

DI: 237425

MO-GAR-2002-31

26 AUG 2002

Informatiecentrum
Rijkswaterstaat
Meetkundig

Waterbouwkundige toepassingen van laseraltimetrie

Meetkundige Dienst



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Meetkundige Dienst

MDR 736 MD



Aan
Branko van der Waal
Documentair Informatiecentrum
Kanaalweg 3b
Delft

Contactpersoon

-

Datum

21 augustus 2002

Ons kenmerk

-

Onderwerp

Rapport Waterbouwkundige toepassingen van laseraltimetrie

Doorkiesnummer

-

Bijlage(n)

MD-rapport MD-GAR-2002-31

Uw kenmerk

-

Geachte Branko van der Waal ,

Hierbij ontvangt u het rapport "Waterbouwkundige toepassingen van laseraltimetrie" van de Meetkundige Dienst, gemaakt in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

Met vriendelijke groet,

Ardis Bollweg



Waterbouwkundige toepassingen van laseraltimetrie

Definitief

juli 2002

MD rapport MD-GAR-2002-31

Auteurs:

A.E. Bollweg

E.M.J. Vaessen

Inhoudsopgave

.....

Inhoudsopgave	3
1 Inleiding	4
1.1 Projectdoel	4
1.2 Opzet onderzoek	4
1.3 Afbakening	5
2 Meetgegevens	6
2.1 Laseraltimetriedata	6
2.1.1 Nauwkeurigheid laser	7
2.1.2 Punt dichtheid	9
2.1.3 Meerwaarde laser	9
2.2 Terrestrische metingen	10
2.3 DTB-nat	10
2.4 Multibeam	10
3 Toepasbaarheid laser	12
3.1 Oevers en waterbouwkundige constructies	12
3.2 Waterstand en -verhang	19
3.3 Kribvakwaterstanden	19
3.4 Golfbewegingen van schepen en wind	21
4 Conclusies en aanbevelingen	24
4.1 Conclusies	24
4.2 Aanbevelingen	25
Literatuurlijst	27

1 Inleiding

Naar aanleiding van de bevindingen bij het onderzoek naar de toepassing van laseraltimetrie voor de bepaling van de geometrie van het wateroppervlak, zoals lengte- en dwarsverhangmetingen en golfmetingen [Bollweg, et.al.; 2001] [Bollweg en Heerd; 1999] is bij Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) de vraag ontstaan of laseraltimetrie ook kan bijdragen aan haar waterbouwkundige onderzoek- en advieswerkzaamheden. Deze werkzaamheden liggen op het gebied van het beheer en onderhoud van constructies en het vastleggen van de waterstand en golfkarakteristieken langs oevers, (krib)constructies of in kribvakken.

1.1 Projectdoel

Het projectdoel is het geven van advies over de mogelijke toepassingen van laseraltimetrie voor waterbouwkundige werkzaamheden en daarbij een uitspraak te doen over de nauwkeurigheid van de laserdata voor de betreffende toepassing. Dit behelst mede een advies over de te gebruiken punt dichtheid en de bijbehorende kosten.

Het projectresultaat zal bestaan uit: een rapport met advies over deze mogelijke toepassingen, te splitsen in de volgende onderdelen:

1. oevers en waterbouwkundige constructies;
2. waterstand en –verhang;
3. kribvakwaterstanden;
4. golfbewegingen ten gevolge van schepen en wind.

1.2 Opzet onderzoek

Eerst wordt een uitspraak gedaan over de nauwkeurigheid van laseraltimetriemetingen en de meerwaarde van deze techniek. Vragen die daarnaast aan de orde kunnen komen zijn onder andere:

- Wat is de nauwkeurigheid van een hoogtebepaling van constructies en van de waterspiegel?
- Is de land-water overgang zichtbaar in laseraltimetriedata?
- Wat is het voordeel van laseraltimetriemetingen boven fotogrammetrische metingen, die nu worden gebruikt voor het Digitaal Topografisch Bestand van de natte infrastructuur (DTB-nat)?
- Is het mogelijk om met laseraltimetrie een goed geometrisch beeld van een krib (of een deel ervan) te krijgen?

Vervolgens wordt ingegaan op de toepasbaarheid van laseraltimetriedata voor waterbouwkundige werkzaamheden. Vragen die daarbij aan de orde kunnen komen zijn onder andere:

- Welke punt dichtheid is optimaal voor deze toepassingen?
- Zit er verschil in de afzonderlijke laseraltimetriesystemen voor toepassingen van land- en watermetingen?
- Is het mogelijk om tijdseries te meten van variaties in de waterspiegel?
- Wat zijn de kosten van het inmeten van kribben met laseraltimetrie, vergeleken met de oude methoden?

Hieronder volgt een korte omschrijving van de verschillende waterbouwkundige toepassingsgebieden.

Oevers en waterbouwkundige constructies

Voor beheer en onderhoud van de oevers en van waterbouwkundige constructies zoals kribben, strekdammen en vooroeververdedigingen is het van belang om veranderingen te meten, zowel in termen van verzakkingen als verschuivingen. In hoofdstuk 3.1 wordt hier verder op ingegaan.

Waterstand en -verhang

Kennis van waterstand en -verhang van een riviertraject of in een kribvak is nodig voor het beheer en onderhoud van de oevers en de constructies. Met de huidige meetstations is enkel informatie op het meetpunt zelf voorhanden. Om waterverhang over bijvoorbeeld een riviertraject of een kribvak te meten zijn meerdere waterstandsmeters nodig om een globaal beeld te geven. In hoofdstuk 3.2 wordt hier verder op ingegaan.

Kribvakwaterstanden

De waterstand in een kribvak varieert in ruimtelijke zin. Dit is toe te schrijven aan binnen het kribvak optredende neercirculaties en snelheidsgradiënten in stromingen. Oevers en waterbouwkundige constructies hebben invloed op deze bewegingen. Ook door langsvarende schepen kan het waterpeil variëren. Daarnaast kan het verhang worden gebruikt als invoerparameter voor hydraulische modellen waaruit de aard van de stroming in een kribvak kan worden afgeleid. DWW heeft dus behoefte aan de waterstanden in het gehele kribvak op één moment.

Naast waterstandsverschillen door afvoer bestaat ook de behoefte om scheepsgeïnduceerde waterbewegingen te kunnen meten zoals scheepsgolven en waterstands dalingen in een kribvak veroorzaakt door de zuigende werking van langsvarende schepen. In hoofdstuk 3.3 wordt hier verder op ingegaan.

Golfbewegingen ten gevolge van schepen en wind

De wind en schepen veroorzaken golfbewegingen in de rivier. De invloed van deze golfbewegingen op oevers en waterbouwkundige constructies is van belang voor het beheer hiervan. DWW heeft behoefte aan het kunnen bepalen van de golflengte en golfhoogte van windgolven op één meetmoment. In hoofdstuk 3.4 wordt hier verder op ingegaan.

1.3 Afbakening

Binnen dit onderzoek worden geen nieuwe laseraltimetriemetingen uitgevoerd maar wordt gebruik gemaakt van bij de Meetkundige Dienst reeds aanwezige laserdata van oevers en waterbouwkundige constructies.

2 Meetgegevens

2.1 Laseraltimetriedata

In dit rapport zal niet uitgebreid worden ingegaan op de inwinning van laseraltimetriedata. Voor meer informatie over de verschillende lasersysteemparemeters wordt verwezen naar [Bollweg; 2001].

Binnen dit onderzoek zijn die laseraltimetriebestanden meegenomen die zowel oevers, waterbouwkundige constructies als wateroppervlakken bevatten. Zie tabel 1 en figuur 1 voor een gedetailleerd overzicht van de bij de Meetkundige Dienst (MD) aanwezige bestanden en de project randvoorwaarden.

Tabel 1: Overzicht van bij de MD aanwezige laseraltimetriebestanden tot 2002 van wateroppervlakten en oevers.

Projectnaam	Projectgebied	Meetdatum	Laser-systeem	Filtering*	Punt dichtheid
Waal	Waal (tussen Emmerich en Gorinchem en v.v.)	nov. 1999	Toposys (helikopter)	ongefilterd	1m x 1m grid (oorspronkelijk 20 punten per m ² op water)
IJssel	IJssel incl. uiterwaarden (tussen Deventer en Wijhe)	1997	Fli-map (helikopter)	vegetatie en objecten gefilterd	1 tot 6 punten per m ² in enkele vliegstrook op land; op water geen signaal, zie figuur 7
Uiterwaarden	1. Duursche Waard (IJssel) 2. Afferdense en Deestse Waard (Waal)	maart 2001	Fli-map (helikopter)	ongefilterd	6 punten per m ² in enkele vliegstrook op land; gemiddeld 10 punten per m ² op land; op water geen signaal, zie figuur 7
Gooimeer	Gooimeer (golfmetingen van veerdienst)	april 2001	Toposys (vliegtuig)	ongefilterd	8 punten per m ² in enkele vliegstrook** op water
Pannerden	Rijn (hoogwatergolf)	nov 1998	Saab Topeye (vliegtuig)	ongefilterd	1 punt per 3,7 m ² in enkele strook op water; gemiddeld 1 punt per m ² voor gehele gebied

* ongefilterd betekend niet gefilterd voor vegetatie en andere objecten op het maaiveld, wel voor uitschieters.

** de oorspronkelijke XY-punten, dus niet een grid.



De verschillende lasersystemen, zoals genoemd in tabel 1, hebben elk hun specifieke instellingen en filtermethode. In hoofdstuk 3 zullen enkele kenmerken nader aan bod komen.

Figuur 1: Een overzicht van de locaties in Nederland waar laseraltimetrieprojecten van wateroppervlaktes en oevers zijn uitgevoerd, zoals omschreven in tabel 1.

2.1.1 Nauwkeurigheid laser

In het navolgende worden de resultaten van een drietal wijzen van nauwkeurighedsanalyse toegelicht.

Laser versus MSW-metingen

RWS heeft een automatisch meetsysteem ontwikkeld ter bepaling van de waterstaatkundige toestand van Nederland, het Monitoring Systeem Water (MSW). Hiermee kunnen waterstanden gemeten worden. Op diverse plaatsen langs de Nederlandse rivieren zijn meetposten aangebracht. Hier worden automatisch elke 10 minuten (of andere tijdseenheid) de hoogte van de waterspiegel bij de waterinlaat opgeslagen. Deze geregistreerde hoogten kunnen worden vergeleken met de gemiddelde hoogte van een set laserpunten in de directe omgeving van deze waterinlaat rond dezelfde tijd. Zie tabel 2 voor enkele vergelijkingen tussen MSW- en lasermetingen.

Bij de vergelijkingen van lasermetingen van de waterstand in de omgeving van een MSW-peilstation blijkt dat laseraltimetrie slechts enkele centimeters in hoogte afwijkt ten opzichte van de MSW-metingen [Bollweg, et.al.; 2001] en [Bollweg en Heerd; 1999], zie tabel 2. De lasermetingen in het projectgebied Pannerden zijn over een kleiner oppervlak gemiddeld dan bij het projectgebied de Waal, hetgeen vermoedelijk de oorzaak van de grotere verschillen kan verklaren.

Tabel 2: Vergelijking tussen MSW-meting en lasermeting rond hetzelfde tijdstip. De lasermetingen, uit 1 vliegstrook, zijn gemiddeld over een oppervlak in de directe omgeving van de waterinlaat van het MSW-peilstation.

Projectgebied Waal		Projectgebied Pannerden	
MSW-meting	lasermeting*	MSW-meting	lasermeting*
NAP [m]	200x31 m NAP [m]	NAP [m]	25x25 m NAP [m]
8,92	8,91	14,66	14,58
8,68	8,66	14,89	14,92
6,81	6,84	15,15	15,18
1,61	1,60	* gemiddelde hoogte over 169 laserpunten (uit laserbestand van 2m x 2m gridbestand)	
0,56	0,53		

* gemiddelde hoogte over de 6200 laserpunten
(uit 1m x 1m gridbestand)

Laser versus terrestrische metingen

Laseraltimetrie kan op de droge gebieden (met name parkeerplaatsen en sportvelden) in hoogte worden vergeleken met terrestrische metingen. In tabel 3 worden voor enkele in tabel 1 genoemde laseraltimetriebestanden de resultaten van deze vergelijking weergegeven.

Tabel 3: Vergelijking van lasermetingen met terrestrische metingen op vlakke referentiegebieden, zoals parkeerplaatsen en voetbalvelden.

Projectnaam	Referentie gebied(en)	Aantal terrestrische metingen	Gemiddelde fout * [cm]	Standaard-afwijking van fout * [cm]
Uiterwaarden	ref. gebied 1	30	5,6	2,6
	ref. gebied 2	120	3,3	2,6
	ref. gebied 3	165	4,0	3,6
	ref. gebied 4	138	7,5	3,1
Waal	alle ref. gebieden	?	2	9

Pannerden	alle ref. gebieden	?	1	7
IJssel**	ref. gebied 1	241	0	5
	ref. gebied 2	127	0	5
	ref. gebied 3	95	0	4
	ref. gebied 4	115	4	8

* de fout is het verschil tussen terrestrische meting en de geïnterpoleerde laseraltimetrie-hoogte op de x,y-coördinaten van de terrestrische meting. ** zie [Wicherson, 1998]

De verschillen in de gemiddelde fout en standaardafwijking van de fout tussen de verschillende laseraltimetriedata kan deels worden verklaard door de verschillende vlieghoogten. Met name bij de projecten Uiterwaarden en IJssel is veel lager gevlogen dan bij de andere projecten. Een andere verklaring kan zijn de invloed van de x,y nauwkeurigheid van de laser- en terrestrische data. Een kleine x,y verschuiving kan een fout in de hoogte veroorzaken, zeker als het referentiegebied niet geheel vlak is, zoals bij referentiegebied 4 van het projectgebied de Uiterwaarden het geval is.

Precisie laser op water

De standaardafwijking is een maat voor de variatie ten opzichte van het gemiddelde [Dood, et.al.; 1998] [Bollweg, Crombaghs, et.al.; 2001]. In dit geval dus de variatie van de hoogte rond de gemiddelde hoogte berekend over een gebied van x bij x meter. Bij afwezigheid van golven mag in een gebied van bijvoorbeeld 20 bij 20 meter het water vlak worden verondersteld. De aanwezigheid van golven zal een directe invloed hebben op de standaardafwijking en deze enkele centimeters doen toenemen, zie tabel 4. Van een klein oppervlak met n laserpunten wordt de standaardafwijking weergegeven t.o.v. de gemiddelde laserhoogte berekend in hetzelfde gebied. De laserdata is van een enkele vliegstrook.

Tabel 4: Standaardafwijking van laserhoogte van het wateroppervlak, in een enkele vliegstrook, van n laserpunten in een gebied van x bij x meter.

Project	Oppervlak [m] x [m]	Aantal laserpunten [n]	Standaard- afwijking [cm]	Wind- en scheepsgolven aanwezig
Waal	10 x 10	100	2,6	niet zichtbaar in laserdata
	10 x 10	100	2,7	niet zichtbaar in laserdata
	25 x 25	625	3,3	niet zichtbaar in laserdata
	25 x 25	625	3,6	niet zichtbaar in laserdata
Gooimeer	25 x 25	3294	7,5	zichtbaar in laserdata
IJssel	20 x 20	609	5,5	onbekend
Pannerden	100 x 100	1705	8	onbekend
	100 x 100	1549	7	onbekend
	100 x 100	1738	3	onbekend
	100 x 100	1735	3	onbekend

Bij het projectgebied de Waal zijn enkele gebieden gekozen waar zichtbaar geen invloed van wind aanwezig was, in de luwte van een oever of constructie. Ook de invloed van schepen waren op die locaties minimaal. Dit is terug te zien in de lage standaardafwijking van de laserhoogte. Bij projectgebied Pannerden varieert de standaardafwijking. Dit kan mede veroorzaakt worden door de ondergrond, die invloed heeft op de ruwheid van het wateroppervlak, zoals in figuur 10 is te zien. Het water heeft een ruwer oppervlak in het zomerbed, en een gladder oppervlak in het winterbed. De aanwezigheid van wind- of scheepsgolven is hierbij niet bekend. De hoge standaardafwijking bij aanwezigheid van golven in de laserdata is bij het projectgebied Gooimeer logisch.

2.1.2 Punt dichtheid

De punt dichtheid van laser is onder andere afhankelijk van de informatie-behoefte evenals de bijbehorende nauwkeurigheid en mate van detail. Er is een belangrijk verschil van lasermetingen van wateroppervlak in vergelijking met lasermetingen op land. Namelijk bij het meten van wateroppervlak met laseraltimetrie speelt de speculaire reflectie-eigenschap van water een belangrijke rol. In het algemeen nemen daar zowel de strookbreedte als de punt dichtheid af. Een uitzondering hierop is het systeem van Toposys dat een zeer smalle kijkhoek heeft, waardoor de strookbreedte op water even groot is als op land. De mate van vermindering is per lasersysteem verschillend. Zie figuur 6 en 7 voor het verschil in reflectie op water tussen twee verschillende lasersystemen. Figuur 6 toont data van de Waal, waarbij deze in de vorm van een grid met een maaswijdte van 1m x1m is gepresenteerd. Het verschil in punt dichtheid op de krib en op het water is hierdoor niet zichtbaar, maar voor elke gridcel op het wateroppervlak geldt dat er één of meer laserpunten in gemeten zijn. In figuur 7 zijn de oorspronkelijke laserpunten zichtbaar die afkomstig zijn van het Fli-map systeem. In tegenstelling tot wat het geval is op het land en de krib, waarvan heel veel signaal terugkomt, is er op het wateroppervlak weinig tot geen reflectie. Bovendien speelt met name bij windstil weer deze reflectie-eigenschap ook op. De reflectie op water zal enorm afnemen.

Een advies voor de te gebruiken punt dichtheid in toekomstige projecten is dus in de eerste plaats afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid en mate van detail. Alle datasets die gebruikt zijn in dit onderzoek hebben een punt dichtheid van 1 of meer punten per vierkante meter. Voor de nauwkeurigheid van het wateroppervlak is het gunstig om een hoge punt dichtheid te gebruiken omdat hiermee de invloed van golven goeddeels uitgemiddeld wordt. Ook als met laseraltimetrie de vorm van de golven zelf wordt ingemeten is een hoge punt dichtheid gewenst. Voor de vorm van kribben of andere waterbouwkundige constructies zou een minder hoge punt dichtheid kunnen worden gebruikt, waarbij te denken valt aan 1 punt per vierkante meter. Ook de grootte van de constructies bepaalt dit mede.

2.1.3 Meerwaarde laser

De meerwaarde van laseraltimetrie ligt met name in de hoge mate van meetdetail. De hieruit volgende, uiterst omvangrijke bestandsgrootte van de laserdata moet men dan maar voor lief nemen.

De doorlooptijd van de metingen is t.o.v. terrestrische metingen veel korter, maar de nauwkeurigheid van terrestrische metingen is daarentegen weer hoger.

De kosten variëren normaal gesproken tussen de 10 tot 55 € per hectare. Deze hectareprijs is afhankelijk van onder andere punt dichtheid, vorm van gebied, totale gebiedsgrootte, doorlooptijd, vlieghoogte, vliegsnelheid, lasersysteem, vliegvensters, seizoensinvloeden (sneeuw, regen, hoogwater, etc...) en vliegrekken per tank.

Een ander voordeel van de lasermetingen is dat een continu beeld in de ruimte wordt verkregen, terwijl met bijvoorbeeld de MSW-metingen in eerste instantie een continu beeld in de tijd op één locatie wordt verkregen.

2.2 Terrestrische metingen

Terrestrische metingen van kribben zijn niet structureel aanwezig en beschikbaar. In principe worden na de aanleg van kribben met behulp van een waterpassing (of andere terrestrische methode) enkele parameters opgemeten. De gemeten parameters zijn de radarbaak, wortelpaal, lengte, breedte, kruinhoogte t.o.v. NAP en helling aan rivierzijde. Deze metingen zijn vaak oud en onvolledig. Terrestrische metingen zijn lastig uitvoerbaar en tijdsintensief. Voor eventuele toekomstige metingen ligt gebruik van dGPS voor de hand.

Binnen dit onderzoek zijn dus helaas maar een gering aantal en zeer oude terrestrische metingen van kribben beschikbaar, waarvan ook lasermetingen aanwezig zijn. Een vergelijking van lasermetingen en terrestrische metingen op een krib zal dan ook niet worden behandeld. In een vervolg project zou zo'n vergelijking kunnen worden meegenomen om de beide meetmethoden aan elkaar te toetsen.

Voor de volledigheid worden hier ook nog de in paragraaf 2.1 vermelde terrestrische metingen genoemd die bij laseraltimetrieprojecten voor de MD worden uitgevoerd.

2.3 DTB-nat

Het "Digitaal Topografisch Bestand van de natte infrastructuur" (DTB-nat) bevat informatie over de grote rivieren, kusten en oevers die in beheer zijn bij Rijkswaterstaat. Het bestand bevat nauwkeurige informatie over onder meer de ligging van dijken, kades, sluizen, oevers en kribben alsmede hoogte-informatie van het maaiveld en bepaalde objecten. Het DTB-nat wordt door Meetkundige Dienst ingewonnen met behulp van fotogrammetrische luchtfoto's, soms aangevuld door terrestrische veldmetingen.

Het DTB-nat bestaat uit gemiddeld 80 metingen per hectare. De afstand tussen de punten gemeten in een lijn is niet groter dan 50 m. De nauwkeurigheid van de gemeten punten is gerelateerd aan de gebruikte inwintechniek. Voor fotogrammetrie bedraagt de standaardafwijking van een gemeten punt in planimetrie (x,y) ongeveer 8cm; voor de hoogte (z) is dat 10cm. Voor de terrestrisch ingewonnen punten liggen deze waarden op ongeveer 4cm, voor zowel planimetrie als hoogte.

In paragraaf 3.1 worden de met laser ingemeten kribben vergeleken met de in het DTB aanwezige kribben.

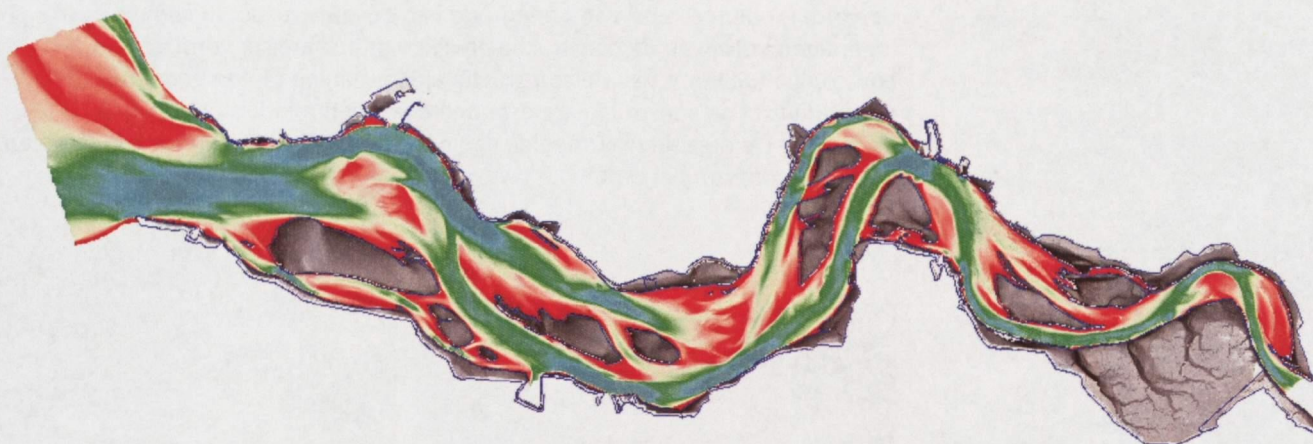
2.4 Multibeam

Sinds enkele jaren wordt met behulp van multibeam echolodgingen de rivierbodemhoogte in kaart gebracht. Ook wordt bij hoogwater het onderwater gelegen deel van de krib ingemeten met deze techniek.

In 2000 is in de Waal met deze techniek onder een hovercraft een deel van de rivierbodem vastgelegd in opdracht van Directie Oost Nederland. Voor meer informatie over deze metingen zie [Harkel, 2000].

In hoeverre de lodingsgegevens complementair zijn aan de laseraltimetrie-gegevens en ze samen een goed beeld kunnen geven van de gehele krib is nog niet onderzocht.

Een lopend onderzoek bij de Meetkundige Dienst, uitgevoerd in opdracht van Directie Zeeland en in samenwerking met RIKZ, betreft het combineren van de laseraltimetriedata met de singlebeam-lodingsdata van de Ooster- en de Westerschelde, zie figuur 2. Onderzoek naar de kwaliteit van deze totale dataset loopt momenteel nog bij de Meetkundige Dienst, in samenwerking met Directie Zeeland en RIKZ.



Figuur 2: De Westerschelde, in kleur de singlebeam lodingsdata van de onderwater gelegen delen (groen is diep, rood is ondiep) en in zwart/wit de laserdata van de droogvallende platen (zwart is laag en wit is hoog).

Voor meer informatie over de verschillende lodingsmethoden (multibeam en singlebeam) en de foutbronnen wordt verwezen naar een onderzoek bij de Meetkundige Dienst [Wiegman, 2002].

3 Toepasbaarheid laser

3.1 Oevers en waterbouwkundige constructies

Het inmeten van de geometrie van oevers en waterbouwkundige constructies gebeurt momenteel nog vaak door waterpassen. Bij kribben, strekdammen en vooroeververdedigingen (zie voor voorbeelden figuren 3a en 3b) worden hoogte en verloop van het kruin in de vorm van het lengteprofiel en een of meerdere dwarsprofielen gemeten. Hierdoor wordt een indruk verkregen van de vorm en de toestand van onderhoud van de constructie. Indien de ingemeten vorm van de constructie afwijkt van de vereiste vorm van de constructie (de vorm van de constructie tijdens aanleg of een gedefinieerde vorm) dan zal de constructie gerestaureerd worden middels ophogen en aanvullen. De precisie waarmee de ligging en de vorm moet worden ingemeten bedraagt conform behoefte van DWW 10cm voor zowel x, y en z.



Figuur 3a: Foto van vooroeververdediging met een doorstoomopening en tussen de oever en de verdediging de natte zone.



Figuur 3b: Foto van kribben met daartussen gelegen strekdammen.

In de praktijk blijkt het inmeten van deze objecten zeer lastig te zijn, vooral ten gevolge van een moeilijke bereikbaarheid ervan, zie figuren 3a en 3b. Dit heeft consequenties voor de kwaliteit van de metingen. De arbovoorschriften zullen het ook steeds moeilijker maken om met een meetbaak strekdammen en vooroeververdedigingen te betreden. Een derde nadeel is het arbeidsintensieve karakter van het waterpassen van deze constructies. Laseraltimetrie kent op deze punten alleen maar voordelen.

Voor de nabije toekomst wordt overwogen ligging en vorm van de kribben met dGPS vast te leggen. Sinds enkele jaren wordt er verder onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om met sonar (het onderwaterdeel van) de kribben vast te leggen.

De actualiteit van de huidige meetgegevens is in ieder geval zeer slecht. Bij aanleg van de constructies wordt het lengteprofiel vanaf de radarpaal tot de wortelpaal gewaterpast, maar tot herhalingsmetingen komt het vaak niet.

Het is dus niet verrassend dat een uitvoerige vergelijking van lasermetingen van kribben met bestaande metingen uit waterpassing of andere terrestrische bron niet kan worden uitgevoerd. Ter illustratie:

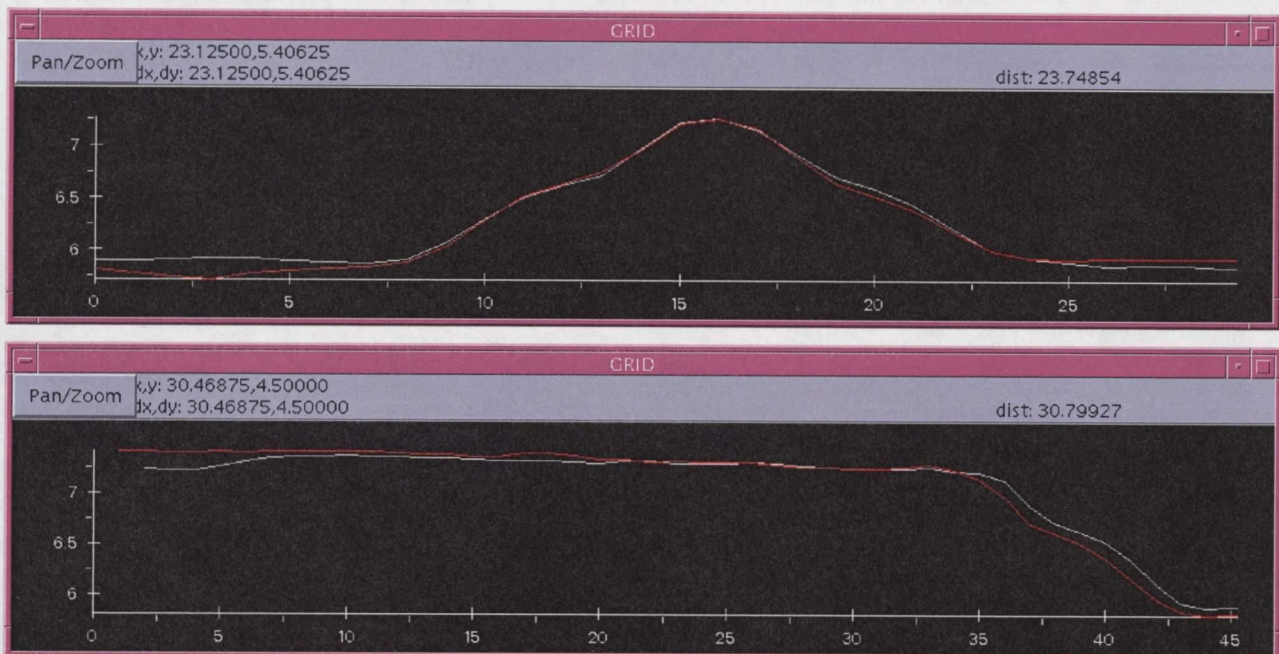
- Van de rivier de Waal zijn slechts gedetailleerde gegevens van een aantal kribben nabij Zaltbommel, rond kilometer 938-940 aanwezig. Niet meer dan twee kribben uit de laserdataset kunnen hiermee vergeleken worden;
- Bij de IJssel zijn er van veel meer kribben gegevens, maar deze zijn daarentegen weer erg summier, alleen de gewaterpaste hoogte (de zogeheten insteekhoogte) is bekend, maar dit betreft een punt met een onduidelijke ligging.

De vergelijking van laser zal daarom moeten worden uitgesteld totdat referentiemetingen in voldoende aantal en detail voorhanden zijn. Dit impliceert het opzetten van een meetcampagne waarin van een aantal kribben langs Waal en IJssel terrestrisch worden ingemeten.

Laser versus laser

Wel kunnen kribben die afkomstig zijn uit laserprojecten die in ruimtelijke zin overlappend zijn met elkaar worden vergeleken. Hier wordt dan laser met laser vergeleken om de herhaalbaarheid van de metingen te testen.

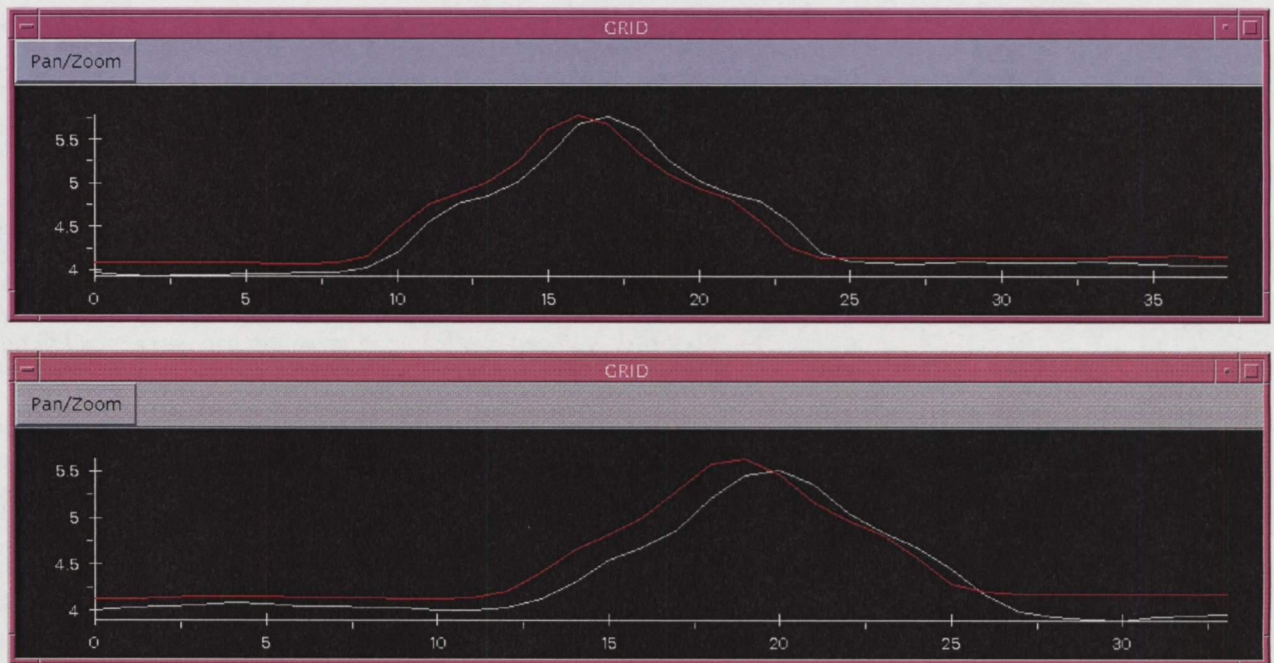
In geval van de Waal liggen een aantal kribben in de overlap van de heen- en terugvlucht uit 1999. Bij de IJssel bestaat overlap tussen projecten van de IJssel uit 1997 en het project Uiterwaarden (Duursche Waard) van 2001 waarbij ook de IJssel is ingemeten.



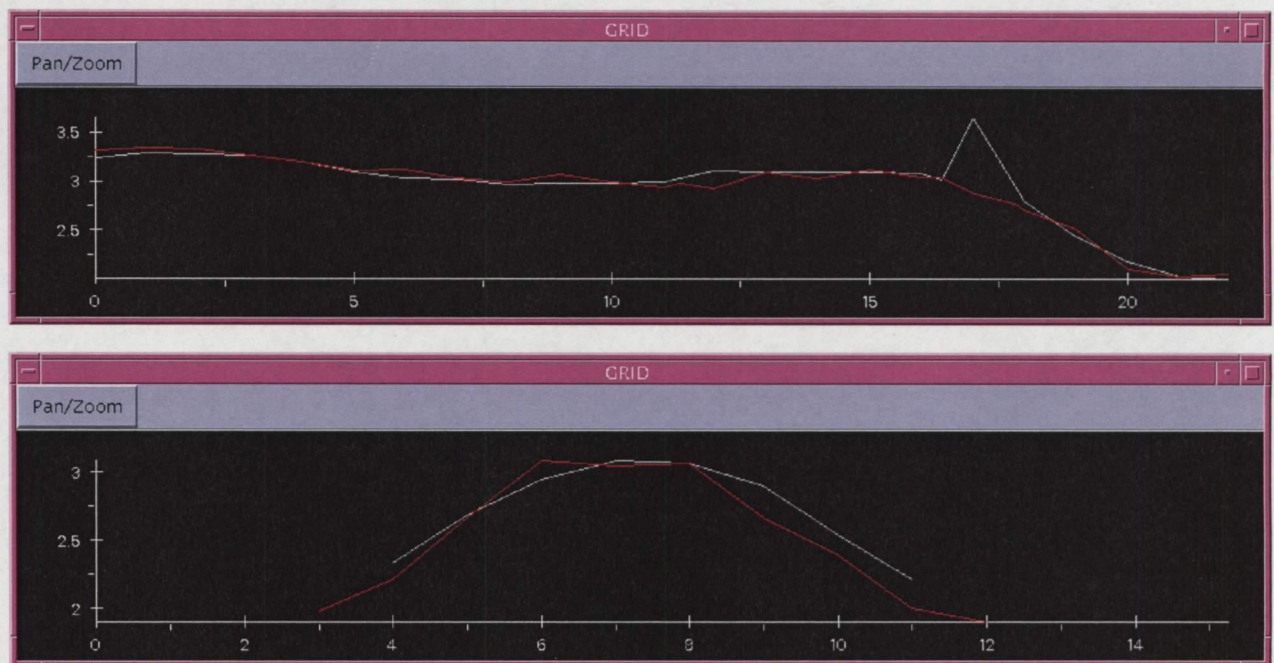
Figuur 4a & 4b: Doorsneden van kribben bij km 895 (Waal). Rood is het profiel afgeleid uit de lasermetingen van de heenvlucht, wit van de terugvlucht. De vorm wordt goed weergegeven.

Figuren 4a, 4b, 4c en 4d laten zien dat wat betreft vorm de laser in staat is een krib goed weer te geven. Tegelijk echter wordt duidelijk dat de ligging in planimetrie en hoogte kan verschillen. De oorzaak is waarschijnlijk een matige stand- en positiebepaling van het lasermeetsysteem. De verschuiving in planimetrie is mede afhankelijk van de resolutie van de laserdata. De afwijking

in hoogte is in de orde van de nauwkeurigheid van laser op land.. De profielen zijn afgeleid uit ArcInfo-grids met een gridresolutie van 1 meter.



Figuur 4c & 4d: Doorsneden van kribben bij km 912 (Waal). Rood is het profiel afgeleid uit de lasermetingen van de heenvlucht, wit van de terugvlucht. De vorm wordt goed weergegeven, echter de planimetrie en hoogte verschillen van elkaar.



Figuur 5a & 5b: Lengte- en dwarsprofiel van krib bij km 959.630 (IJssel): Rood is het profiel afgeleid uit de lasermetingen van 1997, wit van 2001.

Een lengte- en dwarsprofiel van een krib langs de IJssel is weergegeven in figuur 5a en 5b. Deze constructies zijn een stuk kleiner dan kribben in de Waal vanwege de relatief geringe breedte van de IJssel. De in de figuren zichtbare

uitschieters zijn het gevolg van de invloed van aanwezige vegetatie op de interpolatie. De ArcInfo-grids waaruit deze profielen zijn afgeleid hebben een gridresolutie van 0.5 meter.

Kribben die vrij zijn van vegetatie lenen zich qua vorm dus zeer goed voor vastlegging door laseraltimetrie. Waar zich op kribben vegetatie bevindt zal deze eerst door filtering verwijderd moeten worden uit het bestand en is men dus geheel afhankelijk van de kwaliteit van de hiervoor gehanteerde methode. Langs de beschouwde delen van de Waal komen voornamelijk "kale" kribben voor, terwijl bij de IJssel veelal kribben met vegetatie worden gevonden. Natuurlijk zal het moment van het uitvoeren van de laseraltimetriemetingen een bijdrage kunnen geven. In de winter is de invloed van vegetatie op de laserdata minder dan in de zomer.

Laser versus DTB-nat

De kribben worden voor het DTB-nat fotogrammetrisch ingemeten. Hierbij worden zowel de radarpaal als de wortelpaal (hiermee ligt de richting en het begin- en eindpunt van de krib vast) gemeten en de waterlijn (op dat moment) op de kribtalud. Een vergelijking in hoogte van de met laseraltimetrie gemeten kribben met fotogrammetrisch ingewonnen kribben voor DTB-nat is niet zinvol, omdat de hoogtenauwkeurigheid daarvan in dezelfde orde is als die van de laser. Een vergelijking in ligging en vorm kan wel worden uitgevoerd.

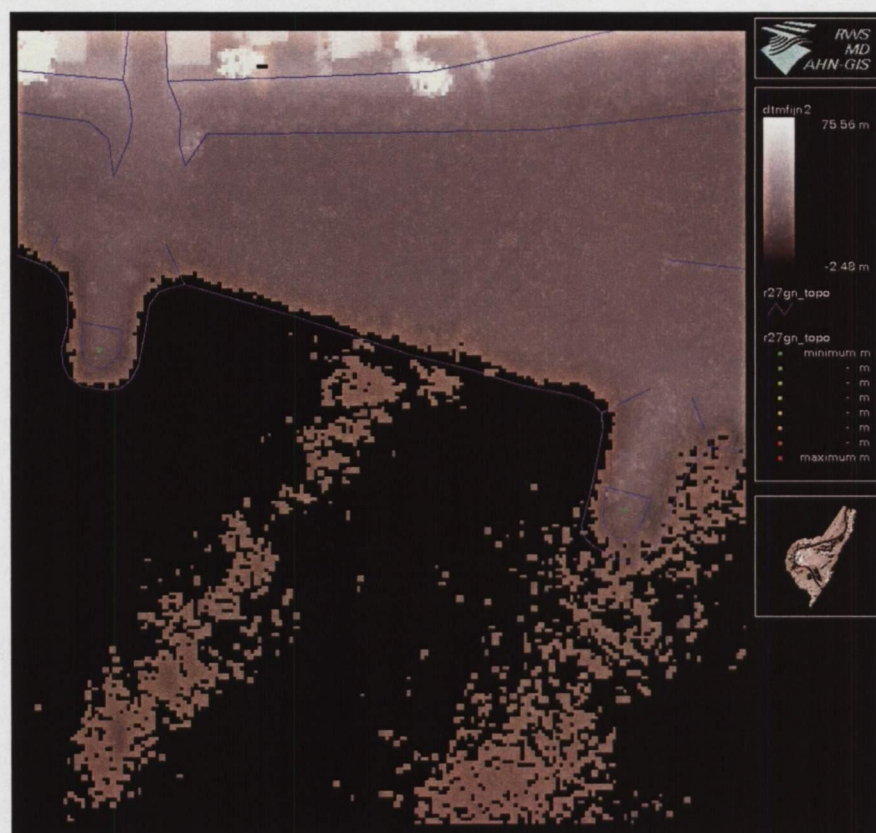
De figuren 6 en 7 zijn bovenaanzichten van kribben. De grijswaarden zijn de laserdata weergegeven in grids, waarbij donker laag is en wit hoog. De zwarte delen zijn zogenaamde 'no-data'-grids. Dit zijn gridcellen waarvan geen gereflecteerd lasersignaal ontvangen is of die gewoon buiten de vliegstrook vallen. Figuur 6 laat zien dat de vorm van de krib uit de fotogrammetrische metingen (zie blauwe lijn, afkomstig uit DTB-nat) goed overeenkomt in planimetrie met de lasermetingen. In de laserdata zijn nog enkele hogere punten (lichte pixels) zichtbaar op de krib. Deze zijn vermoedelijk veroorzaakt door vegetatie of andere obstakels (bijvoorbeeld de radarbaak) op de krib. De grens met het zwarte deel linksonder is de rand van de laserstrook die gevlogen is van rechts naar links (oost naar west).

In figuur 7 is zichtbaar dat de vorm van de krib uit de fotogrammetrische metingen "ruimer" is dan die uit de lasermetingen. Vermoedelijk veroorzaakt door een hogere waterstand bij de lasermetingen dan bij de fotogrammetrische metingen. In de laserdata zijn vele hogere punten (lichte pixels) zichtbaar op de krib, waarvan zeker is dat die veroorzaakt zijn door vegetatie of andere obstakels op de krib. Van het land, dat het bovenste deel van het figuur vormt, komt veel signaal terug. Dit is zichtbaar omdat alle pixels een grijswaarde hebben. Op het water komt alleen recht onder het vliegtuig signaal terug, vanwege de speculaire reflectie-eigenschap van het water. De vliegrichting is van linksonder naar rechtsboven (zuidwest naar noordoost).

Het wateroppervlak in de Waal (figuur 6) is, in tegenstelling tot dat van de IJssel (figuur 7), geheel bedekt door lasermetingen als gevolg van de instellingen van het gebruikte laserscannertype. Een voordeel van het lasersysteem dat is gebruikt bij de IJssel en Uiterwaarden (figuur 7) is dat het de land-watergrens duidelijk zichtbaar maakt. Een voordeel van het lasersysteem bij de Waal is de hogere betrouwbaarheid van de metingen van het wateroppervlak. Zie tabel 1 voor de verschillende lasersystemen. Uit de topografie kan natuurlijk ook de land-watergrens worden bepaald. Hierover zodirect meer.



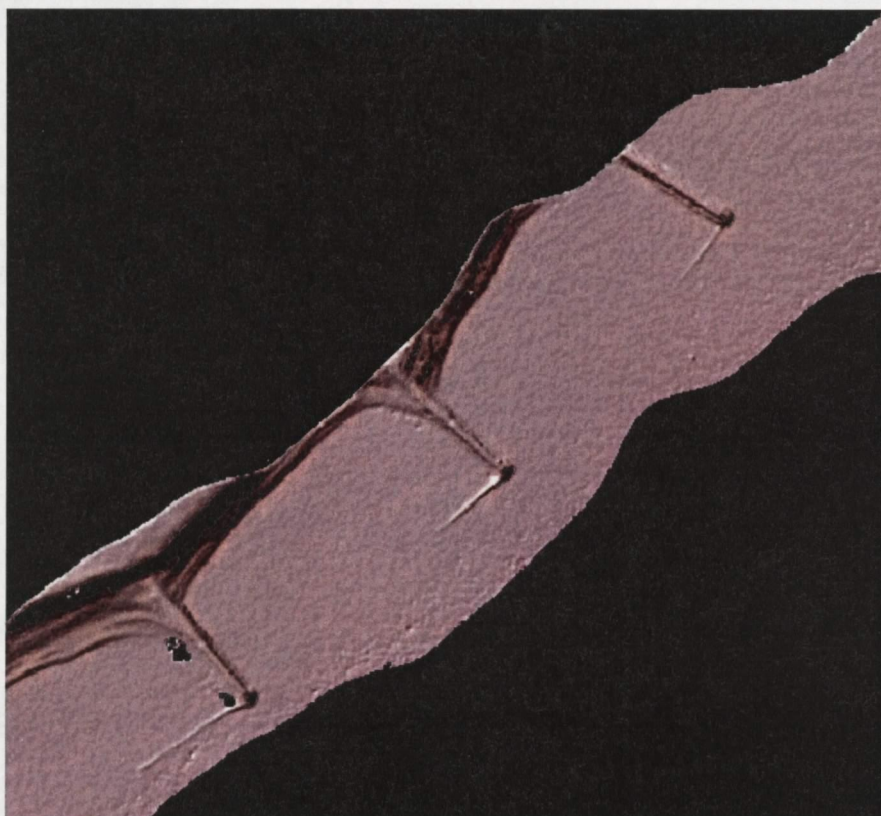
Figuur 6: Zowel de laseraltimetrie (grid van 1m bij 1m) als de DTB-nat (blauwe lijnen) van een krib bij rivierkilometer 939.605 in de Waal.



Figuur 7: Zowel de laseraltimetrie (grid van 0.5m bij 0.5m) als de DTB-nat (blauwe lijnen) van een krib in de IJssel.

Kribben uit laser

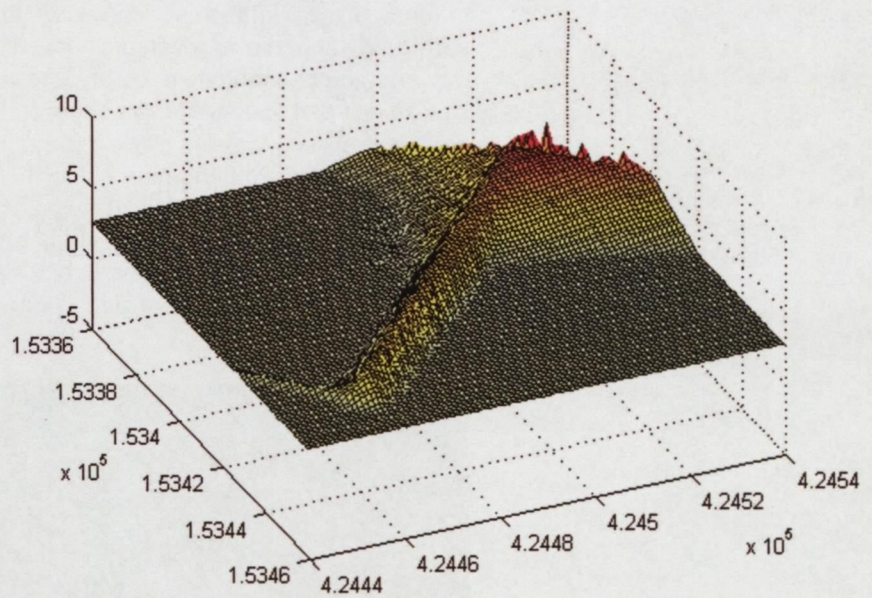
In figuur 8 zijn 3 kribben in de Waal zichtbaar met een kribafsluiting aan de kop van de krib, die voor een deel boven het wateroppervlak ligt. Om misvattingen te voorkomen: de breedte van de vliegstrook van laserdata is een stuk kleiner dan de breedte van de rivier. Bij deze kribben is de land-watergrens goed te bepalen, namelijk uit de topografie. Aangezien het wateroppervlak als vlak kan worden aangenomen, is door het aanwezige topografie van de kribben de land-watergrens bij deze waterstand goed te bepalen uit laserdata. Bij zandplaten echter in bijvoorbeeld het Waddengebied is de land-watergrens niet eenvoudig uit de topografie te halen, aangezien hier de hoogteverschillen in de topografie minder groot zijn. Voor meer informatie hierover zie [Kolnaar; 1998].



Figuur 8: Kribben van de Waal, ter hoogte van Rossum bij rivierkilometer 925, opgenomen door een enkele vluchtstrook. Bij de presentatie is gebruik gemaakt van een virtuele lichtbron, waardoor de hoogteverschillen beter zichtbaar worden. De grijsinten zijn zo ingesteld dat de kribben het beste zichtbaar zijn. De hoogteverschillen in het wateroppervlak zijn hiermee dus minder goed zichtbaar.

Figuur 9 geeft een goede ruimtelijke presentatie van een van deze Waal-kribben in de vorm van een grid met een maaswijdte ter grootte van de punt dichtheid van de laserdata (in dit geval 1 punt per vierkante meter). De grove stenen van de kribben kunnen hierbij enige verstoring geven in de hoogteweergave.

Laseraltimetrie kan ook een indirect beeld geven van objecten die onder het wateroppervlak liggen. Uit lasergegevens die opgenomen werden in 1998 tijdens de hoogwatergolf die toen via de Rijn Nederland binnenkwam, is de locatie van de toen onderwater gelegen kribben zichtbaar op het wateroppervlak in de laserdata, zie figuur 10.



Figuur 9: Een ruimtelijke presentatie van het lasergrid van één krib uit figuur 8.

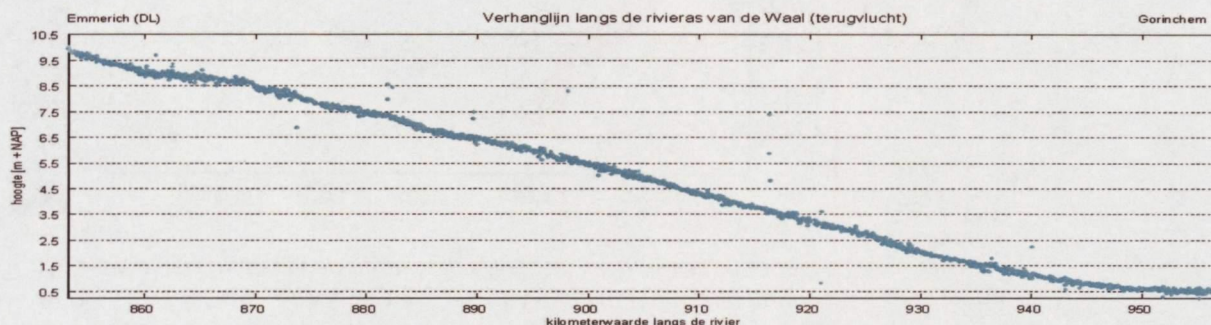


Figuur 10: Laserdata van de Pannerdensch Kop tijdens een hoogwatergolf in november van 1998. Ter vergelijking is het fragment uit de topografische kaart bijgevoegd. De kribben zijn zowel in het laser- als topografische beeld te zien.

De onderwater liggende kribben zijn in figuur 10 aan het wateroppervlak herkenbaar door een iets lagere waterhoogte, zichtbaar als de zwarte strepen in het laserbeeld. Deze inzakking is een bekend verschijnsel ten gevolge van het Bernouille-effect. Daarnaast is het verschil in oppervlakteruwheid zichtbaar, corresponderend met verschillende stroomsnelheden van het water. In de hoofdvaargeul is een ruwer oppervlak zichtbaar bij de uiterwaarden. In het laserbeeld zijn de winterdijken van de Rijn in het wit goed zichtbaar. Het achterliggende land ten zuiden van de rivier ligt een stuk lager (zwart).

3.2 Waterstand en -verhang

Momenteel wordt de waterstand op de rivier gemeten door MSW-peilstations of afzonderlijke waterstandmeters. Doorgaans gebeurt dat elke 10 minuten automatisch. Een nadeel hiervan is dat de waterstand op slechts één locatie wordt gemeten. Voor het meten van het waterverhang over bijvoorbeeld een riviertraject of een dwarsverhang zijn meerdere waterstandmeters nodig. Met laseraltimetrie is dit direct mogelijk omdat deze techniek over een kort tijdsinterval een ruimtelijk beeld oplevert. In figuur 11 is het lengteverhang tussen Emmerich en Gorinchem met laseraltimetrie weergegeven. Opstuwing en versnelling van rivier is hierin zichtbaar.



Figuur 11: De verhanglijn van de rivier de Waal, gemeten met laseraltimetrie. Over een traject van ruim 100 km is over de as van de rivier, met een interval van 50m het dichtstbijzijnde laserpunt opgenomen. De hogere punten zijn bruggen over de rivier.

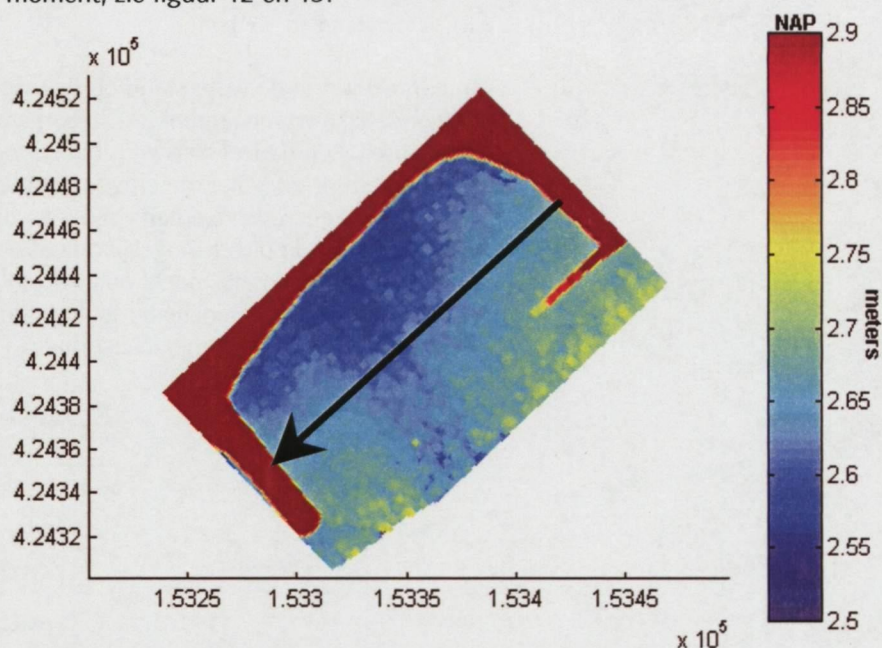
Over de breedte van de rivier kan met laseraltimetrie ook het dwarsverhang worden bepaald. Naar verwachting zal dit alleen in bochten waarneembaar zijn of in ieder geval duidelijker waarneembaar dan in rechte delen van de rivier. Ter vergelijking: het lengteverhang, zoals bepaald uit laseraltimetriedata, is zo'n 9 à 10cm per kilometer, hetgeen overeenkomt met het verhang van de Waal van $1,1 \cdot 10^{-4}$ volgens DWW. Het geschatte dwarsverhang in bochten is in de orde van 2 à 3cm per 100 meter volgens DWW. Dwarsverhang is meetbaar met laseraltimetrie, maar ligt bijna in dezelfde orde als de variatie van laser op water. Toch is bij de bocht van Rossum in de Waal een gemiddelde dwarsverhang van 4cm over 80 meter uit laser waargenomen [Bollweg, et.al.; 2001].

3.3 Kribvakwaterstanden

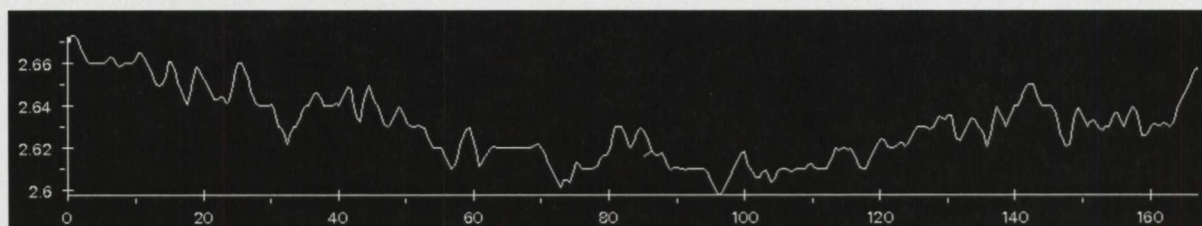
In een kribvak varieert de waterstand. Dit is toe te schrijven aan stromingen zoals neercirculaties en snelheidsgradiënten die in een kribvak optreden. Waterstandsverschillen (ruimtelijk) die daarbij verwacht worden bedragen enkele centimeters (orde 0,05m).

Naast waterstandsverschillen door afvoer bestaat ook de behoefte om scheepsgeïnduceerde waterbewegingen te kunnen meten zoals scheepsgolven en waterstands dalingen veroorzaakt door de zuigende werking van langsvarende schepen. De waterstands daling van de zuigende werking van langsvarende schepen kan in een kribvak en langs gestrekte oevers 0,1 à 0,2 meter bedragen.

Bij DWW is dus behoefte aan de waterstanden in het gehele kribvak op één moment, zie figuur 12 en 13.



Figuur 12: Een kribvak in de Waal, waarbij de verlaging van enkele centimeters in het midden van het kribvak goed zichtbaar is (de blauwe vlek). Zie ook het profiel over de aangegeven pijl in figuur 13.

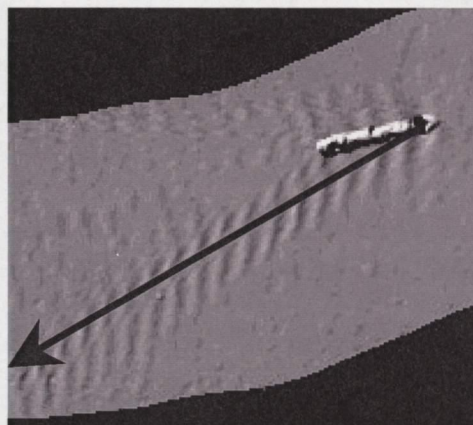


Figuur 13: Het profiel van het verhang in een kribvak uit laserdata, over de zwarte pijl uit figuur 12. Beide assen in meters. Een verhang van 4 à 5cm is zichtbaar over 160 meter.

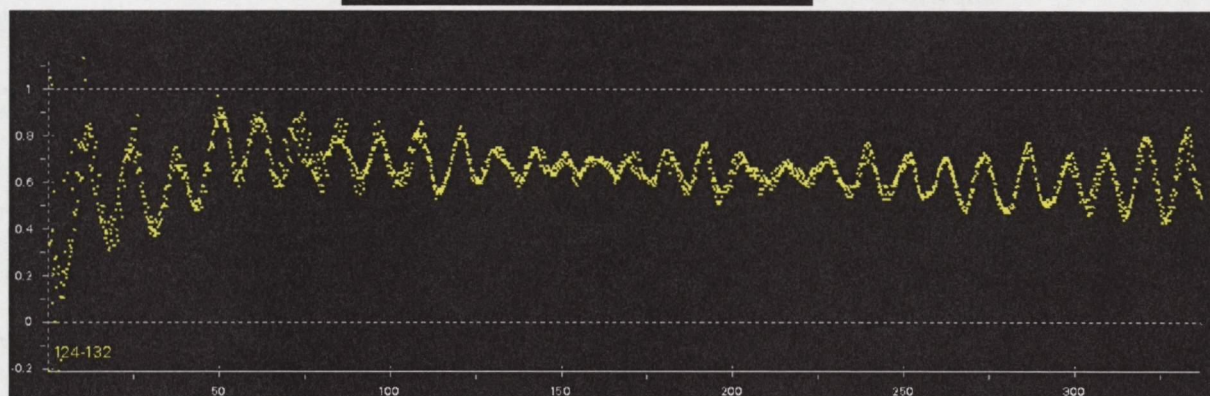
Uit [Bollweg, et.al., 2001] is bij enkele kribvakken inderdaad een significant waterverhang zichtbaar. Of dit bij alle kribvakken die in de Waal zijn gemeten zichtbaar is, is niet onderzocht, aangezien slechts enkele kribvakken zijn ingemeten met laseraltimetrie. Ook is onbekend in hoeverre dit verhang ook in andere laserdata zichtbaar en meetbaar is. De waterstanden in kribvakken zijn via modelberekeningen wel uit theoretische modellen bekend maar het ontbreekt aan metingen die continue, gebiedsdekkende hoogte-informatie geven. Puntsmetingen van het waterniveau zijn in het verleden zeker uitgevoerd, maar binnen dit onderzoek zijn zulke meetgegevens niet aanwezig, en dus geen vergelijking uitgevoerd.

3.4 Golfbewegingen van schepen en wind

Bij het meten met laseraltimetrie van het wateroppervlak is de invloed van eventuele golven merkbaar. Hoewel golven enerzijds de meetruis verhogen is een minimale aanwezigheid ervan nodig om überhaupt metingen op water mogelijk te maken. Bij een glad wateroppervlak zijn immers de speculaire reflectie-eigenschappen ervan maximaal zodat er minder signaal terugkomt. Bij een voldoende hoge punt dichtheid kan de golfvorm worden gemeten, zie figuur 14.



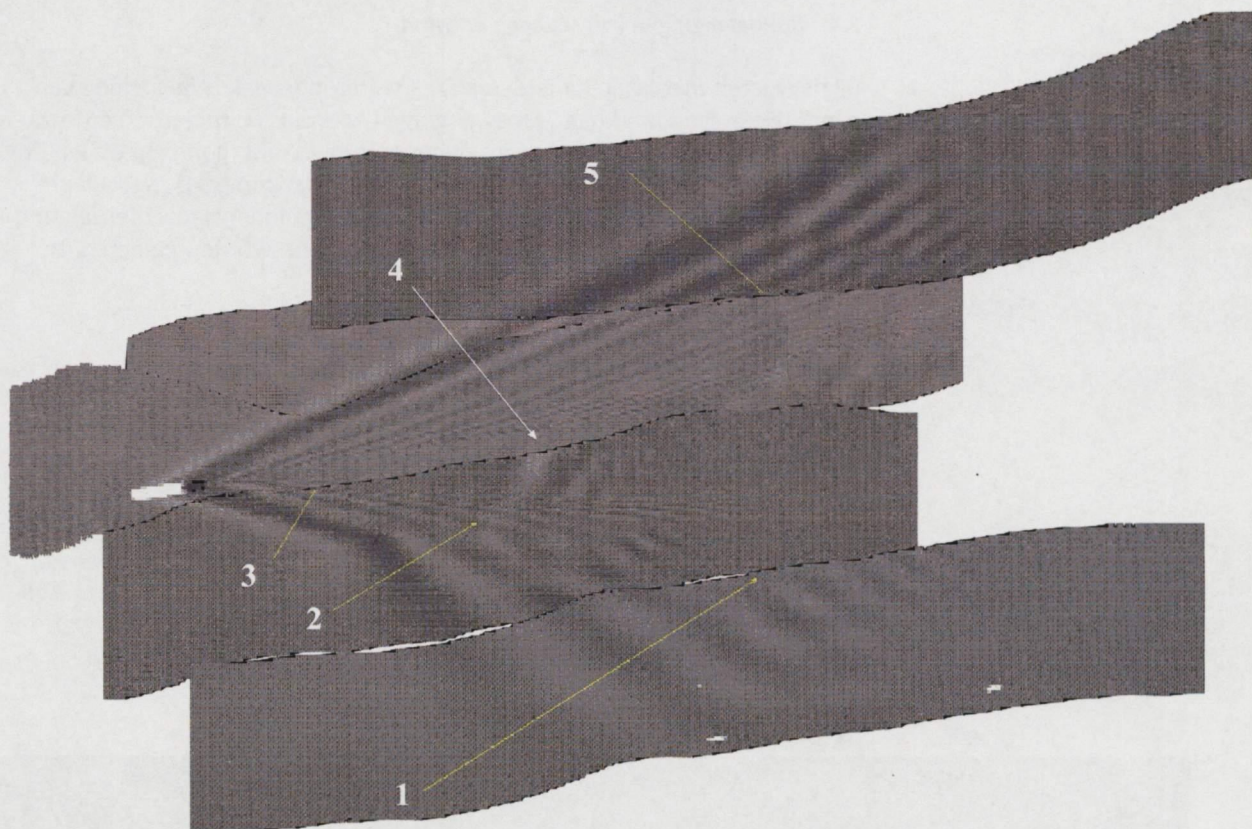
Figuur 14a: Een schip op de Waal. De scheepsgolven zijn goed zichtbaar. In figuur 14b is het profiel zichtbaar van de golven van dit schip, berekend over de lijn.



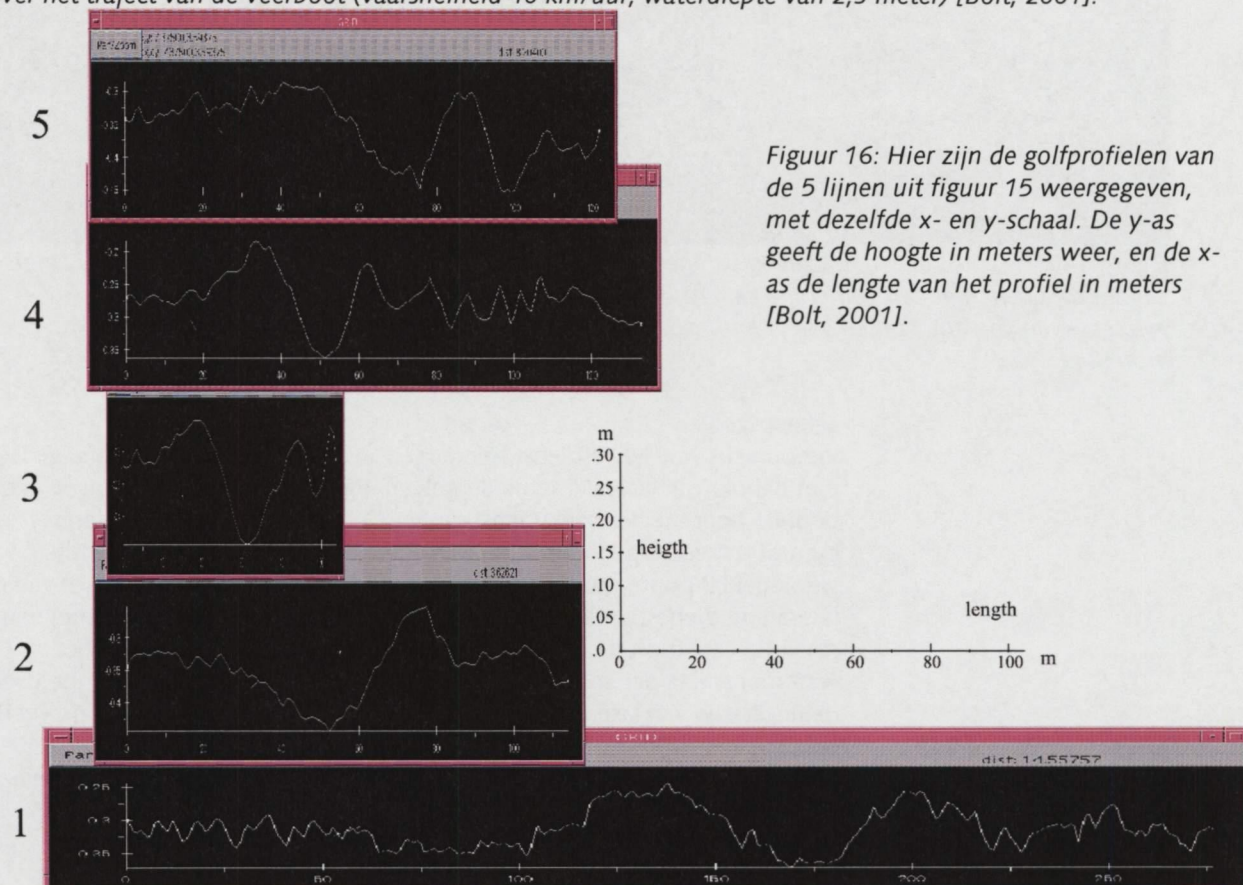
Figuur 14b: Het profiel van de golven van het schip, zoals in figuur 14a zichtbaar. De golfhoogte varieert van 20 tot 60cm met een golflengte van 10 tot 15m. Hierbij zijn de daadwerkelijke laserhoogten weergegeven van alle punten gelegen binnen een band met een breedte van 2m aan weerszijde van de profiellijn.

Scheepsgolven

In opdracht van Adviesdienst Verkeer en Vervoer heeft de Meetkundige Dienst met behulp van laseraltimetrie de golven ingemeten die worden opgewekt door de hogesnelheidsveerdienst op het Gooimeer. Hiertoe is een lasersysteem ingezet dat veel signaal op water terugontvangt. Een hoge punt dichtheid van gemiddeld 9 punten per vierkante meter is gebruikt. Voor de analyses van deze laseraltimetriebestanden zijn de metingen geïnterpoleerd naar grid met een resolutie van 2m. Uiteraard elimineert deze interpolatie alle ruis op het wateroppervlak die golflengte van minder dan 2 meter heeft. In figuur 15 zijn de resultaten van laseraltimetriemetingen zichtbaar van golven van de veerboot (vaarsnelheid 40km/uur, waterdiepte 2,3 meter). De verschillende laseraltimetrie vliegstroken zijn op verschillende momenten opgenomen, dus kleine oneffenheden tussen de stroken kunnen aanwezig zijn.



Figuur 15: Compositie van 5 vliegstroken van op verschillende tijdstippen opgenomen laseraltimetriemetingen over het traject van de veerboot (vaarsnelheid 40 km/uur, waterdiepte van 2,3 meter) [Bolt; 2001].



Figuur 16: Hier zijn de golfprofielen van de 5 lijnen uit figuur 15 weergegeven, met dezelfde x- en y-schaal. De y-as geeft de hoogte in meters weer, en de x-as de lengte van het profiel in meters [Bolt, 2001].

Het bovenste deel van het golfpatroon in figuur 15 heeft een zo goed als constante waterdiepte, terwijl in het onderste deel van het golfpatroon, enkele scheepslengte onder de vaarroute, de waterdiepte snel toeneemt tot 8 meter. Door deze diepteverandering, maakt de voortplantingsrichting van de golf een knik. Ook de golfsnelheid en golflengte veranderen hierdoor, zie figuur 16.

Windgolven

Naast scheepsgolven komen ook windgolven voor. De golfhoogte is sterk afhankelijk van de windsnelheid en in mindere mate afhankelijk van de windrichting. Bij voldoende harde wind (6-7 Bf) kunnen de windgolven enkele decimeters hoog worden, afhankelijk van de waterdiepte. Onder normale omstandigheden blijft de golfhoogte echter beperkt tot enkele centimeters. Veelal worden windgolven in het meetsignaal als ruis aangeduid, zie tabel 4. Deze golven zijn door hun geringere amplitude in de laseraltimetriedata minder goed te kwantificeren dan scheepsgolven.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

De waterspiegelhoogtemeting met laseraltimetrie over een oppervlak van bijvoorbeeld 25 bij 25m heeft gemiddeld een standaardafwijking van enkele centimeters bij afwezigheid van scheeps- en windgolven berekend (zie tabel 4). Dit is de variatie van het lasersignaal een 'vlak'-oppervlak binnen een klein gebied.

Een vergelijking van MSW-metingen van de waterspiegel met lasermetingen laat een gemiddeld verschil zien van minder dan 1cm, met een standaardafwijking van de verschillen van ruim 3cm.

Een vergelijking van de lasermetingen ten opzichte van referentiemetingen op het land (een gebied van ongeveer 10m x 10m) geven een gemiddelde fout rond de 5 cm en een standaardafwijking van deze verschillen van tussen de 2 en 9 cm.

Zowel de punt dichtheid als de strookbreedte worden minder bij het meten van wateroppervlaktes met laseraltimetrie. Dit komt door de speculaire reflectie-eigenschappen van het wateroppervlak. Bij het systeem gebruikt bij het project Waal is de kijkhoek van de laser zo klein dat de strookbreedte even groot op land is als op water. Hierdoor is bij dit systeem strookbreedtevermindering niet zichtbaar. De punt dichtheid is wel iets minder dan onder dezelfde omstandigheden op land.

De meerwaarde van de techniek laseraltimetrie is de hoge mate van detail. De hieruit volgende, uiterst omvangrijke bestandsgrootte van de laserdata moet men dan maar voor lief nemen.

De kosten per hectare variëren tussen de € 10 tot € 55 per hectare. Deze hectareprijs is afhankelijk van onder andere punt dichtheid, vorm van gebied, totale gebiedsgrootte, doorlooptijd, vlieghoogte, vliegsnelheid, lasersysteem, vliegvensters, seizoensinvloeden (sneeuw, regen, hoogwater) en vliegreuren per tank.

De land-watergrens is goed meetbaar, zolang een duidelijke hoogteverandering tussen water en oever aanwezig is. Bij zandplaten of andere droogvallende gebieden kan de land-watergrens door geen enkele systeem worden gedetecteerd omdat de topografie slechts minimaal varieert. Naast deze topografische land-watergrens detectie, is er één lasersysteem waarbij het signaal op water zo minimaal is, dat daardoor de land-watergrens zichtbaar is. Namelijk doordat op water geen tot weinig signaal terugkomt en op land veel signaal.

Met laseraltimetrie zijn de vorm en in iets mindere mate de ligging (zowel planimetrie als hoogte) van kribben goed te bepalen. De verschuiving in planimetrie is mede afhankelijk van de resolutie van de laserdata. De afwijking in hoogte is in de orde van de nauwkeurigheid van laser op land.

Kribben die vrij zijn van vegetatie lenen zich qua vorm zeer goed voor vastlegging door laseraltimetrie. De met vegetatie bedekte kribben kunnen ook worden ingemeten door laseraltimetrie, echter zal hierbij de inwinperiode in de

winter van belang kunnen zijn evenals de filtermethode en een hogere punt dichtheid.

Laseraltimetrie geeft op één moment een ruimtelijke beeld van de waterstand, terwijl MSW-peilstation op één locatie een tijdreeks geeft van de waterstand.

Het meten van waterbouwkundige constructies, die onveilig of moeilijk te bereiken zijn voor terrestrische meetmethoden, kan met laseraltimetrie zonder problemen gebeuren. De bereikbaarheid van de constructies heeft geen invloed op de laseraltimetrie techniek. En de doorlooptijd is vele malen sneller. Een vergelijking tussen terrestrisch en laser heeft nog niet kunnen plaatsvinden, aangezien niet voldoende kribben met beide metingen voorhanden was.

De punt dichtheid van de in dit onderzoek gebruikte datasets is minimaal 1 punt per vierkante meter. Zo'n hoge punt dichtheid geeft voor de verschillende waterbouwkundige toepassingen voldoende informatie. In hoeverre een minder hoge punt dichtheid ook toereikend is, is niet binnen dit onderzoek meegenomen. De mate van gewenste nauwkeurigheid is ook van belang voor de te gebruiken punt dichtheid.

Zowel het lengte- als dwarsverhang van de rivier zijn meetbaar met laseraltimetrie.

Het meten van het verhang in een kribvak lijkt mogelijk met laser maar in de bij de Meetkundige Dienst aanwezige datasets zijn onvoldoende kribvakken meegenomen om hierover een significante uitspraak te doen.

Scheepsgolven zijn met laseraltimetrie goed waarneembaar, afhankelijk van de golfafmetingen. Windgolven zijn in de laseraltimetriedata minder goed te kwantificeren als de scheepsgolven

4.2 Aanbevelingen

Laseraltimetriemetingen van kribben of andere waterbouwkundige constructies kunnen vergeleken worden met (hiervoor speciaal uit te voeren) terrestrische metingen. Dan pas wordt een goed beeld verkregen van de nauwkeurigheid van laser bij deze toepassing.

Het combineren van dieptemetingen met multibeam of andere lodingstechnieken en de hoogtemetingen met laseraltimetrie van kribben of andere waterbouwkundige constructies die deels onderwater liggen, dient nog nader te worden onderzocht op kwaliteit en toepasbaarheid. Theoretisch kunnen deze bestanden elkaar goed overlappen. Een daadwerkelijk pilot project kan zowel aan deze vraag als bovenstaande vraag een antwoord geven.

Een onderzoek naar de meest efficiënte punt dichtheid in termen van informatie behoefte, nauwkeurigheid en kosten moet nog worden uitgevoerd. De in dit rapport beschreven datasets hadden in ieder geval zeer goed voor hun specifieke toepassingen bruikbare (hoge) punt dichtheden.

Voor het met laseraltimetrie meten van het verhang in kribvakken dient meer onderzoek plaats te vinden. Momenteel zijn er niet voldoende kribvakken met laseraltimetrie gemeten om hierover een uitspraak te kunnen doen.

Mogelijk kan de informatie over kribben en oevers uit laseraltimetrie een aanvulling zijn op de bestaande GIS-pakketen voor kribben, zijnde KribGIS en kribView.

Onderzoek naar de toepassing om met laseraltimetrie de verhanglijn te monitoren naar aanleiding van baggerwerkzaamheden of ander bodemliggings-veranderingen in een rivier.

Onderzoek naar het gebruik van ruimtelijke verhangoppervlaktevorm i.p.v. verhanglijnen van rivieren.

Literatuurlijst

Bollweg, A.E.; Product Survey on Airborne Laser Scanners ... An Overview; GIM International; p. 48-49; July 2001.

Bollweg, A.E., R. Bausch en E. Vaessen; Nieuwe toepassingen van laseraltimetrie voor rivierbeheer; rapportnummer MD.GAR.2001.023; 23 augustus 2001.

Bollweg, A.E., M.J.E. Crombaghs, R. Brügelmann en E.J. de Min; Wat is precisie?; GeoNieuws; p. 17-18; nr. 3-2001.

Bollweg, A.E. en R. van Heerd; Analyse van waterhoogtemetingen met laseraltimetrie van de Rijn bij Pannerden; Rapport MS2000+.99.08; 13 december 1999.

Bolt, E.; Fast ferry wash measurement and criteria; Transport Research Centre, Ministry of Public Works and Water Management, Netherlands; artikel voor conferentie FAST2001; september 2001.

Dood, R.G.W., R.M. van Heerd, E.J. de Min, F.M. Spruijt en F.G.M. Steenbruggen; Kwaliteitsbegrippen handboek; MD rapport; 7 mei 1998.

Harkel, Matthijs ten; Evaluatie proef Quickscan met hovercraft; Werkdocument 2000139X, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, RIZA; 2000.

Kolnaar, M.C.; Het onderscheiden van water in vliegtuiglaseraltimetriedata; TU Delft; februari 1998.

Wicherson, R.J. en L.M. Gomes Pereira; Actualisering Hoogte-Informatie Waqua-Modellen; Rapport MS2000+.98.05; mei 1998

Wiegman, N.; Onderzoek naar het verschil tussen multibeam / singlebeam op de rivieren; rapportnummer MD-GAM-2001-34; april 2002.

Meetkundige Dienst (MD) Rijkswaterstaat

De MD ondersteunt de kerntaken van het ministerie door het leveren van verschillende producten en diensten op het gebied van geo-informatievoorziening en Informatie- en communicatietechnologie (ICT).

Hierin vervult zij duidelijk onderscheiden rollen en functies, namelijk die van:

1. Architect en adviseur voor geo-informatievoorziening en informatie- en communicatietechnologie
2. Makelaar in geo-informatie en ICT-kennis
3. Leverancier van geo-informatie
4. Beheerder van basis-infrastructuur voor (geo-)informatie en datacommunicatie

De Meetkundige Dienst is hét kennis- en dienstencentrum van Verkeer en Waterstaat voor geo-informatievoorziening en informatie- en communicatietechnologie.

Kanaalweg 3b, 2628 EB Delft

Postbus 5023, 2600 GA Delft

Telefoon (015) 269 11 11

Fax (015) 261 89 62

E-mail: mdloket@mdi.rws.minvenw.nl

Internet: www.minvenw.nl/rws/mdi

KWIKERTNL FILE URIJ
VELSERTNL 1 BUIS