatieschets die is afgeleid uit het historisch onderzoek komt naar voren dat de locatie verdacht is op het voorkomen van (kleinschalige) batterijenstortjes. Echter is geen enkel aanknopingspunt gevonden met betrekking tot de aanwezigheid of ligging van de verdachte deellocaties. Gezien het feit dat in het verleden aangetroffen stortjes zeer kleinschalig waren en het dynamische karakter van het terrein is het toepassen van een andere strategie dan de onverdacht strategie niet aan te bevelen. Een andere strategie dan onverdacht biedt op een dergelijke locatie geen enkele garantie dat er daadwerkelijk meer verontreinigingen worden aangetroffen.

Opzet voor geofysisch onderzoek

Op basis van bovenstaande informatie is de opzet van het geofysisch onderzoek bepaald. De manier waarop en de combinatie van technieken is afhankelijk van een aantal omstandigheden van de locatie en van het op te sporen object. In tabel 8 is deze informatie samengevat. Op basis van deze informatie is er voor gekozen om met een 300 Mhz radarantenne te meten waarmee in de zandgrond een goed dieptebereik mogelijk is. De raaiafstand is op 5 m vastgesteld waarbij lijnen haaks op elkaar worden gereden. Naast de radarmetingen zijn ook de Medusa-sensor en de Tracer ingezet

Tabel 8 Relevante en verwachte kenmerken voor het geofysisch onderzoek

Locatiespecifieke omstandigheden		Opmerking
Grondslag	Zand	
Terreinbedekking	Onbedekt	
Diepte grondwaterspiegel	Door reliëf zeer variërend	
Zout of brak grondwater	Nee	
Aard van op te sporen objecten		
Vorm (punt, lijn, vlak)	Punt of vlak	
Afmetingen	< 1m doorsnee	
Samenstelling	Metaal	
Diepte ligging objecten	~ 1 m -mv	Kan als gevolg van dynamiek in het stuifzand plaatselijk ook dieper zijn

4.2 Grondlichaam A4 Delft - Schiedam (Rijkswaterstaat)

Algemeen¹²

De onderzoekslocatie A4 Delft - Schiedam betreft het grondlichaam tussen de Kruithuisweg te Delft en het knooppunt Kethelplein. In totaal heeft het tracé een lengte van circa 6,5 km met een gemiddelde breedte van circa 50 m. Het totale oppervlak bedraagt derhalve zo'n 35 ha.



Figuur 10 Luchtfoto A4 Delft-Schiedam (Bron eigen colletie Tauw)

Het gebied tussen Delft en Schiedam is van oudsher in gebruik als veenweidegebied. Het open gebied wordt gekenmerkt door de vele perceel- en ontwateringssloten. Vanaf 1953 wordt er gesproken over het aanleggen van een rijksweg door Midden-Delfland. In 1962 is begonnen met de voorbereiding van de tracénota voor het huidige tracé. In 1965 is het tracé definitief vastgesteld. In 1968 is gestart met de aanleg van het grondlichaam. In 1976 is echter in de tweede kamer een motie om de aanleg op te schorten aangenomen. In 1980 is vervolgens ingestemd met de verdere aanleg van de A4, met als voorwaarde een betere inpassing in het landschap en meer aandacht voor geluidsoverlast. Tussen 1982 en 1989 is hiervoor het programma van eisen verder uitgewerkt. Vanwege budgettaire problemen is echter niet overgegaan tot de verdere aanleg, wel is besloten dat de aanleg dient te worden uitgevoerd. Er is inmiddels een MER-procedure doorlopen, maar deze wordt op het moment herzien. Het plan is om in 2009 te beginnen met het verdiept aanleggen van de A4 Delft - Schiedam.

¹² Informatie verkregen uit historisch onderzoek MH Nederland bv (kenmerk B05.074.H1)



Problematiek

In de jaren '70 was het plan om het tracé verhoogd te gaan aanleggen. Het huidige plan is om de snelweg verdiept aan te gaan leggen. Bij de uitvoering gaat er dus een grote hoeveelheid grond vrijkomen: het grondlichaam en de grond eronder moeten ontgraven worden. Van de kwaliteit van de grond onder het grondlichaam is alleen nog weinig bekend. Er is wel bekend dat er bij de aanleg van het grondlichaam een aantal sloten zijn gedempt. Vaak is niet bekend met welk materiaal deze gedempt zijn. Via de website van bodemloket (www.bodemloket.nl) is wel een aantal locaties bekend waar dit met puin of asbesthoudend materiaal is gebeurd.

Conclusie vooronderzoek

In het uitgevoerde historische onderzoek wordt geconcludeerd dat er weliswaar mogelijk verdachte activiteiten hebben plaatsgevonden (dempen van sloten opbrengen van materiaal) maar er geen aanknopingspunten zijn over de exacte locaties hiervan. Op basis van de conclusie dat er geen verdachte locaties aan te wijzen zijn en met in achtname van het grote oppervlak van het grondlichaam (zeker in relatie tot enkele gedempte sloten) is in het verkennend onderzoek de onverdacht strategie gehanteerd.

Opzet voor geofysisch onderzoek

In tabel 9 staat de relevante informatie weergegeven die van invloed is op de meetstrategie. Door de aanwezigheid van een grondlichaam waaronder zich mogelijk slootdempingen bevinden en de hoge grondwaterstand is er voor gekozen om hier net als bij Beekhuizerzand een 300 Mhz antenne te gebruiken, deze heeft een groot penetrerend vermogen waarmee er nog een relatief goed dieptebereik (weliswaar met een lage resolute) mogelijk is. Aan de randen van het talud wordt met een meetsnelheid van 100 nanoseconde gemeten. Over het grondlichaam zelf wordt dit met 200 ns gedaan omdat verwacht wordt dat de radarpuls er langer overdoet om zowel door het grondlichaam als door de veen / klei te komen. De raaiafstand is op ongeveer twee meter vastgesteld vanwege het mogelijk zwakke signaal in de ondergrond (kortere raaiafstand betekend meer informatie). Naast de radarmetingen zijn ook de Medusa-sensor en de Tracer ingezet

Tabel 9 Relevante en verwachte kenmerken voor het geofysisch onderzoek

Locatiespecifieke omstandigheden		Opmerking
Grondslag	Klei op veen	Grondlichaam hoofdzakelijk zand
Terreinbedekking	Gras	
Diepte grondwaterspiegel	< 50 cm -mv	
Zout of brak grondwater	Mogelijk brak	
Aard van op te sporen objecten		
Vorm (punt, lijn, vlak)	Lijn en punt	
Afmetingen	Lijnen doorkruisen het gebied	
Samenstelling	Puin en metalen	
Diepte ligging objecten	Variërend (1 tot 3 á 4 m -mv)	

4.3 MOB Veldhuizen Loenen (Dienst Landelijk Gebied)

Algemeen¹³

Het mobilisatiecomplex (MOB) Veldhuizen is gelegen aan Veldhuizen 3 te Loenen.

Het terrein is in eigendom van DLG, daarvoor heeft het gediend als mobilisatiecomplex van Defensie. Het terrein heeft een oppervlak van circa 13 ha. Op het terrein staan een groot aantal loodsen voor het stallen van rijdend materieel en werkplaatsen voor het onderhoud hieraan.

Het terrein bestaat verder uit verharde wegen afgewisseld met bos en struikgewas. De locatie is op basis van het gebruik verdacht op de aanwezigheid van minerale olie, batterijen en ander stortmateriaal. DLG wil de locatie ontwikkelen tot een wonen in het groen concept.

¹³ Informatie verkregen uit voorgaande bodemonderzoeken en locatiebezoek



Figuur 11 Luchtfoto MOB Veldhuizen (bron eigen collectie Tauw)

Problematiek

Op het terrein zijn al een aantal verontreinigingen aangetroffen en gesaneerd. Dit betrof onder andere stortjes met batterijen, en ander stortmateriaal en ondergrondse olietanks. De verwachting is echter dat er mogelijk nog meer bronnen van verontreiniging aanwezig zijn. Ervaring met andere defensie terreinen leert dat in het verleden regelmatig achter gebouwen gaten werden gegraven om afval in te dumpen. Hierbij gaat het om batterijen, verfblikken, asbesthoudend materiaal en (afgewerkte) olie en smeermiddelen. Tevens zijn op het terrein meerdere wegen en verhardingen aanwezig. In het kader van de herinrichting van het terrein is het van belang een indruk te krijgen van de kwaliteit en kwantiteit (dikte van de verhardingslaag) van het vrijkomende materiaal.

Conclusie vooronderzoek

Uit vooronderzoek komt naar voren dat er op het terrein meerdere verdachte activiteiten hebben plaatsgevonden. Een aantal deellocaties zijn ook al onderzocht en in enkele gevallen gesaneerd. De tot op heden onderzochte en gesaneerde locaties zijn gericht onderzocht omdat er bijvoorbeeld een ondergrondse tank buiten gebruik werd gesteld of tijdens werkzaamheden verontreiniging werd aangetroffen. Er zijn naast de ondergrondse tanks, die inmiddels verwijderd zijn, geen andere aanknopingspunten gevonden voor het aanwijzen van verdachte deellocaties. Het argument dat er geen deellocaties zijn aan te wijzen in combinatie met het grote oppervlak leid derhalve tot een onverdachte strategie bij het uitvoeren van verkennend onderzoek over de gehele locatie.

Opzet voor geofysisch onderzoek

In tabel 10 staan de relevante gegevens weergegeven met betrekking tot de meetstrategie van het geofysisch onderzoek.

De locatie Veldhuizen is voor het geofysisch onderzoek de lastigste locatie om goed in te meten. Er zijn veel storende elementen zoals verhardingen, bomen en gebouwen. Er is daarom eveneens voor het sterke signaal van de 300 Mhz radarantenne gekozen. De raaiafstand is van te voren niet bepaald omdat de terreinsituatie (gebouwen, bomen, wegen) hier leidend is. Naast de radarmetingen zijn ook de Medusa-sensor en de Tracer ingezet

Tabel 10 Relevante en verwachte kenmerken voor het geofysisch onderzoek

Locatiespecifieke omstandigheden	Opmerking
Grondslag	Zand
Terreinbedekking	Asfalt, klinkers, beton, bomen en gras
Diepte grondwaterspiegel	1,5 m -mv
Zout of brak grondwater	Nee
Aard van op te sporen objecten	
Vorm (punt, lijn, vlak)	Alle mogelijkheden
Afmetingen	> 1 m
Samenstelling	Hoofdzakelijk metaal, ook ander stortmateriaal mogelijk
Diepte ligging objecten	Onbekend

5 Uitgevoerde werkzaamheden

In dit hoofdstuk staan in het kort de uitgevoerde werkzaamheden per locatie weergegeven. Een uitgebreide beschrijving van alle uitgevoerde werkzaamheden staat per locatie in de betreffende deelrapportages weergegeven.

5.1 Locatie Beekhuizerzand

Voor de locatie Beekhuizerzand zijn in het kader van dit project beide onderzoekssporen uitgevoerd. De werkzaamheden hebben plaats gevonden in de periode van september tot en met oktober 2007. Voor een volledig verslag van de werkzaamheden wordt verwezen naar de desbetreffende deelrapportage (R004-4510514GMC-evp-V01-NL). Voorafgaand aan de inmeting van het terrein is een pilot uitgevoerd op een naastgelegen terrein. Op basis van deze resultaten is het geofysisch onderzoek ingestoken. Na de pilot is het gehele terrein in gemeten met de verschillende technieken behoudens de magnetometer.

Uit het geofysisch onderzoek kwam na analyse van de radargegevens een patroon naar voren van een groot aantal gebiedjes met een hoge mate van reflectie terwijl op de rest van het terrein vrijwel geen reflectie werd waargenomen. Op basis van deze resultaten is een boorplan opgesteld waarbij de nadruk is gelegd op de gebieden waar harde reflecties zijn gemeten. Ook uit de data van de Medusa-sensor is een beeld van duidelijke variaties naar voren gekomen. Deze variaties zijn later gerelateerd aan de korrelgrootteverdeling. De uitgestoven delen bestaan namelijk uit grof zand en grind terwijl de stuifduinen uit uiterst fijn zand bestaan.

In tabel 11 staan de uitgevoerde boringen en aantallen chemische analyses weergegeven.

Tabel 11 Uitgevoerde werkzaamheden Beekhuizerzand

Uitgevoerde werkzaamheden	Spoor 1	Spoor 2
Oppervlakte onderzoekslocatie in m ²	200.000	200.000
Veldwerk		
Boring tot 0,5 m -mv	74	28
Boring tot 2 m -mv	10	4
Boring met peilbuis (3,0 m -mv)	21	8
Chemische analyses		
Aantal NEN bovengrond	11	5
Aantal NEN ondergrond	10	4
Aantal NEN grondwater	20	8

5.2 Locatie A4 Delft - Schiedam

De werkzaamheden in het kader van dit project hebben plaats gevonden in de periode oktober tot en met oktober 2007. Ze hebben bestaan uit het uitvoeren van de werkzaamheden volgens spoor 2. Spoor 1 wordt gevormd door een door Rijkswaterstaat beschikbaar gesteld verkennend onderzoek uit 2006.

De gegevens van de grondradarmetingen lieten een "rommelig" beeld zien van het opgebrachte grondlichaam. Hierdoor was automatische verwerking van de data niet goed mogelijk. Veel van de verstoringen die bij de automatische verwerking naar voren kwamen bleken bij bestudering van de individuele radargrammen als gevolg van heterogeniteit van het grondlichaam op te treden. De radargrammen zijn daarom stuk voor stuk bekeken en beoordeeld. Door de radargrammen van verschillende raaien met elkaar te vergelijken is beoordeeld welke verstoringen daadwerkelijk verdachte structuren betreffen (deze zijn op meerdere naast elkaar liggende radargrammen te zien). Hierbij zijn een relatief groot aantal verstoringen op verschillende dieptes waargenomen. Naast kleine vlakken en puntobjecten zijn er ook enkele sloten te zien die mogelijk zijn opgevuld met bodemvreemd materiaal of en afwijkende bodemopbouw hebben.

In tabel 12 staan de werkzaamheden die zijn uitgevoerd weergegeven. Omdat het verkennend onderzoek zich alleen gericht heeft op het vaststellen van de milieuhygiënische kwaliteit van het grondlichaam is er geen onderzoek gedaan naar de kwaliteit van het grondwater.

Tabel 12 Uitgevoerde werkzaamheden A4 Delft - Schiedam

Uitgevoerde werkzaamheden	Spoor 1	Spoor 2
Oppervlakte onderzoekslocatie in m ²	250.000	250.000
Veldwerk		
Boring tot 0,5 m -mv	103	31
Boring tot 2 m -mv	5	8
Boring tot 5 m -mv	-	5
Boring tot 9 á 14 m -mv	51	-
Chemische analyses		
Aantal NEN bovengrond	17	6
Aantal NEN ondergrond	24 ¹⁾	5
Aantal NEN grondwater	-	-

¹⁾ Alleen de ondergrondanalyses tot 6 m -mv uit het onderzoek van MH Nederland zijn hierin ter vergelijking meegenomen, dit omdat de maximale diepte in spoor 2 tot 5 m -mv is geweest. In de analyses van het verkennend onderzoek zijn in de laag dieper dan 6 m -mv geen verhoogde NEN parameters aangetroffen, er is dus geen sprake van nadelige invloed op de resultaten

5.3 Locatie Veldhuizen

De werkzaamheden voor het MOB veldhuizen hebben plaats gevonden in de periode van oktober 2007 tot en met februari 2008. Zowel spoor 1 als spoor 2 zijn in het kader van dit project uitgevoerd.

De geofysische metingen zijn voor deze locatie erg lastig gebleken. Doordat er op sommige plekken (rondom gebouwen) slechts beperkt ruimte is zijn er op verschillende plekken maar enkelvoudige lijnen gereden. Hierdoor is bij de interpretatie van de gegevens geen omvangsbepaling van een waargenomen verstoringen mogelijk. Ook het vastleggen van de coördinaten van de metingen middels GPS bleek door de aanwezigheid van de vele bomen en gebouwen problematisch. Hierdoor hebben de metingen met betrekking tot positionering een grote onnauwkeurigheid.

De interpretatie van de gegevens is verder ook lastig gebleken omdat er op de locatie veel versturende invloeden zijn van:

- De aanwezigheid van wortelstructuren van bomen
- De aanwezigheid van kabels en leidingen in de ondergrond
- De wisselende soorten verhardingen

Uiteindelijk zijn doormiddel van gedeeltelijke automatische verwerking en het handmatig bekijken van radargrammen een aantal verdachte plekken aangewezen waar mogelijk bodemvreemde materialen aanwezig zijn. Het boorplan is uiteindelijk hierop gebaseerd.

In tabel 13 staan de uitgevoerde veld- en analysewerkzaamheden weergegeven.

Tabel 13 Uitgevoerde werkzaamheden MOB Veldhuizen

Uitgevoerde werkzaamheden	Spoor 1	Spoor 2
Oppervlakte onderzoekslocatie in m ²	130.000	130.000
Veldwerk		
Boring tot 0,5 m -mv	49	20
Boring tot 2 m -mv	7	4
Boring met peilbuis	14	6
Chemische analyses		
Aantal NEN grond	15	6
Aantal NEN grondwater	14	5

6 Resultaten

In de periode van september 2007 tot februari 2008 zijn de verschillende locaties onderzocht. De uitkomsten van de onderzoeken en van de statistische vergelijkingen worden hier besproken. De volledige beschrijvingen van de onderzoeken en statistische uitwerkingen staan in de betreffende deelrapporten weergegeven. Hieronder volgt een samenvatting.

6.1 Resultaten onderzoek

6.1.1 Algemene conclusies Beekhuizerzand

Het doel voor de locatie Beekhuizerzand was het opsporen van (mogelijke) batterijenstortjes. De resultaten van de geofysische metingen bleken niet de locaties van batterijenstortjes weer te geven maar een natuurlijk fenomeen in het stuifzand gebied. De verdachte locatie op basis van de grondradar resultaten bleken een oude humeuze laag onder de stuifduinen te betreffen. Met behulp van geofysische technieken is in dit geval niet het beoogde resultaat behaald. Ook met de 'traditionele' methode zijn geen batterijenstortjes aangetroffen. In beide onderzoekssporen voor de locatie Beekhuizerzand is zintuiglijk geen stortmateriaal aangetroffen en analytisch geen ernstige verontreinigingen aangetoond. Wel zijn er op het maaiveld verscheidene batterijen waargenomen. In tabel 14 staan de uitkomsten van de beide onderzoekssporen weergegeven.

Tabel 14 Samenvatting uitgevoerde werkzaamheden en resultaat Beekhuizerzand (resultaat / uitgevoerd)

Uitgevoerde werkzaamheden	Spoor 1	Spoor 2
Resultaten		
Aantal boorpunten met zintuiglijke verontreiniging	0/104	0/40
Totaal score zintuiglijke verontreinigingen	0/276	0/135
Aantal boorpunten met verontreiniging	17/104	6/40
Aantal verontreinigingen	25/691	11/283

6.1.2 Algemene conclusies Locatie A4 Delft - Schiedam

De resultaten van het onderzoek naar het grondlichaam van de A4 tussen Delft en Schiedam staan samengevat weergegeven in tabel 15. In spoor 1 is een rastermatige boorstrategie gehanteerd, hierbij is geen rekening gehouden met eventuele verdachte deellocaties zoals gedempte sloten. In het onderzoek volgens spoor 2 is onder andere gebleken dat in het verlengde van de bestaande sloten verstoringen zijn waargenomen.

Ook zijn op enkele plaatsen bij spoor 2 in het grondlichaam zelf bijmengingen met puin en kooldeeltjes waargenomen en ook analytisch zijn in beduidend meer boorpunten verontreinigingen aangetoond.

Tabel 15 Samenvatting uitgevoerde werkzaamheden en resultaat A4 (resultaat / uitgevoerd)

Uitgevoerde werkzaamheden	Spoor 1	Spoor 2
Resultaten		
Aantal boorpunten met zintuiglijke verontreiniging	1/159	10/44
Totaal score zintuiglijke verontreinigingen	1/633	13/113
Aantal boorpunten met analytische verontreiniging	3/41	7/11
Aantal verontreinigingen	3/451	16/121

6.1.3 Algemene conclusies Locatie MOB Veldhuizen

Bij de locatie MOB Veldhuizen bleek dat het inmeten van het terrein meer problemen opleverde dan van te voren gedacht. Door de sterke ondergroei waren grote delen van het terrein niet bereikbaar met de meetapparatuur. Desondanks is circa 10 van de 13 ha onderzocht volgens spoor 2. Hiertegenover staat een verkennend onderzoek met de boorintensiteit voor 13 ha. De resultaten van beide onderzoekssporen staan samengevat in tabel 16.

Tabel 16 Samenvatting uitgevoerde werkzaamheden en resultaat A4

Uitgevoerde werkzaamheden	Spoor 1	Spoor 2
Resultaten		
Aantal boorpunten met zintuiglijke verontreiniging	6/70*	8/29 ^{*/**}
Totaal score zintuiglijke verontreinigingen	12/135*	16/79 ^{*/**}
Aantal boorpunten met analytische verontreiniging	16/70	5/29
Aantal verontreinigingen	49/487	8/181

* Bij de zintuiglijke waarnemingen en het totaal aantal waarnemingen zijn, klinker, beton en asfaltlagen niet meegenomen

** De zintuiglijke waarneming stenen is niet meegenomen als een verontreiniging. Dit is in het verkennend onderzoek (spoor 1) mogelijk als grind geïnterpreteerd. De zintuiglijke waarneming stenenlaag is wel meegenomen als zintuiglijke verontreiniging omdat dit overduidelijk een antropogene oorzaak heeft

6.2 Resultaten statistische vergelijking

Om te bepalen of er sprake is van een succesvol project zijn de vier deelhypothese zoals in paragraaf 3.2.2 beschreven per locatie getoetst. Daarnaast is een vergelijking gemaakt voor alle resultaten bij elkaar opgeteld.

De getoetste deelhypothesen zijn:

1. Aantal boringen waar zintuiglijke bijmenging is aangetoond in spoor 2 > spoor 1
2. Score voor zintuiglijke bijmenging in spoor 2 > spoor 1
3. Aantal boringen waar analytische verontreiniging is aangetoond in spoor 2 > spoor 1
4. Score voor analytische verontreiniging op stofniveau in spoor 2 > spoor 1

De nummers van de deelhypothese komen hierbij overeen met de nummers in tabel 17.

6.2.1 Locatie Beekhuizerzand

Voor de locatie Beekhuizerzand wordt geconcludeerd dat er zowel op zintuiglijk als analytisch gebied geen statistisch significant verschil is tussen het onderzoek volgens spoor 1 en het onderzoek volgens spoor 2.

Alle onder paragraaf 6.2 opgesomde hypothesen zijn voor deze locatie verworpen. Er is geen sprake van enig statistisch significant verschil tussen beide onderzoekssporen.

6.2.2 Locatie A4 Delft - Schiedam

Voor de locatie A4 wordt geconcludeerd dat er zowel op zintuiglijk als analytisch gebied een statistisch significant verschil is tussen het onderzoek volgens spoor 1 en het onderzoek volgens spoor 2.

De vier deelhypothesen zijn in dit geval allen aanvaard. Er is voor elke deelhypothese sprake van significant verschil tussen de onderzoeken. Spoor 2, het onderzoek op basis van geofysica, is voor alle vier deelhypothesen significant beter.

6.2.3 Locatie MOB Veldhuizen

De statistische vergelijking voor de locatie MOB Veldhuizen laat een gemengd beeld zien. Zintuiglijk is in spoor 2 meer verontreiniging aangetoond, analytisch is, zowel op boorpunt als op stofniveau, in spoor 1 meer verontreiniging gevonden.

Er kan op basis van deze uitkomsten geen uitspraak gedaan worden over de nulhypothese dat beide onderzoeken gelijkwaardig zijn.

Ondanks dat in dit onderzoek niet is aangetoond dat de beide onderzoekssporen verschillend zijn, wordt het onderzoek als niet succesvol gezien omdat bij twee van de vier mogelijkheden spoor 1 een significant hogere score behaalt.

6.3 Conclusie statistische vergelijking

De uitkomsten van de statistische vergelijkingen laten een gemengd beeld zien. Voor één locatie is geen verschil aangetoond, bij een locatie heeft de methode volgens spoor 2 significant meer zintuiglijke en analytische verontreinigingen aangetoond en éénmaal is er een gemengde uitkomst waar wisselend spoor 1 en spoor 2 beter zijn. Officieel (statistisch) dient het project op basis van de twee vergelijkingen van MOB Veldhuizen waarbij spoor 1 beter heeft gescoord als niet succesvol te worden beschouwd.

6.4 Algemene conclusies

Bij het uitvoeren van de statistische vergelijkingen is alleen gekeken naar de uitkomsten van de onderzoeken uitgedrukt in getallen. Een verklaring wáárom de verschillen (of overeenkomsten) tussen spoor 1 en spoor 2 zijn ontstaan worden in de vergelijking niet meegenomen of beantwoord.

Indien de statistische vergelijking buiten beschouwing blijft lijkt het project succesvol. In ieder geval bij de locatie Delft-Schiedam is duidelijk geworden dat grotere verstoringen in lijn- of vlakvorm succesvol kunnen worden opgespoord, zelfs in een gebied waar de bodemopbouw en geohydrologie belemmerend kunnen werken. De technieken blijken minder succesvol in het opsporen van kleine (ondiepe) puntbronnen zoals de batterijenstortjes op Beekhuizerzand. Onderstaand zijn de verklaringen voor het al dan niet succesvol verlopen van de verschillende projecten gegeven.

Locatie Beekhuizerzand

Statistisch gezien zijn er op deze locatie geen verschillen aangetoond, dit komt overeen met de resultaten en bevindingen. Zo zijn er in de beide sporen geen stortjes aangetroffen en zijn er alleen overschrijdingen van de streefwaarde aangetoond die waarschijnlijk het gevolg zijn van een diffuse belasting vanuit de lucht. Dat er statistisch gezien geen verschillen zijn komt dus overeen met de bevindingen.

Locatie A4 Delft-Schiedam

Statistisch zijn er voor deze locatie verschillen aangetoond, spoor 2 is significant beter volgens de vergelijkingmethode. In het geofysisch onderzoek zijn veel verstoringen waargenomen die te relateren zijn aan puin en gedempte sloten. Vooral de lijnvormige slootdempingen zijn goed in kaart gebracht. In het regulier spoor 1 is rastermatig geboord waarbij er vrijwel geen zintuiglijke waarnemingen zijn gedaan en ook analytisch geen verontreinigingen zijn aangetoond. Er kan geconcludeerd worden dat de geofysische methode op deze locatie meerwaarde heeft ten opzichte van de regulier methode.

MOB Veldhuizen

Zo zijn er bijvoorbeeld verschillende verklaringen waarom spoor 1 statistisch gezien beter heeft gewerkt dan spoor 2 op de locatie MOB Veldhuizen:

- Er is in spoor 1 een beperkte grondwaterverontreiniging aangetoond die, ook in nader onderzoek, niet te relateren is aan een bron in de grond. Uitgangspunt voor het geofysische deel van het onderzoek is in het kader van dit project altijd geweest om “typische verontreinigingen in het landelijk gebied” op te sporen, een grondwaterverontreiniging zonder duidelijke bron in de grond opsporen valt hier niet onder. Het opsporen van dergelijke verontreinigingen vereist andere technieken en een andere onderzoeksopzet voor het geofysische deel
- MOB Veldhuizen past slecht binnen de definitie van een grootschalig onverdachte locatie (zie ook hoofdstuk 7.2). De locatie is in tegenstelling tot de definitie wel bebouwd, verhard en relatief intensief gebruikt. In de praktijk zal een dergelijke locatie zelden in één keer in zijn geheel worden onderzocht in plaats daarvan worden deellocaties onderzocht (een enkel gebouw of ondergrondse tank) Mocht een onderzoek van de gehele locatie wel noodzakelijk zijn, dan wordt vaak wel de boorintensiteit gehanteerd van een grootschalig onverdacht maar worden de boringen gericht gezet omdat er op de locatie wél verdachte deellocaties zijn aan te wijzen, denk hierbij aan smeerkuilen, werkplaatsen en ondergrondse tanks
- De geofysische metingen zijn door omstandigheden op de locatie ernstig belemmerd. Er was erg veel begroeiing voor een nauwkeurige positiebepaling middels GPS. Er zijn veel verstoringen gemeten als gevolg van verschillende soorten verharding, funderingen van gebouwen en wortels van bomen, deze zijn lastig te onderscheiden van de objecten die worden gezocht (stortjes, dempingen)

Tabel 17 Samenvatting uitkomsten onderzoek

Locatie	Beekhuizerzand	A4 Delft - Schiedam	MOB Veldhuizen
Oppervlakte in m ²	200.000	250.000	130.000
Steekproefgrootte (aantal boorpunten)	Spoor 1 104 Spoor 2 40	Spoor 1 159 Spoor 2 44	Spoor 1 70 Spoor 2 29
Boorpuntniveau			
Aantal zintuiglijke waarnemingen	0	1	6
Aantal aangetoonde verontreinigingen	17	3	16
Stofniveau			
Score zintuiglijke waarnemingen	0	1	12
Score analytisch	25	3	49
Uitkomsten statistische vergelijking			
Boorpuntniveau			
Zintuiglijk (1)	Gelijkwaardig	Spoor 2 significant beter	Spoor 2 significant beter
Analytisch (3)	Gelijkwaardig	Spoor 2 significant beter	Spoor 1 significant beter
Stofniveau			
Zintuiglijk (2)	Gelijkwaardig	Spoor 2 significant beter	Spoor 2 significant beter
Analytisch (4)	Gelijkwaardig	Spoor 2 significant beter	Spoor 1 significant beter
De nummers (1), (2), (3), (4) slaan op de deelhypotheses die getoetst zijn. Zie ook paragraaf 6.5			



7 Discussie

In dit hoofdstuk worden een aantal zaken aangehaald die elders in het rapport nog niet voldoende belicht zijn of tijdens de verschillende onderzoeken naar voren zijn gekomen.

7.1 Algemeen

Het doel van het project was om aan te tonen dat een onderzoek van een grootschalige locatie beter en efficiënter kan worden uitgevoerd als er geofysische meetmethoden worden toegepast. De vraag is of dit doel bereikt is. Door een toch beperkt aantal onderzoeken waarmee de vergelijking tussen de twee onderzoeksmethoden (spoor 1 en spoor 2) is gemaakt is er geen harde conclusie te trekken. Wel is duidelijk geworden dat bij bepaalde omstandigheden en typen bodemverstoringen geofysische technieken weldegelijk een meerwaarde hebben ten opzichte van regulier bodemonderzoek volgens de onverdacht strategie. Uit het project is gebleken dat met name lijnvormige elementen en verstoringen met een groter oppervlak goed opgespoord kunnen worden met geofysische technieken. De methode is minder succesvol gebleken bij puntvormige en kleine objecten. Een voorwaarde is wel dat van te voren bekend is wat globaal de bodembouw is en deze het liefst relatief homogeen is.

Het project kan als (gedeeltelijk) succesvol gezien worden. In ieder geval is gebleken dat er een goed alternatief mogelijk is voor de NEN grootschalig onverdacht strategie. Waarbij aantoonbaar is gemaakt dat voor het opsporen van verstoringen en dempingen in het landelijk gebied geofysische opsporingsmethoden een volwaardig alternatief vormen.

7.2 Onverdachte locatie

Uit de verschillende vooronderzoeken van de locaties is gebleken dat de locaties in alle drie gevallen eigenlijk niet geheel onverdacht zijn. In de praktijk worden dergelijke locaties echter wel onderzocht volgens de onverdacht strategie. De omschrijving van een grootschalig onverdachte locatie biedt hier ook vrijheid voor interpretatie:

“Gebied waar altijd sprake is geweest van een gelijksoortig en extensief gebruik. Bijvoorbeeld een natuur- of landbouwgebied met één gebruiksvorm en geringe antropogene beïnvloeding”.

Mede gezien de hoge kosten van andere strategieën op grootschalige locaties is het begrijpbaar dat deze definitie wordt opgerekt. Het is daarom wellicht wenselijk om een strategie op te stellen op basis van geofysische meetmethoden voor grootschalige terreinen die eigenlijk niet zuiver onverdacht zijn. Hiermee heeft de bodemonderzoeker een kosteneffectief alternatief voor de grootschalig onverdacht strategie.

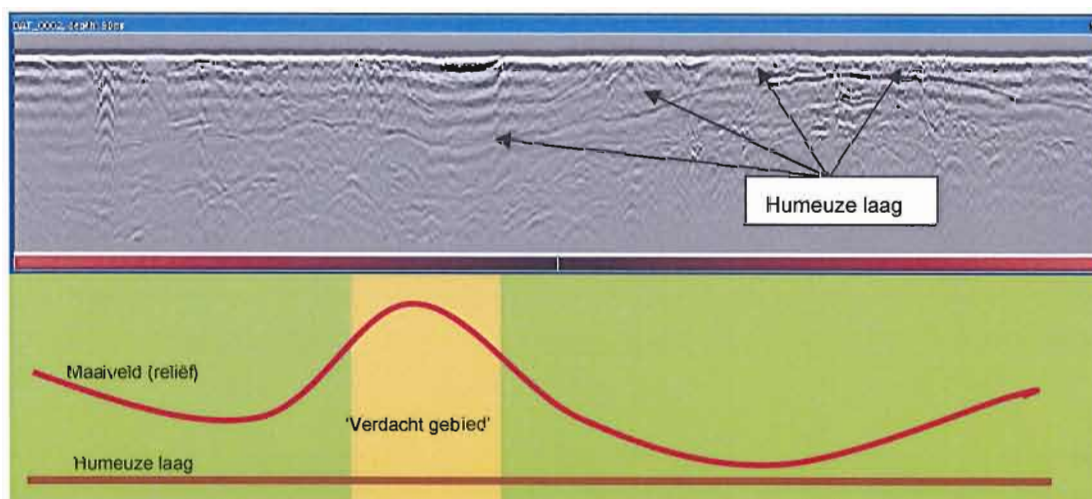
7.3 Locatie specifieke omstandigheden

Bij het interpreteren van meetgegevens, maar ook al voorafgaand aan de uitvoering van geofysische metingen, moet stil worden gestaan bij de invloed van locatiespecifieke omstandigheden. Hierbij moet gedacht worden aan bodemopbouw, geohydrologische situatie, begroeiings- en verhardingssituatie.

7.3.1 Bodemopbouw

De bodemopbouw kan storend of belemmerend werken op enkele technieken, bijvoorbeeld de grondradar. Het signaal van de grondradar dooft relatief snel uit (signaal verliest sterkte) in klei en veengronden en heeft daardoor een beperkt dieptebereik. Ook bij het interpreteren moet worden opgelet dat bijvoorbeeld een kleilaag of afwijkende bodemlaag niet als antropogene verstoring wordt opgemerkt.

Een voorbeeld van een geval waar afwijkende bodemlagen zijn geïnterpreteerd als antropogeen is het onderzoek naar de locatie Beekhuizerzand. Hierbij is in enkele gevallen een oude humeuze bodem waar stuifduinen bovenop zijn komen te liggen aangemerkt als verstoring. Door de verspreide ligging van de stuifduinen en het reliëf is dit bij de interpretatie in eerste instantie onopgemerkt gebleven. De laag komt namelijk wel op veel plaatsen voor maar bevindt zich ten opzichte van maaiveld op zeer verschillende dieptes (als gevolg van het reliëf). Dit is weergegeven in figuur 7.1. Omdat (automatisch) naar verstoringen op een bepaalde diepte ten opzichte van maaiveld is gezocht, is de humeuze laag onder de stuifduinen opgemerkt als verstoring.



Figuur 12 Radarbeeld (b) en reliëflijn (o) van een stuifduin op beekhuizerzand. Doordat de humeuze laag op verschillende dieptes ten opzichte van maaiveld voorkomt is deze bij de interpretatie op sommige plaatsen (de duinen) op basis van de diepteligging aangemerkt als verdachte locatie

De bodemopbouw moet echter niet alleen als belemmering worden opgemerkt het kan ook kansen bieden. Er kan immers een gebiedsdekkend beeld worden gemaakt van de bodemopbouw, zo kunnen bijvoorbeeld kleilagen gebiedsdekken in beeld worden gebracht.

7.3.2 Geohydrologie

In sommige gevallen kan het grondwater een belangrijke invloed hebben op metingen. De grondradar bijvoorbeeld heeft een beperkt doordringend vermogen in zout of brak water. Gecombineerd met een hoge grondwaterspiegel kan dit metingen ernstig belemmeren. In andere gevallen kan dit juist kansen bieden: met behulp van sensoren die op basis van elektrische geleiding (groundtracer, EM-31 en EM-38) werken kan bijvoorbeeld een grondwaterverontreiniging met metalen of chloride worden opgespoord en afgeperkt.

7.3.3 Begroeiing

Een dicht begroeide locatie brengt problemen met zich mee wat betreft het berijden van het terrein met een quad en de positiebepaling middels GPS. Bij een geofysisch onderzoek is het zaak een zo goed mogelijke dekking van het gehele terrein te krijgen door raaien te rijden met een vooraf vastgestelde afstand tot elkaar. Dichte begroeiing of bebossing kan dit ernstig hinderen waardoor geen goed terreindekkend beeld ontstaat.

Bebossing kan ook het vastleggen van de positie van metingen verstoren doordat de GPS minder ontvangst heeft, hierdoor wordt de positiebepaling minder nauwkeurig. Voorafgaand aan een onderzoek in een dichtbegroeid of bebost gebied moet dus worden afgewogen of het zinvol is geofysische meetmethoden onder dergelijke omstandigheden in te zetten. Een belangrijke rol hierbij speelt het formaat van de verwachte storing of object dat opgespoord wordt. Bij een groot object heeft een onnauwkeurige GPS minder impact dan bij het opsporen van kleine objecten. Een goed voorbeeld is de locatie Veldhuizen, er is aan de gereden surveylines op de kaart te zien dat bij de dichtbegroeide delen van het terrein het patroon begint te bibberen en soms zelfs over een gebouw loopt.

Voor kleine terreinen (< 1 ha) kan als alternatief de meting lopend worden uitgevoerd. Een meetlint of simpelweg het tellen van het aantal stappen kan worden ingezet als alternatief voor GPS.

7.3.4 Verharding

De aanwezigheid van verhardingen kan voor bepaalde technieken een verstorend element vormen. Andere technieken zijn juist geschikt om onderzoek te doen naar verhardingen. In het voorbereiden van het onderzoek en bij het interpreteren van resultaten dient duidelijk te zijn waar zich verhardingslagen bevinden of juist niet en hoe hier rekening mee moet worden gehouden.

7.4 Nauwkeurigheid

Bij het opsporen van kleinschalige verontreinigingen zoals de batterijenstortjes op Beekhuizerzand speelt de nauwkeurigheid van de positiebepaling een belangrijke rol. Voor het inmeten van het terrein wordt gebruik gemaakt van dGPS. Hiermee worden coördinaten gekoppeld aan elke meting die een sensor uitvoert. Doordat dGPS standaard een onnauwkeurigheid van circa één meter heeft kan bij het opsporen van puntbronnen al een probleem ontstaan. Daarnaast ontstaat een tweede onnauwkeurigheid als gevolg van het continue meten vanaf een bewegend object (de quad). Neem daarbij mee dat ook gebruik is gemaakt van dGPS om de verdachte plekken die zijn aangewezen door de grondradar in het veld weer op te sporen: nogmaals een onnauwkeurigheid van één meter. Al met al kan er theoretisch gezien meer dan twee meter naast een daadwerkelijke puntbron worden geboord en kan deze zodoende worden gemist. Een RTK-Dgps basisstation kan uitkomst bieden (milimeterprecisie) maar aan het gebruik zitten hogere kosten en een aantal nadelen en voorwaarden verbonden.

In de toekomst kan er een flinke verbetering met betrekking tot de positiebepaling behaald te worden door over te stappen op het Europese Galileo positioneringssysteem. Theoretisch is hiermee millimeterprecisie mogelijk, nadeel is dat dit systeem volgens de meest optimistische inschatting pas in 2013 operationeel is.



8 Generieke methode geofysisch onderzoek

In dit hoofdstuk worden een handreiking geboden voor het inzetten van geofysische meetmethoden voor milieuhygiënisch bodemonderzoek. Het gaat hierbij om het kiezen van de juiste techniek(en), het op tijd signaleren en rekening houden met omstandigheden op de locatie die van invloed zijn en het opstellen van een boorplan.

8.1 Algemeen

In het verleden is in de bodemwereld altijd veel discussie geweest over het nut van geofysische onderzoeksmethoden. Er zijn sceptici die beweren dat de technieken zelden succesvol zijn en voorstanders die tal van voorbeelden kunnen noemen waarbij het wel heeft gewerkt. Feit is echter dat het uitvoeren van geofysisch onderzoek een zeer locatiespecifieke benadering vraagt. Er moeten de onderzoeker duidelijk voor ogen staan waarna hij op zoek is, wat de globale omvang van het object is, hoe diep het zich ongeveer bevindt, welke geologische of bodemkundige omstandigheden van belang zijn, enzovoort.

Een ieder die geofysisch onderzoek wil laten uitvoeren of zelf wil uitvoeren moet eerst goed nadenken over bovenstaande zaken. Uiteindelijk kan met dergelijke gegevens een afweging gemaakt worden over het soort techniek of combinatie van technieken, meetdichtheid en meetsnelheid. Of misschien moet in sommige gevallen worden afgezien van het inzetten van de technieken omdat bij voorbaat duidelijk is dat het weinig aanvullende of nuttige informatie zal opleveren.

Getracht is zoveel mogelijk van bovenstaande zaken schematisch weer te geven op een zodanige manier dat de belangrijkste aspecten die van invloed kunnen zijn op het resultaten worden afgewogen en meegenomen. Er is voor gekozen om niet alle mogelijke facetten die een rol spelen bij het inzetten van de technieken mee te nemen in het schema, dit zou daardoor veel te complex worden om nog te hanteren.

Het interpreteren van de uiteindelijke resultaten dient met grote zorg te gebeuren. De verschillende geofysische sensoren produceren een ongelooflijk grote hoeveelheid data die al dan niet automatisch wordt verwerkt tot een kaartbeeld. Hoewel data steeds meer automatisch wordt verwerkt, blijft het noodzakelijk met een kritische blik naar de resultaten te blijven kijken. Beoordeelt moet worden deze automatisch gegenereerde resultaten inderdaad een reëel beeld geven van verontreinigingen of verstoringen in de ondergrond. Het is daarom belangrijk dat de persoon die de interpretatie uitvoert alle benodigde kennis van de locatie heeft en inzicht heeft in hoe de verontreiniging of verstoringen die gerelateerd worden aan bodemverontreiniging voor zal komen in de bodem en hoe hij dit moet filteren uit de verkregen data.

8.2 Geofysisch onderzoek

8.2.1 Keuze techniek

De keuze van de juiste techniek(en) wordt bepaald door een aantal factoren. Deze factoren zijn in te delen in een tweetal categorieën:

- Omstandigheden van de locatie (bodemopbouw, geohydrologie, oppervlakte, begroeiing)
- Karakteristieken van de verwachte verontreiniging of verstoringen (diepte, materiaal, afmetingen)

Op basis hiervan kan doormiddel van een eliminatieproces (de niet-geschikte technieken schrappen) één of een combinatie van technieken worden gekozen die het meest geschikt is of de meest zinvolle informatie kan opleveren. Nu de technieken, omstandigheden en karakteristieken vastgesteld zijn kan worden bepaald wat de meetstrategie wordt, denk hierbij aan raaiafstand, meetsnelheid en bijzonderheden waarop gelet moet worden bij de interpretatie van de gegevens.

De geschiktheid van een groot aantal technieken op basis van de bovenstaande categorie-indeling is weergegeven in bijlage b. De schema's dienen in samenhang met elkaar te worden gebruikt om tot een geschikte techniekkeuze te komen.

8.2.2 Vaststellen meetstrategie

Na het kiezen van de juiste techniek dient een meetstrategie te worden vastgesteld. Hierbij spelen de locatiespecifieke omstandigheden, zoals beschreven in paragraaf 7.3 en weergegeven in bijlage b, een belangrijke rol. Bijlage b biedt een handvat voor het bepalen van de meetstrategie.

8.3 Aanvullend veldwerk

Na uitvoering van het geofysisch onderzoek dient een boorplan voor 'traditioneel' boorwerk te worden opgesteld. Het aanvullende veldwerk heeft als doel om aan te tonen óf en in welke mate er verontreiniging aanwezig is op plaatsen die op basis van de resultaten van de geofysische metingen als verdacht zijn aangemerkt. De hoeveelheid boringen die geplaatst moeten worden zijn in dit onderzoek op circa 40 % van de reguliere inspanning gehouden, ongeacht de resultaten van het geofysisch onderzoek. Het aantal is op basis van kosteneffectiviteit gekozen. Kijken we puur naar kwaliteit dan zal uiteindelijk de bodemadviseur niet vooraf, maar na uitvoering van het geofysisch onderzoek een boorplan en het precieze aantal boorpunten vaststellen, met bijvoorbeeld als vuistregel circa 40 % van de reguliere inspanning. Uitgangspunt blijft echter dat er aanzienlijk minder boringen nodig zijn om alle verdachte deellocaties te onderzoeken.



Grondwater

In dit onderzoek is de nadruk gelegd op het opsporen van dempingen en verstoringen in de grond. De gedachte hierachter is dat op grootschalige locaties vaker een immobiele grondverontreiniging dan een mobiele grondwaterverontreiniging wordt aangetroffen. Indien er wel sprake is van een grondwaterverontreiniging is deze vaak te relateren aan een verontreiniging in de grond. Het opsporen van de bron in de grond is zo een geval zeer doeltreffend.

In het geval van MOB Veldhuizen is echter een grondwaterverontreiniging aangetroffen zonder dat een bron is gevonden (ook in een later uitgevoerd nader onderzoek buiten dit kader is geen bron gevonden). Het is daarom aan te bevelen om, in tegenstelling tot de in dit project gehanteerde strategie van 40 %, in het vervolg voor het aantal peilbuizen de NEN 5740 te blijven volgen. Hierdoor blijft het onderzoek naar grondwater kwalitatief beter of in ieder geval gelijk aan de NEN 5740.

9 Samenvatting en conclusies

In opdracht van het SKB is door Tauw in samenwerking met Medusa Explorations BV in de periode van september 2007 tot maart 2008 met behulp van een statistische benadering een vergelijking tussen twee onderzoeksstrategieën voor grootschalig bodemonderzoek uitgevoerd.

Het doel van deze vergelijking is om aan te tonen dat een onderzoek waarbij geofysische meetmethoden worden ingezet voorafgaand aan een beperkt regulier booronderzoek kwalitatief beter of gelijkwaardig is ten opzicht van de vingerende norm (NEN 5740). Beter wordt in dit geval gekwalificeerd als doeltreffender in het opsporen van verontreinigingen of dempingen. De vergelijking heeft betrekking op een drietal grootschalige locaties in het landelijke gebied. De locaties betroffen:

- Beekhuizerzand (Harderwijk): 20 ha van een stuifzandgebied dat wordt gebruikt als militair oefenterrein
- A4 Delft-Schiedam: Grondlichaam dat in de jaren '70 als voorbelasting is aangebracht voor de aan te leggen snelweg tussen Delft en Schiedam
- MOB Veldhuizen (Loenen (Gld.)): Deze locatie betreft een voormalig magazijnencomplex van defensie. Op de locatie staan een groot aantal loodsen waar materieel en voorraden werden opgeslagen

Op deze locaties zijn metingen uitgevoerd met geofysische sensoren (groundtracer en Medusa-sensor). De metingen zijn rijdend uitgevoerd met behulp van een quad (vierwiel motorvoertuig). Doormiddel van dGPS zijn de coördinaten van de metingen vastgelegd. Op basis van de resultaten van de metingen zijn op de meest verdachte plekken boringen gezet, waarbij een intensiteit is aangehouden van 40 % van het door de NEN 5740 grootschalig onverdacht voorgeschreven aantal.

De uiteindelijke resultaten zijn op basis van het aantal zintuiglijke waarnemingen en chemische verontreinigingen statistisch vergeleken met een verkennend onderzoek volgens de reguliere methode. Voor de vergelijking is gebruik gemaakt van de Chi-kwadraat toets¹⁴ Voor elke locatie zijn vier vergelijkingen gemaakt:

- Zintuiglijke waarnemingen (absoluut aantal)
- Zintuiglijke waarnemingen (opgeschaald op basis van mate van voorkomen: licht -> sterk)
- Analytische resultaten (absoluut aantal)
- Analytische resultaten (opgeschaald naar ernst)

¹⁴ De Chi-kwadraattoets voor homogeniteit toetst of de twee steekproeven uit een zelfde populatie zouden kunnen komen

Resultaat

Uit de statistische vergelijking komt per locatie het volgende resultaat naar voren

- Beekhuizerzand: gelijkwaardig op alle onderdelen
- A4 Delft - Schiedam: Geofysische methode (spoor 2) beter op alle onderdelen
- MOB Veldhuizen: Geofysische methode beter op zintuiglijk gebied, reguliere methode (spoor 1) beter op analytisch gebied

Conclusies en aanbevelingen

In dit project is getracht aan te tonen dat een onderzoek volgens het zogenaamde 'spoor 2' beter werkt dan de reguliere methode voor bodemonderzoek naar grootschalig onverdachte locaties. In dat opzicht is het project grotendeels geslaagd. Uit de verschillende vergelijkingen is gebleken dat overall de methode gelijkwaardig is en in sommige gevallen beduidend beter is wat betreft het opsporen van voor het landelijk gebied kenmerkende verontreinigingen. Op zintuiglijk gebied is er namelijk met behulp van de geofysische methode meer aangetoond. Verontreinigingen in het landelijk gebied zijn namelijk in veel gevallen te relateren aan dempingen of andere bodemvreemd materiaal. De methode blijkt het beste te werken indien lijnvormige of (grotere) vlakvormige objecten of verstoringen opgespoord dienen te worden. De methode werkt minder goed bij puntvormige bronnen, deze zijn te klein qua oppervlak waardoor ze bij de analyse van meetgegevens vaak niet opvallen.

In het ene geval dat er met behulp van de reguliere methode wel beter is gescoord was er sprake van een grondwaterverontreiniging zonder aantoonbare bron in de grond die voor de score doorslaggevend was. Op basis van deze conclusie wordt er aanbevolen om in het vervolg bij geofysisch onderzoek de intensiteit van het grondwater onderzoek doormiddel van peilbuizen gelijk te houden aan de voorschriften van de NEN 5740. De nadruk bij de geofysische screening ligt namelijk op het opsporen van bronnen van verontreiniging in de grond in de vorm van verstoringen of dempingen. Een grondwaterverontreiniging zonder duidelijke bron in de grond is op basis van geofysica niet altijd goed op te sporen (afhankelijk van het soort verontreiniging en de ingezette techniek).

Bijlage

a

Statistische methodiek

Onderstaand wordt de gehanteerde statistische methodiek uitgelegd.

Binominale verdeling

Het aantal boorpunten waar een zintuiglijke of analytische verontreiniging is aangetoond volgt een binominale verdeling (succes of geen succes). Voorafgaand aan de toekenning van scores volgens de in 3.3.1 genoemde waardering wordt eerst de gemiddelde trefkans, variantie en standaardafwijking volgens de binominale verdeling bepaald. Dit geeft een eerste indruk van eventuele significante verschillen.

De formules hiervoor zijn.

- Verwachtingswaarde $E(k) = n \times \pi$
- Variantie $Var(k) = n \times \pi \times (1 - \pi)$
- Standaarddeviatie $\sigma_k = \sqrt{Var(k)}$

n = aantal waarnemingen, π = kans op succes

Chi-kwadraat toets¹⁵

Om aan te tonen of het ene onderzoeksspoor significant beter of slechter is ten opzichte van het andere wordt een statistische toets gebruikt. De keuze van de juiste toets is hierbij belangrijk. Er is besloten om in tegenstelling tot het projectvoorstel niet de T-Toets te gebruiken maar de Chi-kwadraat (X^2) toets. De reden hiervoor is dat een T-Toets eigenlijk niet geschikt is voor de dataset zoals die verkregen wordt bij het toekennen van scores. Een T-toets kan alleen worden toegepast bij relatief kleine steekproeven die bij benadering normaal verdeeld zijn. De dataset zoals die verkregen wordt bij een verkennend onderzoek bestaat (in de meeste gevallen) voor zowel de zintuiglijke als analytische parameters voor een groot deel uit nullen (geen resultaat, niks aangetroffen). Er is dus geen sprake van een normale verdeling. Door het toekennen van een score aan een "succes" is er ook geen sprake meer van een binominale verdeling.

De Chi-kwadraat toets voldoet wel aan de juiste randvoorwaarden die passen bij de verkregen datasets. De Chi-kwadraat toets voor homogeniteit toetst of de twee steekproeven uit een zelfde populatie zouden kunnen komen. Hiervoor worden de frequenties van waarnemingen (aantal verontreinigde boorpunten of de score die vastgesteld is) van de twee steekproeven in een tabel gezet. Vervolgens wordt op basis van deze tabel een tweede tabel afgeleid met de theoretische frequenties die men zou verwachten indien de twee steekproeven uit een enkele populatie komen en daadwerkelijk gelijk zijn aan elkaar (gelijke trefkans bij beide sporen). Hieronder zijn voorbeelden van deze twee tabellen weergegeven voor de meest simpele variant van de Chi-kwadraat toets met 1 vrijheidsgraad.

¹⁵ bron: Statistiek om mee te werken. Dhr A Buijs 1998

Tabel 18 Opbouw Chi-kwadraat tabel waargenomen frequenties (O_i)

			Totaal
Steekproef 1	Frequentie A	Frequentie B	A + B
Steekproef 2	Frequentie C	Frequentie D	C + D
Totaal	A + C	B + D	A + B + C + D

Tabel 19 Opbouw Chi-kwadraat tabel theoretische frequenties (E_i)

			Totaal
Steekproef 1	$(A + C) \times (A + B) / (A+B+C+D)$	$(B + D) \times (A + B) / (A+B+C+D)$	A + B
Steekproef 2	$(A + C) \times (C + D) / (A+B+C+D)$	$(B + D) \times (C + D) / (A+B+C+D)$	C + D
Totaal	A + C	B + D	A + B + C + D

De toetsingsgrootheid wordt omschreven als:

$$X^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Hierbij is O_i de waargenomen frequentie en E_i de theoretische frequentie.

Hiermee kan X^2 berekend worden. Nu de uitkomst van de toets bekend is moet bepaald worden bij welke verzameling waarden van X^2 de nul-hypothese verworpen dient te worden, hiervoor worden het aantal vrijheidsgraden en het kritieke gebied bepaald. Het kritiek gebied is de verzameling uitkomsten voor X^2 waarbij de nul-hypothese verworpen dient te worden.

Het aantal vrijheidsgraden bij de Chi-kwadraat toets wordt als volgt omschreven:

$$v = (n-1) \times (m-1)$$

hierin is n het aantal keuzemogelijkheden bij de eerste indeling en m is het aantal keuze mogelijkheden bij de twee indeling (in het voorbeeld hierboven hebben n en m een waarde van 2 en is het aantal vrijheidsgraden dus 1.

Voorbeeld:

Er wordt onderzocht of senioren (50+) significant vaker tegen de euro zijn dan mensen onder de 50 jaar. De hypothese is: H_0 = er is homogeniteit (geen verschil).

De waargenomen frequenties zijn als volgt:

	Ouder dan 50	Jonger dan 50	Totaal
Voor de Euro	8	10	18
Tegen de Euro	18	7	25
Totaal	26	17	43

Hieruit volgen de volgende theoretische frequenties:

	Ouder dan 50	Jonger dan 50	Totaal
Voor de Euro	10,8	7,12	18
Tegen de Euro	15,12	9,88	25
Totaal	26	17	43

Uit de toetsingsgrootheid volgt voor X^2 een waarde van 3,29

De grenswaarde van het kritieke gebied bij 1 vrijheidsgraad en α 0,05 bedraagt volgens de tabel van de X^2 -kansverdeling: $g_{0,95} = 3,84$. Het kritieke gebied is dus $Z = \{x \mid X > 3,84\}$. De gevonden waarde ligt onder de grenswaarde dus de 0-hypothese is aangenomen, het verschil in waarnemingen is hier niet significant.


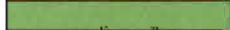
Het overschrijdingsgebied wordt gedefinieerd door de (rechter)grenswaarde g bij kans α op een overschrijding van de eerste orde. De waarde valt af te lezen uit de tabel met de standaard Chi-kwadraat verdeling. Het overschrijdingsgebied wordt dus gedefinieerd door $Z = \{ X \mid X > g_{1-\alpha} \}$. Voor α wordt in dit onderzoek standaard 0,05 gekozen. Een hypothese wordt dus aangenomen indien de uitkomst van X^2 kleiner is dan $g_{1-\alpha}$ en verworpen indien deze groter is.

Bijlage

b

Schema's techniekeuze

Geschiktheid geofysische technieken			Diepte van objecten, verstoringen of gelaagdheden	Geofysische techniek										
				Magnetometer	Metaaldetector	Conductivity		Electrische weerstand	Grondradar				Radiometrie (FSA)	
				b.v. Gemsys GSM-19 Overhauser walking gradiënt	b.v. Geonics EM61	b.v. Geonics EM38	b.v. Geonics EM31	b.v. AGI Supersting	750 Mhz antenne	500 mhz antenne	300 mhz antenne	150 mhz antenne	b.v. Medusa-detector	
gelaagdheden/geologische opbouw			< 0.5 meter											
			0.5-3 meter											
			> 3 meter											
objecten > 1 meter doorsnede of concentrateis aan objecten	metaal	ijzer	< 0.5 meter											
			0.5-3 meter											
			> 3 meter											
	overig	< 0.5 meter												
		0.5-3 meter												
		> 3 meter												
	niet metaal		< 0.5 meter											
			0.5-3 meter											
			> 3 meter											
objecten < 1 meter doorsnede individueel, kabels en leidingen, tanks, bommen etc.	metaal	ijzer	< 0.5 meter											
			0.5-3 meter											
			> 3 meter											
	overig	< 0.5 meter												
		0.5-3 meter												
		> 3 meter												
	niet metaal		< 0.5 meter											
			0.5-3 meter											
			> 3 meter											
Grondwaterspiegels			< 0.5 meter											
			0.5-3 meter											
			> 3 meter											
Verontreining			< 0.5 meter											
			0.5-3 meter											
			> 3 meter											
zoet-zoutwater overgangen			< 0.5 meter											
			0.5-3 meter											
			> 3 meter											
holtes			< 0.5 meter											
			0.5-3 meter											
			> 3 meter											
Archeologie: vuurplaatsen			< 0.5 meter											
			0.5-3 meter											
			> 3 meter											

 Geen geschikte geofysische techniek voor gekozen toepassing
 Mogelijk geschikte geofysische techniek voor gekozen toepassing

Locatiespecifieke omstandigheden

Locatiespecifieke omstandigheden		Geofysische techniek									
		Magnetometer	Metaaldetector	Conductivity		Electrische weerstand	Grondradar				Radiometrie (FSA)
		b.v. Gemsys GSM-19 Overhauser walking gradiënt	b.v. Geonics EM61	b.v. Geonics EM38	b.v. Geonics EM31	b.v. AGI Supersting	750 Mhz antenne	500 mhz antenne	300 mhz antenne	150 mhz antenne	b.v. Medusa-detector
Survey-methode	Statische meting										
	Manborne (lopend)										
	Car- Quadborne (rijdend)										
	Airborne (vliegend)										
bodemopbouw en geohydrologie	Veen										
	klei										
	zand										
	rots										
	zout grondwater										
	zoet grondwater										
terreinsituatie	waterverzadigd										
	onbegroeid										
	gras										
	lage vegetatie										
	bomen										
	asfalt verharding										
	klinker verharding										
	stedelijkgebied (veel kabels en leidingen en andere verstoringen)										
Oppervlakte	< 1 Ha										
	1-10 ha										
	> 100 ha										
Minimale raaiafstand	afhankelijk van grootte object	$\approx 0,5 * \text{diepte} * \text{objectgrootte}$									

 belemmeringen
 Geen belemmeringen

Bijlage

C

Projectvoorstel

Toepassing geofysische technieken bij grootschalige terreinen

**SKB Tender maart 2007
Technologie projecten in het onderdeel
'Bewezen technieken'**

Projectvoorstel

18 juli 2007



Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Probleemstelling en knelpunten.....	5
1.2	Consortiumleden en wijze van samenwerking.....	6
2	Plan van Aanpak	9
2.1	Toelichting op gekozen techniek / methode.....	9
2.1.1	Onderzoekshypothese	12
2.1.2	Verwacht eindresultaat	12
2.1.3	Waarde van de techniek voor andere locaties.....	13
3	Onderzoeksopzet	15
3.1	Zandlichaam A4 Delft-Schiedam	15
3.2	MOB Veldhuizen	17
3.3	Beekhuizerzand	19
3.4	Statistische vergelijking.....	21
3.5	Populatie	23
3.6	Hypothese.....	24
3.7	Succes?	25
3.8	Kennisoverdracht.....	25
4	Planning en kwaliteitsborging	27
4.1	Planning.....	27
4.2	Kwaliteitsborging.....	28
5	Kosten en financiering	31
5.1	Financiering per partij	32

Bijlage(n)

1. Verklaringen consortiumleden

1 Inleiding

In het landelijke gebied vinden regelmatig onderzoeken plaats van grote, relatief onverdachte terreindelen. Conform de huidige protocollen worden deze gebieden intensief onderzocht op basis van de NEN 5740 onverdacht strategie in combinatie met een vooronderzoek conform de NVN 5725. Door de statistische aanpak wordt in veel gevallen relatief veel onderzoek verricht op terreindelen die de achtergrondwaardekwaliteit bezitten. Echter worden door de beperkte omvang of vorm juist de dempingen en stortgaten gemist met het reguliere onderzoek.

1.1 Probleemstelling en knelpunten

Voor grote relatief onverdachte locaties is het van belang een goede staffel in de onderzoeksintensiteit te vinden om vast te stellen of er op de locatie daadwerkelijk bodemverontreiniging aanwezig is. Zeker bij natuur en/of landbouwgronden blijkt dat de reguliere methode niet het gewenste resultaat oplevert. In deze gebieden zijn verontreinigingen geconcentreerd in puinwegen, dempingen en (illegale) stortjes. Door de beperkte omvang van deze verontreinigingen worden ze vaak met reguliere onderzoeksmethoden over het hoofd gezien. De aard van deze verontreinigingen maakt dat ze bij regulier vooronderzoek vaak niet opgemerkt worden doordat ze nergens geregistreerd staan. Daarnaast wordt relatief veel onderzoek verricht in gebieden waar geen sprake is van bodemverontreiniging.

Door gebruik te maken van gevestigde geofysische onderzoekstechnieken zoals grondradar, groundtracer medusasensor of EM-61 bestaat de mogelijkheid om tegen beperktere kosten een kwalitatief beter onderzoek uit te voeren. Op dit moment is er bij de grootgrondbezitters echter nog onvoldoende draagvlak om te kiezen voor deze alternatieve onderzoeksopzet. Bij met name overdrachtssituaties wordt onderzoek met behulp van geofysische onderzoekstechnieken veelal niet geaccepteerd. Een daadwerkelijke statistische onderbouwing voor deze methoden kan de acceptatie van de methodiek verbeteren.

Daarnaast zien wij dat er steeds meer aandacht is voor veldscreeningstechnieken, vanuit Amerika komt de TRIAD approach overwaaien en binnen NEN/CEN/ISO wordt gesproken over onderzoek naar standaardisatie van dergelijke technieken. In Nederland wordt ook al gesproken over het opnemen van onder andere grondradartechnieken in de NPR 5741 (Bodem: boorsystemen en monsterneming). Ook binnen SKB gaan de eerste verkenningen lopen omtrent veldscreeningstechnieken.

Doel van het project en beoogd resultaat

Het doel van het project is door middel van statistische onderbouwing aan te tonen dat er met behulp van geofysische technieken een kwalitatief beter onderzoek uitgevoerd wordt dan wanneer er volgens de reguliere protocollen wordt gewerkt. Daarnaast is het doel om draagvlak te creëren bij onder andere grootgrondbezitters in Nederland voor deze alternatieve onderzoeksopzet.

Het beoogde resultaat is aantonen dat door gebruik te maken van geofysische opsporingstechnieken bij grootschalige onverdachte locaties (*in het vervolg genoemd als geofysisch onderzoek*) er een kwalitatief beter onderzoek ligt. Hiervoor is de statistische onderbouwing van de uitgevoerde werkzaamheden noodzakelijk. Zodra statistisch is aangetoond dat geofysisch onderzoek kwalitatief beter (en goedkoper) uitgevoerd kan worden in het landelijk gebied, wordt door middel van publicaties en presentaties draagvlak gecreëerd voor het inzetten van geofysische onderzoekstechnieken bij grootschalig onverdachte locaties. Om dit te bewerkstelligen zal er tevens een generieke methodiek worden opgesteld voor geofysisch onderzoek. Een generieke methodiek faciliteert de inzet van geofysisch onderzoek bij grootschalig onverdachte locaties.

Op dit moment wordt er gewerkt aan een concept voor de aanpassing van de NEN 5740. De verwachting is echter dat de definitieve aanpassing van de NEN 5740 tot na het nieuwe besluit bodemkwaliteit gaat duren. Indien resultaten tijdig beschikbaar zijn, zal met de NEN contact opgenomen worden over mogelijkheden tot inpassing van deze techniek in de NEN 5740 grootschalig onverdacht strategie voor bodemonderzoek.

1.2 Consortiumleden en wijze van samenwerking

De relevante stakeholders bij het probleem zijn vooral de grootgrondbezitters in Nederland. Hierbij kan gedacht worden aan Defensie die oude oefenterreinen verkoopt, Rijkswaterstaat die grote stukken grond aankoopt voor de aanleg of verbreding van snelwegen of Staatsbosbeheer die landelijk gebied wil herontwikkelen tot natuur. In eerste instantie is ervoor gekozen om het voorstel te richten op overdrachtssituaties bij gelijkblijvende of toekomstig minder gevoelige functies. In deze situatie worden er namelijk geen strengere eisen gesteld aan de kwaliteit van de bodem. Ten einde een draagvlak te creëren onder grootgrondbezitters is een consortium opgesteld van de volgende bedrijven:

- Tauw bv (pervoerder)
- Medusa Explorations bv (Geofysisch onderzoeksbureau)
- Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouw (RWS)
- Dienst Landelijk Gebied (DLG)
- Dienst Vastgoed Defensie directie Noord (DVD)

Binnen het consortium is Tauw de penvoerder en spil binnen het proces. Medusa Explorations BV wordt ingezet voor de uitvoering van de geofysische onderzoeken. Zij zijn een hierin gespecialiseerd onafhankelijk bureau. Daarnaast worden de heren E. Slob en B. Hoogendoorn van de TU Delft ingezet als onafhankelijk deskundige bij het geofysisch onderzoek. De heren Slob en Hoogendoorn zijn verbonden aan de faculteit Geotechnologie van de TU in Delft en hebben ruime ervaring op het gebied van Geofysische technieken.

Voor de gekozen locaties zijn zowel de probleemhebber (DVD, RWS en DLG) als de partijen die belang hebben bij de uitvoering van een gedegen onderzoek betrokken. Zowel Staatsbosbeheer als de gemeente Harderwijk maken daarom onderdeel uit van de klankbordgroep voor dit project. Daarnaast wordt een locatie van Rijkswaterstaat onderzocht welke al in hun bezit is. Wel is het zo dat de consortiumleden (met uitzondering van Tauw en Medusa) niet bij alle demonstratieprojecten zijn betrokken.

Tauw heeft een ruime ervaring met geofysische onderzoeksprojecten in het landelijk gebied. In de meeste gevallen betrof dit projecten met DLG waarbij daadwerkelijk naar dempingen of stortjes gezocht is. Medusa Explorations is een bedrijf dat is gespecialiseerd in geofysische opsporingsmethoden en verzorgt de technische kant van het onderzoek. Medusa Explorations heeft sterke banden met de Rijksuniversiteit Groningen en de NGD van het Kernfysisch Versneller Instituut.

2 Plan van Aanpak

2.1 Toelichting op gekozen techniek / methode

Met behulp van geofysische onderzoekstechnieken kan de ondergrond in kaart worden gebracht zonder te boren of te graven. De onderzoeksdiepte varieert hierbij van enkele centimeters tot vele kilometers afhankelijk van de gekozen techniek. Geofysisch onderzoek levert snel een continu beeld op van de ondergrond op een niet destructieve wijze. De technieken werken volgens het principe dat objecten of (geologische) overgangen in de ondergrond direct of indirect het door de meetapparatuur uitgezonden signaal of de van nature aanwezige (magnetische en radioactieve) velden beïnvloeden. Dit wordt gemeten door de geofysische meetapparatuur.

Voor dit specifieke onderzoek worden alleen die onderzoekstechnieken ingezet die mobiel zijn. Dat wil zeggen dat de metingen lopend of met behulp van een gemotoriseerd voertuig uitgevoerd kunnen worden. De gebruikte technieken zijn al gedurende een langere periode op de markt beschikbaar. In de laatste jaren is er echter een sterke efficiëntieslag gemaakt door verbeterde software en directe koppeling aan GPS. Hierdoor kunnen, in tegenstelling tot enkele jaren geleden, grote gebieden relatief snel ingemeten worden. Bij dit onderzoek worden de volgende technieken ingezet:

- Grondradar in combinatie met Groundtracer
- Magnetometer
- Medusasensor
- EM-61

Grondradar

De grondradar zendt met een hoge frequentie radiogolven uit (10 tot 1.000 MHz) en meet de echo's van de elektromagnetische puls. Op basis van de echotijden en de kennis van de grondeigenschappen worden de afstanden bepaald tussen het reflectieoppervlak en de ontvangstantenne. Hierdoor kunnen laagovergangen (klei, veen en zand) en inhomogeniteiten (puindelen, stortmateriaal) in de bodem zowel horizontaal als verticaal worden vastgesteld. Het dieptebereik varieert afhankelijk van de gebruikte frequentie van enkele dm tot maximaal 40 m -mv. Grondradar is zeer geschikt voor het opsporen van dempingen en het bepalen van bijvoorbeeld de omvang of einddiepte van een stort. Minder geschikt is deze techniek in sterk verstoorde terreinen (bijvoorbeeld gasfabrieken) of bij sterk venige of kleijige bodem.

Groundtracer

De tracer meet verschillen in de elektrische potentiaal aan het aardoppervlak. De aanwezigheid van kabels, leidingen en andere ondergrondse objecten veroorzaakt ook een kleine meetbare verstoring (circa 0,1-10 m -mv) in de van nature aanwezige elektrische potentiaalverdeling langs het aardoppervlak.

Met de tracer kan de potentiaalverdeling langs het maaiveld door middel van een speciale sensor snel en nauwkeurig worden bepaald (circa 50 metingen / seconde bij 16-bits resolutie), waarna de metingen digitaal worden opgeslagen. De tracermetingen geven de laterale ligging van ondergrondse objecten aan met een nauwkeurigheid van enkele cm.

Deze meting is geschikt voor het opsporen van kabels en leidingen maar ook kunnen er sterke verstoringen in de bodem mee gedetecteerd worden.

Magnetometer

De magnetometer is op de eerste plaats bedoeld om verstoringen in een magnetisch veld, bijvoorbeeld het aardmagnetisch veld te meten. Versturende objecten zijn meestal van metaal, maar dit hoeft niet. Ook objecten die van een ander materiaal zijn kunnen gedetecteerd worden doordat deze een andere massa hebben dan het omliggende materiaal, aangezien elk lichaam wat massa heeft ook aantrekkingskracht heeft. Dit moet natuurlijk wel een aanzienlijk verschil hebben dan het omliggende materiaal. In het landelijk gebied kan de magnetometer gebruikt worden voor het opsporen van onder andere baksteenrestanten die in de ondergrond aanwezig zijn.

Medusa

De Medusa-techniek maakt gebruik van de natuurlijke straling die vrijkomt uit sedimenten. Het diepte bereik van de techniek is de bovenste 50 cm vanaf het oppervlak. Hierbij wordt alle vrijkomende straling gemeten. Het stralingsbeeld geeft een weergave van de aanwezige sedimenten. Ook als deze sedimenten verwerkt zijn in verhardingsmateriaal zoals bijvoorbeeld asfalt of beton.

EM-61

De EM-Methode is gebaseerd op magnetische inductie. De meetapparatuur bestaat uit twee spoelen op een bepaalde afstand van elkaar; een zend- en een ontvangstspoel. De zendspoel, waardoor een wisselstroom loopt, wekt een primair magnetisch veld op dat doordringt in de bodem. In de bodem ontstaan als gevolg hiervan inductiestromen die op hun beurt aanleiding geven tot een magneetveld, het secundaire veld welke door de ontvangstspoel wordt gemeten. Verstoringen in de bodem zorgen voor een afwijking in het secundaire veld. De EM-61 kan ingezet worden voor het opsporen van vaten, stortjes of ondergrondse tanks.

Van de betreffende geofysische methoden worden factsheets opgesteld, ook wordt in het eindrapport een toelichting op de werking van de geofysische methoden opgenomen. Hierbij worden de mogelijkheden en beperkingen van de technieken besproken, en worden, waar relevant, ook andere projecten van Tauw en of Medusa meegenomen.

Onderzoeksopzet

Om aan te tonen dat er een kwalitatief beter resultaat ontstaat wanneer er met geofysische technieken gewerkt wordt zal er met twee sporen gewerkt worden:

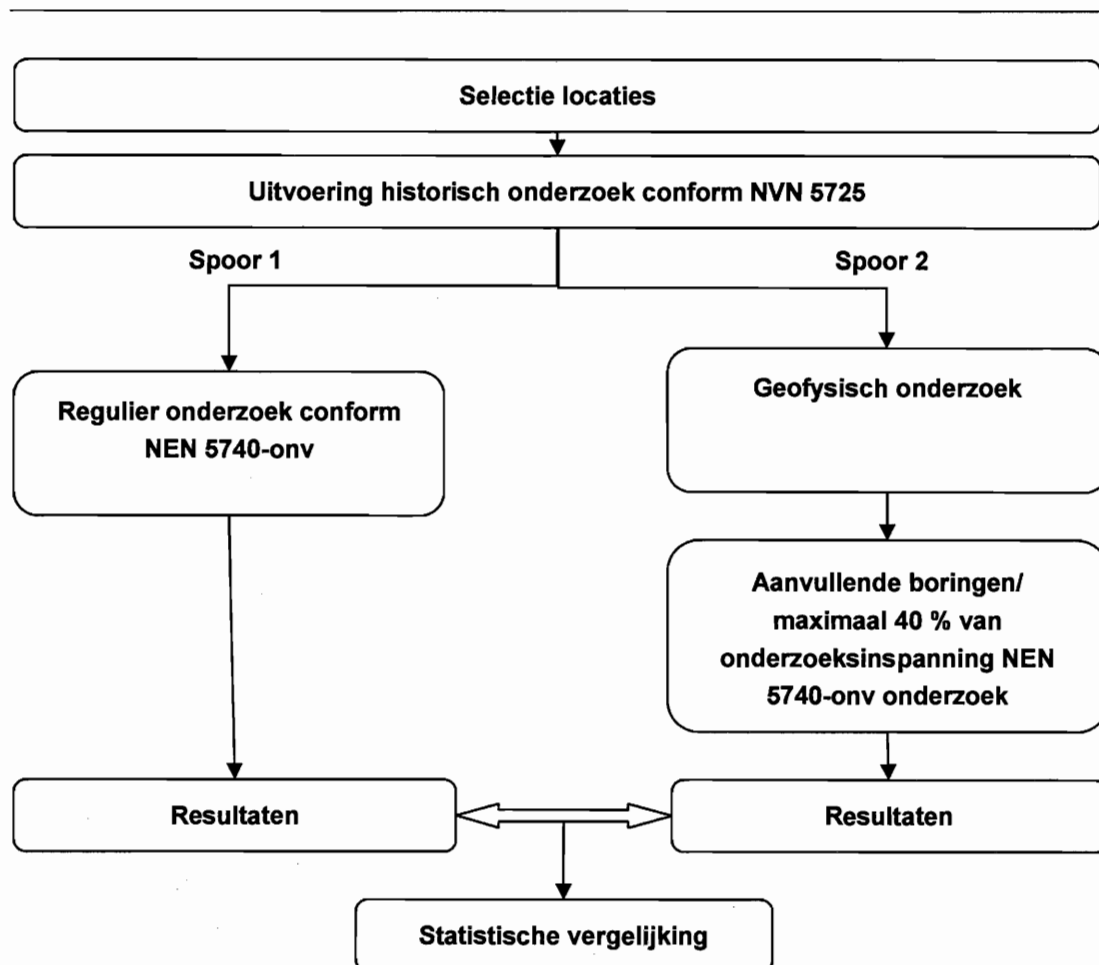
- Spoor 1: Regulier onderzoek conform de NEN 5740-grootschalig onverdacht
- Spoor 2: Geofysisch onderzoek in combinatie met beperkt regulier onderzoek

Om een statistische vergelijking mogelijk te maken moeten de resultaten van het reguliere onderzoek vergelijkbaar zijn met de resultaten van het geofysische onderzoek. Dit houdt in dat de methodiek voor zowel het reguliere als het geofysische onderzoek zoveel mogelijk identiek zijn. Daarom is er gekozen voor de volgende onderzoeksopzet:

1. Regulier vooronderzoek conform NVN 5725 welke éénmalig uitgevoerd wordt. Dit onderzoek wordt voor beide sporen gebruikt
2. Regulier verkennend bodemonderzoek conform de NEN 5740-grootschalig onverdacht voor de gehele locatie op basis van het vooronderzoek. Hierbij wordt getracht verontreinigingen met behulp van het vooronderzoek en veldwaarnemingen zo goed mogelijk te traceren
3. Geofysisch onderzoek waarbij de resultaten van het vooronderzoek worden meegenomen in de geofysische onderzoeksstrategie
4. Aanvullend bodemonderzoek naar aanleiding van de resultaten van het geofysische onderzoek. Hierbij wordt maximaal 40 % van de door de NEN-onverdachte strategie voorgeschreven boringen geplaatst en analyses uitgevoerd
5. De resultaten van het bodemonderzoek conform NEN 5740 onverdacht, worden vergeleken met de resultaten van het bodemonderzoek op basis van het geofysische onderzoek. Hierbij wordt gekeken naar zowel zintuiglijke als analytische verontreinigingen. Door middel van een statistische onderbouwing zal gekeken worden of er een significant verschil tussen de twee onderzoeken aanwezig is

Voor een staffel van maximaal 40 % van de oorspronkelijke onderzoeksopzet is gekozen doordat uit praktijkervaring blijkt dat tot 40 % van de oorspronkelijke boorintensiteit het geofysische onderzoek sterk kosteneffectief is.

In figuur 2.1 staat een overzicht weergegeven van de onderzoeksopzet.



Figuur 2.1 Onderzoeksopzet SKB-voorstel per locatie

2.1.1 Onderzoekshypothese

De hypothese is dat bij grootschalig onverdachte locaties geofysisch onderzoek een kwalitatief beter resultaat oplevert dan regulier onderzoek conform de NEN 5740.

2.1.2 Verwacht eindresultaat

Het verwachte eindresultaat is een statistische onderbouwing waarmee aangetoond wordt dat er door het uitvoeren van een geofysisch onderzoek een beter en goedkoper resultaat wordt geleverd.

De voorgestelde techniek wordt gezien als zeer geschikt voor de grotere relatief onverdachte gebieden. Door middel van dit project willen wij aantonen dat onderzoek in deze gebieden niet alleen kwalitatief beter, maar ook efficiënter en goedkoper uitgevoerd kan worden. Zodoende is het idee dat bij grootschalige overdrachten de inzet van geofysische technieken standaard wordt meegenomen bij het voortraject.

2.1.3 Waarde van de techniek voor andere locaties

Indien in de toekomst draagvlak bestaat voor onderzoek van grootschalige locaties met behulp van geofysische technieken hebben veel publieke en private partijen hier baat bij. De betreffende partijen hebben voor hetzelfde of minder geld een kwalitatief beter onderzoek. 'Verspilling' van geld aan onderzoek naar maagdelijke gronden zal hierdoor beperkt blijven.

Voor toekomstige locaties kan gedacht worden aan trajecten voor nieuwe spoorlijnen, verbreding van snelwegen, verkavelingsprojecten of overdracht van terreinen naar bijvoorbeeld natuurorganisaties.



3 Onderzoeksopzet

In paragraaf 2.1 is de algemene onderzoeksopzet uitgezet. Ten einde een goede dekking van de verschillende grootschalig onverdachte gebieden te realiseren is er voor gekozen de onderzoeksopzet bij drie type locaties in te zetten. Dit betreft:

- Bosrijk gebied welke in de toekomst voor woningbouw gebruikt gaat worden
- Oefenterrein welke tevens als recreatiegebied in gebruik is
- Braakliggend gebied welke in de toekomst als snelweg in gebruik genomen gaat worden

Bij iedere locatie zijn specifieke problemen die spelen, wel is het zo dat het allen relatief onverdachte gebieden betreft. Om tot een uniforme verhouding te komen is een locatiegrootte van circa 20 hectare aangehouden.

Onderstaand is de onderzoeksopzet per locaties verder uitgewerkt:

3.1 Zandlichaam A4 Delft-Schiedam

Rijkswaterstaat is van plan om in 2009 te beginnen met de aanleg van het laatste stuk A4 tussen Delft en Schiedam. De plannen voor de verlenging van dit stuk snelweg stonden lange tijd in de ijskast door procedurele vertragingen.

Uiteindelijk is besloten om de snelweg verdiept aan te leggen. In de jaren zeventig is op het tracé al een verhoogd zandbed aangebracht in afwachting van de nieuw aan te leggen snelweg. Het betreffende zandbed zal bij de uiteindelijk aan te leggen snelweg in zijn geheel verwijderd en elders worden hergebruikt. Daarnaast zal een deel van de oorspronkelijke bodem eveneens worden afgevoerd.

In het huidige zandbed zijn enkele kleine verstoringen aangetroffen. De verwachting is dat onder het momenteel aanwezige zandbed wel dempingen aanwezig zijn. Deze zijn door de aanwezigheid van het zandbed echter moeilijk te lokaliseren. Bij de uitvoering van dit project kan de opdrachtgever tegen onverwachte kosten aanlopen door de aanwezigheid van deze dempingen.

Onderzoeksopzet

De betreffende locatie is al conform de NEN 5740 onverdacht strategie onderzocht door een adviesbureau die niet binnen het consortium valt. Zodoende zal voor deze locatie alleen spoor 2 gevolgd worden (zie figuur 2.1 paragraaf 2). Daarnaast is ervoor gekozen om 20 hectare (aaneengesloten) van dit terrein mee te nemen in dit onderzoek. Het exacte deel zal nog nader bepaald worden.

Meerwaarde

Afgezien van het op dit moment aanwezige zandlichaam is het terrein illustratief voor de problemen waar Rijkswaterstaat maar ook gemeenten tegenaan lopen bij de aanleg en verbreding van (snel)wegen en de ontwikkeling van nieuwe woon- of bedrijfsterrinen in Nederland.

Tabel 3.1 Locatie A4

Naam locatie:	Totale oppervlakte locatie:	
A4 Delf-Schiedam	Circa 35 ha	
Huidig gebruik:	Toekomstig gebruik:	
Braakliggend	Verkeer (snelweg)	
Geschiedenis:	Bodemopbouw:	
Begin jaren '70 is er aansta te gemaakt om de A4 van Delft naar Schiedam te verlengen. Ter voorbereiding is er toendertijd een grondlichaam aangelegd voor het verhoogd aanleggen van de snelweg. Het grondlichaam is 2-4 meter dik. De snelweg is tot op heden nooit gerealiseerd. De huidige plannen zijn om de snelweg verdiept aan te leggen. Hiervoor dient tot 4 m -mv (origineel maaiveld) ontgraven te worden.	Grondwater stromingsrichting	Noord Oost
	Stijghoogte van het grondwater	-3,00 m +NAP
	Ligging t.o.v.	12.509 m
	GrondwaterBeschermingsgebied	
	Maaiveld hoogte	-2,9 m +NAP
	Diepte freatisch grondwater	< 1,2 m -mv
	Geologie	Klei / veen lagen op fijn zand, soms lemig
	Dikte van de Deklaag	15-20m
	Zout of brak grondwater	Nee
	Specifieke problematiek:	In te zetten technieken:
Er is weinig bekend van de bodem onder het grondlichaam, hier kunnen zich bijvoorbeeld sloten en gedempte sloten bevinden of zelfs funderingen van oude gebouwen.	<ul style="list-style-type: none"> • Grondradar i.c.m. groundtracer • Medusa-sensor 	



Figuur 3.1 Zandlichaam A4 Delft - Schiedam

3.2 MOB Veldhuizen

MOB Veldhuizen is gelegen tussen Loenen en Apeldoorn en heeft een oppervlak van circa 13 hectare. Het terrein bestaat uit zowel verharde gedeeltes, bebouwing als stukken bos. DLG heeft de uitdaging om op dit terrein een nieuwe bestemming te zoeken en te realiseren. De gedachten gaan uit naar wonen en recreatie of een combinatie daarvan.

Op het terrein is al historisch onderzoek verricht en aanvullend bodemonderzoek. Vanuit daar is naar verhouding weinig vervuiling aangetroffen. De verwachting van DLG is dat er mogelijk meer aan de hand is dan op basis van dat onderzoek is gebleken.

Onderzoeksopzet

De betreffende locatie is al onderzocht door een adviesbureau die niet binnen het consortium valt. Zodoende zal voor deze locatie alleen spoor 2 gevolgd worden (zie figuur 2.1 paragraaf 2). Mocht tijdens het uitvoeren van het veldwerk blijken dat er onvoldoende dekking kan worden gerealiseerd door de aanwezigheid van sterk beboste delen van de locatie, dan zal DLG een ander terrein inbrengen voor de proef.

Meerwaarde

Dienst Landelijk Gebied heeft tot taak om zowel ruilverkaveling als gebiedsontwikkeling uit te voeren in opdracht van het ministerie van LNV. Dienst Landelijk Gebied begeleidt de overdracht en ontwikkeling van veelal grootschalige terreinen in het landelijk gebied die overgedragen worden aan derden zoals staatsbosbeheer. Zeker bij natuurontwikkeling komt men tijdens de uitvoering alsnog verontreiniging in de vorm van bijvoorbeeld dempingen tegen. Deze locatie is illustratief voor een locatie waar het vermoeden bestaat dat er meer aan de hand kan zijn, maar dat er niets door regulier onderzoek is aangetoond.

Tabel 3.2 Locatie Veldhuizen

Naam locatie:	Totale oppervlakte locatie:	
Veldhuizen	Circa 13 ha	
Huidig gebruik:	Toekomstig gebruik:	
(Voormalig) militair mobilisatiecomplex	Wonen in het groen/recreatie	
Geschiedenis:	Bodemopbouw:	
Het mobilisatiecomplex is een van de vele complexen in Nederland die tijdens de koude oorlog is opgericht. Het complex omvat een groot aantal loodsen gelegen tussen bosjes en houtwallen. In de loodsen werd onder andere rijdend materieel gestald (vrachtwagens, tanks).	Grondwater stromingsrichting	Oost Noord Oost
	Stijghoogte van het grondwater	15,44 m +NAP
	Ligging t.o.v.	3.013 m
	GrondwaterBeschermingsgebied	
	Maaiveld hoogte	16,7 m +NAP
	Diepte freatisch grondwater	1,2 - 2,5 m -mv
	Geologie	Grof zand
	Dikte van de Deklaag	2-5m
	Zout of brak grondwater	Nee
Specifieke problematiek:	In te zetten technieken:	
Op basis van het historisch gebruik is de locatie verdacht op onder andere olie, batterijen en ander stortmateriaal.	<ul style="list-style-type: none"> • Grondradar i.c.m. groundtracer • Medusa-sensor • Magentometer 	



Figuur 3.2 Locatie Veldhuizen

3.3 Beekhuizerzand

Beekhuizerzand is een militair oefenterrein van circa 350 hectare gelegen naast de A28 en het spoor aan de zuidoost zijde van de stad Harderwijk. Het militaire oefenterrein bestaat voor een deel uit stuifzanden, samen met bos- en heidegebieden. Het terrein staat bekend als een OT waarbij zowel oefeningen met voertuigen als met manschappen plaatsvonden. Het oefenterrein is in gebruik door Defensie maar in eigendom van de gemeente Harderwijk. Defensie wil het terrein de komende jaren in gebruik houden. Vanuit haar verantwoordelijkheid rond mogelijke historische bodemverontreinigingen in dit dynamische gebied heeft Defensie de intentie om meer inzicht te verkrijgen in de historische belasting van het terrein. Uiteraard gerelateerd aan Defensiegebruik.

In het verleden zijn op het OT Beekhuizerzand bodembedreigende activiteiten uitgevoerd. In het terrein worden plaatselijk batterijen aangetroffen. Deze bevinden zich in een groot aantal op een relatief klein oppervlak in relatie tot het totale terrein. Deze batterijenstortjes kunnen in sommige gevallen grond- en grondwaterverontreiniging veroorzaken. Doordat het Beekhuizerzand een stuifzand gebied is komen de stortjes sporadisch aan het oppervlak. Eerder regulier onderzoek heeft echter nooit de betreffende stortjes kunnen lokaliseren.

Omdat het onderzoek van de gehele 350 hectare conform de NEN5740 onverdacht een zeer prijzige opgave blijkt is er voor gekozen om één aaneengesloten gebied van 20 hectare te nemen als pilot voor een eventueel vervolgonderzoek. Juist dat deel van de locatie dat niet bebost is, is hiervoor uitgekozen. Dit heeft puur met de positionering van de boringen en de geofysische techniek te maken. Er zal in het bijzonder aandacht worden besteed aan het voorkomen van batterijenstortjes en dummie-mijnen. Onder begroeiing werkt de GPS van zowel de boorploeg als de geofysische techniek niet naar behoren. Hierdoor is het moeilijk de locaties aangegeven met de geofysische techniek terug te vinden.

Meerwaarde

Het terrein is qua problematiek illustratief voor enkele terreinen van Defensie. Indien de voorgestelde strategie blijkt te werken kan deze strategie voor meerdere terreinen (ook andere dan Defensie terreinen) worden gekozen.

Tabel 3.3 Beekhuizerzand

Naam locatie:	Totale oppervlakte locatie:	
Beekhuizerzand	circa 333 ha	
Huidig gebruik:	Toekomstig gebruik:	
Militair oefenterrein en dagrecreatie	Ongewijzigd	
Geschiedenis:	Bodemopbouw:	
Beekhuizerzand is in eigendom van de gemeente Harderwijk maar wordt gehuurd door Defensie. Tijdens de eerste wereldoorlog werd er een interneringskamp voor Belgische soldaten geopend. Het stuifzand (circa 45 ha) is in 2004-2005 hersteld. Het terrein wordt periodiek gebruikt als oefenterrein, in de weekeinden is het opengesteld voor recreatie.	Grondwater stromingsrichting	Noord West Noord
	Stijghoogte van het grondwater	3,08 m +NAP
	Ligging t.o.v.	In GrondwaterBescheringsgebied
	GrondwaterBescheringsgebied	
	Maaiveld hoogte	7,6 m +NAP
	Diepte freatisch grondwater	4,0 - 10 m -mv
	Geologie	Leemarm fijn zand
	Dikte van de Deklaag	4-10m
	Zout of brak grondwater	Nee
Specifieke problematiek:	In te zetten technieken:	
Er worden nog regelmatig (kleine) batterijstortjes aangetroffen onder het stuifzand. Tevens kunnen er nog dummie-mijnen (mijnen zonder explosieve lading) liggen.	<ul style="list-style-type: none"> • -Medusa-sensor • -Grondradar i.c.m. groundtracer • -EM-61 	



Figuur 3.3 Locatie Beekhuizerzand

3.4 Statistische vergelijking

Per locatie wordt een statistische vergelijking uitgevoerd. Doordat bij spoor 2 met slechts maximaal 40 % van de boorintensiteit van spoor 1 gewerkt wordt, worden er twee ongelijke populaties vergeleken.

De vergelijking vindt per locatie plaats op basis van:

1. Zintuiglijke waarnemingen
2. Milieuhygiënische analyseresultaten

Zintuiglijke waarnemingen

De in het veld waargenomen bodemvreemde materialen worden geschaald volgens de volgende methode:

1. Aantal locaties waar verontreiniging is aangetoond
2. Aantal verontreinigingen aangetoond

Bij het aantal locaties waar verontreiniging aangetoond is wordt eerst de gemiddelde trefkans en de standaarddeviatie berekend via een binominale verdeling. Vervolgens worden de populaties vergeleken met behulp van een T-toets.

Bij het aantal verontreinigde locaties, die aangetoond zijn kan een verdere onderverdeling worden gemaakt. Gedachte hierachter is dat bijvoorbeeld een ernstige olieverontreiniging een grotere impact heeft als een kleine bijmenging met puin. In de onderstaande tabel staan de waarden toegekend voor de zintuiglijke verontreinigingen:

Tabel 3.4 Staffel voor bodemverontreinigingen

	Puin	Olieplaatjes	Oliefilm	Metaal	Kooldeeltjes	Overig
Weinig	1	1	2	1	1	1
Matig	1	2	3	2	2	2
Veel	2	3	3	3	3	3

Op basis van de bovenstaande tabel wordt een totaalscore toegekend aan de twee sporen voor het aantal verontreinigingen aangetoond en het aantal locaties waar verontreiniging is aangetoond. Deze totaalscore wordt statistisch vergeleken met behulp van de T-toets.

Milieuhygiënische analyseresultaten

Op basis van de NEN 5740 grootschalig onverdacht strategie worden monsters geanalyseerd voor het NEN-5740 pakket. Dit omvat de volgende stoffen: Arseen (As), Cadmium (Cd), Chroom (Cr), Koper (Cu), Kwik (Hg), Lood (Pb), Nikkel (Ni), Zink (Zn), Minerale Olie, EOX en PAK(10).

In de praktijk worden op basis van de veldwaarnemingen (meng)monsters ingezet van de bodem voor het NEN-pakket. Inzet van (meng)monsters is normaliter gebaseerd op ruimtelijke indeling en zintuiglijke waarnemingen. Om een zo goed mogelijke vergelijking te krijgen tussen spoor 1 en spoor 2 zal hierbij een vergelijkbare staffel aangehouden moeten worden. Hierbij is het reguliere onderzoek leidend. De verhouding van monsters van boven- en ondergrond wordt voor zowel spoor 1 als spoor 2 gelijk gehouden. Wel is het zo dat de analyses maximaal worden ingezet om verontreiniging aan te tonen. Uitgangspunt hierbij is dat er slechts één analyse per boring meetelt voor de statistieken.

Net als bij de zintuiglijke waarnemingen is er ook bij de milieuhygiënische analyseresultaten een onderverdeling gemaakt. De gedachte hierachter is dat een verontreiniging boven de interventiewaarde een grotere impact geeft dan een verontreiniging boven de streefwaarde. Voor de milieuhygiënische analyseresultaten wordt zodoende de volgende staffel aangehouden:



Tabel 3.5 Staffel voor milieuhygiënische analyseresultaten

	Score
> Streefwaarde	1
> Toetsingswaarde	5
> Interventiewaarde	10

Voor EOX bestaan geen toetsings- of interventiewaarden. Zodoende wordt hiervoor 3,0 mg/kg d.s. aangehouden als toetsingswaarde (gehalte waarbij uitsplitsing gewenst is), en 6,0 mg/kg d.s. als interventiewaarde.

Net als bij de veldwaarnemingen wordt ook voor de milieuhygiënische analyseresultaten een totaalscore toegekend op basis van tabel 3.3 aan de twee sporen. Deze totaalscore wordt statistisch vergeleken met behulp van de T-toets.

Om een volledig overzicht te krijgen en eventuele statistische onderbouwing verder uit te werken worden alle resultaten in een correlatiematrix ingevoerd. Op basis van deze matrix kunnen aanvullend conclusies getrokken worden.

3.5 Populatie

Per locatie wordt een gebied van circa 20 hectare aangehouden. Conform de NEN 5740 grootschalig onverdacht dienen de volgende werkzaamheden uitgevoerd te worden:

Tabel 3.6 Werkzaamheden per locatie

Omschrijving	Aantal
Oppervlakte onderzoekslocatie in m ²	200.000
Veldwerk	
Boring tot 0,5 m -mv	74
Boring tot 2 m -mv	10
Boring met peilbuis (3,0 m -mv)	21
Chemische analyses	
Aantal bovengrond ¹⁾	11
Aantal ondergrond ¹⁾	10
Aantal grondwater ²⁾	21

¹⁾ Lutum, organische stof, metalen (lood, zink, cadmium, koper, nikkel, arseen, kwik en chroom), EOX, PAK(10) en minerale olie (GC)

²⁾ Metalen (lood, zink, cadmium, koper, nikkel, arseen, kwik en chroom), BTEXN, CKW en minerale olie (GC)

3.6 Hypothese

De hypothese voor dit onderzoek is dat:

- De kans op het aantreffen van verontreiniging groter is wanneer er een geofysisch onderzoek in combinatie met 40 % van de boorintensiteit van een NEN5740 onverdacht strategie wordt uitgevoerd dan wanneer er alleen een NEN5740 onverdacht strategie gehanteerd wordt

In het onderzoek wordt de bovenstaande hypothese op twee manieren getoetst. Op basis van:

1. Zintuiglijke waarnemingen
2. Milieuhygiënische analyseresultaten

Zintuiglijke waarnemingen

Zintuiglijke waarnemingen zijn een maatstaf voor het voorkomen van verontreinigingen. Als er puin wordt waargenomen dan is er bijvoorbeeld een demping getraceerd. Dit puin kan dan verontreinigd zijn met bijvoorbeeld asbest. Een oliefilm is een indicatie voor het voorkomen van olie et cetera.

Gedachte hierachter is dat met behulp van geofysische methoden meer verstoringen worden waargenomen. Hierdoor zal er naar verwachting op meer plaatsen verstoringen worden waargenomen bij spoor 2 (geofysische onderzoek in combinatie met beperkt regulier onderzoek) dan bij spoor 1 (alleen regulier onderzoek).

De hypothese is zodoende:

H_0 : Aantal plaatsen verstoringen waargenomen bij spoor 2 > aantal plaatsen verstoringen waargenomen bij spoor 1

H_a : Aantal plaatsen verstoringen waargenomen bij spoor 2 \leq aantal plaatsen verstoringen waargenomen bij spoor 1

Naast het aantal plaatsen waar verstoring wordt waargenomen is ook de aard van de waargenomen verstoring van invloed. Als er zintuiglijk een sterke oliefilm in de bodem wordt waargenomen zal de kans op de aanwezigheid van een analytische verontreiniging vele malen groter zijn dan wanneer er alleen een lichte bijmenging met puin wordt geconstateerd. Zodoende is in het projectvoorstel een staffel opgesteld waarbij er een puntenindeling is gegeven voor de verschillende zintuiglijke waarnemingen. Deze puntenindeling is gebaseerd op de kans dat aan een zintuiglijke verontreiniging ook daadwerkelijk een analytische verontreiniging is gekoppeld. Hypothese bij deze vergelijking is:

H_0 : Totaalscore verontreiniging bij spoor 2 > totaalscore verontreinigingen bij spoor 1

H_a : Totaalscore verontreiniging bij spoor 2 \leq totaalscore verontreinigingen bij spoor 1

Milieuhygiënische analyseresultaten

Op basis van de zintuiglijke waarnemingen en geografische verspreiding worden grond- en grondwatermonsters ingezet voor een milieuhygiënische analyse op het NEN5740-pakket. De analytische resultaten van het grond- en grondwateronderzoek worden vergeleken om te zien of er een significant verschil is tussen spoor 1 en spoor 2. Hierbij wordt, net als bij de zintuiglijke waarnemingen, een staffel aangehouden om een puntentotaal toe te kennen aan de mate van analytische verontreiniging. Het is immers erg lastig om de absolute getallen met elkaar te vergelijken. De hypothese voor deze vergelijking is:

H_0 : Totaalscore verontreiniging bij spoor 2 > totaalscore verontreinigingen bij spoor 1

H_a : Totaalscore verontreiniging bij spoor 2 \leq totaalscore verontreinigingen bij spoor 1

3.7 Succes?

Op basis van de huidige onderzoeksinspanning gaan wij uit van een volledig succesvolle proef als bij alle locaties een significant verschil in het aantonen van verontreiniging (zowel zintuiglijk als analytisch) aangetoond kan worden tussen het reguliere onderzoek en het onderzoek met de geofysische techniek (dus dat bij alle locaties de hypothese wordt aangenomen).

Wij gaan uit van een gedeeltelijk succes als we voor 1 locatie een significant verschil kunnen aantonen. Ook gaan wij uit van gedeeltelijk succes als voor de locaties tezamen één van de volgende punten wordt aangetoond bij spoor 2.

1. Statistisch significant meer zintuiglijk verontreinigde locaties (H_0 aantal plaatsen aangenomen)
2. Statistisch significant meer zintuiglijke verontreinigingen (H_0 zintuiglijke verontreiniging aangenomen)
3. Statistisch significant analytisch meer verontreinigingen (H_0 analytische verontreiniging aangenomen)

Het project wordt als niet succesvol gezien als:

1. Statistisch aangetoond wordt dat het reguliere onderzoek (spoor 1) voor één van de bovenstaande drie punten significant beter werkt bij alle locaties
2. Er geen significant verschil is tussen de twee sporen indien alle data van de drie locaties samen wordt vergeleken

3.8 Kennisoverdracht

Indien het project geheel of gedeeltelijk succesvol blijkt dan worden de resultaten in een presentatie op een landelijk bodem congres kenbaar gemaakt. Daarnaast wordt een publicatie voorgedragen voor een landelijk blad op het gebied van bodem. Met de NEN zal tevens contact opgenomen worden voor mogelijke implementatie in de NEN 5740. Dit is deels afhankelijk van de planning van de nieuwe NEN-normen voor 5740.

Ook indien de proef niet succesvol is er gestreefd wordt naar landelijke bekendheid door middel van een presentatie op een congres of publicatie in een blad.

4 Planning en kwaliteitsborging

4.1 Planning

Op dit moment zijn er geen belemmeringen voor het direct opstarten van de werkzaamheden bij de betreffende locaties. Per locatie is circa tien weken doorlooptijd nodig voor het reguliere onderzoek (spoor 1) en het geofysische onderzoek in combinatie met beperkt regulier onderzoek (spoor 2).

Ten einde geen irreële planning op te stellen wordt uitgegaan van het uitvoeren van de onderzoeken na elkaar in plaats van gelijktijdig.

Zodoende is de volgende planning opgesteld:

Tabel 4.1 Planning

Juli

Week 28: Vooroverleg consortiumleden

Week 31: Officiële opdracht

Week 31: Opzetten onderzoeksmethodiek geofysische methoden

Augustus

Week 31: Vooronderzoek locatie DVD

Week 32: Overleg onderzoeksmethodiek geofysische methoden met TU Delft

Week 32: Uitvoering regulier veldwerk (spoor 1) locatie DVD

Week 32: Voorbereiding locatie DLG

Week 33: Uitvoering geofysisch onderzoek (spoor 2) locatie DVD

Week 34: Uitvoering aanvullend veldwerk (spoor 2) locatie DVD

Week 34: Resultaten regulier veldwerk (spoor 1) locatie DVD

Week 35: Uitvoering geofysisch onderzoek (spoor 2) locatie DLG

Week 35: Voorbereiding locatie RWS

September

Week 36: Resultaten aanvullend veldwerk (spoor 2) locatie DVD

Week 36: Uitvoering aanvullend veldwerk (spoor 2) locatie DLG

Week 37: **Tussenproduct 1**: Resultaten bevindingen locatie DVD

Week 37: Uitvoering geofysisch onderzoek (spoor 2) locatie RWS

Week 39: Resultaten aanvullend veldwerk (spoor 2) locatie DLG

Oktober

Week 40: **Tussenproduct 2:** Resultaten bevindingen locatie DLG

Week 40: Uitvoering aanvullend veldwerk (spoor 2) locatie RWS

Week 44: Resultaten aanvullend veldwerk (spoor 2) locatie RWS

November

Week 46: **Tussenproduct 3:** Resultaten bevindingen locatie RWS

Week 47: Bespreking resultaten met TU Delft

December

Week 51: **Eindrapportage** alle locaties en statistische onderbouwing

4.2 Kwaliteitsborging

Een goede vergelijking komt het beste tot stand wanneer er zo objectief mogelijk wordt gewerkt. Daarom is er voor gekozen om het project in stukken te knippen waarbij verschillende personen een deel van het project op zich nemen. Om de objectiviteit zo veel mogelijk te waarborgen wordt per locatie volgens onderstaand schema gewerkt:

1. Uitvoering vooronderzoek conform NVN 5725 door persoon A. Deze levert de gegevens aan persoon B (verantwoordelijk voor uitvoering spoor 1) en persoon C (verantwoordelijk voor uitvoering spoor 2). Hierna heeft persoon A geen verder contact meer met persoon B en C
2. Geofysisch onderzoek wordt uitgevoerd door Medusa onder begeleiding van persoon C
3. Veldwerk spoor 1 wordt uitgevoerd door boorploeg A onder begeleiding van persoon B. Persoon B zet analyses in op basis van meest verdachte punten
4. Medusa levert resultaten aan persoon C
5. Veldwerk spoor 2 wordt uitgevoerd onder begeleiding van persoon C
6. Persoon B geeft staffel voor inzet analyses door aan persoon C
7. Persoon C zet analyses in op basis van meest verdachte punten
8. Resultaten worden met elkaar vergeleken

Naast de bovenstaande methodiek worden de volgende punten meegenomen ten einde de kwaliteit te waarborgen:

- Alles wordt door hetzelfde bureau uitgevoerd, dit zorgt voor uniformiteit in boorbeschrijvingen en beter te vergelijken. Uitzondering hierop is het wegtracé van de A4, hier is al een NEN-onderzoek uitgevoerd
- Twee verschillende boorploegen erheen sturen met dezelfde instructies en hetzelfde ervaringsniveau, ploegen komen van verschillende vestigingen
- Spoor 1 en 2 zoveel mogelijk gescheiden houden om te voorkomen dat er (bewust of onbewust) informatie wordt meegenomen uit het andere onderzoek
- Afwijkingen bij inzetten analyses verantwoorden
- In plaats van één locatie twee keer onderzoek, in totaal drie locaties twee keer onderzoek en de resultaten samenvoegen. Zodoende een betrouwbaarder grootschalig beeld, minder locatie afhankelijk

- Om schade aan kabels en leidingen te voorkomen zal Tauw voorafgaand aan het veldwerk een KLIC-melding doen
- De veldwerkzaamheden worden uitgevoerd volgens BRL SIKB 2000 inclusief de van toepassing zijnde onderliggende protocollen voor het veldwerk bij milieuhygiënisch bodemonderzoek
- Het NEN-EN-ISO 17025 geaccrediteerde milieulaboratorium van AL-West zal de analyses uitvoeren

5 Kosten en financiering

Voor dit SKB-voorstel zijn twee type kosten te onderscheiden. Algemene kosten voor voorbereiding, overleg en statistische onderbouwing en kosten voor de drie afzonderlijke locaties. De totale kosten voor het onderzoek bedragen EUR 81.500,00 exclusief BTW.

Onderstaand staan de kosten verder uitgewerkt:

Tabel.5.1 Kosten project (kosten exclusief BTW)

Voorbereiding en vooroverleggen	EUR 9.500,00
Vooroverleggen met consortiumleden en SKB Tauw (totaal 4 x)*	EUR 3.000,00
Vooroverleg Medusa bij SKB (1x)	- 1.500,00
Opzetten standaard voor geofysisch onderzoek (Medusa)	- 5.000,00
Onderzoek locatie DVD	EUR 25.750,00
Historisch onderzoek conform NVN 5725 (Tauw)	EUR 1.250,00
Regulier veldwerk conform NEN 5740 grootschalig onverdacht (20 hectare, Tauw) incl. rapport	- 11.550,00
Geofysisch onderzoek 20 hectare (Medusa)	- 6.500,00
Aanvullend veldwerk en analyses Geofysisch onderzoek (Tauw) incl. rapport	- 4.950,00
Statistisch onderbouwing inclusief rapport	- 1.500,00
Onderzoek locatie DLG	EUR 11.500,00
Geofysisch onderzoek 14 hectare (Medusa)	EUR 4.700,00
Aanvullend veldwerk en analyses Geofysisch onderzoek (Tauw) incl. rapport	- 4.300,00
Statistisch onderbouwing inclusief rapport	- 2.500,00
Onderzoek locatie RWS	EUR 15.000,00
Geofysisch onderzoek 20 hectare (Medusa)	EUR 5.500,00
Aanvullend veldwerk en analyses Geofysisch onderzoek (Tauw) incl. rapport	- 7.000,00
Statistische onderbouwing inclusief rapport	- 2.500,00
Definitieve rapportage	EUR 19.750,00
Totaal rapportage (Tauw)	EUR 6.000,00
Coördinatie, 5 % van totale projectsom (Tauw)	- 3.750,00
Kennisuitwisseling bij congres/vakpublicatie	- 6.000,00
Externe deskundige	- 2.000,00
Tussenoverleg	- 2.000,00
Totaal	EUR 81.500,00

* Deels al uitgevoerd

5.1 Financiering per partij

Niet alle partijen dragen evenredig bij aan de kosten van het project. Rijkswaterstaat heeft bijvoorbeeld al een verkennend onderzoek voor hun locatie laten uitvoeren. De kosten hiervoor zijn niet meegenomen in dit overzicht. Zodoende komen wij op een volgende financiering per partij aan:

Tabel 5.2 Financiering per partij

Partij	Kosten		Bijdrage	
Tauw bv	EUR	58.500,00	EUR	6.000,00
Medusa Explorations bv	-	23.000,00	-	5.000,00
Dienst Vastgoed Defensie			-	15.000,00
Dienst Landelijk Gebied			-	5.000,00
Rijkswaterstaat			-	7.000,00
SKB			-	43.500,00
Totaal	EUR	81.500,00	EUR	81.500,00