

**Opleiding Geografie en Geomatica
Afstudeerrichting Landmeetkunde**

Airborne Lidar Hydrography

Bram Van Londersele

Aantal woorden in tekst: 4217
Aantal figuren: 6
Aantal tabellen: -
Aantal kaarten: -

Academiejaar 2007 – 2008

**Promotor: Prof. Dr Ir Alain De Wulf,
Vakgroep Geografie**

**Bachelorproef ingediend tot het
behalen van de graad van Bachelor
in de Geografie en Geomatica
Afstudeerrichting Landmeetkunde**

1 SAMENVATTING

Lidar (acroniem voor LIght Detection And Ranging) is een techniek die gebruikt wordt om op een snelle manier bathymetrische gegevens te verwerven. Deze methode werd ontwikkeld vanuit verschillende nationale overheden. De laatste twee decennia zijn de systemen ook in gebruik door privé-bedrijven.

In deze bachelorproef werd onderzocht wat de nauwkeurigheid van deze technieken is. Zo blijkt dat deze meestal aan de nauwkeurigheidseisen van de surveyprojecten voldoen, maar dat meten in troebel en diep water problemen oplevert en soms onmogelijk wordt. Ook voor het detecteren van kleine objecten is Lidar niet geschikt. Het kan bijgevolg niet optreden als vervanger voor de bestaande sonar-metingen.

Airborne Lidar bathymetrie is een techniek waarbij vanuit een vliegtuig twee laserpulsen met verschillende golflengte worden uitgezonden. De ene puls weerkaatst op het wateroppervlak en de andere dringt door de waterkolom heen en reflecteert op de bodem. Beide stralen worden opgevangen in het vliegtuig en uit de gemeten tijdsverschillen tussen de uitgezonden en de ontvangen pulsen wordt de waterdiepte berekend.

Verder werden ook de voor- en nadelen van Lidar beschreven.

2 TREFWOORDEN

Airborne Lidar Bathymetry; laserscanning; teledetectie; hydrografie

3 INLEIDING

Door de groeiende vraag naar een snellere, goedkopere, maar accurate manier om bathymetrische gegevens te verzamelen, wordt meer en meer beroep gedaan op 'Airborne Lidar Bathymetrie'.

Het verloop van een Lidar-opmeting kan opgesplitst worden in twee processen. Dataverzameling in de lucht enerzijds en het verwerken van de gegevens aan land anderzijds (U.S. Army Corps of Engineers, 2002).

In deze bachelorproef zal enkel het verwerven van de data behandeld worden.

Hierbij worden vanuit de lucht laserstralen uitgezonden en opnieuw opgevangen. Een deel van de uitgezonden stralen reflecteert op het wateroppervlak, de overige stralen gaan

doorheen de waterkolom en reflecteren op de zeebodem. Uit het tijdsverschil tussen de twee teruggekaatste stralen kan de hoogte van de waterkolom (en zo dus ook de diepte) berekend worden.

Airborne Lidar bathymetrie werd ontworpen midden de jaren 1960. Prototypes zoals de 'Airborne Oceanographic Lidar' van de Verenigde Staten, de 'Larsen 500' van Canada, de 'WRELANDS' van Australië en de 'FLASH' van Zweden, werden getest in de jaren 1980. Het was pas in het begin van de jaren 1990 dat de technologie ver genoeg gevorderd was, dat deze systemen operationeel werden. Zo ook de 'Laser Airborne Depth Sounder' (LADS) van de Australische marine, de 'Scanning Hydrographic Operational Airborne Lidar Survey' (SHOALS) van het Amerikaanse leger, en de 'HawkEye' van de Zweedse maritieme overheid. Deze systemen werden ontwikkeld om aan de specifieke eisen van het in kaart brengen van havengebieden en kuststroken op hun territorium te voldoen. (Pope *et al.*, 2001).

In deze bachelorproef wordt getracht de algemene werking van het verzamelen van Lidar-peilingen en de toepassingen van Lidar te behandelen. Ook worden de nauwkeurigheid en de voor- en nadelen van deze systemen bekeken.

4 LITERATUUROVERZICHT

4.1 Werking

Airborne Laser Bathymetry is een relatief jonge en groeiende discipline, die afhankelijk is van de stand van de technologie inzake lasers, electronica en optica (Kumar, s.d.).

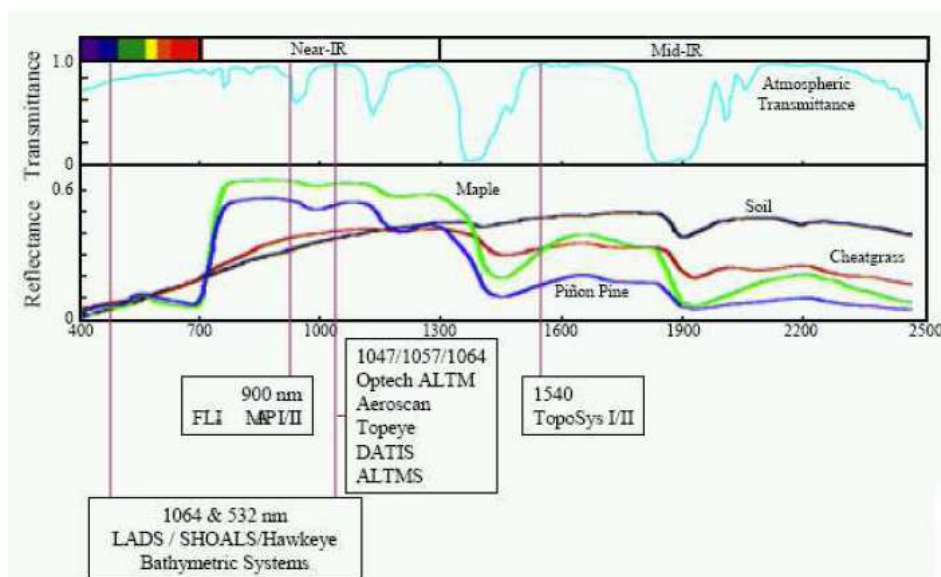
Een laserscanner (en koeling), een GPS-ontvanger en een 'Inertial Navigation System' (INS) vormen de basisbestanddelen van een Airborne Lidar systeem (Piel en Populus *et al.*, 2007).

De GPS-ontvanger zorgt voor de exacte locatie van het vliegtuig in het gewenste referentiestelsel. Het INS bepaalt de stand van het vliegtuig door middel van de traagheid. Het instrument is uitgerust met tal van gyroscopen en meetinstrumenten die de bewegingen van het vliegtuig registreren aan de hand van de zwaartekracht. De stand van het vliegtuig kan eenduidig worden beschreven door 6 parameters, namelijk de rotaties rond de langsas, de dwarsas en de verticale as van het vliegtuig (respectievelijk 'roll', 'pitch' en 'yaw') en de

lineaire bewegingen langsheen diezelfde assen (respectievelijk 'surge', 'sway' en 'heave') (Meyers en Weiderman, 1988).

Aan de hand van deze informatie kunnen alle metingen gegeorefereerd worden.

In sommige systemen zit een neerwaarts kijkende videocamera ingebouwd, die het te karteren gebied filmt. Deze beelden kunnen hydrografen helpen om kustlijnenfenomenen, bouwwerken, navigatiebakens (zoals vuurtorens), pieren en andere interessante punten te identificeren (Irish, 2000; Guenther, 2004).



Figuur 1: Golflengten van de verschillende Lidar-sensoren

Bron: Piel en Populus, 2007

Airborne Lidar Bathymetry maakt gebruik van een laserzender-ontvanger die twee pulsen van verschillende golflengte uitzendt, zowel een blauw-groene als een infrarode. Blauw-groen licht met een golflengte van 532 nm (Piel en Populus et al, 2007) wordt gekozen om op de zeebodem te reflecteren, omdat deze als beste doorheen de waterkolom kan penetreren en het minst afzwakt. Infrarode golflengten hebben een klein penetratievermogen en worden bijgevolg gebruikt voor detectie van het zeeoppervlak. (Guenther, 2001). Zie figuur 1.

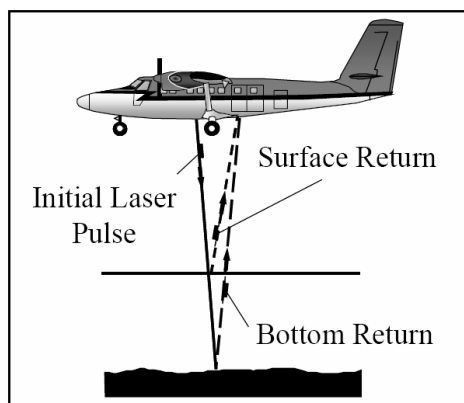
Lidar-systemen hebben ook een scanner. Dit is een roterende spiegel die voor de laser is gemonteerd. Deze laat toe tijdens de vlucht over een brede strook pulsen uit te zenden. De rotatiehoek van de spiegel en de vlieghoogte bepalen de scanbreedte, de zogenaamde 'swath width' (Piel en Populus et al, 2007).

Een laserpuls wordt uitgezonden via de scanner. Als de ontvanger het teruggekaatste signaal ontvangt, stelt de verstreken tijd tussen uitzenden en ontvangen van hetzelfde signaal de

dubbele schuine afstand voor. De laser produceert een golflengte van 1064 nm (rood), die omgezet wordt in een 532 nm (blauw-groen) lasersignaal door een frequentieverdubelaar. Een rood lasersignaal wordt volledig gereflecteerd aan het wateroppervlak, terwijl een blauw-groene laser kan doordringen in het water en weerkaatst op de bodem (Velthoven, 2004).

De ontvanger splitst het signaal in twee blauw-groene kanalen, één infrarood en één van 645 nm ('het Raman-kanaal'). Een Raman-sigitaal ontstaat wanneer fotonen met watermoleculen in contact komen. De preciese golflengte van het Raman-sigitaal hangt af van het oorspronkelijk uitgezonden lasersigitaal en de rotatiesnelheid van de watermoleculen. Infrarode en Raman-signalen worden gebruikt om de afstand *tot* het water te berekenen. De twee blauw-groene signalen worden gebruikt om de afstand *door* het water te berekenen. In het vliegtuig worden alle gereflecteerde signalen opgeslagen voor 'post-processing' (Velthoven, 2004).

Hoewel voor de detectie van het wateroppervlak gebruik wordt gemaakt van het Raman-kanaal of het infrarode kanaal, zal het blauw-groene kanaal ook het wateroppervlak detecteren (LaRocque en West, 1999). Hierdoor krijgt men een grafiek zoals te zien is in figuur 2. Deze grafiek toont aan dat het gereflecteerde infrarode sigitaal eerst aankomt bij de ontvanger. Een tijd later zal de puls die gereflecteerd werd op de zeebodem (de 'bottom return') de ontvanger bereiken. De grootte van de verstrooiing hangt van verschillende factoren af, zoals mist, regen en hoge golven. De zon kan eveneens het sigitaal verstoren vermits dit een lichtbron is die op het oppervlak weerkaatst en indien sedimenten en elementen aanzienlijk in het water aanwezig zijn, kan het licht daardoor volledig geabsorbeerd worden zodat er helemaal geen weerkaatsing is (Velthoven, 2004).



Figuur 2: Terugkaatsingsprincipe

Bron: Irish, 2000

Onderstaande formule laat toe de waterdiepte te berekenen. Deze hangt af van de hoek waarmee de laserpulsen het wateroppervlak raken. Vermits het tijdsinterval tussen de twee reflecties (zie figuur 2) gekend is, kan de verticale diepte berekend worden:

$$D = \frac{c \cdot t}{2 \cdot n} \cdot (\cos(\arcsin(\sin \frac{\theta}{n})))$$

Met:

D = de verticale diepte (in m)

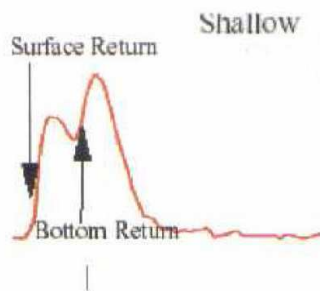
c = de lichtsnelheid (in m/s)

t = het tijdsinterval tussen de twee reflecties (in s)

n = de brekingsindex (in standardeenheden)

θ = de hoek tussen vliegtuig en het wateroppervlak (in °)

(Velthoven, 2004)



Figuur 3: Reflectiepatroon bij ondiepe wateren

Bron: Velthoven, 2004

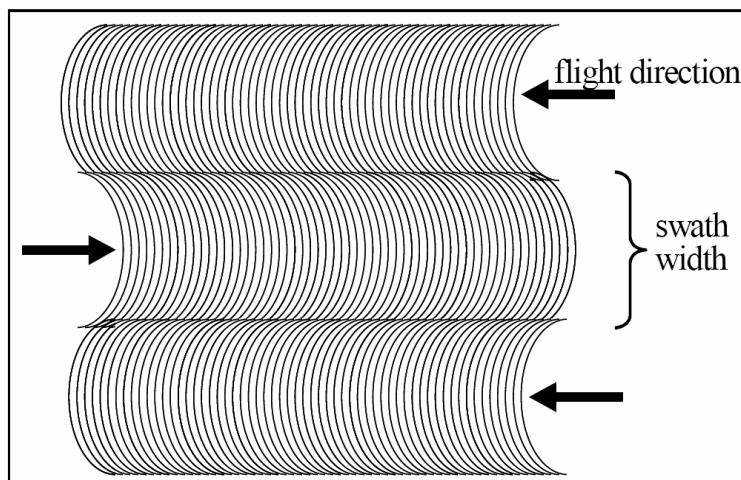
Op figuur 3 is te zien dat, in geval van ondiep water ('shallow water'), de signalen van de 'surface return' en van de 'bottom return' gedeeltelijk overlappen, omdat beide pulsen elkaar zeer snel opvolgen vanwege de kleine waterkolom. De staart ('tail') van het signaal is steil wanneer de verstrooiing beperkt is en de reflectie relatief sterk is. Het signaal is afhankelijk van de lengte van de uitgestoten puls. Signalen zullen dus meer overlappen als langere pulslengten gebruikt worden. In diep water geldt het omgekeerde (Velthoven, 2004).

De reflectie van het wateroppervlak is onafhankelijk van de waterdiepte. Ze is enkel afhankelijk van de vlieghoogte. Daar de sterkte van de reflectie van de bodem daalt naarmate

de diepte groter wordt, is het moeilijk om het zwakke weerkaatste signaal van een diepe bodem te onderscheiden van ruis (Velthoven, 2004).

Een typische Lidar-vlucht heeft een lage vlieghoogte, van 200 tot 500 meter boven de grond. De maximale hoek tussen scanner en nadir bedraagt 15 tot 20 graden. Ruwweg komt dit overeen met een scanbreedte van de halve vlieghoogte. Grotere nadirhoeken zouden onaanvaardbare fouten op de tijdsmeting voortbrengen. De dichtheid van de opmeting is hoog; de meeste systemen peilen volgens een 4 of 5 meter grid. Deze densiteit kan verkregen worden met een frequentie van 400 tot 1000 laserpulsen per seconde (Kumar, s.d.). Als bijvoorbeeld een vliegtuig op 250 meter hoogte vliegt met een lichtsnelheid van 90 meter per seconde, kan deze in één uur een gebied van 65 km² in kaart brengen (Velthoven, 2004).

Doordat de uitgezonden pulsen ook een hoek in de richting van de beweging van het vliegtuig maken met het nadir, krijgt men een opeenvolging van sikkelvormige bogen in spreidingspatroon, zie figuur 4 (Irish, 2000; Velthoven, 2004).



Figuur 4: Scan- en vluchtpatroon

Bron: Irish, 2000

4.2 Nauwkeurigheid

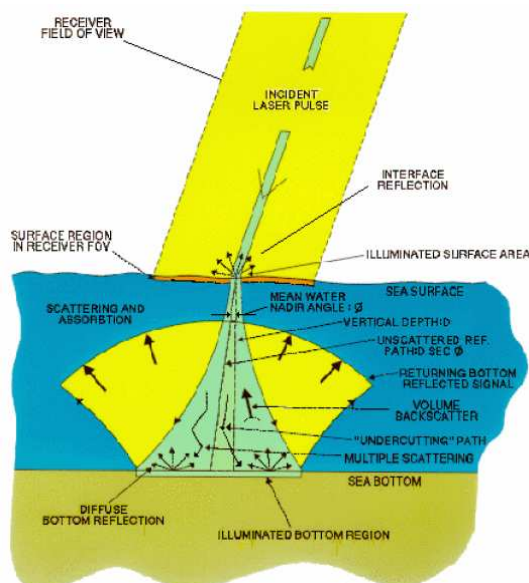
De noodzakelijke kwaliteiten van een succesvol airborne Lidar-toestel zijn de nauwkeurigheid, de capaciteit en het rendement. Vanwege de geringe vraag ernaar, maar ook vanwege het feit dat het nog steeds zeer moeilijk is om aan deze drie voorwaarden te voldoen

(de nauwkeurigheid in het bijzonder), bestaan er momenteel over de hele wereld minder dan tien airborne Lidar bathymeters (Guenther *et al.*, 2000).

Beslissingen in verband met het ontwerp, de constructie en het gebruik van een airborne bathymeter moeten genomen worden vanuit het standpunt om een optimale kwaliteit van data en dieptemetingen te verkrijgen. Zowel de omgeving als de hardwarecomponenten dragen bij tot het genereren van fouten, dewelke overwonnen moeten worden (Guenther *et al.*, 2000).

Airborne laser bathymetry is ondertussen een gevestigde waarde geworden die bewezen heeft accuraat, efficiënt, rendabel, veilig en flexibel te zijn voor het snel in kaart brengen van 'near-shore waters', aangrenzende stranden en kustverdedigingssystemen. Anderzijds blijft het een methode die afhankelijk is van de technologie, die hoog opgeleide gebruikers vereist en die verre van volmaakt is (Guenther *et al.*, 2000).

Hoewel laserstralen meestal aanzien worden als fijne gecollimeerde stralen (zoals deze in de lucht en over een korte afstand worden waargenomen), is dit niet het geval in water. In water, zie figuur 5, verstrooit zelfs de smalste bundel in een kegel, waarvan de doorsnede aanzienlijk vergroot met de diepte (merk op dat figuur 5 een prent is die sterk overdreven is om het principe uit te leggen). Meestal zal de diameter van de laserpuls op de zeebodem een waarde aannemen tussen 10 en 30 procent van de diepte (Guenther, 2001).



Figuur 5: Breking in water
Bron: Guenther, 2001

Het blauw-groene lasersignaal is naar voren gericht (stel onder een hoek van 20°). De laserpuls bereikt het wateroppervlak onder een hoek van 20° . Dit brengt voortplantingsfouten met zich mee. 10 % van het blauw-groene lasersignaal wordt gereflecteerd aan het wateroppervlak; de rest zal het water binnendringen. Verstrooiing van het signaal wordt veroorzaakt door twee factoren: weerkaatsing en breking. Deze ontstaan wanneer licht verandert van medium waarin het zich voortbeweegt. Hierdoor verandert de voortplantingssnelheid (wet van Snellius) (Velthoven, 2004).

Bij reflectie is de hoek van de uittrekkende straal gelijk aan de hoek van de inkomende straal. Zo wordt dus 10 % van het signaal onder een hoek van 20° gereflecteerd en zal 90 % van het signaal gebroken tot een hoek van 15° , het water binnengaan (zie figuur 5). In het water verwijdt het signaal zich en wordt het gedeeltelijk geabsorbeerd door partikels in het water. Wanneer het signaal de bodem bereikt, zal de 'footprint' ongeveer de halve waterdiepte bedragen, dit bij een gemiddelde verstrooiingshoek van 28° . Slechts een klein gedeelte van het uitgezonden signaal zal dus gereflecteerd worden door de zeebodem (Velthoven, 2004).

4.2.1 Verticale nauwkeurigheid

De resultaten van Lidar-opmetingen zijn reeds vele malen en door verschillende organisaties vergeleken met sonar-opmetingen. Dit leidde tot uitstekende resultaten (Guenther, 2001).

Zo zijn de resultaten voor LADS systemen verschillende keren beschreven (Sinclair, 1999 in Guenther, 2001). Perry (zoals geciteerd in Guenther, 2001) noteert 95 % van de metingen binnen 0,24 meter bij een standaard LADS Mk II van 84500 peilingen, met een diepte tussen 6 en 30 meter. Deze waarde ligt duidelijk binnen de 'IHO Order-1'-nauwkeurigheidseis van 0,50 meter voor de verticale richting (Guenther, 2001). Eerste proefvluchten van het SHOALS (Lillycrop en Estep, 1995 in Guenther, 2001) leverden zeer accurate prestaties, enkel een paar kleine aanpassingen waren nodig. Nadien werden de resultaten van de SHOALS vergeleken met een sonar-meting van het NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) in Tampa Bay (Florida) tot een diepte van 20 meter (Riley, 1995 in Guenther, 2001). De nauwkeurigheid van de SHOALS voor deze test was 0,28 meter bij een 95 % betrouwbaarheidsinterval. Dit ligt eveneens binnen de 'IHO Order-1'-nauwkeurigheidseis (Guenther, 2001).

In een vergelijking in ondiepe wateren in Duck, North Carolina, met data van de ‘Coastal Research Amphibious Buggy’ (CRAB) van het USACE (United States Army Corps of Engineers), gaven de SHOALS zelfs betere resultaten (Lillicrop *et al.*, 1997 in Guenther, 2001).

De nauwkeurigheid van deze systemen wordt in stand gehouden door onder andere een dagelijkse controle op de metingen, door sommige gebieden dubbel in te meten (overlappende zones), alsook door op regelmatige basis absolute controles en calibraties uit te voeren (Guenther, 2001).

Men stelt dat de nauwkeurigheid van elk ALB-systeem lager is dan boven vermeld, indien men te maken heeft met zwakke signalen, met extreem vervuild water, of met metingen van zeer steile hellingen en kleine objecten, (Guenther, 2001).

Steile bodems leiden tot een geometrisch probleem en een horizontaal en verticaal meetprobleem, wat ook het geval is bij sonar. Door de eindige diameter van de laserstraal, heeft het toestel de neiging het minst ondiepe punt te meten. In het horizontale vlak krijgt men hierdoor een kleine verplaatsing van het object, vergeleken met de werkelijke locatie ervan (Guenther, 2001).

Vanwege de ‘off-nadir angle’ kunnen de resultaten ook kleine verschillen vertonen, al naar gelang de vliegrichting ten opzichte van de hellingen (Steinvall en Koppari, 1996 in Guenther, 2001). Enkel zeer complexe algoritmen kunnen een verbetering toevoegen aan deze afwijkingen. Het is echter op te merken dat in de meeste gevallen deze fouten niet van verticale aard zijn. Er ontstaat enkel een kleine horizontale verplaatsing, terwijl de verticale meting nog steeds binnen de nauwkeurigheidseisen valt. De horizontale nauwkeurigheidseisen zijn doorgaans vergevingsgezind genoeg om deze kleine ‘shift’ te aanvaarden (Guenther, 2001).

4.2.2 Horizontale nauwkeurigheid

De locatie van de meting hangt af van drie componenten: de positie van het vliegtuig, de plaats waar de Lidar-puls het wateroppervlak raakt ten opzichte van het vliegtuig en de plaats waar de Lidar-puls de zeebodem raakt ten opzichte van het wateroppervlak. De positie van het vliegtuig wordt bepaald met behulp van een Global Positioning System (GPS). Afhankelijk

van de gewenste nauwkeurigheid wordt gekozen voor een ‘kinematic GPS’ (kGPS) of een ‘differential GPS’ (dGPS). De positie van de ‘surface spot’ ten opzichte van het vliegtuig is met zeer hoge nauwkeurigheid gekend. Deze is afhankelijk van de ‘off-nadir angle’ en van de vlieghoogte boven het wateroppervlak. Deze twee factoren zijn gekend met een hoge graad van nauwkeurigheid omdat zij van cruciaal belang zijn voor de verticale nauwkeurigheid van het systeem. Deze laatstgenoemde is veel stringenter dan de horizontale nauwkeurigheid (Guenther, 2001).

4.3 Voor- en nadelen

4.3.1 Voordelen

Airborne Lidar-metingen hebben de mogelijkheid om snel en accuraat, zowel grote als kleine gebieden, op een rendabele manier te karteren (LaRocque en West, 1999).

Doordat het inzetbaar is vanuit de lucht, is een ALB-systeem een geschikt middel om onregelmatige kustgebieden in kaart te brengen (Irish *et al.*, 1997).

Deze systemen hebben ook de mogelijkheid operatief te zijn in gebieden waar het moeilijk, gevaarlijk of onmogelijk zou zijn om ‘water-borne’-technieken te gebruiken (Graham *et al.*, 1999).

Omdat de metingen zo snel gebeuren, is het mogelijk om een jaarlijkse monitoring te maken van dynamische gebieden en snelle ramingen te maken van seizoenale veranderingen (McClung en Douglass, 1999) en van stormschade (Irish *et al.*, 1996 in Guenther, 2001 in Guenther, 2001).

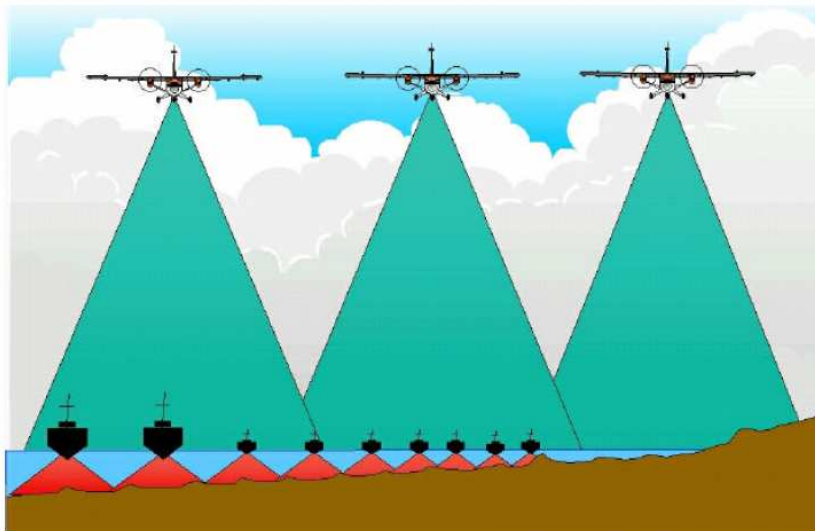
Een ander voordeel van de korte periode die de meting in beslag neemt, is de mogelijkheid om tijdens de schaarse periodes met gunstige omgevingsfactoren voor een gebied, meetvluchten uit te voeren. Zoals bijvoorbeeld in streken waar het wateroppervlak slechts tijdens een beperkte periode van het jaar niet bedekt is met ijs (Vosburgh en Banic, 1987 in Guenther, 2001).

Doordat Lidar geen schadelijke, destructieve of indringende meetmethode is, blijkt zij uiterst geschikt voor het opmeten van koraalriffen en andere natuurgebieden (Piel en Populus et al, 2007).

Dat Lidar kan ingeschakeld worden in 'dual mode', is één van de belangrijkste troeven van deze techniek. Zo kunnen ondiepe wateren, de kustlijn, het strand en het aangrenzende land gelijktijdig opgemeten worden (Piel en Populus et al, 2007).

Lidar is een 'actief systeem' en zendt bijgevolg *zelf* pulsen uit. Hierdoor is het niet afhankelijk van een andere lichtbron en kunnen metingen ook 's nachts uitgevoerd worden (Piel en Populus et al, 2007).

Daar de vlieghoogte zeer gering is, kunnen Lidar-opnamen gemaakt worden bij een wolkendek, zolang er geen wolken onder het toestel zitten (Piel en Populus et al, 2007).



Figuur 6: Voordeel van Lidar tegenover multibeam

Bron: Guenther, 2001

Het voordeel dat meestal het zwaarst doorweegt, is het rendement ('cost efficiency'). Zie figuur 6. Experimenten met de SHOALS hebben aangetoond dat, bij geschikte en zorgvuldig geplande projecten, de kost van Airborne Lidar Bathymetry tussen één vijfde en de helft bedraagt van die van 'waterborne'-technieken, afhankelijk van de omgevingsfactoren. Gelijkaardige kostenvoordelen zijn ontdekt in Zweden en Australië (Kumar, s.d.).

4.3.2 Nadelen

De grootste beperking die ALB-systemen kennen, is de helderheid van het water. Deze beperkt de maximale meetbare diepte (Guenther en Goodman, 1978). De maximale meetbare diepte is de grootste diepte die kan gemeten worden op een gegeven plaats, waarvoor de meting voldoet aan de vooraf opgestelde nauwkeurigheidseisen. Dit vereist dat de 'bottom return'-signalen relatief sterk en ruisvrij zijn, zodat hun tijd van aankomst nauwkeurig kan geregistreerd worden in het vliegtuig. Hoe helderder het water, en hoe minder partikels in het water, des te groter de maximale meetbare diepte zal zijn (Guenther, 2001).

Een ander nadeel van ALB-systemen is dat ze niet in staat zijn kleine objecten (grootorde van 1 m²) op de bodem te detecteren (Guenther, 2001).

De werking en nauwkeurigheid van Lidar-metingen kunnen belemmerd worden door nog allerlei andere factoren. Zo hebben regen, mist, lage bewolking, sterke winden, hoge golven, schittering van de zon op het wateroppervlak, zeer steile hellingen en zeewierbanken (Steinvall *et al.*, 1994 in Guenther, 2001) een invloed op de metingen (Guenther, 2001).

Bij regenweer worden in principe geen metingen uitgevoerd omdat de laserstraal zal weerkaatsen in de regendruppels. Om diezelfde reden worden ook geen Lidar-metingen genomen bij mist of lage bewolking (Guenther, 2001).

Sterke winden hebben om verschillende redenen een negatief effect. Vooreerst kunnen zij een gevaar vormen voor het vliegtuig, voornamelijk wanneer dit langs grote rotsen van falaisekusten vliegt. Daarnaast kunnen zij ook schuimkoppen en grote golven veroorzaken, waardoor verkeerdelijk land gedetecteerd wordt. Ten derde kunnen zij een nevel boven het wateroppervlak veroorzaken en hierdoor wordt, zoals bij mist, de laserstraal vroegtijdig gereflecteerd. Ten vierde kunnen deze winden een verandering in de meetdensiteit teweeg brengen, indien de piloot vliegt volgens luchtsnelheid in plaats van grondsnelheid (Guenther, 2001).

Grote golven, en vooral deze met een grote golflengte, kunnen een verkeerde interpretatie van het gemiddelde zeeniveau voortbrengen (Guenther, 2001).

Glinstering van de zon op het wateroppervlak zorgt voor ruis. De reflectie kan zo hoog zijn dat de ontvanger in het vliegtuig verblind wordt. Om die reden kunnen vluchten geschikt worden opdat ze niet op de plaatselijke middag zouden geschieden (Guenther, 2001).

Zeewierbanken genereren een verkeerde 'bottom return', doordat de laserpuls niet volledig tot op de bodem kan doordringen (Guenther, 2001).

4.4 Toepassingen

Enkele toepassingen waarbij Lidar-metingen gebruikt werden worden hieronder opgesomd:

- Onderzoek naar sedimentverplaatsing in het water (Irish, 1997).
- Het aanmaken van nautische kaarten (Kumar, s.d.).
- Het opsporen van wrakken op de zeebodem (Velthoven, 2004).
- Het aanmaken van digitale terreinmodellen van zowel ondiepe wateren, de kustlijn als het aangrenzende deel op het vaste land (Kumar, s.d.).
- 'Coastal zone mapping', het karteren van de kustlijn (Pope *et al.*, 2001).
- Het inspecteren van havens en havengeulen (Pope *et al.*, 2001).
- Het opmeten van ondiepe wateren, overstromingsgebieden en moerasgebieden (U.S. Army Corps of Engineers, 2002).
- Militaire operaties: 'antisubmarine warfare' en 'rapid environmental assessment' (Pope *et al.*, 2001).
- Het ramen van de schade na orkanen en andere extreme natuurkrachten (Irish *et al.*, 1996 in Guenther, 2001).

5 DISCUSSIE

Guenther *et al.* (2000) stellen dat de vraag naar Lidar gering is. Dit valt te verklaren doordat de techniek slechts in bepaalde omstandigheden inzetbaar is. De maximale meetdiepte hangt af van de helderheid van het water (Guenther en Goodman, 1978). Vermits Lidar gebruikt maakt van laserstralen, geldt dat hoe helderder het water is, hoe groter de maximale meetdiepte is. Zo wordt airborne Lidar bathymetrie voornamelijk ingezet voor het karteren van relatief ondiepe wateren, kustlijnen en de aangrenzende delen op het vaste land (Kumar, s.d.).

De verticale nauwkeurigheid van Lidar valt binnen de 'IHO Order-1'-nauwkeurigheidseis van 0,50 meter voor de verticale richting (Guenther, 2001). De horizontale positie van het gemeten punt is minder nauwkeurig. Doordat de laserpuls doorheen het water sterk wordt verstrooid (Velthoven, 2004), kan het gemeten punt een horizontale verplaatsing ondergaan zijn ten opzichte van het werkelijke punt. Maar volgens Guenther (2001) zijn de horizontale nauwkeurigheidseisen doorgaans vergevingsgezind genoeg om deze kleine 'shift' te aanvaarden.

Uit de wetenschappelijke literatuur blijkt dat het voornaamste voordeel van Lidar zijn rendement is, wat ook 'cost efficiency' genoemd wordt.

Guenther (2001) heeft hier nog aan toe te voegen dat airborne Lidar bathymetrie zich in de loop der jaren bewezen heeft als zijnde een accurate, efficiënte, veilige en flexibele meettechniek voor 'near-shore waters'.

6 BESLUIT

Lidar is een steeds populairder wordende techniek om bathymetrische gegevens te verzamelen. Hierbij worden vanuit een vliegtuig 2 laserpulsen met verschillende golflengte uitgezonden. Eén puls reflecteert op het wateroppervlak, de andere penetreert door de waterkolom en weerkaatst op de bodem. In het vliegtuig zit een ontvanger gemonteerd, die de teruggekaatste pulsen opvangt. Uit de geregistreerde tijdsverschillen tussen de uitgaande en de inkomende pulsen, kan de vlieghoogte boven de zeebodem en die boven het wateroppervlak berekend worden. Uit deze twee hoogten leidt men de waterdiepte af.

Een groot voordeel is dat deze techniek vanop afstand wordt toegepast en dat het gebied enkel overvlogen moet kunnen worden om metingen uit te voeren. Hierdoor kunnen gebieden die voor andere bathymetrische technieken moeilijk, gevaarlijk of onmogelijk zijn, toch in kaart gebracht worden.

Anderzijds heeft Lidar als nadeel dat de nauwkeurigheid lager is dan die van single- of multibeam technieken. Dit maakt dat Lidar geen vervangmiddel is van bestaande sonar-meetmethoden. Meestal voldoet airborne Lidar bathymetrie aan de nauwkeurigheidseisen van reguliere peilingen en karteringen, maar heeft het problemen om kleine objecten (grootorde

van 1 m³) te detecteren. De techniek is slechts inzetbaar in gebieden met geringe diepte en met relatief helder water.

Lidar wordt voornamelijk gebruikt voor het in kaart brengen van kust- en havengebieden.

Men kan concluderen dat Lidar nog niet volledig op punt staat, maar dat het afhankelijk is van de huidige technologie en dus steeds zal verbeteren.

7 REFERENTIELIJST

Graham, T., Smith, K., Spittal, J. en West, G.R. (1999) *Improving the efficiency, safety and economy of the New Zealand national nautical charting program through the integrated use of the SHOALS system in a multi-sensor survey*. Proc. U.S. Hydrographic Conference, April 26-29, Mobile, AM, 11 pp.

Guenther, G.C. (2001) "Airborne Lidar bathymetry". In: Maune D.F. (Ed.) *Digital elevation model technologies and applications: the DEM users manual*. Soc Photogram Rem sens., Bethesda, pp. 236-306.

Guenther, G.C., Cunningham, A.G., LaRocque, P.E. en Reid, D.J. (2000) *Meeting the accuracy challenge in airborne Lidar bathymetry*. Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Lidar, Dresden/FRG, pp. 1-27.

Irish, J.L. (2000) *An introduction to coastal zone mapping with airborne Lidar: The shoals system*. <http://shoals.sam.usace.army.mil>. 24/.3/2008.

Irish, J.L. en Lillycrop, W.J. (1999) "Scanning laser mapping of the coastal zone: the SHOALS system". *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*. 54, 123-129.

Irish, J.L., Lillycrop, W.J. en Parson, L.E. (1997) "Accuracy of sand volumes as a function of survey density". In: Edge, B.L. *Coastal Engineering, Proceedings of the Twenty-fifth international conference*. New York: ASCE, pp. 3736-3749.

Kumar, R. (s.d.) *Significance of laser airborne technique for shallow bathymetry charting*. National Hydrographic Office.

LaRocque, P.E. en West, G.R. (1999) *Airborne laser hydrography: an introduction*. Proc. ROPME/PERSGA/IHB Workshop on Hydrographic Activities in the ROPME Sea area and Red Sea, October 24-27, Kuwait, 16pp.

Meyers, B.C. en Weideman, N.H. (1988) *Functional performance specification for a n inertial navigation system*. Software Engineering Institute, Pittsburgh, Pennsylvania.

Piel, S. en Populus, J. (2007) "Lidar". In: Coggan, R., Populus, J., White, J., Sheehan, K., Fitzpatrick, F. en Piel, S. (eds.) *Review of standards and protocols for seabed habitat mapping*. MESH action 2.1, pp. 21-31.

Pope, R.W., Johnson, P, Lejdebrink, U. en Lillycrop, W.J. (2001). "Airborne Lidar hydrography: Vision for tomorrow". Proc., 2001.

US Army corps of engineers (2002) *Airborne Lidar hydrographic surveying*.

<http://www.usace.army.mil/publications/eng-manuals/>. 26/03/2008.

Velthoven, W. (2004) "Suitability of airborne Lidar bathymetry for The Netherlands". Hydro International. Juni, 45-47.