

Nauwkeurighedsanalyse WaalBOS

*Evaluatie van
Beslissingsondersteunend systeem*

17 mei 2000

C 22741



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

Meetkundige Dienst

Nauwkeurigheidsanalyse WaalBOS

Evaluatie van Beslissingsondersteunend systeem

17 mei 2000

Auteurs: dr.ir. N.A. Kinneging
ing. D. Bloeme
ir. A.J.Th. de Bruijne



Rijkswaterstaat/RIZA
Documentatie
Postbus 17
8200 AA Lelystad

Inhoudsopgave

1 Inleiding	5
2 Beschrijving van het systeem	6
2.1 Invoer	7
2.2 Uitvoer	7
3 Beschrijving van invoergegevens	8
3.1 XYZ-NAP basis infrastructuur	8
3.2 Waterstand	9
3.3 Bodemmeting DON (directie Oost Nederland)	10
3.4 MGD meting riviermeester	13
3.5 Binnenvaartmetingen	15
3.6 Ligging betonning (VBB)	16
3.7 Rivierafvoer bij Lobith	17
3.8 Knelpunten	17
4 Invoergegevens (overig)	19
4.1 Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR)	19
4.2 Topografie van de rivier	22
4.3 Variabiliteit van de ruimtelijke bodemligging	22
4.4 Kabels en leidingen	22
4.5 Historie van baggeren	22
5 Invloeden van gegevens op analyses	23
5.1 Invloed van de bodemligging	23
5.2 Invloed van het OLR	24
5.3 Theoretische vaarbaanbreedte	25
5.4 Knelpunten	25
5.5 Testplan en nauwkeurigheidsmaat	26
6 Conclusies & Aanbevelingen	28
6.1 Conclusies	28
6.2 Aanbevelingen	28
7 Begrippenlijst	30
8 Bijlage: Hoe beschrijven we de (meet)precisie?	32
8.1 De praktijk	33
8.2 Iets nieuws	33
9 Bijlage: Referenties	35

1 Inleiding

Het Beslissing Ondersteunend Systeem (BOS) voor het baggeren in de Waal kent voor 2000 een eerste versie, het WaalBOS. Door middel van cyclische verbetering zal dit in 2003 leiden tot het uiteindelijke BOS Baggeren. Dit volwassen systeem zal dan beslissingen ondersteunen ten behoeve van het vaarwegbeheer op de rivier de Waal.

Aanleiding is het kunnen garanderen van een veilige vaarweg met snelle en efficiënte scheepvaart langs deze hoofdtransportas, ook wanneer het goederenvervoer toeneemt. Deze garantie kan worden gegeven als de vaarweg wordt verruimd. Bij de Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR) moet de vaarbaan worden verbreed en verdiept van 150 bij 2.50 meter tot de uiteindelijke dimensies 170 bij 2.80 meter. Het Waalprogramma van de Directie Oost-Nederland van Rijkswaterstaat streeft dit doel na door middel van baggeren en de beslissingen voor het baggerwerk zullen door het WaalBOS worden ondersteund.

De Meetkundige Dienst is gevraagd een evaluatie te maken van het WaalBOS. Hierbij zal gekeken worden naar de nauwkeurigheid van zowel de invoergegevens als van de analyse van het WaalBOS zelf. Tevens is gekeken naar knelpunten in het gebruik van het WaalBOS, de aspecten die het meest invloed hebben op de analyse. Tenslotte worden aanbevelingen gedaan en een voorstel voor het kwantificeren van de onzekerheden in de analyse van het BOS.

In dit rapport wordt allereerst een globale beschrijving gegeven van het systeem met een opsomming van de invoerparameters en uitvoerparameters. Dan volgt per invoerparameter een (korte) uitleg (behalve de scenario's); tevens wordt hierbij een idee geopperd voor een testplan voor WaalBOS, om de nauwkeurigheidsanalyse verder vorm te geven. Tenslotte volgt een samenvatting van het testplan en een reeks aanbevelingen die volgen uit deze eerste fase van de nauwkeurigheidsanalyse: het blootleggen van knelpunten in het systeem. De lezer die snel de gebleken knelpunten van dit onderzoek wil weten, kan zich daarom beperken tot het lezen van de eerste en laatste paragrafen betreffende de invoer, uitvoer, testplan en aanbevelingen.

2 Beschrijving van het systeem

Om het baggerwerk goed uit te voeren moeten beslissingen genomen worden, zoals bijvoorbeeld de lokatie van het baggeren en het terugstorten. Voor het nemen van beslissingen is informatie nodig en deze informatie bevat vele onzekerheden, zoals de verwachte afvoer, veranderingen in de rivierbodem en de invloed van de scheepvaart. Om dit complexe beslissingsproces te ondersteunen is door het RIZA Arnhem het initiatief genomen om een BOS Baggeren te ontwikkelen voor de Waal. De uitvoering hiervan is in handen van Resource Analysis in samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium, beide uit Delft.

Het BOS Baggeren is ontworpen om door vaarwegbeheerders en beleidsmakers te worden gebruikt. Het zal hiervoor een aantal functies gaan vervullen. In de eerste plaats zullen op de kaart de ondieptes in de rivier in beeld gebracht worden. Verder zullen specifiek per locatie de hoeveelheden berekend worden die gebaggerd moeten worden om de gewenste vaarwegdimensies te realiseren. Verder zal het BOS zowel de kosten van het baggerwerk, als de baten voor de scheepvaart berekenen. Op grond van deze criteria zal de baggerorganisatie van Rijkswaterstaat beslissingen kunnen nemen over baggerwerk.

Ter ondersteuning zal het BOS voorspellingen doen over de te verwachten rivierafvoer en de ontwikkeling van de bodemligging voor en na baggeren. Het BOS zal ook achtergrondinformatie beschikbaar maken. Bijvoorbeeld de ligging van de betonning, gegevens over de baggervloot, adresgegevens en analyses van historische situaties.

Veel van de hiervoor genoemde functionaliteit is nog niet beschikbaar in de eerste versie van het BOS Baggeren, het WaalBOS. Het WaalBOS ondersteunt vooralsnog beslissingen voor grootschalig baggerwerk. Het maakt hiervoor gebruik van metingen van de bodemligging door zogenaamde oriëntatiepeilingen en actuele gegevens over de afvoer. Ondersteuning van beslissingen over kleinschalig baggerwerk (knelpuntbaggeren) om kleine belemmeringen voor de scheepvaart weg te halen, worden nog niet door deze eerste versie ondersteund.

Het beslissingsproces wordt gebaseerd op een grote hoeveelheid informatie. Deze informatie kan min of meer vast liggen, zoals de topografie van de rivier en het OLR, maar veel van de informatie wordt gemeten. We denken hierbij vooral aan de bodemligging, de rivierafvoer en de waterstand. Een derde soort informatie kan worden berekend met behulp van modellen, zoals veranderingen in de rivierbodem door stroming en scheepvaart en rivierafvoer op grond van gegevens uit Duitsland en Zwitserland. Hieronder volgt een opsomming van de invoergegevens van het WaalBOS. Deze zullen verder in het rapport worden uitgewerkt.

2.1 Invoer

Wanneer het WaalBOS als gesloten systeem wordt beschouwd, zijn er twee hoofdgedeelten te onderscheiden, te weten de invoer van gegevens en de analyse. Ten behoeve van deze nauwkeurighedsanalyse van het WaalBOS wordt alle aandacht gericht op de genoemde gegevens.

Op dit moment (sinds eind 1999) worden de volgende gegevens in het WaalBOS gebruikt:

- Overeengekomen Lage Rivierstand
- Bagger Referentie Vlak
- Rivierafvoer te Lobith
- Oriëntatiepeilingen
- Minst Gepeilde Dieptes
- Topografie van de rivier
- Scenario's (door de gebruiker in te voeren, bijv. diepte en breedte)

In de tweede versie van WaalBOS (mei 2000) zal ook nog rekening gehouden worden met:

- Betonning (ligging van de vaarbaan)
- Quick scan peilingen
- Variabiliteit van de ruimtelijke bodemligging

In de derde versie (oktober 2000) komen tevens aan de orde:

- Kabels en leidingen
- Historie van baggeren

Vanaf volgend jaar zullen ook het zgn. knelpuntbaggeren en probleemgebieden waarvoor morfologische kennis is vereist, een rol gaan spelen in het BOS. Daarnaast is het goed te vermelden dat door middel van interactie tussen gebruiker en ontwerper gestreefd wordt het systeem zeer gebruikersvriendelijk te maken; daartoe worden speciale bijeenkomsten gehouden waar de gebruiker zijn ervaringen kan delen.

2.2 Uitvoer

Het WaalBOS gebruikt de ingevoerde gegevens en berekent per morfologische eenheid (zie 'Topografie van de rivier') de volgende uitvoer die in de analyse dient te worden geïnterpreteerd:

- Normvolume (volgens eis $170 * 2.80 \text{ m}$)
- Baggervolume
- Baggerefficiëntie
- Kosten
- Tijdsduur
- Beschikbare stortruimte

3 Beschrijving van invoergegevens

3.1 XYZ-NAP basis infrastructuur

Aan alle geometrische gegevens moeten ruimtelijke coördinaten worden toegekend. Om deze ruimtelijke coördinaten eenduidig vast te leggen is een basis infrastructuur nodig. In Nederland wordt dit gevormd door het XY-Rijksdriehoeksnet voor de horizontale coördinaten en het NAP voor de hoogte. Het Waalgebied is met het oog op deze nauwkeurighedsanalyse onderworpen aan een precisietoets.

3.1.1 XY-Rijksdriehoeksnet

Het huidige XY net bestaat uit het basis Rdnet, de bekende haantjes op de kerktorens, aangevuld met zogenoemde dGPSkernnet punten. De kernnetpunten zijn zoals u al vermoed met behulp van dGPS metingen gemaakt. De kernnetpunten hebben als eigenschap dat ze goed toegankelijke zijn op maaiveld niveau. Dit Rd kernpuntennet gaat in de toekomst over naar het zogenoemde ETRS net. Een Europees net met een hoge inwendige precisie maar dat ook goed is in de vroeger slecht aansluitende grensgebieden naar de buurlanden. De aansluitpunten voor de Europese deelnetmetingen zijn onder andere de AGRS-stations Delft, Kootwijk, Westerbork, Terschelling en Eijsden. Dit tot nu toe meest precieze net heeft als toets gediend van het bestaande RD/Kernpuntennet. Bijlage 8 beschrijft het begrip precisie.

Over het gehele Waalgebied waren dezelfde verschillen te zien in de grootte orde van 0,20 m met voor de fout een vector van circa 320 graden. De precisie voldoet aan de eis dat punten op een onderlinge afstand van 1 kilometer niet meer mogen verschillen dan 0,03 m.

Dat betekent dat we ons nu en in de toekomst geen zorgen hoeven te maken over de (negatieve) invloed van ons basisnet op de kwaliteit van de positiemetingen.

De Meetkundige Dienst hanteert voor de berekening van haar grondslag het programma Move met kwaliteitsparameters, de zogenoemde W en F toets, waaraan de kwaliteit kan worden afgemeten. De grondslagpunten zijn toegankelijk via het GROBES bestand, het GROndslagpuntenBESTand, met een kwaliteitsaanduiding.

Het advies aan de eindgebruiker is steeds bij het laten maken van nieuwe grondslag een aantoonbaar bewijs van de precisie en de betrouwbaarheid te laten overleggen. Omdat de Meetkundige Dienst standaard(dus ongevraagd) in haar metingen kwaliteitscontroles inbouwt, zal het overleggen van een kwaliteitsbewijs nooit een probleem zijn.

3.1.2 Z-NAP

Het huidige net van NAP merken is gebaseerd op de 4^{de} Nauwkeurigheds-waterpassing van 1990. In 2000 komen de gegevens beschikbaar van de laatste 5^{de} Nauwkeurigheds-waterpassing. Het NAP net in de omgeving van de Waal is als het ware 'opgehangen' aan de 1^{ste} orde merken (ondergrondse nulpalen bij de Peilmeetstations) op het pleistoceen. Metingen wijzen uit dat het pleistoceen in deze omgeving 0 tot 0,2 mm per jaar vertikaal beweegt. De daaruit afgeleide 2^{de} orde punten vormen het uitgangspunt voor veel hydrografische metingen en controles. De door de MD bepaalde 2^{de} orde punten voldoen aan de eis dat de fout per km niet groter mag zijn 0,003 m. Daarnaast heeft ieder merk een dossier met historische gegevens zodat ook aan de stabiliteit een kenmerk kan worden gegeven. Alle 1^{ste} en 2^{de} orde NAP-merken zijn gecontroleerd gemeten. De hoogtepunten die de meetdienst Oost gebruikt zijn altijd door de MD gemeten hoogten afgeleid van 1^{ste} of 2^{de} orde NAP-merken.

De meting van hoogteverschillen voor 2^{de} orde punten door de Meetkundige Dienst zal standaard altijd voldoen aan de eis van $2.5 \times \sqrt{}$ (afstand in kilometers) mm. Dat wil zeggen dat de afwijking van een nieuw punt ten opzichte van het uitgangspunt op 1 km altijd minder is dan 2,5 mm.

Met het 1^{ste} en 2^{de} orde net en de daaruit afgeleide uitgangspunten voor de waterstandmeting is het dus wel in orde.

3.2 Waterstand

Waterstand staat voor de hoogte van de waterspiegel ten opzichte van het NAP.

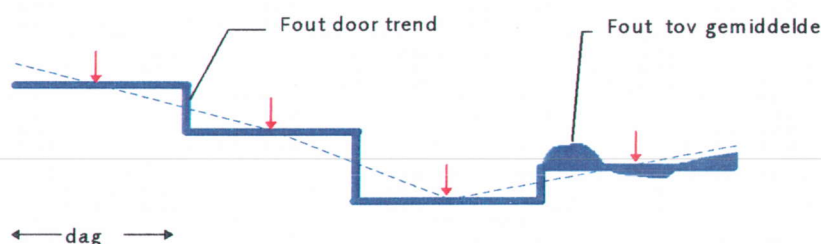
Navraag leverde op dat de waterstandmeters van de RIKZ jaarlijks zowel preventief als correctief worden onderhouden. Afschaft is de controle na het onderhoud (terugzetten drijverinstallatie en meer) met behulp van de zelf af te lezen blauwe peilschaal in de directe nabijheid. Echter het MSW (monitoring systeem waterstanden) dat elke 10 minuten de gemiddelde waterstand berekent en beschikbaar stelt zal een sprong van meer dan 2 à 3 centimeter voor en na het onderhoud waarschijnlijk wel onderkennen. Verder onderzoek is nodig naar het controle mechanisme en de toetsnormen waarmee de waarden worden gevalideerd. Misschien wel helemaal niet?

Een controle op de waterstand is uitvoerbaar met RTK-dGPS of LRK-dGPS uitgeruste schepen. Deze kunnen al metend als een in hoogte bekende dobber langs het peilmeetstation drijven. In feite wordt dan de cirkel van het NAP-merkennet naar peilstationmerk-stationpeiling naar het wateroppervlak-wateroppervlak naar RTK antenne - RTKpositiesysteem naar het NAP-merkennet gesloten.

Omdat in de rivier naast het langsverhang ook dwarsverhang optreedt en twee peilmeetstations in de langsrichting van de rivier nu eenmaal geen vlak kunnen beschrijven is een bepaalde fout door dwarsverhang te verwachten.

Verhanglijnmetingen met laseraltimetrie en vaartuig duiden op een dwarsverhang in de orde-grootte van 0,05 tot 0,15 m, bij een afvoer te Lobith van circa 1750 kubieke meter per seconde. Voor de huidige verwerking van Don ligt het waterstandsvlak evenwijdig aan het verhang tussen de peilstations en loodrecht daarop evenwijdig aan horizontaal.

Het WaalBOS heeft als input de gemiddelde waterstand van een dag. De verandering in de afvoer zal per dag een trend in de gemiddelde te zien geven. Nagegaan moet worden of de trend in de opgave van de verwachte waterstanden (en de daaruit afgeleide verwachte minimale waterdiepte) meegenomen wordt. Zo niet dan is de fout: de standaardafwijking van de variatie in de waterstanden plus de trend in het gemiddelde. RIKZ garandeert de Z van de aangegeven waterstanden als tien minuten gemiddelden op beter dan 0,02 m.



Door een controle van de waterstanden met een onafhankelijk meetsysteem wordt een betrouwbaarder resultaat verkregen. Een controle op de waterstanden tussen de peilstations kan met de hierboven beschreven methode maar ook met laseraltimetriemeting. Het controlerend vermogen voor de (absolute) koppeling ligt in de orde van 0,15 m. Laseraltimetrie gebruikt ook het NAP als referentie en het RTK-dGPS als XYZ-positiesysteem. De kracht van de controle kan in de loop van dit jaar sterker worden als rond de Waal een met vaste stations dekkend RTK-dGPS XYZ-systeem ligt. Beide metingen kunnen dan exact de zelfde referentie gebruiken.

Peilschalen in de muren van sluizen en andere peilschalen worden door RIKZ en het NAP van de Meetkundige Dienst al geruime tijd *niet* meer onderhouden. Zulke peilmerken zijn zeker minder precies, maar vooral heel onbetrouwbaar. Het niet meer gebruik maken van deze merken kan dus als positief worden beschouwd omdat daardoor geen 'vervuiling' ontstaat in het net van de peilstations.

3.3 Bodemmeting DON (directie Oost Nederland)

De bodemmetingen van DON omvatten de Jaarlijkse Dwars Peiling, de oriëntatiepeiling en de Knelpunt- of Quickscanpeiling. De oriëntatiepeilingen worden in principe twee maal per jaar uitgevoerd. In het voorjaar na een hoogwater (maart-april) en in het najaar voorafgaand aan het hoogwater-seizoen (oktober-november).

3.3.1 Overlap singlebeam met multibeam

In principe ligt het in de bedoeling de Waal-bodempeiligen vanaf het jaar 2000 alleen nog uit te voeren met multibeamsystemen. Echter om de overgang van singlebeam naar multibeam peilingen betrouwbaar te vaststellen worden de Jaarlijkse (singlebeam) Dwars Peilingen nog drie jaar lang uitgevoerd. (*bron Sybrand Oosterhof, DON*) De overgang zal naar verwachting een systematisch

verschil te zien geven, veroorzaakt doordat de singlebeammetingen behept zijn met squatfouten en de multibeammetingen niet.

Multibeam XYZ RTK-dGPS

De Kraayenhof is uitgerust met::

- een akoestisch onderwater positiesysteem van het type multibeam met
- het scheepspositiesysteem bestaat uit een gecontroleerd geometriestelsel, een standmeter, koersgyro en
- het positiesysteem boven water, voor de koppeling aan het XYZ (RD/NAP) walcoördinatensysteem, is van het type RTK-dGPS of het zusje ervan de LRK-dGPS.

Het kenmerkende van deze lodingsuitrusting is dat de bodem dekkend bemonsterd wordt en de metingen onafhankelijk zijn van de waterstand en de diepteligging van het schip in het water. Een recent uitputtend gekalibreerd systeem (daardoor met een minimum systematische fout) zal de bodem 'punten' met een precisie van 0,05 tot 0,20 m vast kunnen leggen ten opzichte van de Z-referentie NAP.

Voor elk van de drie hierboven genoemde hoofdsysteemdelen zijn aparte controlemetingen opgenomen, die afhankelijk van de systeemrisico's periodiek (enkele dagelijks) worden uitgevoerd.

De inwinsnelheid aan boord ligt nu, ijs en weder dienende, gemiddeld op 10 km Waal per drie dagen. De productiecapaciteit van 10 km Waalbodem ligt op drie mandagen en kan parallel worden uitgevoerd. De kleinste standaardeenheid van tijd behorend bij een bodempresentatie is één dag. Op verzoek kan een kleinere tijdseenheid bij de projectdata worden vermeld. Dit kan van belang zijn bij bodempresentaties in snel veranderende delen van de rivier.

3.3.2 Singlebeam XYZ waterstand systeem

Per definitie is het akoestische deel van een singlebeammeting beter dan van een multibeam omdat het een verticale meting is door het water. Maakt het systeem gebruik van de waterstand dan is de precisie van het systeem geringer door de (on)nauwkeurigheid van de waterstand en het niet lineair zijn van de waterstand tussen de peilmeetstations en last but not least zijn er de lokale waterstandswijzigingen door de scheepvaart zelf en het dwarsverhang, die respectievelijk in de orde van dertig en vijftien centimeter kunnen liggen.

3.3.3 Precisie en betrouwbaarheid

Al met al is het verheugend om te zien hoe drie jaar Goede Meet Praktijk (GMP) z'n goede vruchten afwerpt in de kwaliteitsborging op lodingsprodukten. Op de weg naar het aantoonbaar maken van de kwaliteit zijn er nog enkele aandachtspunten zoals het opstellen van (schriftelijke) toetscriteria en het op een effectieve wijze (aan de klant) presenteren van de resultaten van de controlemetingen in bijvoorbeeld een aparte kwaliteitsparagraaf.

Singlebeam

De precisie van singlebeam lodingen wordt geschat op rond de 0.30 m. Het betrouwbaarheidsgehalte is onbekend, de singlebeammetingen worden niet ondersteund door een 'Geleide formulier' en controlemetingen. De meetdienst Oost-Nederland gebruikt geen andere waterstandsinformatie dan die van de

peilstations zelf en maakt geen gebruik van eventueel zelf geplaatste lokale peilschalen.

Multibeam

Een schatting voor precisie van multibeam lodingen is circa 0,15 m. In onderstaande tabel is bijdrage beschreven van de verschillende onderdelen.

Het betrouwbaarheidsgehalte van de bodemmeting is de 'som' van een aantal checks op de onderhouds-toestand van het systeem en (redundante) controlemetingen tijdens de inwinning. Een zeer belangrijk onderdeel hiervan is het consequent bemonsteren met 100% overlap waardoor veel controle mogelijk is. Het geleide formulier is hierbij de procedure- gids in de uitvoering en verwerking van de multibeam productie- en controle metingen.

De prestaties van het multibeamsysteem worden eens in de vier weken getoetst op de (stalen) meetdrempel bij St. Andries. Deze meetdrempel is te beschouwen als een NAP-merk onder water. Daar wordt met name op de systematische fout getoetst. De gemiddelde verschillen met de bekende hoogte van de drempel is meestal kleiner 0,02 m.

Geschatte precisie van de Z-bodem:	variabel deel	systematisch deel	opmerking
RTK-dGPS + multibeammeting			
NAP net	0.00	0.01	
RTK-dGPS positiesysteem	0.03	0.02	
geometriesysteem (antenne-transducer)	0.03		
multibeam akoestisch systeem per gridcel 2x2m	0.10	0.02	
geschatte precisie Z-bodemgrid-cel	0.11	0.05	totaal= 0.16
Waterstand + singlebeammeting			
waterstand	0.03	0.02	
waterstandsmodel (incl. wind + stuwing + passage)	0.05	0.10	
squat	0.05	0.10	
geometriesysteem (antenne-transducer)	0.03	0.02	
singlebeam akoestisch systeem	0.05	0.02	
geschatte precisie Z-bodem-footprint	0.10	0.26	totaal=0.36

Toelichting op de tabel:

Wat betreft de multibeammetingen zullen de resultaten op een vlakke ongeveer horizontale bodem, met een systeem gekalibreerd op de drempel, veel beter zijn en richting 0.05m gaan. Op hellingen en kribben zijn het goede resultaten als deze rond de 0.16m liggen.

Bij de singlebeammetingen is het vooral de waterstandsbijdrage die de geschatte precisie veel groter maakt dan die van de multibeam met een RTK-dGPS positiesysteem. De 0.10m systematisch wordt beschouwd als een modelfout in het niet lineaire verhang die constant blijft op een bepaalde plaats in de rivier. De waarde is niet overdreven gezien bekende resultaten van verhangmetingen met het RTK-dGPS systeem. Naast waterstand veroorzaakt ook squat een grote systematische fout van tenminste 0.10m, de grootste. Squat 'werkt' altijd bodemverhogend.

Er valt over te twisten of de bijdragen van het systematische deel als statistisch beschouwd kunnen worden of niet. In dit geval is het slechtste geval als uitgangspunt genomen waarbij aan alle systematische fouten 'toevallig'

hetzelfde teken is toegekend. De opgave is om meer bewijsmateriaal te zoeken of te meten om de geschatte precisiewaarden om te zetten naar gemeten precisiewaarden. Merk op dat het verschil in precisie tussen de multibeam- en singlebeamresultaten vooral voortkomen uit een verschil in gebruik tussen de Z-referentie RTK-dGPS en waterstand.

3.3.4 Niet synchrone peilingen

Inwinopdrachten van meerdere dagen worden aansluitend/overlappend gemeten binnen 4 uur om te voorkomen dat in het overlappend gebied door veranderingen in het rivierbed verschillen ontstaan die groter zijn dan de standaard meetruis. Rekening moet worden gehouden dat grootschalige beddingvormen bij afvoeren tussen 1000-3000 m³/s (Lobith) een gemiddelde lengte van 100-150 m met een gemiddelde hoogte van 1-1,5 m, een gemiddelde voortplantingssnelheid van circa 4 meter per dag hebben. Duinen daarentegen hebben onder dezelfde omstandigheden een veel kleinere gemiddelde lengte (10-15 m), een veel kleinere gemiddelde hoogte (0,1-0,2 m) en planten zich veel sneller voort (circa 20-25 meter per dag).

Opdrachten, die met een onderbreking van meer dan 1 dag (en weekeinde) worden **NIET OVERLAPPEND** gemeten om een opzettelijke onnauwkeurigheid in het overlap gebied te voorkomen. Hoe streng hier de hand aan wordt gehouden binnen één opdracht is niet bekend.

Bodemmeting aannemer

Het is niet te verwachten dat de peilingen van de aannemer een andere precisie zullen hebben dan die van directie Oost Nederland ook niet bij (de meeste) andere keuzes voor hard- en software. Wel kan de betrouwbaarheid anders zijn omdat die vooral bepaald wordt door de aard en frequentie van de toegepaste controlemetingen.

3.4 MGD meting riviermeester

Minst Gepeilde Diepte komen qua precisie rangorde na de waterstands singlebeam peilingen.

Een verslag van een bezoek door de meetdienst Oost geeft een aantal technische kenmerken weer en de geschatte prestaties. Deze komen uit op een schatting in de dieptefout van 0,25 m en de positie van 25 tot 50 m. Bij de dieptefout is niet meegerekend de invloed van de inzinking door vaart, de squat, die tijdens deze peiling tenminste 0,10 m zal bedragen. Het niet in rekening brengen van squat zal altijd een schijnbare hoger gelegen bodem opleveren. De veiligheid is hiermee weliswaar 'onbewust' gediend, het onnodig starten van een Quickscan multibeampeiling (en baggeractie) zeker niet.

Voor het meten van MGD's bestaan geen werkvoorschriften. Van de precisie heeft men een goed 'gevoel' maar slechts een enkele incidentele meting (verschil MGD-Multibeampeiling was 0,38 m) geeft hierover een indicatie. Het betrouwbaarheidsgehalte is nu onzeker. Vermoedelijk zullen er geen werkvoorschriften en geregistreerde controles zijn.

De ervaringen van de meetdienst verschillen met die van Marco Taal (DON). De MGD gegevens, waarover hij beschikte stemden wel overeen met die van de meetdienst.

Peter de Bot (Dienstkring Boven-Rijn en Waal) zelf schat de precisie een orde beter dan 0,25 m.

Opmerking over ondiepten:

Ondiepten blijken geen probleem te zijn voor de schippers zolang ze er maar (veilig) langs kunnen. Ze zoeken bij voorkeur de diepste delen van de rivier op omdat daar het schip het beste loopt vrij van turbulenties door squat/ venturi effecten tussen kiel en bodem. Schippers die bekend zijn met de rivier minderen vaart en blijven achter elkaar varen en gaan niet oplopen in de buurt van bekende ondiepten of tegenliggers dichtbij passeren.

De riviermeester vindt een veilige vaart nog mogelijk als het 'bevaarbare deel van de rivier een breedte heeft van meer dan 100 meter.

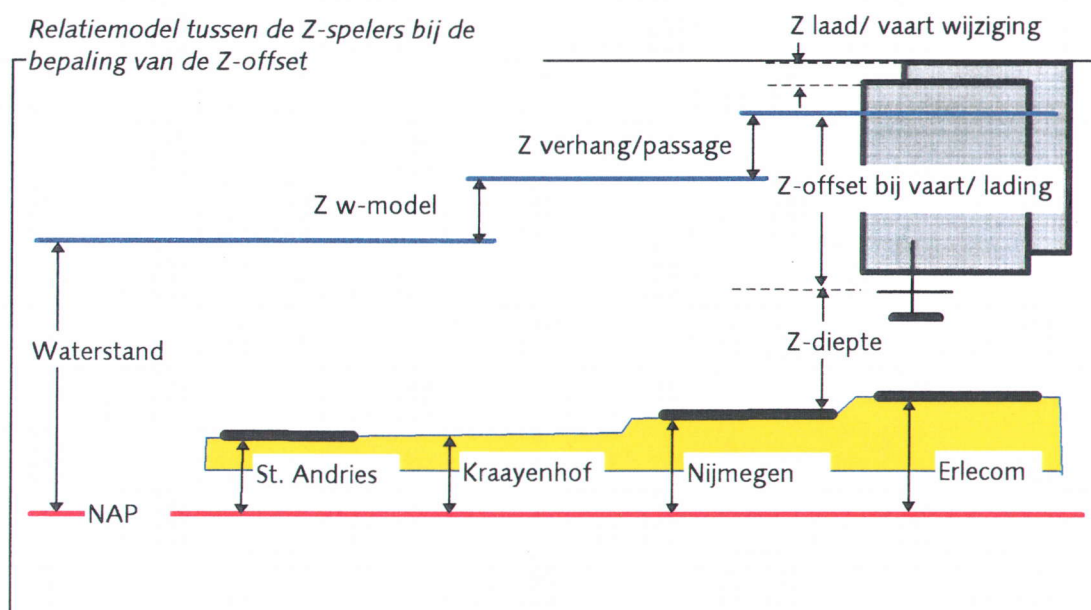
3.5 Binnenvaartmetingen

Metten van de waterdiepte

De actuele diepgang wordt beïnvloed door enerzijds de statische diepgangs indicatie opgegeven door de schipper en anderzijds door de squateigenschappen van het schip, bepaald door bodemligging en snelheid. Het belangrijkste element hierin is het kalibreren (ene vak) en verifiëren (andere vak) van de actuele diepgang van een schip door bijvoorbeeld het schip over de vaste vaarwegvakken bij St. Andries en Nijmegen te laten varen en aan de wal deze meetgegevens te gebruiken voor het valideren en corrigeren van de meetdata. Of een speciale meetdrempel aan te leggen met een echolood dat continu en automatisch de hoogte van het drempelvlak naar het wateroppervlak erboven meet.

Over de precisie valt op dit moment nog weinig te zeggen omdat de onzekere onbekende elementen van deze bepaling het niet hydrografische echolood van het schip zelf is, de morfologische stabiliteit van de vaste lagen (ontgronding/aanzanding), het squat gedrag en de precisie waarmee de kalibratie van Z-offset van het binnenschip kan worden bepaald. De Z-offset is hier de onbekende diepgangstoestand van het schip door lading, verbruik van olie en inzinking bij een zekere vaart.

Bewust is hier gekozen voor een aanpak onafhankelijk van de scheepswaarnemingen door de schipper zelf omdat eigen (MD) ervaringen aangeven dat de hierdoor geïntroduceerde fouten (erg) groot zijn.



3.6 Ligging betonning (VBB)

Allereerst moet wellicht de vraag opgeworpen worden of de ligging van de betonning tot de kant van de input van het WaalBOS of tot de kant van de output behoort; het eerste lijkt het geval te zijn.

In de eerstvolgende versie is het de bedoeling om de ligging van de betonning op te nemen (invoer door gebruiker). Naast de ligging van de betonning wordt ook de theoretische stroom- en vaargeulbegrenzing opgenomen (resp. 100 en 170 m breed). Deze begrenzingsen zijn enerzijds afgeleid van de 'gemiddelde' morfologische situatie van het zomerbed en anderzijds van nautische criteria. De ligging van de betonning wordt (vooralsnog) niet gebruikt voor de berekening van baggervolumina, maar vormt slechts een grove indicatie van de 'actuele lokatie-specifieke vaarbaanbreedte'.

De ligging van de betonning is in elk geval onderhevig aan marges, die beduidend groter zijn dan de gemeten XY positie nauwkeurigheid bij een dieptewaarde door het lodingssysteem. Dat geldt zowel voor de vrijheid van de ton ten opzichte van z'n verankering als voor de wijze waarop de ton gelegd wordt op een bepaalde positie. Bij het bepalen van die nieuwe positie spelen elementen als te verwachten waterstand, windinvloeden (0,20 m dieptevariatie), operationele beschikbaarheid, het in of uit de bocht en ook het vormen van een logisch verband in de ligging met andere buur-tonnen een rol. De zo praktisch verkregen werkelijke rivierbreedte krijgt een waarde die afhankelijk is van precisie van de postiesysteem, waarmee de riviermeester de ton inmeet. Die wordt door de riviermeester geschat wordt op 10 tot 15 meter en heeft dus een directe invloed heeft op de theoretische beschikbare rivierbreedte (170x diepte). De dieptemeting zal in dit geval geen last hebben van inzinking door squat omdat er tijdens het leggen van tonnen geen vaart is.

Het positiesysteem voor het inmeten van de tonnen is overigens hetzelfde als het in positie bepalen van de MGD's.

Als de diepte de enige bepalende factor zou zijn voor de tonligging zal de taludsterkte op de vlakke delen een grotere invloed hebben op de rivierbreedte dan de steilere delen van het talud. Zie ook theoretische vaardiepte.

Voorlopig kan worden geconcludeerd dat verbetering van het positiesysteem nauwelijks meer effectieve vaarwegbreedte zal opleveren, wel een nauwkeuriger opgave ervan.

Het is moeilijk om het hebben van meer of minder precisie in de uiteindelijke ligging van de tonnen in een prestatiegraad uit te drukken maar het is wellicht een idee om het te doen vanuit het *referentie-denkbeeld* dat alle schippers zouden beschikken over een 1 meter nauwkeurig DGPS XY-systeem en een Waaldiptekaart (GSM/internet) met daarin de beschikbare breedte/ dieptelijnen en hun eigen gids moeten spelen zonder betonning. De rivier kan zo maximaal worden benut doordat de schipper over de meest actuele en dezelfde informatie beschikt als de rivierbeheerder gecombineerd met z'n eigen graad van Waal-ervaring.

3.7 Rivierafvoer bij Lobith

Dit gegeven wordt op dit moment gebruikt voor de signalering door WaalBOS voor invoer van peilingsgegevens (alarmfunctie). Daarnaast dienen de afvoergegevens ook voor de berekening van de basisafvoer (lange termijn afvoerverwachting). Het is wellicht alleen zinvol om 's zomers peilingsgegevens in te voeren als de afvoer van de rivier voldoende laag is, namelijk zodanig dat de bodemligging ten opzichte van de wintersituatie redelijk stabiel is. Deze gegevens moeten handmatig worden ingevoerd. In de toekomst mag verwacht worden dat de rivierafvoer ook een rol gaat spelen bij het morfologische model voor voorspellingen van het riviergedrag. Deze mogelijkheden zijn voorzien in 2001 (4^e versie). De rivierafvoer is een afgeleid product van de waterstand, het stroomsnelheidsprofiel en het doorstroomprofiel bij Lobith. Er wordt op een slimme manier rekening gehouden met de afvoerverdeling over de Pannerdensche kop, zodat de afvoer te Lobith (de Rijn) op een juiste manier gebruikt wordt voor de afvoer in de Waal; alleen bij concrete morfologische berekeningen moet met een Waalafvoer worden gerekend. Een zwak punt is dat de afvoergegevens pas één maand na opname gevalideerd zijn. Voor WaalBOS zijn echter actuele gegevens noodzakelijk, zodat gebruik gemaakt moet worden van onzekere gegevens of van voorspellingen waarvan de kwaliteit onzeker is. Mogelijkheden tot verbetering zijn: snellere validatie van de gegevens of een goede kwalificatie van de voorspellingen. Ook de methode zelf voor de berekening van de afvoer speelt een rol in de nauwkeurigheid van dit gegeven.

Op dit moment hebben de gegevens over de rivierafvoer geen invloed op de berekende baggervolumes, maar dat kan in de toekomst veranderen.

Knelpunten

Knelpunten (pijnpunten) voor het WaalBOS kunnen worden opgevat als inputgegevens, die qua precisie kritisch en moeilijk vast te stellen zijn en/of waarvan de betrouwbaarheid niet kan worden nagetrokken. Knelpunten zijn ook de gegevens uit processen die niet omschreven zijn en waarbinnen geen controles worden uitgevoerd.

Als knelpunten zijn aan te merken:

- Om nog maar eens duidelijk te zijn: *Niet* het XY RDnet en het NAPnet.
- Nog scherper aangeven wat de impact is van de overgang van het gebruik van RTK/LRK -dGPS als Z-referentie inplaats van de traditionele Waterstand.
- Wel de lodingen (zowel multibeam als singlebeam) ten opzichte van de waterstand
- Dat geldt ook voor de DON-bodemmeting waar wel het proces inmiddels goed vast ligt en gevolgd wordt, maar het kwaliteitsborgende bewijs op onderdelen nog ontbreekt.
- De onzekere MGD metingen. De geschatte precisie komt uit een enkele steekproef.

-
- Van de binnenvaartmetingen is het proces nog onbekend, de betrouwbaarheid hangt daar zeer sterk samen met het selecteren van de echolood kwaliteit van binnenvaartschepen, de zekerheid van het schoon zijn van (delen van) de vaste lagen, het squatgedrag en de inrichting van het validatieproces van de binnenvaartschipmetingen
 - De omgang met de theoretische vaarbaanbreedte en de plaatsingsnauwkeurigheid van de tonnen binnen het WaalBOS is een punt om verder uit te diepen.

4 Invoergegevens (overig)

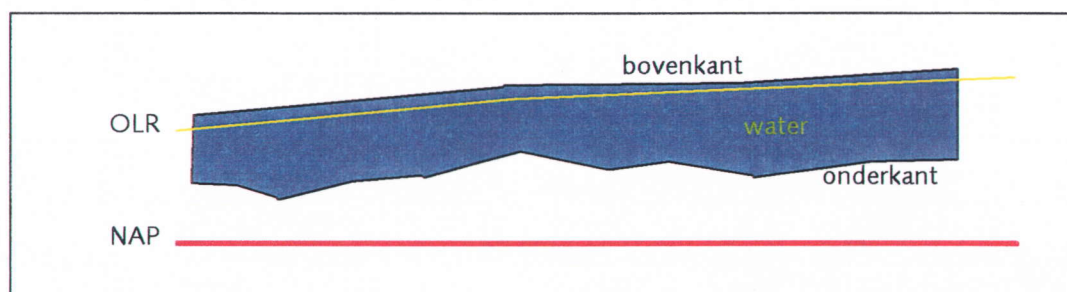
4.1 Overeengekomen Lage Rivierstand (OLR)

Het OLR is een zeer belangrijke parameter in de berekening van de baggervolumes. Het werkt overal systematisch in door en heeft daarom grote invloed op de berekeningen. In 1947 is een Overeengekomen Lage Afvoer (OLA) vastgesteld door de Internationale Rijn- en Scheepvaartcommissie. Zij stelde deze, gebaseerd op de afvoeren van 1920 tot 1931, op $984 \text{ m}^3/\text{s}$ met een onderschrijding van 5% van de tijd, ofwel zo'n 20 dagen per jaar. Het OLR is hiervan een afgeleid produkt: bij het OLA hoort automatisch een OLR, echter de laatste is afhankelijk van de morfologie van de rivier.

Door bodembeweging (een zakking te Lobith van 1 tot 2 cm per jaar met het kantelpunt bij St. Andries) is het OLR veranderd en wordt daarom elke 10 jaar bijgesteld (het meest recent in 1996). De vaststelling van het OLR-vlak (gedefinieerd via het Normaal Amsterdams Peil) vindt plaats door zogenaamde Q/H-relaties te bepalen: voor verschillende afvoeren Q wordt de bijbehorende waterhoogte H bepaald; hieruit schat men een relatie die vervolgens wordt gebruikt bij de bijstelling van het OLR.

4.1.1 Precisie

De precisie van de *voorspelde* waterdiepte is aan de 'Bovenkant' afhankelijk van de precisie van de gemeten afvoerwaarden samen met de precisie van de Q/H relatie voor punten tussen de peilmeetstations en aan de onderkant van de precisie van de rivier-bodem.



De 'Bovenkant-methoden' om de waterstand zelf en de geïnterpoleerde waterstand te bepalen zijn nogmaals opgesomd:

- Peilmeetstationwaarnemingen verkrijgbaar via het MSW
- Verhangmetingen met behulp van laseraltimetrie
- Verhangmetingen met behulp van een vaartuig

De 'Onderkant-methoden' om de rivierbodem vast te leggen kunnen zijn:

- Jaarlijkse Dwars Peilingen
- Orientatiepeiling
- Quick scan peilingen
- Peilingen binnen het baggerbestek door de aannemer
- Peilingen door binnenvaartschepen

De precisie van de peilmeetstations wordt geschat op 0,02 m. De betrouwbaarheid (het met een bepaald percentage kunnen onderkennen van een ongewenste fout van een bepaalde grootte) is alleen mogelijk via de ervarings-hoogterelatie met de omliggende peilmeetstations en een check op het voorkomen of afwezig zijn van waterstandssprongen, waarvoor geen natuurkundige verklaring kan worden gevonden.

4.1.2 Verhangmetingen

De precisie van de onlangs uitgevoerde verhangmeting met laseraltimetrie op de Waal wordt geschat op 0,05 systematisch en 0,05 -0,15 variabel. Maatgevend voor het gebruik als OLR is de systematische fout. De betrouwbaarheid is te achterhalen uit de overlapgebieden van de laseraltimetriepuntenvelden in combinatie met de dichtheid van het RTK-dGPS referentie stations-netwerk. Grote fouten van meer dan circa 0,10 m in dit basis-positiernetwerk zullen breuklijnen te zien geven in de verhanglijn. De rapportage, die in mei uitgebracht wordt [2] moet uitsluitend geven over interne controles bij deze meting. Belangrijk is daarin te constateren wat de grootte van de fout is die ontdekt zal worden. In de uitbesteding van de laseraltimetriemeting werd via een contract de leverancier gehouden om te werken volgens de uitvoeringsstandaarden die gelden voor het AHN (Algemeen Hoogtebestand Nederland). Uit het rapport zal moeten blijken welke kwaliteitscontroles daar praktisch zijn uitgevoerd.

Een heel preciese bepaling en controle op het verhang van de Waal met een vaartuig is de vaartuig-waterstandmeting. Deze meting koppelt de waterstand middels het RTK-dGPS positie systeem aan het NAP. Een onzekere factor in de reeds verrichte meting is op dit moment nog de grootte van het squat-effect. De squat fout kan afhankelijk van de snelheid oplopen tot 0,30 m en heeft daarmee wel degelijk invloed op de NAP ligging van het wateroppervlak. Het varende meten van het verhang zal altijd minder precies zijn dan drijvend. En bij meer waterdiepte weer preciezer dan bij minder waterdiepte. De (systematische) fout van het onbeheersbare deel van de squat bij vaart wordt geschat op 0,05 m. Er is een onderzoek gaande bij de Meetdienst Oost wat het verschil is tussen de 'dobber' hoogte van het schip ten een varende hoogte.

Bij een eerder uitgevoerde verhangmeting vertoonde het bodemlangsprofiel uit multibeam vergeleken met het bodemlangs-profiel uit de jaarlijkse dwarspeilingen voor een deel een gelijkloop maar voor een groot deel ook een duidelijk verschil (bevinding Marco Taal). Een verklaring hiervoor is (nog) niet gevonden. Mogelijke oorzaken kunnen zijn het gedeeltelijk niet doorrekenen van de squat of het in een bepaald deel wel en niet in rekening brengen van het De Min-Geoïdeverschil.

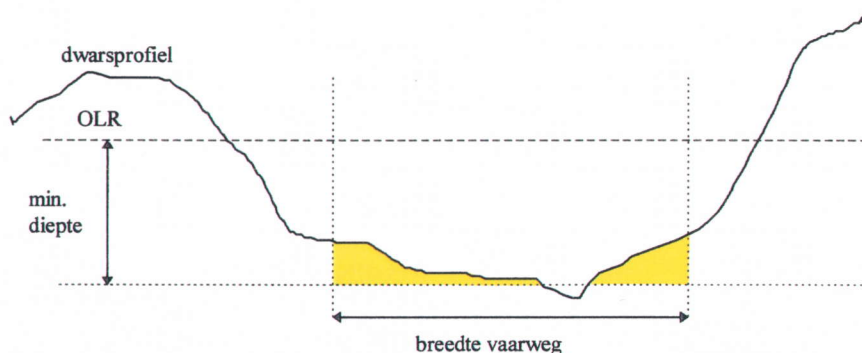
Opgemerkt wordt dat de vergelijking tussen multibeammetingen en dwarspeilingen (gemiddelde diepgang uit dwarsprofielen) via hetzelfde verwerkingspakket is geschied om systematische invloeden van mogelijke verschillen tussen verwerkingspakketten te voorkomen.

4.1.3 Rol van het OLR

WaalBOS is een BeslissingsOndersteunend Systeem dat baggerstrategieën voor grootschalig onderhoudsbaggerwerk doorrekent. Het berekent baggervolumes op grond van rivierpeilingen en het OLR en een aantal andere parameters. De in- en uitvoer van WaalBOS zijn elders in dit document beschreven. In deze paragraaf beschrijven wij het belang van het OLR voor de berekeningen van WaalBOS.

In figuur 1 is schematisch weergegeven hoe de baggervolumes worden berekend. Aan de hand van het bodemprofiel, het OLR en de door de gebruiker opgegeven breedte en minimale diepte. Het baggervolume wordt hierin aangegeven door het grijze vlak. Hieruit blijkt duidelijk dat het baggervolume direct afhankelijk is van de ligging van het OLR-vlak.

Het doel van de baggerwerkzaamheden is om tijdens laag water een gegarandeerde diepte in de vaargeul te realiseren voor een onbelemmerde scheepvaart. Indien de werkelijke diepte van de vaargeul tijdens laagwater als beoordelingscriterium voor de baggerstrategie moet gelden, is het verschil tussen het OLR en de werkelijke rivierstand tijdens laagwater van belang. Op dit moment is er een studie gaande naar het vaststellen van het OLR-vlak, maar nu heeft het OLR-vlak vooral een juridisch karakter. Hiermee bedoelen wij dat de ligging van het OLR-vlak als een vaststaand gegeven wordt beschouwd en dat het baggerwerk hierop wordt beoordeeld. Er is dus een verschil tussen de feitelijke en de juridische werkelijkheid.



Figuur 1: Schematisch weergave van berekening baggervolumes.

Uit figuur 1 valt af te leiden dat het effect van onnauwkeurigheid in het OLR sterk afhankelijk is van de bodemtopografie. Het effect is minimaal als de rivier al op de benodigde diepte is, want dan is er geen effect. Het effect is maximaal als de rivier over de volle breedte gebaggerd moet worden. Dan is de fout in het volume gelijk aan de fout in het OLR maal de oppervlakte van de vaargeul. Hierbij moet het volgende worden opgemerkt. Er zit een noodgedwongen

tijdsverschil in de actuele bodem en het, op historische gegevens gebaseerde, OLR. Het effect wordt daarom mede bepaald door deze foutieve vermenigvuldiging van heden en verleden.

Merk hierbij op dat de fout in het OLR een sterk systematisch karakter heeft en daardoor van zeer veel invloed op de berekende volumes. Dit in tegenstelling tot een min of meer willekeurige fout in de dieptepeiling.

Topografie van de rivier

De rivier is opgedeeld in zo'n 50 zogenaamde morfologische eenheden met een lengte van één tot enkele kilometers. Door gebrek aan gegevens is het nog niet duidelijk hoe nauwkeurig deze eenheden te classificeren zijn; er wordt door het WaalBOS per eenheid een onafhankelijke analyse uitgevoerd. Er worden in beginsel drie typen eenheden onderscheiden, namelijk een rechtstand, een crossing (overgang van linker- naar rechterbocht of vice versa) en een bocht (linksom of rechtsom). Deze benadering geeft een simplificatie van de topografie van de rivier en het moet onderzocht worden wat de effecten van deze simplificatie zijn. Waarschijnlijk wordt deze simplificatie niet in de volumeberekening doorgevoerd, maar gaat het zitten in de morfologie.

Testplan: om de invloed van de simplificatie te onderzoeken, zal eventueel groepering of splitsing van eenheden kunnen worden gebruikt om te zien of dit veel effect heeft in de analyse van WaalBOS.

Variabiliteit van de ruimtelijke bodemligging

Teneinde een beter beeld te verkrijgen van de rivierbodem in en nabij een bocht, zal de variabiliteit van de ruimtelijke bodemligging moeten worden ingevoerd op basis van gemeten peilingen. Dit heeft vooral een voorspellende waarde. Op basis van de actuele gegevens in het WaalBOS en een model kan zo een toekomstig knelpunt worden voorzien.

Testplan: variaties in de ingevoerde bodemligging kunnen, binnen een redelijke marge, worden doorberekend in WaalBOS om te zien hoe gevoelig het systeem is wat betreft de uiteindelijke analyse. Evenzo kan het genoemde model worden getest door zijn parameters te variëren en effecten te onderzoeken.

Kabels en leidingen

De precieze ligging van kabels en leidingen dient in het systeem bekend te zijn. De nauwkeurigheid van die ligging heeft een direct effect op de marges waarmee gebaggerd moet worden om veilig te werk te gaan; dat wil zeggen, zonder de kabels of leidingen kapot te trekken.

Historie van baggeren

- In het verleden zijn nauwelijks baggerwerkzaamheden uitgevoerd in bochten; de historie van het baggeren in de Waal speelt zich vooral af in crossings. Gedane baggerwerkzaamheden in het verleden zijn van groot belang om toekomstige baggerbeslissingen te ondersteunen. De actuele input van het systeem vormt geen orakel dat volledig vertrouwd dient te worden: kennis over historische acties geeft de huidige situatie vorm.

5 Invloeden van gegevens op analyses

In dit hoofdstuk bespreken we de invloed die de diverse invoergegevens hebben op de analyses zoals die door het BOS worden uitgevoerd. Vervolgens zullen op grond daarvan enkele knelpunten worden gesignaleerd.

5.1 Invloed van de bodemligging

De bodemligging heeft een sterke invloed op de analyses van WaalBOS. De bodemligging wordt bepaald met de oriëntatiepeilingen in maart, terwijl de laagste waterstand wordt bereikt in september. In de tussenliggende tijd is de bodemligging aan allerlei veranderingen onderhevig, die worden gemonitord met behulp van MGD's en quick-scans. De oriëntatiepeiling fungeert daarin als referentie.

Door erosie en sedimentatie van de rivier treden veranderingen op. Over het algemeen treedt in de binnenbocht van de rivier sedimentatie op en ook op de zogenaamde crossings, de delen van de rivier tussen een rechter- en een linkerbocht. Op deze plekken zullen dus ondieptes ontstaan. Aan de andere kant zal in de buitenbocht erosie optreden. Deze effecten zijn sterk afhankelijk van de afvoer van de rivier en de lokale topografie. Met behulp van morfologische modellen kunnen zij voorspeld worden, maar deze modellen zijn nog in ontwikkeling en niet in de eerste versie van het BOS Baggeren opgenomen. Op grond van jarenlange ervaring weten de riviermeesters redelijk goed hoe de rivier zich in dit opzicht gedraagt. Zij gebruiken deze ervaring bijvoorbeeld om de meeste ondiepe delen van de rivier op te sporen (MGD's).

Ook de ligging van de vaargeul heeft effect op de erosie- en sedimentatieprocessen. Een bredere en diepere rivier zal zich op een andere wijze gedragen. Hiermee zal rekening gehouden moeten worden omdat de ervaring van de riviermeester hierop niet van toepassing is.

De scheepvaart kan ook de bodemligging beïnvloeden. Bij een zeer kleine ruimte tussen het schip en de bodem vindt uitschuring plaats, waardoor de rivier minder snel ondiep wordt. Bij de markering van de vaargeul kan door dit effect actief invloed op de sedimentatie uitgeoefend worden.

Bij het bepalen van de invloed van de bodemligging en de afwijkingen daarin ten opzichte van de oriëntatiepeiling op de analyses van WaalBOS moet gekeken worden naar verschillende ruimtelijke schalen waarop de afwijkingen optreden. Voor afwijkingen met een kleine ruimtelijke schaal is er weinig tot geen correlatie tussen de bodemligging op punten die dicht bij elkaar liggen. Bij een grote ruimtelijke schaal is er een sterke correlatie tussen de bodemligging op korte afstand en pas voor zeer grote afstanden tussen punten verdwijnt de correlatie. De meest extreme afwijkingen zijn de willekeurige afwijkingen tussen gridpunten (meestal veroorzaakt door random

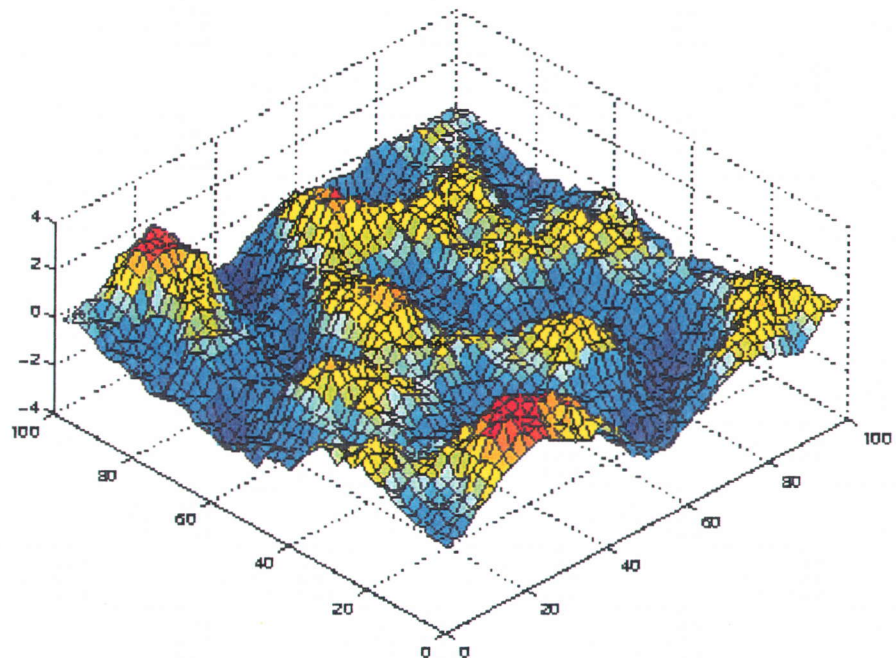
ruis in de metingen) aan de ene kant en een systematische afwijking aan de andere kant. In de bijlage is een deel van E. de Min opgenomen uit een LWI-rapport waarin hier nader op ingegaan wordt.

Afwijking met een grote ruimtelijke schaal hebben een veel groter effect op de analyses en berekeningen dan afwijkingen met een kleine ruimtelijke schaal.

5.2 Invloed van het OLR

In het vorige hoofdstuk is uitgebreid ingegaan op de rol van het OLR bij de beslissingen in het baggerwerk. Er is vastgesteld dat het OLR een gegeven is dat eens per 10 jaar wordt vastgesteld. Daarom kan moeilijk gesproken worden van afwijkingen van het OLR ten opzichte van de werkelijke ondieptes. Wel is er een afwijking van het OLR ten opzichte van het vlak dat op grond van statistische overwegingen gekozen zou moeten worden. De oorzaak hiervan ligt vooral in trendmatige effecten van de bodemdaling en wat de rivierafvoer betreft alleen in de drogere en nattere jaren.

Het effect van afwijkingen in het OLR heeft per definitie een zeer grote ruimtelijke schaal. Het is een sterk systematisch effect en heeft grote invloed op de berekende volumes. Het is niet eenvoudig dit effect simpel te berekenen omdat hierbij ook de bodemligging en variaties daarin een rol spelen. Om dit te illustreren hebben wij een voorbeeld berekend met een gemodelleerd bodemvlak, zoals in de figuur is weergegeven.



Figuur 2: Bodemmodel

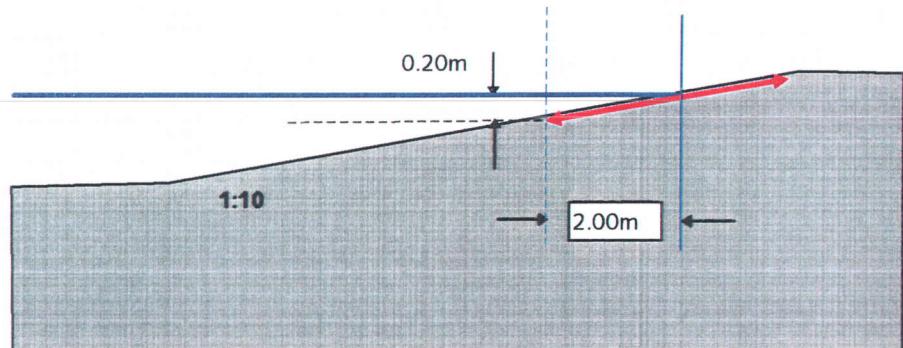
In figuur 2 staat een willekeurig bodemmodel ter illustratie van het effect van het OLR.

Als een baggervlak gekozen wordt op 0 m zou in dit voorbeeld in totaal 2671 m³ gebaggerd moeten worden. Een fout in het OLR van 10 cm geeft een afwijking in het te baggeren volume van 27 m³. Als het baggervlak gekozen wordt op +1 m moet er minder gebaggerd worden, namelijk 300 m³ met een

afwijking van 7 m^3 bij 10 cm fout in het OLR. De relatieve afwijkingen bedragen respectievelijk 1,0 % en 2,3 %, een verdubbeling.

5.3 Theoretische vaarbaanbreedte

De ligging van de theoretische beschikbare rivierbreedte bij een bepaalde diepte heeft een geometrische relatie met de nauwkeurigheid van de diepte. De nauwkeurigheid van de diepte en de helling ter plaatse van bijvoorbeeld 2,80 m waterdiepte bepaald de beschikbare breedte volgens de volgende figuur:



Als de onnauwkeurigheid bijvoorbeeld 0.20m en de helling van het talud 1:10 is dan is de 'veilige' vaarbaanbreedte $10 \times 0,20 = 2 \text{ m}$ kleiner. Of omgekeerd om dezelfde vaarbaanbreedte te garanderen moet de rivier op de gewenste breedte een streef-maak baggerdiepte hebben van $2,80 \text{ m} + 0,20 \text{ m} = 3,00 \text{ m}$.

5.4 Knelpunten

Uit deze studie zijn vooral twee belangrijke knelpunten met betrekking tot het BOS Baggeren naar voren gekomen. Dit zijn de rol van het OLR in de berekeningen en de geldigheid van de oriëntatiepeilingen voor de periode van laag-water.

Het OLR is een rekenkundig vastgesteld referentievlak op grond van een statistisch model voor de jaarlijkse rivierafvoer. Hierdoor is het moeilijk om te spreken over de nauwkeurigheid van het OLR, maar wel kunnen kanttekeningen geplaatst worden bij de manier waarop het OLR tot stand komt. Verder kunnen vanuit de nauwkeurighedsanalyse ook uitspraken gedaan worden over de invloed van het OLR op het eindresultaat. Het OLR heeft een zeer sterk systematisch effect op de berekeningen van het BOS. Het is uit de geostatistiek bekend dat systematische afwijkingen een veel groter effect hebben op bv. volumeberekeningen dan willekeurige afwijkingen.

Het OLR wordt vastgesteld uit het OLA (Overeengekomen Lage Afvoer) en de zogenaamde QH-relaties. Dit zijn de relaties tussen de afvoer en de rivierstanden. Uit lange meetreeksen blijkt dat het OLA, dat is vastgesteld op grond van gegevens over de periode 1920-1931, ook een goed beeld geeft over de veel langere periode 1901-1999. Veel lastiger zijn de QH-relaties. Deze zijn gebaseerd op een relatief klein aantal waterstandsmetingen langs de rivier en het is bekend dat dit voor sommige lokaties (bv Dodewaard) een slechte voorspelling van de waterstand geeft. Er zal daarom gezocht moeten

worden naar een betere QH-relaties, bijvoorbeeld door betere modellen of door meer metingen.

Het tweede belangrijke knelpunt is de tijd tussen de oriëntatiepeiling en het optredende laag-water. De rivierbodem verandert continu en de oriëntatiepeiling is daarom maar beperkt representatief voor de ligging van de rivierbodem tijdens laag-water. Doordat het WaalBOS zich op dit moment richt op groot onderhoudsbaggeren is het belang minder groot en zullen de analyses van WaalBOS een redelijke indicatie geven van de baggervolumes. Het is echter niet duidelijk hoe groot het effect hiervan is.

Gedurende het zomerseizoen worden ook andere peilingen uitgevoerd, namelijk de MGD's (Minst Gepeilde Dieptes) en de Quick-Scans. Deze peilingen geven een aanwijzing voor de veranderingen in de rivierbodem gedurende de tijd tussen oriëntatiepeiling en laag-water. In de eerste versie van WaalBOS wordt deze informatie nog niet gebruikt.

5.5 Testplan en nauwkeurigheidsmaat

Aan de Meetkundige Dienst is gevraagd een testplan op te stellen voor WaalBOS. Het doel van het testplan is in eerste instantie niet om vast te stellen of de berekeningen in het WaalBOS correct worden uitgevoerd, maar om een indruk en het liefst ook een maat te krijgen voor de nauwkeurigheid van de resultaten van het BOS.

Het testplan zal zich daarom richten op de hiervoor genoemde knelpunten.

Ten eerste zal duidelijk moeten worden hoe groot de effecten van het OLR op de analyseresultaten zullen zijn. Een voor de hand liggende test is de berekening van bagger- en stortvolumes met een OLR-vlak dat bijvoorbeeld 0.10 m hoger of lager ligt. Bij het RIZA wordt op dit moment onderzocht hoe het OLR wordt vastgesteld en op welke manier dit nog verder verbeterd kan worden. Door de resultaten van deze studie te confronteren met WaalBOS kan de invloed van het OLR op het eindresultaat worden vastgesteld.

Om het tweede knelpunt te onderzoeken moet vanuit de MGD's en de Quick-Scan lodingen inzicht verkregen worden in de dynamiek van de waterbodem gedurende de zomermaanden. Bij voldoende inzicht kan een statistisch model voor de rivierbodem worden opgesteld. Dit is verschillend van een morfologisch model van de rivier bodem waarin rekening gehouden wordt met fysische aspecten zoals stroming, sedimentatie en erosie. Het mag verwacht worden dat met een morfologisch model voorspellingen van de ligging van de rivierbodem gemaakt kunnen worden. Het statistisch model geeft alleen de statistische eigenschappen van de rivierbodem. Dit model is veel eenvoudiger, maar kan wel gebruikt worden voor uitspraken over de nauwkeurigheid en de effecten van het gebruik van de oriëntatiepeilingen op het eindresultaat. Het is echter de vraag of er voldoende (consistent gebiedsdekkende) gegevens beschikbaar zijn om een dergelijk model betrouwbaar genoeg te kunnen laten rekenen; eventueel zou gebruik kunnen worden gemaakt van een neurale netwerk.

Binnen WaalBOS is al ruimte gereserveerd voor een nauwkeurigheidsmaat, maar deze maat is nog niet ingevuld. Zoals uit het voorgaande blijkt wordt de nauwkeurigheid van het eindresultaat voornamelijk bepaald door de knelpunten en in mindere mate door onnauwkeurigheden in de

invoergegevens. De maat voor onnauwkeurigheid moet daarom ook gebaseerd worden op enerzijds de gevoeligheid voor het OLR en anderzijds op te verwachten variaties in de bodemligging. Verder moet ook de gevoeligheid van het eindresultaat voor de opgegeven vaargeuldiepte en -breedte in de nauwkeurigheidsmaat worden opgenomen. De maat kan worden afgeleid uit een gevoeligheidsanalyse: door variaties aan te brengen in de bodemligging, vaargeuldiepte en -breedte en de variaties in de resultaten te bepalen wordt een kwantitatieve maat voor de gevoeligheid verkregen. Dit is automatisering van de manier waarop een gebruiker de gevoeligheid van een systeem zou testen, namelijk door aan wat knoppen te draaien en te kijken naar de effecten daarvan.

De variaties in de bodemligging worden gebaseerd op het statistische model, dat is bepaald uit de MGD's en Quick-Scan peilingen.

In principe komen uit deze analyse vier getallen die een gevoeligheid geven voor respectievelijk OLR, bodemvariaties, vaargeuldiepte en vaargeulbreedte. Door middel van een gewogen som van deze factoren zou één kwaliteitsmaat kunnen worden bepaald.

6 Conclusies & Aanbevelingen

6.1 Conclusies

De voornaamste knelpunten die in deze studie naar voren kwamen, zijn:

- Rol van het OLR in de berekeningen

Er zijn kanttekeningen geplaatst bij de manier waarop het OLR tot stand komt. Het OLR heeft een zeer sterk systematisch effect op de berekeningen van het BOS. Tenslotte moeten betere QH-relaties, bijvoorbeeld door betere modellen of door meer metingen, worden gebruikt om het OLR beter vast te stellen.

- Geldigheid van de oriëntatiepeilingen voor de periode van laagwater

In de tijd tussen de oriëntatiepeiling en het optredende laagwater verandert de rivierbodem (continu), zodat de oriëntatiepeiling beperkt representatief is. Ze geldt als referentie, waarbij MGD's en Quick-Scans de actualisatie zijn (in de eerste versie van WaalBOS wordt deze informatie nog niet gebruikt).

Knelpunten gemeten invoergegevens:

- Onvoldoende duidelijke impact van overgang van het gebruik van RTK/LRK-dGPS als Z-referentie i.p.v. traditionele waterstand
- Lodingen (zowel multibeam als singlebeam) ten opzichte van waterstand
- DON-bodemmeting t.a.v. kwaliteitsborgende bewijs
- MGD metingen (geschatte precisie komt uit een enkele steekproef)
- Binnenvaartmetingen (echolood kwaliteit, schoon zijn van vaste lagen, squatgedrag en inrichting van validatieproces)
- Omgang met theoretische vaarbaanbreedte en plaatsingsnauwkeurigheid van de tonnen binnen het WaalBOS

6.2 Aanbevelingen

Ten aanzien het WaalBOS en de gegevens waarmee het gevoed wordt, hebben wij de volgende aanbevelingen:

- Voor het vaststellen van het OLR moeten de onderliggende QH-relaties worden verbeterd. Hiertoe zullen meer meetgegevens van de waterstand

moeten worden meegenomen. Onlangs is met behulp van laseraltimetrie het verhang van de rivier in de lengterichting gemeten. Deze gegevens zouden hiervoor gebruikt kunnen worden.

- Trendmatige informatie zoals bodemdaling zou in het OLR verwerkt kunnen worden. Dit gebeurt al impliciet, maar om dit expliciet te doen, moet gekeken worden hoe de trendmatige bodemdaling locatiespecifiek kan worden vastgesteld.
- Een kwantitatieve beschrijving van de nauwkeurigheden van de verschillende meetsystemen.
- De meetgegevens van de MGD's en de QuickScans moeten worden gebruikt om de veranderingen van de rivierbodem gedurende de zomermaanden te volgen.
- Van minder belangrijke inputgegevens kan de nauwkeurigheid worden onderzocht door (zie testplan) deze te variëren binnen hun marges en te zien wat WaalBOS daarmee doet.

7 Begrippenlijst

Precisie

Spreiding van een stochastische grootheid ten opzichte van het te verwachten gemiddelde. (Precisie wordt beschreven door een covariantiematrix. Een maat voor de precisie van een enkele grootheid is de standaardafwijking (1 sigma)).

Betrouwbaarheid

Controleerbaarheid van metingen of gegevens in een dataset en de gevoeligheid van het eindproduct voor onontdekte fouten.

Coverage

De bedekking van de bodem met akoestische metingen.

dGPS-navigatie (*Differential Global Positioning System*).

Positiesysteem gebruik makend van satellieten en een speciaal opgesteld referentiestation voor XY bepaling.

dGPS-RTK en dGPS-LRK navigatie

Positiesysteem gebruik makend van satellieten en een speciaal opgesteld referentiestation voor zeer preciese XY en Z bepaling.

Footprint

Bodemgebied dat door één bundel is aangestraald (beluidt).

Multi beam

Een echolood dat meet met behulp van series benedenwaarts gerichte akoestische bundels in de breedte richting van het vaartuig.

Single beam

Een echolood dat meet doormiddel van één enkelvoudige benedenwaarts gerichte akoestische bundel.

Squat

De vaartuiginzinking ten opzichte van de waterspiegel veroorzaakt door vaart in het water.

Transducer

De sensor, die de akoestische bundel(s) het water instuurt en ontvangt.

Waterstand

De stand in verticale zin van de waterspiegel ten opzichte van het referentie vlak NAP.

MSW

Het Monitoring Waterstanden Systeem dat middels peilstations de waterstanden meet, opslaat en distribueert.

OLR

Overeengekomen Lage Rivierstand (berekend uit metingen over enkele jaren en circa 1 maal per 10 jaar officieel vastgesteld).

BRV

Bagger Referentie vlak (een 'OLR' berekend uit metingen over 1 jaar).

De Min geoïde

De 'De Min' geoïde is de onmisbare vertaalslag tussen het door zwaartekracht variaties golvende NAP-vlak (=waterstand) en de strakke wiskundige ellips WGS84 (voor de RTK-dGPS metingen).

8 Bijlage: Hoe beschrijven we de (meet)precisie?

Deze paragraaf is overgenomen uit het LWI-rapport [referentie 1].

De precisie geeft aan (zie de definitie) wat voor spreiding ten opzichte van de werkelijke waarde kan voorkomen. De precisie van een aantal punten wordt beschreven met een foutencovariantiematrix. Bij geodetische puntsbepaling komt deze matrix automatisch uit de berekeningen. De mogelijke afwijking van de uit de metingen berekende waarde heeft meestal een normale verdeling. De grootste kans is dat de berekende waarde gelijk is aan de echte waarde, maar er is 33% kans dat de berekende waarde meer dan 1σ van de echte waarde afwijkt, en 5% kans dat die meer dan 2σ van de echte waarde afwijkt, en 0,3% kans dat die zelfs meer dan 3σ van de echte waarde afwijkt. Op de diagonaal van de foutencovariantiematrix staat per punt de standaardafwijking in het kwadraat (σ^2) die we variantie noemen.

Buiten de diagonaal staan de covariantiewaarden, die de correlatie tussen fouten in 2 verschillende punten beschrijven. Als de fouten tussen verschillende punten helemaal niet gecorreleerd zijn, dan zijn alle niet-diagonaal elementen van de foutencovariantiematrix nul.

Als we uit 2 punten het verschil willen berekenen doen we dat via $\Delta H = H_2 - H_1$. Als de foutencovariantiematrix van de 2 punten Q_{HH} is kan

die er bijvoorbeeld als volgt uitzien: $Q_{HH} = \begin{pmatrix} 2^2 & 3 \\ 3 & 3^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & 3 \\ 3 & 9 \end{pmatrix}$.

Dus de standaardafwijking van H_1 is 2 cm, de standaardafwijking van H_2 is 3 cm, en de covariantie is 3 cm². De standaardafwijking van het verschil ΔH is $\sigma_{\Delta H}^2 = \sigma_{H_1}^2 + \sigma_{H_2}^2 - 2\sigma_{H_1 H_2}$. Dit is de voortplantingswet van varianties.

Als we dat invullen vinden we dat de standaardafwijking van het verschil $(4+9-2*3)^{1/2}=2,64$ cm is. Als er nu geen correlaties waren, en de niet-diagonaalelementen nul waren, dan was de standaardafwijking van het verschil $(4+9-2*0)^{1/2}=3,6$ cm geweest. De correlatie tussen de fouten in H_1 en H_2 heeft een gunstige uitwerking op het verschil. Dat is ook logisch, want een positieve correlatie betekent dat een deel van de fout in H_1 ook in H_2 voorkomt. En in het verschil van die twee heeft de overeenkomstige fout geen invloed meer!

De absolute hoogten van de punten 1 en 2 (ten opzichte van NAP bijvoorbeeld) hebben een standaardafwijking van respectievelijk 2 en 3

cm. De relatieve hoogte (dat is het onderlinge hoogteverschil heeft een standaardafwijking van 2,6 cm, wat al minder is dan de absolute standaardafwijking van punt 2.

8.1 De praktijk

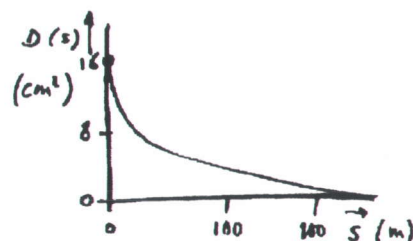
Als we hele grote puntensets hebben, met vele honderden of zelfs duizenden puntwaarden, dan is het praktisch gezien niet haalbaar om van al die punten de afzonderlijke standaardafwijkingen en al hun onderlinge correlaties op te slaan of daar mee te gaan rekenen. Let wel, voor n punten heb je $n \cdot n / 2$ (co)variantiewaarden (gedeeld door 2 want de matrix is symmetrisch rond de diagonaal). Dus voor 1000 puntwaarden heeft de covariantiematrix 500000 elementen.

In de praktijk wordt daarom vaak alleen maar de standaardafwijking van elk punt bewaard. Alle correlatie-informatie wordt weggegooid. Vaak wordt zelfs niet per punt de standaardafwijking bewaard, maar wordt een gemiddelde waarde bepaald die wordt gebruikt voor de hele dataset. De precisiebeschrijving van een hele dataset wordt dan gedaan met één enkele σ waarde.

8.2 Iets nieuws

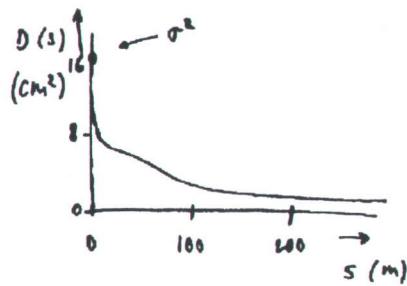
Het zal duidelijk zijn dat de standaardafwijking van afgeleide grootheden, zoals verschillen of volumes, niet erg realistisch zal zijn als alle correlaties worden weggegooid. We willen daarom een andere manier introduceren, waarbij wel een gemiddelde precisie-beschrijving voor de hele dataset wordt gedaan (en dus niet per punt), maar waarbij wel de bestaande correlaties tussen punten uit de dataset wordt bewaard. We noemen deze vorm de foutencovariantiefunctie (of foutenfunctie) en geven hem aan met $D(s)$.

De foutencovariantiefunctie geeft de gemiddelde standaardafwijking van een puntenset en de gemiddelde covariantie (correlatie) tussen 2 punten aan, waarbij de covariantie alleen afhangt van de afstand s tussen de 2 punten. Een voorbeeld hiervan is:



De standaardafwijking van een los punt uit de dataset is $\sigma = D(0)^{1/2}$. In dit geval dus 4 cm. Punten die op 100 meter afstand van elkaar liggen zijn nog zo'n 25% gecorreleerd, fouten in punten die meer dan 200 meter van elkaar liggen zijn niet meer gecorreleerd.

Een tweede voorbeeld bevat ook een fout die voor alle punten, ongeacht hun afstand, gelijk is.



We zien wederom dat de standaardafwijking van een losse of enkele puntwaarde 4 cm is. Voor langere afstanden blijft nu een foutencovariantie van zo'n $4 \text{ cm}^2 (= (2 \text{ cm})^2)$ aanwezig. Dit betekent dus dat er een systematische, constante fout van 2 cm kan voorkomen in de hele dataset.

De puntruis in dit laatste voorbeeld is het deel van de fout in $s = 0 \text{ m}$ dat geen correlaties heeft met andere punten. In dit voorbeeld is dat dus $16 - 9 = 7 \text{ cm}^2 = (2,6 \text{ cm})^2$, terwijl de (totale) standaardafwijking van een enkele puntwaarde 4 cm is.

Zoals al in de definities aangegeven, is "alles behalve de puntruis" systematische fouten. Dus niet alleen de constante fout van 2 cm, maar ook alle correlaties in fouten tot 100 meter afstand.

9 Bijlage: Referenties

9.1 Literatuur

[1] G. Blacqui re, N.A. Kinneging, E.J. de Min, Y. Platschorre, M.J. Ringelberg en R.S.W. Wardenier (1999) *LWI-rivieren: Integraal monitoringsysteem voor 3D geometrische informatie van de rivier met behulp van sonar en remote sensing*, deel 2, LWI-rapport

[2] R. van Heerd (2000) *Laseralitmetrie ten behoeve van baggerwerkzaamheden in de Waal*, nog niet verschenen

Het BOS Baggeren (1999) Rijkswaterstaat (RIZA & DON), Resource Analysis, WL I Delft Hydraulics, folder

Ontwerpfase BOS Baggeren voor de Waal; specificaties BOSje (1999) Resource Analysis, RIZA, WL I Delft Hydraulics, rapport RA/99-363

N. Douben (2000) *Ontwikkelprogramma Beslissing Ondersteunend Systeem Baggeren; ontwikkeling, bouw en evaluatie van een instrumentarium ten behoeve van dagelijks vaarbeheer van de Waal*, RIZA werkdocument 2000.004X

A.E. Bollweg, R. van Heerd (1999) *Analyse van waterhoogtemetingen met laseraltimetrie van de Rijn bij Pannerden*, MD-GAR/Meetstrategie 2000+, rapport MS2000+.99.08

Het Waalproject in kort bestek; vaarwegverruiming, uitwijkhavens, verkeersbegeleiding (1996?) brochure DON

M. Taal (2000) *Programma Baggeren; OLR-referentie t.b.v. baggervolumina en dieptebepaling*, DON rapport W-BG-97041

Definitiefase BOS Baggeren; resultaten, specialistische verkenningen en beoordeling alternatieven (1998) Resource Analysis, RIZA, WL I Delft Hydraulics, rapport RA/98-315

Personen

P. de Bot	Dienstkring Boven-Rijn en Waal
S. Oosterhof	DON-ANIM
M. Taal	DON-ANSR
S. Werners	Resource Analysis

Meetkundige Dienst (MD) Rijkswaterstaat

De Meetkundige Dienst is verantwoordelijk voor ondersteuning en advisering van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, op geodetisch gebied en op het gebied van informatie- en communicatietechnologie.

De MD vervult een vijftal rollen voor Verkeer en Waterstaat:

1. Architect en adviseur voor geo-informatievoorziening en informatie- en communicatietechnologie
2. Makelaar voor geo-informatie en informatie- en communicatietechnologie
3. Leverancier en producent van geo-informatie
4. Beheerder van basis-infrastructuur voor informatie- en communicatietechnologie
5. Beheerder van basis-infrastructuur voor geo-informatie

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

RUIJKERTNL FILE URIJ
VELSERTNL 1 BU 107

