

Monitoring Bresvorming

Meetplan

Ons kenmerk
407012-0003

Versie
03 Definitief

Datum
September 2009



Postbus 69
NL-2600 AB
Stieltjesweg 2
NL-2628 CK Delft

Telefoon 015 26 93 500
Telefax 015 26 10 821
info@geodelft.nl
www.geodelft.nl

Postbank 234342
ING Bank NV
rek.nr.65.09.62.524
KvK S41146461
BTW NL80097476B01

Rapportnummer
407012-0003 v03

Datum
September 2009

Concept

Versie
03 Definitief

Aantal pagina's
50

Titel / subtitel

Monitoring Bresvorming / Meetplan

Oprachtgever

Delft Cluster

Projectleider(s)

ing. E.W. Vastenburg

Projectbegeleider(s)

ir. M.B. de Groot

Overige leden projectteam

ir. M. van der Ruyt

Samenvatting

In dit rapport is een meetplan beschreven voor monitoring van de bresvorming en taludontwikkeling tijdens zandwinning. De beschrijving vindt plaats in het kader van het Delft Cluster werkpakket 'Oeverstabiliteit bij verdieping waterbodemb'. Het plan moet dienen als basis voor een concreet plan zodra er zich een concrete mogelijkheid voordoet om te meten.

Het doel van de metingen is om na te gaan of de (theoretische) modellering van de taludvorming in de juiste richting gaat en om vervolgens de waarde van empirische parameters te kunnen schatten. Het gaat daarbij vooral om hoogfrequente metingen van het taludoppervlak rond een zuigmond.

Voorgesteld wordt om een peilvlet uit te rusten met een RTK-DGPS positioneringssysteem. Voor de dieptewaarnemingen gaat de voorkeur uit naar de combinatie van een multibeam echolood en een singlebeam echolood. Om de stand van de vlet in de ruimte te bepalen zal een standopnemer geïnstalleerd moeten worden. De data, afkomstig vanaf de verschillende sensoren, worden opgeslagen in de online-computer.

Aan boord van de zuiger zal een baggercomputer aanwezig moeten zijn om de positie van het zuigpunt in de tijd op te slaan. Naast de positiegegevens, zijn ook de productie gegevens (mengseldichtheid en mengselsnelheid als functie van de tijd) en algemene karakteristieken van de zuiger van belang.

Voordat begonnen wordt met het uitvoeren van de metingen dient de gehele meetconfiguratie gecontroleerd en gekalibreerd te worden.

Nadat alle meetgegevens ingewonnen zijn kunnen de data verwerkt worden. Eventuele fouten worden verwijderd en alle gegevens worden herleid tot RD-Coördinaten en NAP hoogtes. Vervolgens wordt de data digitaal in een ASCII bestand aangeleverd en waar mogelijk grafisch gepresenteerd in dieptelijnen kaarten en dwarsprofielen uitgezet in de tijd.

Naast de metingen tijdens winning, wordt tevens voorgesteld om een in- en uitpeiling uit te voeren. Verder zijn gegevens over de ondergrond essentieel voor de interpretatie en moeten daarom grondmechanische metingen zijn of worden uitgevoerd. Ook het plaatsen van waterspanningsmetingen in het talud kan overwogen worden.

<u>Versie</u>	<u>Datum</u>	<u>Opgesteld door</u>	<u>Paraaf</u>	<u>Gecontroleerd door</u>	<u>Paraaf</u>
1	februari 2006	E.W. Vastenburg		M.B. de Groot	
2	April 2006	E.W. Vastenburg		M.B. de Groot	

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
2	Probleemstelling	2
2.1	Besproces	2
2.2	Verwerkingsvloeiding	3
2.3	Onderzoeksvragen en modelvalidatie	4
2.4	Meetplan voor toepassing op lopend werk	4
3	Meetconfiguratie voor peilingen tijdens winning	6
3.1	Definities	6
3.2	Positionering	7
3.3	Dieptewaarnemingen	7
3.3.1	Singlebeam echolood	7
3.3.2	Multibeam echolood	8
3.4	Standopnemer	8
3.5	Online software	9
3.6	Peilvlet	9
4	Metingen aan zuiger tijdens peilcampagne	11
5	Uitvoeren peilingen tijdens winning	12
5.1	Voorbereiding uitvoering	12
5.2	Calibraties	12
5.3	Definiëren raaienplan	12
5.3.1	Raaienplan multibeam	14
5.3.2	Raaienplan Singlebeam	16
5.4	Inwinnen metingen	17
5.4.1	Vertroebeling en verstoring	17
5.4.2	Peilen rond winwerktuig	18
6	Dataverwerking bij peilcampagne	19
6.1	Veiligstellen ruwe peildata	19
6.2	Processing peildata	19
6.3	Aanleveren peildata	19
6.4	Verwerken metingen aan zuiger	21
7	Overige metingen	22
7.1	Peilingen voor- en na locale winning	22
7.2	Grondmechanische metingen	22
7.3	Waterspanningsmetingen tijdens winning	25
8	Literatuuropgave	26
Bijlage(n)		
Bijlage 1	Principe RTK-DGPS	
Bijlage 2	Werking multibeam echolood	
Bijlage 3	Gebruik van een standopnemer	
Bijlage 4	Calibraties	

1 Inleiding

Het doel van de studie voor de opzet van de metingen is om de metingen dusdanig voor te bereiden, dat de metingen kunnen starten kort nadat zich een concrete mogelijkheid voordoet. Daartoe moet vastgesteld worden wat er gemeten gaat worden en met welke instrumenten en faciliteiten. Tevens is het nuttig om globale afspraken te maken met mogelijk betrokken leveranciers en aannemers en om een globale begroting te maken.

De studie valt onder het DelftCluster Workpackage 04-43.

Het rapport bestaat uit acht hoofdstukken waarvan hoofdstuk 1 de inleiding is en hoofdstuk 8 de literatuuropgave.

In hoofdstuk twee wordt het bresproces en verwekingsvloeiing beschreven. Daarnaast komen de onderzoeksvragen en modelvalidatie aan de orde. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 de meetconfiguratie aan boord van de peilvlet beschreven. Hoofdstuk 4 gaat in op de meetconfiguratie aan boord van de zuiger. De calibraties, het definiëren van het raaienplan en het daadwerkelijke inwinnen van de metingen wordt in hoofdstuk 5 behandeld. Nadat de metingen zijn uitgevoerd worden de data verwerkt. Dit wordt in hoofdstuk 6 uiteengezet. Naast de metingen tijdens winning wordt tevens voorgesteld om een in- en uitpeiling uit te voeren. Ook moeten er grondmechanische metingen worden uitgevoerd en kan overwogen worden waterspanningsmetingen te plaatsen. Deze aanvullende metingen worden in hoofdstuk 7 besproken.

Voor het opstellen van het rapport is vooral gebruik gemaakt van de collega dictaten die gebruikt werden op de Hogeschool van Amsterdam, Opleiding hydrografie. Daarnaast is veelvuldig een beroep gedaan op (Schriek, 2005).

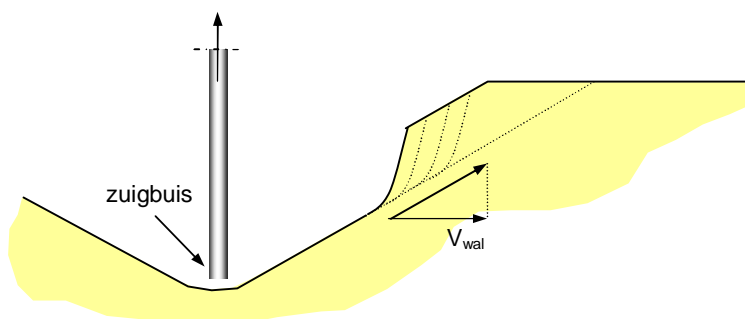
2 Probleemstelling

Tijdens het baggeren spreekt men over een beheerst bresproces en een onbeheerst bresproces (2.1). Daarnaast bestaat de kans op een verwekingsvloeiing (2.2). Om meer inzicht te krijgen in de modellen die het bresproces simuleren en het kwantificeren van risico's op verwekingsvloeiingen, zullen de taludveranderingen gemeten moeten worden (2.3). Dit rapport geeft een richting voor de uit te voeren metingen (2.4).

2.1 Bresproces

Het bresproces treedt op bij steile taluds onder invloed van zwaartekracht. Bij het plaatsen van de zuigbuis op een vaste diepte, blijkt dat de wand van het gat zich radiaal naar buiten verplaatst (Schriek, 2005). Deze radiaal verplaatsende wand wordt een "bres" of "walletje" genoemd. De helling waaronder dit gebeurt, komt aanvankelijk ongeveer overeen met het natuurlijk talud. De horizontale component van die verplaatsingsnelheid wordt de "walsnelheid" (V_{wal}) genoemd.

Onder invloed van de zwaartekracht komt het zand uit de steile wand vrij en vormt samen met het omgevingswater een dichtheidsstroom langs het talud omlaag naar de zuigmond (zie figuur 2.1).



Figuur 2.1, Definitieschets lopende wal in zuigpunt

Na verloop van tijd bereikt het walletje het oppervlak en is een put ontstaan met een taludhelling \leq natuurlijk talud. Als de zuigbuis vervolgens weer dieper gestoken wordt, ontstaat er weer een radiaal weglopend walletje.

Bij bressen hoger dan 1 á 2 m treden dichtheidsstromen op langs het oppervlak onderaan de bres. Deze zorgen voor erosie van dit oppervlak. Door deze erosie zal het talud verflauwen en de vrijkomende hoeveelheid zand toenemen. In de praktijk leidt dit tot gekromde taluds bij het bressen, met meer steile helling bovenaan en flauwere helling onder aan de teen van het talud.

Het lopen van de walletjes wordt feitelijk veroorzaakt doordat de taluds steiler zijn dan het natuurlijk talud. Deze taluds zijn niet stabiel en de zandkorrels regenen ten gevolge van hun eigen gewicht af. Tijdens het afregenen van de zandlaagjes treedt dilatantie op, waardoor water moet toe stromen. Hierbij ontstaan onderdrukken. Door deze onderdrukken kan de steile wand zich tijdelijk handhaven. Voorwaarde is wel dat er sprake is van zand met een voldoende pakking en lage doorlatendheid. Als niet aan de laatste voorwaarde wordt voldaan, dan treedt eerder afschuiving van het talud op, of verweken of uitvloeien. Althans, dat is de verwachting. Maar hoe dat dan in zijn werk gaat is onduidelijk. Het zou kunnen zijn dat de bressen dan gewoon een flauwere helling hebben, maar wel laagje voor laagje afschuiven waardoor de rest van de taludvorming net zo gaat als bij vastgepakt zand. Maar ook is het mogelijk dat het

proces een meer discontinu karakter krijgt met plotselinge grote taludverflauwingen, afgewisseld door geleidelijke taludversteilingen.

Een risico met geïnitieerde bresprocessen is het overgaan van een beheerst en min of meer stationair karakter, naar een onbeheerst bresproces of "bresvloeiing". Dit treedt op wanneer de toestroming van het zand-watermengsel langs het talud zich voortdurend versterkt en een sterk erosief karakter aanneemt, gevoed door een steile bres die steeds verder het talud oploopt. Het gevolg is een taludverflauwing die uiteindelijk kan leiden tot een talud- of oeverinschaling. Hierdoor kan het zandtalud zich niet meer instellen onder de berekende 'stationaire' geometrie. De uiteindelijke taludhellingen zullen een veel flauwere vorm aannemen (bijvoorbeeld 1:10).

Een dergelijke bresvloeiing kan optreden indien het talud bestaat uit vastgepakt of matig vastgepakt zand en voldoende steil en hoog is. Veel voorkomende oorzaken van het ontstaan van een onbeheerst bresproces zijn:

- het toestromen van zand uit het boventalud boven het gedeelte dat op dat moment stapsgewijs wordt gewonnen (dus toestroming van twee staphoogten in plaats van één);
- het toestromen van zand over de putrand heen vanuit een zandstort op de rivierbodem;
- een 'te snelle' winwijze (niet stationair) in fijne zanden met een lage doorlatendheid.

De kans op een bresvloeiing neemt toe als er losgepakt zand aanwezig is in het talud. De vloeiing gaat dan meer het karakter van een verwekingsvloeiing krijgen. Het is nog niet duidelijk of het onderscheid tussen een bresvloeiing en een verwekingsvloeiing altijd scherp te maken is.

2.2 Verwekingsvloeiing

Voorwaarde voor het ontstaan van verwekingsvloeiingen zijn:

- de aanwezigheid van losgepakt zand in het talud (relatieve dichtheid lager dan 33%), eventueel matig vastgepakt zand (relatieve dichtheid liggend tussen 33% en 66%)
- voldoende steil talud;
- voldoende hoogte van het talud.

Als aan deze voorwaarde wordt voldaan, dan kan het talud zich in een 'metastabiele' situatie bevinden. Dat betekent dat het talud bij een vrij plotselinge (eventueel kleine) verandering in de belasting instabiel wordt. Dit wordt veroorzaakt door de neiging van het losse zand (veel ruimte tussen de korrels en dus een lage relatieve dichtheid) om bij een belastingverandering te verdichten en daarmee in volume te verkleinen. Wanneer het zand zich onder water bevindt en alle poriën gevuld zijn met poriënwater, dan zal deze volumeverkleining niet direct kunnen plaatsvinden. Een verhoogde druk in het poriënwater is het gevolg. Deze toename in waterspanning zorgt voor een gelijktijdige en gelijkwaardige afname in korrelspanning en daarmee in de schuifweerstand van het zand in het talud. Het gevolg is een vermindering van de stabiliteit van het talud.

Als de waterspanningen vervolgens zo groot worden dat de korrelspanning (bijna) geheel verdwijnt, dan wordt gesproken over verweekt zand. Het verweekte zand zal in de meeste gevallen uitvloeien onder een taludhelling van 1: 10 tot 1:20. Dit proces wordt "verwekingsvloeiing" genoemd. Na verweking en wegstromen van het verweekte zand treedt daarnaast vaak een bresproces op in de meer vastgepakte zandlagen, met bijbehorende turbulente mengselstroom. De gehele taludinstabiliteit, met of zonder bresproces (maar altijd wel met verweking), wordt ook wel een 'zettingsvloeiing' genoemd.

Voor de initiatie van een verwekingsvloeiing is een vrij plotselinge (eventueel kleine) belastingverandering nodig. Bij baggerwerkzaamheden treden die op zijn minst zeer vaak op. Bij het zuigen van zand zijn de plotselinge belastingveranderingen veelal vrij groot, zeker als de grondopbouw heterogeen is. Over de interactie tussen verweken en bressen bij winning in

losgepakt zand is nog niet zoveel bekend. De kans dat ze elkaar versterken bij het instabiel maken van het talud lijkt echter vrij groot.

Bresvloeiingen, verwekingsvloeiingen of de combinatie van beide (vaak aangeduid met 'zettingsvloeiingen') leiden nog al eens tot oeverinscheringen. Deze variëren bij de meeste zandwinputten van enige meters tot enkele tientallen meters. Gezien de ervaringen in Zeeland met zettingsvloeiingen lijkt het, met de huidige kennis, echter ook niet uitgesloten dat oeverinscheringen tot tweehonderd meter of meer kunnen optreden.

2.3 Onderzoeksvragen en modelvalidatie

Middels theoretische modellering zal de komende tijd gepoogd worden meer inzicht te krijgen in de hier boven beschreven processen. Meer inzicht is bijvoorbeeld nodig om na te gaan wat de invloed is van een losgepakte laag van beperkte dikte op de taludvorming. Hij is ook nodig om na te gaan of de kans op een vloeijing afneemt naarmate de het zand in dunnere lagen gewonnen wordt. Het is tenslotte nodig om na te gaan of in een concrete situatie de Zeeuwse ervaring eigenlijk wel van toepassing is en of niet aan te tonen is dat een eventuele oeverinschering nooit groter zal kunnen zijn dan bijvoorbeeld 50 m.

Het doel van het onderzoek is het uitvoeren van metingen tijdens het baggeren aan de taludvorming om na te gaan of de modellering in de juiste richting gaat en om vervolgens de waarde van empirische parameters te kunnen schatten.

Belangrijk is om meer inzicht te krijgen in de werkelijkheid tussen puur radiaal en puur 2D modellering van het bresproces. De verwachting is dat de walletjes en de bijbehorende mengselstroom een beperkte breedte hebben en zich in een radiaal vlak steeds verleggen, terwijl de stroom steeds richting zuigmond blijft.

De modelvalidatie kan uitgevoerd worden door voorafgaand aan de monitoring op basis van de boringen en de geplande werkwijze de (stationaire) taludontwikkeling te berekenen met het huidige bresmodel (predicties) en de resultaten te verifiëren aan de hand van de metingen en eventueel achteraf bij te stellen aan de realisatie (hindcast).

Daarnaast gaat de interesse uit naar het effect van een losgepakte zandlaag. Ontstaat verwekingsvloeijing en zo ja bij welke begingeometrie van het talud en hoe vloeit het zand vervolgens uit? Eventueel geverifieerd met een SLIQ2D berekening. Als er geen verwekingsvloeijing optreedt, wordt dan de walletjessnelheid heel groot en/of de taludhelling van de walletjes zeer flauw?

2.4 Meetplan voor toepassing op lopend werk

Het gepresenteerde meetplan is slechts een concept. Het meetplan kan bij concrete toepassing in samenspraak met de betrokken partijen aangepast worden op het (lopende) werk.

Voor het beoogde onderzoek lijken de volgende elementen van belang om op opgenomen/besproken te worden in het meetplan:

- Peilingen rond zuigbuis en bres tijdens winning
- Metingen aan zuiger tijdens peilcampagne
- Overige metingen, waaronder:
 - Peilingen voor- en na de locale winning
 - Van te voren uit te voeren grondmechanische metingen
 - Achteraf uit te voeren grondmechanische metingen
 - Waterspanningsmetingen in de grond tijdens winning

Tijdens de uitvoering kan blijken dat het (vooraf bedachte) meetplan niet uitvoerbaar is in de praktijk. Mocht dit geconstateerd worden dan zal door de betrokken partijen een gewijzigd meetplan opgesteld moeten worden.

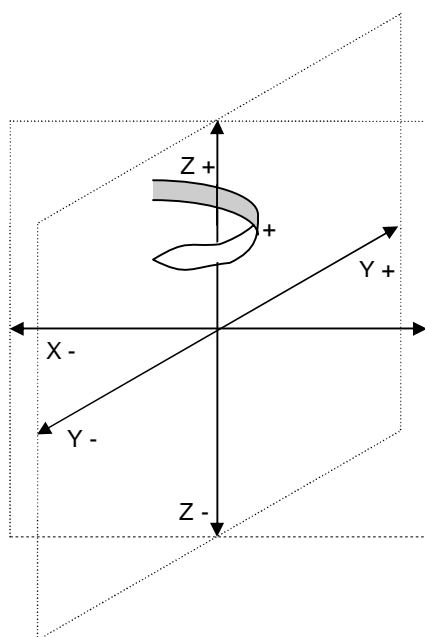
Het uitvoeren van metingen is een dynamisch proces dat steeds bijgestuurd moet worden. Tijdens het bijsturen van de uitvoering is het van essentieel belang dat wijzigingen in de meetstrategie teruggekoppeld worden aan alle belanghebbende om zo fouten en misvattingen in een later stadium te voorkomen.

3 Meetconfiguratie voor peilingen tijdens winning

Om verwarring en fouten te voorkomen moet een eenduidig coördinaatstelsel gedefinieerd worden (3.1). Voor de positionering wordt RTK-DGPS geadviseerd. Deze methode maakt gebruik van een basisstation en fasemeting op de draaggolf (3.2). Om de ligging van de bodem te meten komen twee systemen in aanmerking; een singlebeam echolood en een multibeam echolood (3.3). Omdat een schip zich in een dynamische omgeving bevindt zal de momentane stand van het schip in de ruimte bepaald moeten worden. Dit kan met een standopnemer (3.4) De data afkomstig vanaf de verschillende sensoren wordt opgeslagen in een survey-computer (3.5). Alle apparatuur wordt geïnstalleerd op een peilvlet (3.6).

3.1 Definities

In dit rapport, tijdens het peilen en de uitwerking van de data is het van belang om een eenduidig coördinaatstelsel te definiëren om verwarring te voorkomen. De ligging van de assen en bijbehorend teken is weergegeven in figuur 3.1:



Figuur 3.1, Definities assenstelsel

Om eenvoudig verschillende metingen, sonderingslocaties etc. aan elkaar te kunnen relateren wordt voorgesteld om te werken met RD-coördinaten. Lokale coördinaten scheppen eerder verwarring, zeker wanneer gewerkt wordt met verschillende data sets afkomstig vanaf verschillende partijen.

Mocht de onderzoekslocatie zich in het buitenland bevinden, dan zal vooraf vastgesteld moeten worden in welk coördinaatstelsel gewerkt gaat worden. Eenduidigheid in het gebruik van coördinaten is van groot belang om fouten te voorkomen.

Daarnaast worden afstanden aangeduid in meters en hoeken in graden.

3.2 Positionering

Voor de positionering wordt het Global Positioning System (GPS) voorgesteld. Een standaard GPS heeft een nauwkeurigheid van ongeveer 15 meter. Om deze nauwkeurigheid te verbeteren zijn er verschillende systemen op de markt:

- Differentiaal GPS (DGPS); nauwkeurigheid 3-5 meter;
- GPS met WAAS ondersteuning; nauwkeurigheid < 3 meter;
- Real Time Kinematic DGPS (RTK-DGPS); nauwkeurigheid < 0,05 m.

De voorkeur gaat uit naar een RTK-DGPS. Dit is een relatief positioneringssysteem. De positie van de ontvanger aan boord wordt bepaald ten opzichte van de positie van de referentieontvanger op de vaste wal. Van de referentieontvanger zijn de X, Y en Z-coördinaten bijvoorbeeld tachymetrisch bepaald. De verschillen in de afzonderlijke coördinaten worden bij de positie van de referentieontvanger opgeteld en op deze wijze wordt de positie van de ontvanger aan boord gevonden.

Bijlage A gaat verder in op de werking van RTK-DGPS.

3.3 Dieptewaarnemingen

In de hydrografie wordt vaak over SONAR (Sound Navigation And Ranging) gesproken. Hiermee worden alle instrumenten, met uitzondering van de akoestische plaats en release systemen, bedoeld die gebruik maken van geluidsgolven in water.

In dit meetplan wordt onderscheid gemaakt tussen een singlebeam echolood (3.3.1) en een multibeam echolood (3.3.2). Om het een en andere te kunnen visualiseren wordt hier uitgegaan van de SeaBat 8101. Dit is een multibeam echolood van de fabrikant Reson. Dit systeem is geschikt om toegepast te worden tijdens de uitvoering van baggerwerkzaamheden en is in het bezit van vele aannemers. Elke fabrikant gebruikt zijn eigen technieken, maar gebaseerd op dezelfde principes.

3.3.1 Singlebeam echolood

Bij een singlebeam echolood wordt door de transducer een geluidspuls (druk golf) uitgezonden. Op dit moment wordt een 'klok' gestart. De puls wordt vervolgens gereflecteerd door een reflectiepunt, bijvoorbeeld de bodem, en wordt weer ontvangen door de transducer. Op dit moment stopt de klok. Door de looptijd te vermenigvuldigen met de geluidssnelheid in water wordt de afgelegde afstand door de puls berekend. Door deze afstand te delen door twee wordt de afstand transducer tot reflectiepunt bepaald (zie formule 3.1).

$$D = \frac{t_{puls} \cdot c}{2} \quad (3.1)$$

Waarin:

- D = Waterdiepte [m];
 t_{puls} = Looptijd van de geluidspuls [s];
c = Snelheid van geluid in water [m/s].

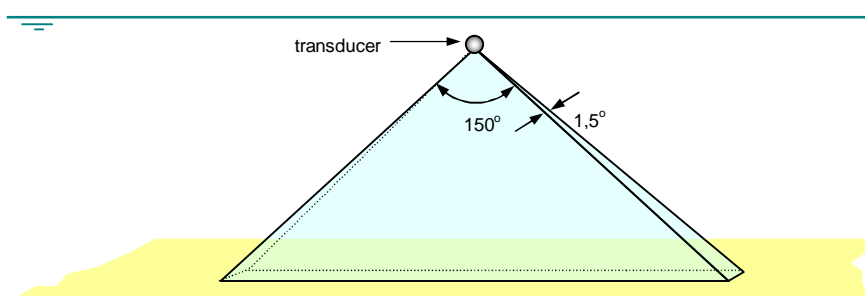
De meeste singlebeam echoloden werken met een frequentie van rond de 210 kHz. Daarnaast zijn er ook systemen op de markt die werken met twee frequenties. Naast de 210 kHz wordt dan ook uitgezonden met een frequentie van ± 33 kHz. Het voordeel van de lagere frequentie is dat de uitgezonden puls minder gevoelig is voor verstoringen veroorzaakt door zwevende deeltjes. Door de langere golflengte bevat de puls meer energie en dringt daardoor makkelijker door zwevend materiaal heen. De nauwkeurigheid van het systemen is wel kleiner.

Door gebruik te maken van een systeem die simultaan een 210 kHz en een 33 kHz puls kan uitzenden en vervolgens ontvangen, wordt door het verschil tussen beide waarnemingen te berekenen een indicatie verkregen van de dikte van een eventueel aanwezige sliblaag. Het zou gelegen komen als daarmee ook de dikte van een mengselstroom gemeten kan worden, Die stroom heeft een dichtheid van 1200 tot 1400 kg/m³ en een dikte van orde 0,1 tot 0,5 m. Dat is nog niet duidelijk.

Bij een zeer harde bodem zal er weinig verschil in waarneming zitten tussen de 210 kHz puls en 33kHz puls. De 33kHz is te herkennen aan een springerig verloop op de echoloodrol.

3.3.2 Multibeam echolood

Bij een multibeam echolood wordt door de transducer een puls (of 'ping') uitgezonden, loodrecht op de lijn van kiel en steven. De gevormde bundel wordt gekenmerkt door een grote verticale bundelhoek (SeaBat: 150°) en een kleine horizontale bundelhoek (SeaBat: 1,5°, zie figuur 3.2), de zogenaamde "Mill's Cross" configuratie.



Figuur 3.2, Bundelhoeken SeaBat 8101

De puls wordt vervolgens gereflecteerd en weer ontvangen door vele onafhankelijke transducers in de SONAR-kop, die ieder een deel van de bundel voor hun rekening nemen. Uit de ontvangen data, nadat het gedigitaliseerd is, wordt de afstand tot het reflectiepunt berekend.

Een multibeam echolood is een complex apparaat. Om meer inzicht te krijgen in de werking van een multibeam echolood en de beperkingen wordt in bijlage 2 dieper ingegaan op de technieken achter het systeem.

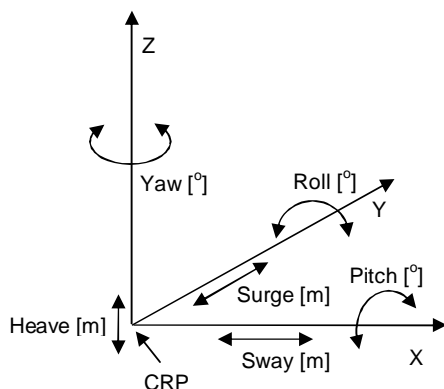
3.4 Standopnemer

Op een peilvlet bevinden zich vele verschillende meetinstrumenten. In de meeste gevallen zijn deze te vinden op verschillende locaties op het schip. Een daarvan is de RTK-DGPS antenne. Wanneer een positie op de GPS ontvanger verschijnt, is dit de positie van de RTK-DGPS antenne. Dit betekent dat de positie van de RTK-DGPS antenne bekend is en niet die van het echolood. Met andere woorden; er is geen positie bekend van de gemeten diepte. Om dit probleem op te lossen wordt er gebruik gemaakt van offsets.

Bij het bepalen van de offsets wordt gewerkt met een Common Reference Point (CRP). Dit kan het zwaartepunt van het schip zijn of een ander (fictief) punt aan boord van het schip. Alle afstanden vanaf de sensoren worden tot dit punt in X, Y en Z richting herleid. Wanneer een diepte wordt gemeten en een positie wordt berekend, kunnen de coördinaten, die bij de gemeten diepte horen, berekend worden met behulp van de offsets en antennepositie.

Omdat een schip zich in een dynamische omgeving bevindt, verandert de ruimtelijke stand van het schip in de tijd. De bewegingen vinden plaats in de richting van zes vrijheidsgraden (zie Figuur 3.3):

- Pitch (stampen);
- Roll (rollen);
- Yaw (gieren);
- Heave (dompen);
- Surge (schrikken);
- Sway (verzetten).



Figuur 3.3, Roll, pitch, yaw en heave

De rotatiehoeken α (rotatie om de positieve x-as) en β (rotatie om de positieve y-as) zijn niet te meten. Om de stand van het schip in de ruimte te kunnen bepalen zal gebruik gemaakt moeten worden van een standopnemer. De werking van een standopnemer berust op het principe van een gyroscoop. Een gangbaar type is de Octans. Dit meetinstrument meet de pitch, roll en yaw. Daarnaast wordt de heave bepaald. Dit is de translatie langs de Z as. Het zogenaamde dompen van het schip.

Bijlage 3 gaat verder in op het gebruik van een standopnemer.

3.5 Online software

Met de "online software" wordt het programma bedoeld dat gebruikt wordt tijdens het uitvoeren van de hydrografische metingen. Er zijn vele verschillende survey-pakketten op de markt, bijvoorbeeld QUINSy, PDS2000 en HyPack. Voor het onderzoek worden geen specifieke eisen aan het pakket gesteld. Het enige van belang is dat het softwarepakket en bijbehorende hardware, krachtig en accuraat genoeg zijn om de grote hoeveelheid data, afkomstig van de verschillende sensoren, te kunnen verwerken en opslaan. De keuze van de software zal vaak een zaak zijn van welk pakket aanwezig is binnen het bedrijf of op het desbetreffende project.

3.6 Peilvlet

De meeste metingen met singlebeam en multibeam kunnen worden uitgevoerd vanaf een peilvlet die volgens een bepaald raaienplan (zie §5.3) voor en naast de zuiger vaart. Een geschikte peilvlet wordt gekenmerkt, door wendbaarheid, werkruimte, stabiliteit en gemotiveerd en nauwkeurig werkend personeel.

Om de kosten te beperken gaat de voorkeur uit naar een peilvlet die op het werk aanwezig is. De in dit rapport besproken meetconfiguratie is een typische meetconfiguratie die op grote baggerwerken terug te vinden is.

4 Metingen aan zuiger tijdens peilcampagne

Tijdens het uitvoeren van de metingen zal het lastig worden om onder de zuiger te peilen. Wellicht kunnen, door de openingshoek van het systeem, een aantal dieptes onder de zuiger gemeten worden met het multibeam echolood. Het singlebeam echolood kan niet onder de zuiger meten. Aanbevolen wordt om een echolood aan de zuiger te bevestigen om te peilen onder het winwerktuig. Als dit praktische problemen oplevert, dan is het mogelijk om handlodingen uit te voeren. Van groot belang is om tijdens het loden te werken met dezelfde tijd die gebruikt wordt aan boord van de peilvlet en op de zuiger. Elke dieptewaarneming moet voorzien worden van het tijdstip van de meting.

Voor de modelvalidatie zijn naast de bathymetrische waarnemingen ook de locaties (XYZ) van het zuigpunt in de tijd van belang.

De XYZ data van het zuigpunt is vaak eenvoudig op te slaan met de baggercomputer. Bij het opslaan van de XYX data moet ook de tijd opgeslagen worden. De tijd aan boord van de peilvlet en aan boord van de zuiger dienen dan ook precies gelijk te lopen. Aangeraden wordt om voor beide systemen GPS tijd te gebruiken.

Evenals de peilvlet is het wenselijk om voor de positionering van de zuiger ook gebruik te maken van RTK-DGPS.

Naast de positiegegevens, zijn ook de productie gegevens (mengseldichtheid en mengselsnelheid in de zuigbuis als functie van de tijd) en algemene karakteristieken van de zuiger van belang. Deze gegevens worden met de nodige integriteit gebruikt.

5 Uitvoeren peilingen tijdens winning

Voordat begonnen wordt met het uitvoeren van de metingen zal eerst een kick-off georganiseerd moeten worden (5.1). De eerste stap in het meetproces is het uitvoeren van de verschillende calibraties (5.2). Daarnaast wordt het raaienplan gedefinieerd (5.3). Tot slot kunnen de metingen daadwerkelijk uitgevoerd worden, daarbij rekening houdende met vertroebeling en het peilen in een werkgebied (5.4).

5.1 Voorbereiding uitvoering

Voordat gestart wordt met het werk, wordt geadviseerd om eerst met het uitvoerende personeel te overleggen over de benodigde resultaten. Betrokkenheid en openheid levert in de meeste gevallen de beste resultaten op.

5.2 Calibraties

Om de juiste werking en instellingen van de meetconfiguratie vast te stellen, worden voor het peilen een aantal calibraties uitgevoerd:

- Controle RTK-DGPS positie
- Geluidssnelheid in water
- Singlebeam calibratie
- Multibeam calibratie
- Gyro-calibratie

De calibraties kunnen veel tijd in beslag nemen, hiermee dient dan ook rekening te worden gehouden tijdens de kostencalculatie en tijdens de uitvoering.

De calibratieprocedures zijn terug te vinden in bijlage 4

5.3 Definiëren raaienplan

Om de kans te vergroten een noemenswaardige taludverandering te meten, is het raadzaam vooraf een kansindeling te maken van het werkgebied (zie figuur 5.1). Te denken valt aan een kwalificering in termen van grote, matige, kleine en verwaarloosbare kans op een noemenswaardige taludverandering. De kansindeling kan alleen opgesteld worden als er voldoende boringen en sonderingen beschikbaar zijn binnen het projectgebied.



Figuur 5.1, Voorbeeld gebiedsindeling naar kans op grote taludverandering

Door de metingen vooral te concentreren in de gebieden die gekwalificeerd zijn met een grote kans op taludontwikkeling, neemt de kans toe dat een daadwerkelijke verandering gemeten wordt. Waarbij de interesse vooral uitgaat naar de verandering in de tijd. Het is daarom van belang om intensief te meten.

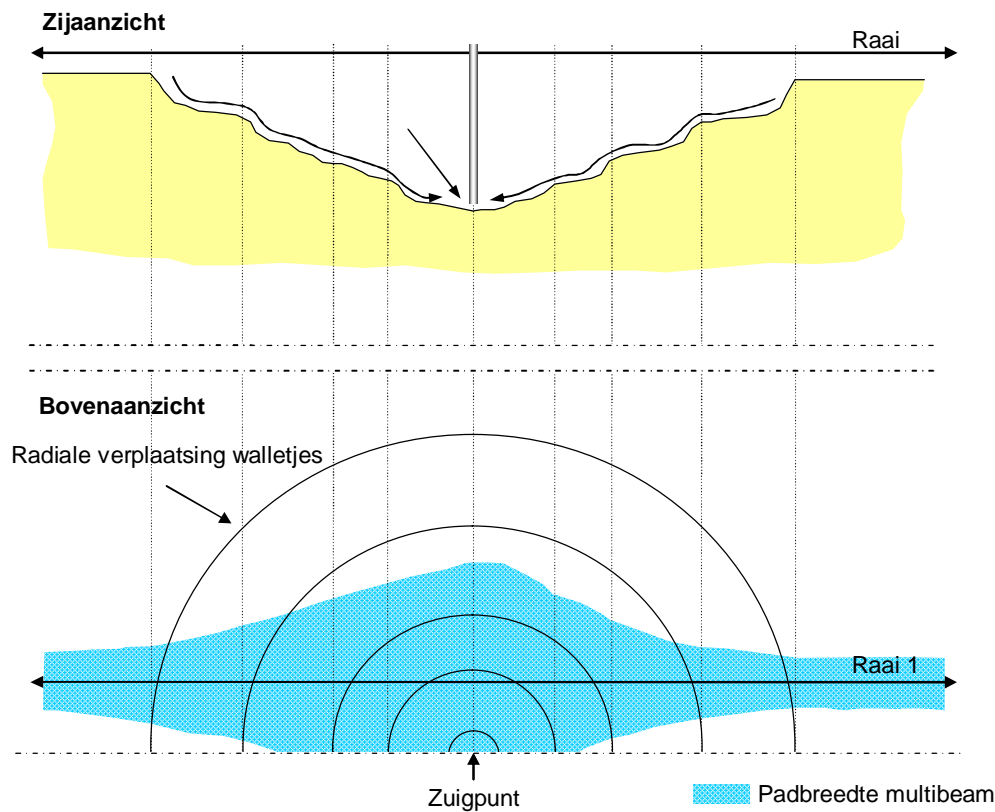
Het gebied met grote kans op taludontwikkeling rond een zuigmond betreft in ieder geval het talud boven de zuigmond, waarover de walletjes zich verplaatsen. Als de zuigmond zich op 20 m diepte bevindt en de gemiddelde taludhelling 1:5 wordt, gaat het dus om een deel van een cirkel (bijvoorbeeld een halve cirkel zoals getekend in fig. 5.8) met een straal van orde 100 m. Dat is een gebied van ruim 150 m². Interessant is zeker ook het gebied onder de zuigmond, als de putdiepte al groter is, omdat mors daar zal sedimenteren. Zodoende gaat het om een gebied van orde 300 m².

De peilfrequentie moet voldoende zijn om belangrijke veranderingen te kunnen registreren. Het bresproces in (matig) vastgepakt zand gaat langzaam. Maar als een verwekingsvloeing optreedt is de verwachting dat die in orde 15 minuten zijn beslag krijgt en is het gewenst dat er op zijn minst meerdere opnamen van de bodem in die periode worden gemaakt. Daarvoor zou een peilfrequentie van orde 1 x in de 3 minuten ideaal zijn.

Zoals reeds eerder vermeld (zie §2.1), verplaatsen walletjes zich radiaal vanaf het zuigpunt. Maar de verplaatsing wordt tevens sterk beïnvloed door het talud dat reeds eerder gevormd is. Deze wetenschap vormt het uitgangspunt voor het definiëren van de te varen raaien (zie figuur 5.2). Om dit proces in kaart te brengen zullen de raaien bijvoorbeeld loodrecht op het talud gevaren moeten worden. Daarnaast zal per 'run' dezelfde lijn gevaren moeten worden om de meetgegevens met elkaar te kunnen vergelijken. De vaarrichting heeft geen invloed op het resultaat, mits de correctiefactoren tijdens de calibratieprocedures correct bepaald zijn.

Door de systeemspecifieke eigenschappen van een multibeam en een singlebeam echolood, wordt in dit rapport onderscheid gemaakt tussen het opstellen van een raaienplan voor een multibeam systeem (5.3.1) en een raaienplan voor een singlebeam systeem (5.3.2).

De voorkeur gaat uit naar het simultaan werken met een multibeam en singlebeam echolood. In dit geval moet het raaienplan voor de multibeam echolood gebruikt worden. Het singlebeam echolood wordt in deze situatie alleen gebruikt ter controle van het multibeam echolood.



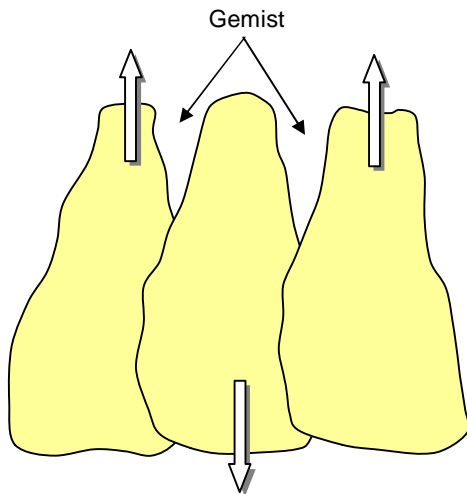
Figuur 5.2, Principe planning survey raai

5.3.1 Raaienplan multibeam

Als gewerkt kan worden met een multibeam systeem, afhankelijk van verstoringen en beschikbaarheid, dan biedt het raaienplan meer flexibiliteit. Deze flexibiliteit wordt veroorzaakt door de padbreedte van het systeem.

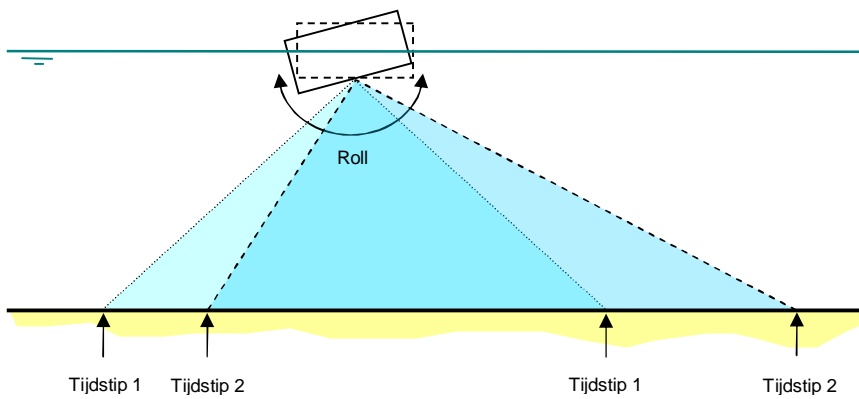
Om een betrouwbaar beeld van de bodem te krijgen wordt gestreefd naar een bepaald overlappercentage. Zo zal bij een waterdiepte van 10 m en een overlapeis van 20% de onderlinge raaiafstand, bij een SeaBat 8101, 66 m bedragen. Omdat de buitenste bundels als onbetrouwbaar worden beoordeeld, tengevolge van de straalbuiging, worden deze meestal verworpen, waardoor de onderlinge raaiafstand kleiner wordt.

De bovenstaande berekende raaiafstand geldt alleen bij een vlakke bodem. Zo zal bij een schuin oplopende bodem delen gemist worden als de raaiafstand berekend is op het diepste punt (zie figuur 5.3).

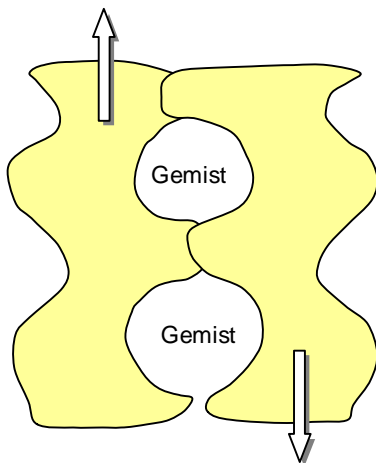


Figuur 5.3, Schuine helling

Als de onderlinge raaiafstand te groot gekozen is bij een rollend schip zullen er ook delen van de bodem worden gemist (zie figuur 5.4 en figuur 5.5).

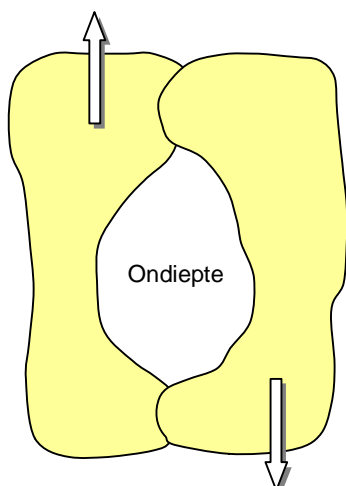


Figuur 5.4 Rollend schip



Figuur 5.5 Rollend schip

Daarnaast zal bij een te grote onderlinge raaiafstand in een survey-gebied waar een ondiepte voorkomt het gestelde overlappercentage niet worden gehaald (zie figuur 5.6).



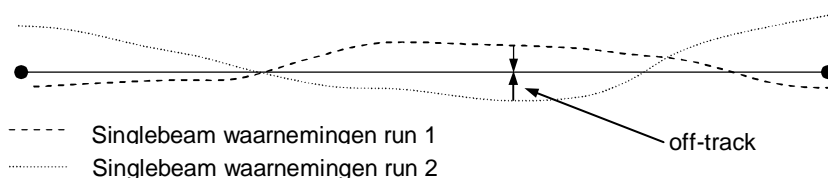
Figuur 5.6, Ondiepte in surveygebied

Bij het varen van de lijnen zal het schip nooit exact de geplande raai volgen, het is daarom zinvol om de raaiafstand dichter op elkaar te definiëren, zodat het overlappercentage zeker wordt gehaald.

In het geval van bresvorming gaat de voorkeur uit naar het varen van steeds dezelfde lijn, zodat de kans het grootst wordt om een verandering waar te nemen. Door de padbreedte van het systeem heeft de schipper meer ruimte om te manoeuvreren rond de lijn en wordt meer informatie verkregen over de ligging van de waterbodem.

5.3.2 Raaienplan Singlebeam

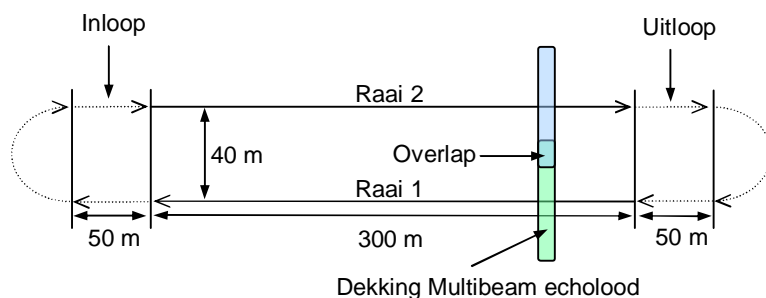
Voor de singlebeam waarnemingen geldt dat deze langs dezelfde geplande raai als voor de multibeam opnames mag worden uitgevoerd (zie figuur 5.2). Tijdens het inwinnen van de data is het wel van groot belang om de geplande raai zo goed mogelijk te varen. Als het schip te veel vanaf de raai zit (off-track, zie figuur 5.7) dan zijn de onderlinge resultaten niet meer correct met elkaar te vergelijken.



Figuur 5.7, Off-track bij singlebeam waarnemingen

Ter illustratie een voorbeeld om te bepalen hoe lang één peilcyclus duurt, uitgaande van het varen van twee raaien bij een gemiddelde peilsnelheid van 7,4 m/s (= 4 knopen), zie figuur 5.8.

Opgemerkt moet worden dat het voorbeeld een puur theoretische benadering is. In de praktijk kan de tijd korter zijn door sneller draaien en een hogere peilsnelheid. Echter kan de tijd ook langer zijn door een bemoeilijkte navigatie. Te denken valt aan ankerdraden, wind, andere scheepvaart etc.



Figuur 5.8, Voorbeeld raaienplan

Actie	Afstand [m]	Benodigde tijd [s] ($V_{\text{peiling}} = 7 \text{ m/s}$)
Inloop	50	7
Raai 1	300	43
Uitloop	50	7
Draaien	125	18
Inloop	50	7
Raai 2	300	43
Uitloop	50	7
Draaien	125	18
Totaal	1050	150

Op deze wijze kunnen 4 raaien in 300 s gevaren worden en daarmee een gebied met een oppervlakte van 300 m x 160 m in gepeild worden met een frequentie van 1x in de 5 minuten. Wellicht is het mogelijk een iets kleiner gebied te peilen met een frequentie van 1x in de 3 minuten.

5.4 Inwinnen metingen

Om de taludvorming tijdens de zandwinning in kaart te brengen zal gemeten moeten worden tijdens het zandwinproces. Tijdens draaiuren bestaat de kans op vertroebeling en verstoring (5.4.1). Daarnaast vergt het peilen rondom de winzuiger de nodige aandacht (5.4.2).

5.4.1 Vertroebeling en verstoring

Door de dichtheidsstromingen komen zanddeeltjes in suspensie. Daarbij dient onderscheid gemaakt te worden tussen de eigenlijke dichtheidsstroom met een dichtheid van 1200 tot 1400 kg/m³, en de vrij ijle suspensiewolk van fijne zand- silt- en lutumdeeltjes daarboven. De suspensiewolk heeft weliswaar een dichtheid die nauwelijks hoger is dan die van water, maar kan toch een ondoordringbare laag vormen voor de akoestische puls, uitgezonden door het multibeam echolood. Dit kan leiden tot onjuiste dieptewaarnemingen of erg veel "spikes" in de data. De mate waarin dit optreedt, is afhankelijk van de specifieke condities op het moment van de peiling. Vooraf is de mate van vertroebeling lastig in te schatten.

Naast de vertroebeling, veroorzaakt door het zandwinningproces, kan ook overig varend materieel in het projectgebied zorgen voor verstoring. Eventuele luchtballen, opgewekt door de draaiing van de schroef kunnen storing veroorzaken in de metingen. Aangeraden wordt om tijdens het uitvoeren van de metingen andere schepen te vragen om gedurende de tijd van de metingen buiten het peilgebied te blijven.

5.4.2 Peilen rond winwerktuig

De metingen worden zeer dicht bij de zuiger uitgevoerd. Dit vergt grote concentratie en vakmanschap van de schipper. Zaken als ankerdraden, boeien, overige schepen etc. bemoeilijken het varen rondom de zuiger. Aanbevolen wordt om overdag te peilen en onder condities met goed zicht en weinig wind. Naast het feit dat wind golven veroorzaakt, bemoeilijkt het ook de navigatie, vooral aan de loefzijde van de zuiger.

Het kan handig zijn om per gevaren lijn een nieuw bestand aan te maken om duidelijk de data te kunnen scheiden voor latere proces doeleinden.

6 Dataverwerking bij peilcampagne

Bij het verwerken van de meetdata moeten eerst de ruwe data beveiligd worden tegen overschrijven (6.1). Vervolgens worden de metingen herleid tot NAP en RD coördinaten (6.2). Tot slot kunnen de data analoog en/of digitaal gepresenteerd worden (6.3). Naast de hydrografische metingen zullen ook de gegevens vanaf de zuiger verwerkt moeten worden (6.4)

6.1 Veiligstellen ruwe peildata

Nadat de survey uitgevoerd is moeten de ruwe meetdata beveiligd worden tegen overschrijving en verwijdering. Van groot belang is om de ruwe meetdata te bewaren. Mocht in een later stadium blijken dat een fout gemaakt is of een merkwaardigheid in de data gevonden wordt, dan kan altijd met behulp van de ruwe data getracht worden de oorzaak van de fout terug te vinden en waar mogelijk verhelpen.

6.2 Processing peildata

Tijdens het verwerken van de meetdata moeten alle waarnemingen herleid worden naar RD coördinaten en NAP hoogtes. Daarnaast worden eventuele foutieve metingen verwijderd. De processed data moeten gescheiden opgeslagen worden van de ruwe data. Eventuele opmerkelijke zaken worden verwerkt in een offline log, zodat tijdens het interpreteren van de data een duidelijk overzicht voorhanden is van specifieke gebeurtenissen.

De voorkeur gaat uit naar het scheiden van de data per gevaren run. Dit omdat het onderzoek gericht is op de taludontwikkeling in de tijd.

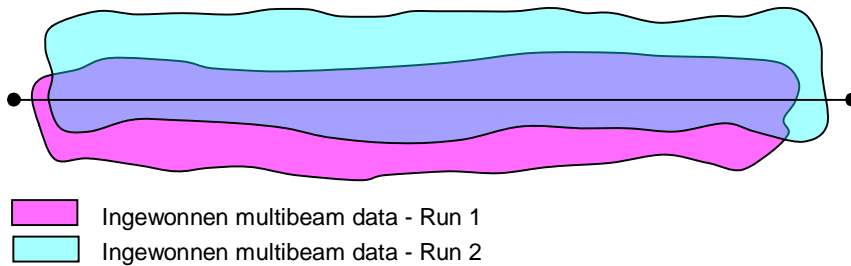
Als voor de multibeam dieptewaarnemingen een digitaal terrein model (DTM) gebruikt wordt, dan mogen de gridcellen niet te groot genomen worden. Bij te grote gridcellen worden eventuele waargenomen veranderingen te veel uitgemiddeld. Een celdimensie van 0,25m x 0,25 m lijkt voldoende.

Een nadeel van een DTM kan het verloren gaan van de tijd van de waarnemingen zijn. Veel softwarepakketten op de markt bieden wel de mogelijkheid om de tijd mee te nemen tijdens de generatie van het DTM. Mocht deze mogelijkheid niet aanwezig zijn, dan kan dit opgelost worden door de start en eindtijd van de desbetreffende run bij de bestandsnaam van het DTM te vermelden. In dit geval wordt verondersteld dat de peilvlet zich met constante snelheid verplaatst tijdens het peilen. Voor een eerste indicatie van de taludontwikkelingen is dit geen probleem. Als tijdens deze fase een waardevolle registratie wordt gevonden, dan kan deze opnamen meer in detail bekeken worden. In dit geval is de exacte tijd van opnamen wel van belang.

6.3 Aanleveren peildata

Voor het onderzoek is vooral de beschikbaarheid over de digitale processed data van belang. De voorkeur gaat uit naar een ASCII bestand met de indeling: Opnametijd, X, Y, Z.

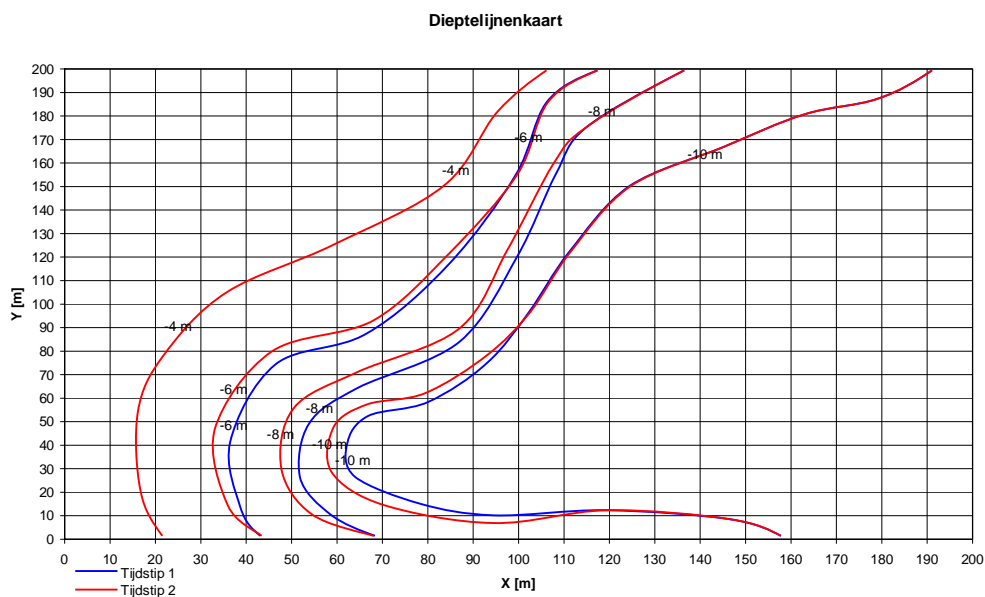
Om het interpreteren van de data te vergemakkelijken wordt voorgesteld om de opgeslagen multibeam echolood data aan te leveren via een zogenaamde exportlijn (zie figuur 6.1). Deze lijn gaat door het interesse gebied en wordt gedekt door de dieptewaarnemingen afkomstig uit de verschillende runs. Daarnaast is ook de totale data set van belang. Om de data enigszins handelbaar te houden zal deze data ook per gevaren run aangeleverd moeten worden.



Figuur 6.1, Definiëren exportlijn

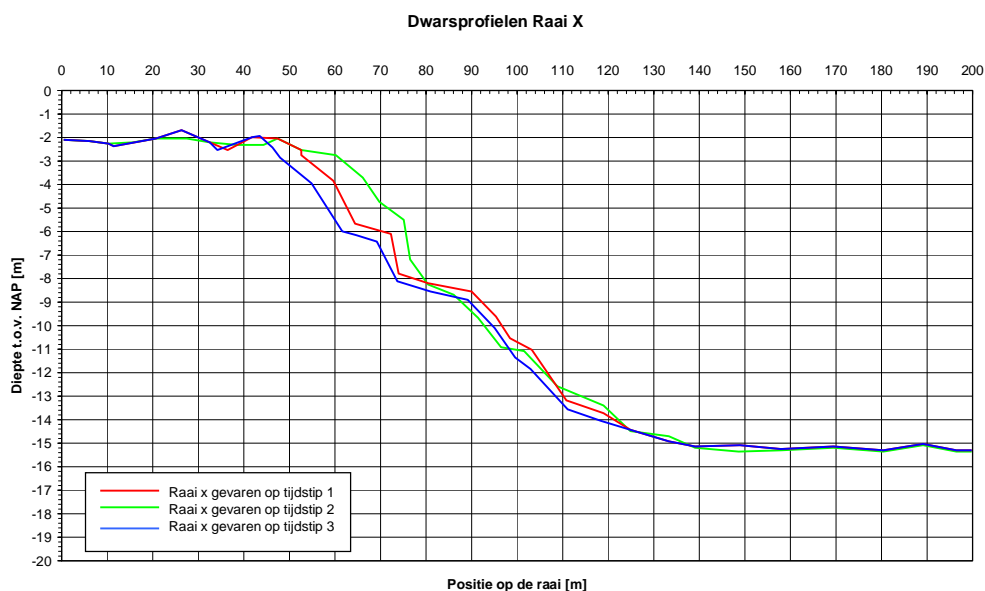
Voor de singlebeam data geldt dat per run de data aangeleverd kan worden, in het eerder genoemde formaat.

Naast het aanleveren van ASCII bestanden, kunnen de data ook grafisch gepresenteerd worden. Te denken valt aan een dieptelijnenkaart, waarin de dieptelijnen per tijdsinterval worden weergegeven. Door de kaarten per tijdsinterval te genereren vallen eventuele veranderingen in de putgeometrie snel op (zie figuur 6.2). Teven kan er een verschilkaart gemaakt worden tussen twee tijdsintervallen.



Figuur 6.2, Voorbeeld dieptelijnen per tijdsinterval

Een andere geschikte presentatiemethode is een dwarsprofiel. Door het gemeten talud te presenteren met een bepaald tijdsinterval wordt inzicht verkregen in de taludverandering in de tijd (zie figuur 6.3).



Figuur 6.3, Voorbeeld dwarsprofielen per tijdsinterval

6.4 Verwerken metingen aan zuiger

In tegenstelling tot de hydrografische metingen, zijn de meetgegevens vanaf de zuiger in de meeste gevallen relatief eenvoudig te verwerken.

Nadat de opgeslagen data (zie hoofdstuk 4) vanaf de baggercomputer gehaald zijn, moeten ze nagekeken worden op eventuele foutieve posities (bijvoorbeeld sprongen in de posities). Als alle bestanden gecontroleerd zijn dienen ze opgeslagen te worden ASCII bestanden. Voor de locatie van het zuigpunt geldt dezelfde opmaak als voor de dieptewaarnemingen (Tijd, X, Y, Z).

De gemeten positie van de zuigmond moet tenslotte geplot worden in de gemeten dwarsprofielen (zie fig. 6.2 en 6.3) op de bijbehorende tijdstippen.

7 Overige metingen

Naast de in de voorgaande hoofdstukken behandelde metingen, kunnen er meerdere metingen uitgevoerd worden, die van belang zijn voor het onderzoek. Zo zal een in- en uitpeiling van het gebied gemaakt kunnen worden (7.1). Voor de interpretatie van de taludvorming is kennis van een aantal grondeigenschappen essentieel. Het gaat daarbij met name op de grondparameters die gebruikt worden bij de computerprogramma's SLIQ2D en WL BRESMODEL. Op basis van deze gegevens dienen voorafgaande aan de metingen predicties van de taludontwikkeling gemaakt te worden om achteraf te kunnen vergelijken met de gemeten taluds. De bepaling hiervan vereist de uitvoering van grondmechanische terreinmetingen en laboratoriumanalyses (7.2). Daarnaast zal het plaatsen van waterspanningsmeters belangrijke informatie kunnen opleveren om bressen en verwekingsvloeiingen beter te kunnen modelleren (7.3).

7.1 Peilingen voor- en na locale winning

Voordat begonnen wordt met baggeren zal eerst een inpeiling uitgevoerd worden om de ligging van het maagdelijke terrein in kaart te brengen. Bij het uitvoeren van de inpeiling gaat de voorkeur uit naar het inzetten van een multibeam echolood.

Nadat het (deel)project gereed is zal een uitpeiling uitgevoerd moeten worden. Evenals bij de inpeiling gaat hier de voorkeur ook uit naar het peilen met een multibeam echolood.

7.2 Grondmechanische metingen

Volgens de huidige kennis wordt de taludvorming wordt in sterke mate bepaald door:

- de laagopbouw (stoorlaagjes in het zand!) en de horizontale heterogeniteit
- relatieve dichtheid van de verschillende zandlagen en zandpakketten
- verwekingsgevoeligheid als functie van de relatieve dichtheid van de losgepakte zandlagen en zandpakketten
- doorlatendheid van de verschillende zandlagen en zandpakketten.

A Terreinwerkzaamheden

Laagopbouw en relatieve dichtheid kunnen grotendeels bepaald worden m.b.v. een aantal **sonderingen** op relatief kleine onderlinge afstand (orde 100 m tot 300 m, afhankelijk van de heterogeniteit).

Verder zijn enige **boringen** nodig met monsternamen uit alle relevante lagen. Classificatie van die monsters in het laboratorium levert welkome aanvullende informatie voor de kennis van de laagopbouw. De korrelverdeling van die monsters is essentieel voor de bepaling van de doorlatendheid van de verschillende zandlagen. De verwekingsgevoeligheid als functie van de relatieve dichtheid kan weliswaar geschat worden, maar een nauwkeurige bepaling vereist de uitvoering van kritieke dichtheidsproeven in het laboratorium. Ook daarvoor zijn monsters uit boringen nodig.

Indien losgepakte zandlagen aanwezig lijken te zijn kan de relatieve dichtheid nauwkeuriger bepaald worden met **elektrische dichtheidsmetingen**. Die bestaan uit elektrische weerstandsmetingen aan de grond (m.b.v. elektroden aan een sondeerstang) en aan het grondwater. Het betreffende zand moet geijkt worden in het laboratorium, waarvoor monsters uit een nabijgelegen boring nodig zijn.

Samenvattend omvatten de veldwerkzaamheden de volgende onderdelen:

- een flink aantal sonderingen;
- enige boringen met monsternamen uit elke mogelijk relevante laag;
- (eventueel) elektrische dichtheidsmetingen.

B Laboratoriumwerkzaamheden

Zoals boven aangeduid dienen classificatieproeven (zie hieronder) uitgevoerd te worden op de monsters uit alle relevante lagen en pakketten.

Overwogen kan worden om tevens de doorlatendheid van de zand- en siltlagen te bepalen t.b.v. de voorspelling van het bresgedrag.

De verwekingsgevoeligheid als functie van de relatieve dichtheid kan weliswaar geschat worden, maar een nauwkeurige bepaling vereist een aantal parameters die afgeleid kunnen worden uit kritieke dichtheidsproeven. (serie triaxiaalproeven onder varabele spanningstoestanden per monster onder verschillende dichtheiden). Eventueel kunnen hiervoor ook bestaande bewaarde monsters worden gebruikt, mits deze uiteraard beschikbaar en representatief zijn voor de gebieden met een hoog risico. Er zullen zowel natte als droge kritieke dichtheidsproeven moeten worden uitgevoerd met variabele spanningen en dichtheden.

Uit de droge kritieke dichtheidsmetingen wordt het dilatante /contractante gedrag van de grond bepaald en tevens de stijfheidsmodulus. De natte kritieke dichtheids metingen fungeren als controle en aanscherping.

Op een aantal monsters worden ook ijkingen voor de elektrische dichtheidsmeting uitgevoerd. Dit zal geschieden op de monsters uit de boringen ter plaatste van de in-situ elektrische dichtheidsproeven worden uitgevoerd.

Samenvattend gaat het om de volgende classificatieproeven:

- bepaling van het organische stofgehalte van de monsters;
- bepaling van de zeefkromme van de monsters;
- bepaling watergehalte, droge-stofgehalte, bulkdichtheid en porositeit cohesieve monsters
- bepaling van minimum en maximum dichtheid;
- bepaling van de hoekigheid;
- bepaling van de soortelijke massa van de korrels;
- beschrijving van de monsters conform NEN 5104 op basis van de korrelverdeling en humusgehalte.

Verder gaat het eventueel om de volgende laboratoriumwerkzaamheden:

- bepaling waterdoorlatendheid monsters;
- uitvoering en verwerking van elektrische dichtheidsijkingen;
- uitvoering van natte en droge kritieke dichtheidsproeven.

Het besluit om bresvorming en taludontwikkeling in een bepaalde zandwinput te monitoren, kan wellicht worden afgestemd op de beschikbaarheid van veldonderzoek dat al is uitgevoerd. Wellicht verdient het aanbeveling lokaal aanvullend onderzoek te verrichten. Als dat vanaf het land uitgevoerd kan worden voordat de zandwinning daar plaats vindt, zullen de kosten beperkt zijn.

Het kan ook zijn dat onverwachte verschijnselen worden waargenomen tijdens het winnen en tijdens de peilcampagne en dat daarvoor extra veldonderzoek gewenst is. Uiteraard zal dat relatief kostbaar zijn, omdat het dan gaat om metingen vanaf het water, en omdat verdere winning op de betreffende locatie uitgesteld zal moeten worden tot na de uitvoering van dat grondonderzoek.

7.3 Waterspanningsmetingen tijdens winning

Om de waterspanningen tijdens winning te meten kunnen waterspanningsmeters geplaatst worden. Bij de Ruiter is de vraag gesteld of de waterspanningsmeters onder een hoek ingebracht kunnen worden tot in het gebied van Interesse. Volgens de aannemer is dit mogelijk. Momenteel wordt nog gewacht op een kostenindicatie en een omschrijving van de installatie en calibratieprocedures.

8 Literatuuropgave

J. Blommendaal
Onderwater akoestiek
Cursusjaar 1997
Hogeschool van Amsterdam
Opleiding hydrografie

J. Blommendaal
Multibeam SONAR
Cursusjaar 1998
Hogeschool van Amsterdam
Opleiding hydrografie

Oeverstabiliteit bij zandwinputten (in voorbereiding)
4e concept
CUR Aanbeveling C130
juli 2005

A. van Dam
Hydrografie deel I
Cursusjaar 1997
Hogeschool van Amsterdam
Opleiding hydrografie

A. van Dam
Hydrografie deel II
Cursusjaar 1997
Hogeschool van Amsterdam
Opleiding hydrografie

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Dynamische dagen met het padlodingssysteem. Fansheep-20-200 Deel II
Vlissingen, 1997

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Testmetingen met multibeam systeem Reson 9001
Vlissingen, 1995

The Hydrographic Society
Workshop "Multibeam SONARS"
Branch, 1994

N. C. Kelland
Acoustic positioning training course lecture notes
Sonardyne, 1992

Kongsberg Simrad AS
Simrad EM 3000 Operational principles
Horten, 1997

NeSa
SeaBat 8101 multibeam echosounder
NeSa, 1998

R. van Ree

Standaard voorschriften hydrografie
Amsterdam, 1997
Hogeschool van Amsterdam
Opleiding hydrografie

Reson
SeaBat 8101 operators manual
Reson Inc, 1996.

Reson
SeaBat 9001 operators manual
Reson Inc, 1992.

Reson
User group seminar
Reson Inc, 1998.

G.L.M. van der Schriek
Baggertechniek
Delft, 2005
TU Delft
Afdeling Waterbouwkunde en Geotechniek
Sectie Waterbouwkunde

STN Atlas Elektronik
Atlas Fansweep 20, Shallow Water Multibeam Sweeping Echosounder System
Survey and Fishing Dept. Marine Division, 1996.

Comment [PAS OP!!!1]:
Verwijder dit sectie-einde niet!!

Bijlage 1 Principe RTK-DGPS

RTK-DGPS berust op het uitvoeren van fasemeting op de draaggolf. Bij fasemeting op de draaggolf wordt de afstand tot de satelliet niet afgeleid uit de meegezonden codes maar rechtstreeks uit de draaggolf. Bij de codemeting wordt de looptijd bepaald door het tijdsverloop tussen een in de ontvanger opgewekt signaal en de ontvangst van het door de satelliet verzonden overeenkomstig signaal. In het geval van fasemeting wordt op een soortgelijke wijze niet het tijdsverloop, maar het faseverloop bepaald. In de satelliet en de ontvanger wordt op een zeker moment een bepaalde fase van de draaggolf opgewekt. Na verloop van looptijd wordt deze fase ontvangen in de ontvanger. Het verschil in fase is nu een maat voor de afstand. Faseverschillen kunnen worden gemeten met een nauwkeurigheid van een honderdste deel van de golflengte. Bij GPS signalen komt dit overeen met een nauwkeurigheid van ongeveer twee millimeter. Omdat de fase fysisch gezien zich altijd op het interval van een periode (0 tot 360 graden) bevindt, treedt er een meerduidigheid (ambiguity) op in de afstand. De werkelijke afstand is bekend op een geheel aantal golflengtes na. Men neemt voor de tweede ontvanger een gispositie aan. Daarmee wordt het gehele aantal golflengten berekend. Met RTK-DGPS kan een nauwkeurigheid van enkele centimeters worden verkregen. De afstand tussen mobile en referentieontvanger mag maximaal ongeveer tien kilometer bedragen.

De hoge positienuwkeurigheid is nodig bij het werken met een multibeam echolood (padloder). Bij een DGPS systeem is de onnauwkeurigheid te groot om onderlinge metingen met elkaar te kunnen vergelijken.

Daarnaast is de hoogte bepaling met een DGPS systeem erg onnauwkeurig en niet toepasbaar voor hydrografische metingen.

De hoogte bepaling is nodig om te corrigeren voor inzinking tijdens de vaart (squat). Deze is afhankelijk van verschillende factoren:

- Scheepsvorm en -afmetingen;
- Snelheid;
- Waterdiepte;
- Breedte van de vaarweg;
- Wind en golven;
- Viscositeit van het water.

Het exact bepalen van de squat is zeer complex. De squat en eventuele getij, is te meten met een RTK-DGPS. In tegenstelling tot een GPS of DGPS is de nauwkeurigheid van de berekende hoogte wel toereikend om toe te passen tijdens de metingen, nauwkeurigheid < 0,05 m. Een inzinking van 0,15 m is een reële waarde.

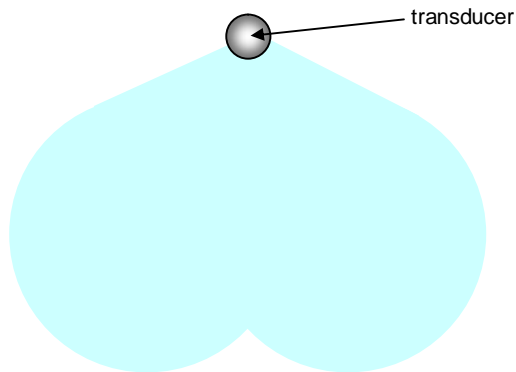
Bijlage 2 Werking multibeam echolood

Een multibeam echolood is een complex apparaat. Om meer inzicht te krijgen in de werking van een multibeam echolood en de beperkingen wordt in de komende paragrafen dieper ingegaan op de technieken achter het systeem. Eerst wordt de stralengang van het geluid besproken (2.1). Vervolgens komt de padbreedte aan de orde (2.2). Daarna worden de bodemdetectie technieken beschreven (2.3) en passeert de update rate de revue (2.4).

2.1 Stralengang

In tegenstelling tot een singlebeam echolood, waarbij de richting van de stralengang recht naar beneden is, mits het schip geen roll en/of pitch heeft en het echolood recht geplaatst is, is de stralengang bij een multibeam echolood niet alleen recht naar beneden maar ook verspreid naar buiten. Dit betekent dat terdege rekening moet worden gehouden met de breking van de geluidsstralen. Met andere woorden: de baan die het geluid aflegt is niet langs een rechte lijn, mits de geluidssnelheid niet constant is en de transmissie hoek groter dan 0° .

De lob die wordt uitgezonden door de projector op de SONAR-kop is 'fan-shaped' (zie figuur 2.1). Dit heeft als groot voordeel dat de intensiteit van de puls meer naar de buitenkant is verdeeld, waardoor de kans op dubbele echo's in het midden sterk wordt gereduceerd.



Figuur 2.1, "fan-shaped" bundelpatroon

Om de baan van de geluidsgolven te berekenen, voor iedere bundel (SeaBat: 101 bundels) apart, wordt gebruik gemaakt van een geometrische geluidstheorie, ofwel ray-tracing. Deze benadering mag alleen gebruikt worden wanneer de geluidssnelheid in water (bijna) constant is binnen een afstand van tien keer de golflengte.

Door de wet van Snellius toe te passen op opeenvolgende zeer dunne laagjes water ontstaat, het volgende verband:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_2}, \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_3} = \frac{c_2}{c_3}, \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_4} = \frac{c_3}{c_4}; \text{ enz.} \quad (2.1)$$

Waarin:

- c_x = Snelheid van geluid in waterlaagje x [m/s];
- θ = hoek met de normaal [$^\circ$].

De straalconstante kan nu worden berekend uit formule 2.1:

$$a = \frac{\sin \Theta_1}{c_1} = \frac{\sin \Theta_2}{c_2} = \frac{\sin \Theta_3}{c_3} \quad (2.2)$$

Waarin:

a = Straalconstante [$^{\circ}$ ·m/s $^{-1}$].

Uit figuur 2.2 blijkt dat geldt:

$$R = \frac{ds}{d\Theta} \quad \text{en} \quad ds = \frac{dz}{\cos \Theta} \quad (2.3)$$

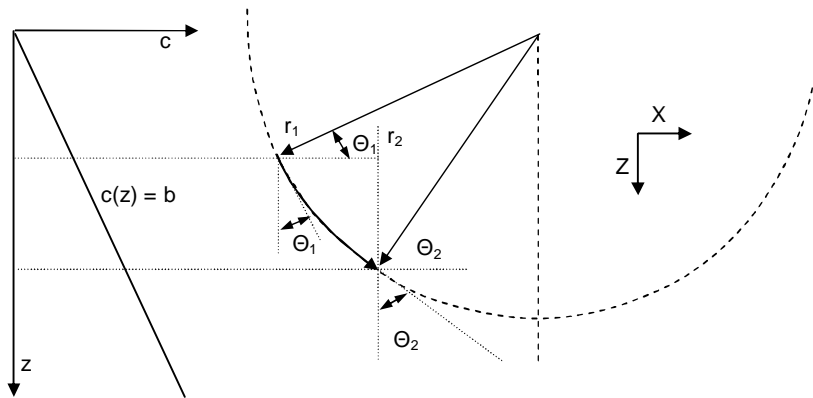
Waarin:

R = Kromtestraal [m].

Hieruit volgt:

$$R = \frac{1}{\cos \Theta} \times \frac{dz}{d\Theta} \quad (2.4)$$

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{\sin \Theta}{c} \\ \cos \Theta \cdot d\Theta &= a \cdot d \cdot c \end{aligned} \right\} \Rightarrow \cos \Theta = a \times \frac{dc}{d\Theta} \quad (2.5)$$



Figuur 2.2, Stralengang

Vervolgens wordt formule 2.5 ingevuld in formule 2.4, dit levert de volgende relatie op voor de kromtestraal:

$$R = \frac{1}{a \times \frac{dc}{d\Theta}} \times \frac{dz}{d\Theta} = \frac{1}{a \times \frac{dc}{dz}} \quad (2.6)$$

De snelheidsgradiënt wordt gegeven door:

$$b = \frac{dc}{dz} \quad (2.7)$$

Bij de voorwaarde voor de formule van de kromtestraal is gesteld dat deze alleen geldt als de geluidssnelheid binnen een afstand van tien keer de golflengte niet verandert, daarom mag de snelheidsgradiënt worden gelineariseerd, oftewel als constant worden beschouwd. Hierdoor wordt de formule voor de kromtestraal:

$$R = \frac{1}{a \times b} \quad (2.8)$$

Uit figuur 2.2 blijkt tevens dat er voor de horizontale (ΔX) en de verticale afstand (ΔZ) het volgende geldt:

$$\begin{aligned} \Delta X &= R \cdot (\cos \Theta_1 - \cos \Theta_2) \\ \Delta Z &= R \cdot (\sin \Theta_1 - \sin \Theta_2) \end{aligned} \quad (2.9)$$

De voorgaande formules tonen aan dat de stralengang niet langs een rechte lijn is, maar cirkelvormig is. Dit heeft tot gevolg dat een foutieve diepte wordt afgelezen zoals uit figuur 2.3 blijkt. Uit deze figuur is af te leiden dat voor de ware diepte (d_w) het volgende verband geldt:

$$\Theta_2 = \Theta_1 - \frac{p}{R} \Rightarrow d_w = R \cdot (\sin \Theta_1 - \sin \cdot (\Theta_1 - \frac{p}{R})) \quad (2.10)$$

De gemeten diepte (d_m) volgt uit:

$$d_m = p \cdot \cos \Theta_1 \quad (2.11)$$

De fout in de diepte (Δd) kan nu worden berekend:

$$\Delta d = R \cdot (\sin \Theta_1 - \sin \cdot (\Theta_1 - \frac{p}{R})) - p \cdot \cos \Theta_1 \quad (2.12)$$

Voor de looptijd van de puls over een klein stukje (dt) geldt:

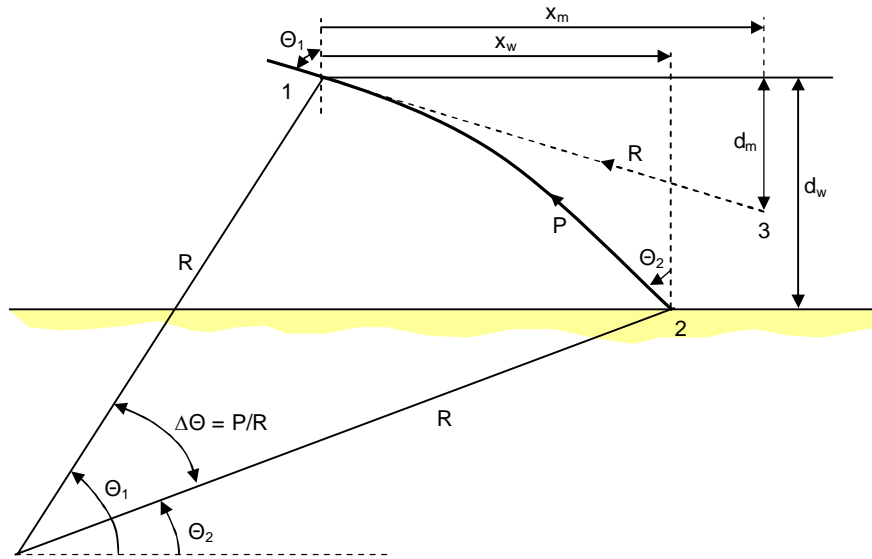
$$\left. \begin{aligned} dt &= \frac{ds}{c(z)} \\ ds &= \frac{dz}{\cos \Theta} \\ \cos \Theta &= \sqrt{1 - \sin^2 \Theta} = \sqrt{1 - a^2 \cdot c^2} \\ c(z) &= c(0) + b \cdot z \Rightarrow dc = b \cdot dz \end{aligned} \right\} \Rightarrow dt = \frac{dc}{b \cdot c \cdot \sqrt{1 - a^2 \cdot c^2}} \quad (2.13)$$

Na integreren volgt de looptijd uit:

$$t_{loop} = \frac{1}{b} \times \ln \left(\frac{1 + \cos \Theta_1}{1 + \cos \Theta_2} \right) \times \frac{c_2}{c_1} \quad (2.14)$$

Deze formule kan door substitutie worden vereenvoudigd tot:

$$t_{loop} = \frac{1}{b} \times \ln \left(\frac{\tan \frac{\Theta_2}{2} \times \frac{c_2}{c_1}}{\tan \frac{\Theta_1}{2}} \right) \quad (2.15)$$



Figuur 2.3, Aflezing foutieve diepte

De bovenstaande formules maken duidelijk dat de geluidssnelheid een belangrijke factor speelt binnen de looptijd berekening. Deze geluidssnelheid moet dan ook nauwkeurig worden gemeten en worden ingevoerd in de "Online" Software om zo optredende verschijnselen in de looptijd, als wel in straalbuiging te kunnen corrigeren. Voor een nauwkeurige meting kan men niet alleen volstaan met het invoeren van een gemiddelde geluidssnelheid, de geluidssnelheid aan het wateroppervlak en de bodem. Dit omdat het water opgebouwd kan zijn uit verschillende thermische en/of zoutlagen. Deze gelaagdheid heeft invloed op de geluidssnelheid en daarmee op de looptijd en stralengang. Het gehele profiel van de waterkolom moet ingevoerd worden om tot een nauwkeurige berekening te komen van de stralengang en looptijd.

2.2 Padbreedte en footprint

Onder de padbreedte van een multibeam wordt de breedte van het stuk zeebodem bedoeld dat in één puls wordt 'belicht' door de bundel van de multibeam. Zoals reeds eerder vermeld, bedraagt de dwarsscheepse openingshoek van de SeaBat 8101 150°. Het verband tussen de padbreedte en de diepte kan dan als volgt worden berekend (zie figuur 2.4):

$$\tan 75 = \frac{X}{D} \Rightarrow X = D \cdot \tan 75, \text{ voor de padbreedte geldt nu } P = 2 \cdot D \cdot \tan 75$$

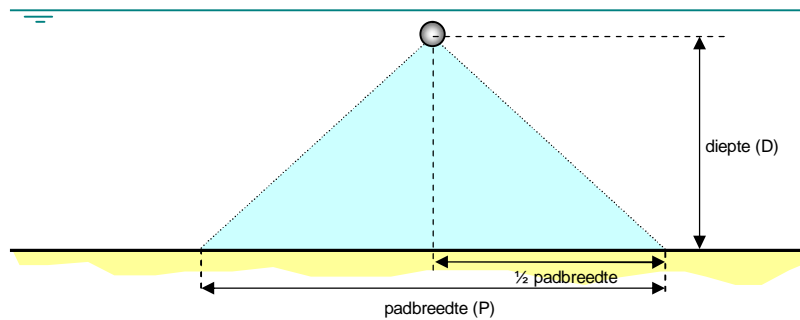
Waarin:

P = Padbreedte [m];

D = Afstand (diepte) transducer-reflectiepunt [m].

De verhouding tussen de diepte en de padbreedte wordt nu gegeven, mits de centerbundel loodrecht op een vlakke bodem staat, door:

$$P = 7,4 \cdot D \quad (3.16)$$



Figuur 2.4, Padbreedte

Met een "footprint" wordt het oppervlak van een stukje bodem bedoeld, dat door één bundel wordt "belicht". De SeaBat 8101 heeft een 150° sector verdeeld in 101 bundels met een verticale en horizontale bundelhoek van $1,5^\circ$. Dit levert voor de bundels in het centrum een footprint van $0,21 \times 0,21$ m op, bij een waterdiepte van 8 m. Voor de buitenste bundel wordt de footprint circa $2,84 \text{ m}^2$. Het gemiddelde oppervlak van de footprint bedraagt $0,6 \text{ m}^2$.

2.3 Bodemdetectie

Het teruggekaatste signaal wordt ontvangen door een groot aantal kristallen in de SONAR-kop. Dit signaal verandert met de tijd. Wat overeen komt met de variërende druk van de terug verstrooide geluidsgolf over de breedte van de bundel, ten gunste van verschil in diepte, helling en soort zeebodem. Uit het verkregen patroon kan de bodem worden gedetecteerd, nadat eerst het signaal in de SONAR-kop is omgezet van een analoog signaal naar een digitaal signaal. Het digitale signaal wordt naar de Top unit gestuurd waar nu de bodem uit het signaal wordt gezocht, nadat eerst de zijlobben zijn geëlimineerd. Om de bodem te detecteren worden bij de SeaBat 8101 twee methodes gebruikt:

- 1 Amplitude detectie
- 2 Fase detectie

Ad1 Amplitude detectie

Het amplitudecriterium wordt ook wel het bepalen van het massamiddelpunt (zie figuur 2.5) of gewogen tijdgemiddelde methode genoemd. Bij deze methode wordt voor een bepaalde richting de looptijd geschat. Vervolgens wordt het signaal van deze bundel bemonsterd om zo de amplitude (A_i) en de looptijd (t_i) te bepalen. Het aantal bemonsteringen wordt aangeduid met de letter N. Hoe groter de footprint hoe meer bemonsteringen worden genomen. De gemiddelde looptijd (t_{gem}), welke nodig is om de diepte te bepalen, wordt berekend door:

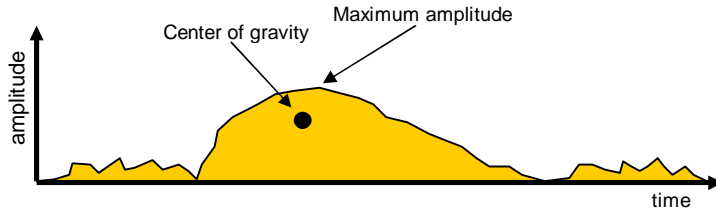
$$t_{\text{gem}} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (2.17)$$

Waarin:

A_i = Amplitude [m];

T_i = Looptijd [s];

t_{gem} = Gemiddelde looptijd [s].



Figuur 2.5, Massamiddelpunt bij amplitude detectie

Ad2 Fase detectie

Bij de SeaBat 8101 wordt voor de fase detectie gebruik gemaakt van een split-aperture-correlator. Deze bestaat uit twee evenwijdige rijen transducers opgebouwd uit een aantal smalle bundels. Te vergelijken met een lijntransducer opgesplitst in tweeën. Het ontvangen signaal, in elk van de twee transducers, met lengte $L/2$, ten opzichte van zijn eigen middelpunt wordt gegeven door:

$$\frac{\sin\left(\frac{k \cdot L \cdot \sin \alpha}{4}\right)}{\frac{k \cdot L \cdot \sin \alpha}{4}} \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (3.18)$$

Wanneer nu het midden van de oorspronkelijke transducer, met lengte L , als oorsprong wordt genomen, verschuiven de ontvangen signalen in fase. De faseverschuiving zal voor de ene transducer $\frac{(k \cdot L \cdot \sin \alpha)}{4}$

naar voren zijn en voor de andere naar achteren. Zodat de ontvangen signalen kunnen worden beschreven door:

$$e_R = \frac{\sin\left(\frac{k \cdot L \cdot \sin \alpha}{4}\right)}{\frac{k \cdot L \cdot \sin \alpha}{4}} \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{k \cdot L \cdot \sin \alpha}{4}\right) = D(\alpha) \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{\Phi}{2}\right) \quad (3.19)$$

$$e_L = \frac{\sin\left(\frac{k \cdot L \cdot \sin \alpha}{4}\right)}{\frac{k \cdot L \cdot \sin \alpha}{4}} \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{k \cdot L \cdot \sin \alpha}{4}\right) = D(\alpha) \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{\Phi}{2}\right) \quad (3.20)$$

Waarin:

e_R = Signaal uit de rechter transducer;

e_L = Signaal uit de linker transducer;

$D(\alpha)$ = Bundelhoek;

$\phi = \frac{(k \cdot L \cdot \sin \alpha)}{2}$;

k = Golfgetal

Door de uitgang van de linker transducer 90° in fase te verschuiven, dit komt overeen met het vormen van de complex geconjugeerde van e_L , en te vermenigvuldigen met e_R krijgt men de volgende uitdrukking:

$$\begin{aligned} e_R \cdot e_L &= D^2(\alpha) \cdot \cos\left(\omega \cdot t - \frac{\Phi + \pi}{2}\right) \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \frac{\Phi}{2}\right) = D^2(\alpha) \cdot (\sin \Phi + 2 \cdot \omega \cdot t) \\ &= D^2(\alpha) \cdot (\cos \Phi + \cos(2 \cdot \omega \cdot t)) \end{aligned} \quad (3.21)$$

Dit signaal passeert vervolgens een laag frequentiefilter, waardoor de term $\cos(2 \cdot \omega \cdot t)$ wegvalt. Door nu de overgebleven $\sin \Phi$ en $\cos \Phi$ termen door een deler te voeren wordt het uitgang signaal:

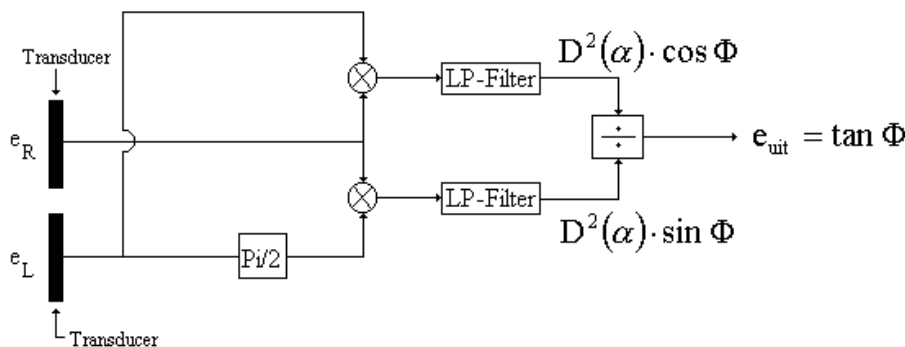
$$e_{uit} = \tan \Phi = \tan\left(\frac{k \cdot L \cdot \sin \alpha}{2}\right) = \tan\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \lambda}\right) \quad (3.22)$$

In de buurt van het maximum (de bodem) van de bundel is α klein, zodat formule 2.22 is te vereenvoudigen tot:

$$e_{uit} = \tan \Phi = \frac{\pi \cdot L}{\lambda} \cdot \alpha \quad (3.23)$$

Om het maximum van de bundel zo scherp mogelijk te bepalen wordt er gemeten op het nulpunt van e_{uit} .

In figuur 2.6 is de bovenstaande afleiding schematisch weergegeven.

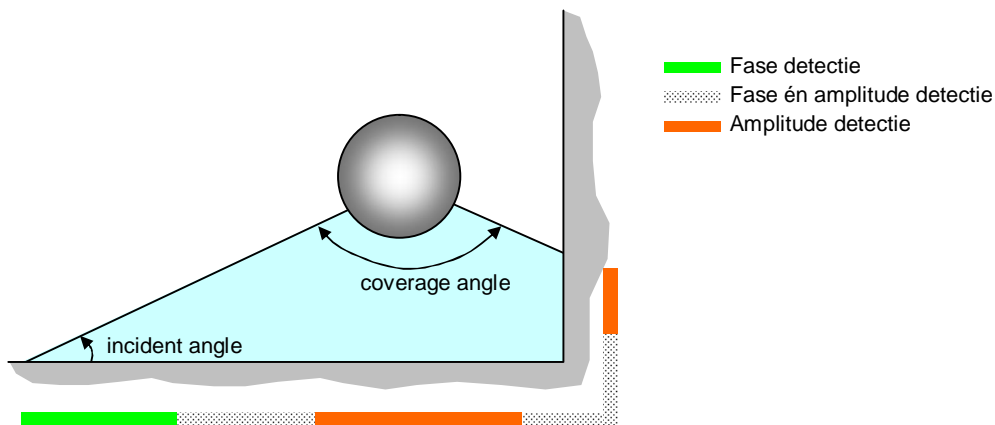


Figuur 2.6, Schematische voorstelling fase detectie

Over het algemeen is het faseverschil nauwkeuriger te meten dan de amplitude. De fase detectie werkt het beste op bundels die niet loodrecht naar beneden worden uitgezonden, omdat het signaal daar van 0

naar 2π erg snel verloopt, waardoor het moeilijk wordt om de nuldoorgang te vinden. Voor de binnenste bundels wordt meestal de richtingen bepaald met behulp van amplitude detectie.

De SeaBat 8101 biedt de mogelijkheid om op elke bundel een van beide, of beide bodemdetectie methodes toe te passen. Dit heeft het grote voordeel dat wanneer er (bijvoorbeeld) een kademuur wordt gepasseerd (zie figuur 2.7) er op de buitenste bundels ook de amplitude methode kan worden toegepast, omdat deze in dit geval veel beter bruikbaar is dan de fase detectie (bijna loodrechte hoek van inval).



Figuur 2.7, Voorbeeld gebruik detectie methodes

Op het scherm van de topunit worden de bodempunten die zijn bepaald met de amplitude detectie oranje weergegeven. De punten die door middel van de fase methode zijn bepaald worden groen afgebeeld. Wanneer gebruik gemaakt is van beide methoden op één punt, dan wordt deze met wit aangegeven.

2.4 Update rate

Met de "update rate" van het systeem wordt het aantal uitgezonden "pings" per seconde bedoeld. Deze wordt bepaald door de tijd die nodig is tussen het uitzenden van twee opeenvolgende pulsen, welke afhangt van de geluidssnelheid in water en de heersende waterdiepte. Wanneer in erg ondiep water gewerkt wordt, dan speelt ook de tijd mee die nodig is om de elektronica te laten overschakelen tussen zenden en ontvangen.

De update rate van de SeaBat 8101 is in ondiep water 30 keer per seconde. Tabel 2.1 toont de verandering van de update rate bij een veranderende waterdiepte ($c = 1500$ m/s).

Tabel 2.1, Verandering van de update rate

Waterdiepte [m]	Tijd	Update rate
35	0.0467	21.429
50	0.0667	15.000
75	0.1000	10.000
100	0.1333	7.500
125	0.1667	6.000
150	0.2000	5.000
175	0.2333	4.286
200	0.2667	3.750
250	0.3333	3.000
300	0.4000	2.500

350	0.4667	2.143
400	0.5333	1.875

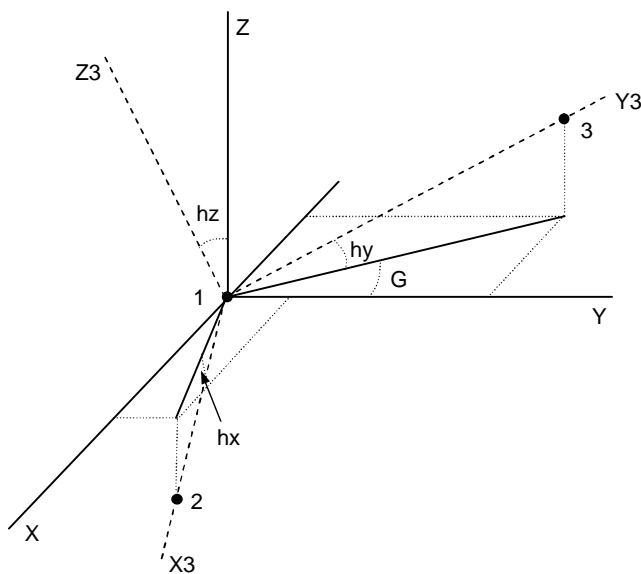
Bijlage 3 Gebruik van een standopnemer

Om de coördinaten van, bijvoorbeeld de transducer, te kunnen berekenen in het scheefstaande stelsel, worden de onderstaande twee stappen opeenvolgend uit gevoerd:

- 1 Bepalen van de rotatiehoeken
- 2 Berekenen sensorcoördinaten

Ad1 Bepalen van de rotatiehoeken

De rotatiehoeken α (rotatie om de positieve x-as) en β (rotatie om de positieve y-as) zijn niet te meten. Om de stand van het schip in de ruimte te kunnen bepalen zal gebruik gemaakt moeten worden van een standopnemer. De werking van een standopnemer berust op het principe van een gyroscoop. Een gangbaar type is de Octans. Dit meetinstrument meet de pitch, roll en yaw. Daarnaast wordt de heave bepaald. Dit is de translatie langs de Z as. Het zogenaamde dompen van het schip. Het verband tussen de meetbare- en de rotatiehoeken wordt weergegeven in figuur 3.1. De surge en sway worden bepaald doormiddel van het positioneringssysteem.



Figuur 3.1, Verband tussen de rotatiehoeken en roll en pitch

Het verband tussen de roll, de pitch en de rotatiehoeken is te berekenen met formule 3.1 en formule 3.2. Dit relatie geldt alleen bij de rotatievolgorde die in dit rapport gekozen is; eerst een rotatie om de positieve Z-as, vervolgens een rotatie om de positieve Y-as en tot slot een rotatie om de positieve X-as. Wanneer een andere volgorde wordt gekozen verandert het verband. De rotaties zullen wel hetzelfde antwoord opleveren.

$$h_x = -\beta \quad (3.1)$$

$$h_y = \sin \alpha \cdot \cos \beta \quad (3.2)$$

Waarin:

h_x = Roll [°];
 h_y = Pitch [°].

Bij het invullen van de formules geldt de tekenregel uit tabel 3.1

Tabel 3.1, Tekening rotatiehoeken

Pitch en Roll	Rotatiehoeken (α en β)
Pitch omhoog (=Bow up) Roll omlaag (=SB-Down)	$\alpha = +$ $\beta = +$
Pitch omlaag Roll omlaag	$\alpha = -$ $\beta = +$
Pitch omlaag Roll omhoog	$\alpha = -$ $\beta = -$
Pitch omhoog Roll omhoog	$\alpha = +$ $\beta = -$

Ad2 Berekenen sensorcoördinaten

Nadat uit de gemeten roll, pitch en koers de rotatiehoeken bepaald zijn, kunnen de coördinaten van de verschillende sensoren worden berekend met behulp van de onderstaande drie rotatiematrices.

$$\begin{pmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (3.23)$$

$$\begin{pmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X1 \\ Y1 \\ Z1 \end{pmatrix} \quad (3.24)$$

$$\begin{pmatrix} X3 \\ Y3 \\ Z3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X2 \\ Y2 \\ Z2 \end{pmatrix} \quad (3.35)$$

Waarin:

X = X-coördinaat van de sensor (SeaBat) zonder rotatie [m];
 Y = Y-coördinaat van de sensor (SeaBat) zonder rotatie [m];
 Z = Z-coördinaat van de sensor (SeaBat) zonder rotatie [m];
 α = rotatiehoek om de positieve Y-as [°];
 β = rotatiehoek om de positieve Y-as [°];
 γ = rotatiehoek om de positieve Z-as [°].

Bij een multibeam echolood krijgt iedere dieptewaarde zijn eigen X, Y en Z waarde, zodat de juiste diepte en coördinaat van elke dieptewaarneming kan worden berekend conform de bovenstaande methodiek.

Bijlage 4 Calibraties

Voordat begonnen wordt met het peilen dienen eerst een aantal calibraties uitgevoerd te worden:

- 4.1 Controle RTK-DGPS positie
- 4.2 Geluidssnelheid in water
- 4.3 Singlebeam calibratie
- 4.4 Multibeam calibratie
- 4.5 Gyro-calibratie

4.1 Controle RTK-DGPS positie

Een goede manier om de RTK-DGPS positie te controleren is het plaatsen van de RTK-DGPS antenne (van de ontvanger) op een vast punt. Dit punt dient in XYZ coördinaten bekend te zijn. De meest nauwkeurige methode is om de RD-coördinaten van dit punt met een total-station in het XY vlak te bepalen. De hoogte (Z) kan het beste doormiddel van een waterpassing vastgesteld worden.

Als de antenne boven het vastepunt geplaatst is, dient de hoogte van de antenne boven dit punt gemeten te worden. Hierbij is van belang dat gemeten wordt vanaf het vastepunt tot het fasecentrum van de GPS-antenne. De GPS-ontvanger berekent namelijk de positie van het fasecentrum. De ligging van het fasecentrum is terug te vinden in de handleiding van de GPS ontvanger.

Als de GPS-antenne precies boven het vastepunt staat worden de posities gedurende een vastgestelde tijd opgeslagen met behulp van de online computer (bijvoorbeeld 5 minuten). Na deze periode worden de waarnemingen vergeleken met de bekende coördinaten van het vastepunt. Als de afwijkingen binnen de systeemnauwkeurigheid liggen, dan mag het lokale RTK-DGPS netwerk als correct werkend aangenomen worden.

Met betrekking tot de hoogtebepaling met RTK-DGPS vormt de "de Min Geoïde correctie" een belangrijk punt. Vooraf moet door de survey-afdeling vastgesteld worden hoe hier mee om te gaan.

4.2 Geluidssnelheid in water

In de hydrografie wordt veel gebruik gemaakt van akoestische signalen in water. Omdat de (meeste) metingen op looptijd berusten, is het belangrijk om de lokale geluidssnelheid in water zo nauwkeurig mogelijk te weten. Voordat met een akoestisch systeem wordt gewerkt zijn er twee belangrijke aandachtspunten; Het bepalen van de geluidssnelheid in water (A) en de invloed van temperatuur, druk en saliniteit op de geluidssnelheid (B).

A Bepalen van de geluidssnelheid in water

Er zijn twee gangbare methoden om de geluidssnelheid in water te bepalen:

- 1 TS-Dip
- 2 Sing-around velocity meter

Ad1 TS-Dip

De geluidssnelheid in water is afhankelijk van temperatuur, druk en saliniteit. Het bepalen van de geluidssnelheid is mogelijk door meting van temperatuur, druk en saliniteit. Dit wordt een TS-Dip genoemd. Meestal gebeurt dit met een CTD-meter (conductivity, temperature, depth). Bij een TS-Dip zakt de CTD-meter aan een kabel door het water, totdat de meter de bodem bereikt. Tijdens het zakken wordt de temperatuur, zoutgehalte en diepte over de gehele waterkolom gemeten. De precisie van de

geleidbaarheidsmeting is $\pm 0,03 \text{ }^{\circ}/\text{m}$, hetgeen neerkomt op ongeveer 1 % van een saliniteitswaarde van $35 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$. Een meting van de zeewatertemperatuur heeft een precisie van $0,1^{\circ}\text{C}$ en van de druk $\pm 1\%$ van de afgelezen waarde. De nauwkeurigheid van de geschatte geluidssnelheid is daarom diepte afhankelijk. Aan het oppervlak en voor diepten tot een paar honderd meter is de schatting goed tot $\pm 0,6 \text{ }^{\text{m}}/\text{s}$ (± 400 ppm) om daarna geleidelijk op te lopen tot $\pm 0,8 \text{ }^{\text{m}}/\text{s}$ (± 530 ppm) bij een diepte van 4000 m, de gemiddelde diepte van de oceanen.

De gevonden temperatuur, diepte en saliniteit worden vervolgens in een empirische formule ingevuld, om zo de geluidssnelheid te kunnen berekenen. Een van de vele formules is die van Wilson (formule 4.1), een andere is die van Clay & Medwin (formule 4.2).

$$c = 1449,2 + 4,623 \cdot T - 0,0546 \cdot T^2 + 1,391 \cdot (S - 35) \quad (4.1)$$

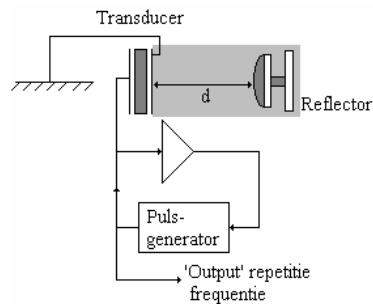
$$c = 1449,2 + 4,6 \cdot T - 0,055 \cdot T^2 + 0,00029 \cdot T^3 + (1,34 - 0,010 \cdot T) \cdot (S - 35) + 0,016 \cdot z \quad (4.2)$$

Waarin:

- c = Geluidssnelheid in water [m/s];
- T = Watertemperatuur [$^{\circ}\text{C}$];
- S = Saliniteit [$^{\circ}/\text{oo}$];
- z = Diepte [m].

Ad2 Sing-around velocity meter

Voor directe metingen van de geluidssnelheid kan een *sing-around velocity* meter gebruikt worden (zie figuur 4.1). Hierbij wordt door een transducer een hoogfrequente puls uitgezonden, 10 keer de snelheid van geluid. De puls wordt vervolgens na het afleggen van een afstandje (d) gereflecteerd en vervolgens weer opgevangen door de transducer.



■ = (zee)water

Figuur 4.1, *Sing-around velocity meter*

De looptijd is dan:

$$t = \frac{2 \cdot d}{c} \quad (4.3)$$

De puls 'triggert' vervolgens een nieuwe puls. Hieruit volgt dat de looptijd van de puls overeenkomt met periode van de uitgezonden pulsen. Waardoor de frequentie van de pulsen wordt:

$$f = \frac{1}{t} = \frac{c}{2 \cdot d} \quad (4.4)$$

Deze frequentie kan zeer nauwkeurig gemeten worden. Door deze te meten kan uit het bekende afstandje (d) en de gemeten frequentie (f), de geluidssnelheid (c) berekend worden met formule 4.5:

$$c = 2 \cdot d \cdot f \quad (4.5)$$

B Invloed van temperatuur, druk en saliniteit op de geluidssnelheid

Wanneer de watertemperatuur wordt gemeten, zal blijken dat de temperatuur niet overal gelijk is. Dit geldt ook voor de saliniteit en de druk. Bij toenemende diepte zal de temperatuur over het algemeen afnemen en de druk stijgen (1 bar per 10 m). Om de invloed van een temperatuursverandering op de geluidssnelheid te illustreren wordt hier de formule van Clay & Medwin naar de temperatuur gedifferentieerd (formule 4.6).

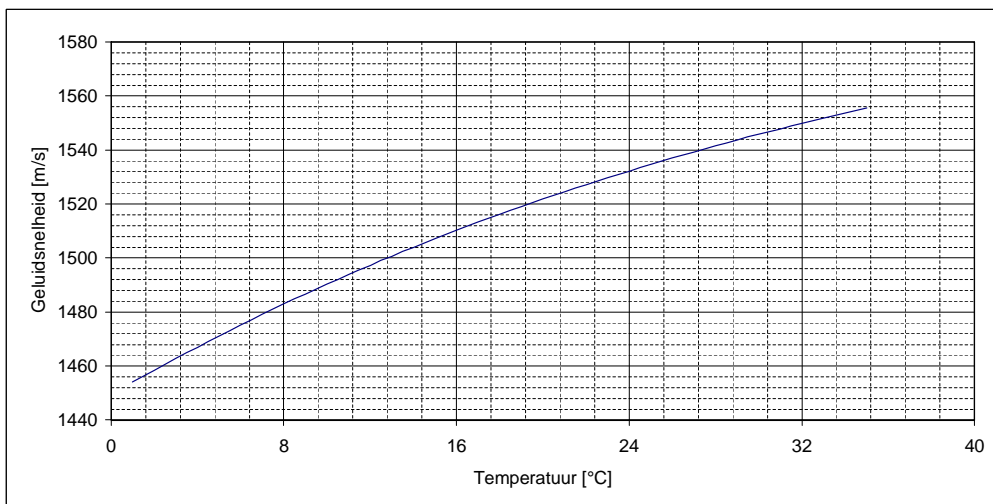
$$\frac{\partial c}{\partial T} = 4,95 - 0,11 \cdot T + 0,00087 \cdot T^2 \quad (4.6)$$

Hetzelfde kan worden gedaan voor respectievelijk de saliniteit (formule 4.7) en de diepte (formule 4.8).

$$\frac{\partial c}{\partial S} = 1,34 \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial c}{\partial z} = 0,016 \quad (4.8)$$

Uit de bovenstaande afgeleiden blijkt dat een verandering in de temperatuur, de grootste verandering in de geluidssnelheid geeft. Om de invloed van de verandering van temperatuur op de geluidssnelheid te visualiseren staat in figuur 4.2 de geluidssnelheid c uitgezet tegen de temperatuur, waarbij de saliniteit (35 ‰) en de diepte (20 m) constant zijn gehouden.



Figuur 4.2, Het verloop van de geluidssnelheid (S = 35 ‰ en z = 20 m)

4.3 Singlebeam calibratie

Er zijn twee soorten systematische fouten bij een singlebeam dieptemeting:

- Een nulpunts- of indexfout (optelconstante), wordt vooral bepaald door een foutieve transducerdiepte;
- Een lineaire schaalfout (vermenigvuldigingsfactor) vooral door een fout in de geluidssnelheid.

Met een calibratie zijn de fouten op te sporen. Om de diepte te kunnen herleiden tot het wateroppervlak dient de afstand transducer-wateroppervlak bekend te zijn. Er zijn verscheidende methoden om die afstand te bepalen.

- 1 Barcheck.
- 2 Draught check

Het bepalen van de geluidssnelheid is reeds in §4.2 besproken.

Ad1 Barcheck

Bij de barcheck wordt de volgende procedure gevolgd:

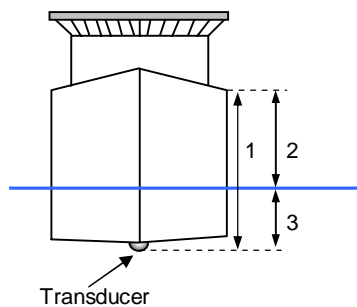
- Hang de ijkplaat zo dicht mogelijk op bekende diepte onder de transducer;
- Regel vervolgens de instelling voor de diepte van de transducer, op het echolood, zo in dat de geregistreerde diepte gelijk wordt aan de juiste diepte van de ijkplaat onder het water oppervlak;
- Hang vervolgens de ijkplaat op de lodingdiepte;
- Verander de instelling van de geluidssnelheid op het echolood, totdat de geregistreerde diepte gelijk wordt aan de ware diepte van de ijkplaat;
- Herhaal deze procedure en hang de ijkplaat daarna op verschillende tussenliggende diepten ter controle.

Een voordeel van de barcheck is dat buiten het bepalen van de transducerdiepte ook gelijk de geluidssnelheid bepaald wordt.

Nadelen van de barcheck zijn dat het vaak moeilijk is om de plaat recht te houden als er veel deining en stroming staat. Daarnaast is de procedure vaak redelijk gemakkelijk uit te voeren bij een klein schip, maar bij een groot schip bemoeilijkt de breedte en diepgang van het schip vaak de barcheck procedure. Een ander probleem treedt op bij het bepalen van de geluidssnelheid op grote diepte. Door de grote waterdiepte is het moeilijk om de plaat onder het echolood te houden. Tevens is erg veel draad nodig bij een waterdiepte van 75m.

Ad2 Draught check

Een eenvoudigere manier om de diepte van de transducer te bepalen is doormiddel van de draught check. Om deze check te kunnen uitvoeren moet eerst de afstand van de transducer tot een vastpunt, bijvoorbeeld het dek, bekend zijn (zie figuur 4.3). Deze afstand wordt meestal gemeten wanneer het schip in een droogdok ligt, omdat het meetproces op deze manier het eenvoudigst is. Vervolgens wordt aan bakboord en stuurboord vanaf het vaste punt aan dek tot het wateroppervlak gemeten. Er wordt aan bakboord en stuurboord gemeten om een eventuele fout die wordt veroorzaakt door het scheef liggen van het schip te kunnen uitmiddelen. Tot slot wordt de transducerdiepte gevonden door beide resultaten bij elkaar op te tellen en te delen door twee. Omdat de vaste punten vaak op gelijke hoogte worden gemeten met de locatie van de transducer hoeft slechts alleen ter hoogte van de transducer gemeten te worden. Door de berekende afstand dek-wateroppervlak af te trekken van de bekende afstand dek-transducer, kan de transducer diepte worden berekend. Deze diepte wordt vervolgens op het echolood of in de online software ingesteld.



- 1) Bekende diepte dek-transducer
- 2) Gemeten diepte dek-wateroppervlak
- 3) Berekende transducerdiepte

Figuur 4.3, Draught check

Een punt van aandacht vormt de locatie waar de draught check uitgevoerd wordt. Wanneer in zoetwater (b.v. haven of riviermonding) de transducer-diepte berekend wordt en vervolgens de meting uitgevoerd wordt op zoutwater, dan zal de transducerdiepte veranderen door de verandering in dichtheid tussen zoet en zout water.

4.4 Multibeam calibratie

Bij een multibeam calibratie worden de volgende correctiefactoren bepaald:

- 1 Latency
- 2 Yaw
- 3 Pitch
- 4 Roll

Ad1 Latency

Onder de latency wordt verstaan, de vertraging in het systeem tussen het verschaffen van data door de verschillende sensoren onderling, welke nodig zijn om tot een juiste diepte met een juiste positie te komen.

Deze vertraging kan worden bepaald door 2 keer over een duidelijk herkenbaar object op de zeebodem, bijvoorbeeld een talud of een pijpleiding, te varen in dezelfde richting. Waarbij de eerste lijn met langzame snelheid wordt gevaren, de positiefout is dan te verwaarlozen, en de tweede lijn met een hoge snelheid wordt genomen. Wanneer nu de ingewonnen data wordt bekeken en vergeleken zal, als er spraken is van een latency, het object op de zeebodem zijn verschoven. Deze verschuiving is een maat voor de vertraging van het systeem.

Bij een snelheid van 7,4 m/s en een latency van 0,01 s, zal er een fout in langsscheepse richting optreden van: $X_{fout} = \text{Latency} \cdot v = 0,01 \cdot 7,4 = 0,074 \text{ m}$.

Ad2 Yaw

De fout in de yaw wordt veroorzaakt door een fout in de uitlijning van de SONAR-kop. De yaw-correctie is te vinden door twee evenwijdige lijnen te varen, over een (goed bekende) scherpe diepte overgang of een pijpleiding, in tegengestelde richting. De afstand die wordt gekozen tussen de beide lijnen komt overeen met een percentage van de bodemoverlapping in beide richtingen. Een goede maatstaf om te nemen is 40% overlapping.

Nadat deze raaien zijn gevaren kunnen er twee profielen worden gegenereerd. Door deze over elkaar te leggen zal er een hoek zichtbaar zijn tussen de pijpleiding (of diepte overgang) in beide richtingen. De helft van deze hoek is de correctie op de yaw.

Zo zal bij de SeaBat 8101 door een fout van $0,1^\circ$ in de yaw bij een waterdiepte van 10 m een fout op de buitenste bundel in langsscheepse richting ontstaan van:

$$X_{\text{fout}} = \frac{\text{Padbreedte}}{2} \cdot \sin(\alpha_{\text{fout}}) = \frac{7,4 \cdot 10}{2} \cdot \sin(0,1) = 0,065 \text{ m}$$

Ad3 Pitch

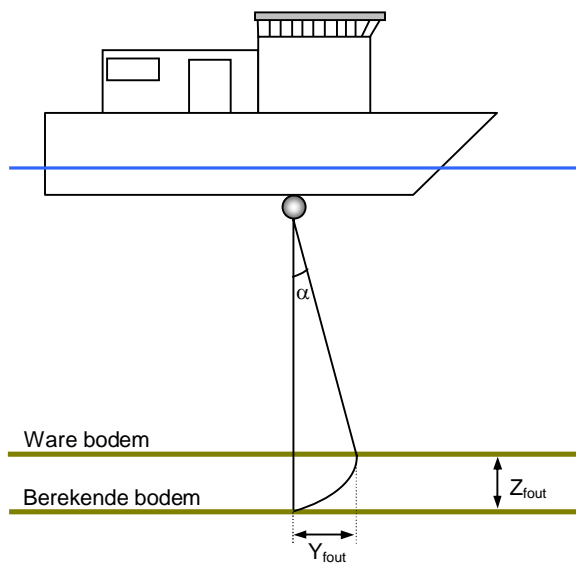
De fout in de pitch kan worden gevonden door twee lijnen in tegengestelde richting te varen over een bekend object, bijvoorbeeld een pijpleiding. Na het verwerken en vergelijken van de verkregen meetwaarden zal, mits er een pitchfout aanwezig is, het object verschoven zijn tussen beide richtingen. De pitchfout is nu te berekenen door:

$$\text{Pitchfout} = \tan^{-1} \left(\frac{\text{Afstand verschuiving object}}{2 \times \text{waterdiepte } e} \right) \quad (4.9)$$

Een pitchfout van $0,1^\circ$ levert (zie figuur 4.4) bij een waterdiepte van 10 m twee fouten op, namelijk één in langsscheepse richting ($= Y_{\text{fout}}$) en een fout in de diepte waarneming Z_{fout} . Deze volgen uit:

$$Y_{\text{fout}} = \text{Berekende bodem} \cdot \sin(\text{Pitchfout}) = 10 \cdot \sin(0,1) = 0,017 \text{ m.}$$

$$Z_{\text{fout}} = \text{Berekende bodem} - \text{Berekende bodem} \cdot \cos(\text{Pitchfout}) = 10 - 10 \cdot \cos(0,1) = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m.}$$



Figuur 4.4, Pitch-fout (α)

De fout in de berekende diepte en positie van de diepte, veroorzaakt door de pitch-fout, wordt steeds groter bij een toenemende diepte (schuine bodems).

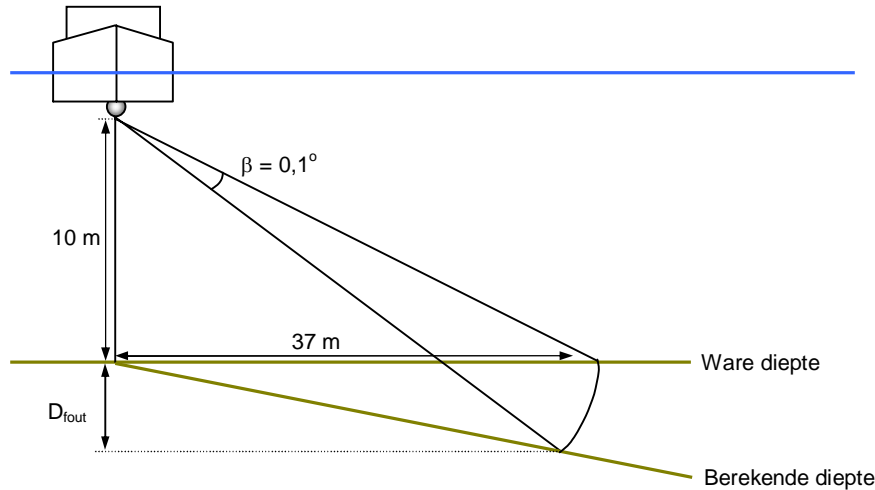
Ad4 Roll

Om de systematische fout in de roll op te sporen worden er twee lijnen in tegengestelde richting gevaren. Het eenvoudigst is om hierbij weer over een object te varen, of over een vlakke zeebodem, zodat het

nauwkeurig vergelijken van de dieptewaarden wordt vergemakkelijkt. De roll-correctie kan bepaald worden uit de helft van de hoek tussen de twee dwarsprofielen van de twee tegengestelde lijnen. Door de grote verticale bundelhoek zal een fout in de roll de grootste invloed hebben op de diepte berekeningen van de multibeam en in het bijzonder voor de buitenste bundels. Een fout van 0,1° in de roll meting zal bij de SeaBat 8101 een fout in diepte voor de buitenste bundel opleveren van:

$$D_{\text{fout}} = \left(\sqrt{10^2 + \left(\frac{7,4 \cdot 10}{2} \right)^2} \times \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{37}{10} \right) - 0,1 \right) \right) - 10 = 0,065 \text{ m.}$$

(Waterdiepte = 10 m, zie figuur 4.5)



Figuur 4.5, Fout in roll meting

Bij het bepalen van de correctiefactoren, via de boven beschreven sequentiële benadering, dient rekening te worden gehouden met het feit dat een deel van de fouten terecht komt in de correctie van de andere. Dit kan voor een deel worden opgevangen door de berekening te herhalen nadat eerst de correcties grof bepaald zijn.

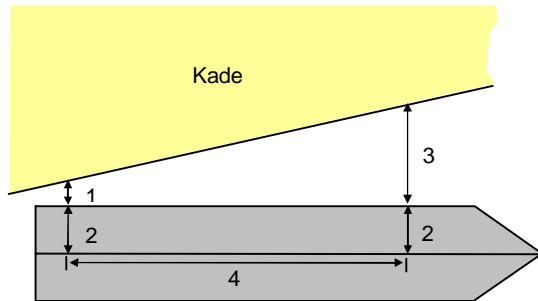
Het verband tussen de onderlinge correcties wordt gegeven door de correlatie.

4.5 Gyro-calibratie

Het gyrokompas vervult tijdens een survey twee belangrijke taken. Ten eerste verschaft het de benodigde hoek voor het berekenen van de off-sets en ten tweede geeft het de voorliggende koers. Omdat het gyrokompas meestal niet precies de juiste koers aangeeft moet het kompas gekalibreerd worden. Dit kan op de volgende manier:

1. Leg het schip langs de kade met de meertrossen goed strak;
2. Bepaal nu de kaarthoek van de kade. Deze kan nauwkeurig bepaald worden uit het azimut naar de zon. Het bepalen van het azimut naar de zon wordt beschreven in Hydrografie deel 1, cursusjaar 1995, p. 103-110. (van Dam, 1995);
3. Controleer de breedtecorrectie en zet de vaartcorrectie op nul;

4. Zet een horloge gelijk met de tijd van de computer die de gyrodata logt;
5. Start het loggen van de gyrodata;
6. Meet nu vanaf de kade tot twee vaste punten (zie figuur 4.6), een op het voorschip (3) en een op het achterschip (1). Zorg dat je de afstand van deze twee vaste punten tot de middellijn van het schip (2) weet en de afstand onderling tussen de twee punten (4);
7. Herhaal deze meting ongeveer twintig keer met een bepaald tijdsinterval, bijvoorbeeld iedere twintig seconde, en schrijf de gemeten afstanden op;
8. Eventueel kan de meting herhaald worden wanneer het schip 180° is gedraaid, om zo de uitlijning van het kompas te controleren;
9. Bereken nu uit de verkregen meetresultaten en de gelogde data de gyrocorrectie



- 1) Afstand kade-achterschip
- 2) Afstand vastpunt-middenlijn
- 3) Afstand kade-voorschip
- 4) Afstand tussen de vaste punten

Figuur

4.6, Gyro-calibratie

Bij het berekenen van de gyrocorrectie moet goed op het teken van de correctie worden gelet. Een minteken betekent dat het gyrokompas een te 'grote' koers aangeeft en er dus iedere keer een bepaalde waarde van de koers moet worden afgetrokken. Bij een plus teken geldt het omgekeerde. De correctie op de gyrokoers kan worden ingesteld in de online software.

Naast het invoeren van de gyrocorrectie moeten nog twee correcties worden ingesteld, namelijk:

- 1 Breedtecorrectie
- 2 Vaartcorrectie

Ad1 Breedtecorrectie

De tol-as van een gyrokompas heeft twee bewegingen op een vaartlopend schip. Een daarvan is een beweging tengevolge van de aardrotatie. De snelheid van de aardrotatie is op iedere breedte verschillend, op de evenaar is deze het grootst en wordt steeds kleiner op grotere breedte. Om voor dit verschijnsel te corrigeren moet een geografische breedte op het gyrokompas worden ingesteld. Er moet wel aangedacht worden dat voor de breedte, de breedte wordt ingesteld waar de survey plaats vindt.

Ad2 Vaartcorrectie

De andere beweging, tengevolge van het vaartlopen van het schip, is een beweging die overeenkomt met de beweging van het schip ten opzichte van de aarde. Voor deze beweging wordt gecorrigeerd door de vaart in te stellen op het gyrokompas. De snelheid die moet worden gekozen is de surveysnelheid. In de meeste gevallen wordt dit geregeld door de online software. Deze gebruikt de berekende snelheid over de grond uit de GPS posities.

Wanneer de waarnemingen vergeleken worden met gegevens uit de kaart, dan moet rekening worden gehouden met een richtingsverschil tussen gyrokompas en kaart. Dit wordt uitgedrukt met behulp van de

meridiaanconvergentie. Dit is de hoek tussen het gyronoorden en het kaartnoorden. Deze wordt berekend met een formule. Een voorbeeld van de meridiaanconvergentie voor een stereografische projectie is gegeven in formule 4.10.

$$\tan \frac{1}{2} \cdot c = \tan \frac{1}{2} \cdot (L - L_0) \cdot \frac{\sin \frac{1}{2} \cdot (B + B_0)}{\cos \frac{1}{2} \cdot (B - B_0)} \quad (4.10)$$

Waarin:

c = meridiaanconvergentie.

L = lengte van het midden van het op te nemen gebied.

L₀ = lengte van de spits van OLV kerk in Amersfoort (5°-23'-15,50" O).

B = breedte van het midden van het op te nemen gebied.

B₀ = breedte van de spits van OLV kerk in Amersfoort (52°-9'-22,18" N).

4.6 Gelijkzetten computertijd

Om de verschillende gegevens afkomstig vanaf de peilvlet en de zuiger aan elkaar te kunnen relateren dienen de computertijden exact gelijk te lopen. Voordat begonnen wordt met peilen moet dit gecontroleerd worden en waarnodig moeten de computertijden worden gelijkgezet.