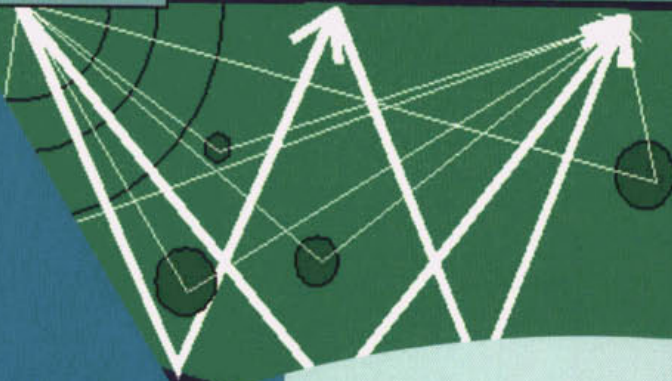


Inventarisatie  
meetmethoden zetsteeninspectie

bron ontvang



2000

12

## Inventarisatie meetmethoden zetsteeninspectie

2000

12

Arthur van Schendelstraat 816  
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht  
Telefoon 030 232 11 99  
Telefax 030 232 17 66  
E-Mail [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)  
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-  
overzicht van de STOWA kunt u  
uitsluitend bestellen bij:  
*Hageman Fulfilment*  
Postbus 1110  
3330 CC Zwijndrecht  
tel. 078 - 629 33 32  
fax 078 - 610 42 87  
e-mail: [hff@wxs.nl](mailto:hff@wxs.nl)  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.  
ISBN 90.5773.092.8

## TEN GELEIDE

Doel van dit project is het ontwikkelen van een methodiek voor de inspectie en het onderhoud van zetsteen bekledingen. Het beoordelen van de sterkte van licht gekantelde zetsteenconstructies is lastig; het identificeren van caviteiten ook. Het verwijderen en herzetten van zetsteen wordt een probleem in het licht van de eisen van de ARBO-wetgeving. Het ontwikkelen van een praktische oplossing hiervoor vraagt aandacht.

Na een evaluatie van diverse technieken is grondradar als meest kansrijke techniek naar voren gekomen. Een groot voordeel van grondradar is dat deze relatief simpel in de praktijk toepasbaar is. De antenne hoeft niet in fysiek contact gebracht te worden met de dijkbekleding.

Helaas kan op dit moment geen concrete verwachting worden vermeld over de te bereiken resultaten. Van grondradar is het bekend dat er regelmatig problemen zijn in een omgeving met zout water en dat de doordringbaarheid van de golven in klei te wensen overlaat. Lage frequenties dringen weliswaar beter door dan de hoge, maar daar staat tegenover dat het beeld dan minder gedetailleerd is.

Dit onderzoek maakt deel uit van het STOWA onderzoeksprogramma waterkeringen en is voor 50% gefinancierd door de waterschappen en voor de andere helft door de Dienst Weg en Waterbouw van Rijkswaterstaat. De werkzaamheden zijn onder auspiciën van Haskoning BV uitgevoerd door TNO TPD (Technisch Fysische Dienst), met als projectleider prof.dr.ir. G. Blacquièrè.

De begeleidingscommissie bestaat uit: de heer B. van Liere –voorzitter – (Waterschap De Zeeuwse Eilanden), dr.ir. L.H. Cox (RWS-RIKZ), de heer D. van Eerde (Waterschap Noordoostpolder), dhr. J.C.P. Johanson (RWS-DWW), ir. E. Steenbergen (Hoogheemraadschap van de Alblasterwaard en de Vijfheerenlanden), ing. S.J.P. Vereeke (RWS-Directie Zeeland), de heer A. Zijlstra (Waterschap Friesland), ir. M.P. Bakker (DHV, technisch-inhoudelijk begeleider) en ir. L.R. Wentholt (STOWA).

## **Management Summary**

The dike authorities need information about the condition of the dike and in particular of the top layer (stones / concrete), the porous material underneath, the geo-textile layer and the deepest clay layer. (In some cases the top layer is directly on top of the clay).

The present method of obtaining information is destructive: the dike is trenched at regular intervals. Obviously, it would be easier to get the information in a non-destructive way.

After having evaluated several techniques, the ground penetrating radar (GPR) was found to be the most favourable technique. GPR is easy to apply in practice. The antenna doesn't need to be in physical contact with the dike, which is a major advantage.

Unfortunately, it is impossible to predict the actual results that will be obtained with GPR. In general GPR has problems in area's with salt water. Also clay layers are difficult to penetrate by GPR. Lower frequencies do penetrate better than higher frequencies. However, only at the cost of detail.

Trials are required in order to determine which information can be obtained with GPR. On the basis of the trial results further decisions can be made. The feasibility of a project around practical trials is being investigated.

## **Management samenvatting**

De dijkbeheerders hebben behoefte aan informatie over het gehele 'pakket' van de dijkbekleding bestaande uit een toplaag (zetsteen, betontegels), een uitvullaag van poreus materiaal, geotextiel, en een kleilaag.

In sommige gevallen ontbreken poreus materiaal en/of geotextiel.

De huidige methode om informatie te verkrijgen, gebaseerd op het graven van sleuven, is destructief. Het zou gemakkelijker zijn om over een niet-destructieve manier te kunnen beschikken.

Na een evaluatie van diverse technieken is grondradar als meest kansrijke techniek naar voren gekomen. Een groot voordeel van grondradar is dat deze relatief simpel in de praktijk toepasbaar is. De antenne hoeft niet in fysiek contact gebracht te worden met de dijkbekleding.

Helaas kan op dit moment geen concrete verwachting worden vermeld over de te bereiken resultaten. Van grondradar is het bekend dat er regelmatig problemen zijn in een omgeving met zout water en dat de doordringbaarheid van de golven in klei te wensen overlaat.

Lage frequenties dringen weliswaar beter door dan de hoge, maar daar staat tegenover dat het beeld dan minder gedetailleerd is.

Er zijn nu praktijkproeven nodig om na te gaan welke informatie nu precies met de grondradar verkregen kan worden. Pas daarna kunnen conclusies over de eventuele toepasbaarheid getrokken worden.

De haalbaarheid van een project waarin deze praktijkproeven centraal staan wordt onderzocht.

## 1 Inleiding

Naar aanleiding van een opdracht van de STOWA (stichting toegepast onderzoek waterbeheer) heeft Haskoning aan TNO-TPD opdracht gegeven voor het verrichten van een kort verkennend onderzoek op het gebied van zetsteeninspectie.

Na een inventarisatie van de informatiebehoefte bij de dijkbeheerders is nagegaan welke technieken in aanmerking komen om deze informatie in te winnen. Men kan in principe op twee fundamenteel verschillende manieren informatie met betrekking tot zetsteen dijkbekledingen en de onderliggende bodem trachten te vergaren: 'destructief' en 'niet-destructief'.

Destructief kan informatie verkregen worden door verwijdering van zetsteen en eventueel inspectie van de onderliggende bodem (graven en kijken en meten). Dit is de methode zoals die nu wordt toegepast. In deze rapportage gaan we daarom niet verder in op destructieve methodes.

Niet-destructief kan informatie verkregen worden door toepassing van een al dan niet penetrerende fysische meetmethode waarbij de zetsteen (in eerste instantie) ongemoeid gelaten wordt. De niet-destructieve methodes komen in dit rapport aan bod.

De resultaten van het verkennende onderzoek zijn gepresenteerd op een workshop op 18 november 1999 in Nijmegen. Middels een enquête zijn toen enkele vragen voorgelegd aan de dijkbeheerders. De vraag over de informatiebehoefte leverde geen nieuwe inzichten op: vrijwel alle beheerders gaven aan behoefte te hebben aan niet-destructieve methodes voor dijkinspectie. De resultaten voor de overige vragen (vooral die met betrekking tot kosten) zullen worden gebruikt om te komen tot een vervolgplan.

Op dit moment wordt de haalbaarheid daarvan geëvalueerd. Een vervolgplan is daarom niet opgenomen in deze rapportage.

De indeling van dit rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 komt aan de orde welke informatie van belang is voor de dijkbeheerders. Daarna, in hoofdstuk 3, zullen de diverse meetmethodes besproken worden waarbij hun (verwachte) prestaties worden afgezet tegen deze informatiebehoefte. Een overzicht hiervan is te vinden in enkele 'consumentenbond'tabellen achterin dit rapport, terwijl wat meer uitgebreide informatie over diverse meetmethodes is te vinden in de Appendix.

In hoofdstuk 4 geven we een samenvattende beschouwing over welke methode het meest kansrijk is en wat in de toekomst verwacht kan worden. We eindigen met de conclusies.

## 2 Informatiebehoefte

Een inventarisatie onder een aantal dijkbeheerders heeft een lijst met parameters opgeleverd welke tezamen een goed beeld geven van de informatiebehoefte. De parameters worden hier kort opgesomd.

- Toplaag: dikte, soortelijk gewicht, relatieve open ruimte, porositeit van het inwas materiaal, inzanding / inslibbing;
- Uitvullaag: aanwezigheid, materiaal, porositeit van materiaal, laagdikte, inslibbing, aanwezigheid van caviteiten;
- Geokunststof: aanwezigheid, intact / gescheurd, zand / kleidichtheid;
- Kleilaag: aanwezigheid, dikte, aanwezigheid caviteiten.



### 3 Niet-Destructieve Technieken

In deze paragraaf zal allereerst een kwalitatief overzicht gegeven worden van de (verwachte) mogelijkheden van enkele niet-destructieve technieken, onderverdeeld in penetrerende en niet-penetrerende technieken. Dit kwalitatieve overzicht is doelbewust beknopt gehouden; meer uitgebreide informatie over de betreffende technieken is opgenomen in de Appendix 1 "Achtergrondinformatie Technieken".

#### 3.1 Penetrerende Technieken

De penetrerende technieken waaraan gedacht kan worden zijn:

- grondradar;
- geluid, puls/echo;
- geluid, mechanische impedantie;
- passieve thermografie.

Van overige technieken als geo-electrische / elektromagnetische wordt reeds bij voorbaat verwacht dat zij niet voldoende nauwkeurige informatie kunnen opleveren, vandaar dat we ons in deze rapportage beperken tot de bovengenoemde vier technieken.

De eerste drie zouden op het te inspecteren talud bijvoorbeeld handmatig of vanaf een rijdend voertuig min of meer *in contact* met de zetsteen toegepast moeten worden. Toepassing vanuit de lucht (vliegtuig, helikopter) of vanaf het water (schip) is vanwege het vereiste (bijna) contact niet mogelijk voor deze technieken.

Dit geldt niet voor thermografie, dat wel vanaf een zekere afstand kan worden toegepast.

Samenvattend gelden voor deze technieken de volgende algemene en toepassings specifieke eigenschappen (zie voor meer detail Appendix 1).

Hoogfrequente Grondradar:

- golfverschijnsel: elektromagnetische golven ('radiogolven');
- frequentie  $F = 0.2 - 1$  GHz;
- golflengte  $\lambda_{\text{beton}} = \text{ca. } 25 - 5$  cm, in klei waarschijnlijk kleiner in zand groter;
- nauwkeurigheid laagdikte bepaling<sup>1</sup> fractie golflengte (ca.  $0.1 - 0.5 \lambda_{\text{laag}}$ );

---

<sup>1</sup> Afhankelijk contrast tussen lagen, hetgeen weer afhankelijk is van de (verschillen in) elektrische eigenschappen van de betreffende lagen.

- nauwkeurigheid parallel oppervlak: ca. afmeting antennes (ca. 25 - 5 cm);
- aankoppeling niet erg kritisch: contactloos (zwevend) of slepend (slijtlaag kunststof in contact met stenen);
- luchtspleet tussen antenne en bodem niet problematisch;
- penetratie in vochtige klei of in vochtig zout zand beperkt (300 MHz < 1 m);
- penetratie in geleidende beton, wellicht door zout en vocht in poreus beton of wellicht door metallische toeslag materialen, mogelijk ook gering;
- scannen antenne gemakkelijk;
- informatie verzamelen grote oppervlakten (km<sup>2</sup>) tijdrovend.

#### Geluid, Puls/Echo:

- golfverschijnsel: hoogfrequent geluid ('mechanische trillingen');
- frequentie  $F = 50 - 200$  kHz;
- golflengte  $\lambda_{\text{beton}} = 8 - 2$  cm, in klei en zand groter;
- nauwkeurigheid laagdikte bepaling<sup>2</sup> fractie golflengte (ca. 0.1 - 0.5  $\lambda_{\text{laag}}$ );
- nauwkeurigheid parallel oppervlak: ca. afmeting transducenten (ca. 5 cm);
- aankoppeling zeer kritisch: in contact via waterlaag, vet of dunne rubberlaag, eventueel via roltransducenten;
- luchtspleet desastreus;
- aanwezigheid lucht in de bodem, porositeit (losse uitvullaag) of caviteiten, beperkt penetratie zeer;
- scannen transducent(en) niet eenvoudig (moet namelijk gestapt: optillen, verplaatsen, neerzetten, aandrukken, meten enz. of eventueel rollend met roltransducenten);
- informatie verzamelen van grote oppervlakten (km<sup>2</sup>) zeer tijdrovend.

#### Geluid, Mechanische Impedantie:

- golfverschijnsel: (laag- tot hoogfrequent) geluid ('mechanische trillingen');
- frequentie  $F < 40$  kHz;
- golflengte  $\lambda_{\text{beton}} > 10$  cm, in klei en zand groter;
- nauwkeurigheid laagdikte bepaling<sup>3</sup> in het gunstigste geval fractie golflengte (ca. 0.1 - 0.5  $\lambda_{\text{laag}}$ );

<sup>2</sup> Afhankelijk contrast tussen lagen, hetgeen afhankelijk is van de (verschillen in) mechanische (dichtheid en elasticiteit) eigenschappen van de betreffende lagen.

<sup>3</sup> Afhankelijk contrast tussen lagen, hetgeen afhankelijk is van de (verschillen in) mechanische (dichtheid en elasticiteit) eigenschappen van de betreffende lagen. Werkt vermoedelijk alleen voor diktebepaling van de zetsteen, niet voor onderliggende lagen.

- vermoedelijk gevoeliger dan puls/echo geluid voor de aanwezigheid van caviteiten;
- aankoppeling kritisch: met piezo -transducenten in contact via dunne rubberlaag; met name impulsief met hamer of valgewicht en versnellingsopnemer(s).
- luchtspleet nog steeds desastreus;
- aanwezigheid lucht in de bodem, porositeit (losse uitvullaag) of caviteiten, beperkt penetratie zeer;
- scannen transducent(en) moet evenals bij puls/echo geluid gestapt;
- informatie verzamelen van grote oppervlakten (km<sup>2</sup>) zeer tijdrovend.

#### Passieve Thermografie

- 'golf' verschijnsel: diffusie van warmte;
- golflengte tot enkele m;
- laagdikte bepaling kwalitatief, misschien kwantitatief;
- met thermografische videotechneken warmteverschillen na/tijdens opwarmen c.q. afkoelen zichtbaar maken;
- gevoelig voor alle veranderingen van thermische geleiding in zetsteenbekleding en ondergrond (caviteiten, absorptie water etc.);
- informatie verzamelen van grote oppervlakten (km<sup>2</sup>) eenvoudig en snel.

Op basis van deze eigenschappen en de beschikbare detail-informatie (zie Appendix 1) is het in Tabel 1 weergegeven kwalitatieve overzicht voor de te verwachten prestaties van de technieken met betrekking tot de gezochte bodeminformatie samengesteld.

Zoals uit de tabel blijkt biedt grondradar vermoedelijk de beste kansen voor het vergaren van (een deel van) de gezochte informatie.

Dit is ook de mening van de dijkbeheerders zoals die naar voren is gekomen uit de enquête die tijdens de workshop op 18 november is verspreid.

### 3.2 Niet-Penetrerende Technieken

Bij niet-penetrerende technieken denken we aan technieken waarmee alleen informatie over het oppervlak van de zetsteen vergaard wordt, i.e. hoogte informatie dan wel daaraan gerelateerde informatie, waarvan verwacht mag worden dat die ook indicatief is voor hetgeen zich in de ondergrond afspeelt. De dijkbeheerders hebben middels de eerder genoemde enquête aangegeven dat technieken die alleen informatie over het oppervlak geven niet voldoen aan de eisen omtrent de informatiebehoefte. Desondanks is voor de volledigheid besloten om toch wat informatie over deze technieken te geven.

Niet-penetrerende technieken zijn bijvoorbeeld:

- fotogrammetrie (analoog of digitaal);
- laser-altimetrie; laser range finding.

De eerste twee technieken worden reeds routinematig en typisch vanuit de lucht toegepast (vliegtuig of eventueel helikopter). De laatste, meer experimentele techniek, leent zich meer voor toepassing vanaf een schip, hetgeen overigens voor de eerste twee wellicht ook mogelijk is.

Samenvattend gelden voor deze technieken de volgende algemene en toepassings specifieke eigenschappen (zie voor meer detail Appendix 1).

Fotogrammetrie:

- golfverschijnsel: elektromagnetische golven, meestal zichtbaar licht;
- nauwkeurigheid: in X en Y < 3 cm, in Z < 10 cm;
- alleen hoogte informatie oppervlak zetsteen;
- informatie over bodem onder zetsteen alleen voor zover gerelateerd aan de hoogte, i.e. verzakkingen of verschuivingen door bijvoorbeeld aanwezigheid caviteiten;
- zeer geschikt voor snel vergaren van informatie van grote oppervlakten (km<sup>2</sup>).

Laser Altimetrie en Laser Range Finding:

- golfverschijnsel: elektromagnetische golven, meestal groen of infrarood laserlicht;
- nauwkeurigheid: in X en Y < 5 cm, in Z < 10 cm;
- alleen hoogte-informatie oppervlak zetsteen;
- informatie over bodem onder zetsteen alleen voor zover gerelateerd aan de hoogte, i.e. verzakkingen of verschuivingen door bijvoorbeeld aanwezigheid caviteiten;
- geschikt voor snel vergaren informatie van grote oppervlakten (km<sup>2</sup>).

Op basis van deze eigenschappen en de beschikbare detail informatie (zie Appendix 1) is het in Tabel 2 weergegeven kwalitatieve overzicht voor de te verwachten prestaties van de technieken met betrekking tot de gezochte bodem informatie samengesteld.

Zoals uit de tabel blijkt biedt fotogrammetrie vermoedelijk nog de beste kansen voor het efficiënt detecteren van met name met caviteiten samenhangende schade (verzakkingen en verschuivingen).

## 4 Samenvattende beschouwing

De dijkbeheerders hebben behoefte aan informatie over het gehele 'pakket' van de dijkbekleding: van de toplaag via de uitvullaag en het eventueel aanwezige geotextiel tot en met de kleilaag.

Als we de destructieve methodes buiten beschouwing laten en ons concentreren op de niet-destructieve methodes, kunnen we deze verdelen in twee categorieën: penetrerend en niet-penetrerend. Ook de niet-penetrerende technieken, die dus uitsluitend informatie kunnen geven over het buitenste oppervlak van de dijkbekleding, zijn niet interessant voor de dijkbeheerders. Resteren dus de niet-destructieve, penetrerende technieken.

We kunnen nu technieken onderscheiden waarbij gebruik gemaakt wordt van de reflectie van golven - bijvoorbeeld electromagnetische golven (grondradar) of akoestische golven - en technieken die gebaseerd zijn op meer globale verschijnselen, zoals thermische (infrarood), gravimetrische (veranderingen van het zwaartekrachtsveld), geo-electrische (veranderingen in de weerstand), enz. De laatste categorie levert in het algemeen geen gedetailleerde informatie en leveren vooral kwalitatieve informatie. Voorbeeld: middels dergelijke technieken zouden caviteiten eventueel opgespoord kunnen worden, maar zij leveren geen nauwkeurige informatie over de grootte van de caviteit, of de diepte waarop deze zich bevindt.

De meest kansrijke techniek voor het niet-destructief inspecteren van dijkbekledingen is er dus één gebaseerd op de reflectie van golven. Het opwekken van akoestische golven is alleen goed mogelijk als een transducent in direct contact wordt gebracht met de dijkbekleding. Dit is een nadeel voor de grootschalige toepassing ervan. Electromagnetische golven hebben dit nadeel niet: een grondradarantenne behoeft niet in rechtstreeks contact gebracht te worden met de dijkbekleding.

Uit praktisch oogpunt verdient grondradar dus de voorkeur.

Helaas kan op dit moment geen concrete verwachting worden vermeld over de te bereiken resultaten. Van grondradar is het bekend dat er regelmatig problemen zijn in een omgeving met zout water en dat de doordringbaarheid van de golven in klei te wensen overlaat.

Lage frequenties dringen weliswaar beter door dan de hoge, maar daar staat tegenover dat het beeld dan minder gedetailleerd is.

Het is niet te verwachten dat hierin in de toekomst verbetering zal optreden door het voortschrijden van de techniek. We hebben hier immers te maken met natuurkundige wetten die de beperkingen opleggen. Wel kunnen nieuwe antennetypes, verbeterde dataprocessing en de overgang van 2-D (langs

lijnen of raaien) naar 3-D (volledige oppervlaktebedekking) tot verbeterde resultaten leiden.

Om uitsluitel te verkrijgen over de prestaties van een grondradar bij de toepassing van dijkinspectie zijn praktijkproeven noodzakelijk. Pas daarna kan zinvol gesproken worden over de informatie die een grondradar nu precies oplevert en over een eventuele routinematige toepassing ervan ten behoeve van dijkinspectie.

## **5 Conclusies**

Er is bij de dijkbeheerders behoefte aan een niet-destructieve inspectietechniek voor zetsteen, anders dan de momenteel in de huidige praktijk gehanteerde technieken (visueel en/of destructief). In een onder de dijkbeheerders verspreide enquête is een vraag met deze strekking unaniem met 'ja' beantwoord.

Om de informatie over de diverse onderdelen van de dijkbekleding (toplaag, uitvullaag, eventueel geokunststof, kleilaag) in te winnen komt vooral grondradar in aanmerking.

Er zijn nu praktijkproeven nodig om de prestaties van de grondradar te evalueren. Diverse waterschappen hebben zich reeds beschikbaar gesteld voor een dergelijk proefproject.

Op dit moment wordt de haalbaarheid voor een vervolgtraject waarbij proeven centraal staan geëvalueerd.

## 6 Referenties

- [1] CUR (1996)  
*Geofysische technieken voor grondonderzoek*  
CUR-rapport 182 Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en  
Regelgeving  
(CUR), ISBN 90 376 0039 5, pp. 167.
  
- [2] CUR/LWI (1996)  
*LWI-Rivieren, Integraal monitoringsysteem voor 3D geometrische  
informatie van derivier met behulp van sonar en remote sensing*  
CUR-rapport, LWI-Rivieren, POP1, 3D monitoring, pp. 90.
  
- [3] Heidemij Advies (1994)  
*Detectie van holten onder dijkbekledingen met behulp van  
thermografie*  
Projectnummer 634/07448, uitgevoerd door Cartoscan
  
- [4] Feijter, J.W. de, Greeuw, G., and Eikelboom, J., (1990),  
*Ground radar detection of erosion channels behind a block  
revetment*  
3rd International Conference on Ground Penetrating Radar, Denver,  
Co, May 14-18.

## **APPENDIX A   Achtergrondinformatie Technieken**

De beschrijving Het stramien voor de bespreking van de verschillende technieken is overgenomen uit het CUR-boekje "*Geofysische technieken voor grondonderzoek*" [1].

In deze appendix is niet opgenomen 'mechanische impedantie' omdat deze techniek minder kansrijk is.

Voor meer informatie over thermografie en de proeven die hiermee reeds zijn uitgevoerd wordt verwezen naar het rapport "*Detectie van holten onder dijkbekledingen met behulp van thermografie*" [3].

Ook met grondradar zijn in het verleden al diverse proeven uitgevoerd, onder meer door Geodelft en Rijkswaterstaat DWW [4].

### **Inhoud**

Penetrerend:

A1.1 Grond Radar

A1.2 Geluid, Puls/Echo

Niet-Penetrerend:

A1.4 Fotogrammetrie

A1.5 Laser Altimetrie

A1.6 Laser Range Finding



## **A1.1 Grondradar**

Navolgende informatie is met toestemming overgenomen uit het "Geofysische technieken voor grondonderzoek" [1].

Navolgende informatie is met toestemming (in aanvraag) overgenomen uit het CUR-rapport "LWI-Rivieren, Integraal monitoringsysteem voor 3D geometrische informatie van de rivier met behulp van sonar en remote sensing" [2].

Hoofdstukken met betrekking tot analoge en digitale fotogrammetrie uit LWI-rapport worden opgenomen na toestemming CUR.

### **ALGEMEEN**

Hoogfrequente grondradar (200 MHz-1 GHz) staat ook bekend als bodemradar, ground probing (of: penetrating) radar, GPR.

### **Resultaat**

Geïnterpreteerde, kwalitatieve of semi-kwantitatieve verticale doorsnede onder een meetraai.

### **Meetprincipe**

Echo's van een elektromagnetische puls worden waargenomen; met behulp van kennis van de grondeigenschappen worden de echotijden in afstanden omgerekend.

### **Uitvoering**

Met een zendantenne wordt een korte elektromagnetische puls de grond ingestuurd. De puls reflecteert deels tegen inhomogeniteiten in de ondergrond. De echo's worden met een ontvangantenne waargenomen. Terwijl zend- en ontvangantenne gezamenlijk over het maaiveld worden bewogen, worden de geregistreerde echo's afgebeeld op een reflectogram waarop horizontaal de afstand langs de raai en verticaal de echotijd staat uitgezet. Voor interpretatie in termen van diepte is kennis van de voortplantingssnelheid in de grond nodig. Deze wordt meestal verkregen uit één of meer kalibratieboringen. Ook voor de identificatie van objecten is fysieke controle altijd geboden. ASTM D4748-87 geeft een procedure voor meting van asfaltdikte.

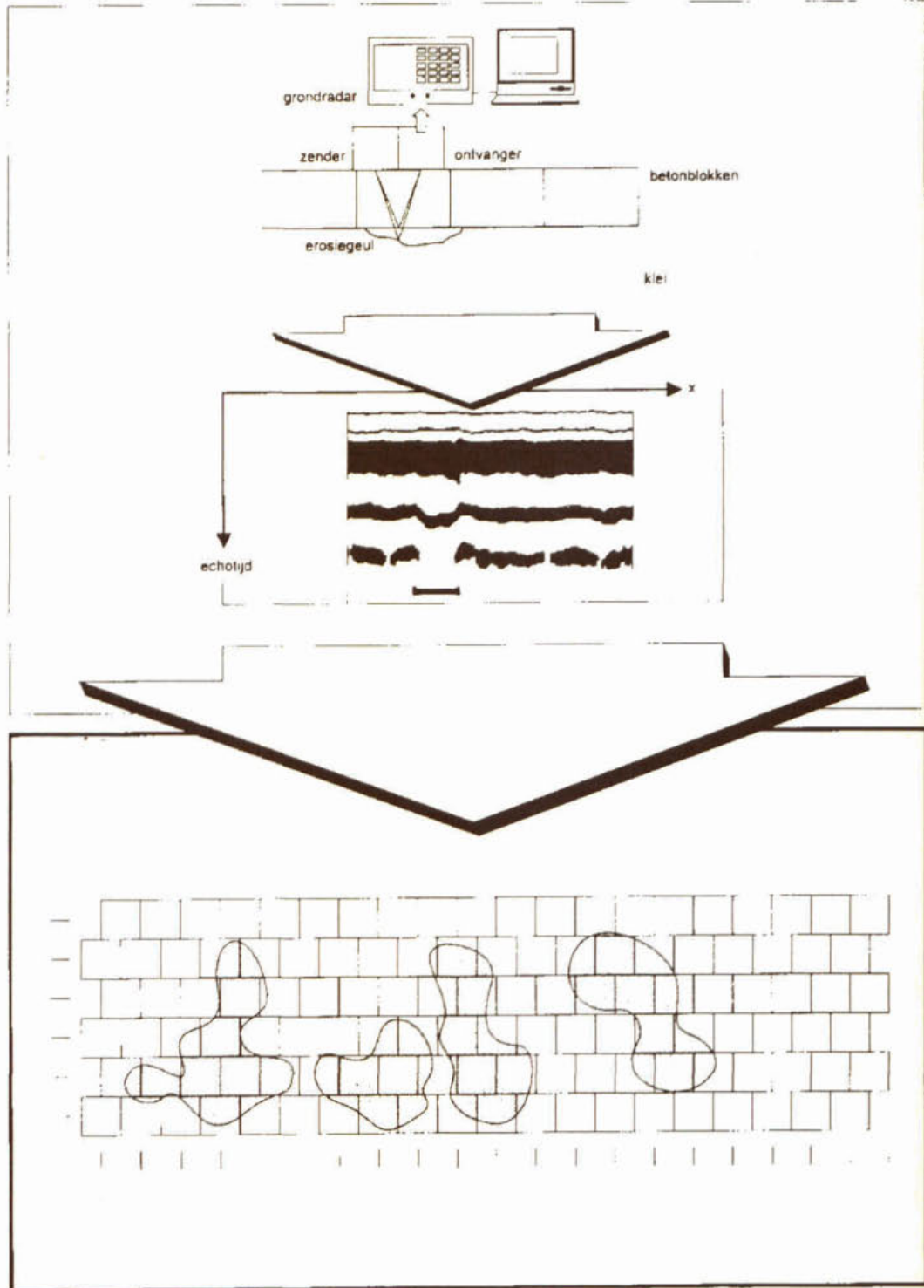
Een meer geavanceerde uitvoering maakt gebruik van een aantal parallelle ontvangantennes waarmee uit de echotijden zowel de diepte als de voortplantingssnelheid wordt bepaald.

## TOEPASSINGSGEBIED

### Toepassing

Radar in het GHz-bereik is vooral geschikt voor kwantitatieve, niet-destructieve metingen in bouwkundige constructies en verhardingslagen zoals: diktebepaling van verhardingslagen (asfalt, beton) en opsporing en bepaling van de diepteligging, bepalen van deuvels in betonplaten. Zodra in grond gemeten wordt, is in het algemeen een wat lagere frequentie nodig (300 MHz) om voldoende penetratie te verkrijgen. Meestal is de vraagstelling daar ook van een aard dat de bij deze frequentie behorende nauwkeurigheid adequaat is. Typische toepassingen zijn het continu karteren van een onder een opgesloten zandlaag liggende kleilaag (bodempunet, waterscheidende laag bij verspreiding verontreiniging) en obstakelverkenning. Obstakels kunnen daarbij variëren van lucht- of watergevulde holten (erosiegeulen onder een verhardingsconstructie), tot kabels en leidingen, olietanks en oude funderingen. Voor toepassingen op grotere diepte dient een nog lagere frequentie gekozen te worden (50-100 MHz); zie daarvoor het informatieblad "grondradar laagfrequent". Grondradar wordt typisch ingezet voor nauwgezette afbeelding op kleine oppervlakten. Een uitzondering daarop is mogelijk de "snelle" niet-destructieve diktebepaling van asfalt op wegen.

# ■ GRONDRADAR HOOGFREQUENT ■



Voor de detectie van lucht- of watergevulde erosiegeulen onder een steenzetting worden in twee richtingen raaien voor de steenzetting afgelopen. Het reflectiesignaal van een holte onder een steen onderscheidt zich duidelijk van de overgang steen-op-klei. De primaire meetresultaten bestaan uit echogrammen over de meetraaien. Een grote verzameling meetraaien, parallel en loodrecht, leidt tot een geïnterpreteerde plattegrond met daarop aangegeven de onder de stenen liggende geulpatronen (echogram: Grondmechanica Delft).

### **Parameters**

Echo's zijn afkomstig van contrasten in de hoogfrequentie elektrische eigenschappen (diëlektrische constanten, soortelijke weerstand) van de grond; deze zijn in het algemeen niet van direct belang. De informatie betreft geometrie, waarbij objecten (obstakels) een belangrijk onderwerp zijn. De absolute waarde is gerelateerd aan het vochtgehalte en bruikbaar voor de bepaling van de verzadigingsgraad van de onverzadigde zone.

### **Beperkingen**

Meestal (wapening) in een oppervlakkige laag en hoge elektrische geleidbaarheid van grond (klei) werken beperkend op de mogelijkheden.

## **SPECIFICATIES**

### **Presentatie**

Een onbewerkt reflectogram is voor ongetrainde waarnemers vrijwel nooit te interpreteren. Echo's van gezochte en ongezochte heterogeniteiten kunnen bedrieglijk veel op elkaar lijken; verschillen in voortplantingssnelheid, met name boven en onder de grondwaterspiegel, geven een sterk vertekend beeld van de geometrie. De meting wordt derhalve als geïnterpreteerde verticale doorsnede of geïnterpreteerde plattegrond gepresenteerd.

### **Bereik**

Het dieptebereik bedraagt enkele decimeters (1 GHz) tot enkele meters (300 MHz) in zand en verhardingslagen; in (vochtige) klei minder dan een meter bij 300 MHz. In zoet water bedraagt de penetratie meters, maar zodra het water enigszins brak is, wordt de penetratie verwaarloosbaar klein. In gewapend beton is de dichtheid van het wapeningsnet bepalend voor penetratie.

### **Nauwkeurigheid**

De echosterkte wordt bepaald door het contrast tussen lagen en/of voorwerpen in de grond. Metalen voorwerpen zijn sterke reflectoren; daarnaast heeft water extreme elektromagnetische eigenschappen en is het watergehalte (verschillen daarin) dikwijls maatgevend voor de sterkte van echo's.

De nauwkeurigheid in diepte varieert van enkele centimeters (1 GHz) tot een decimeter (300 GHz); in het horizontale vlak is de nauwkeurigheid langs de raai 10 cm tot 20 cm, loodrecht op de raai wordt deze bepaald door de onderlinge afstand van de raaien.

### **Productie**

De meting wordt verricht door een field-engineer (HTS-niveau) en een deskundige hulp. Raaien worden afgewerkt met loopsnelheid of wat langzamer (1-4 km/u), afhankelijk ook van de terreinomstandigheden en de probleemstelling. Om een volledige dekking te krijgen, zoals van belang bij het vinden van erosiegeulen en bij obstakeldetectie in het algemeen, is een raaiafstand van 0,5 tot 1 m benodigd. Globaal moet bij 1 dag meten gerekend worden op 2 dagen interpretatie.

### **Toekomstige ontwikkelingen**

De ontwikkelingen van de afgelopen jaren hebben zich geconcentreerd op dataprocesing. Op antenne- en modelleringgebied wordt weinig gedaan. Om te komen tot een werkelijk 3D-afbeelding van de ondergrond ligt er een terrein braak voor een integrale aanpak van antenne-, modellering- en dataprocesingproblematiek. Verwacht mag worden dat met deze ontwikkeling de presentaties van de radar substantieel zullen verbeteren.

### **Achtergrondinformatie**

Daniels, D.J., IEE Proc 135F (1988) nr. 4, Special Issue on Subsurface Radar.

ASTM 4748-87, Determining the Thickness of Bound Pavement Layers using Short-Pulse Radar.

## **A1.2 Geluid, Puls/Echo**

### **ALGEMEEN**

De 'ultrasone' puls/echo methode staat ook bekend als echografie, met name in medisch diagnostische toepassingen, en in het niet-destructief materiaalonderzoek (NDO) als ultrasone inspectie. Overigens ligt de toepasbare frequentie in beton en steenachtige materialen een orde lager; namelijk circa 50 - 200 kHz tegen circa 1 - 10 MHz bij NDO en medisch diagnostische toepassingen.

### **Resultaat**

Geïnterpreteerde, kwalitatieve of kwantitatieve verticale doorsnede onder een meetlijn.

### **Meetprincipe**

Echo's van een geluidspuls worden waargenomen; met behulp van kennis van de materiaaleigenschappen worden echotijden omgerekend in afstanden en eventueel echo-amplituden naar dichtheden.

### **Uitvoering**

Met een zendtransducent in stevig contact met het oppervlak van het te inspecteren object wordt een korte geluidspuls het object ingestuurd. De puls reflecteert deels aan inhomogeniteiten in een materiaal dan wel aan materiaalovergangen. Deze reflecties worden met dezelfde transducent of een eventueel een tweede transducent op korte afstand van de eerste weer opgevangen en geregistreerd voor verdere verwerking en interpretatie.

## **TOEPASSINGSGEBIED**

### **Toepassing**

In beton is vooral het grind sterk geluidverstrooiend; reden waarom de toepasbare frequentie aanzienlijk lager is dan bij NDO en medisch diagnostische toepassingen. In natuursteen als basalt en graniet is de verstrooiing in het algemeen minder en de penetratie derhalve beter. Verder zal een loskorrelig materiaal als zand het geluid, in het frequentiegebied van interesse, zeer sterk verzwakken. Vermoedelijk is deze methode voor de toepassing "inspectie van zetsteen en de onderliggende bodem" dan ook slechts geschikt voor diktebepaling van zetsteen (na kalibratie) en eventueel het detecteren van caviteiten direct onder de zetsteen.

### **Parameters**

Echo's zijn afkomstig van contrasten in de zogeheten akoestische impedantie, het product van dichtheid en geluid voortplantingssnelheid. Bij bekende snelheid in een materiaal kan uit de looptijd van echo's de afstand (bijvoorbeeld materiaaldikte) bepaald worden. Uit de amplitude van de

echo('s) van de overgang tussen twee materialen kan in principe de akoestische impedantie van het tweede materiaal bepaald worden als die van het eerste bekend is.

### **Beperkingen**

Gas in een materiaal, bijvoorbeeld in de vorm van porositeiten of bij een loskorrelig materiaal, heeft in het algemeen een dramatische verhoging van de demping en een forse verlaging van de snelheid tot gevolg. Zo zal een loskorrelige uitvullaag onder beton vermoedelijk tot gevolg hebben dat allereerst praktisch al het geluid reflecteert op de zetsteen/uitvullaag overgang en het weinige geluid dat verder propageert wordt zo sterk gedempt dat eventuele echo's aan volgende lagen ondetecteerbaar zijn geworden.

## **SPECIFICATIES**

### **Presentatie**

Een onbewerkt reflectogram is voor ongetrainde waarnemers vrijwel nooit te interpreteren. De meting wordt derhalve gepresenteerd als geïnterpreteerde verticale doorsnede of plattegrond.

### **Bereik**

Het dieptebereik bedraagt in beton maximaal circa een halve meter, in natuursteen waarschijnlijk meer. In los, onverzadigd zand zal de penetratie vermoedelijk slechts centimeters of minder zijn. In zeer dicht en verzadigd zand zal dit meer zijn al is onduidelijk hoeveel. In klei (verzadigd of niet) zal vermoedelijk een penetratie van enkele decimeters mogelijk zijn.

### **Nauwkeurigheid**

De nauwkeurigheid in de diepte is een fractie, zeg 0.1 - 0.5, van de toegepaste (centrum)golflengte. De nauwkeurigheid langs een meetlijn is in de orde van centimeters. Loodrecht daarop is de nauwkeurigheid afhankelijk van de toegepaste transducenten, data-acquisitie en verwerking maximaal hetzelfde maar meestal een orde slechter.

### **Productie**

Bij gestapte data-acquisitie, transducenten worden gemechaniseerd 'stappend' over te inspecteren oppervlak bewogen, vermoedelijk niet meet dan enkele tientallen meters meetlijn per uur. Bij toepassing van gemechaniseerde roltransducenten moet zeker productie gerealiseerd kunnen worden welke een orde zo niet twee orden hoger ligt als bij gemechaniseerd stappend.

Interpretatie door experts is hoe dan ook tijdrovend, vermoedelijk net zo lang of langer dan de acquisitietijd.

**Toekomstige ontwikkelingen**

Geautomatiseerde interpretatie van ultrasone metingen zou de productie en betrouwbaarheid significant kunnen vergroten evenals de toepassing van roltransducenten.

**Achtergrondinformatie**

Niets met betrekking tot inspectie zetsteen, wel met betrekking tot inspectie beton.



## A.1.4 Fotogrammetrie

### ALGEMEEN

Digitale fotogrammetrie is een techniek waarmee aan de hand van gedigitaliseerde luchtfoto's de ligging en grootte van objecten (wegen, gebouwen, dijken, waterlijnen) op het aardoppervlak kunnen worden bepaald. De resulterende digitale bestanden bevatten vectoren met coördinaten van objecten. De objecten kunnen gelabeld zijn naar hun thematiek.

### Resultaat

In principe zijn de producten gelijk aan die bij analytische fotogrammetrie, dus met name digitale bestanden. Daarbij biedt het gebruik van (semi-)automatische software extra mogelijkheden voor het genereren van producten als digitale hoogtemodellen (DHM's) met een hoge punt dichtheid en orthofoto's.

### Meetprincipe

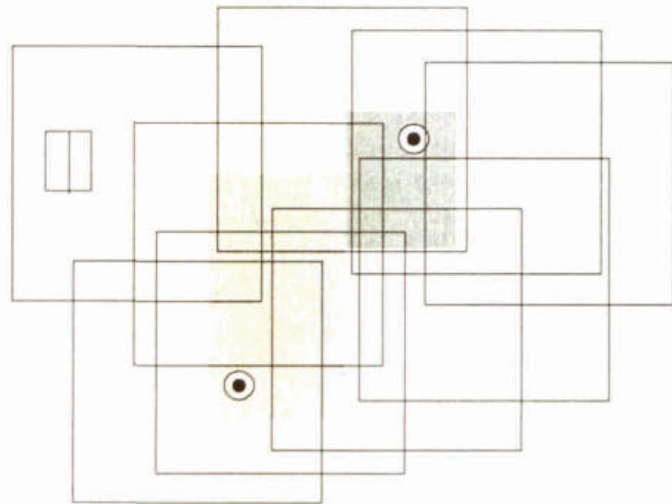
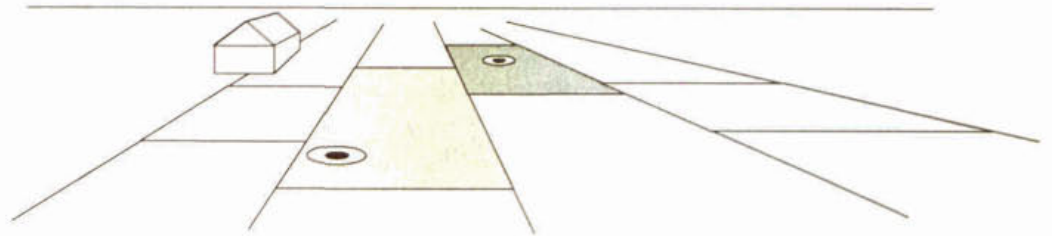
De techniek digitale fotogrammetrie is grotendeels identiek aan analytische fotogrammetrie. Het kenmerkende verschil is dat gedigitaliseerde luchtfoto's in plaats van de analoge luchtfoto's worden gebruikt.

De DHM's worden automatisch gegenereerd door gebruik te maken van *matching*-principes. Hierbij worden corresponderende vensters van pixels in overlappende foto's gezocht. De  $x$ -parallax van de vensters in de foto's is een maat voor de hoogte van het centrum van de vensters.

### Uitvoering

De wijze van het genereren van grootschalige vectorbestanden is identiek aan de wijze bij analytische fotogrammetrie. Met digitale fotogrammetrie is het mogelijk automatisch DHM's te genereren. Omdat in deze DHM's fouten aanwezig zijn, bijvoorbeeld bij gebouwen en bossen, worden de DHM's visueel gecontroleerd en handmatig gecorrigeerd.

# fotogrammetrie



overlappende luchtfoto's  
via paspunten gekoppeld aan  
terrestrisch stelsel

***Figuuronderschrift***

*Overlappende luchtfoto's, gemaakt vanuit een vliegtuig, geven informatie over de geometrie van het terrein. De foto's worden digitaal verwerkt en geïnterpreteerd.*

## **TOEPASSINGSGEBIED**

### **Toepassingen**

Digitale fotogrammetrie dient te worden ingezet op zijn sterke kanten, dus het maken van hoog-precieze, hoge-resolutie-DHM's en orthofoto's. Als digitale fotogrammetrie voor grootschalige karteringen wordt ingezet is deze techniek minder efficiënt dan analytische fotogrammetrie. De extra tijd die nodig is voor het digitaliseren of scannen van de foto's, wordt niet terugverdiend bij de latere inwinning van objecten. Overigens is het wel mogelijk karteringswerkzaamheden uit te voeren met digitale fotogrammetrie.

### **Parameters**

Het product waarmee de handmatige uitvoering plaatsvindt zijn digitale luchtfoto's. De analoge luchtfoto's worden verkregen door een lichtgevoelige laag bloot te stellen aan reflecties van zonlicht. Hierna worden de analoge foto's gedigitaliseerd met behulp van een scanner.

De parameter die gemeten wordt is de reflectiecoëfficiënt.

Via het stereo-effect van overlappende foto's kunnen hoogtes uit de beelden worden afgeleid.

### **Beperkingen**

De luchtfoto's moeten onder goede weersomstandigheden worden opgenomen, dat wil zeggen bij onbewolkt weer, bij een hoge zonnestand en, afhankelijk van de toepassing, bij een kleine bladbedekking. Per jaar zijn in Nederland slechts enkele tientallen dagen geschikt voor goede opnames.

Na de fotogrammetrische uitwerking moeten van bebouwde en beboste gebieden extra terrestrische metingen worden uitgevoerd, omdat in deze gebieden niet alle informatie in de foto's zichtbaar is.

Fotogrammetrie is in verband met de hoge vlieggkosten alleen geschikt voor relatief grote gebieden.

## **SPECIFICATIES**

### **Presentatie**

De eindproducten worden digitaal opgeslagen en hiervan kunnen hardcopies worden gemaakt. Naast de orthofoto's kunnen bird's-eye-views worden gegenereerd.

### **Bereik**

De luchtfoto's worden standaard opgenomen vanaf een hoogte van ongeveer 750 m, maar ook worden foto's in het bereik tussen 300 en 3000 m opgenomen.

**Nauwkeurigheid**

De X,Y-precisie van de coördinaten is ongeveer 0,06‰ van de vlieghoogte, en de Z-precisie is ongeveer 0,20‰ van de vlieghoogte. Dit levert dus voor een standaardfotoschaal van 1:5000 en een vlieghoogte van 700 m, een precisie in X, Y van 3 cm en in Z van 14 cm.

**Productie**

Zowel digitale bestanden, hardcopies als bird's-eye-views worden in de praktijk gebruikt.

De techniek wordt sporadisch toegepast in Nederland en is nog niet breed geaccepteerd.

**Toekomstige ontwikkelingen**

De komende jaren zal het gebruik van digitale fotogrammetrie toenemen ten koste van analytische fotogrammetrie, ook voor karteringswerkzaamheden.

Voor de bepaling van digitale hoogtemodellen (DHM's) zal voor een deel ook gebruik worden gemaakt van laseraltimetrie.

## **A.1.5 Laser Altimetrie / Laser Range Finding**

### **ALGEMEEN**

Laseraltimetrie is een techniek, waarbij een laser range finder wordt toegepast vanuit een vliegtuig of helikopter. Hierbij wordt het aardoppervlak met een laserstraal afgetast in afzonderlijke slagen loodrecht op de vliegrichting. Deze scanbeweging die de laserbundel maakt wordt bereikt door de laserbundel te laten invallen op een bewegende spiegel. Al vliegend wordt een strook terrein met een bepaalde breedte aan weerszijde van het toestel bemeten. Door het vliegen van parallelle, deels overlappende stroken, zijn ook grotere gebieden op eenvoudige wijze op te nemen.

Voor dijkinspectie is het denkbaar dat de laser range finder wordt toegepast vanaf een vaartuig. Hierbij is de meetdichtheid (aantal meetpunten per oppervlakte) aanmerkelijk hoger dan bij toepassing vanuit een vliegtuig.

### **Resultaat**

Met laseraltimetrie kan een gedetailleerd digitaal hoogtemodel (DHM) van een terrein worden vervaardigd.

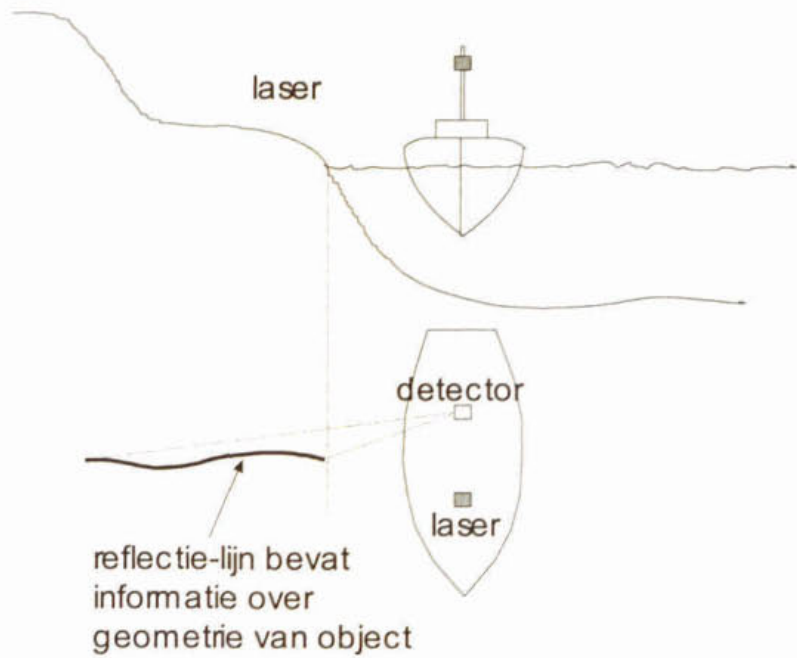
### **Meetprincipe**

De laserstralen worden gereflecteerd en de tijd tussen uitzenden en terugontvangst van het signaal wordt geregistreerd. Deze looptijd is een maat voor de gemeten afstand. In combinatie met stand- en plaatsbepaling gegevens van het vliegtuig of het vaartuig vormen de waarnemingen de basis voor een digitaal hoogtemodel van het gescande terrein.

### **Uitvoering**

Afhankelijk van de scanhoek, de scanfrequentie en de vlieghoogte wordt een gemiddelde puntdichtheid bereikt van 1 punt per 4-16 m<sup>2</sup>.

## 2D laser imaging systeem



### ***Figuuronderschrift***

*Het werkingsprincipe van de laser altimetrie berust op een gecombineerde afstand/hoek meting met een laserstraal. Door de straal te laten 'scannen', via een roterende spiegel, wordt een lijn afgetast. Door het platform (bijv. een vliegtuig-of een vaartuig) te laten bewegen wordt een geheel gebied lijn voor lijn afgetast.*

## **TOEPASSINGSGEBIED**

### **Toepassingen**

Laseraltimetrie vanuit een vliegtuig wordt al enkele jaren toegepast om de Nederlandse kuststrook een fijnmazig DHM te meten, het zogenoemde strand-DHM. Dit levert een veel gedetailleerder beeld op van het aanwezige zandvolume dan de huidige strandprofielen, die jaarlijks met behulp van fotogrammetrie ingemeten worden. Het ligt in de bedoeling om ook andere gebieden in Nederland met laseraltimetrie te gaan bemeten.

Naar ons bekend is, is laser range finding nog niet toegepast vanaf een schip.

### **Parameters**

Naast de looptijd van de lasersignalen worden plaats en stand van het vliegtuig bepaald. Met een videocamera worden gelijktijdig opnamen gemaakt van het gescande gebied. De video-opnamen kunnen informatie geven omtrent de begroeiing en objecten op het aardoppervlak.

### **Beperkingen**

Op wateroppervlakken en besneeuwde terreinen presteert de laserscanner slecht. Daarnaast is het systeem gevoelig voor bewolking en mist. In gebieden met dichte vegetatie en bij sterk geaccidenteerde terreinen zijn de resultaten ook minder betrouwbaar.

## **SPECIFICATIES**

### **Presentatie**

De berekende hoogtes worden verwerkt tot een digitaal hoogte model (DHM). Voor de weergave bestaan verschillende mogelijkheden: contourkaarten, 3D-visualisatie, enzovoorts.

### **Nauwkeurigheid**

De nauwkeurigheid is in de orde van enkele centimeters tot decimeters, afhankelijk van het soort terrein (95% betrouwbaarheidsinterval) en de afstand van de apparatuur tot het te meten object.

### **Productie**

De opname wordt verricht door een dienstverlenend bedrijf, dat een laseraltimetrie-systeem exploiteert. De data-analyse en -verwerking vinden plaats na de opname's.

### **Toekomstige ontwikkelingen**

Laseraltimetrie zal voor het bepalen van digitale hoogte modellen (DHM's) de fotogrammetrie meer en meer gaan vervangen.

Tabel 1, Gezochte Bodem Informatie en Penetrenderende Technieken

constructie-onderdeel	parameter	orde van grootte	gewenste nauwkeurigheid	afstand tot oppervlak	bodemrader laagfrequent	bodemrader hoogfrequent	geluid: puls/echo	geluid: mech. imp.	thermografie
	dikte	0,2 à 0,5 m	1 cm	0,05 m	++ 10 cm +	++ 2 cm +	+ < 1 cm +	+ ca. 5 cm +	+/- ? -
	soortelijk gew.	2300-2900 kg/m <sup>3</sup>	50 kg/m <sup>3</sup>	0-0,5 m	--	--	-	-	-
	rel. open ruimte	10 %	1 %	0-0,5 m	+/- ? ?	+/- ? ?	-	--	-
	poros. inwasm.	?	?	0-0,5 m	+/- ? ?	+/- ? ?	--	--	--
	inzanding/inslib.	0 - 100 %	25 %	0-0,5 m	+/- ? ?	+/- ? ?	--	--	--
	aanwezigheid	ja/nce	ja/nce	0,2-0,5 m	+ ja/nce +	+ ja/nce +	+/- ? -	+/- ? -	+/- ? -
	metaal	puin, steensl.	nvt.	0,2-0,7 m	+/- nvt. -	+/- nvt. -	--	--	+/- ? -
	porositeit mater.	0,3	0,1	0,2-0,7 m	+/- ? ?	+/- ? ?	--	--	+/- ? -
	laagdikte	0,1-0,3 m	0,05 m	0,2-0,7 m	+ 10 cm +	+ 2 cm +	-	-	+/- ? -
	inslibbing	0-100 %	50 %	0,2-0,7 m	+/- ? ?	+/- ? ?	-	-	--
	aanw. caviteten	0-20 cm	5 cm	0,2-0,5 m	++ 10 cm +	++ 2 cm +	+/- ? -	+/- ? -	+ > 3 cm ? ?
	geokunststof	aan/aanwezigheid	ja/nce	0,2-0,7 m	-	-	--	--	--
	inact/geschurd	ja/nce	ja/nce	0,2-0,7 m	--	--	--	--	--
	zand/kleideichh. O <sub>90</sub>	100 µm	50 µm	0,2-0,7 m	--	--	--	--	--
	keilaag	aanwezigheid	ja/nce	0,2-1,5 m	+ ja/nce +	+ ja/nce +	+/- ? -	+/- ? -	+/- ? -
	dikte	0,2-1 m	0,1 m	0,2-1,5 m	+/- 10 cm +	- 2 cm +	+/- ? -	+/- ? -	+/- ? -
	aanw. caviteten	0-20 cm	10 cm	0,2-1,5 m	+/- 10 cm -	- 2 cm -	+/- ? -	+/- ? -	+/- ? -
	Snelheid				oo	oo	o	o	ooo
	Kosten				\$\$\$	\$\$\$	\$\$\$	\$\$\$	\$\$\$
	Beschikb. h.								

Kwaliteitsaanduidingen:

K. = kwalitatief 'overal' volgens: ++ goed mogelijk + mogelijk - waarschijnlijk niet of slecht mogelijk; -- zeker niet mogelijk  
 N. = nauwkeurigheid (zelfde eenheid als in kolom 'gewenste nauwkeurigheid')  
 B. = betrouwbaarheid volgens: + betrouwbaar - onbetrouwbaar

Extra parameters:

Snelheid = geschatte productiesnelheid in ha/dag volgens: 000 > 100 ha/dag \$\$\$ > 2 kf/dag  
 Kosten = geschatte productiekosten in kf/dag volgens: \$\$ ca. 2 kf/dag \$ < 2 kf/dag  
 Beschikbaarheid = verwachte beschikbaarheid instrument cq. dienst

! wellicht mogelijk als er geen uitvulling aanwezig is en geen caviteten



**Tabel 2, Gezochte Bodem Informatie en Niet-Penetrerende Technieken**

constructie- onderdeel	parameter	orde van grootte	gewenste nauw- keurigheid	afstand tot oppervlak	fotogrammetrie			laser-altimetrie			laser range finding		
					K.	N.	B.	K.	N.	B.	K.	N.	B.
toplaag	dikte	0,2 à 0,5 m	1 cm	0-0,5 m									
	soortelijk gew.	2300-2900 kg/m <sup>3</sup>	50 kg/m <sup>3</sup>	0-0,5 m									
	rel. open ruimte	10 %	1 %	0-0,5 m									
	poros. inwasmt.	?	?	0-0,5 m									
	inzandng/inslib.	0 – 100 %	25 %	0-0,5 m									
uitvullaag	aanwezigheid	ja/nee	ja/nee	0,2-0,5 m									
	materiaal	puin,steensl.	nvt.	0,2-0,7 m									
	porositeit mater.	0,3	0,1	0,2-0,7 m									
	laagdikte	0,1-0,3 m	0,05 m	0,2-0,7 m									
	inslibbing	0-100 %	50 %	0,2-0,7 m									
	aanw. caviteiten	0-20 cm	5 cm	0,2-0,5 m	+/- <sup>1</sup> > 3 cm ?	?	+/- <sup>1</sup> > 3 cm ?	?	+/- <sup>1</sup> > 3 cm ?	?			
geokunststf	aan/afwezigheid	ja/nee	ja/nee	0,2-0,7 m									
	intact/gescheurd	ja/nee	ja/nee	0,2-0,7 m									
	zand/kleidichth. O <sub>90</sub>	100 µm	50 µm	0,2-0,7 m									
kleilaag	aanwezigheid	ja/nee	ja/nee	0,2-1,5 m									
	dikte	0,2-1 m	0,1 m	0,2-1,5 m									
	aanw. caviteiten	0-20 cm	10 cm	0,2-1,5 m	+/- <sup>1</sup> > 3 cm ?	?	+/- <sup>1</sup> > 3 cm ?	?	+/- <sup>1</sup> > 3 cm ?	?			
Snelheid					ooo		ooo		ooo				
Kosten					\$\$\$ <sup>2</sup>		\$\$\$ <sup>2</sup>		\$\$\$				
Beschikb.h.					nu beschikbaar		nu beschikbaar		1 jr na nu				

Kwaliteitsaanduidingen:

K. = kwalitatief 'overall' volgens: ++ goed mogelijk      + mogelijk      - waarschijnlijk niet of slecht mogelijk;      -- zeker niet mogelijk  
 N. = nauwkeurigheid (zelfde eenheid als in kolom 'gewenste nauwkeurigheid')  
 B. = betrouwbaarheid volgens:      + betrouwbaar      - onbetrouwbaar

Extra parameters:

Snelheid = geschatte productiesnelheid in ha/dag volgens:      ooo > 100 ha/dag      oo ca. 100 ha/dag      o < 100 ha/dag  
 Kosten = geschatte productiekosten in kf/dag volgens:      \$\$\$ > 2 kf/dag      \$\$ ca. 2 kf/dag      \$ < 2 kf/dag  
 Beschikbaarheid = verwachte beschikbaarheid instrument cq. dienst

<sup>1</sup> alleen voor zover caviteiten reeds tot verandering van de hoogte (nauwkeurigheid ca. 10 cm), dus verzakking, van de zetsteen hebben geleid

<sup>2</sup> kostenindicatie per oppervlakte-eenheid voor fotogrammetrie en laser-altimetrie ca. 2 f/ha resp. 50 f/ha (zonder interpretatie voor deze applicatie)

