

# Artefacten in multibeam echosounder data

herkennen, bepalen en voorkomen

AGI-2007-GPMP-016

---

# Artefacten in multibeam echosounder data

herkennen, bepalen en voorkomen

28 juni 2007

---

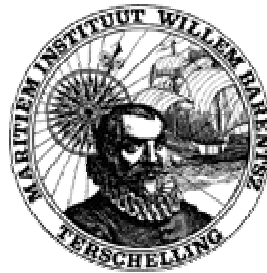
**Author:** Lotte Schuitema & Auke van der Werf  
**Student number:** 81020 & 82528

**Supervisor:** Ir. R.E. van Ree  
**External supervisor:** Ir. R. Perluka

**University:** Noordelijke Hogeschool Leeuwarden  
**Faculty:** Maritiem Instituut Willem Barentsz  
**Section:** Hydrography



**NOORDELIJKE HOGESCHOOL  
LEEUWARDEN**



---

## Colofon

**Uitgegeven door:** Adviesdienst Geo- Informatie en ICT

**Informatie:**

Telefoon: 015 – 275 75 75

Fax: 015 – 275 75 76

**Uitgevoerd door:** Lotte Schuitema & Auke van der Werf

**Opmaak:** RWS Layout

**Datum:** 28 juni '07

**Status:** Definitief

**Versienummer:** 1.5

---

---

---

# Inhoudsopgave

---

- 1. Inleiding 13**
  - 1.1 Achtergrond van het onderzoek 13
  - 1.2 Doel van het onderzoek 15
  - 1.3 Werkwijze voor het onderzoek 17
  - 1.4 Afbakening van het onderzoek 17
  - 1.5 Leeswijzer 18
  
- 2. Introductie tot surveys met een Multibeam Echolood 19**
  - 2.1 Het tot stand komen van een hydrografische meting 19
  - 2.2 Introductie tot artefacten 22
  - 2.3 Definities scheepsassenstelsel en bewegingen 23
  
- 3. Afzonderlijke foutenbronnen 25**
  - 3.1 Multibeam Echolood 25
    - 3.1.1. Vormen van een array 29
  - 3.2 Motion sensor 31
    - 3.2.1. Werking van een motion sensor 31
    - 3.2.2. Installatie van een motion sensor 32
    - 3.2.3. Oplijnen van motion sensor aan het scheepsassenstelsel 33
    - 3.2.4. Functie van de patch test 34
    - 3.2.5. Uitvoeren van de patch test 35
  - 3.3 Lever armen 39
  - 3.4 Het principe van timing 40
  - 3.5 Geluidssnelheid 42
    - 3.5.1. Wet van Snellius 42
    - 3.5.2. Surface Sound Speed 44
    - 3.5.3. Don Dinn effect 45
    - 3.5.4. Sound Velocity Profile 46
    - 3.5.5. Het principe van ray tracing 47
    - 3.5.6. Fouten in Surface Sound Speed 48
    - 3.5.7. Fouten in Sound Velocity Profile 49
  
- 4. Artefacten 55**
  - 4.1 Motion sensor in combinatie met timing 55
  - 4.2 Effect van een yaw-misalignment 57
  - 4.3 Motion sensor met een lever arm 59
    - 4.3.1. Induced Heave Error 59
    - 4.3.2. Effect van een fout in de x-lever arm 61
    - 4.3.3. Effect van een fout in de y-lever arm 63
    - 4.3.4. Effect van een fout in de z-lever arm 65
  - 4.4 Artefacten geluidssnelheid 68
    - 4.4.1. Sound Velocity Profile 69
    - 4.4.2. Surface Sound Speed 70

---

## **5. Handleiding data analyse 85**

- 5.1 Inleiding 85
  - 5.1.1. Herkennen van artefacten 85
  - 5.1.2. DTM 86
  - 5.1.3. Openen data 86
- 5.2 Swath editor 87
  - 5.2.1. Inleiding 87
  - 5.2.2. TimeSeries 89
  - 5.2.3. Refraction tool 90
- 5.3 Cross plot analyse in TimeSeries 91
  - 5.3.1. Inleiding 91
  - 5.3.2. Kenmerken van fouten in de cross plots 92
- 5.4 Correlaties 94
- 5.5 Het verwijderen van een artefact 97
- 5.6 Jview: het maken van profielen 98

## **6. Data Analyse ("het fotoboek") 99**

- 6.1 Fout in de x-lever arm 100
- 6.2 Fout in de y-lever arm 102
- 6.3 Rolldelay 104
- 6.4 Yaw-misalignment 106
- 6.5 Systematische fout in het geluidssnelheidsprofiel 108
- 6.6 Surface Sound Speed fout 110

## **7. Conclusies en Aanbevelingen 113**

- 7.1 Conclusies 113
- 7.2 Aanbevelingen 114

## **Bijlage A Referenties 116**

## **Bijlage B Afkortingen en begrippen 120**

## **Bijlage C Apparatuur 123**

Figuur 1 Data met een artefact. ....	13
Figuur 2 meetketen van stelsels (Bloeme, 2002) .....	20
Figuur 3 Links: assenstelsel Rijkswaterstaat. Rechts: assenstelsel UNB	23
Figuur 4 Scheepsbewegingen.....	24
Figuur 5 Vooraanzicht en zijaanzicht verzonden bundel.....	25
Figuur 6 Vooraanzicht en zijaanzicht ontvangen bundel.....	26
Figuur 7 Product van zend en ontvangst bundels .....	27
Figuur 8 Bundelsturing door middel van time-delays .....	28
Figuur 9 soorten arrays .....	29
Figuur 10 Ronde array met bundelsturing.....	29
Figuur 11 Mills X en Mills T .....	30
Figuur 12 Twee mills T configuraties .....	30
Figuur 13 Motion sensor vlakbij het CoG geïnstalleerd. ....	33
Figuur 14 Tijdens het oplijnen van de motion sensor wordt o.a. hoek $\alpha$ bepaald, tijdens de patch test o.a. hoek $\delta$ .....	34
Figuur 15 De twee profielen die ontstaan door de gevaren lijnen bij het bepalen van de time-delay [IHO, 2005, p.170].....	35

---

Figuur 16 De profielen die ontstaan door de gevaren lijnen bij het bepalen van de pitch [IHO, 2005, p.171].....	36
Figuur 17 De twee profielen die ontstaan door de gevaren lijnen bij het bepalen van de yaw [IHO, 2005, p.172] .....	37
Figuur 18 De twee profielen die ontstaan door de gevaren lijnen bij het bepalen van de roll [IHO, 2005, p.173].....	38
Figuur 19 Lever-armen [Hughes Clarke, 2003a] .....	39
Figuur 20 PPS-sigitaal met neergaande en opgaande flank [Ixsea].....	40
Figuur 21 Wet van Snellius .....	42
Figuur 22 Refractie geluidssigitaal bij de transducer [Moustier, 1999]	44
Figuur 23 Het Don Dinn effect.....	45
Figuur 24 Geluidssnelheidsgradiënt .....	46
Figuur 25 Geluidssnelheidsgradiënt [De Moustier, 1999].....	47
Figuur 26 Ray path .....	47
Figuur 27 Uitzendhoek.....	50
Figuur 28 Dieptefout.....	51
Figuur 29 Dwarsscheepse fout in MEET .....	53
Figuur 30 Voortplanting geluidssigitaal.....	54
Figuur 31 beweging van de swath bij een time-delay .....	56
Figuur 32 artefacten die ontstaan door een time-delay .....	56
Figuur 33 Yaw-misalignment .....	58
Figuur 34 dtm van yaw-misalignment: [Hughes Clarke, 2003b] .....	58
Figuur 35 Heave en de induced heave die ontstaat door hoek $\alpha$ .....	59
Figuur 36 Induced heave error veroorzaakt door pitch.....	60
Figuur 37 Induced heave error veroorzaakt door roll .....	60
Figuur 38 Fout in de X-lever arm van 2 m [Hughes Clarke, 2003b].....	61
Figuur 39 Fout in diepte en positie in combinatie met x-lever arm .....	62
Figuur 40 Fout in de X-lever arm [Hughes Clarke, 2003b] .....	63
Figuur 41 Fout in diepte en positie in combinatie met y-lever arm .....	64
Figuur 42 Een bundelpad dat hol en bol is .....	69
Figuur 43 Smile en frown .....	69
Figuur 44 Verticale beweging met een sterke geluidssnelheidsgradiënt [Hughes Clarke, 2003b].....	71
Figuur 45 Een vlakke array met roll, bij gebruik van een onjuiste SSS [Hughes Clarke, 2003b].....	72
Figuur 46 Ronde array met een te hoge geluidssnelheid (links) en een te lage geluidssnelheid (rechts). [Kammerer, 1996].....	73
Figuur 47 Impact van een fout in de SSS op de vorm van de swath van een ronde array. [Kammerer, 1996].....	74
Figuur 48 Diepte fout bij een rond array [Moustier, 1999].....	74
Figuur 49 Impact van een SSS-fout bij een ronde array. [Kammerer, 1996] .....	75
Figuur 50 Theoretisch vooraanzicht (links) en voorstelling van de bodem (rechts) bij een SSS-fout met roll [Kammerer, 1996].....	75
Figuur 51 Dwarsscheepse fout bij een ronde array .....	75
Figuur 52 Vlakke array met een te hoog (links) en een te laag (rechts) gebruikte geluidssnelheid aan de oppervlakte [Kammerer, 1996]	76
Figuur 53 Impact van een surface sound speed fout op de vorm van de swath van een vlakke array. [Kammerer, 1996] .....	77
Figuur 54 Dieptefout bij een vlak array.....	77
Figuur 55 Dwarsscheepse fout bij een vlak array .....	77

---

---

Figuur 56 Impact van een SSS-fout op de vorm van een swath van een niet roll gestabiliseerde vlakke array. [Kammerer, 1996].....	78
Figuur 57 Vorm van dertig opeenvolgende swaths wanneer de vlakke array rolt. [Kammerer, 1996].....	78
Figuur 58 Impact van een SSS-fout op de vorm van de swath van een gestabiliseerde horizontale vlakke array. [Kammerer, 1996].....	79
Figuur 59 Vorm van dertig opeenvolgende swaths van een sonar met beweging stabilisatie bij een vlakke array. [Kammerer, 1996] .....	79
Figuur 60 Impact van een SSS-fout op de vorm van een swath van een dubbele horizontale vlakke array. [Kammerer, 1996] .....	80
Figuur 61 Diepte fout bij dubbele vlakke array .....	81
Figuur 62 Dwarsscheepse fout bij dubbele vlakke array .....	81
Figuur 63 Impact van een SSS-fout op de vorm van een swath van een horizontale vlakke array zonder roll correctie. [Kammerer, 1996]	82
Figuur 64 Vorm van dertig opeenvolgende swaths wanneer de vlakke array rolt . [Kammerer, 1996].....	82
Figuur 65 Impact van een surface sound speed fout op de vorm van een swath van een horizontale vlakke array. [Kammerer, 1996]..	83
Figuur 66 Vorm van dertig opeenvolgende swaths wanneer de vlakke array rolt. [Kammerer, 1996].....	83
Figuur 67 Typen artefacten .....	85
Figuur 68 Swathed.....	87
Figuur 69 TimeSeries.....	89
Figuur 70 Refraction tool.....	90
Figuur 71 Slope fit .....	91
Figuur 72 HPF across slope.....	91
Figuur 73 Sun illumination along track .....	91
Figuur 74 Heave .....	91
Figuur 75 Cross plots .....	91
Figuur 76 Alle mogelijke Cross plots.....	92
Figuur 77 Time-delay .....	94
Figuur 78 Yaw Misalignment .....	94
Figuur 79 X Lever arm fout.....	95
Figuur 80 Y Lever arm fout.....	95
Figuur 81 Surface Sound Type IV .....	96
Figuur 82 Surface Sound Type III .....	96
Figuur 83 FFT & Xplots.....	97
Figuur 84 Jview .....	98
Figuur 85 Profielen .....	98



---

## Voorwoord

---

De opleiding Hydrografie aan het Maritiem Instituut Willem Barentsz wordt in het vierde jaar afgesloten met een onderzoeksproject van een half jaar, de afstudeerstage. Wij hebben deze stage uitgevoerd bij de Adviesdienst Geo-informatie en ICT (AGI) van Rijkswaterstaat (RWS) te Delft. Hier hebben wij onderzoek gedaan naar het fenomeen "artefacten" bij multibeam surveys. Dit rapport is het eindproduct van dit onderzoek.

Om dit rapport te kunnen schrijven hebben wij in een korte periode veel nieuwe kennis moeten opdoen over zowel hydrografie als artefacten. Zonder de goede begeleiding binnen RWS, en het werkbezoek dat we via RWS aan de University of New Brunswick (UNB) hebben gebracht, was dit niet mogelijk geweest.

Hiervoor willen we RWS dan ook bedanken. Onze dank gaat in het bijzonder uit naar onze afstudeerbegeleider binnen RWS, Ronald Perluka. Hij heeft ervoor gezorgd dat het niveau van het rapport zo is, zoals het nu voor u ligt. Hij heeft ons in contact gebracht met experts, en heeft het werkbezoek aan de University of New Brunswick geregeld. Daarnaast willen we Simon Bicknese, Ben Dierikx en Niels Kinneging bedanken voor het kritisch meelezen van ons rapport.

Ook willen we John Hughes Clarke van de UNB bedanken dat hij ons wilde ontvangen in New Brunswick en wilde helpen bij het maken van analyses ten behoeve van ons onderzoek.

Rob van Ree is onze afstudeerbegeleider binnen de opleiding Hydrografie. Wij willen hem bedanken voor zijn begeleiding. Niet alleen tijdens ons afstudeertraject maar ook tijdens onze opleiding. Hij heeft er met zijn eerlijke en open mening voor gezorgd dat we zover zijn gekomen en dat we altijd plezier in onze opleiding hebben gehad.

Tot slot willen we iedereen bedanken die naast de zojuist genoemde personen ook een bijdrage geleverd heeft om dit onderzoek tot een goed einde te brengen.

Auke van der Werf en Lotte Schuitema  
Delft, juni 2007

---

## Samenvatting

---

Rijkswaterstaat heeft de afgelopen jaren geïnvesteerd in state-of-the-art systemen en procedures om een hoge kwaliteit te kunnen garanderen van hydrografische metingen. Ondanks deze maatregelen zitten er toch nog restfouten in de data. Deze restfouten worden ook wel artefacten genoemd. De vraag is hoe deze artefacten herkend, bepaald en voorkomen kunnen worden, waardoor de misinterpretatie van de bodem opgelost of geminimaliseerd kan worden. Hiertoe is eerst een literatuuronderzoek uitgevoerd over het onderwerp artefacten. Vervolgens is er een analyse gemaakt van verschillende soorten artefacten met behulp van Swathed. Uit het theoretisch onderzoek en uit de analyse zijn conclusies getrokken en hier zijn een aantal aanbevelingen uit voort gekomen.

In het verleden werd er alleen met presentatiemethoden zoals contouren of schema's met dieptekleuren gewerkt. Artefacten werden hiermee niet snel opgemerkt. Tegenwoordig zijn de metingen veel nauwkeuriger en wordt er gebruik gemaakt van sun illumination. Bij sun illumination kunnen de variaties met korte golflengten herkend worden. Hierdoor zijn artefacten beter te herkennen. In een sun illuminated DTM is vaak al te herkennen van wat voor type artefact er sprake is. Om meer van een artefact te weten te komen, kan de data ingeladen worden in een analyseprogramma zoals Swathed. Dit rapport geeft de surveyor aan boord handvaten om gericht te zoeken naar de oorzaak van artefacten in data.

In dit verslag worden alleen artefacten behandeld veroorzaakt door:

- Verkeerde lengte van lever armen
- Time-delay van de motion sensor
- Yaw-misalignment
- Onjuist Sound Velocity Profile
- Incorrecte Surface Sound Speed

Uit onderzoek blijkt dat de genoemde artefacten verschillende karakters hebben. Het karakter van een X- en Y- lever arm komen zo goed als overeen. Ze veroorzaken een artefact die gelijk op en neer gaat over de breedte van de swath. Een artefact ten gronde van een time-delay van de motion sensor of een yaw misalignment lijken ook op elkaar. Terwijl hun oorzaak verschillend is. Hierbij ontstaat een lineaire kanteling over de breedte van de swath; de ene helft van de swath zal te diep meten en de andere helft te ondiep. De karakters van een artefact die veroorzaakt wordt door een onjuist Sound Velocity Profile of door een incorrecte Surface Sound Speed zijn wel verschillend. Artefacten veroorzaakt door een onjuist Sound Velocity Profile hebben het karakter van een smiley of een frown. Artefacten veroorzaakt door een incorrecte Surface Sound Speed veroorzaken een niet lineaire kanteling over de breedte van de swath.

---

Rijkswaterstaat wordt geadviseerd om een extra test procedure op te stellen om artefacten in een vroeg stadium te herkennen. Voor het uitvoeren van deze procedure dient er een gebied met een bekende vlakke bodem gekozen te worden. De test heeft als doel om de in dit rapport besproken artefacten te detecteren.

---

## Summary

---

The Dutch Government of Public Works and Water Management invested the last years in state-of-the-art systems and procedures, to guarantee high quality hydrographic measurements. Despite these actions errors still remain in data. These remaining errors are called artifacts. The question is how to recognize, determine and prevent for these errors, and solve or reduce the misinterpretation of the bottom. First, a literature research about artifacts is carried out. Next, an analysis of the different kind of artifacts in Swathed is conducted. From the theoretical research and from the analysis conclusions are drawn and recommendations are made.

In the past only presentation methods like contours or diagrams with depth colours were used and artifacts were difficult to recognize. Now, measurements are more accurate and sun illumination is used. With sun illumination variations with short wavelengths can be recognized. This makes it much easier to recognize artifacts. In a sun illuminated DTM it's possible to recognize which type of artefact it contains. To get more information about an artifact, data can be loaded into an analysis program like Swathed. This report helps the surveyor on board to recognize artifacts in data.

In this report we analyse only the artifacts below:

- Wrong distance of lever arms
- Time delay of the motion sensor
- Yaw misalignment
- Wrong Sound Velocity Profile
- Incorrect Surface Sound Speed

Research has shown that artifacts have different characteristics. Characteristics of an X- or Y- lever arm are almost the same. They cause an artifact which moves up and down over the whole width of the swath. An artefact caused by a time-delay of the motion sensor or a yaw misalignment also look alike though their cause is different. It causes a linear slope over the width of the swath; one half of the swath will measure too shallow and the other side will measure too deep. The characteristics of an artifact which is caused by a wrong Sound Velocity Profile or by an incorrect Surface Sound Speed are different. Artifacts caused by a wrong Sound Velocity Profile have characteristics of a smile or a frown. Artifacts caused by an incorrect Surface Sound Speed make a linear slope over the width of the swath.

The Dutch Government of Public Works and Water Management is advised to design an extra test procedure to recognize artifacts in an early phase. The goal of the test is to recognize artifacts investigated in this report.

---

# 1. Inleiding

---

## 1.1 Achtergrond van het onderzoek

Een van de taken van RWS is het beheer en onderhoud van de Rijkswateren (Noordzee, Waddenzee, IJsselmeer, de rivieren en kanalen). Informatie die hierbij hoort bestaat veelal uit hydrografische diepte metingen. De informatie ondersteunt doelstellingen als veilige navigatie en droge voeten.

Om deze taken goed uit te voeren, heeft RWS de afgelopen jaren flink geïnvesteerd in systemen en procedures zodat ze een hoge kwaliteit kunnen garanderen van de hydrografische metingen. Langs de rivieren en de kust is bijvoorbeeld een LRK-netwerk opgezet en alle meetschepen ondergaan een jaarlijkse bootgeometrie controle. Tevens zijn schepen uitgerust met RTK-ontvangers en multibeam echoloodsystemen. Het is mogelijk om steeds meer te zien van de bodem en er kan steeds nauwkeuriger gemeten worden.

Ondanks deze maatregelen komen er toch nog restfouten voor in de data. Deze restfouten worden ook wel artefacten genoemd. Een recent voorbeeld, zie Figuur 1, geeft in de vorm van ribbelingen een idee van hoe dit soort fouten eruit kunnen zien. In deze figuur zijn in totaal 4 raaien gepresenteerd, in de vorm van een kruis. De raaien zijn dwars op elkaar en tegen elkaar in gevaren. Hieruit kan afgeleid worden dat dit niet de ware bodem is, doordat de ribbels in beide richtingen lopen. Op basis van slechts één raai kan deze conclusie niet eenduidig getrokken worden. De kans bestaat immers dat de bodem er wel zo uit ziet. Het zouden bijvoorbeeld zandgolven op de bodem kunnen zijn.

De verklaring van de ribbels in Figuur 1 zou een fout in een lever arm in X of Y richting kunnen zijn. Dit onderzoek inventariseert deze en dergelijke patronen, die het gevolg kunnen zijn van restfouten in het geïntegreerde meetsysteem. Figuur 1 is data (2007) met een artefact, afkomstig van meetschip MS "Arca" van Rijkswaterstaat.

---

**Figuur 1 Data met een artefact.**



---

Met presentatietechnieken zoals shaded reliëf kunnen restfouten zoals artefacten opgespoord worden. De afdeling Productmanagement van de AGI, onze opdrachtgever, wil meer kennis opdoen over het fenomeen artefacten. Hiertoe is onder andere een samenwerkingsverband afgesloten met de University of New Brunswick (UNB). De UNB heeft software ontwikkeld, genaamd Swathed, waarmee analyses op data kunnen worden gedaan. Wij hebben deze software gebruikt om data te analyseren en in dit verslag visuele voorbeelden te geven.

Artefacten kunnen leiden tot misinterpretaties van de bodem. De hydrografische surveys die RWS in Nederland uitvoert, vallen veelal binnen de Special Order hydrografische surveys. Uit de "Manual on Hydrography", van de International Hydrographic Organisation (IHO, 2005) blijkt dat alle foutenbronnen bij een Special Order hydrografische survey moeten worden geminimaliseerd. Rijkswaterstaat heeft de ambitie om dit type restfouten op te lossen of in ieder geval te minimaliseren. Daarom wil RWS inzicht krijgen in wat voor typen artefacten er zijn en de oorzaak van artefacten, of artefacten verklaard kunnen worden en of er voor artefacten gecorrigeerd kan worden.

---

## 1.2 Doel van het onderzoek

Het uiteindelijke doel van RWS is om data in te winnen waar geen artefacten in voor komen.

Het doel van dit onderzoek is het bereiken dat RWS en haar partners die met artefacten te maken krijgen met behulp van de scriptie artefacten kunnen herkennen, kunnen bepalen, kunnen voorkomen en de misinterpretatie van de bodem die hierdoor ontstaat op te lossen of te minimaliseren. Kort gezegd is het de bedoeling dat RWS meer kennis over artefacten krijgt.

De hoofdvraag hierbij is:

*Welke aanbevelingen kunnen er worden gedaan om artefacten te herkennen, te bepalen, te voorkomen en de misinterpretatie van de bodem die hierdoor ontstaat op te lossen of te minimaliseren?*

De hoofdvraag kan opgesplitst worden in een aantal deelvragen. De deelvragen zijn:

- Welke typen artefacten zijn er?
- Wat is de oorzaak van artefacten?
- Hoe zijn artefacten te herkennen?

Voordat er direct onderzoek gedaan wordt ten einde deze vragen te beantwoorden in hoofdstuk 3 zullen de volgende vragen beantwoord worden in hoofdstuk 2:

- Hoe komt een hydrografische meting tot stand?
- Wat zijn artefacten?
- Hoe worden het scheepsassenstelsel en de bewegingen gedefinieerd?

Geluidssnelheid heeft een grote invloed op het verzenden van een bundel door een multibeam echolood waardoor artefacten kunnen ontstaan. Het volgende zal daarom in de paragraaf over multibeam echoloden behandeld worden:

- Wat is het principe van een multibeam echolood?
- Wat voor invloed heeft de vorm van een array op een artefact?

---

Er wordt onderzoek gedaan naar de motion sensor. De motion sensor kan een belangrijke oorzaak van artefacten zijn. De stand van de motion sensor moet goed bepaald zijn in de totale systeem integratie. Is dit niet het geval, dan kunnen er verkeerde bewegingen geregistreerd worden waardoor er artefacten kunnen ontstaan.

Het volgende zal er behandeld worden:

- Hoe werkt een motion sensor?
- Waar wordt een motion sensor geïnstalleerd?
- Wat wordt er bepaald bij het oplijnen van de motion sensor?
- Wat is de functie van de patch test?
- Hoe wordt de patch test uitgevoerd?

Ook timing speelt een grote rol in de totale systeem integratie. Metingen dienen aan het juiste tijdstip gekoppeld te worden. Wanneer dit niet gebeurt, kunnen er artefacten ontstaan. De volgende vragen zullen dan ook beantwoord worden:

- Wat is timing?
- Hoe wordt timing toegepast?

Ook foute lever armen, in de x-as en y-as, kunnen artefacten laten ontstaan. Om hier meer te weten over te komen, zal eerst naar het volgende worden gekeken:

- Wat zijn lever armen?

Belangrijk is om te onderzoeken of artefacten het gevolg kunnen zijn van een fout in de geluidssnelheid.

- Hoe luidt de Wet van Snellius?
- Wat is de invloed van de Surface Sound Speed (SSS)?
- Wat is de invloed van het Sound Velocity Profile (SVP)?
- Welke fouten kunnen er ontstaan in SSS en SVP?

Ten slotte als deze deelvragen onderzocht en beantwoord zijn en de artefacten bepaald kunnen worden die in de verschillende sensoren kunnen ontstaan, zouden er conclusies getrokken kunnen worden en zouden er aanbevelingen aan Rijkswaterstaat gegeven kunnen worden. Daarbij zal het volgende naar voren komen in Hoofdstuk 7:

- Hoe kunnen we corrigeren voor artefacten?
- Welke aanbevelingen kunnen er worden gedaan aan RWS om dit type fouten te voorkomen?
- Welke contractteksten kunnen gebruikt worden om dit type fouten te voorkomen?



---

### 1.3 Werkwijze voor het onderzoek

Om de deelonderwerpen, en daarmee de hoofdvraag, uit 1.2 te kunnen beantwoorden is gestart met een literatuuronderzoek om meer kennis te krijgen over het onderwerp. Voor het literatuuronderzoek had Rijkswaterstaat (RWS) al literatuur beschikbaar via de Technische Universiteit Delft (TU Delft) of van de University of New Brunswick (UNB). Voor het theoretisch kader in hoofdstuk 2 zijn we op zoek gegaan naar meer specifieke literatuur, via bronnen uit de andere literatuur of via internet. Uit het literatuuronderzoek is kennis ontstaan over hoe artefacten kunnen ontstaan.

Om meer te weten te komen van specifieke apparatuur of problemen hebben we enkele bezoeken afgelegd. We zijn bijvoorbeeld naar Femme2007, een Kongsberg congres geweest, voor een werkbezoek naar de UNB en we zijn op bezoek geweest bij enkele experts zoals Ixsea, QPS en de Dienst der Hydrografie.

Tijdens de verschillende bezoeken of via een afspraak of de mail hebben we mensen geïnterviewd om vragen beantwoord te krijgen.

Nadat we een theoretisch kader gemaakt hadden, hebben we een analyse met behulp van de software van de UNB gedaan. De data die we gebruikt hebben voor de data-analyse is afkomstig van RWS of de UNB. Aan de hand van een ontwikkeld script hebben we synthetische data gemaakt. En met behulp van het analyse programma Swathed van de UNB hebben we uit synthetische data echte data analyses gedaan.

Ten slotte worden de bevindingen uit het theoretisch kader en de resultaten van de analyse vertaald in conclusies en aanbevelingen ten aanzien van het bepalen en herkennen van de artefacten die zorgen voor een misinterpretatie van de bodem.

### 1.4 Afbakening van het onderzoek

Er zijn vele soorten artefacten. In dit onderzoek gaan wij wel in op artefacten die veroorzaakt worden door geluidssnelheid en motion sensoren. En de combinaties motion sensoren – lever arm en motion sensoren – timing.

We gaan niet in op artefacten die veroorzaakt worden door sensoren zoals navigatiesystemen en multibeam echosounders. Verder gaan we niet in op interface, hardware en software. Ook artefacten die door getij ontstaan vallen buiten de scope van dit onderzoek.

---

## 1.5 Leeswijzer

Om de hoofdvraag van dit rapport te kunnen beantwoorden, wordt in hoofdstuk 2 een theoretische beschrijving geschreven. In deze theoretische beschrijving wordt eerst verteld hoe een hydrografische meting tot stand komt en wat artefacten zijn.

Daarna worden in hoofdstuk 3 achtereenvolgens het multibeam echolood, de motion sensor, lever armen, timing en geluidssnelheid behandeld. Binnen deze onderwerpen worden verschillende deelonderwerpen behandeld.

Het vierde hoofdstuk behandelt artefacten, welk type artefacten er zijn, wat de oorzaak van artefacten is en hoe artefacten te herkennen zijn.

Dit is toepasbaar op verschillende combinaties; lever arm met verschillende scheepsbewegingen, timing met verschillende scheepsbewegingen en geluidssnelheid met verschillende scheepsbewegingen.

In hoofdstuk 5 wordt een handleiding van de data analyse gegeven.

Ten slotte volgt in hoofdstuk 6 de data analyse in Swathed, wat weergegeven zal worden in een "fotoboek".

De conclusies en aanbevelingen worden gedaan in hoofdstuk 7.

Conclusies over de aanbevelingen die we kunnen doen om artefacten te voorkomen en om voor artefacten te corrigeren komen voort uit de theoretische beschrijving.

---

## 2. Introductie tot surveys met een Multibeam Echolood

---

### 2.1 Het tot stand komen van een hydrografische meting

In het IHO-manual (Chapter 3) staat de belangrijkste taak van een hydrograaf als volgt beschreven:

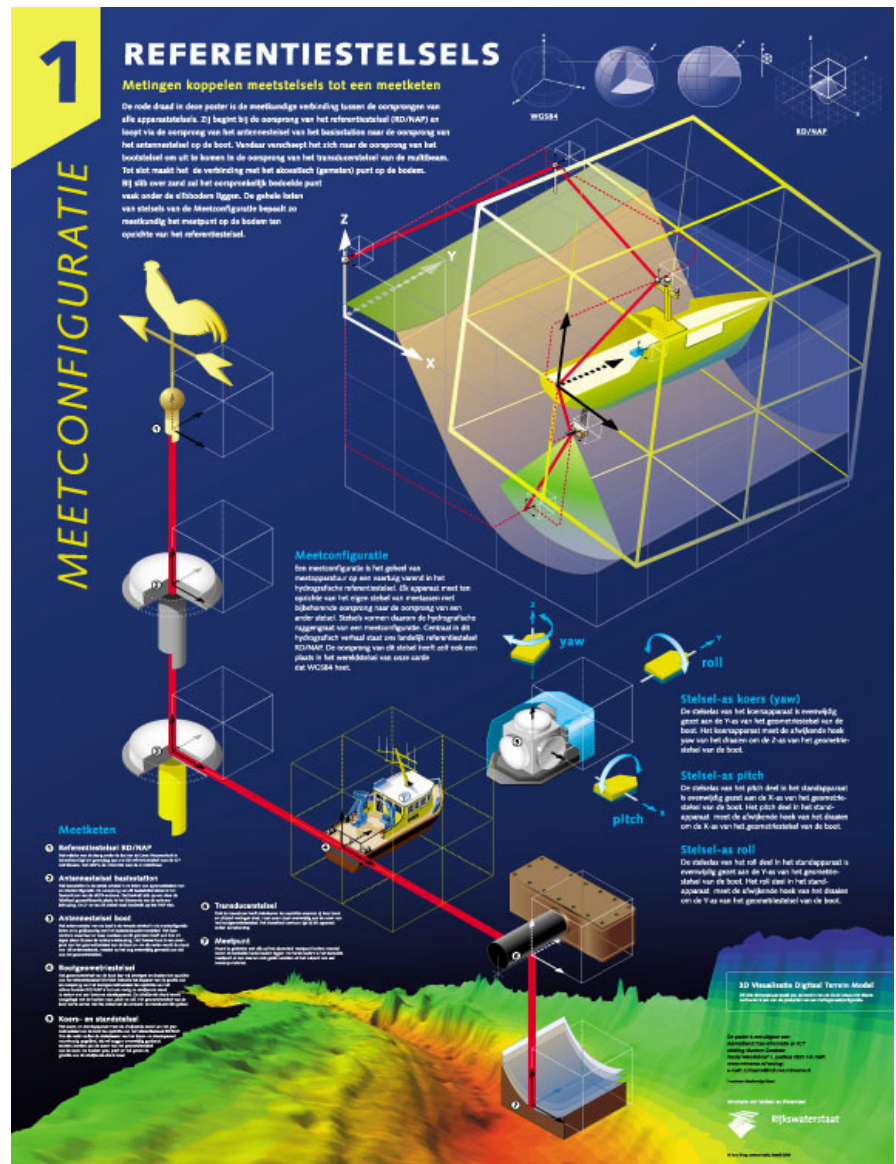
*“Depth determination is a fundamental task for a hydrographer.  
[Artalheiro, 2000]”*

Om tot een hydrografisch verantwoorde diepte te komen, moet er naar het volgende gekeken worden:

- Plaatsbepaling
- Motion sensor
- Scheepsgeometrie
- Geluidssnelheid
- Multibeam echolood
- Timing

In deze scriptie wordt er op deze zes punten dieper ingegaan. In Figuur 2 staat een meetconfiguratie afgebeeld. In deze scriptie wordt er alleen aandacht geschonken in het deel dat zich in de afbeelding tussen het schip, de motion sensor, het multibeam echolood en de bodem bevindt.

Figuur 2 meetketen van stelsels (Bloeme, 2002)



**Plaatsbepaling:**

De gemeten dieptes moeten gekoppeld worden aan een positie. Rijkswaterstaat koppelt de dieptes aan posities in het RD/NAP (RijksDriehoeksmeting Normaal Amsterdams Peil)-stelsel. Het bepalen van posities gebeurt met behulp van een plaatsbepalingssysteem aan boord. Nauwkeurige plaatsbepalingssystemen zoals RTK (Real Time Kinematic) of DGPS (Differential Global Positioning System) werken met behulp van een referentiestation aan de wal. De positie van het referentiestation zou landmeetkundig nauwkeurig ingemeten moeten zijn. Het referentiepunt moet, in verband met bijvoorbeeld verzakkingen, regelmatig gecontroleerd worden. Het bepalen van de positie van het schip en het referentiestation gebeurt met behulp van satellieten. Deze metingen zijn niet erg nauwkeurig. Om de metingen nauwkeuriger te maken, wordt er gebruik gemaakt van een referentiestation en fasemetingen. Hiermee komt er een RTK-positie tot stand wat leidt tot een nauwkeurigheid op cm-niveau.

---

**Motion sensor:**

In tegenstelling tot landmeetkundige metingen die veelal statisch zijn, zijn hydrografische metingen dynamisch. Dit komt doordat er tijdens hydrografische metingen gevaren wordt en het schip dus beweegt. De motion sensor bepaalt de roll, pitch en heave die het schip maakt. De yaw kan bepaald worden met behulp van het gyrokompas, maar ook door sommige motion sensoren zoals de Octans.

In paragraaf 3.2 staat meer uitgelegd over de motion sensor.

**Scheepsgeometrie:**

Elke sensor meet ten opzichte van een eigen stelsel van meetassen met bijbehorende oorsprong naar de oorsprong van een ander stelsel. Wat erg belangrijk is, is dat de plaatsbepaling aan boord gekoppeld wordt aan het multibeam echolood. Om dit te doen moet de onderlinge relatie tussen de GPS-antenne en het echolood bekend zijn. Dit kan bepaald worden door het schip landmeetkundig in te meten. De sensoren dienen goed geïntegreerd te zijn in zowel geometrie als tijd (Hughes Clarke, 2004). Het is belangrijk dat deze geometrie klopt. Is dit niet het geval, dan kunnen er systematische fouten ontstaan.

**Geluidssnelheid:**

Om de diepte te bepalen, dient de geluidssnelheid in het water bekend te zijn. De geluidssnelheid wordt bepaald aan de hand van de temperatuur, saliniteit en de druk van het water. Ook kan de geluidssnelheid aan de hand van geleidbaarheid gemeten worden. In paragraaf 3.5 wordt hier meer over uitgelegd.

**Multibeam echolood:**

Het multibeam echolood bepaalt de diepte. Met 'diepte' wordt in dit geval de verticale afstand tussen de transducer en de bodem bedoeld. De transducer van een multibeam echolood zendt een geluidspuls uit. De puls weerkaatst tegen de bodem en komt weer terug bij de transducer. De transducer meet de tijd die de puls er over doet om terug te komen bij de transducer. Deze tijd wordt ook wel de two-way travel time (TWTT) genoemd. De diepte kan bepaald worden met behulp van de volgende formule:

---

$$D = v \cdot (T/2)$$

**Formule 1**

waarbij:            D = lengte van de nadir (m)  
                         v = geluidssnelheid (m/s)  
                         T = two-way travel time (s)

**Timing:**

De tijd speelt in de hydrografie een grote rol. Alle metingen dienen een tijdslabel te krijgen en aan elkaar gekoppeld te worden. Zo moet bijvoorbeeld de gemeten roll, pitch en heave op een bepaald tijdstip gekoppeld worden aan de dieptemeting van datzelfde tijdstip. Indien dit niet gebeurt, kunnen er artefacten ontstaan. In paragraaf 3.4 staat meer hierover uitgelegd.

---

## 2.2 Introductie tot artefacten

Bij een hydrografische survey met een multibeam echolood is het belangrijk dat de stand en de posities van alle sensoren nauwkeurig bepaald zijn. Ook moeten alle time-delays en de geluidssnelheid bekend zijn. Is dit niet het geval, dan ontstaan er fouten in de dieptemeting. Fouten kunnen worden onderverdeeld in systematische fouten en random fouten.

Een random fout is een onregelmatige fout. Deze wordt door de IHO als volgt gedefinieerd [IHO, Hydrographic Dictionary, 1994]:

*“An error whose occurrence depends on the law of chance only”*

Een systematische fout is een regelmatige fout. De definitie hiervan is:

*“An error whose magnitude changes in proportion to known changes in observational conditions”*

Systematische fouten kunnen worden onderverdeeld in statische fouten en dynamische fouten.

Er wordt van een statische fout gesproken wanneer er een constante afwijking te vinden is in de uiteindelijke oplossing van de diepte. Grote statische fouten zijn makkelijk te herkennen.

Statische fouten zijn fouten zoals afwijkingen in de roll en de gyro, refractie van de geluidspulsen of een time-delay in de positionering. Een deel van de statische fouten kan met behulp van een patch test opgelost worden (zie 3.3.4 en 3.3.5).

Dynamische fouten worden ook wel ‘artefacten’ genoemd. Een ‘artefact’ is één van de meest ongewenste fouten in de dieptemeting. Het is een aanwijsbare en periodieke schommeling (oscillatie) van de dieptemeting. Artefacten ontstaan onder andere door fouten in de lever armen, een time-delay van de motion, een verkeerde surface sound speed (sss) of een misalignment (verkeerde oplijning) van de yaw.

In het verleden werd er alleen met presentatiemethoden zoals contouren of schema’s met dieptekleuren gewerkt. Artefacten werden hiermee niet snel opgemerkt. Tegenwoordig zijn de metingen veel nauwkeuriger en wordt er gebruik gemaakt van sun-illumination. Bij sun-illumination kunnen de variaties in de korte golflengten herkend worden. Hierdoor zijn artefacten beter te herkennen.

[Hughes Clarke, 2003e]

Elk type artefact heeft zijn eigen kenmerken. De artefacten waar er in deze scriptie onderzoek naar gedaan wordt, zijn artefacten die ontstaan door:

- Fouten in lever armen in combinatie met roll, pitch en heave
- Time-delay van de motion sensor in combinatie met roll
- Yaw-misalignment in combinatie met roll en pitch
- Fouten in Surface Sound Speed met verschillende transducers
- Fouten in Sound Velocity Profile met verschillende transducers

### 2.3 Definities scheepsassenstelsel en bewegingen

De stand van het schip wordt bepaald met behulp van de drie assen van het scheepsassenstelsel. Deze assen kruisen elkaar in een punt wat het referentiepunt genoemd wordt. Vaak wordt het Centre of Gravity (CoG) als referentiepunt genomen. Dit CoG is de oorsprong van het assenstelsel van de scheepsbewegingen.

De drie assen van het scheepsassenstelsel worden de x-, y- en z-as genoemd.

Rijkswaterstaat gebruikt een andere definitie van het scheepsassenstelsel dan John Hughes Clarke (UNB) en Erik Hammerstad (Kongsberg Maritime AS, zie Hammerstad, 2001). De x- en y-as zijn namelijk precies omgekeerd. De z-as is wel bij beide definities hetzelfde.

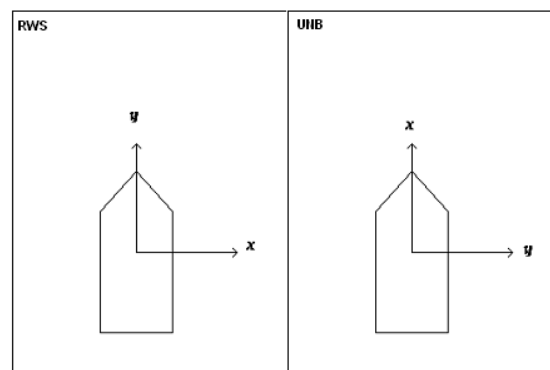
In dit verslag wordt er met het assenstelsel gewerkt zoals John Hughes Clarke en Erik Hammerstad die gebruiken, in de meeste bronnen die in dit verslag gebruikt worden ook met dit assenstelsel gewerkt. Figuur 3 laat het verschil tussen beide scheepsassenstelsels zien.

De x-as van het schip is de lengteas van het schip. De voorzijde van het schip is de positieve kant van de as. De beweging om de x-as heet roll en deze is positief als de bakboordzijde omhoog gaat.

De y-as van het schip is de breedte as van het schip. De stuurboordzijde van de as is de positieve kant. De beweging om de y-as heet pitch en deze is positief als de boeg omhoog gaat.

De z-as van het schip is de verticale as. De positieve kant van de as wijst naar beneden. De beweging om de z-as heet yaw en deze is positief bij een beweging naar stuurboord.

.....  
**Figuur 3 Links: assenstelsel Rijkswaterstaat. Rechts: assenstelsel UNB**



---

Een schip kan zes soorten bewegingen maken; drie om een as en drie langs een as.

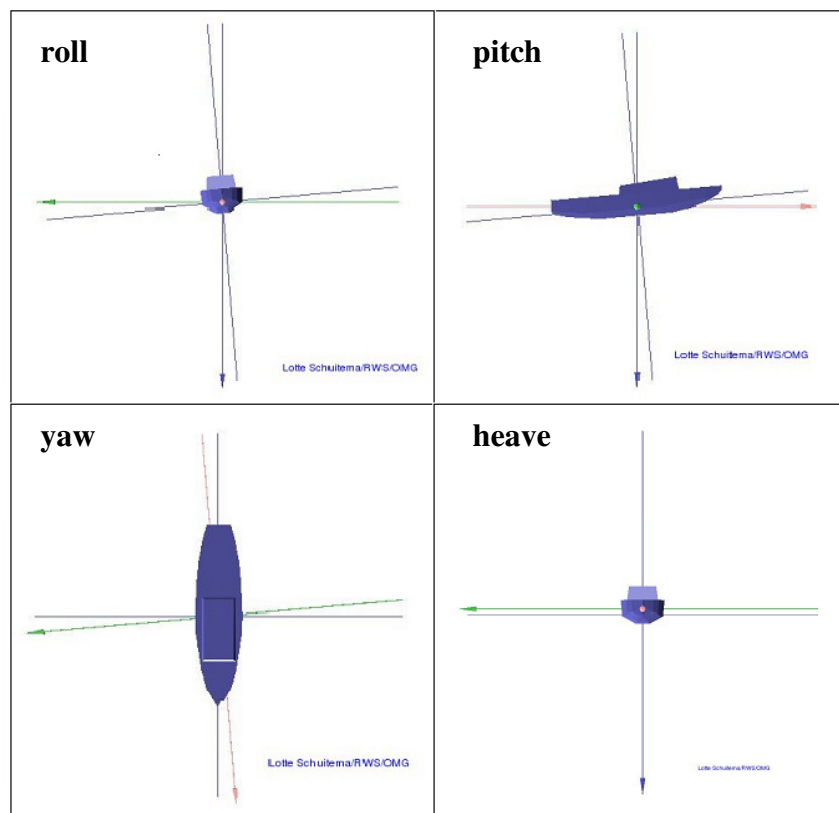
De drie bewegingen om een as zijn de roll, pitch en yaw. En de drie bewegingen langs een as zijn de surge, sway en heave.

De surge is de verplaatsing langs de x-as, sway langs de y-as en heave is de verplaatsing langs de z-as.

Het effect van de surge en sway op een hydrografische dieptemeting is zo klein, dat deze verwaarloosd kunnen worden (Hughes Clarke). In deze scriptie zal er geen rekening gehouden worden met deze bewegingen, maar wel met de heave die wel van invloed is op de dieptemeting. De grootte van de heave wordt in meters uitgedrukt en is positief wanneer het schip naar beneden gaat (Hughes Clarke).

In Figuur 4 zijn de roll (slingeren), pitch (stampen), yaw (gieren) en heave (dompen) in beeld gebracht.

.....  
**Figuur 4 Scheepsbewegingen**





---

## 3. Afzonderlijke foutenbronnen

---

### 3.1 Multibeam Echolood

Er zijn verschillende ontwerpen van multibeam echosounders. Een array van transducers vormt tegelijkertijd meerdere bundels van akoestische pulsen. Hieruit komt een dieptemeting voort. (paragraaf 2.1)

Een multibeam echosounder bestaat uit een zend en een ontvangst array. Een array is opgebouwd uit een aantal transducer elementen die gelijkmatig verdeeld zijn over de array waardoor een breed pad van bundels gecreëerd kan worden. Een ontvangst array bestaat uit hydrofoons die het signaal ontvangen.

Er zijn verschillende soorten arrays; vlak, rond of twee vlakke arrays onder een hoek gemonteerd. Ook hangt het van de array af of de bundels gestuurd worden of niet. Door de verschillende vormen ontstaan verschillende artefacten.

In deze paragraaf wordt het materiaal en het principe van een multibeam echolood behandeld. Hoe een bundel verstuurd en ontvangen wordt, hoe het product van de bundels eruit ziet en de verschillende vormen van multibeam echoloden die bestaan.

#### Bundelvorming

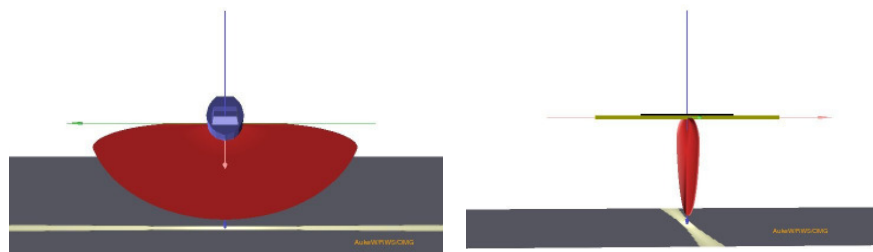
Het vormen van een bundel gebeurt met behulp van een zend array/projector. Een bundel wordt dwars op een array gevormd. Arrays kunnen onafhankelijk van elkaar zenden en ontvangen. Ze worden gebruikt om smalle zend en ontvangst bundels te produceren. Hierdoor ontstaat een waaier van smalle bundels.

#### Zenden bundel

In de zend array, zijn transducer elementen in langsscheepse richting geplaatst waarvan elk element een puls uitzendt. Elke puls produceert een geluidsgolf die samengesteld is uit een serie van drukgolven. Al deze pulsen samen vormen een verticale bundel in de vorm van een waaier. [Farr, 1980] (Figuur 5).

---

**Figuur 5** Vooraanzicht en zijaanzicht verzonden bundel



De transducer elementen staan in langsscheepse richting zodat een smalle bundelbreedte in langsscheepse richting ontstaat en een brede

bundelbreedte in dwarsscheepse richting (Figuur 5). De bundelbreedte voor een zend array is ongeveer 1 tot 2 graden in de langsscheepse richting en 150 graden of meer in de dwarsscheepse richting.

Elke individuele bundel moet naar de zeebodem en terug zijn gegaan voordat de volgende bundel verzonden kan worden. Om de frequentie (in pings per seconde) te bepalen waarin de bundels verzonden kunnen worden, wordt de puls repetition frequency (PRF) gebruikt en kan als volgt bepaald worden:

.....  
**Formule 2**

$$PRF = \frac{c \cos(\varphi_{\max})}{2d}$$

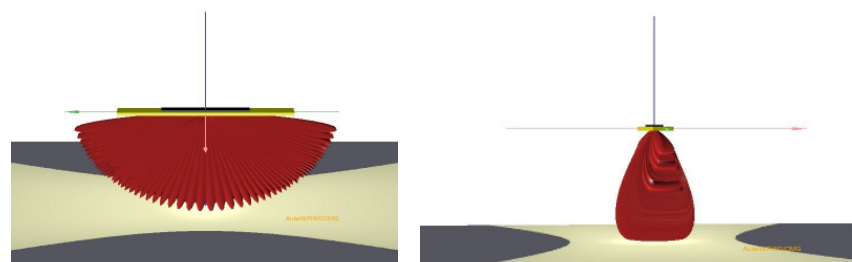
Hierin is:      c                      = geluidssnelheid in meter per seconde  
                   d                      = waterdiepte in meters  
                    $\varphi_{\max}$                 = de grootste hoek van de bundels ten opzichte van de verticaal onder het schip in graden

Voorbeeld:    c                      = 1500 m/s  
                   d                      = 10 meter  
                    $\varphi_{\max}$                 = 70 graden  
                    $\cos(\varphi_{\max})$         = 0,34  
                   PRF                    = 25,5 Hz

**Ontvangen bundel**

De ontvangst array bestaat uit een aantal hydrofoons die dwarsscheeps gemonteerd zijn. Hierdoor krijgt de ontvangst array een serie van ontvangstbundels die in langsscheepse richting worden ontvangen (Figuur 6). De ontvangstbundels samen, creëren een waaier in dwarsscheepse richting. De ontvangst bundels zijn 0,5 tot 3 graden breed in de dwarsscheepse richting en 20 graden in de langsscheepse richting.

.....  
**Figuur 6 Vooraanzicht en zijaanzicht ontvangen bundel**



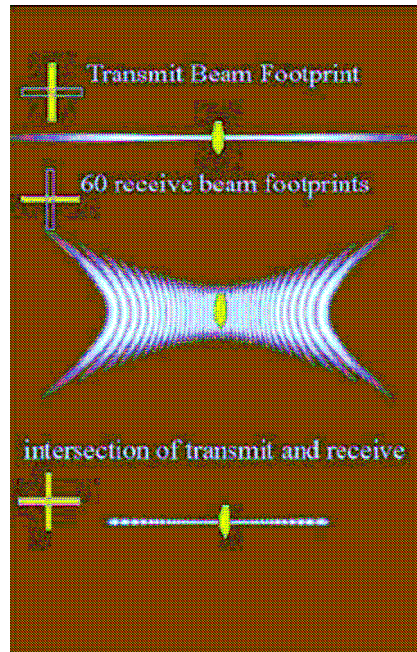
---

### Product van de verzonden en ontvangen bundel

Het gebied op de bodem waar de verzonden bundel en de ontvangst bundel elkaar overlappen wordt de "footprint" genoemd. Hiervan zal de diepte gemeten worden [IHO M-13]. In Figuur 7 wordt het product van meerdere zend en ontvangst bundels weergegeven [Hughes Clarke, 2003b]

De grootte van de "footprint" is afhankelijk van de diepte, de bundelbreedte en de uitzendhoek. Hoe groter de diepte, de bundelbreedte of de uitzendhoek, hoe groter het oppervlakte van de footprint. Hoe kleiner de diepte, de bundelbreedte of de uitzendhoek, hoe kleiner het oppervlakte van de footprint.

.....  
Figuur 7 Product van zend en ontvangst bundels



### Sturen bundel

Bundel sturing wordt gebruikt om bundels onder een bepaalde hoek te ontvangen.

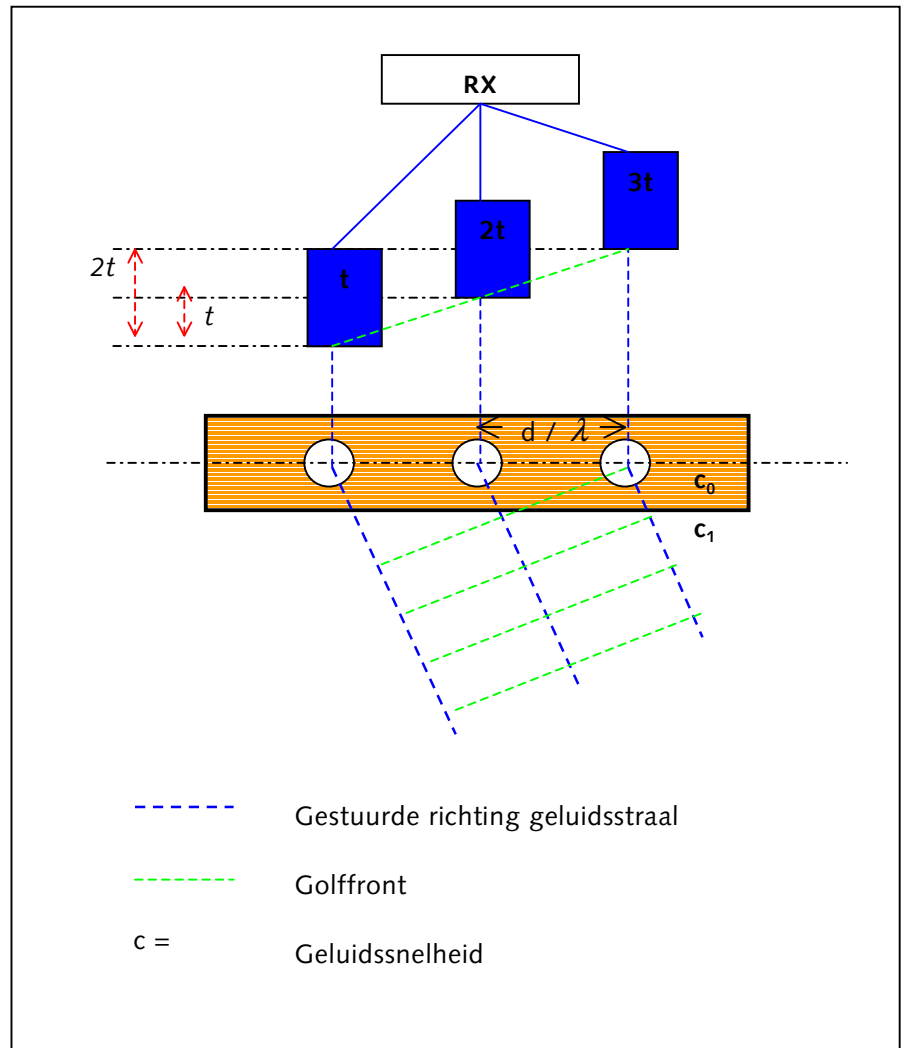
Dit wordt gebruikt om een brede swath te creëren. Of bundelsturing kan gebruikt worden om voor scheepsbewegingen zoals yaw, roll of pitch te corrigeren [Kammerer, 1996].

Er zijn drie verschillende methoden om een bundel onder een hoek te sturen: time delay, fase delay en een fouriertransformatie [Kammerer, 1996]. Dit wordt meestal elektronisch bereikt.

Een nadeel van bundelsturing is dat de precieze gestuurde hoek afhankelijk is van de geluidssnelheid aan de oppervlakte. Wanneer de geluidssnelheid bij de kop van de transducer niet juist bekend is, kan er refractie optreden. Dit komt doordat de geluidssnelheid in het materiaal van een transducer verschillend is aan de geluidssnelheid in water. Een bundel die loodrecht op een vlak ontvangen wordt, heeft geen last van refractie. Hoe groter de gestuurde hoek wordt, hoe groter de invloed van een fout in geluidssnelheid wordt (paragraaf 3.5).

Beam steering wordt toegepast tijdens ontvangst. In Figuur 8 wordt bundelsturing door middel van time-delays weergegeven [de Moustier, 1999]

Figuur 8 Bundelsturing door middel van time-delays



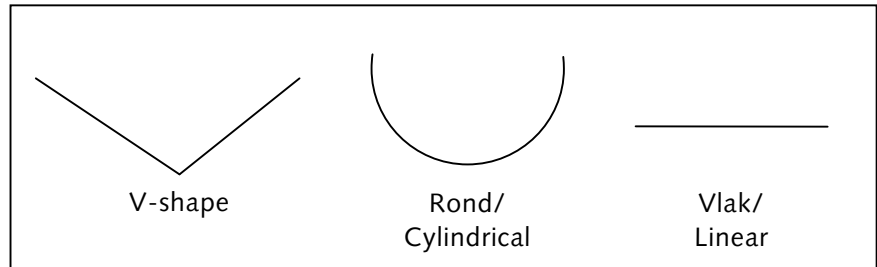
---

### 3.1.1. Vormen van een array

Volgens Harre (1992) kunnen er drie soorten configuraties worden onderscheiden (Figuur 9), wanneer het over aan schepen gemonteerde multibeam echolood systemen gaat.

Deze drie soorten configuraties zijn vlakke arrays, ronde arrays of twee vlakke arrays elk onder een hoek gemonteerd.

.....  
**Figuur 9 soorten arrays**



#### Ronde Array

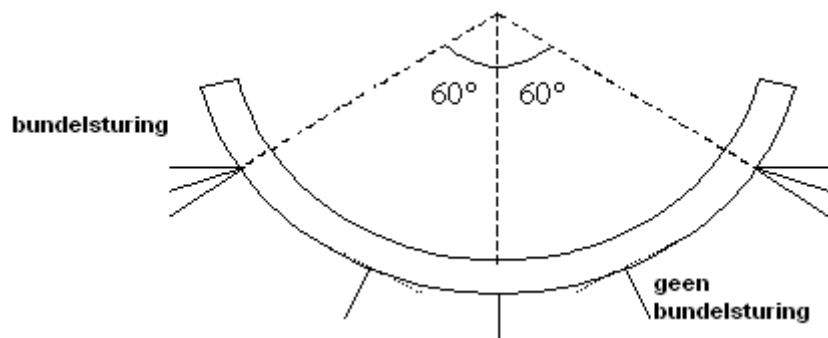
Ronde arrays gebruiken de vorm van de array om de bundels als een waaier te versturen. De bundels worden niet gestuurd Dit betekent dat het signaal loodrecht op elke transducer ontvangen wordt. Er wordt een richting aan elke bundel gegeven doordat de array rond is, en elke transducer onder een andere hoek uitzendt.

Bij sommige ronde arrays is de array niet lang genoeg om aan de zijkanten nog een bundel te vormen. In de laatste set van elementen worden bij deze ronde arrays de bundels wel gestuurd (Figuur 10).

Bij een ronde array kan zowel fase als amplitude detectie toegepast worden. Voor de binnenste bundels wordt amplitude detectie gebruikt en voor de buitenste gestuurde bundels wordt fase detectie gebruikt.

Voorbeelden van multibeam echoloden die gebruik maken van een ronde array zijn bijvoorbeeld Simrad EM100/950/1000/1002 of een Reson Seabat serie 8101/9000.

.....  
**Figuur 10 Ronde array met bundelsturing**



---

Bij het gebruik van een verkeerde geluidssnelheid bij de kop van de transducer worden er fouten veroorzaakt in de hoek voor de bundels die gestuurd worden (Zie paragraaf 3.5). De bundels die niet gestuurd worden, ontvangen loodrecht op de transducer, en hebben daardoor geen last van breking bij het uitzenden. (Zie paragraaf 3.5 Geluidssnelheid.)

### Vlakke array

De meeste vlakke arrays die horizontaal geïnstalleerd zijn, kunnen bundels sturen tot ongeveer 75 graden vanaf nadir. Maar hoe groter de hoek, hoe groter de gevoeligheid van de bundels voor geluidssnelheid veranderingen is.

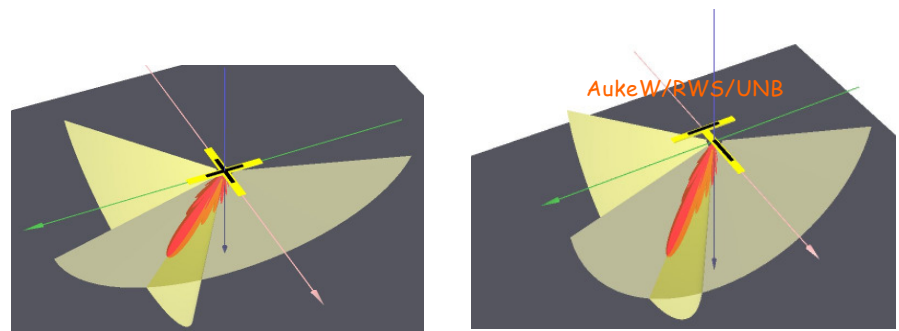
Een vlakke sonar kan uit twee lijnen van transducers bestaan die loodrecht op elkaar staan, in de vorm van een Mills Cross.

### Mills Cross

Een Mills cross bestaat uit twee lineaire arrays die loodrecht op elkaar staan. Deze configuraties worden meestal gebruikt in een vlakke configuratie. Waarbij de array die zendt in langsscheepse richting staat, en de array die ontvangt in dwarsscheepse richting staat. Bijvoorbeeld in de vorm van een X (Figuur 11) of in de vorm van een T. Deze worden dan ook Mills X en Mills T genoemd.

Multibeam sonar systemen die een smalle footprint produceren, zijn gebaseerd op een Mills X of T configuratie.

.....  
**Figuur 11 Mills X en Mills T**

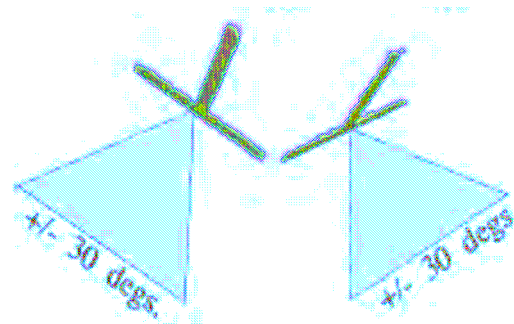


Een voorbeeld van een vlak multibeam echolood is een Simrad EM3000S of een Reson Seabat 8125.

### Dual head transducer sonar

Hierbij zijn twee vlakke configuraties (bijvoorbeeld arrays in een Mills T configuratie) onder een hoek gemonteerd (zie Figuur 12). Hierdoor ontstaat een grotere dekking. [Kammerer, 2000]

.....  
**Figuur 12 Twee mills T configuraties**



---

Een voorbeeld van een multibeam echolood dat gebruikt maakt van een dubbele vlakke array is een Simrad EM3000D.

## 3.2 Motion sensor

### 3.2.1. Werking van een motion sensor

Motion sensoren kunnen opgebouwd zijn uit drie versnellingsmeters en drie hoeksnelheidsmeters.

De motion sensor is aan het schip bevestigd en dus maken de versnellingsmeters en hoeksnelheidssensoren dezelfde bewegingen als het schip. Ze zijn dus vast in het assenstelsel (coördinatenstelsel) van het schip geplaatst, zodanig dat de sensoren de bewegingen langs en om de assen kunnen meten.

De versnellingsmeters meten de lineaire versnelling langs de x-, y- en z-as waarmee respectievelijk de surge, sway en heave berekend worden door dubbele integratie van de lineaire versnelling.

De hoeksnelheidssensoren meten de beweging om de assen en zo kunnen respectievelijk roll, pitch en yaw bepaald worden.

De meeste motion sensoren zijn opgebouwd uit slechts één versnellingsmeter, namelijk langs de verticale as (voor het bepalen van de heave). Het bepalen van de surge en sway is niet belangrijk, aangezien deze een zeer gering effect hebben op de dieptemeting [Hughes Clarke]. Ook hebben sommige motion sensoren maar twee hoeksnelheidssensoren voor het bepalen van de roll en pitch. De yaw wordt vaak gemeten door het gyrokompas [IHO, 2005, p. 133].

De data vanuit de hoeksnelheidssensoren zijn 'low-pass' gefilterd. Low-pass filters zijn filters die frequenties er uit halen die groter zijn dan de ingestelde frequentie. Duidelijke verticale fouten die ontstaan door bijvoorbeeld snel te draaien, snelheidsvariaties of deiningen worden er uit gefilterd bij low-pass filters. Frequenties die kleiner zijn dan de ingestelde frequentie worden wel doorgelaten. De ingestelde frequentie wordt de 'cut-off frequentie' genoemd. De cut-off frequentie moet afgesteld staan op een waarde waarbij lange golven ontdekt kunnen worden zonder de kortere golven te verwijderen.

Er zijn ook 'high-pass filters'. Bij deze filters worden juist frequenties die kleiner zijn dan de ingestelde frequentie er uit gefilterd.

Hoeksnelheidssensoren zijn high-pass gefilterd.

Door het high-pass filter en het low-pass filter te combineren en het verband te leggen tussen deze twee passbanden (passbanden: het deel van frequenties dat tussen deze twee ingestelde (low-pass en high-pass) frequenties in ligt, wordt de correctie door de motion sensor toegepast [IHO, 2005, p. 133]

---

### 3.2.2. Installatie van een motion sensor

De motion sensor meet de bewegingen van het schip. Het is daarom belangrijk dat de motion sensor op de juiste manier en op de juiste plek geïnstalleerd wordt.

Bij de installatie van de motion sensor draait het om het goed bepalen van de onderlinge relaties, in XYZ, tussen motion sensor en het Centre of Gravity of tussen de motion sensor en de transducer van het multibeam echolood.

Uit de literatuur [Coda Octopus Group Inc, (2005), Hughes Clarke, (2003b), IXSEA, (2005), QPS BV] en uit gesprekken met verschillende experts (Ixsea, Coda Octopus, Hughes Clarke) blijkt dat de een motion sensor bij voorkeur op twee plaatsen geïnstalleerd kan worden. Dit zijn bij het Centre of Gravity of dichtbij de transducer. Deze twee plekken hebben elk hun eigen voor- en nadelen.

#### **Installatie bij het Centre of Gravity (CoG)**

Uit het literatuuronderzoek is naar voren gekomen dat de beste plaats om een motion sensor te plaatsen het CoG is. De reden hiervoor is dat de motion sensor op deze plek de minste bewegingen maakt. Dit is erg belangrijk voor het bepalen van de heave-component. Uit gesprekken met experts is naar voren gekomen dat de exacte plaats van het CoG niet altijd even eenvoudig is vast te stellen.

Voordat een schip te water gelaten wordt, wordt de plaats van het CoG berekend uit de resultaten van een hellingproef. Deze plaats wordt daarna in het lijnenplan van het vaartuig aangegeven. Dit wil niet zeggen dat het CoG zich altijd exact op deze plaats van het schip bevindt, maar het zal er nooit ver vandaan zijn [TU Delft].

Daarnaast kan het voorkomen dat de fysieke afstand tussen motion sensor en transducer erg groot wordt, aangezien de transducer vrijwel nooit in de buurt van het CoG ligt. De kans op foute lever armen wordt dan groter. Foute afstanden leiden tot lever arm gerelateerde fouten. In hoofdstuk 4 wordt dieper ingegaan op het effect van lever arm fouten op de diepte en positie bij scheepsbewegingen. In Figuur 13 is een motion sensor te zien die vlakbij het CoG geïnstalleerd is.



---

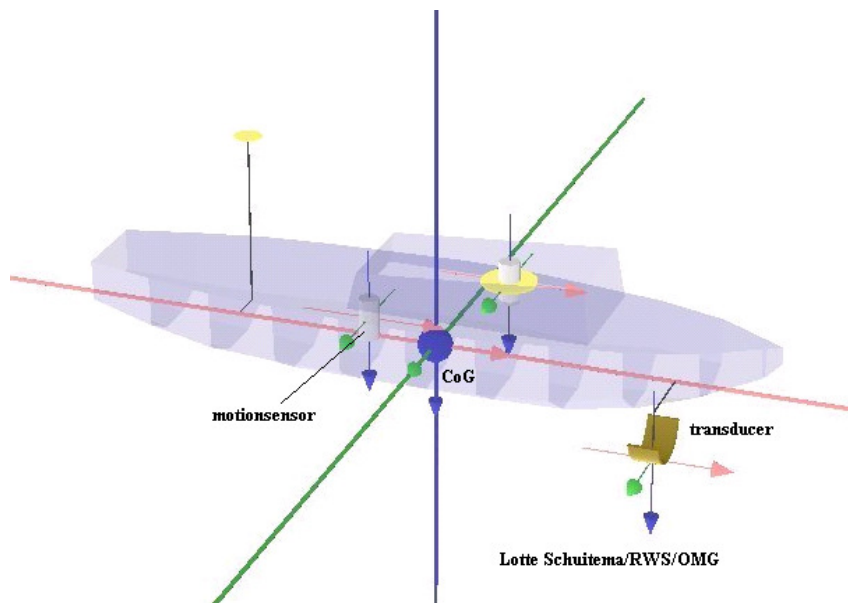
### Installatie bij de transducer

Een alternatief is om de motion sensor dicht bij de transducer te plaatsen. Dit vereenvoudigt de reeds eerder genoemde onderlinge geometrische relaties. Een nadeel hiervan is wel dat het effect van de roll en pitch groter is dan bij het CoG.

In het algemeen geldt dat er bij de installatie van een motion sensor op het volgende gelet moet worden:

- Zorg dat de motion sensor bevestigd is op een stevige plaats
- Zorg dat de lever armen nauwkeurig bepaald zijn (zie §3.3)
- Zorg dat de stand van de motion sensor in het scheepsassenstelsel erg nauwkeurig bepaald is (zie 3.2.3)
- Zorg voor nauwkeurige time stamping om vertraging (latency) te voorkomen (zie §3.4)
- Zorg dat de snelheid van de data-overdracht (baudrate) tussen de motion sensor en de software hoog is om de vertraging zo klein mogelijk te houden. Hoe hoger de snelheid, hoe beter
- Zorg dat de motion sensor zo weinig mogelijk storing ondervindt van elektromagnetische velden en dus zo ver mogelijk van eventuele bronnen geïnstalleerd wordt [Hughes Clarke, 2003b]

.....  
**Figuur 13 Motion sensor vlakbij het CoG geïnstalleerd.**



### 3.2.3. Oplijnen van motion sensor aan het scheepsassenstelsel

Bij het oplijnen van de motion sensor aan het scheepsassenstelsel, worden de hoeken ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) bepaald tussen de assen van de motion sensor en de assen van het scheepsassenstelsel. In Figuur 14 (linker figuur) staat hoek  $\alpha$  aangegeven die bepaald moet worden om de motion sensor op te lijnen aan de x-as van het scheepsassenstelsel. Hoek  $\beta$  en  $\gamma$  worden op dezelfde manier bepaald. Deze hoeken dienen dan ingevoerd te worden in het surveyprogramma.

### 3.2.4. Functie van de patch test

Wanneer de motion sensor geïnstalleerd is en opgelijnd is aan het scheepsassenstelsel, is het systeem nog niet klaar voor gebruik. Er zal eerst nog een patch test uitgevoerd moeten worden. Met de patch test kunnen de afwijkingen bepaald worden (zie Figuur 14, rechter figuur).

Dit zijn:

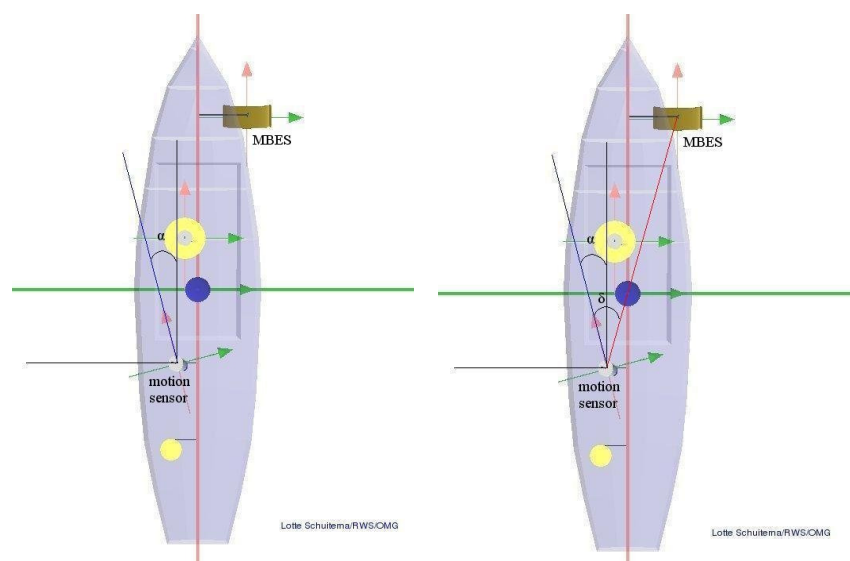
- de misalignment van de yaw tussen de transducer en de motion sensor (headingsensor). Deze hoek wordt ook wel  $\delta$  genoemd
- de misalignment van de pitch tussen de transducer en de motion sensor (pitchsensor). Dit wordt aangegeven met  $\epsilon$
- de misalignment van de roll tussen de transducer en de motion sensor (rollsensor) wat  $\zeta$  genoemd wordt
- de time-delay tussen de GPS-tijd en de klok van het multibeam echolood

Voordat er een patch test uitgevoerd kan worden, moet er al het een en ander bekend zijn. Namelijk:

- De stand van de motion sensor ten opzichte van het scheepsassenstelsel
- De offsets van alle sensoren in het scheepscoördinatenstelsel
- De andere time-delays; bijvoorbeeld tussen de transducer en de motion sensor
- De surface sound speed
- Het geluidssnelheidsprofiel

Is een van bovenstaande punten niet bepaald of niet goed bepaald, dan kan dit resulteren in een constante afwijking of een tijdsafhankelijke fout in de uiteindelijke dieptemeting. [Hughes Clarke, 2003A]

.....  
**Figuur 14** Tijdens het oplijnen van de motion sensor wordt o.a. hoek  $\alpha$  bepaald, tijdens de patch test o.a. hoek  $\delta$ .



### 3.2.5. Uitvoeren van de patch test

De volgorde waarin de onderdelen van de patch test worden uitgevoerd is belangrijk. De afwijking die het meest nauwkeurig bepaald moet worden, wordt als laatste bepaald. Als eerste moet de time-delay bepaald worden, daarna de pitch, als derde de yaw en als laatste de roll.

Hieronder wordt beschreven hoe deze hoeken en de time-delay bepaald worden.

#### Time-delay

Voor het bepalen van de time-delay tussen de GPS-tijd en de klok van het multibeam echolood moet er tweemaal dezelfde raai gevaren worden in een gebied waarbij de bodem een constante helling heeft. Hoe steiler de bodem loopt, hoe nauwkeuriger de time-delay bepaald kan worden. In de praktijk wordt er in plaats van een helling ook wel gewerkt met een object dat op de bodem ligt, of met een geul in de bodem.

Eén raai wordt langzaam gevaren en de ander snel. Door tweemaal dezelfde raai te varen, wordt de invloed van de pitch voorkomen. De time-delay kan bepaald worden door de verplaatsing van het schip in beide raaien binnen een bepaalde tijd te meten.

Het beste is om de time-delay in een ondiep water te bepalen, zodat er zoveel mogelijk hits zijn. De time-delay kan met behulp van een patch test tot op ongeveer 0.05 seconden (50 ms) nauwkeurig bepaald worden. In Figuur 15 staat de kalibratie van de time-delay getekend. Dit is met de volgende formule te berekenen:

Formule 3

$$\delta t = \frac{\Delta x}{v_2 - v_1}$$

Waarbij:

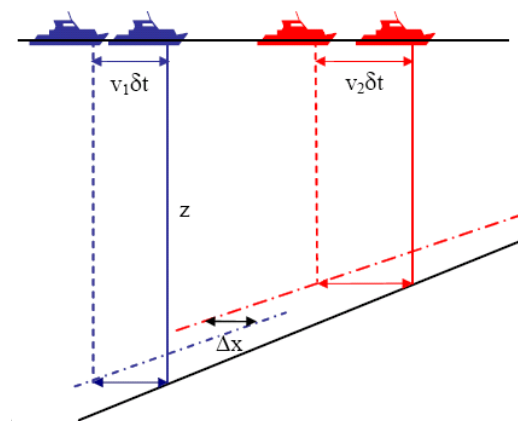
$\delta t$  = time-delay (s)

$\Delta x$  = horizontale afstand tussen de twee profielen(m)

$v_1$  = snelheid van het schip in lijn 1 (m/s)

$v_2$  = snelheid van het schip in lijn 2 (m/s)

Figuur 15 De twee profielen die ontstaan door de gevaren lijnen bij het bepalen van de time-delay [IHO, 2005, p.170]



---

## Pitch

Om de pitch te bepalen, moet er twee maal dezelfde raai met een kleine snelheid gevaren worden. Deze surveylijnen moeten in tegenovergestelde richting gevaren worden. Net als bij het bepalen van de time-delay, moet de bodem ook bij de pitch een constante helling hebben. En ook hierbij het liefst zo steil mogelijk. Het beste is om de pitch in een diep water te bepalen. Om de invloed van de time-delay te voorkomen, moet de time-delay al gekalibreerd zijn. Indien de time-delay perfect bepaald is, kan de pitch tot op ongeveer 1° nauwkeurig bepaald worden. Het beste is om de buitenste bundels van de swath niet te gebruiken bij het bepalen van de pitch. Een bundel van ongeveer 30° is goed om te gebruiken [Hughes Clarke]. In Figuur 16 staat de kalibratie van de pitch getekend.

De pitch wordt als volgt bepaald:

.....  
Formule 4

$$\delta\varphi_p = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{2 \cdot z}\right)$$

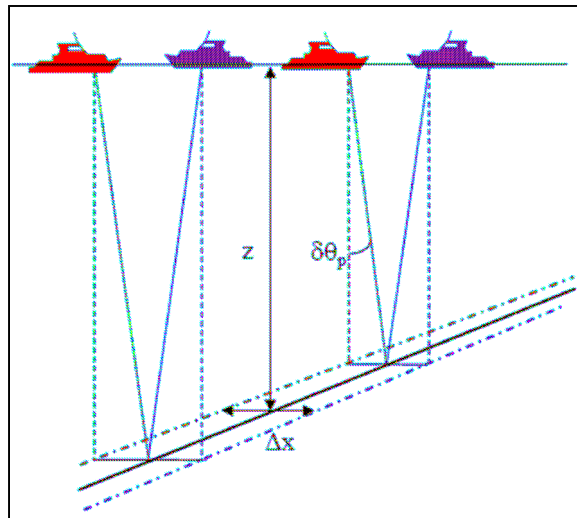
Waarbij:

$\delta\varphi_p$  = pitch offset (°)

$\Delta x$  = horizontale afstand tussen de twee profielen(m)

$z$  = diepte (m)

.....  
Figuur 16 De profielen die ontstaan door de gevaren lijnen bij het bepalen van de pitch [IHO, 2005, p.171]



---

### Yaw

De yaw wordt bepaald door twee aangrenzende surveylijnen in tegenovergestelde richting te varen. Beide lijnen moeten met dezelfde snelheid gevaren worden. De bodem moet hierbij vlak zijn. Het beste is om maar de helft van de bundelbreedte te gebruiken tijdens het bepalen van de yaw. De diepte van het water maakt voor het bepalen van de yaw niet uit [Hughes Clarke]. In Figuur 17 staat de kalibratie van de yaw getekend. De yaw kan op de volgende manier berekend worden:

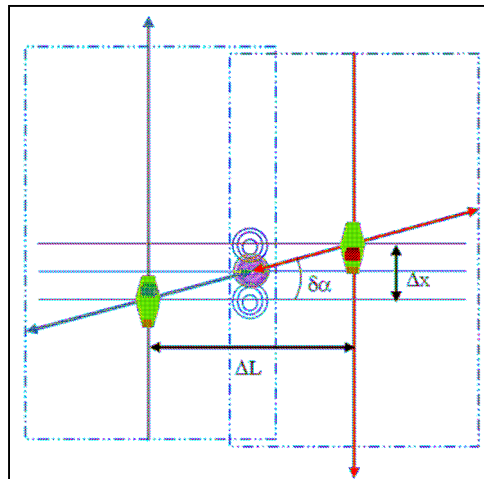
.....  
Formule 5

$$\delta\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta L}\right)$$

Waarbij:

- $\delta\alpha$  = de yaw-offset (°)  
 $\Delta x$  = langsscheepse afstand tussen de punten van waar uit het object gezien wordt (m)  
 $\Delta L$  = afstand tussen de twee lijnen (m)

.....  
Figuur 17 De twee profielen die ontstaan door de gevaren lijnen bij het bepalen van de yaw [IHO, 2005, p.172]



---

## Roll

Aangezien de roll de belangrijkste hoek is die nauwkeurig opgelijnd moet zijn, kan deze het best als laatste bepaald worden wanneer de andere waarden al bekend zijn.

De roll wordt bepaald door één surveylijn in beide richtingen te varen zodat er een overlapping ontstaat. Verder moet er een vlakke bodem aanwezig zijn. Net als bij het bepalen van de yaw, maakt de diepte van het water niet uit voor het bepalen van de roll. De nauwkeurigheid waarmee de roll bepaald kan worden, is nooit beter dan de nauwkeurigheid van de motion sensor [Hughes Clarke]. In Figuur 18 staat de kalibratie van de roll getekend.

De roll-offset kan met de volgende formule worden opgelost:

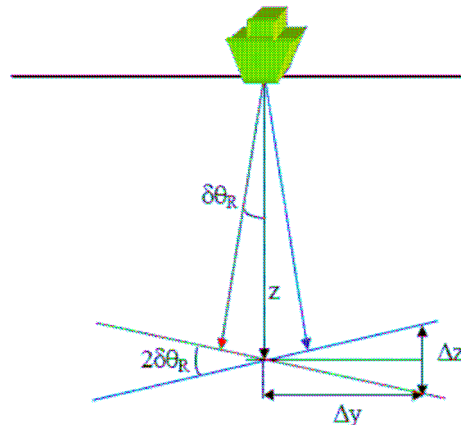
.....  
Formule 6

$$\delta\varphi_R = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta z}{2 \cdot \Delta y}\right)$$

Waarbij:

- $\delta\varphi_R$  = roll-offset (°)  
 $\Delta z$  = verticale afstand tussen de twee buitenste bundels (m)  
 $\Delta y$  = breedte van de swath (m)

.....  
Figuur 18 De twee profielen die ontstaan door de gevarenlijnen bij het bepalen van de roll [IHO, 2005, p.173]



---

### 3.3 Lever armen

Om de relaties van bepaalde punten binnen het scheepsassenstelsel vast te leggen, worden er lever armen gebruikt. Een lever arm is een afstand langs de x-as, y-as en z-as van het scheepsassenstelsel vanaf het referentiepunt tot een ander punt [Hughes Clarke]. Als oorsprong kan de motion sensor of het Centre of Gravity genomen worden.

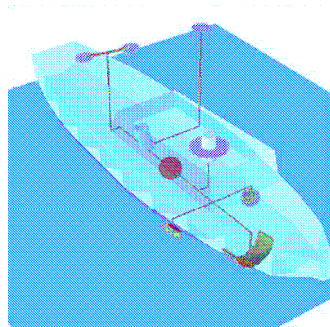
Fouten in de lever arm leiden tot induced heave errors en dieptefouten van het multibeam echolood. Om de induced heave errors en dieptefouten zo klein mogelijk te houden, dienen de lever armen nauwkeurig bepaald te worden.

De 'induced heave error' is de dieptefout van het effect van foute lever armen dat veroorzaakt wordt door de roll en pitch [Godin, 1997]. Voor een induced heave error die veroorzaakt wordt door de pitch geldt dat een korte lever arm langs de x-as zal een kleinere heave veroorzaken dan een grote lever arm langs de x-as. In paragraaf 4.2.1 staat meer uitgelegd over de induced heave error.

Ditzelfde geldt ook voor een induced heave error dat veroorzaakt wordt door de roll. Een korte lever arm langs de y-as zal een kleinere induced heave error veroorzaken dan een grote lever arm langs de y-as [IXSEA, 2005].

Sinds de komst van RTK GPS, kunnen posities van het schip op centimeter niveau bepaald worden. Voordat punten binnen het scheepsassenstelsel bepaald kunnen worden, moet eerst het scheepsassenstelsel zelf bepaald zijn. In dit scheepsassenstelsel worden de verschillende vlakken door de assen vastgelegd. Bij het bepalen van de lever armen wordt er in het scheepsassenstelsel gewerkt (Zie Figuur 19). Het aanmaken van een lokaal stelsel wordt gedaan met behulp van bootgeometrie. Hierbij worden er afstanden en hoeken gemeten (kunnen met behulp van een tachymeter bepaald worden).

.....  
**Figuur 19 Lever armen**  
[Hughes Clarke, 2003a]



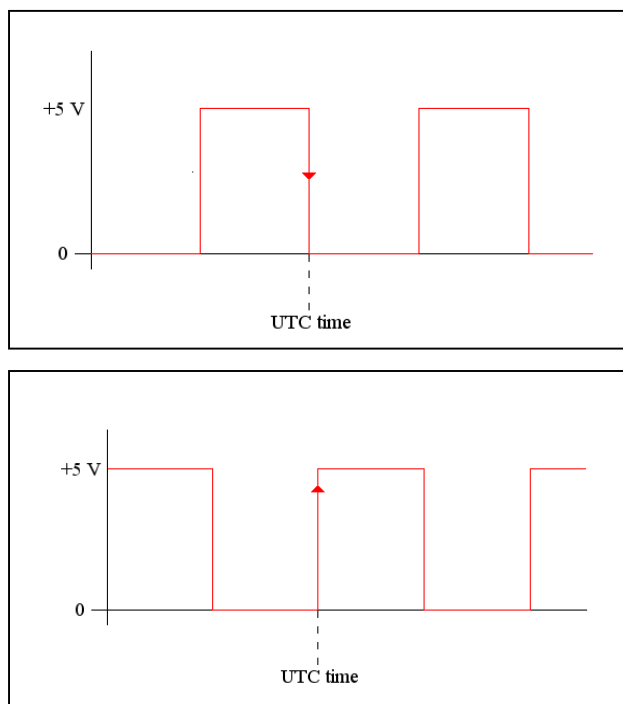
---

### 3.4 Het principe van timing

In de hydrografie is het niet alleen belangrijk dat alle geografische gegevens bekend zijn. Ook de tijd speelt een grote rol. Er moet een tijdsraamwerk opgesteld worden waarin alle metingen gekoppeld worden aan de tijd.

Het aanhangen van het meettijdstip aan sensoren, wordt 'timing' genoemd. Timing is meestal gebaseerd op een 1 PPS (Pulse Per Second) signaal wat betekent dat er per seconde één signaal wordt uitgezonden. Dit signaal is een elektronische puls dat door de GPS-ontvanger wordt uitgezonden en een duur heeft van een aantal milliseconden. Het PPS-signaal bestaat uit een opgaande flank en een neergaande flank (Figuur 20). Welke flank er wordt gebruikt, maakt niet uit. Als er maar wel bekend is welke flank er gebruikt wordt [QPS BV., 2007].

.....  
**Figuur 20 PPS-signaal met neergaande en opgaande flank [Ixsea]**



Elke sensor heeft een andere update rate voor het uitzenden van data. Een GPS-ontvanger stuurt één keer per seconde een puls uit. Bij een motion sensor kan dit variëren van 1 tot 40 keer per seconde en bij een multibeam echolood is dit afhankelijk van de diepte. In diepe wateren, zal de frequentie kleiner zijn dan in ondiepe wateren. De tijd waarin deze pulsen uitgezonden worden, dient een label te krijgen. De tijd wordt geregistreerd in milliseconden.



---

De absolute UTC-tijd wordt overgedragen over een seriële poort vanuit de GPS-ontvanger. Timestamps worden voor of na de puls verzonden. Dit is afhankelijk van hoe de fabrikant het instelt. Sommige ontvangers hebben time-offsets tussen de tijd van het bericht en de tijd van de puls.

Elke sensor heeft zijn eigen time-delay. Een time-delay is de tijd tussen het meetmoment in de sensor en het moment dat deze in de computer of een andere sensor geregistreerd wordt.

De time-delay dient te worden ingevoerd in het surveyprogramma of in het instrument zelf. Wel moet men er voor oppassen dat de time-delay niet in beide wordt ingevoerd. Hoe groot een time-delay is, wordt bepaald door de fabrikant die het in een laboratorium heeft laten onderzoeken [QPS BV., 2007].

Time-delays ontstaan door:

Sensoren:

- GPS
- Motion sensor
- Gyrokompas
- Multibeam echolood

Interface / Hardware:

- (Multi) IO boards
- Netwerk
- USB

Software:

- Windows
- Surveyprogramma

In deze scriptie wordt alleen aandacht geschonken aan de time-delays die veroorzaakt worden door de motion sensor en de time-delay tussen de GPS en het multibeam echolood.

De time-delay tussen de GPS en het multibeam echolood kan met behulp van een patch test bepaald worden. Hoe de patch test uitgevoerd, moet worden, wordt behandeld in §3.2.5.

---

### 3.5 Geluidssnelheid

Om een juiste dieptemeting te kunnen doen met een multibeam echosounder, is het belangrijk om de juiste geluidssnelheid te weten. De geluidssnelheid wordt voor verschillende berekeningen gebruikt. Een multibeam echolood die bundelsturing toepast (paragraaf 3.1), gebruikt de geluidssnelheid aan het oppervlak van de waterkolom (Surface Sound Speed, SSS) voor de berekening van de richting waarin het signaal ontvangen wordt. Vervolgens wordt de geluidssnelheid aan de oppervlakte ook gebruikt om de richting van het signaal te bepalen. Waarna vervolgens de geluidssnelheid in de waterkolom (Sound Velocity Profile, SVP) gebruikt wordt om de richting van de refractie van het signaal te bepalen.

Er kunnen artefacten ontstaan door gebruik van een onjuiste geluidssnelheid. Wanneer de geluidssnelheid aan de oppervlakte niet correct bekend is, kan het signaal in een verkeerde richting uitgezonden worden. Bij gebruik van een onjuist geluidssnelheidsprofiel kan er een onjuiste two-way travel time en richting van het signaal ontstaan, waaruit smileys en frowns kunnen ontstaan.

Om artefacten die door gebruik van een onjuiste SSS of SVP ontstaan te kunnen analyseren, wordt in dit hoofdstuk een theoretisch kader gegeven over geluidssnelheid.

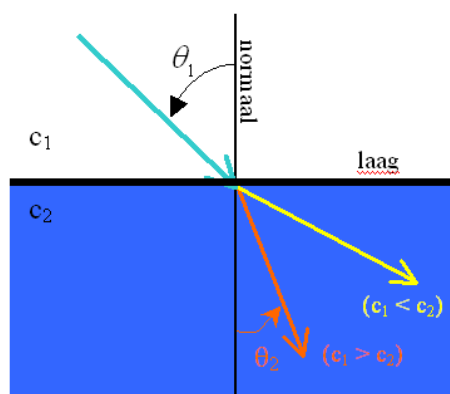
#### 3.5.1. Wet van Snellius

De Wet van Snellius bepaalt de refractie tussen twee lagen met een verschillende geluidssnelheid. Bij refractie verandert de richting van een geluidssignaal. Hiermee dient rekening gehouden te worden om afstanden en hoeken voor een diepteberekening juist te bepalen.

Refractie is de breking van een geluidssignaal bij het passeren van een grensvlak van lagen met een verschillende geluidssnelheid. Wanneer de geluidssnelheid toeneemt, verandert de richting van de normaal af en wanneer de geluidssnelheid afneemt, verandert de richting naar de normaal toe. In een waterkolom kan refractie ontstaan wanneer de geluidssnelheid verandert door een verandering in temperatuur, zoutgehalte of dichtheid.

In Figuur 21 wordt een grafische weergave van de Wet van Snellius gegeven.

.....  
Figuur 21 Wet van Snellius



---

De Wet van Snellius luidt:

.....  
**Formule 7**

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

$\varphi_1$  = de hoek van inval ten opzichte van de normaal

$\varphi_2$  = de hoek van refractie ten opzichte van de normaal

$c_1$  = de geluidssnelheid in de eerste laag

$c_2$  = de geluidssnelheid in de tweede laag

De Wet van Snellius kan ook in een andere vorm geschreven worden:

.....  
**Formule 8**

$$\frac{\cos \varphi_2}{c_2} = \frac{\cos \varphi_1}{c_1}$$

$\varphi_1$  = de hoek van inval ten opzichte van de normaal

$\varphi_2$  = de hoek van refractie ten opzichte van de normaal

$c_1$  = de geluidssnelheid in de eerste laag

$c_2$  = de geluidssnelheid in de tweede laag

**Voorbeeld Wet van Snellius:**

$\varphi_1 = 15$  graden

$\varphi_2 = 75$  graden

$c_1 = 1442$  m/s

$c_2 = 1448$  m/s

**Wet van Snellius<sup>1</sup>:**

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

$$\varphi_2 = \arcsin\left(\frac{(\sin \varphi_1 * c_2)}{c_1}\right)$$

$$\varphi_2 = \arcsin\left(\frac{(\sin(15) * 1448)}{1442}\right) = 15,064^\circ$$

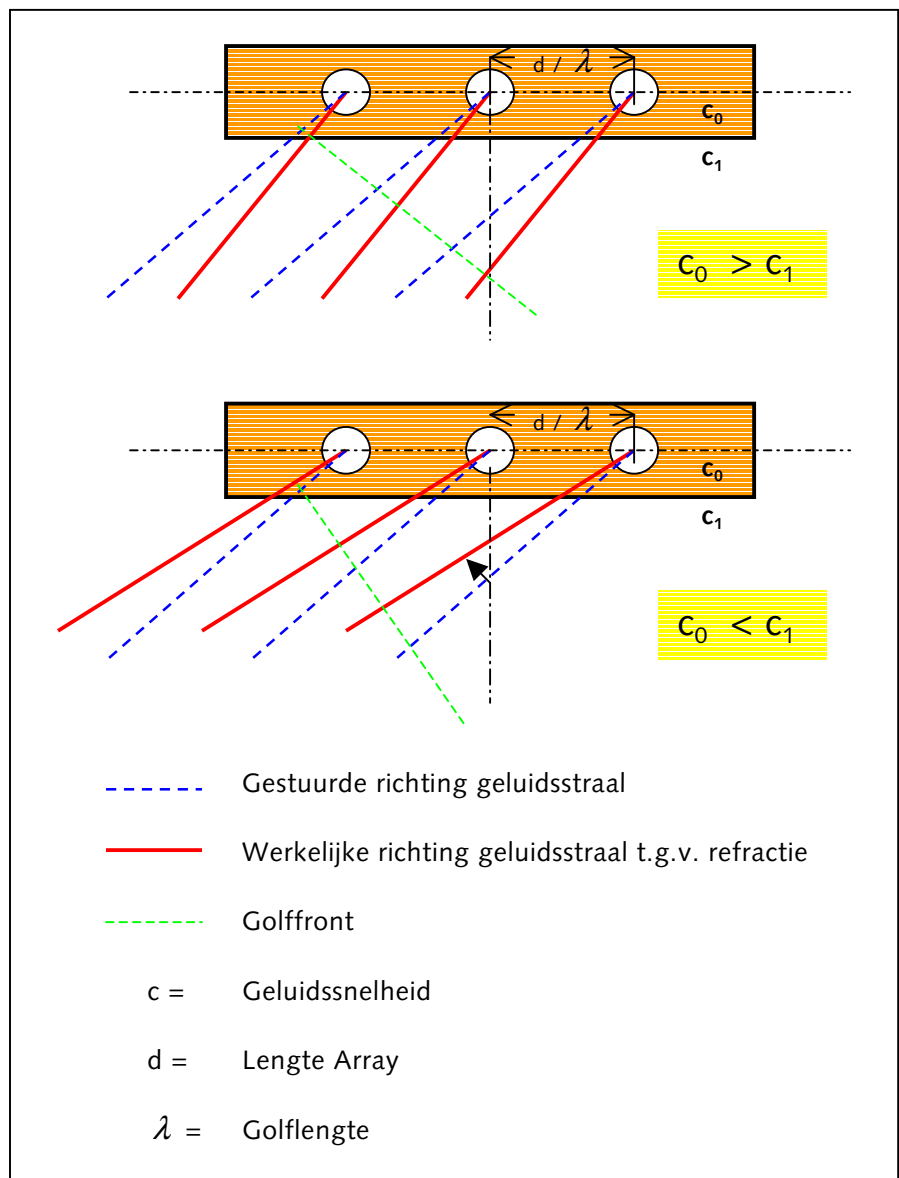
### 3.5.2. Surface Sound Speed

Surface Sound Speed is de geluidssnelheid die gemeten wordt bij de kop van de transducer. Het is gebruikelijk om bij multibeam echolood metingen waarbij bundelsturing gebruikt wordt een sensor direct bij de transducer te hebben die de geluidssnelheid meet zodat de goede hoek van ontvangst bepaald kan worden. [Kammerer, 2001]

Bundelsturing wordt gebruikt bij vlakke arrays. Bij ronde arrays wordt het signaal loodrecht op de array uitgezonden. In paragraaf 3.1 is meer over bundelsturing uitgelegd.

De geluidssignalen worden door de transducer van het multibeam echolood in bekende richtingen weggestuurd met een bepaalde snelheid. Wanneer de geluidssnelheid bij de kop van de transducer niet juist bekend is, zal het signaal in een verkeerde richting ontvangen worden zoals in Figuur 22.

.....  
Figuur 22 Refractie geluidssignaal bij de transducer [Moustier, 1999]



---

Met behulp van de Wet van Snellius is het mogelijk om de echte richting van de geluidsstraal te berekenen als de geluidssnelheid bij de transducer bekend is. [Hennis, 2003, p. 11]

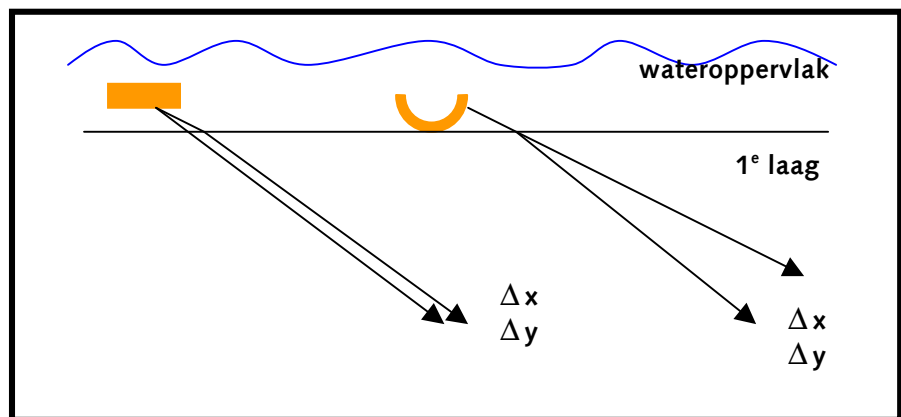
De bundel die loodrecht op de transducer ontvangen wordt, wordt niet beïnvloed door refractie. Dit betekent dat het effect van een fout in de geluidssnelheid afhangt van de richting waarin een signaal ontvangen wordt en wat de vorm van de transducer is.

### 3.5.3. Don Dinn effect

Bij een vlakke transducer kan er gecompenseerd worden voor het gebruik van een onjuiste geluidssnelheid. Door gebruik van een onjuiste geluidssnelheid ontstaat een fout in de ontvangshoek in de eerste laag door breking (bij de kop van de transducer). Deze fout kan in zijn geheel gecompenseerd worden wanneer de ray (snelheidsbundel) in een laag komt waarvan de gemeten geluidssnelheid gelijk is aan de werkelijke geluidssnelheid. De ray voortplantingsfouten opgeteld tot de laag waar de juiste geluidssnelheid gebruikt wordt, zal nog steeds een dieptefout veroorzaken. Dit effect geldt wanneer de roll 0 graden is en de hoek waaronder de array gemonteerd is ook 0 graden is. Hierdoor kan een vlakke transducer voordelen boven ronde transducers of onder een hoek gemonteerde transducers hebben. Dit effect kan berekend worden met behulp van de werkelijke uitzendhoek. De ray hoek en de werkelijke uitzendhoek kunnen elkaar met behulp van de Wet van Snellius opheffen.

In Figuur 23 is het Don Dinn effect in beeld gebracht. [Dinn, 1995]

.....  
**Figuur 23 Het Don Dinn effect**



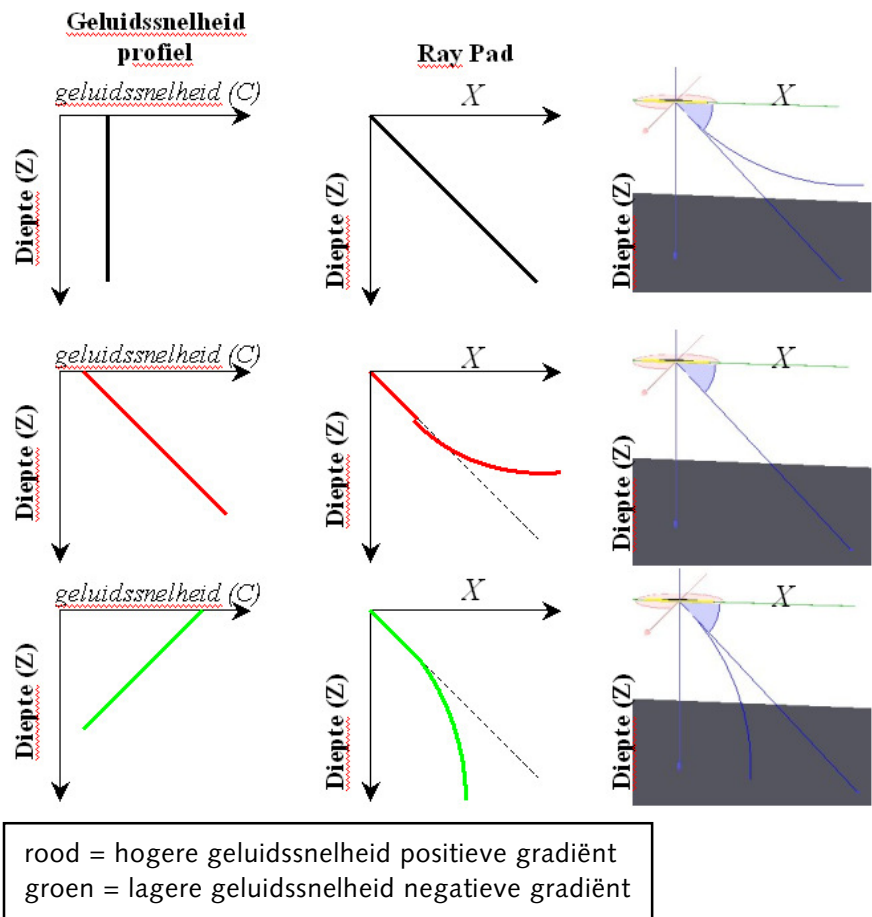
### 3.5.4. Sound Velocity Profile

Het sound velocity profile (geluidssnelheidprofiel) is de geluidssnelheid als functie van de diepte. Het geluidssnelheidprofiel is de richting van een geluidssignaal door lagen met een verschillende geluidssnelheid. Nadat de richting (hoek) van uittreding van het geluidssignaal bepaald is, moet het verloop van geluidssnelheid nog bepaald worden.

Dit wordt beschreven door middel van de Wet van Snellius (zie paragraaf 3.5.1).

Dit betekent dat een geluidsstraal in een waterkolom met veranderende geluidssnelheid zich niet in een rechte lijn voortplant maar afbuigt. Als de geluidssnelheid in de waterkolom toeneemt (de gradiënt is positief) buigt de geluidsstraal naar boven toe af en als het afneemt (de gradiënt is negatief) buigt het naar beneden toe af. Zie Figuur 24.

**Figuur 24**  
Geluidssnelheidsgradient



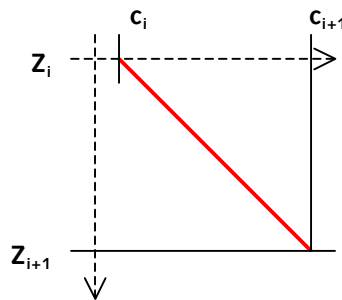
Wanneer een geluidssignaal schuin door lagen met verschillende geluidssnelheid gaat, zal de richting van het geluidssignaal door refractie veranderd worden aan de hand van de richting van de geluidssnelheidsgradiënt.

De mate van afbuiging van het geluidssignaal is afhankelijk van de grootte van de gradiënt van de geluidssnelheid en het teken van de gradiënt bepaalt de richting van afbuiging. Dit wordt de geluidssnelheidsgradiënt (Figuur 25) genoemd:

.....  
**Formule 9**  
 .....

$$\frac{c_{i+1} - c_i}{z_{i+1} - z_i}$$

**Figuur 25**  
**Geluidssnelheidsgradiënt [De Moustier, 1999]**



### 3.5.5. Het principe van ray tracing

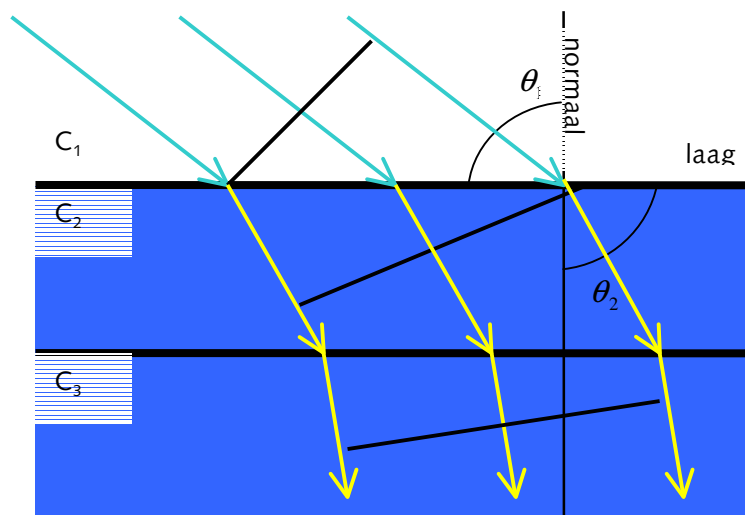
Ray Tracing corrigeert multibeam echolood metingen voor refractie. Het is de volledige berekening van het pad van een snelheidsbundel (ray), door een waterkolom met lagen van verschillende geluidssnelheid. In Figuur 26 is een ray path te zien.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Wet van Snellius:

.....  
**Formule 10**  
 .....

$$\frac{\sin(\theta_1)}{c_1} = \frac{\sin(\theta_2)}{c_2} = \frac{\sin(\theta_3)}{c_3} = \text{constant}$$

**Figuur 26 Ray path**



---

### 3.5.6. Fouten in Surface Sound Speed

Een ronde transducer zendt loodrecht op de array uit. Een vlakke array gebruikt bundelsturing en zal onder een hoek ontvangen. Daardoor heeft een ronde array geen fout in de hoek van uitzenden wanneer er een onjuiste surface sound speed gemeten wordt en een vlakke array wel.

Als de hoek van uittreding genomen wordt als de hoek tussen de loodlijn op (het oppervlak van) de transducer en de uitgetreden geluidsstraal geldt volgens de Wet van Snellius dat:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c_1}{c_0}$$
$$\theta_1 = \arcsin\left(\frac{c_1}{c_0} \sin \theta_0\right)$$

$\theta_1$  de werkelijke hoek van ontvangst

$\theta_0$  de gestuurde hoek van ontvangst = 15°

$c_0$  de geluidssnelheid in de transducer = 1500 m/s

$c_1$  de geluidssnelheid van het water bij de transducer = 1442 m/s

$$\theta_1 = \arcsin\left(\frac{1500}{1442} \sin(15)\right) = \mathbf{15,618^\circ}$$



---

### 3.5.7. Fouten in Sound Velocity Profile

In de paragraaf 3.1 wordt behandeld dat een vlakke transducer over de gehele array bundelsturing gebruikt en sommige ronde arrays alleen voor de buitenste bundels bundelsturing gebruiken. Daarom worden er verschillende formules gebruikt voor de dieptefouten en positiefouten die ontstaan bij de verschillende configuraties.

#### Diepte fout

Met behulp van formule 12 kan een diepte fout berekend worden die ontstaat bij een array die bundelsturing gebruikt, zoals gebruikt wordt bij vlakke arrays. Formule 12 wordt gegeven in de technical note van Simrad, formule 13 wordt gegeven in het stageverslag MEET.

Met behulp van formule twee kan een diepte fout berekend worden die ontstaat bij een array die geen bundelsturing gebruikt. Zoals bij bepaalde ronde arrays. Formule 14 wordt gegeven in de technical note van Simrad.

*Vlakke array met elektronische bundelsturing [Hammerstad, 2000]:*

.....  
Formule 11

$$\Delta z = \frac{\Delta c * D [1 - \tan(\varphi) * \tan(\varphi - \beta - r)]}{c}$$

*Vlakke array (stageverslag MEET, 2000)*

.....  
Formule 12

$$\Delta z = \sum_{i=1}^N \frac{\Delta D d c_i}{c_0} (1 - \tan^2 \varphi_i)$$

Kan ook geschreven worden als

$$\Delta z = \frac{\Delta c * D (1 - \tan(\varphi) * \tan(\varphi))}{c}$$

*Ronde array zonder bundelsturing (Hammerstad, 2000)*

.....  
Formule 13

$$\Delta z = \Delta c D / c$$

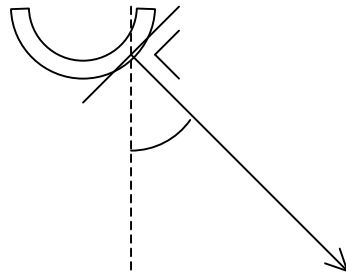
Hier volgt uit voor een ronde array:

$$R = D * \cos(\varphi) \text{ (Figuur 27)}$$

$$\Delta z = \frac{D * \cos(\varphi) * \Delta c}{c}$$

- $D$  = diepte in meter  
 $c$  = geluidssnelheid in meter per seconde  
 $\Delta c$  = fout in de geluidssnelheid in meter per seconde  
 $\varphi$  = uitzendhoek in radialen (Figuur 27)  
 $\beta$  = hoek waaronder array geïnstalleerd is in radialen  
 $r$  = roll in radialen

Figuur 27 Uitzendhoek



Wanneer de formules uitgerekend worden in Excel ontstaan de volgende waarden. Hierin is te zien dat de formules van MEET en van Simrad dezelfde uitkomst voor een vlakke array hebben. Zie ook het verschil met een ronde array.

Met gebruik van de volgende waarden volgt dan:

geluidssnelheid ( $c$ )            1500    m/s  
 diepte ( $D$ )                        10        meter  
 $\Delta$  geluidssnelheid ( $\Delta c$ )        5        m/s

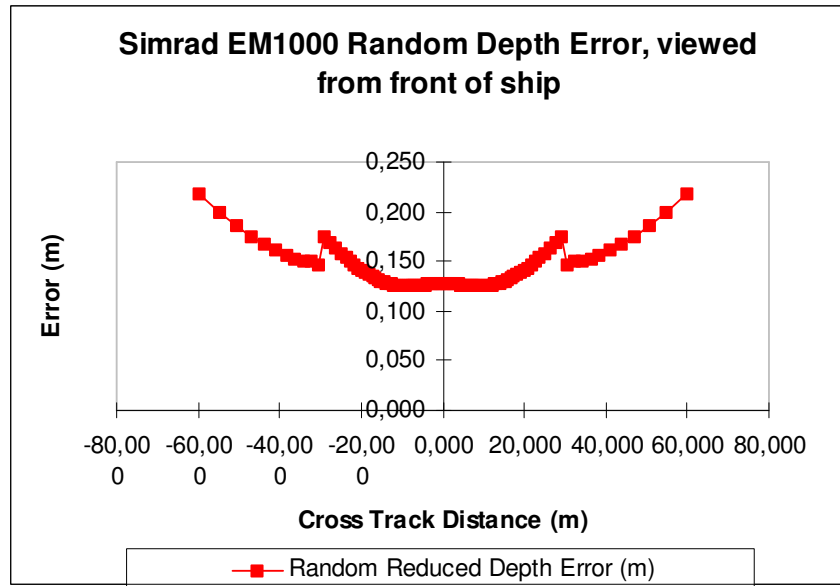
Tabel 1

	MEET	Kongsberg	
		vlak	rond
	formule 12	formule 11	formule 13
uitzendhoek ( $\Phi$ )	$\Delta z$ (meter)	$\Delta z$ (meter)	$\Delta z$ (meter)
-60	0.07	0.07	0.07
-50	0.01	0.01	0.05
-40	-0.01	-0.01	0.04
-30	-0.02	-0.02	0.04
-20	-0.03	-0.03	0.04
-10	-0.03	-0.03	0.03
0	-0.03	-0.03	0.03
10	-0.03	-0.03	0.03
20	-0.03	-0.03	0.04
30	-0.02	-0.02	0.04
40	-0.01	-0.01	0.04
50	0.01	0.01	0.05
60	0.07	0.07	0.07

Bij een lagere gebruikte geluidssnelheid zal bij zowel een vlakke als een ronde array een "smiley" ontstaan en bij een te hoog gebruikte geluidssnelheid een "frown". Een "smiley" of "frown" ontstaan doordat de buitenste bundels een andere "slant range" ( $R$ ) hebben dan de binnenste bundels.

In het programma MEET kunnen diepte en positiefouten met verschillende soorten multibeam echoloden berekend worden. In Figuur 28 is de dieptefout van een Simrad EM1000 weergegeven.

.....  
**Figuur 28 Dieptefout**



Af en toe is het moeilijk te onthouden wat er precies gebeurt wanneer men een te hoge of te lage geluidssnelheid gebruikt. Daarom hier een korte herhaling:

Hogere geluidssnelheid, kortere looptijd, dus ondieper.  
 Lagere geluidssnelheid, langere looptijd, dus dieper.

.....  
**Formule 14**

$$z = \frac{c * t}{2} = \text{diepte} = \frac{\text{geluidssnelheid} * \text{looptijd}}{2}$$

.....  
**Tabel 2**

Geluidssnelheid (m/s)	1500	1550	1450
Looptijd (seconden)	0,015	0,015	0,015
Gemeten diepte (meter)	11,25	11,626	10,875

---

## Dwarsscheepse fout

Bij een positie(fout) wordt er vanuit gegaan dat de x-as in langsscheepse richting ligt en de y-as in dwarsscheepse richting, zoals gebruikelijk bij de University of New Brunswick (Figuur 3). In formule 16 wordt een formule voor een fout in dwarsscheepse richting bij een vlakke array gegeven, uit de technical note van Simrad. In formule 17 wordt de formule voor een fout in dwarsscheepse richting bij een vlakke array welke gebruikt wordt in MEET. De dwarsscheepse fout voor een ronde array wordt gegeven in formule 18.

*Vlakke array met elektronische bundelsturing (Hammerstad, 2000)*

.....  
**Formule 15**

$$\Delta y = \frac{\Delta c * D [\tan(\varphi) + \tan(\varphi - \beta - r)]}{c}$$

*Formule 3.1, vlakke array (Valckenier von Geusau, 2000)) (let op: MEET gebruikt de x- en y- as, andersom dan in figuur 3)*

.....  
**Formule 16**

$$dX = \sum_{i=1}^N \frac{2\Delta D d c_i}{c_0} \tan \varphi_0$$

Kan ook geschreven worden als (met de y-as in de richting van figuur 3) :

$$\Delta y = \frac{2 * D * \Delta c_i * \tan(\varphi)}{c}$$

*Formule 4, ronde array (Hammerstad, 2000):*

.....  
**Formule 17**

$$\Delta y = \frac{\Delta c * D * \tan(\varphi)}{c}$$

De dwarsscheepse fout van alle formules uitgerekend in Excel geven de volgende uitkomsten. Er is duidelijk te zien dat bij een vlakke array de dwarsscheepse fout voor alle bundels groter is dan bij een ronde array (Figuur 29). Het verschil in fouten van een vlakke array vergeleken met een ronde array worden groter naarmate de bundelhoek groter wordt.

Met gebruik van de volgende waarden volgt dan:

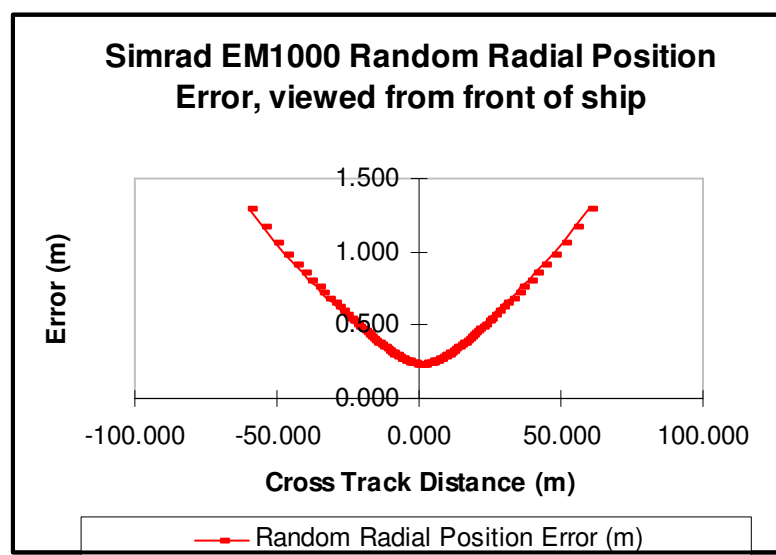
geluidssnelheid ( $c$ )                    1500    m/s  
 diepte ( $D$ )                                10        meter  
 $\Delta$  geluidssnelheid ( $\Delta c$ )            5         m/s

Tabel 3

	MEET	Kongsberg	
		vlak	rond
	formule 16	formule 15	formule 17
uitzendhoek ( $\Phi$ )	$\Delta y$ (meter)	$\Delta y$ (meter)	$\Delta y$ (meter)
-60	0.12	0.12	0.06
-50	0.08	0.08	0.04
-40	0.06	0.06	0.03
-30	0.04	0.04	0.02
-20	0.02	0.02	0.01
-10	0.01	0.01	0.01
0	0.00	0.00	0.00
10	-0.01	0.01	0.01
20	-0.02	0.02	0.01
30	-0.04	0.04	0.02
40	-0.06	0.06	0.03
50	-0.08	0.08	0.04
60	-0.12	0.12	0.06

De fout in Y-richting is bij een ronde array in alle gevallen bij het gebruik van een onjuiste geluidssnelheid kleiner dan bij de fout van een vlakke array.

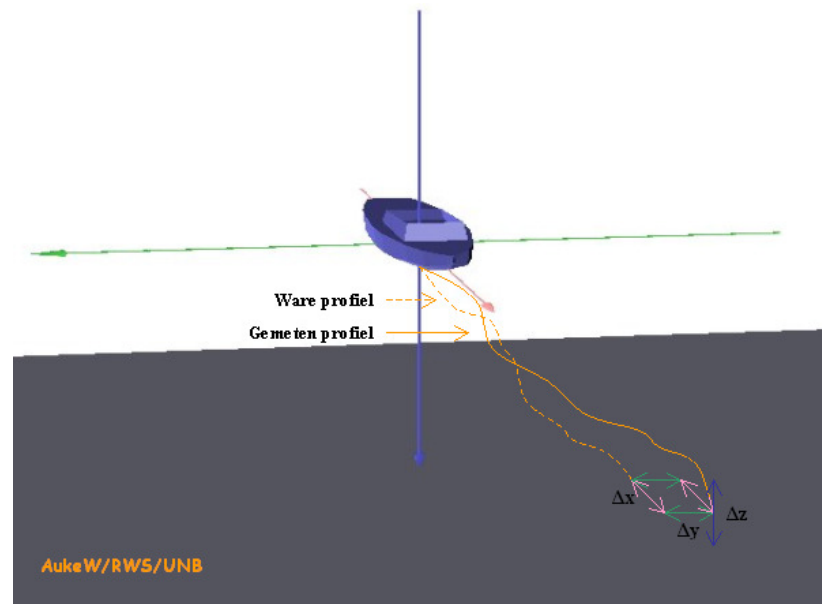
Figuur 29 Dwarsscheepse fout in MEET



---

In Figuur 30 is de voortplanting van een geluidssignaal door de waterkolom te zien. Wanneer de geluidssnelheid niet perfect wordt gemeten, ontstaan er fouten in de hoek van uitzending bij de kop van de transducer en met elke foute geluidssnelheid in de waterkolom, wijkt de richting af van de correcte richting. Doordat de afgelegde weg verschilt van de afstand die zou zijn afgelegd met de oorspronkelijke SVP, ontstaat er een fout in de diepte berekening.

.....  
**Figuur 30 Voortplanting  
geluidssignaal**



---

## 4.Artefacten

---

Zoals in paragraaf 2.2 beschreven staat, zijn er verschillende typen artefacten en heeft elk type artefacten zijn eigen kenmerken. In dit hoofdstuk worden artefacten behandeld die veroorzaakt worden door fouten in de geluidssnelheid en in de motion sensor, onderverdeeld in:

- Fouten in de lever armen in combinatie met roll, pitch en heave
- Time-delay van de motion sensor in combinatie met roll, pitch en heave
- Yaw-misalignment in combinatie met roll, pitch en heave
- Fouten in Surface Sound Speed met verschillende transducers
- Fouten in Sound Velocity Profile met verschillende transducers

In paragraaf 4.1 wordt er gekeken naar het effect van timing op de motion sensor. Dit wordt dan ook op de roll, pitch en heave toegepast. Paragraaf 4.2 gaat in op het effect van een yaw-misalignment.

Fouten in de lever arm van de motion sensor zullen niet direct zichtbaar zijn in de dieptemeting of positiemeting. Pas wanneer er een roll of pitch optreedt, zijn er duidelijk artefacten te zien. In paragraaf 4.3 zullen de lever armen in de x-, y- en z-as behandeld worden in combinatie met een roll, pitch of heave.

De geluidssnelheid kan worden onderverdeeld in de surface sound speed (SSS) en het sound velocity profile (SVP). In paragraaf 4.4 worden deze gecombineerd met een roll, pitch en heave om de artefacten te kunnen herkennen.

### 4.1 Motion sensor in combinatie met timing

Elke motion sensor heeft een interne vertraging. Deze vertraging is bij iedere motion sensor verschillend. De vertraging wordt veroorzaakt door de tijdsduur om berekeningen uit te voeren. De meeste motion sensoren compenseren hiervoor door middel van een extrapolatie algoritme. Met dit algoritme kan de uiteindelijke oplossing op het moment van het vermelden voorspeld worden.

Tegenwoordig zijn de time-delays goed te noemen als ze binnen de 10 milliseconde (ms) zitten. In de nieuwste Octans (Octans IV) is de time-delay ongeveer 3 ms.

Wanneer de data rate erg laag is, is het belangrijk dat de integratie software interpoleert tussen het beperkt aantal meetwaarden.

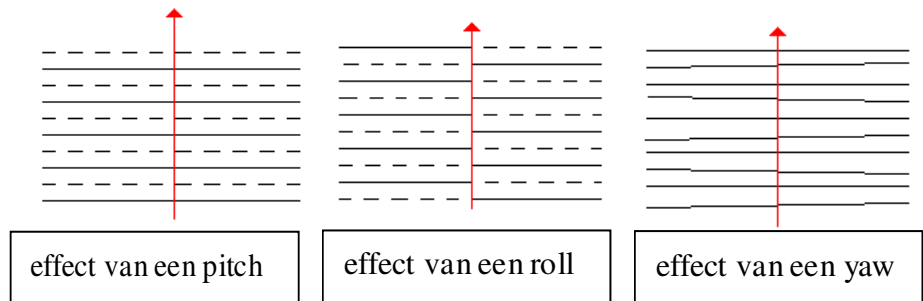
[Hughes Clarke, 2003b]

In Figuur 31 staat schematisch weergegeven hoe een vlakke bodem geobserveerd wordt indien er sprake is van een roll, pitch of yaw en hier niet (goed) voor gecorrigeerd is. De rode lijn is de lijn die gevaren wordt. De zwarte lijnen geven de dieptewaarden van de swath aan. De onderbroken zwarte lijn geeft een andere diepte aan dan de vaste zwarte lijn.

Er is in Figuur 31 te zien dat de gehele swath bij een pitch dezelfde beweging maakt. De hele swath gaat tijdens een pitch naar boven of beneden.

Bij een roll-beweging maakt de gehele swath niet dezelfde beweging. Wanneer het schip een roll maakt, gaat de ene helft van de swath onder een bepaalde hoek omhoog en de andere helft onder diezelfde hoek naar beneden. Wanneer het schip een yaw maakt, zal dat geen effect hebben op de dieptemeting. Wel heeft het effect op de horizontale posities.

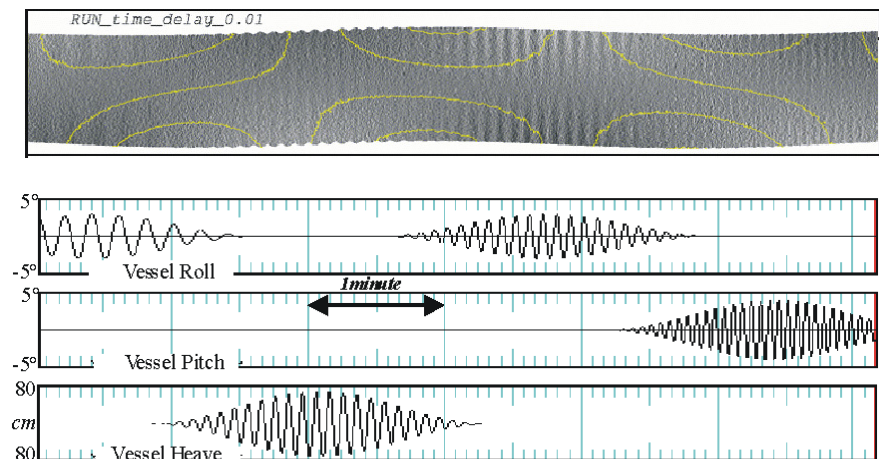
**Figuur 31 beweging van de swath bij een time-delay**



In Figuur 32 zijn de artefacten te zien die bij een roll, pitch en heave ontstaan wanneer er een time-delay is van 10 ms. Zowel de roll als de pitch variëren hier van  $-5^\circ$  tot  $+5^\circ$ . De heave varieert van  $-80$  cm tot  $+80$  cm. Verder is de diepte hier 25 meter, de swath  $150^\circ$  en is er met een snelheid van 8 knopen gevaren.

Uit Figuur 32 blijkt dat een rollfout het meest zichtbaar is. Ook de periode (van een rollfout) is van belang. Rollfouten met korte perioden zijn namelijk beter zichtbaar dan rollfouten met lange perioden. In de periode dat er een heave en pitch optreden, zijn er hele kleine artefacten te zien. [Hughes Clarke, 2003b]

**Figuur 32 artefacten die ontstaan door een time-delay**





---

## 4.2 Effect van een yaw-misalignment

Een yaw-misalignment in de motion sensor zal een crosstalk tussen de roll en pitch veroorzaken. 'Crosstalk' wil zeggen dat een fout in de ene as invloed heeft op de andere as. Dus in het geval de yaw niet goed opgelijnd is en er sprake van een pitch is, zal dit ook op de roll invloed hebben.

De crosstalk kan als volgt berekend worden [Hughes Clarke, 2003b]:

.....  
**Formule 18**

$$\sin(OR) = \cos(E)\sin(TR) + \sin(E)\sin(TP)$$

$$OR = \arcsin(\sin(OR))$$

.....  
**Formule 19**

$$\sin(OP) = \cos(E)\sin(TP) - \sin(E)\sin(TR)$$

$$OP = \arcsin(\sin(OP))$$

Waarbij:

OR = Observed Roll (°)

OP = Observed Pitch (°)

TR = True Roll (°)

TP = True Pitch (°)

E = Yaw Misalignment Angle (°)

In het Excel-programma kunnen de observed roll en de observed pitch berekend worden.

In tabel 3 staan voorbeelden van berekeningen van de Observed Roll en Observed Pitch:

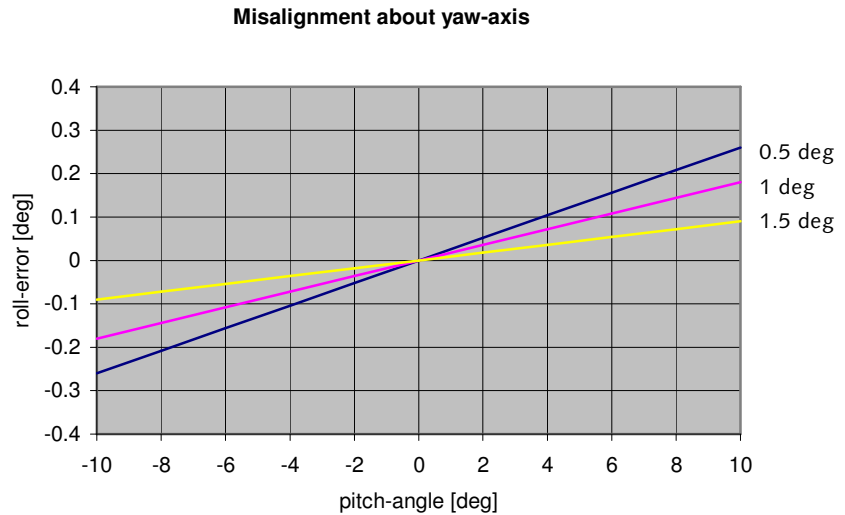
.....  
**Tabel 4**

TR [°]	TP [°]	E [°]	OR [°]	OP [°]
0	4	0.5	0.03	4.00
0	4	1.5	0.10	4.00
4	0	0.5	4.00	-0.03
4	0	1.5	4.00	-0.10

In tabel 3 is te zien dat wanneer er geen roll is (maar wel een pitch), er wel een roll geobserveerd wordt. En ditzelfde ook andersom; wanneer er geen pitch is (maar wel een roll), wordt er wel een pitch geobserveerd. Hier is er dus sprake van cross talk.

In Figuur 33 is te zien dat er een roll geobserveerd wordt (OR) en hoe groot deze is, terwijl er alleen een pitch is. Deze kan worden afgelezen bij een yaw-misalignment van 0.5°, 1° en 1.5° en een pitch tussen de -10° en 10°.

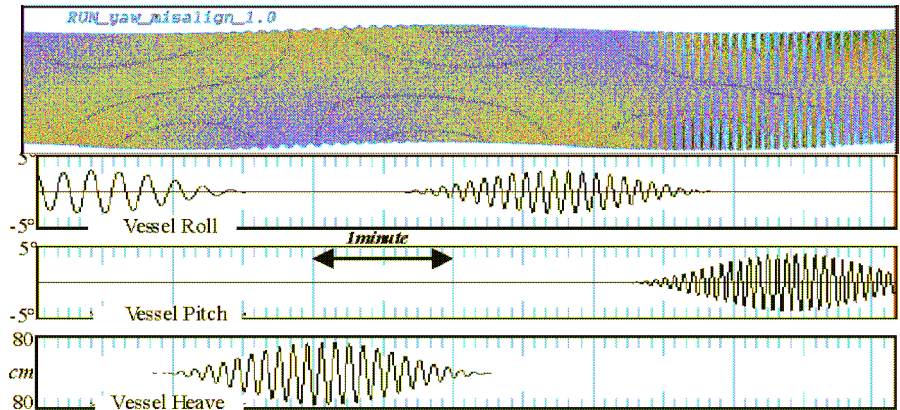
Figuur 33 Yaw-misalignment



In Figuur 34 is het effect te zien van een yaw misalignment van  $1^\circ$  bij een diepte van 25 meter, swath van  $150^\circ$  en een snelheid van 8 knopen. Hoewel er uit de formule van de observed roll en de observed pitch blijkt dat een yaw-misalignment en een pitch evenveel invloed hebben op de roll als een yaw-misalignment en een roll op de pitch, zijn er alleen in de periode dat er een pitch optreedt duidelijk artefacten te zien. Deze artefacten hebben dezelfde kenmerken als de artefacten die door een roll met een time-delay ontstaan; namelijk dat de ene helft van de swath omhoog gaat en de andere helft naar beneden. In de periode dat er een heave is, ontstaan er geen artefacten.

[Hughes Clarke, 2003b]

Figuur 34 dtm van yaw-misalignment: [Hughes Clarke, 2003b]



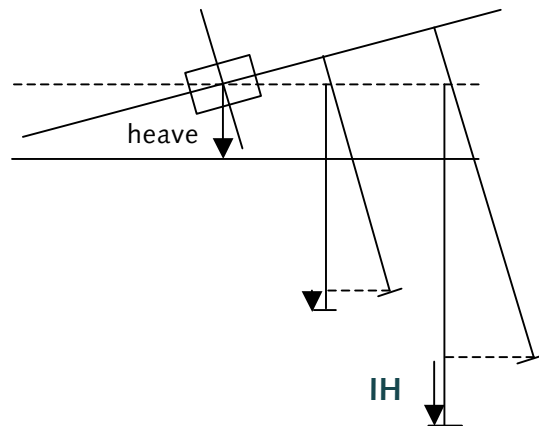
---

## 4.3 Motion sensor met een lever arm

### 4.3.1. Induced Heave Error

Een lever arm kan onder andere een induced heave error veroorzaken. Hoe groot de induced heave error is, hangt af van de grootte van de lever armen en van de grootte van de roll en pitch. Dit is te zien in Figuur 35. Wanneer het schip een roll maakt (hoek  $\alpha$ ), ontstaat er een induced heave (IH).

.....  
Figuur 35 Induced heave die ontstaat door hoek  $\alpha$



Het effect van een fout in de lever arm op de induced heave error kan op de volgende manier berekend worden [Hughes Clarke, 2003b]:

.....  
Formule 20

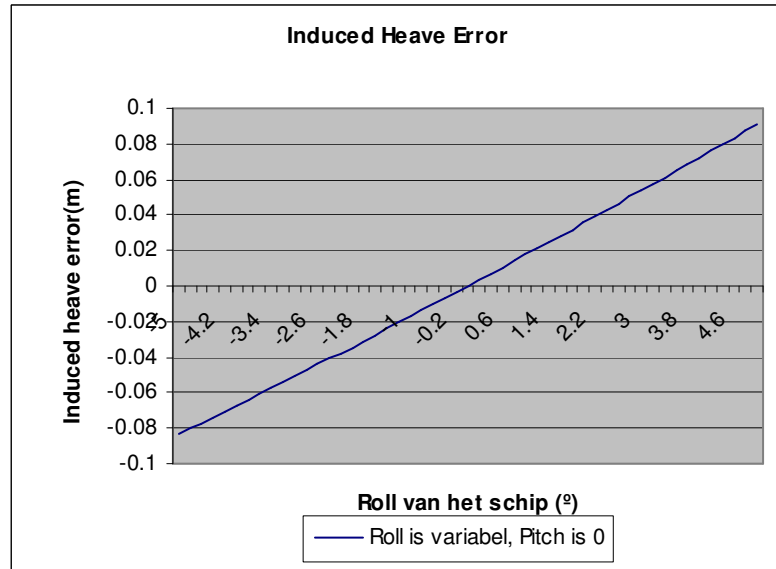
$$IH = -\Delta X \sin(p) + \Delta Y \sin(r) \cos(p) + \Delta Z(1 - \cos(r) \cos(p))$$

- IH = Induced Heave Error (m)
- p = pitch (°)
- r = roll (°)
- $\Delta X$  = fout van de lever arm in de X-as (m)
- $\Delta Y$  = fout van de lever arm in de Y-as (m)
- $\Delta Z$  = fout van de lever arm in de Z-as (m)

In Excel kan de induced heave error berekend worden. In de grafieken (Figuur 37 en **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) is het effect van de roll en pitch te zien naarmate deze groter en kleiner worden. Het effect van de lever armen op de induced heave error worden in de volgende subparagrafen besproken.

Bij een fout in de x-lever arm van 1 m, fout in de y-lever arm van 1 m en een fout in de z-lever arm van 1 meter, ziet de grafiek van de variabele roll (waarbij de pitch nul graden is) er als volgt uit:

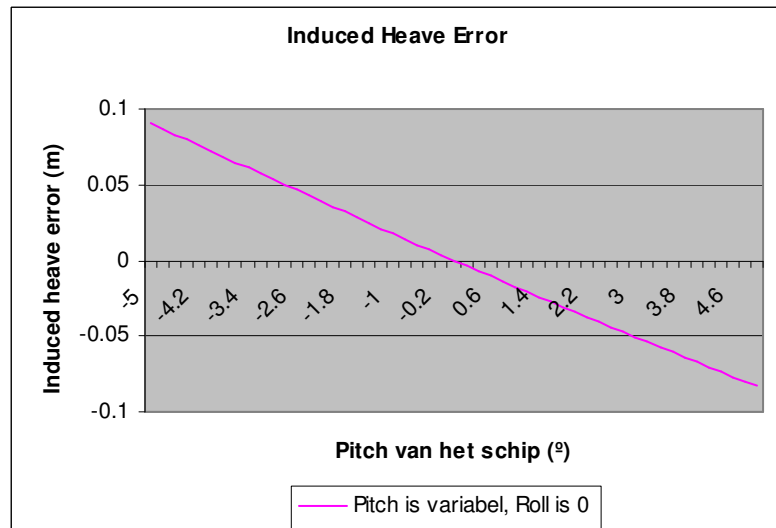
**Figuur 36 Induced heave error veroorzaakt door roll**



Bij een roll die kleiner dan nul graden is, is de induced heave error negatief (zie Figuur 37). Een roll groter dan nul graden, geeft een positieve induced heave error. Bij lever armen (in x, y en z) van één meter loopt de induced heave error op van -8,3 cm bij een roll van -5° tot +9,1 cm bij een roll van +5°.

De grafiek van een variabele pitch (waarbij de roll nul is) ziet er als volgt uit:

**Figuur 37 Induced heave error veroorzaakt door pitch**



Bij een pitch die kleiner dan 0 graden is, is de induced heave error positief. En een pitch groter dan 0 graden, geeft een negatieve induced heave error. Bij lever armen (in x, y en z) van één meter loopt de induced heave error op van +9,1 cm bij een pitch van -5° tot -8,3 cm bij een pitch van +5°.

#### 4.3.2. Effect van een fout in de x-lever arm

##### Effect op de induced heave error

Een fout in de lever arm van de x-as zal een artefact veroorzaken in de periode dat er ook een pitch optreedt optreedt.

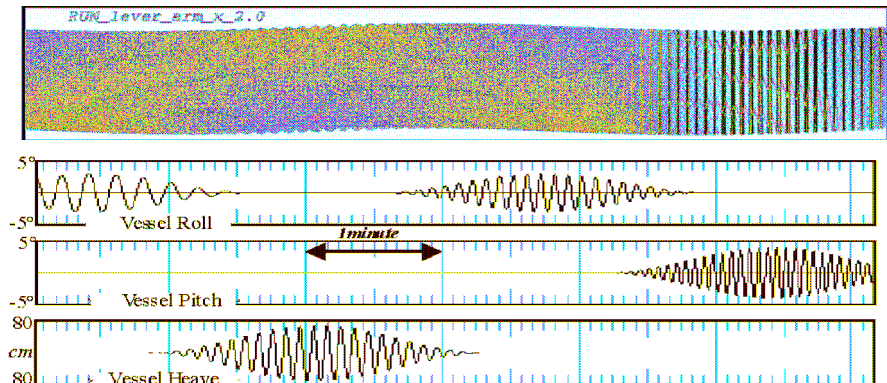
Dat er in dit geval alleen een artefact ontstaat bij een pitch, en dat de roll geen enkele invloed heeft hierbij, is te zien in tabel 5 waar rekenvoorbeelden van de induced heave error staan.

Tabel 5

dX [m]	dY [m]	dZ [m]	r [°]	p [°]	IH [m]
1	0	0	0	4	-0.0698
1	0	0	4	4	-0.0698
5	0	0	0	4	-0.3488
5	0	0	4	4	-0.3488

Ook uit Figuur 38 blijkt dat de roll geen invloed heeft op een artefact die ontstaat door een lever arm in de x-as. In deze figuur is er een fout in de x-lever arm van 2 meter genomen, diepte van 25 meter, swath van 150° en een snelheid van 8 knopen. Alleen in de periode dat er een pitch is, ontstaan er artefacten. Deze artefacten lopen over de hele swath en zijn overal in de swath even groot.

Figuur 38 Fout in de X-lever arm van 2 m [Hughes Clarke, 2003b]



##### Effect op de diepte en langsscheepse positie

Een fout in de x-lever arm in combinatie met een pitch zal ook effect hebben op de te gemeten diepte en de langsscheepse positie. De fouten die hierin ontstaan kunnen als volgt berekend worden [Hammerstad, 2001]:

Formule 21

$$\Delta z = \frac{1}{2} D \Delta p^2 + X \Delta p + Z \Delta p^2$$

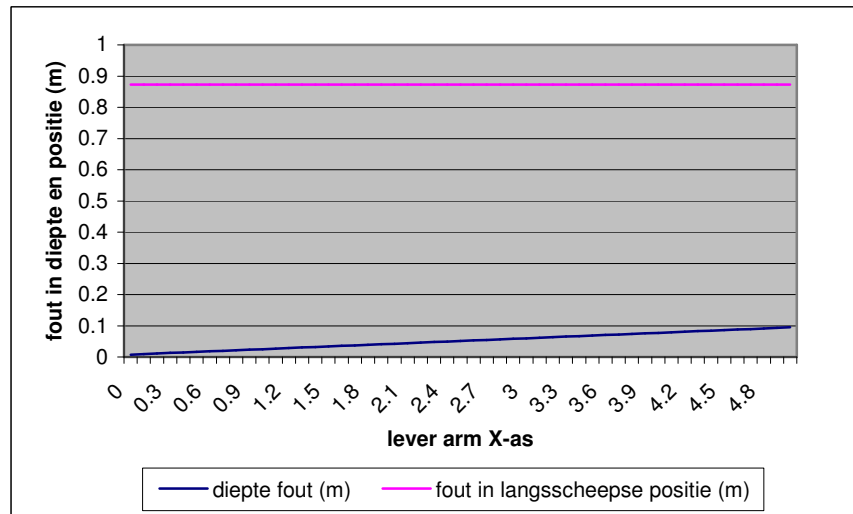
Formule 22

$$\Delta x = D \Delta p$$

- $\Delta z$  = dieptefout van het multibeam echolood (m)
- $D$  = diepte (m)
- $\Delta p$  = pitch fout (radialen)
- $X$  = lever arm tussen de motion sensor en de transducer (m)
- $Z$  = lever arm tussen de motion sensor en de transducer (m)
- $\Delta x$  = fout in de langsscheepse positie (m)

In Figuur 39 hieronder kan de dieptefout afgelezen worden die ontstaat door een fout in de x-lever arm. Dit geldt bij een diepte van 25 meter en een pitch-fout van 1°. De fout in de lever arm van de y- en z-as zijn hierbij nul.

**Figuur 39 Fout in diepte en positie in combinatie met x-lever arm**



Uit dit figuur blijkt dat een fout in de x-lever arm geen invloed heeft op de fout in de langsscheepse positie. Deze fout is namelijk constant wanneer de fout in de lever arm groter wordt. De x-lever arm heeft wel invloed op de dieptefout. De dieptefout varieert van nul meter bij een fout in de lever arm van nul meter tot bijna 50 cm bij een lever arm-fout van vijf meter.

In tabel 6 zal door middel van formule 21 en 22 bepaald worden hoeveel invloed de x-lever arm heeft op de dieptefout ( $\Delta z$ ) en op de fout in de langsscheepse positie ( $\Delta x$ ). Bij al deze voorbeelden wordt er een pitchfout van 1° verondersteld. Deze waarde is gekozen, omdat de pitch tijdens de patchtest nooit nauwkeuriger dan 1° bepaald kan worden (Hughes Clarke). Daarnaast zullen deze fouten bepaald worden bij een diepte van 10 meter en een diepte van 50 meter.

**Tabel 6**

D [m]	dp [°]	X [m]	Z [m]	dx [m]	dz [m]
10	1	0.5	0	0.175	0.010
10	1	10	0	0.175	0.176
50	1	0.5	0	0.873	0.016
50	1	10	0	0.873	0.182

Ook uit tabel 6 is op te maken dat een fout in de x-lever arm geen invloed heeft op de langsscheepse positie. Deze blijft namelijk gelijk indien de grootte van de lever arm wel verandert. Dit wil niet zeggen dat er helemaal geen fout in de langsscheepse positie is. Deze is er wel en wordt groter naarmate de diepte groter wordt.

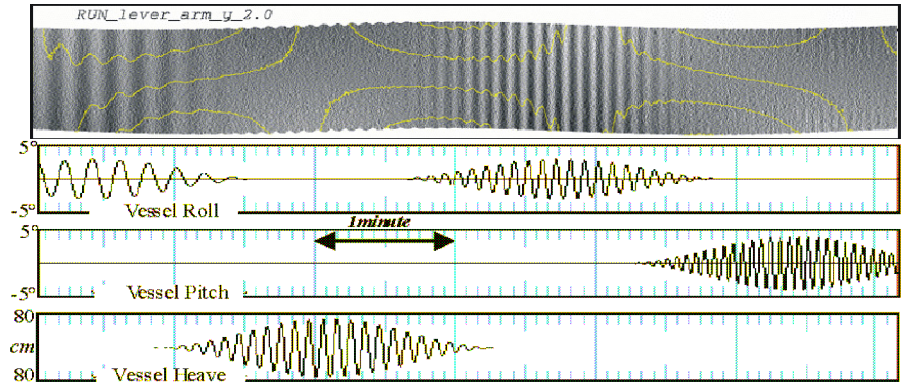
De dieptefout is afhankelijk van zowel de x-lever arm als de diepte. Naarmate de x-lever arm groter wordt, wordt de dieptefout groter. Ook wordt de dieptefout groter wanneer de diepte groter wordt. Daarnaast blijkt dat op grotere diepte het verschil tussen de dieptefout bij een kleine x-lever arm en de dieptefout bij een grote x-lever arm groter is dan hetzelfde verschil op kleinere diepte.

### 4.3.3. Effect van een fout in de y-lever arm

#### Effect op de induced heave error

Een fout in de lever arm van de y-as zal alleen effect hebben op de induced heave error als er ook sprake van een roll is [Hughes Clarke, 2003b]. In Figuur 40 hieronder is dit te zien. In deze figuur is er een fout in de y-lever arm van 2 meter genomen, diepte van 25 meter, swath van 150° en een snelheid van 8 knopen. In de periode dat er een roll is, ontstaan er artefacten. Deze artefacten lopen over de hele swath en zijn overal in de swath even groot.

Figuur 40 Fout in de X-lever arm [Hughes Clarke, 2003b]



Uit formule 20 komen de volgende resultaten (tabel 7):

Tabel 7

dX [m]	dY [m]	dZ [m]	r [°]	p [°]	IH [m]
0	1	0	4	0	0.0698
0	1	0	4	4	0.0696
0	5	0	4	0	0.3488
0	5	0	4	4	0.3479

Hieruit blijkt dat bij een lever arm in de y-as de pitch ook invloed heeft op de induced heave error, maar veel minder dan de roll. Het verschil is zelfs nog minder dan een millimeter.

#### Effect op de diepte en dwarsscheepse positie

Daarnaast zal een fout in de y-lever arm in combinatie met een roll effect hebben op de gemeten diepte en de dwarsscheepse positie. De fouten die hierin ontstaan kunnen als volgt berekend worden [Hammerstad, 2001]:

Formule 23

$$\Delta z = D\Delta r \tan \varphi + Y\Delta r + Z\Delta r^2$$

Formule 24

$$\Delta y = D\Delta r$$

$\Delta z$  = dieptefout van het multibeam echolood (m)

D = diepte (m)

$\Delta r$  = roll fout (radialen)

$\varphi$  = beam pointing angle (radialen)

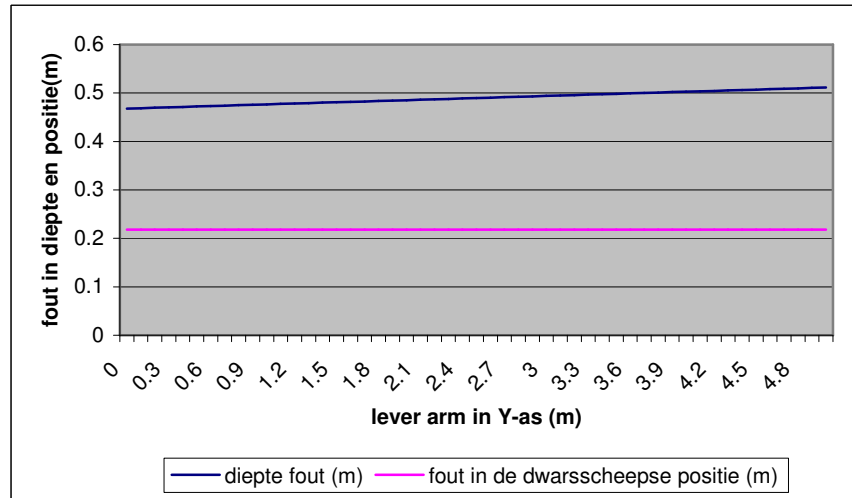
Y = lever arm tussen de motion sensor en de transducer (m)

Z = lever arm tussen de motion sensor en de transducer (m)

$\Delta y$  = fout in de dwarsscheepse positie (m)

In Figuur 41 hieronder kan de dieptefout afgelezen worden die ontstaat door een y-lever arm. Dit geldt bij een diepte van 25 meter, een bundelhoek van 65° en een roll fout van 0.5°.

Figuur 41 Fout in diepte en positie in combinatie met y-lever arm



Uit dit figuur blijkt dat een fout in de y-lever arm geen invloed heeft op de fout in de dwarsscheepse positie. Deze fout blijft namelijk hetzelfde wanneer de lever arm-fout groter wordt. De fout in de y-lever arm heeft wel invloed op de dieptefout. De dieptefout varieert van ongeveer 47 cm bij een lever arm van nul meter tot bijna 52 cm bij een lever arm-fout van vijf meter.

Hieronder zal door middel van deze formules bepaald worden hoeveel invloed de y-lever arm-fout heeft op de dieptefout ( $\Delta z$ ) en op de fout in de dwarsscheepse positie ( $\Delta y$ ). Bij de voorbeelden in tabel 8 wordt er een rollfout van 0.5° verondersteld. Daarnaast zullen deze fouten bepaald worden bij een diepte van 10 meter en een diepte van 50 meter. Ook de bundelhoek speelt hier een rol. Bij de volgende berekeningen wordt er een EM3000 als voorbeeld genomen die een bundelhoek van 65° heeft.

Tabel 8

D [m]	dr [°]	$\varphi$ [°]	Y [m]	Z [m]	dy [m]	dz [m]
10	0.5	65	0.5	0	0.087	0.192
10	0.5	65	10	0	0.087	0.274
50	0.5	65	0.5	0	0.436	0.940
50	0.5	65	10	0	0.436	1.023

Ook uit tabel 8 blijkt dat de y-lever arm geen invloed heeft op de dwarsscheepse positie. Deze blijft namelijk gelijk indien de grootte van de lever arm wel verandert. Dit wil niet zeggen dat er helemaal geen fout in de dwarsscheepse positie is. Deze is er wel en wordt groter naarmate de diepte groter wordt.

De dieptefout is afhankelijk van zowel de y-lever arm als de diepte. Naarmate de y-lever arm groter wordt, wordt de dieptefout groter. Ook wordt de dieptefout groter wanneer de diepte groter wordt. Daarnaast blijkt dat op grotere diepte het verschil tussen de dieptefout bij een kleine y-lever arm en de dieptefout bij een grote y-lever arm iets groter is dan hetzelfde verschil op kleinere diepte. [Hughes Clarke, 2003B]



#### 4.3.4. Effect van een fout in de z-lever arm

##### Effect op de induced heave error

Een fout in de lever arm van de z-as zal effect hebben op de induced heave error als er ook sprake van een roll of pitch is. Hoe groot de induced heave error is bij een fout in de lever arm van de z-as kan aan de hand van formule 21 berekend worden.

In tabel 9 worden drie voorbeelden gegeven waarbij de induced heave error berekend wordt bij een fout in de z-lever arm van 2 meter. Er wordt hierbij naar de invloed van de roll en pitch gekeken.

Tabel 9

dX [m]	dY [m]	dZ [m]	r [°]	p [°]	IH [m]
0	0	2	4	0	0.0049
0	0	2	0	4	0.0000
0	0	2	4	4	0.0048

Uit tabel 8 blijkt dat bij een fout van de lever arm in de z-as, alleen een pitch geen invloed heeft op de induced heave error. Daarentegen veroorzaakt een roll alleen wel een induced heave error. Bij een roll en een pitch van dezelfde grootte wordt de induced heave error iets kleiner (bijna geen verschil) dan wanneer er alleen een roll is. Hieruit blijkt dus dat de pitch dan toch invloed heeft op de induced heave error, ook al is dit maar heel gering.

##### Effect op diepte en dwarsscheepse positie

Daarnaast zal een fout in de lever arm van de z-as in combinatie met een roll ook effect hebben op de te gemeten diepte en de dwarsscheepse positie.

De fouten die hierin ontstaan kunnen als volgt berekend worden [Hammerstad, 2001]:

Formule 25

$$\Delta z = D\Delta r \tan \varphi + Y\Delta r + Z\Delta r^2$$

Formule 26

$$\Delta y = D\Delta r$$

$\Delta z$  = dieptefout van het multibeam echolood (m)

D = diepte (m)

$\Delta r$  = roll fout (radialen)

$\varphi$  = beam pointing angle (radialen)

Y = lever arm tussen de motion sensor en de transducer (m)

Z = lever arm tussen de motion sensor en de transducer (m)

$\Delta y$  = fout in de dwarsscheepse positie (m)

In tabel 10 zal door middel van deze formules bepaald worden hoeveel invloed de z-lever arm-fout heeft op de dieptefout ( $\Delta z$ ) en op de fout in de dwarsscheepse positie ( $\Delta y$ ). Bij al deze voorbeelden wordt er een rollfout van 0.5° verondersteld. Daarnaast zullen deze fouten bepaald worden bij een diepte van 10 meter en een diepte van 50 meter. Ook de bundelhoek speelt hier een rol. Bij de volgende berekeningen wordt

er een EM3000 als voorbeeld genomen die een bundelhoek van 65° heeft.

Tabel 10

D [m]	dr [°]	$\varphi$ [°]	Y [m]	Z [m]	dy [m]	dz [m]
10	0.5	65	0	0.5	0.087	0.187
10	0.5	65	0	5	0.087	0.188
50	0.5	65	0	0.5	0.436	0.936
50	0.5	65	0	5	0.436	0.936

Uit tabel 10 blijkt dat een fout in de z-lever arm geen invloed heeft op de dwarsscheepse positie. Deze blijft namelijk gelijk indien de grootte van de lever arm wel verandert. Dit wil echter niet zeggen dat er helemaal geen fout in de dwarsscheepse positie is. Deze is er wel en wordt groter naarmate de diepte groter wordt.

De dieptefout is afhankelijk van zowel de z-lever arm als de diepte. Naarmate de z-lever arm groter wordt, wordt de dieptefout groter. Dit verschil in dieptefout is echter maar heel klein. Ook wordt de dieptefout groter wanneer de diepte groter wordt. Dit verschil is veel groter. Daarnaast blijkt dat op grotere diepte het verschil tussen de dieptefout bij een kleine z-lever arm en de dieptefout bij een grote z-lever arm ongeveer even groot is als het verschil op kleinere diepte.

#### Effect op diepte en langsscheepse positie

Daarnaast zal een lever arm in de z-as in combinatie met een fout in de pitch, effect hebben op de te gemeten diepte en de langsscheepse positie.

De fouten die hierin ontstaan kunnen als volgt berekend worden, zie Excel-bestand [Hammerstad, 2001]:

Formule 27

$$\Delta z = \frac{1}{2} D \Delta p^2 + X \Delta p + Z \Delta p^2$$

Formule 28

$$\Delta x = D \Delta p$$

$\Delta z$  = dieptefout van het multibeam echolood (m)

D = diepte (m)

$\Delta p$  = pitch fout (radialen)

X = lever arm tussen de motion sensor en de transducer (m)

Z = lever arm tussen de motion sensor en de transducer (m)

$\Delta x$  = fout in de langsscheepse positie (m)

In tabel 11 zal door middel van deze formules bepaald worden hoeveel invloed de z-lever arm heeft op de dieptefout ( $\Delta z$ ) en op de fout in de langsscheepse positie ( $\Delta x$ ). Bij al deze voorbeelden wordt er een pitchfout van 1° verondersteld. Daarnaast zullen deze fouten bepaald worden bij een diepte van 10 meter en een diepte van 50 meter.

---

Tabel 11

D [m]	dp [°]	X [m]	Z [m]	dx [m]	dz [m]
10	1	0	0.5	0.175	0.002
10	1	0	5	0.175	0.003
50	1	0	0.5	0.872	0.008
50	1	0	5	0.872	0.009

Uit tabel 11 blijkt dat de z-lever arm geen invloed heeft op de langsscheepse positie. Deze blijft namelijk gelijk indien de grootte van de lever arm wel verandert. Dit wil niet zeggen dat er helemaal geen fout in de langsscheepse positie is. Deze is er wel en wordt groter naarmate de diepte ook groter wordt.

De dieptefout is afhankelijk van zowel de z-lever arm als de diepte. Naarmate de z-lever arm groter wordt, wordt de dieptefout groter. Dit verschil in dieptefout is echter maar klein. Ook wordt de dieptefout groter wanneer de diepte groter wordt. Dit verschil is veel groter. Daarnaast blijkt dat op grotere diepte het verschil tussen de dieptefout bij een kleine z-lever arm en de dieptefout bij een grote z-lever arm ongeveer even groot is als het verschil op kleinere diepte.

---

## 4.4 Artefacten geluidssnelheid

Zoals in paragraaf 3.5 te zien was, is de geluidssnelheid niet constant in de waterkolom. De geluidssnelheid wordt beïnvloed door temperatuur, zoutgehalte en druk, welke erg variabel zijn. Deze veranderingen kunnen erg moeilijk te meten zijn, en kunnen daardoor de metingen beïnvloeden. Zo kan er refractie ontstaan wanneer er een andere geluidssnelheid gebruikt wordt in een meting dan de werkelijke geluidssnelheid. Refractie beïnvloedt de dieptemetingen op twee plaatsen: bij de kop van de transducer tijdens bundelsturing, en tijdens de voorplanting van de geluidsgolf door de waterkolom.

- **Surface Sound Speed (SSS)**  
Gebruik van een onjuiste geluidssnelheid bij de kop van de transducer. Hierdoor kan de bundel onder een verkeerde hoek ontvangen worden.
- **Sound Velocity Profile (SVP)**  
Gebruik van een onjuist geluidssnelheidsprofiel. Waardoor er onjuiste refractie van het signaal op weg naar de bodem plaatsvindt.

Voor zowel SSS als SVP geldt;  
Hoe groot de fout van de artefact is voor de verschillende uitzendhoeken is afhankelijk van de vorm van de array. Waarvan er drie verschillende typen onderscheiden worden:

- Vlakke array
- Ronde Array
- Dubbele vlakke arrays beide onder een hoek in de vorm van een V gemonteerd.

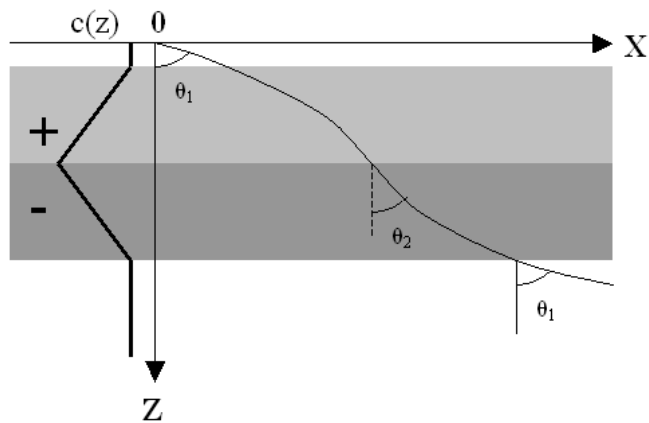
Ook zullen de artefacten verschillen naarmate er wel of niet bewegingsstabilisatie in een transducer gebruikt wordt. Bewegingsstabilisatie kan voor de volgende bewegingen toegepast worden.

- Roll
- Pitch

#### 4.4.1. Sound Velocity Profile

De bundel die gecreëerd wordt bij de sonar wordt elke keer van richting veranderd als de geluidssnelheid varieert met de diepte. De richting van de bundel, wanneer deze wordt berekend bij de kop van de transducer, zou in het ideale geval recht zijn. Met een foute geluidssnelheid aan de oppervlakte zal het pad van de bundel rond zijn. Het traject is hol voor een positieve geluidssnelheid gradiënt en bol voor een negatieve gradiënt, zoals te zien in Figuur 42.

Figuur 42 Een bundelpad dat hol en bol is



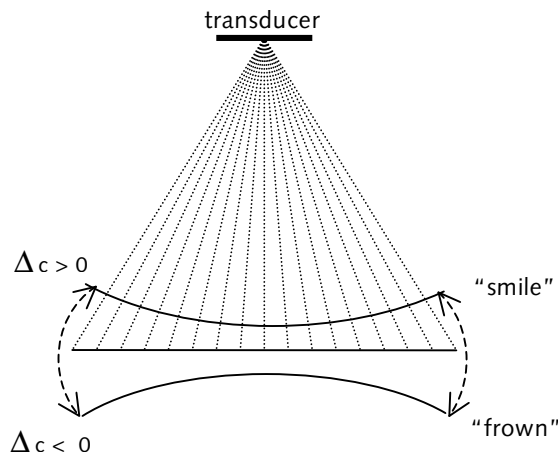
De voortplantingsafstand is veranderd aan de afstand die afgelegd zou zijn met de initiële SVP. Er ontstaat dan een fout in de bodem detectie berekening.

Een swath is samengesteld uit een waaier van bundels, gecreëerd uit verschillende hoeken vanaf de verticaal. De refractie artefact:

1. groeit niet lineair met de hoek van de verticaal (Wet van Snellius is symmetrisch ten opzichte van de verticaal)
2. symmetrisch ten opzichte van de verticaal
3. is naar boven of naar beneden gebogen (smile en frown Figuur 43)

De fout is klein op nadir omdat daar geen fout in de bundelhoeken ontstaat, maar alleen fouten in afstand door de variaties van geluidssnelheid, zie Figuur 43.

Figuur 43 Smile en frown



---

#### 4.4.2. Surface Sound Speed

Elk verschil tussen een onjuiste geluidssnelheid aan de oppervlakte  $V_{err}$  en de juiste geluidssnelheid aan de oppervlakte  $V_{corr}$  kan resulteren in een onjuiste hoek  $\varphi_{err}$  waarin de bundels ontvangen worden.

.....  
Formule 29

$$\varphi_{err} = \sin^{-1} \left( \frac{V_{err}}{V_{corr}} \sin(\varphi_{corr}) \right)$$

$\varphi_{err}$  = onjuiste uitgezonden hoek

$\varphi_{corr}$  = gewenste hoek

$V_{err}$  = onjuiste SSS

$V_{corr}$  = correcte SSS

Een geluidssnelheidsfout is gebonden aan een dunne laag aan de oppervlakte en kan onder deze laag terug refracteren naar de richting parallel aan de voorgenomen richting. ("don dinn" effect, paragraaf 3.5.3 )

Ook al is de voorspelde hoek ten opzichte van de sonar onjuist, dan kan de Snellius constante toch goed zijn. Dit is afhankelijk van of de array horizontaal staat en dus de relatieve hoeken van de sonar ook relatief ten opzichte van het lokale horizontale vlak zijn. Dit kan worden bekeken door de formule opnieuw in te delen:

$$\frac{V_{err}}{\sin(\theta_{err})} = \frac{V_{corr}}{\sin(\theta_{corr})}$$

Als de voorspelde en werkelijke richtingen voor het grootste deel parallel lopen, zijn in het geval van vlakke ontvangst arrays, zijn de fouten verrassend klein (Cartwright and Hughes Clarke, 2002).

Bij ronde arrays waar geen bundel sturing gebruikt wordt, is er geen fout in de hoek waarin de bundel ontvangt en dus als de bundel terug breekt, is er nog steeds een fout (omdat de originele Snellius constante niet juist was).

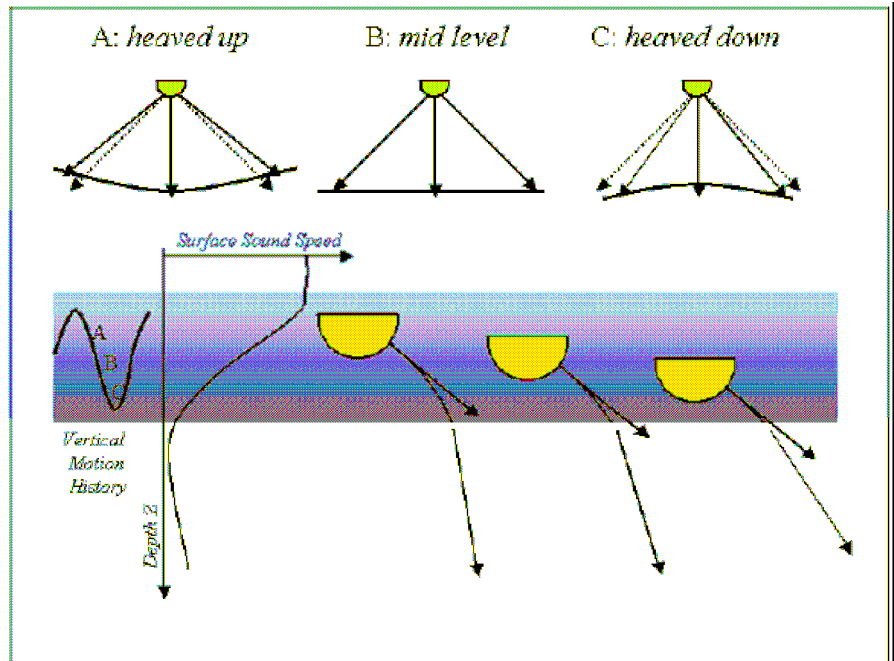
Als resultaat zal het ray pad in het grootste deel van de waterkolom niet parallel aan de voorspelde pad lopen.

Fouten in de geluidssnelheid aan de oppervlakte kunnen voorkomen in rivieren of riviermonden waar een sterke geluidssnelheid gradiënt vlak bij het oppervlak kan zijn. Een bekend gebied met een sterke geluidssnelheid gradiënt in Nederland is tussen Hoek van Holland en Maassluis.

### SSS met heave

Als de transducer verticaal beweegt met een sterke geluidssnelheid gradiënt (bijvoorbeeld in het IJsselmeer), verandert de waterkolom structuur ten opzichte van de sonar door de verticale beweging (de verticale beweging is ongeveer benaderd door de heave en geïnduceerde heave van de sonar voor gebieden met grotere golfbewegingen).

.....  
Figuur 44 Verticale beweging met een sterke geluidssnelheid gradiënt [Hughes Clarke, 2003b]



Het eindresultaat is een refractie artefact symmetrisch aan nadir, met beide kanten omhoog of naar beneden gebogen, die veranderen in grootte als de transducer naar boven en beneden beweegt (Figuur 44). [Hughes Clarke, 2003b]

---

### SSS met roll

Zolang de geluidssnelheid terugkeert naar de oude waarde in de volgende laag, kunnen voor een vlakke array de fouten in de hoek klein zijn.

Maar zodra de ontvangst array niet meer horizontaal staat (door roll of doordat de array onder een hoek  $\varphi$  gemonteerd is), wordt er onder een onjuiste hoek ontvangen ten opzichte van de sonar:

.....  
**Formule 30**

$$\varphi_{err} = a \sin\left(\frac{V_{err}}{V_{corr}} \sin(\varphi_{corr} - \varphi)\right)$$

- $\varphi_{err}$  = onjuiste ontvangen hoek
- $\varphi_{corr}$  = gewenste hoek
- $V_{err}$  = onjuiste SSS
- $V_{corr}$  = correcte SSS
- $\varphi$  = roll of geïnstalleerde hoek

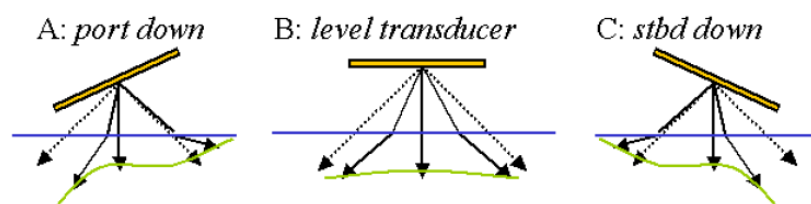
Daar is de Snellius constante niet op berekend:

$$\frac{V_{err}}{\sin(\varphi_{err} + \varphi)} \neq \frac{V_{corr}}{\sin(\varphi_{corr})}$$

Daardoor hangt de fout in de hoek af van de grootte van de roll, en zal daarom afhankelijk zijn van de bewegingen van het schip en is op ieder tijdstip anders.

Als de array rolt, verandert de benodigde stuurhoek ten opzichte van een verticale referentie hoek continue. Daardoor verandert ook de grootte van de fout ten opzichte van die verticale referentie hoek als de array rolt. Wanneer de sonar aan een kant omhoog staat, is de fout van de hoek waaronder een bundel ontvangen wordt minder, en groter aan de kant waar de sonar naar beneden staat, zoals weergegeven in Figuur 45.

.....  
**Figuur 45** Een vlakke array met roll, bij gebruik van een onjuiste SSS [Hughes Clarke, 2003b]



Door de combinatie van de fout waarin een hoek gestuurd wordt met de invloed van het "Don Dinn" effect, ontstaat er een refractie omhoog aan de kant waar de array omhoog rolt en op hetzelfde moment is er een refractie omlaag aan de kant waar de array omlaag rolt [Hughes Clarke, 2003b].



---

#### 4.4.2.1 Voorbeelden van refractie bij de kop van de transducer (SSS)

##### Ronde Array

Zoals er behandeld is in paragraaf 3.1, wordt bij een ronde array geen bundelsturing gebruikt bij de bundels die binnen +/- 60 graden uitgezonden worden.

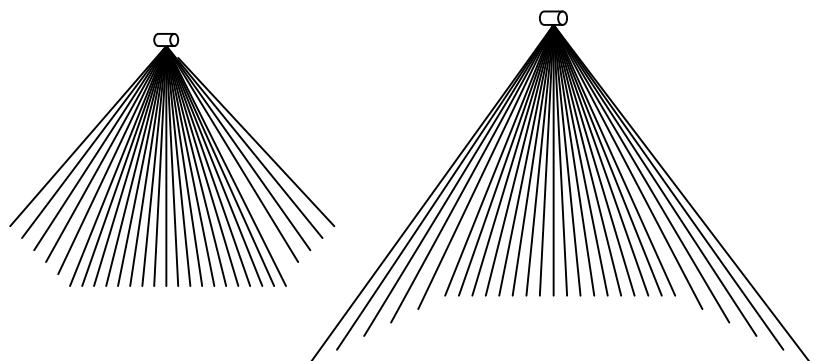
Bij een ronde transducer array wordt alleen elektronische bundelsturing boven +/- 60 graden gebruikt. [Hammerstad, 2001]

Daardoor worden alleen fouten geïntroduceerd in de hoek van de bundels die gestuurd worden. Een fout in de SSS heeft dus alleen invloed op de buitenste bundels.

Figuur 46 laat links een ronde array zien waarbij een te hoge geluidssnelheid bij de kop van de transducer gebruikt wordt. Omdat bij een ronde array alleen de buitenste bundels buiten +/- 60° gestuurd kunnen worden, worden ook alleen de buitenste bundels die gestuurd worden beïnvloed door refractie bij de kop van de transducer wanneer er een verkeerde geluidssnelheid bij de kop van de transducer gebruikt wordt. Door de te hoog gebruikte geluidssnelheid ontstaat bij de buitenste bundels een ondiepere gemeten diepte dan de werkelijke diepte (paragraaf 3.6).

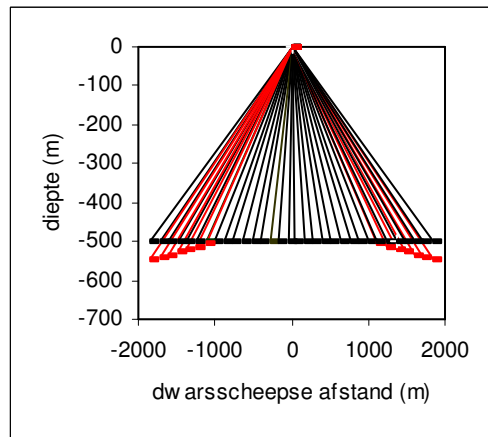
Figuur 46 laat rechts een ronde array zien waarbij een te lage geluidssnelheid bij de kop van de transducer gebruikt wordt. Omdat bij een ronde array alleen de buitenste bundels buiten +/- 60° gestuurd kunnen worden, worden ook alleen de buitenste bundels beïnvloed door refractie bij de kop van de transducer wanneer er een verkeerde geluidssnelheid bij de kop van de transducer gebruikt wordt. Door de te laag gebruikte geluidssnelheid ontstaat bij de buitenste bundels een te diepere gemeten diepte dan de werkelijke diepte. (paragraaf 3.5).

.....  
**Figuur 46 Ronde array met een te hoge geluidssnelheid (links) en een te lage geluidssnelheid (rechts). [Kammerer, 1996]**



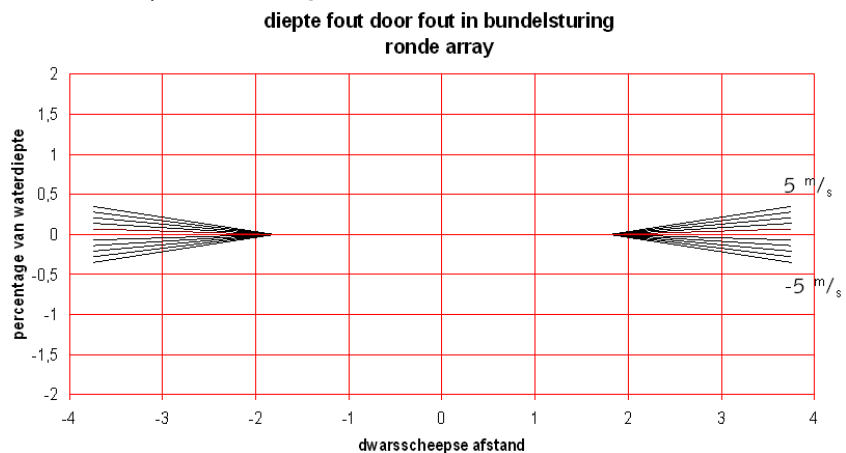
Dit is weergegeven in Figuur 47 waarin de fout in de buitenste bundels in het rood aangegeven is. Hoe de bundel op de bodem zou weerkaatsen bij gebruik van een juiste geluidssnelheid is in het zwart aangegeven. Er is te zien dat hoe groter de bundelhoek wordt hoe groter de fout in de diepte wordt. Ook wordt de fout in X en Y richting groter naarmate de bundelhoek groter wordt.

.....  
**Figuur 47 Impact van een fout in de SSS op de vorm van de swath van een ronde array.**  
**[Kammerer, 1996]**



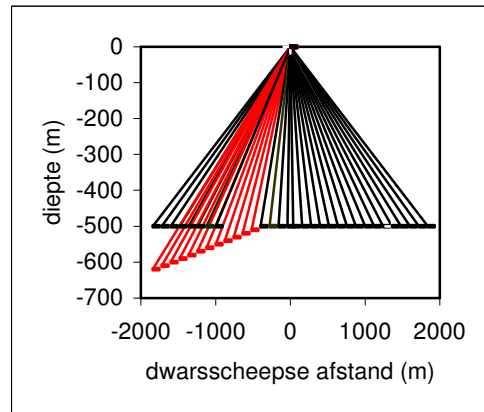
Figuur 48 en Figuur 51 laten respectievelijk een diepte fout en een dwarsscheepse fout bij een ronde array zien. Dit wordt veroorzaakt door een onjuiste geluidssnelheid bij de kop van de transducer. Door gebruik van een onjuiste geluidssnelheid wordt een onjuiste refractie veroorzaakt tussen transducer en water. Hierdoor wordt de bundel in een verkeerde richting verzonden. Omdat bij een ronde array alleen bundelsturing bij de buitenste bundels gebruikt wordt, ontstaat ook alleen bij de buitenste bundels refractie en dus een fout in de diepte en/of dwarsscheepse richting. Hoe groter de hoek waarin de bundel gestuurd wordt, hoe groter de diepte fout en/of hoe groter de fout in dwarsscheepse richting. In de Figuur 48 en Figuur 51 wordt een foute geluidssnelheid van  $-5$  tot  $5$  meter per seconde getoond.

.....  
**Figuur 48 Diepte fout bij een rond array [Moustier, 1999]**



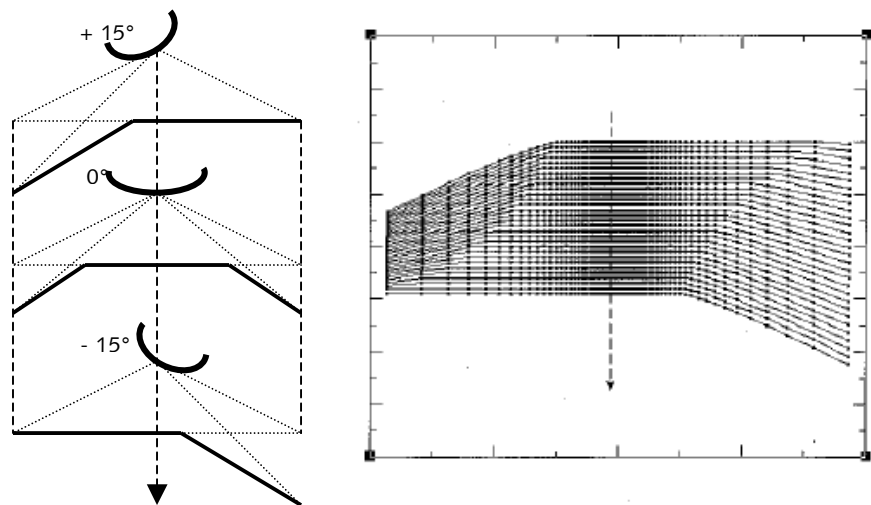
Bij een ronde array die roll gestabiliseerd is, met een roll van 15 graden (linkerkant van de array naar beneden en rechterkant van de array omhoog ten opzichte van de horizontaal), beweegt de swath niet ten opzichte van de verticaal. In Figuur 49 is te zien dat de fouten alleen aan één kant van de swath ontstaan. Dit is weergegeven met de rode bundels. Dit ronde array is onder een hoek van 15 graden gemonteerd. Kammerer gebruikt een andere definitie voor de roll dan er in paragraaf 2.3 beschreven wordt. Bij Kammerer is de roll positief wanneer de linkerkant van de array naar beneden gaat en de rechterkant van de array omhoog gaat ten opzichte van de horizontaal. In de rest van deze paragraaf wordt de definitie van de roll van Kammerer gebruikt.

.....  
**Figuur 49 Impact van een SSS-fout bij een ronde array.**  
**[Kammerer, 1996]**

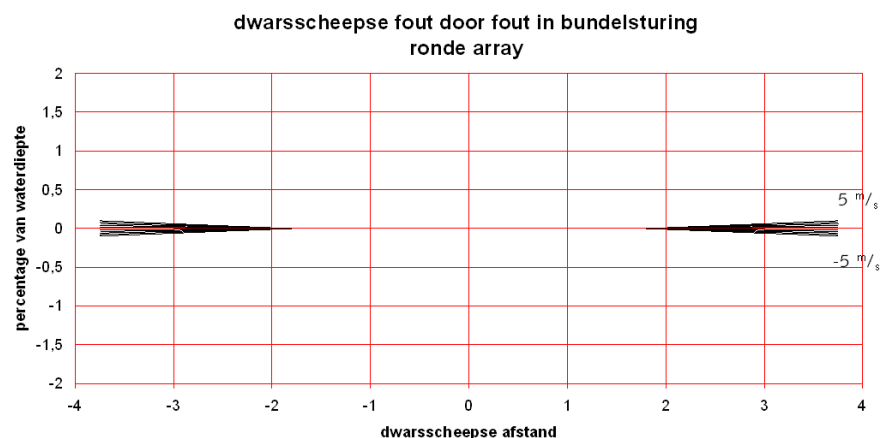


De artefact die ontstaat door een geluidssnelheidsfout aan de oppervlakte bij een ronde array met roll stabilisatie, ontstaat alleen bij de buitenste bundels. Er ontstaat een afbuiging van de swath die heen en weer beweegt met de roll van het schip. In Figuur 50 is aan de linkerkant weergegeven hoe de fout bij de buitenste bundels zich gedraagt wanneer er een roll van +15 graden tot -15 plaatsvindt. In de rechterfiguur worden dertig achtereenvolgende swaths getekend wanneer de ronde array rolt van +15 graden naar -15 graden. De fouten bewegen zich proportioneel aan de roll hoek. De rechterfiguur geeft een voorbeeld van hoe de bodem eruit zou kunnen zien bij zo'n soort artefact.

.....  
**Figuur 50 Theoretisch vooraanzicht (links) en voorstelling van de bodem (rechts) bij een SSS-fout met roll [Kammerer, 1996].**



.....  
**Figuur 51 Dwarsscheepse fout door fout in bundelsturing ronde array**



---

### Vlakke Array

Bij een vlakke array wordt elektronische bundelsturing op alle bundels toegepast behalve op de bundel die loodrecht op de array verzonden wordt. De hoeveelheid sturing die toegepast wordt hangt af van de hoek waar de bundel naar toe wijst. Dit is afhankelijk van de installatie hoek van de array en van de roll op dat moment [Hammerstad, 2001].

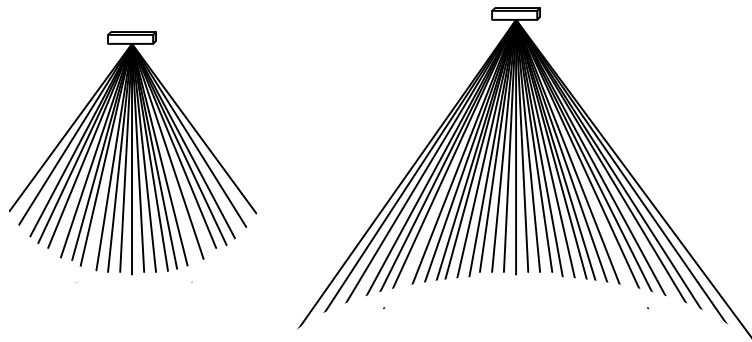
De fout door gebruik van een onjuiste SSS neemt toe naarmate de bundelhoek groter wordt.

Bundelsturing wordt toegepast over de gehele lengte van de vlakke array. Alle bundelhoeken (behalve loodrecht op de array) worden beïnvloed door een fout in de geluidssnelheid aan de oppervlakte. Hierdoor ontstaat een fout over de hele swath.

Figuur 52 laat aan de linker kant een vlakke array zien waarbij een te hoge geluidssnelheid bij de kop van de transducer gebruikt wordt. Bij een vlakke array kunnen alle bundels gestuurd worden. Wanneer een verkeerde geluidssnelheid bij de kop van de transducer gebruikt wordt, worden hierdoor alle bundels beïnvloed door refractie behalve de bundel die naar nadir is gericht. Door de te hoog gebruikte geluidssnelheid ontstaat bij alle bundels behalve de bundel die naar nadir is gericht een ondiepere gemeten diepte dan de werkelijke diepte (paragraaf 3.5).

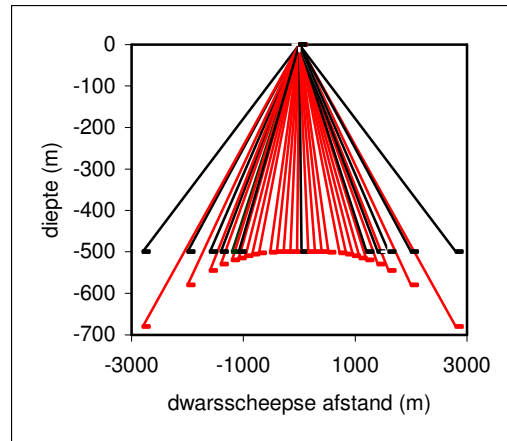
Figuur 52 laat aan de rechterkant een vlakke array zien waarbij een te lage geluidssnelheid bij de kop van de transducer gebruikt wordt. Omdat bij een vlakke array alle bundels gestuurd kunnen worden, worden alle bundels beïnvloed door refractie bij de kop van de transducer behalve de bundel die naar nadir is gericht wanneer er een verkeerde geluidssnelheid bij de kop van de transducer gebruikt wordt. Door de te laag gebruikte geluidssnelheid ontstaan bij alle bundels behalve de bundel die naar nadir is gericht een te diepere gemeten diepte dan de werkelijke diepte. (paragraaf 3.5).

.....  
**Figuur 52 Vlakke array met een te hoog (links) en een te laag (rechts) gebruikte geluidssnelheid aan de oppervlakte [Kammerer, 1996]**



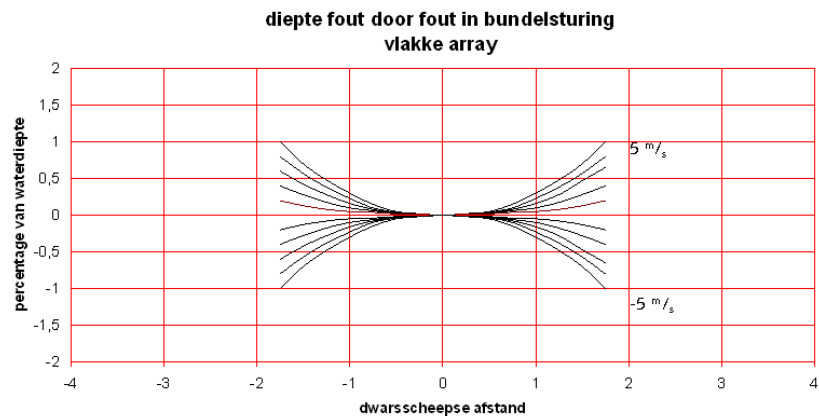
In Figuur 53 worden de fouten in de swath weergegeven. In de bovenste figuur worden alle bundels met een fout in het rood aangegeven, in het zwart worden de bundels zonder fout weergegeven. In de onderste figuur wordt gevisualiseerd hoe de swath er theoretisch van boven uit zou zien.

.....  
**Figuur 53 Impact van een surface sound speed fout op de vorm van de swath van een vlakke array. [Kammerer, 1996]**

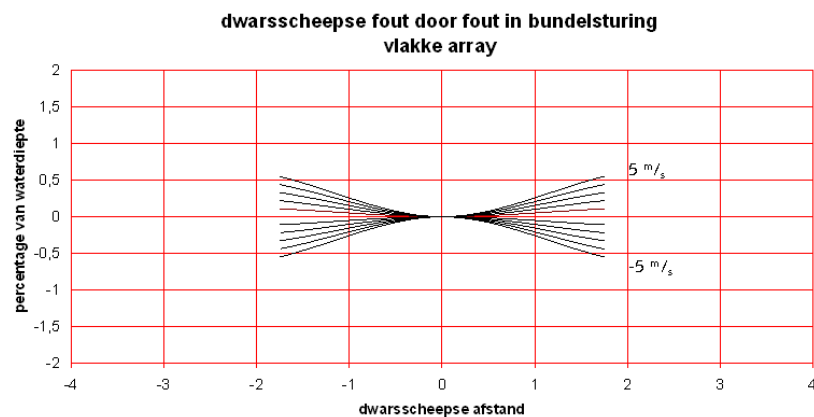


Figuur 54 en Figuur 55 laten respectievelijk een diepte fout en een dwarscheepse fout bij een vlakke array zien. Dit wordt veroorzaakt door een onjuiste geluidssnelheid bij de kop van de transducer. Door gebruik van een onjuiste geluidssnelheid wordt een onjuiste refractie veroorzaakt tussen transducer en water. Hierdoor wordt de bundel in een verkeerde richting verzonden. Omdat bij een vlakke array bundelsturing bij alle bundels gebruikt wordt, ontstaat ook alleen bij alle bundels refractie en dus een fout in de diepte en/of dwarscheepse richting. Hoe groter de hoek waarin de bundel gestuurd wordt, hoe groter de diepte fout en/of hoe groter de fout in dwarscheepse richting. In de figuur wordt een foute geluidssnelheid van  $-5$  tot  $5$  meter per seconde getoond.

.....  
**Figuur 54 Dieptefout bij een vlak array**



.....  
**Figuur 55 Dwarscheepse fout bij een vlak array**

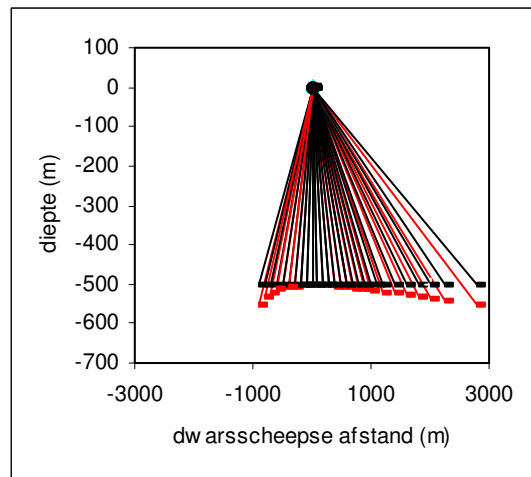


### Vlakke array zonder beweging stabilisatie

Een Simrad EM3000S gebruikt geen roll stabilisatie. Daarom volgt de swath de roll van het schip. De swath beweegt naar de kant waar de array omhoog staat. De fouten die ontstaan verschuiven ook, echter de fout in de bundelhoek blijft even groot.

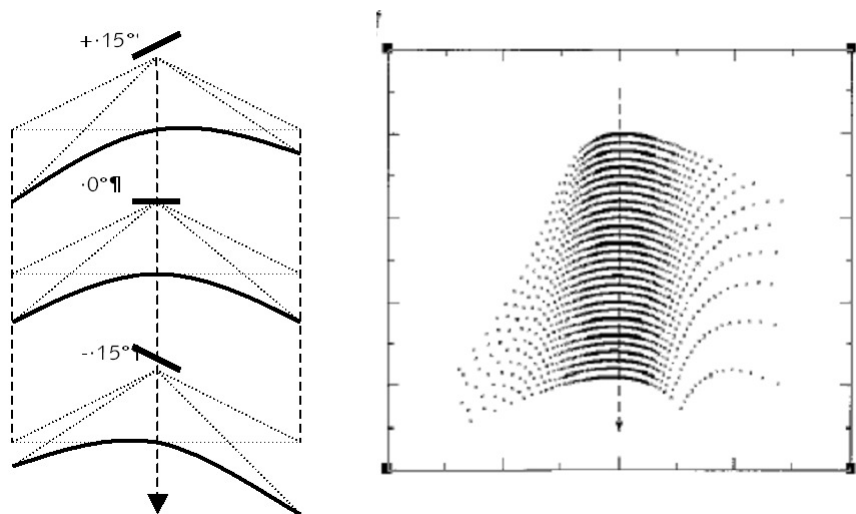
In Figuur 56 is bovenaan een niet roll gestabiliseerde vlakke array die onder een hoek van 15 graden gemonteerd is. Hierin is goed te zien dat de fout groter wordt naarmate je verder van de bundel afgaat die loodrecht op de array uitzendt. In dit geval wordt de vorm van de swath uitgerekt door de hoek waaronder de array geïnstalleerd is. Onderaan het figuur is het bovenaanzicht hiervan te zien.

.....  
**Figuur 56 Impact van een SSS-fout op de vorm van een swath van een niet roll gestabiliseerde vlakke array.**  
[Kammerer, 1996]



In Figuur 57 is de zeebodem weergegeven wanneer de swath de roll van het schip volgt, bij gebruik van vlakke array zonder beweging stabilisatie en met een verkeerde geluidssnelheid. Als de roll varieert van + 15 graden naar -15 graden, verschuiven de buitenste bundels in langsscheepse richting. Zie het verschil tussen figuur 59 en figuur 61, figuur 59 gebruikt geen beweging stabilisatie en in figuur wordt wel beweging stabilisatie gebruikt. Daardoor wordt in figuur 59 de swath veel meer vervormd door de artefact.

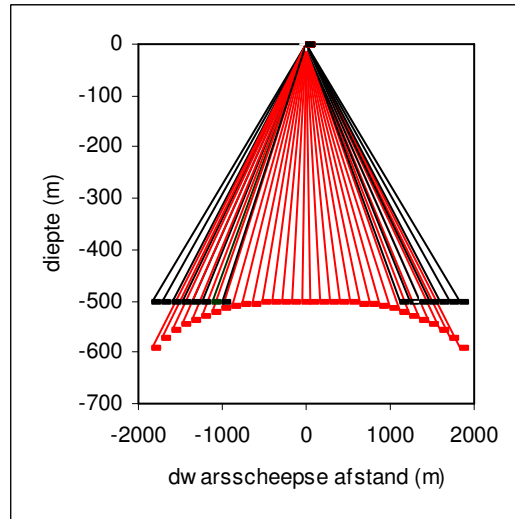
.....  
**Figuur 57 Vorm van dertig opeenvolgende swaths wanneer de vlakke array rolt.**  
[Kammerer, 1996]



### Vlakke array met beweging stabilisatie

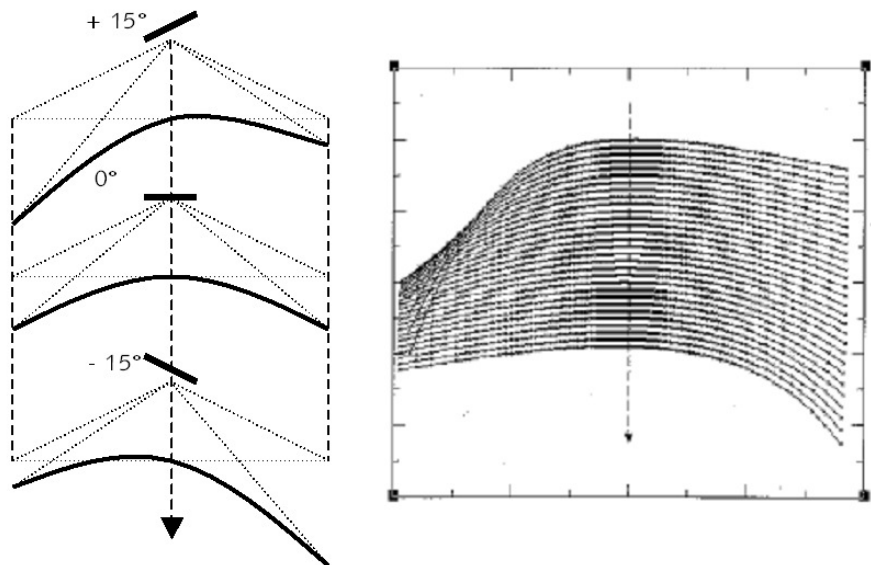
Een vlakke sonar met beweging stabilisatie stabiliseert de swath ten opzichte van de roll. Om dit te bereiken voegt de sonar de roll hoek toe aan de gebruikelijke stuurhoek (van een bundel). Hierdoor ontstaat een grotere stuurhoek aan de kant die naar beneden rolt en een kleinere stuurhoek aan de kant die omhoog rolt. De fout is afhankelijk van de stuurhoek. In figuur 60 is te zien dat de swath horizontaal blijft echter dat de fout over de gehele swath ontstaat behalve loodrecht op de array. Onderaan Figuur 58 is het bovenaanzicht hiervan te zien.

.....  
**Figuur 58 Impact van een SSS-fout op de vorm van de swath van een gestabiliseerde horizontale vlakke array.**  
[Kammerer, 1996]



In Figuur 59 maakt de swath een roll van  $+15^\circ$  naar  $-15^\circ$ . In dit figuur is te zien dat de swath parallel aan de richting van het schip blijft. De fout is veel groter aan de ene kant van de swath dan aan de andere kant. De refractie artefact wordt aan de kant waar de array naar beneden rolt groter en aan de kant waar de array naar boven rolt kleiner. In het rechterfiguur is een 3D plot van de vorm van een vlakke zeebodem die vervormd is door zo'n artefact.

.....  
**Figuur 59 Vorm van dertig opeenvolgende swaths van een sonar met beweging stabilisatie bij een vlakke array.**  
[Kammerer, 1996]



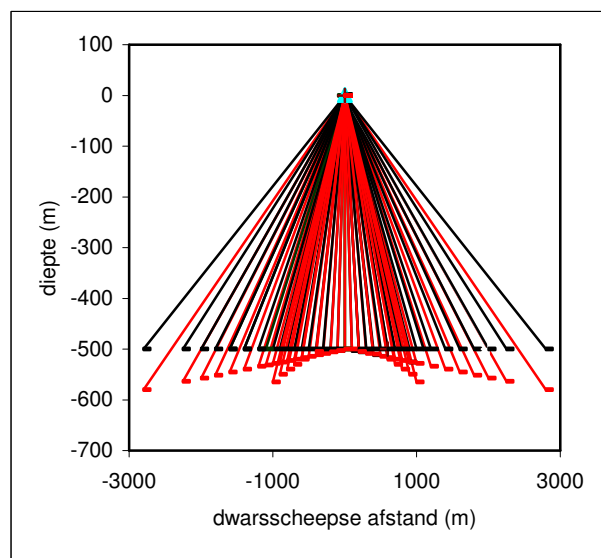
---

### Dubbele vlakke array

De fouten die bij een dubbele vlakke array ontstaan, zijn een combinatie van de fouten van een vlakke array die onder  $-45^\circ$  geïnstalleerd is en een vlakke array die onder  $+45^\circ$  geïnstalleerd is. Het gehele systeem is symmetrisch en de fouten dus ook. De fouten zijn nul bij de twee bundels die loodrecht op de array verzonden worden. De fouten worden groter naarmate je dichterbij nadir komt totdat de bundels van de andere array bereikt worden. De fouten ontstaan over de hele swath. Dit wordt weergegeven in Figuur 60. Er is goed te zien dat dit een combinatie is van Figuur 56.

Voor een vlakke transducer die onder een hoek van 40 graden gemonteerd is, zou de geluidssnelheid bij de transducer binnen 0.1 m/s bekend moeten zijn als de resulterende diepte fout verwaarloosbaar moet zijn binnen een 150 graden sector. [Hammerstad]

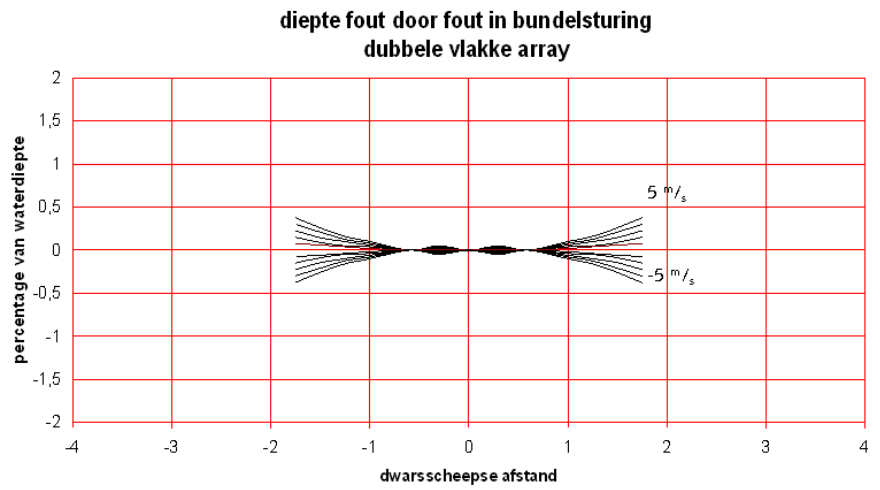
.....  
**Figuur 60 Impact van een SSS-fout op de vorm van een swath van een dubbele horizontale vlakke array.**  
[Kammerer, 1996]



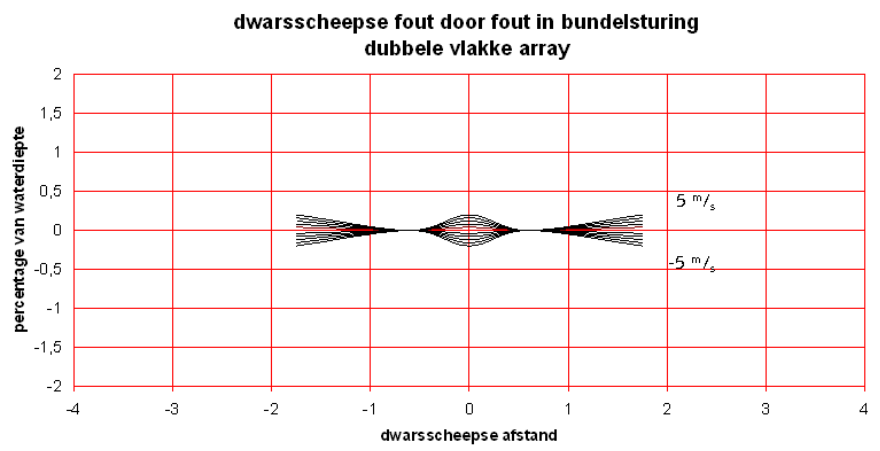
Figuur 61 en Figuur 62 laten respectievelijk een diepte fout en een dwarsscheepse fout bij een dubbele vlakke array zien. Hierbij zijn twee vlakke arrays loodrecht op elkaar gemonteerd; de één onder een hoek van ongeveer  $+45^\circ$  en de ander onder een hoek van ongeveer  $-45^\circ$ . De fouten worden veroorzaakt door een onjuiste geluidssnelheid bij de kop van de transducer. Door gebruik van een onjuiste geluidssnelheid wordt een onjuiste breking veroorzaakt tussen transducer en water. Hierdoor wordt de bundel in een verkeerde richting verzonden. Omdat bij een dubbele vlakke array bundelsturing bij alle bundels gebruikt kan worden, ontstaat bij alle bundels breking en dus een fout in de diepte en/of dwarsscheepse richting. Hoe groter de hoek waarin de bundel gestuurd wordt, hoe groter de diepte fout en hoe groter de dwarsscheepse fout.



.....  
**Figuur 61 Diepte fout bij  
dubbele vlakke array**



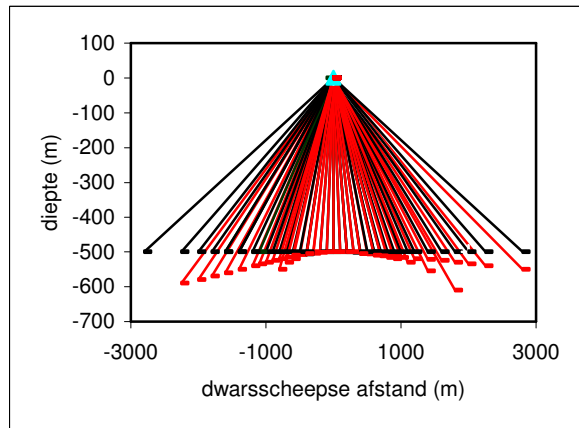
.....  
**Figuur 62 Dwarsscheepse fout door fout in bundelsturing  
bij dubbele vlakke array**



### Visualisatie van de refractie met een variërende roll hoek

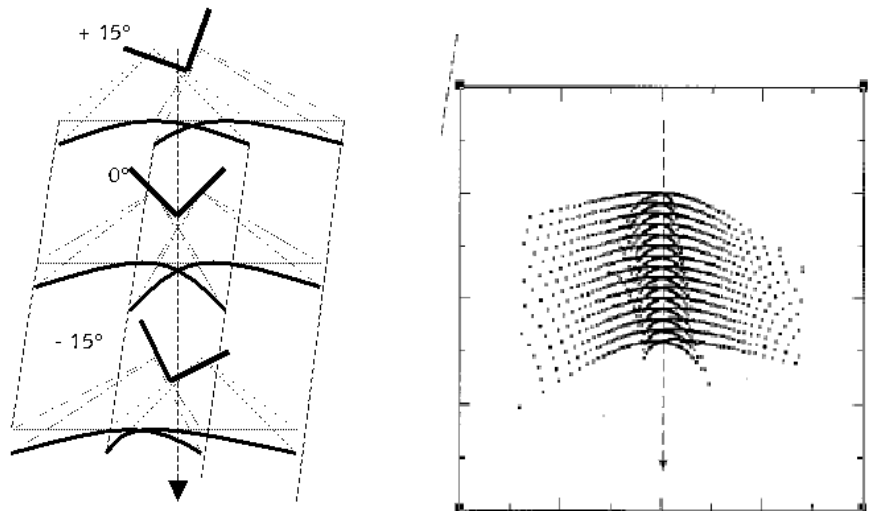
De vorm van dertig bundels die met een roll van +15 graden naar -15 graden gaan, is weergegeven in Figuur 63. Een smalle streep van fouten verschijnt in het midden. Echter er is goed te zien dat door de roll de fout in de swath verschuift.

Figuur 63 Impact van een SSS-fout op de vorm van een swath van een horizontale vlakke array zonder roll correctie. [Kammerer, 1996]



In Figuur 64 wordt een weergave gegeven van een dubbele array zonder beweging stabilisatie bij een roll dat varieert van 15 graden naar -15 graden. In het rechter figuur is opnieuw goed te zien hoe een vlakke zeebodem vervormd wordt door zo'n soort artefact. Er is hetzelfde effect herkenbaar als bij een enkele vlakke array zonder beweging stabilisatie. Zie het verschil tussen transducers zonder beweging stabilisatie en transducer met beweging stabilisatie door Figuur 64 en Figuur 66 te vergelijken.

Figuur 64 Vorm van dertig opeenvolgende swaths wanneer de vlakke array rolt. [Kammerer, 1996]

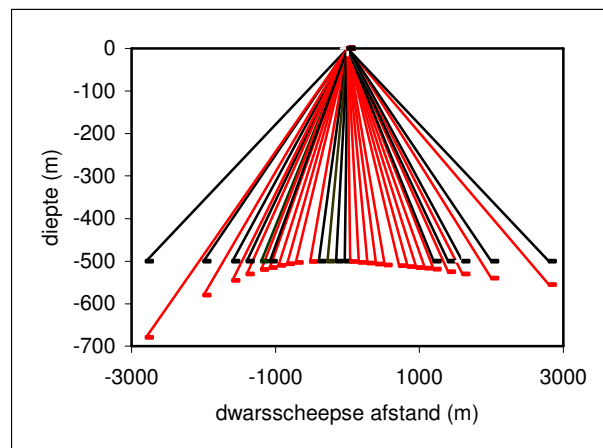


### Roll gestabiliseerde dubbele vlakke array

De breking bij twee vlakke transducers die onder een hoek gemonteerd zijn, is vergelijkbaar met één vlakke array. Echter de vorm van de swath zal er anders uit zien.

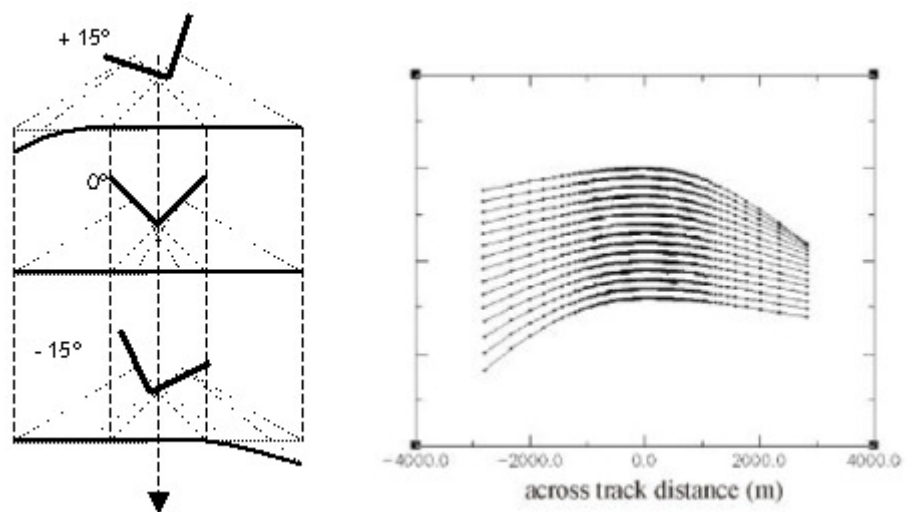
Wanneer een positieve roll van 15 graden het schip beïnvloedt, blijft door de roll stabilisatie de dekking onveranderd. Om de bundels af te stemmen, sturen de twee transducers de bundels richting de kant waar het schip naar beneden rolt. De bundels hebben aan de kant die naar beneden rolt kleinere stuurhoeken nodig dan aan de kant van het schip die omhoog rolt. De effecten zijn zichtbaar in Figuur 65. De fout wordt naarmate je verder naar de kanten van de swath komt. In dit geval is de fout aan bakboorzijde fout dan de fout aan stuurboord zijde.

**Figuur 65 Impact van een surface sound speed fout op de vorm van een swath van een horizontale vlakke array.**  
[Kammerer, 1996]



Figuur 66 laat zien hoe breking artefacten van een dubbele vlakke array met beweging stabilisatie veranderen met roll die varieert van +15 graden naar -15 graden. Er is een constante dekking. De fouten in het binnenste van de twee transducer swath zijn sterk afhankelijk van de roll. Het systeem is roll gestabiliseerd, zie hoe recht het traject is.

**Figuur 66 Vorm van dertig opeenvolgende swaths wanneer de vlakke array rolt.**  
[Kammerer, 1996]



---

---

---

# 5. Handleiding data analyse

---

## 5.1 Inleiding

Het analyseren van de data bestaat uit een aantal verschillende stappen. In dit hoofdstuk zal worden uitgelegd welke stappen er gevolgd moeten worden om een analyse te kunnen uitvoeren. Het werken met het analyseprogramma Swathed vergt enige tijd. Zonder ervaring is het moeilijk om artefacten te herkennen. Daarom zal er stap voor stap worden uitgelegd hoe een artefact herkend en opgelost kan worden. Vervolgens zal in hoofdstuk 6 de werkelijke analyse van de data gedaan worden. Dit hoofdstuk is als volgt ingedeeld:

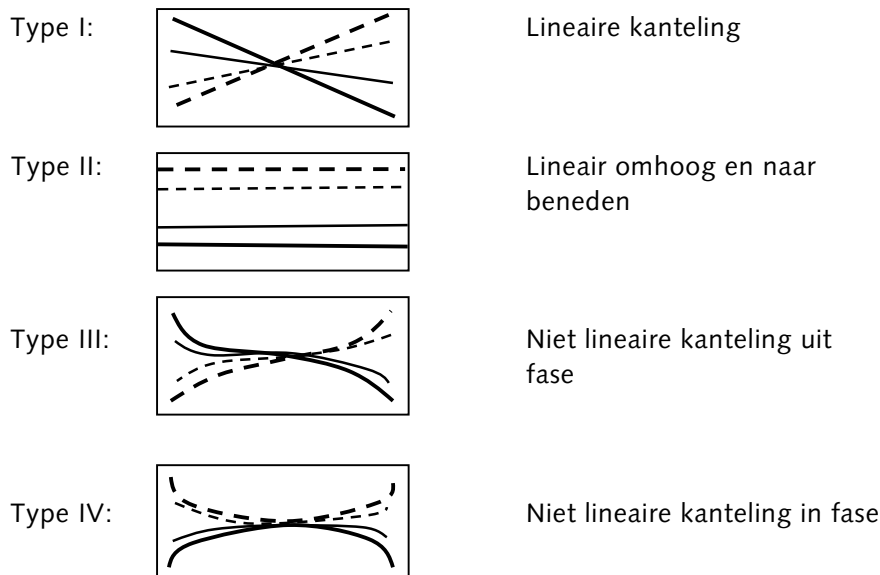
- Swath editor
- Cross plot analyse in Timeseries
- Correlaties
- Het verwijderen van een artefact
- Jview, het maken van profielen

### 5.1.1. Herkennen van artefacten

Bij een DTM kan de zon van verschillende kanten schijnen. Hierdoor zijn artefacten beter of slechter te herkennen. Volgens Hughes Clarke zijn artefacten in vier verschillende typen in te delen (Figuur 67):

---

**Figuur 67 Typen artefacten**



---

### 5.1.2. DTM

Begin met het maken van een DTM. Dan kan er geconstateerd worden of er artefacten in de data aanwezig zijn.

Kijk waar en of er een vlak gebied in de DTM aanwezig is, benodigd voor de analyse in Swathed.

Gebieden die minder geschikt zijn voor de analyse, zijn gebieden die niet vlak zijn of met objecten zoals bijvoorbeeld rotsen of zeegras.

### 5.1.3. Openen data

#### Mapstructuur

Voor het inlezen van data in Swathed, zal de data in het formaat \*.merged moeten zijn. Er is een procedure om van een .xtf file een \*.merged file te maken. Hoe deze procedure gaat, zal niet in dit verslag behandeld worden. Vervolgens wordt een mapstructuur gecreëerd. Het is belangrijk om goed gearchiveerd te houden om deze gemakkelijk in te kunnen lezen in Swathed. De \*.merged files worden in de map merged gezet, waarin mappen opgebouwd worden van de verschillende data.

In één map dienen de volgende mappen aangemaakt te worden:

- DTM
- Maps
- Merged/1998\_JDxxx
- Raw
- SVP

#### Swathed starten

Om Swathed te starten zal eerst naar de map verwezen moeten worden waar de data in opgeslagen is. Vervolgens wordt verwezen naar de lijn die geopend dient te worden. Er wordt altijd een \*.merged file geopend in Swathed. Deze lijn kan in Swathed geopend worden door in de terminal het volgende in te voeren:

```
swathed -mini merged/1998_JDxxx/0013_19980907_185114.merged
```

Deze commando's doen het volgende:

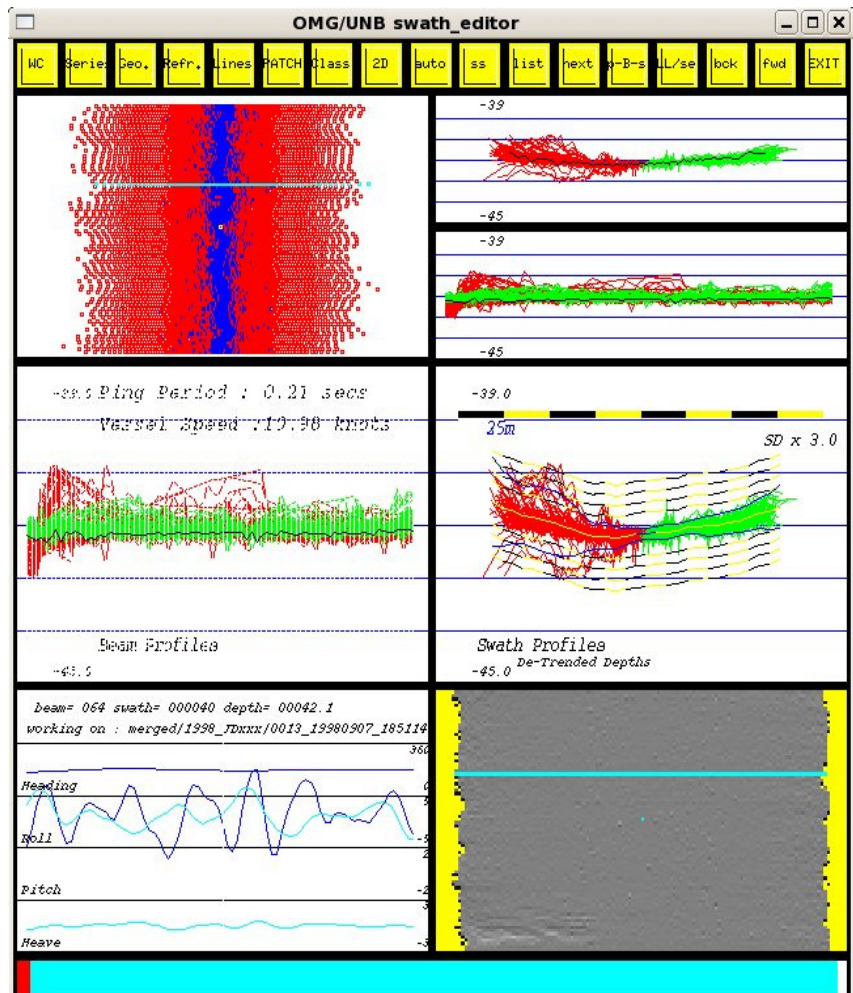
swathed:	start het programma swathed
-mini:	geeft een kleiner scherm (optioneel)
merged/1998_JDxxx/ :	gaat naar de betreffende map
0013.....merged:	verwijst naar de data

## 5.2 Swath editor

### 5.2.1. Inleiding

Bij het starten van Swathed, komt als eerste het swath editor scherm naar voren. In het scherm zijn 80 swaths zichtbaar (Figuur 68).

Figuur 68 Swathed



---

Hieronder wordt elk deel van de swath editor apart behandeld:

*Links boven:*

Een bovenaanzicht waarbij de rode puntjes fasemetingen zijn en de blauwe puntjes amplitudemetingen zijn. Met de linkermuisknop kan de data bewerkt worden.

Er zit een puntje in die van rechts naar links en van boven naar beneden bewogen kan worden. Daarmee wordt aangegeven waar de swath zich bevindt bij de schermen in het midden.

*Links midden:*

Dit is een zijaanzicht van de swath. Links is west en rechts is oost.

Met de muis en de pijltjestoetsen kan er heen en weer bewogen worden door de verschillende swaths. Met de muis in dit vak en tegelijk op de D van 'detrend' drukken, kan er meer van opzij of van boven op de data neergekeken worden.

In het scherm is verder de gemiddelde ping rate van het multibeam echolood en de gemiddelde snelheid van het schip te zien.

In dit scherm kan het duidelijk worden of er een artefact in de data aanwezig is.

*Links onder:*

In dit scherm is de heading, roll, pitch en heave van de betreffende 80 swaths te zien. Vergelijk dit scherm met het scherm erboven. Zo is er te zien of de beweging van de swath correleert met een scheepsbeweging zoals roll, pitch of heave.

*Rechts boven:*

Hier is de ruwe data zichtbaar. Deze is niet te filteren in dit scherm.

*Rechts midden:*

Dit is een achteraanzicht van alle swaths.

Met de muis in het vak + "V", worden IHO-normen zichtbaar.

Met de muis in het vak + "K", worden QMS-normen zichtbaar.

De data kan gefilterd worden met verschillende filters. [Beaudain, 2002]

*Rechts onder:*

Hier is een sun illumination van de data te zien.

Met de muis in het vak + "C", wordt de backscatter informatie zichtbaar.

*Mintgroene balk:*

Met de muis in het vak + spatiebalk, wordt er door de swaths heengelopen.

Boven in de Swath editor zijn verschillende menu's beschikbaar. In paragraaf 5.2.2. worden de menu's behandeld die gebruikt worden voor de analyse om artefacten op te sporen.

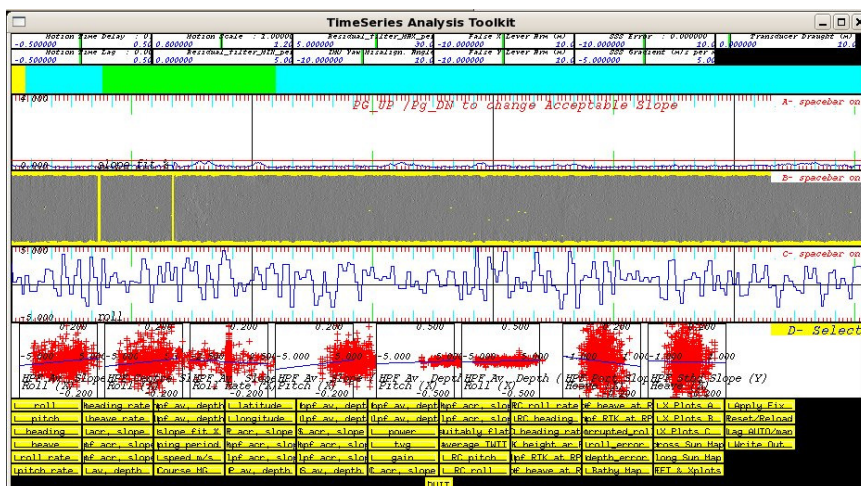
Only God knows.... or JHC



## 5.2.2. TimeSeries

In TimeSeries kan een analyse gedaan worden van de fouten die in een dataset zitten. In TimeSeries kan ingesteld worden wat er in de vier onderste balken tevoorschijn moet komen. In Figuur 69 zijn de volgende balken geselecteerd: slope fit, along sun map, roll en X Plots A.

Figuur 69 TimeSeries



Onderaan in het scherm van TimeSeries staan alle selectiemogelijkheden. Om een bepaalde balk te selecteren moet de muis rechtsboven in de balk gehouden worden en moet er op de spatie gedrukt worden. Zodra deze balk dan geselecteerd is, kan er in het gele menu een optie gekozen worden die er in die balk tevoorschijn moet komen.

In de mintgroene balk kan er eventueel worden ingesteld welk deel van de DTM er uitvergroet moet worden. Dit deel moet met de muis geselecteerd worden.

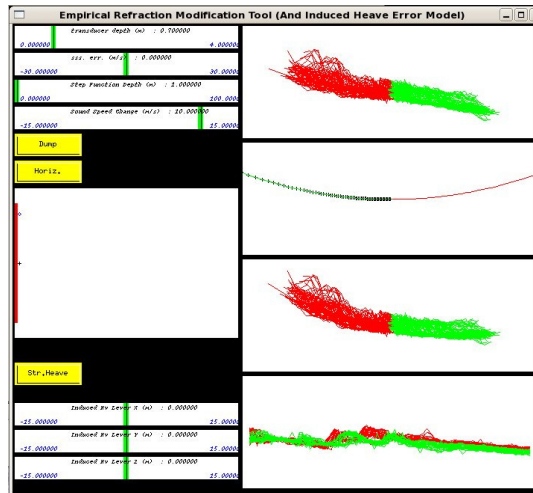
Om het geselecteerde gebied weer terug te zetten naar de oude schaal (de hele DTM), dient de muis weer in deze mintgroene balk gehouden te worden en moet er op 'A' gedrukt worden. Of kan er op 'R' voor rescaling gedrukt worden.

In grafieken, zoals de roll bijvoorbeeld, kan de schaal aangepast worden. Dit kan door de muis boven of juist onder in de witte balk te plaatsen en op het pijltje omhoog of juist omlaag te klikken.

### 5.2.3. Refraction tool

Een fout in het geluidssnelheidsprofiel kenmerkt zich door een frown of een smile. In de refraction tool (Figuur 70) zijn deze te herkennen. Hierin kan de geluidssnelheid aangepast worden, om te kijken hoe groot de correctie moet zijn om een vlakke bodem te krijgen. De geluidssnelheidsfout kan anders zijn op verschillende locaties op de lijn. Er kan door de lijn heengelopen worden en het verschil in fout kan herkend worden.

.....  
Figuur 70 Refraction tool



## 5.3 Cross plot analyse in TimeSeries

### 5.3.1. Inleiding

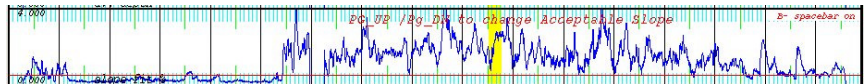
Selecteer de volgende grafieken:

- **slope fit**

Met behulp van 'slope fit' (Figuur 71) kan er een vlak gebied gezocht worden. De blauwe lijn moet dan onder de rode (0.25) lijn zitten om een analyse te kunnen doen. Met 'page up' and 'page down' kan de waarde van de rode lijn veranderd worden. 0.25 is een lineaire regressie, die met een standaardformule met behulp van de kleinste kwadraten methode bepaald wordt. Het is het percentage van de diepte.

In het voorbeeld hieronder is aan de linkerkant een geschikt gebied te zien voor de analyse, omdat de blauwe lijn zich hier onder de rode lijn bevindt.

.....  
Figuur 71 Slope fit

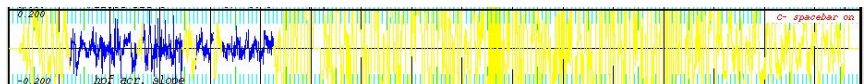


- **hpf across slope**

In 'hpf across slope' (Figuur 72) valt het blauwe deel binnen de 0.25 en kan hiermee dus de analyse worden gedaan.

Het gele in de scatterplot is het deel dat in 'slope fit' boven de rode lijn ligt, en dus niet geschikt is voor de analyse. Opnieuw zou het gebied aan de linkerkant geschikt zijn voor de analyse.

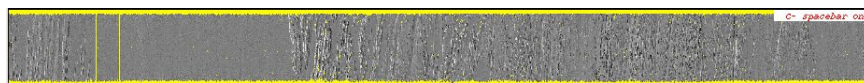
.....  
Figuur 72 HPF across slope



- **sun illumination along track**

In 'Along Sun Map' (Figuur 73) kan een DTM met sun illumination geselecteerd worden. Dit is dan wel de DTM van één lijn.

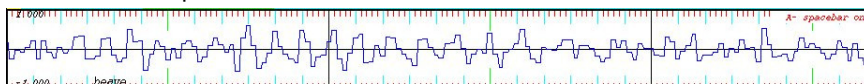
.....  
Figuur 73 Sun illumination along track



- **scheepsbewegingen**

Bij het laten zien van een scheepsbeweging, zoals roll, pitch of heave (Figuur 74) kan er worden vergeleken met 'hpf across slope', 'hpf average depth' of de sun illumination along track, of er correlatie plaatsvindt.

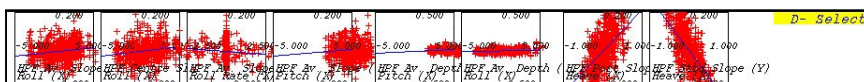
.....  
Figuur 74 Heave



- **cross plots**

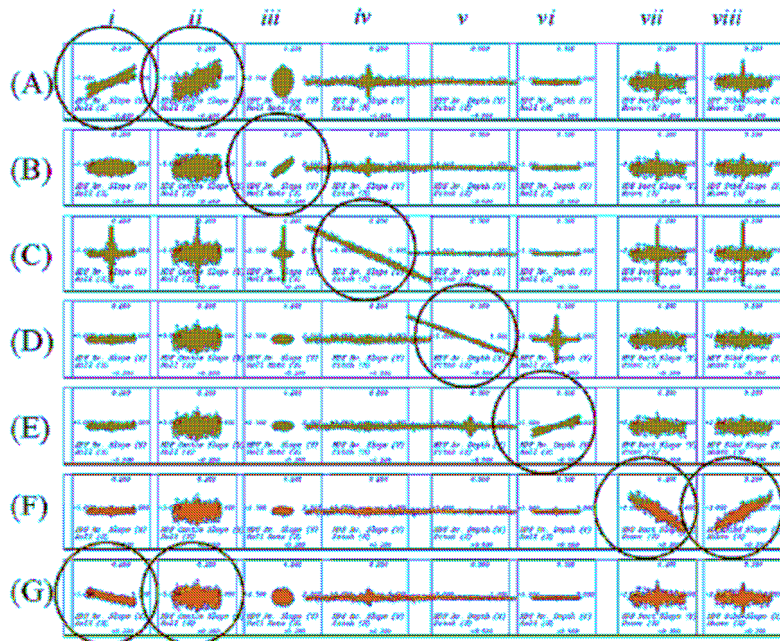
Aan alleen de cross plots (Figuur 75) kan vaak al herkend worden, indien er sprake is van artefacten, wat voor type artefact er is. Dit wordt hieronder en in hoofdstuk 6 verder uitgelegd.

.....  
Figuur 75 Cross plots



In Figuur 76 zijn alle cross plots te zien. Hierbij geven de rijen (A t/m G) het type fout aan en de kolommen (i t/m viii) het type beweging op dat moment (roll, pitch, heave of roll rate). Aan de cross plots die omcirkeld zijn in Figuur 76, zijn de typen fouten af te leiden. Bij elk type fout gaan er één of twee cross plots anders staan. Deze zullen dan allemaal (behalve bij Gii) hellend gaan staan. Aan deze hellingen kunnen de fouten herkend worden. Hieronder, in 5.3.2., zullen van elk type fout de kenmerken genoemd worden.

**Figuur 76** Alle mogelijke Cross plots



In een cross plot is een lineaire regressie te zien en deze komt voort uit een aantal scatterplots. Aan de helling van de lineaire regressie is te zien hoe groot een fout is.

In elke cross plot is er sprake van een correlatie met de HPF dwarsscheepse helling of met de HPF gemiddelde diepte. In de crossplots valt te zien bij welk van deze twee correlaties er sprake is. In elke cross plot is horizontaal af te lezen hoe groot de scheepsbeweging van die plot is. Verticaal is er af te lezen hoe groot de HPF helling of de HPF gemiddelde diepte is.

### 5.3.2. Kenmerken van fouten in de cross plots

#### (A) Motion schaal Type I

Een fout in de motion schaal leidt tot artefacten van type I. Verder correleert de HPF (high pass filtered) dwarsscheepse helling met roll. Dus alleen wanneer het schip een roll beweging maakt en er zit een fout in de motion schaal, ontstaan er artefacten. De helling van de binnenste bundels is hetzelfde als de helling van de buitenste bundels. Een fout in de motion schaal komt tegenwoordig vrijwel niet meer voor en zal in deze scriptie niet behandeld worden.

---

**(B) Time Delay Type I**

Wanneer er sprake van een time-delay is, zal dit tot artefacten leiden indien er ook sprake van een roll rate is. Als dat zo is, zullen er artefacten van type I ontstaan. Bij een fout in de time-delay correleert de HPF dwarsscheepse helling met de roll rate.

**(C) Yaw Misalignment Type I**

Een yaw-misalignment kan tot artefacten van type I leiden. Bij een yaw-misalignment correleert de HPF dwarsscheepse helling met de pitch. Dus alleen wanneer het schip een pitch-beweging maakt, leidt een yaw-misalignment tot artefacten.

**(D) X lever arm fout Type II**

Een fout in de x-lever arm kan tot artefacten van type II leiden. Bij deze fout correleert de HPF gemiddelde diepte met de pitch. Wanneer er dus een pitch is, zijn er bij een foute x-lever arm artefacten te zien.

**(E) Y lever arm fout Type II**

Een fout in de y-lever arm kan tot artefacten van type II leiden. Bij deze fout correleert de HPF gemiddelde diepte met de roll. Wanneer er dus een roll is, zijn er bij een foute y-lever arm artefacten te zien.

**(F) Surface Sound Type IV**

Bakboord en stuurboord HPF helling correleert in snelheidsgradiënt hetzelfde en in tegenovergestelde richtingen met heave (transducer diepte).

**(G) Surface Sound Type III**

Een foute geluidssnelheid kan tot artefacten van type III leiden. Bij dit type fout correleert de HPF dwarsscheepse helling met de roll.

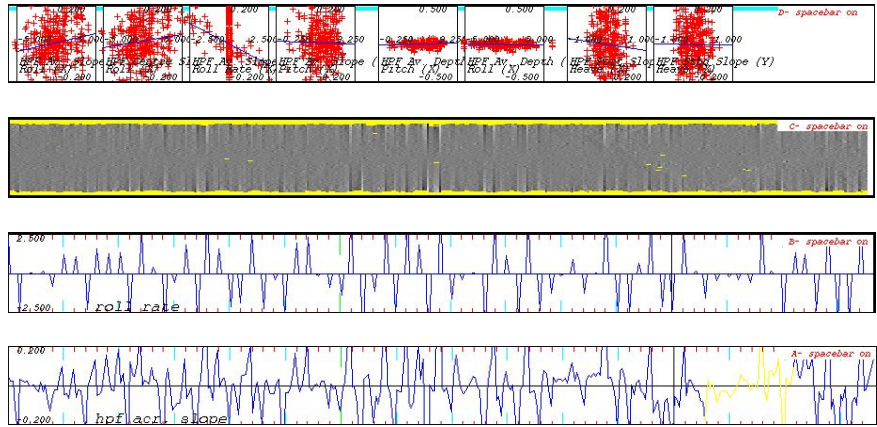
## 5.4 Correlaties

Bij elk type fout treden er correlaties op.

De correlaties komen er bij elk type fout als volgt uit te zien:

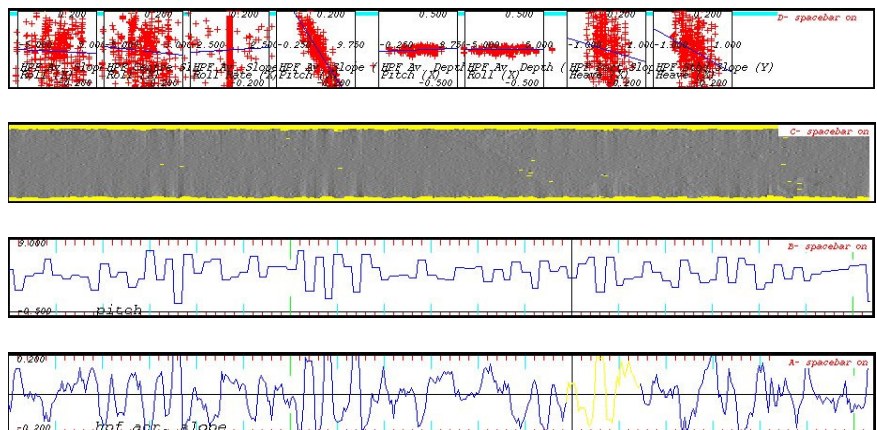
### (B) Time-delay Type I, HPF dwarsscheepse helling correleert met roll rate

Figuur 77 Time-delay



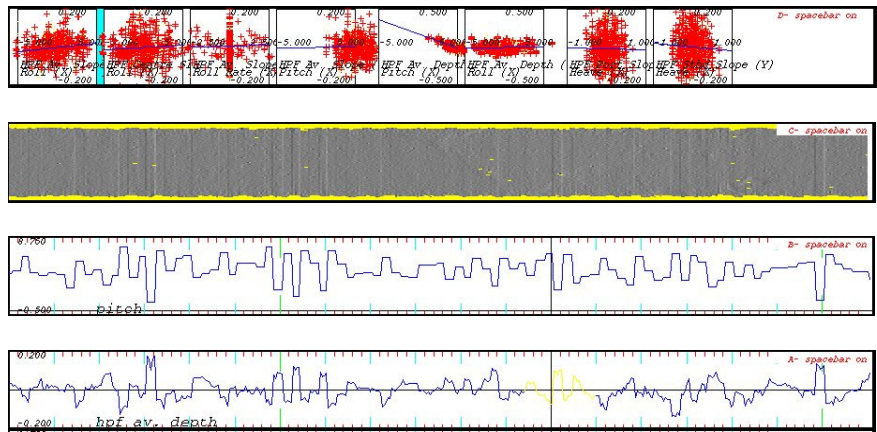
### (C) Yaw Misalignment Type I, HPF dwarsscheepse helling correleert met pitch

Figuur 78 Yaw Misalignment



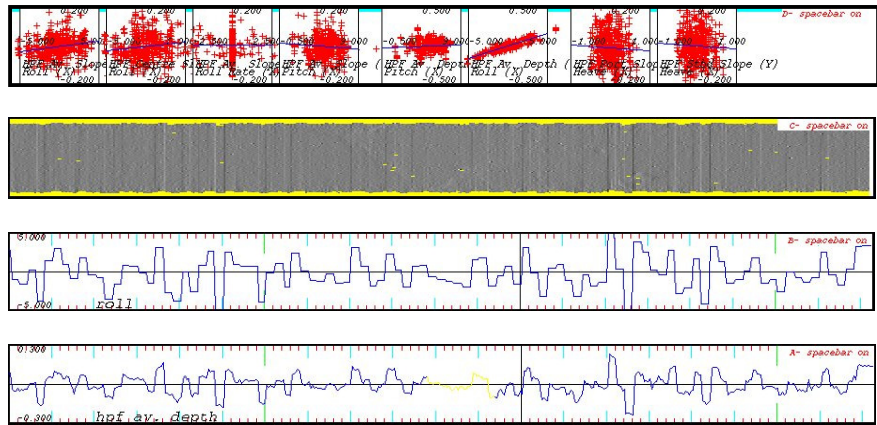
(D) X lever arm fout Type II, HPF gemiddelde diepte correleert met pitch

Figuur 79 X Lever arm fout



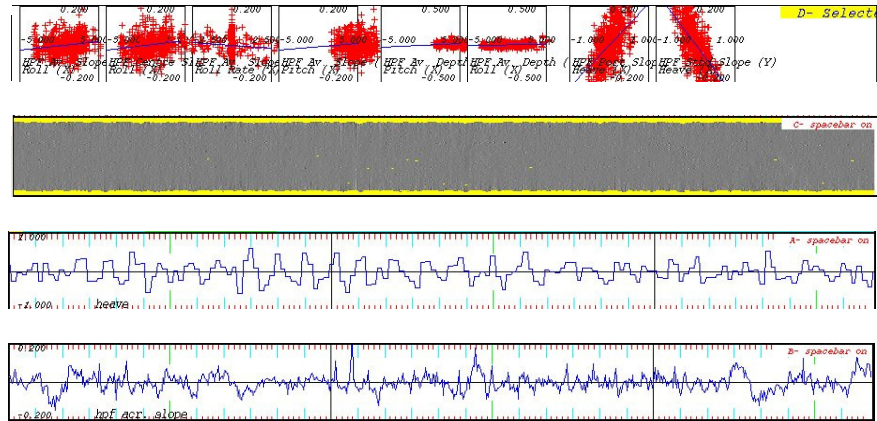
(E) Y lever arm fout Type II, HPF gemiddelde diepte correleert met roll

Figuur 80 Y Lever arm fout



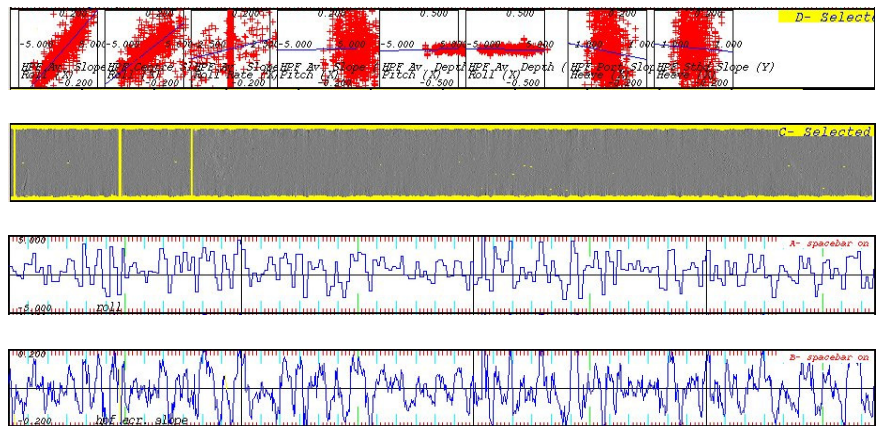
(F) Surface Sound Type IV, correlatie met heave

Figuur 81 Surface Sound Type IV



(G) Surface Sound Type III, HPF dwarsscheepse helling correleert met roll

Figuur 82 Surface Sound Type III





---

## 5.5 Het verwijderen van een artefact

In de voorgaande paragrafen stond beschreven hoe een artefact in Swathed herkend en bepaald kan worden. Het is ook mogelijk om in Swathed deze artefacten te verwijderen of te minimaliseren.

Wanneer bepaald is in welke scatterplot de fout zit, kan met behulp van de bovenste balkjes deze fout worden gewijzigd.

Het verwijderen van een artefact gaat als volgt. Zorg er voor dat de balk met crossplots geopend is. Daarnaast moet in de gele balk ook het menu FFT & Xplots (Figuur 83) geopend worden. Met behulp van dit menu kan bepaald worden hoe groot de fout is.

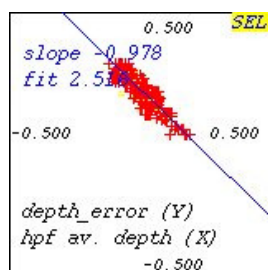
Stel dat er een fout zit in de x-lever arm, dan moet de waarde van de x-lever arm zo ingesteld worden, dat de slope in FFT & Xplots  $-1$ , of zo dicht mogelijk bij de  $-1$ , wordt. Wanneer de slope (bijna)  $-1$  is, is dit de juiste waarde van de x-lever arm.

Dat de helling  $-1$  moet zijn om een fout te verwijderen of te minimaliseren, geldt zowel voor een fout in de x-lever arm, een fout in de y-lever arm, een time-delay, een SSS error en een SSS gradient. Bij een yaw-misalignment dient de helling  $-0.70$  te zijn om deze te verwijderen of minimaliseren.

Met 'apply fix' wordt de verandering toegepast en kan vervolgens in de DTM gecontroleerd worden of de artefacten verdwenen of geminimaliseerd zijn.

Wanneer bepaald is waar de fout in zou kunnen zitten, is het verstandig om deze aan de hand van de gegevens van het schip, of de meetgegevens te controleren en eventueel aan te passen. Zo kan meestal de fout al gevonden worden. En dan kan deze exacte waarde ingevuld en de data gereplayed worden. Wanneer de artefact verdwijnt, zal dit de oorzaak van de artefact geweest zijn. Indien de fout hiermee bepaald is, maar de artefact na het aanpassen niet verdwijnt, kan het zijn dat de fout in het apparaat zelf zit. In dat geval moet er contact met de fabrikant worden opgenomen.

.....  
Figuur 83 FFT & Xplots

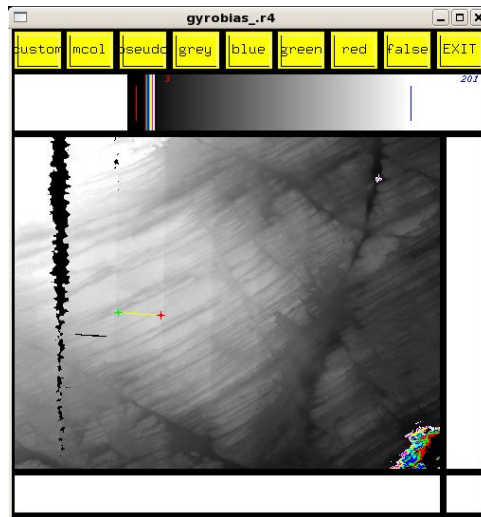


---

## 5.6 Jview: het maken van profielen

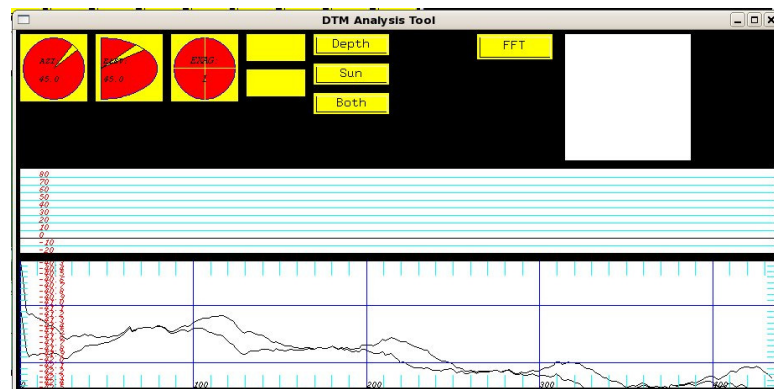
Een smile of frown, een kenmerk van een fout in het geluidssnelheidprofiel, is te herkennen in een dwarsprofiel (Figuur 54). Dwarsprofielen zijn te trekken in Jview. Interessant in Jview is dat er meerdere lagen over elkaar geopend kunnen worden. Daardoor kan het verschil tussen dwarsprofielen worden gezien.

.....  
**Figuur 84 Jview**



De DTM analysis tool wordt tegelijk met Jview geopend. Hier worden de getrokken profielen in weergegeven. Dit komt er als volgt uit te zien (Figuur 85):

.....  
**Figuur 85 Profielen**



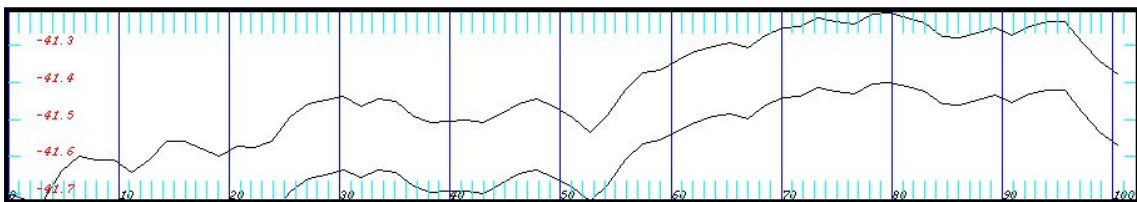
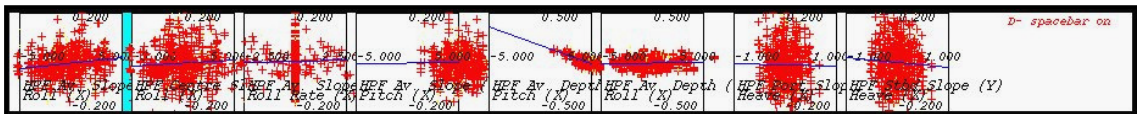
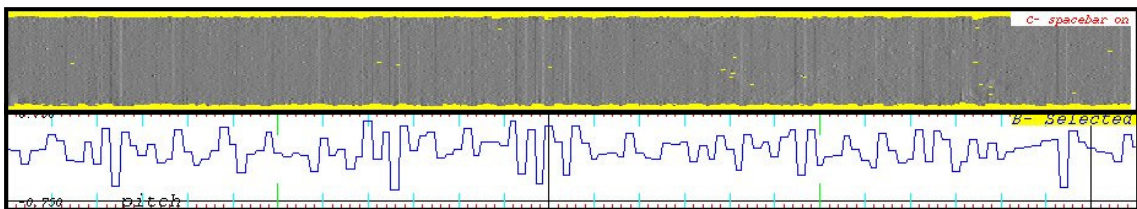
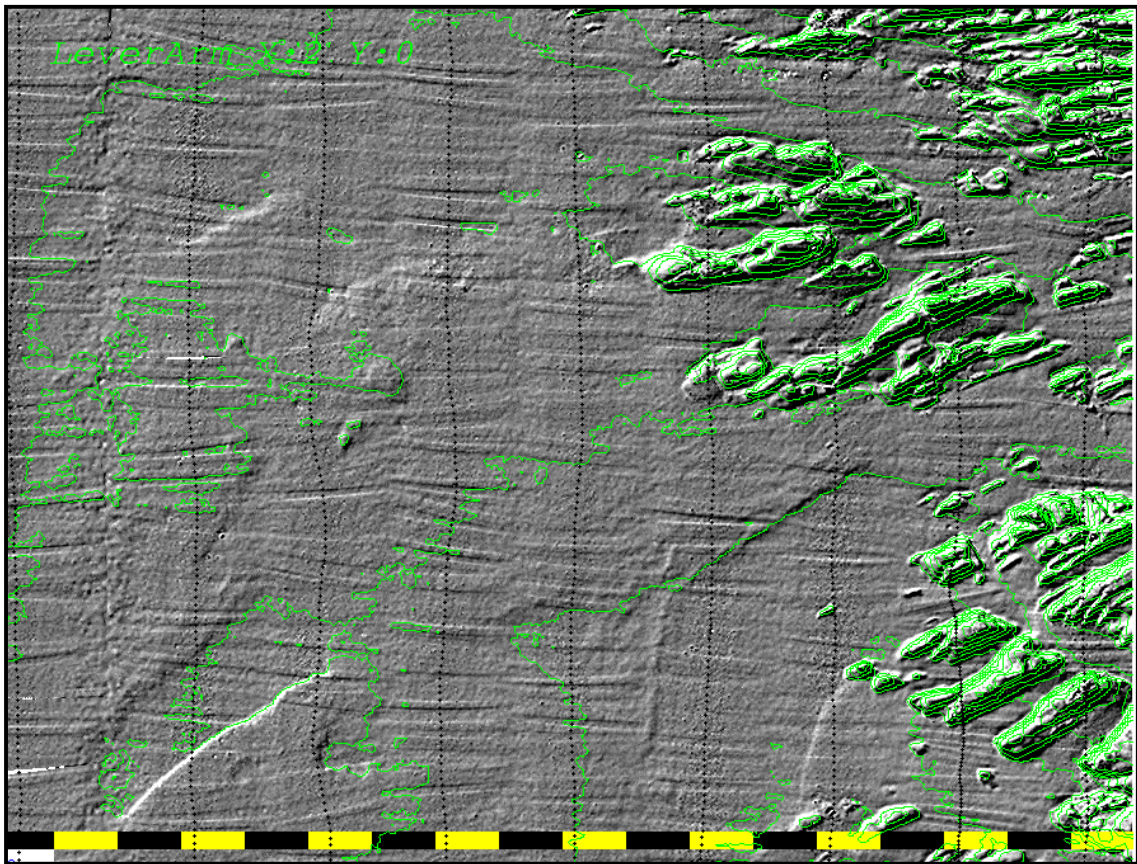
---

## 6.Data Analyse (“het fotoboek”)

---

This page intentionally left blank

## 6.1 Fout in de x-lever arm van 2 meter



---

In deze figuur is een DTM te zien dat opgebouwd is uit negen raaien. Deze raaien zijn met stippellijnen aangegeven. In het DTM is een synthetische fout in de x-lever arm van twee meter geïntroduceerd. Het effect van deze fout zijn artefacten die over de hele breedte van de swath lopen (type II). De hele swath gaat even ver omhoog of naar beneden.

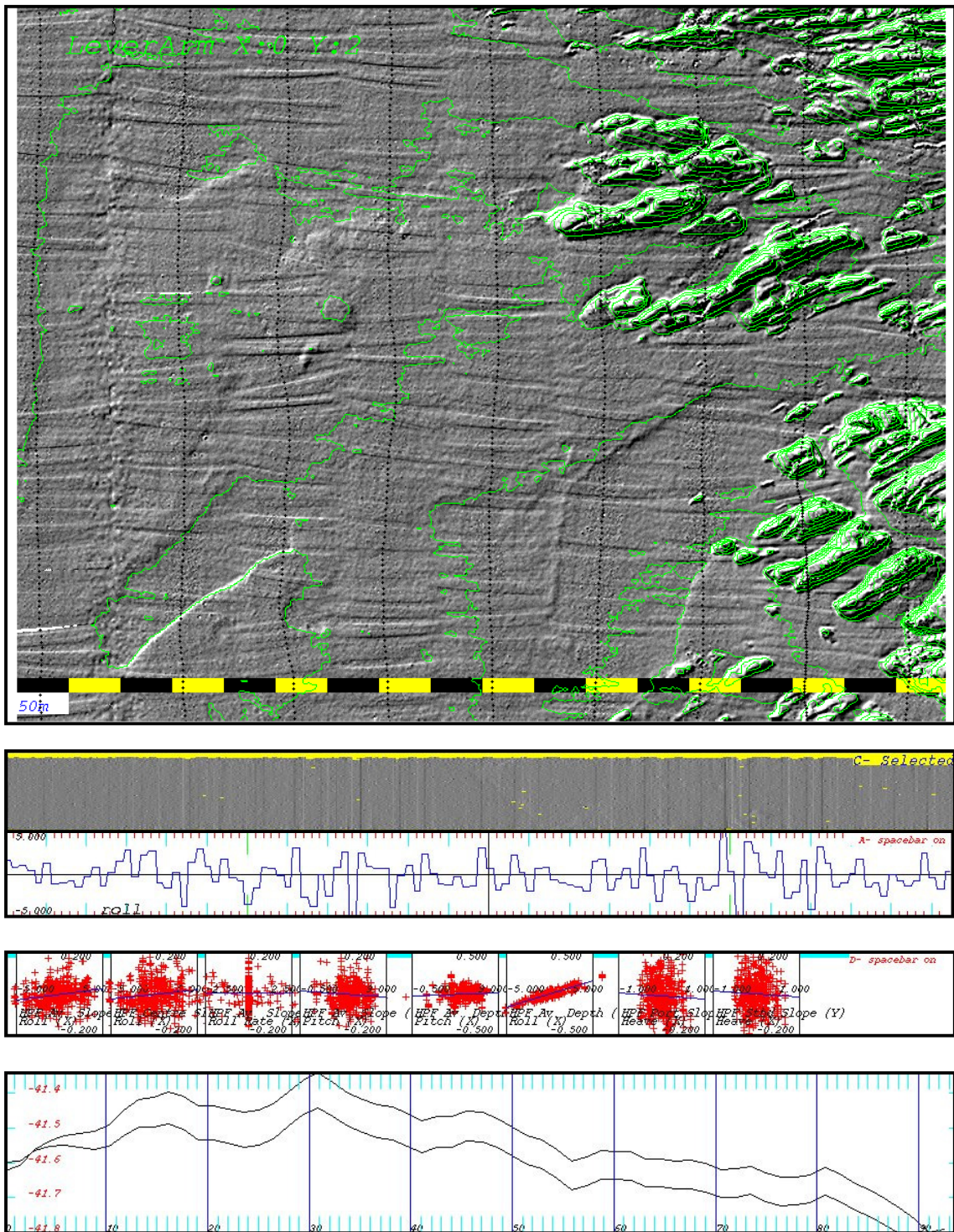
Deze fout wordt goed zichtbaar bij pitch bewegingen en een vlakke bodem. Dit blijkt ook uit de figuur hiernaast. Rechts in het DTM is een reliëf zichtbaar. In dit deel met reliëf zijn de artefacten niet of lastig te herkennen. De analyse is hier gedaan op de derde raai van links in het vlakke gebied.

Hier links staat bovenaan een DTM aangegeven. Dit is een gedeelte van één van de raaien die uitver-groot is. Dit DTM maakt gebruik van sun-illumination. Onder de DTM staat de pitch aangegeven die het schip in dat gedeelte van de raai maakte. In dit DTM is goed te zien dat de pitch invloed heeft op de x-lever arm. Wanneer er namelijk een grote (+ / -) pitch optreedt, zijn er duidelijk artefacten te zien.

In de scatterplots hier links is te zien dat de volgende (grafiek van de) scatterplot hellend staat: HPF av depth dat correleert met de pitch hellend staat. Dit betekent dat er een fout in de x-lever arm zit.

Hier links staan twee dwarsprofielen van de raai afgebeeld; de onderste lijn geeft het dwarsprofiel aan waar geen fout in de x-lever arm in zit. Bij de bovenste lijn zit er een fout van 2 meter in de x-lever arm. Net als in de DTM is hier goed te zien dat een fout in de x-lever arm effect heeft over de hele swath. Dit effect is overal in de swath even groot. Het verschil in diepte tussen deze twee swaths is ongeveer 20 cm.

## 6.2 Fout in de y-lever arm van 2 meter



---

In het DTM is een synthetische fout in de y-lever arm van twee meter geïntroduceerd. Het effect van deze fout is een artefacten die over de hele breedte van de swath loopt. De hele swath gaat even ver omhoog of naar beneden. Dit betekent dat het artefacten van type II zijn. Dit DTM lijkt erg veel op het DTM met de synthetische fout in de x-lever arm.

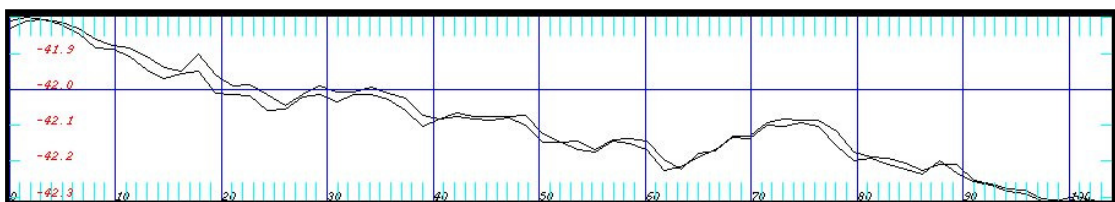
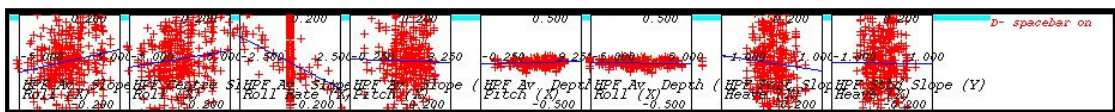
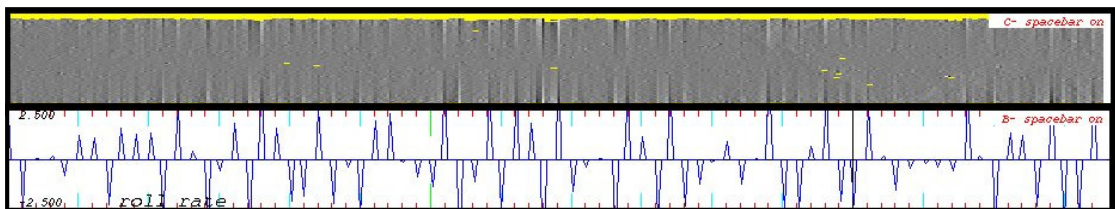
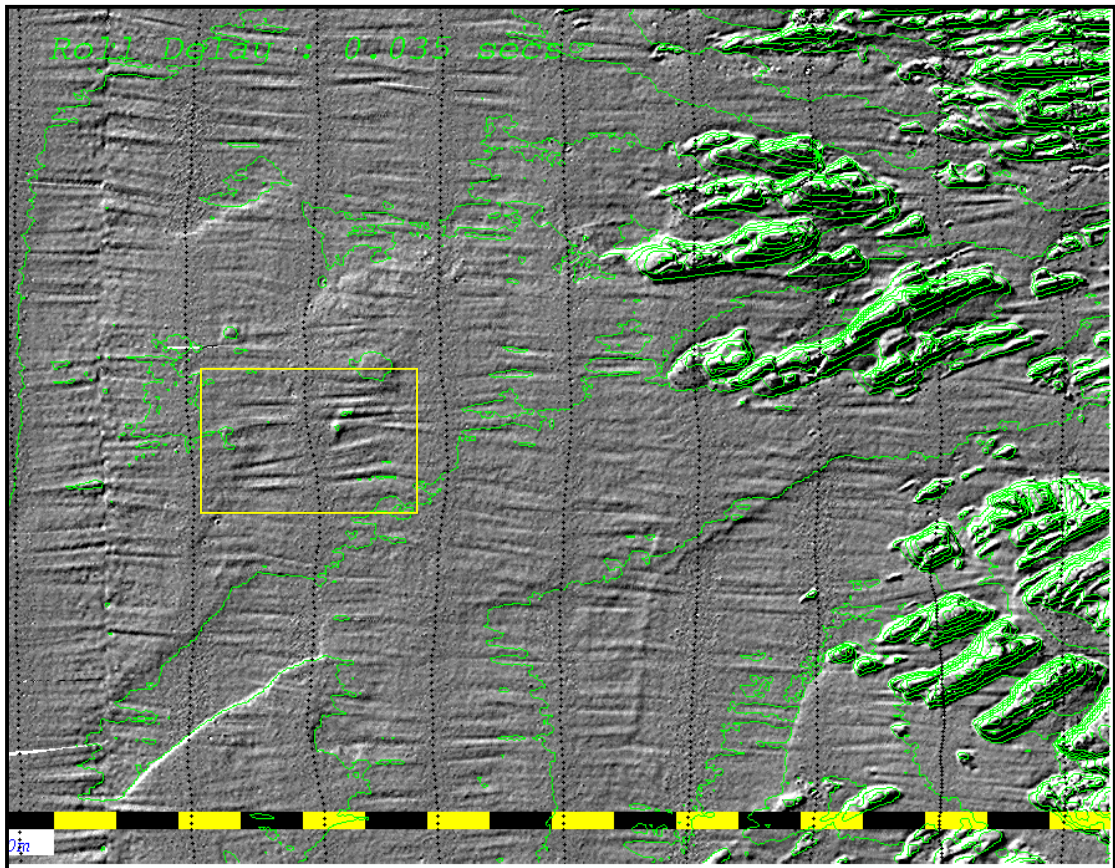
Deze fout wordt pas zichtbaar bij roll bewegingen en een vlakke bodem. Dit blijkt ook uit de figuur hiernaast. Rechts in het DTM is een reliëf zichtbaar. In dit deel met reliëf zijn de artefacten niet of lastig te herkennen. De analyse is hier gedaan op de derde raai van links in het vlakke gebied.

Hier links staat bovenaan een DTM aangegeven. Dit is een gedeelte van één van de raaien die uitvergroet is. Dit DTM maakt gebruik van sun-illumination. Onder het DTM staat de roll aangegeven die het schip in dat gedeelte van de raai maakte. In dit DTM is goed te zien dat de roll invloed heeft op de y-lever arm. Wanneer er namelijk een roll optreedt, zijn er duidelijk artefacten te zien.

In de scatterplot hier links is te zien dat de (grafiek van de) volgende scatterplot hellend staat: HPF av depth die correleert met de roll. Dit betekent dat er een fout is in de y-lever arm zit.

Hier links staan twee dwarsprofielen van de raai afgebeeld; de ene lijn geeft het dwarsprofiel aan waar geen fout in de y-lever arm in zit, de andere lijn geeft het dwarsprofiel aan waar een fout van 2 meter in de y-lever arm zit. Welk profiel er dieper ligt, hangt af van de roll (of deze positief of negatief is). Net als in de DTM is hier goed te zien dat een fout in de y-lever arm effect heeft over de hele swath. Dit effect is overal in de swath even groot en het verschil in diepte tussen deze twee swaths is ongeveer 10 cm.

### 6.3 Rolldelay van 35 ms





---

In het DTM is een synthetische time-delay van 35 milliseconden geïntroduceerd. Het effect van deze fout zijn artefacten die lineair en hellend over de swath lopen (type 1). De buitenste bundels hebben de grootste fout. Dit is goed te zien in het DTM; naarmate de swath verder naar buiten komt zijn de artefacten steeds beter zichtbaar. Daarnaast wordt de ene helft van de swath te diep gemeten en de andere helft te ondiep. In het gele vierkantje in de DTM is dit goed te zien door middel van de schaduwvorming.

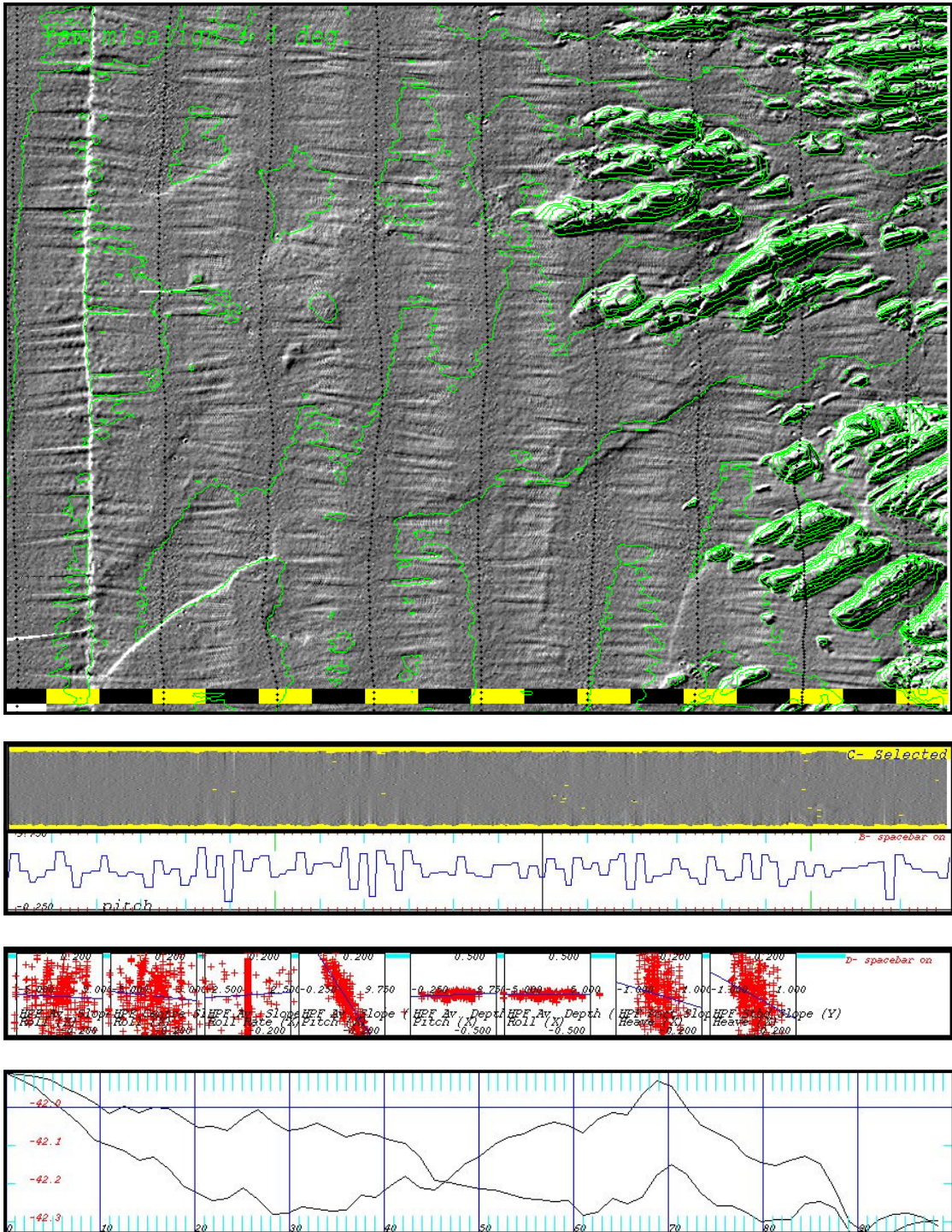
Deze fout wordt pas zichtbaar bij veranderingen in de roll rate en een vlakke bodem. Dit blijkt ook uit de figuur hiernaast. Rechts in het DTM is een reliëf zichtbaar. In dit deel met reliëf zijn de artefacten niet of lastig te herkennen. De analyse is hier gedaan op de derde raai van links in het vlakke gebied.

Hier links staat bovenaan een DTM aangegeven. Dit is een gedeelte van de raai die uitvergroet is. Onder het DTM staat de roll rate aangegeven die het schip in dat gedeelte van de raai maakte. In dit DTM is goed te zien dat de roll rate invloed heeft op de y-lever arm. Wanneer de roll rate erg groot (positief of negatief) is, zijn er duidelijk artefacten te zien.

In de scatterplot hier links is te zien dat de volgende (grafiek van de) scatterplot hellend staat: HPF av Slope die correleert met de roll rate. Dit betekent dat er een fout in de x-lever arm zit.

Ook in deze dwarsdoorsnede van een raai is het niet zo duidelijk te zien dat het artefacten van type 1 zijn. Wel is er te zien dat de twee swaths elkaar een aantal keren snijden. Dit betekent dat het een fout van type 1 of type 3 moet zijn. Aangezien deze swaths wel lineair lopen, moet het type 1 zijn.

## 6.4 Yaw-misalignment van 4°



---

In het DTM is een synthetische yaw-misalignment van  $4^\circ$  geïntroduceerd. Een yaw-misalignment kan veroorzaakt worden door crosstalk. Het effect van yaw-misalignment zijn artefacten die lineair en hellend over de swath lopen (Type I). De buitenste bundels hebben de grootste fout. Dit is goed te zien in het DTM; naarmate de swath verder naar buiten komt zijn de artefacten steeds beter zichtbaar. Daarnaast wordt de ene helft van de swath te diep gemeten en de andere helft te ondiep. Ook dit is op sommige plekken te zien door middel van de schaduwen.

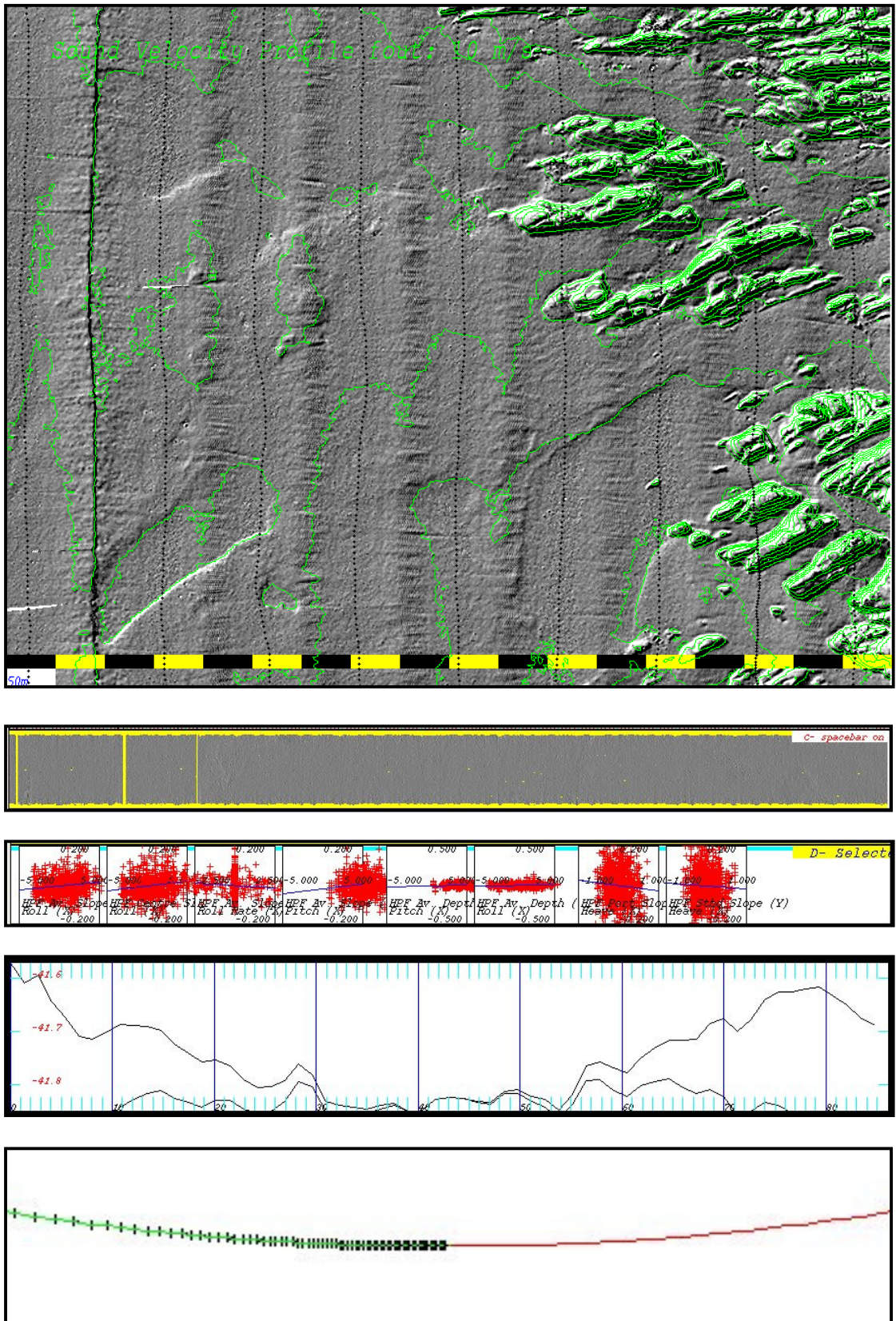
Deze fout wordt pas zichtbaar bij veranderingen in de pitch en een vlakke bodem. Dit blijkt ook uit de figuur hiernaast. Rechts in het DTM is een reliëf zichtbaar. In dit deel met reliëf zijn de artefacten niet of lastig te herkennen. De analyse is hier gedaan op de derde raai van links in het vlakke gebied.

Hier links staat bovenaan een DTM aangegeven. Dit is een gedeelte van de raai die uitvergroet is. Onder het DTM staat de pitch aangegeven die het schip in dat gedeelte van de raai maakte. In dit DTM is te zien dat wanneer de pitch erg groot is (positief), er artefacten ontstaan.

In de scatterplot hier links is te zien dat de volgende (grafiek van de) scatterplot hellend staat: HPF av Slope die correleert met de pitch. Dit betekent dat er een yaw-misalignment is.

Hier links staan twee dwarsprofielen van de raai afgebeeld; de ene lijn geeft het dwarsprofiel aan waar geen yaw-misalignment in zit, de andere lijn geeft het dwarsprofiel aan waar een yaw-misalignment van  $4^\circ$  in zit. De twee swaths snijden elkaar in het midden van de swath. Dit is juist, want bij de swath met een yaw-misalignment is het midden van de swath het enige punt van de swath dat de juiste diepte meet. De ene helft meet namelijk te diep, de andere helft te ondiep.

## 6.5 Systematische fout in het geluidssnelheidsprofiel van + 10 m/s



---

In het DTM is een synthetische fout van 10 m/s in het geluidssnelheidsprofiel geïntroduceerd. Het effect van deze fout zijn artefacten die niet-lineair en niet in fase over de swath lopen (Type IV). De buitenste bundels hebben de grootste fout. Dit is goed te zien in het DTM; naarmate de swath verder naar buiten komt zijn de artefacten steeds beter zichtbaar.

Deze fout wordt pas zichtbaar bij veranderingen in de pitch en een vlakke bodem. Dit blijkt ook uit de figuur hiernaast. Rechts in het DTM is een reliëf zichtbaar. In dit deel met reliëf zijn de artefacten niet of lastig te herkennen. De analyse is hier gedaan op de vierde raai van links in het vlakke gebied.

Let op: Bij een fout in het geluidssnelheidsprofiel kan de gehele bodem hoger of lager liggen. Dit is te zien aan de contouren.

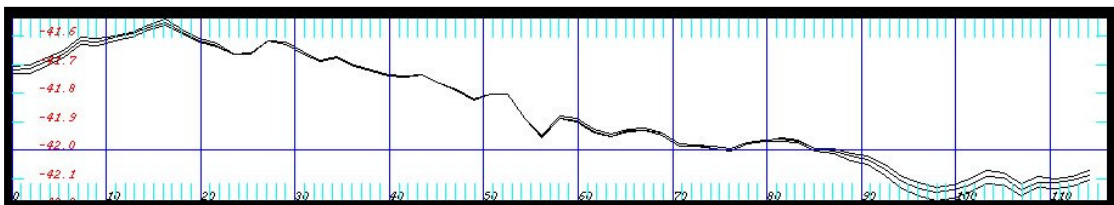
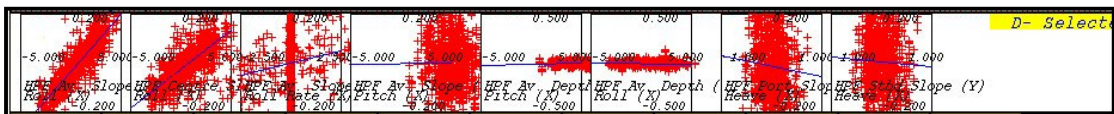
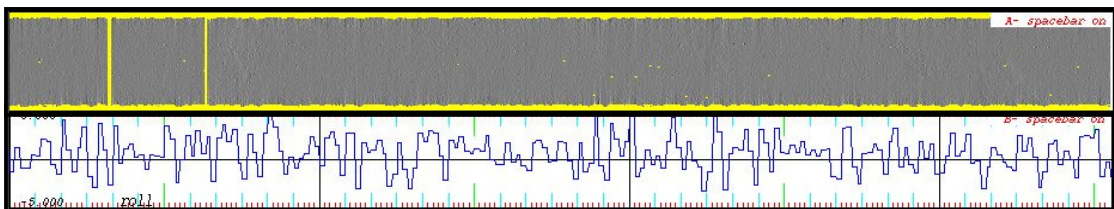
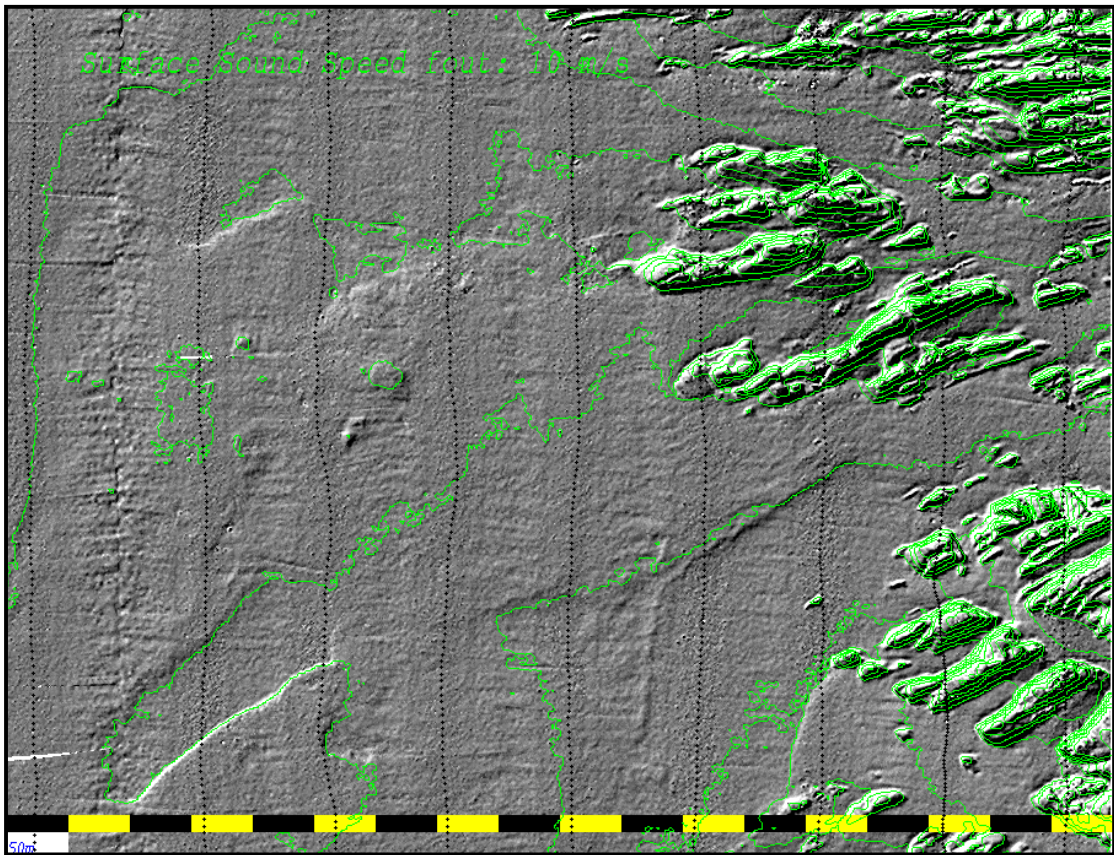
Dit is een gedeelte van de raai die uitvergroet is. Er zijn ribbelingen zichtbaar aan de buitenkant van de swath.

Uit de scatterplots komt geen duidelijke fout naar voren; alle plots staan (redelijk) horizontaal. Dit zou kunnen wijzen op een fout in het SVP.

Hiernaast zijn twee dwarsprofielen te zien; de onderste lijn is de swath zonder een fout in SVP, de bovenste lijn is een fout in SVP van 10 m/s. Het is duidelijk dat er een behoorlijke smiley optreedt.

In de refraction tool, wanneer de swath van voren bekeken wordt, is er een duidelijke smiley te zien. Dit zou kunnen duiden op een fout in het geluidssnelheidsprofiel. Bij het invullen van een hogere waarde ontstaat er een nog grotere smiley. Dit betekent dat er een te hoge geluidssnelheid gebruikt is. Bij een horizontaal vlakke swath, is er een geluidssnelheidsfout van – 10 m/s ingevuld. De gehele meting kan gereplayed worden met een geluidssnelheid profiel dat 10 m/s lager is dan het oorspronkelijke profiel.

## 6.6 Surface Sound Speed fout van 10 m/s



---

In het DTM is een synthetische fout van 10 m/s in de surface sound speed geïntroduceerd. Er zijn kleine ribbelingen aan de buitenkant van de swath te zien die behoorlijk afnemen naar het midden van de swath toe.

Deze data is opgenomen met een EM3000. Het betreft één van de sloepen van de Matthew, een Canadees kustwachtschip. De EM3000 is een vlakke array. Dat betekent dat alle bundels gestuurd worden. Als er een fout in de SSS bij een vlak array zit, zou dit zichtbaar moeten zijn over de hele breedte van de swath. Echter de fout zou theoretisch gezien groter moeten zijn bij de buitenste bundels en kleiner bij de binnenste bundels.

Wanneer de volgende laag in het geluidssnelheidsprofiel wel juist bekend was, ontstaat het Don Dinn effect waardoor de fout door gebruik van een onjuiste SSS beperkt blijft of zelfs verminderd wordt.

Links staat bovenaan een DTM aangegeven. Dit is een gedeelte van de raai die uitvergroet is. Onder de DTM staat de roll aangegeven die het schip in dat gedeelte van de raai maakte. In dit DTM is te zien dat de ribbelingen verder doorlopen naar het midden van de swath dan bij een fout in de SVP. Ook is er te zien dat er correlatie met de roll plaatsvindt.

In de scatterplot is te zien dat de volgende (grafiek van de) scatterplot hellend staat: HPF av. Slope en HPF centre slope. Beide correleren met de roll. Dit betekent dat er een fout in de Surface Sound Speed zit.

Hiernaast zijn twee dwarsprofielen te zien; de onderste lijn is de swath zonder een fout in de SSS, de middelste lijn heeft een fout in de SSS van 10 m/s en de bovenste lijn heeft een fout in de SSS van 20 m/s. Het is goed te zien dat de buitenste bundels omhoog komen, echter het verschil is minimaal.

De swath in de refraction tool. Er is een zo goed als vlakke swath te zien. De conclusie is dat een fout in de SSS een minieme invloed heeft op de verandering van de swath wanneer er op een diepte tot 20 meter gemeten wordt met een fout in de geluidssnelheid van ongeveer 10 m/s.

---

---



---

## 7. Conclusies en Aanbevelingen

---

### 7.1 Conclusies

Rijkswaterstaat wil meer informatie over hoe artefacten herkend, bepaald en voorkomen kunnen worden.

Artefacten zijn de dynamische systematische fouten. Artefacten kunnen ontstaan wanneer de stand en posities van sensoren, alswel time-delays tussen en in de sensoren en de geluidssnelheid niet correct worden toegepast.

Artefacten lijken erg op elkaar. Toch is het mogelijk om verschillende artefacten te herkennen. Met behulp van de sun-illumination presentatietechniek kunnen artefacten beter herkend worden en kan er vaak ook al herkend worden van wat voor type artefact er sprake is. Door in het programma Swathed te kijken naar factoren zoals dwarsprofielen, DTM, scatterplots en correlaties is het mogelijk om de oorzaak van de artefact te vinden, de grootte van de fout te bepalen en de fout er uit te halen.

In dit verslag zijn alleen de artefacten behandeld die worden veroorzaakt door:

- Verkeerde lengte van lever armen
- Time-delay van de motion sensor
- Yaw-misalignment
- Incorrecte Surface Sound Speed
- Onjuiste Sound Velocity Profile

Uit het onderzoek is gebleken dat fouten in de lever arm definities in zowel langs- als dwarsscheepse richting qua structuur erg op elkaar lijken. De oorzaak is echter anders. In beide gevallen zal de fout, een induced heave error, effect hebben op de gehele swath. Deze zal in zijn geheel (lineair) omhoog of omlaag komen, afhankelijk van de scheepsbewegingen roll of pitch. Op grote schepen is de kans op dit type fouten meer aanwezig dan op kleine schepen.

Bij een time-delay van de motion sensor en een yaw-misalignment blijkt dat de fouten erg op elkaar lijken terwijl de oorzaak ook in deze gevallen anders is. In beide gevallen zal de fout het grootste effect hebben op de buitenste bundels van de swath en het minst op de binnenste bundels. Er is sprake van een zogenaamde lineaire kanteling van de swath; de ene helft van de swath zal te diep meten en de andere helft te ondiep. Een yaw-misalignment zal crosstalk tussen de roll en pitch veroorzaken. Dit type fout is te voorkomen door bij het

---

inmeten van het schip (bootgeometrie) ook de motionsensor op te lijnen aan de scheepsassenstelsel.

In het onderzoek is verder gebleken dat artefacten veroorzaakt door een incorrecte Surface Sound Speed of door een verkeerde Sound Velocity Profile wel een ander karakter hebben.

Artefacten veroorzaakt door een incorrecte Surface Sound Speed lopen niet lineair over de swath en maken een zogenaamde lineaire kanteling; de ene helft van de swath zal te diep meten en de andere helft te ondiep.

Bij een incorrecte Surface Sound Speed is de diepte- en dwarsscheepse fout afhankelijk van de vorm van het gebruikte multibeam echolood en van de bewegingen van het schip op dat moment.

Artefacten veroorzaakt door een onjuiste Sound Velocity Profile lopen ook niet lineair over de swath, maar lopen wel in fase. Hierdoor zal er een 'smiley' of 'frown' ontstaan. Een 'smiley' ontstaat bij een te hoog gebruikte geluidssnelheid en een 'frown' bij een te laag gebruikte geluidssnelheid.

## 7.2 Aanbevelingen

De artefacten die besproken zijn in dit rapport zijn te voorkomen. Yaw-misalignment artefacten zijn te voorkomen door sensoren aan boord goed manier op te lijnen aan het scheepsassenstelsel. Bijkomend voordeel is dat er direct voldaan wordt aan een van de voorwaarden die gelden bij het uitvoeren van de patch test. Let bij het invoeren van de lever arm definities goed op dat deze niet dubbel (of met verkeerd teken) ingevoerd worden. Op deze manier worden fouten in lever armen voorkomen.

Om artefacten als gevolg van een incorrecte Surface Sound Speed of door een verkeerde Sound Velocity Profile te voorkomen dient de surveyor zich goed bewust te zijn van de dynamiek in de waterkolom. Het inzetten van sun-illumination als presentatie techniek kan de surveyor hierbij helpen.

Uit het onderzoek is gebleken dat de procedure (RWSV) van de patch test een aangepast dient te worden. Het gaat dan om de volgorde van uitvoering. De patch test moet in de volgende volgorde gedaan worden: bepalen van de time-delay, bepalen van de pitch, bepalen van de yaw en het bepalen van de roll. Het is belangrijk dat de roll als laatste bepaald wordt.

Rijkswaterstaat wordt geadviseerd om een extra procedure op te stellen om artefacten in een vroeger stadium te herkennen. Dit kan na de patch test plaatsvinden. De test heeft dan tot doel om de in dit rapport besproken artefacten te detecteren. De test kan als volgt ingericht worden:

- Kies een gebied uit met een bekende vlakke bodem
- Vaar een kruisraai om er zeker van te zijn dat de (mogelijk aanwezige) artefacten niet de ware bodem representeert.

- 
- Voer de test uit waarbij er scheepsbewegingen geregistreerd worden (dus niet bij een vlakke zeespiegel).
  - Maak gebruik van de sun-illumination techniek om eventuele artefacten te herkennen.
  - Maak gebruik van het fotoboek om snel het eventueel aanwezig fout te kunnen classificeren.
  - Controleer als allereerst of de zogenaamde baudrates optimaal staan ingesteld in de software en de sensoren voordat een analyse programma als Swathed wordt opgestart.

Tijdens het bezoek aan UNB is een demonstratie gegeven van een Moving Vessel Profiler (MVP) om artefacten als gevolg van een verkeerde Sound Velocity Profile te voorkomen. Rijkswaterstaat wordt geadviseerd om nader onderzoek te doen naar de toepasbaarheid van een MVP in het dynamische gebied van Hoek van Holland tot Rotterdam.

---

## Bijlage A Referenties

---

- Blommendaal, (2001), "*Onderwateracoustiek*". Opleiding hydrografie, Hogeschool van Amsterdam.
- Coda Octopus Group Inc, (2004), "*F180 Quick Start Guide*". Edinburgh.
- Coda Octopus Group Inc, (2005), "*Operation Manual F180 Attitude and Positioning System*". Edinburgh.
- Dinn, D.F., Loncarevic, B.D., Costello, G, (1995) "*The effect of sound velocity errors on multi-beam sonar depth accuracy*"
- Dorst, L.L., (2006), "*Analysis of the heave-artefacts of the Octans II and Octans III on board HNLMS Luymes using LRK GPS*". Hydrographic Service of the Royal Netherlands Navy.
- Dunnewold, J., (1998), "*Dynamic calibration of multibeam systems*".
- Galway, R.S., (2000), "*Comparision of Target Detection Capabilities of the Reson Seabat 8101 and Reson Seabat 9001 Multibeam Sonars*". Fredericton: University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering.
- Gardner, J.V., Hughes Clarke, J.E., Mayer, L.A. (1999), "*Multibeam mapping of the long beach, California, continental shelf*". Long Beach, California.
- Godin, A., (1997), "*The Calibration of Shallow Water Multibeam Echo-sounding Systems*". University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering.
- Hammerstad, E., (2001), "*EM Technical Note, Subject: Multibeam Echo Sounder Accuracy*".
- Hare, R. (2001) "*Error Budget Analysis for US Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO) Hydrographic Survey Systems*". University of Southern Mississippi, Hydrographic Science Research Center (HSRC)
- Hughes Clarke, dr. J.E., Mayer, L.A. & D.E. Wells. (1996), "*Shallow-water imaging Multibeam sonars: A new tool for investigating seafloor processes in the coastal zone and on the continental shelf. Marine Geophysical Research*". 18: 607-629. Fredericton: Ocean Mapping Group, University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering.
- Hughes Clarke, dr. J.E., (1997), "*Are you really getting full bottom coverage?*". Fredericton: Ocean Mapping Group, University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering.
- Hughes Clarke, dr. J.E., (1999), "*Simrad EM1002 Sea trials*". Fredericton: Ocean Mapping Group, University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering.
- Hughes Clarke, dr. J.E., (2000a), "*Present-Day Methods of Depth Measurement: in: Continental Shelf Limits, the scientific and legal interface*". eds. Cook and Carleton, Oxford Univ. Press, p.139-158.

- 
- Hughes Clarke, dr. J.E., (2000b), "*Acoustic Seabed Surveying – Meeting the new demands for Accuracy, Coverage and Spatial Resolution*" *Geomatica*, v.54, no.4, p.473-413". Fredericton: Ocean Mapping Group, University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering.
- Hughes Clarke, dr. J.E., (2000c), "*Assessment of RAN HS Swath Survey System STN-Atlas Fansweep 20-100*". Fredericton: Ocean Mapping Group, University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering.
- Hughes Clarke, dr. J.E., (2001), "*The effect of fine scale seabed morphology and texture on the fidelity of SWATH bathymetric sounding data*". Fredericton: Ocean Mapping Group, University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering. Oktober 2001
- Hughes Clarke, dr. J.E., (2002), "*More pronounced motion-correlated bathymetric wobbling and backscatter rippling in Simrad EM1002 data*". Fredericton: Ocean Mapping Group, University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering. Oktober 2002
- Hughes Clarke, dr. J.E., (2003a), "*A reassessment of vessel coordinate systems: what is it that we are really aligning*". Fredericton: Ocean Mapping Group, University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering.
- Hughes Clarke, dr. J.E., (2003b), "*Dynamic motion residuals in swath sonar data: Ironing out the creases: International Hydrographic Review*". Fredericton: Ocean Mapping Group, University of New Brunswick: Dept. Geodesy and Geomatics Engineering. Maart 2003
- Hughes Clarke, dr. J.E., (2003c), "*HOV – H.NI.M.S Luymes – A803 Integrated Multibeam Sonar System Acceptance Trials*". Vlissingen-Ameland. Mei 2003.
- Hughes Clarke, dr. J.E., (2003d), "*HOV – H.NI.M.S Snellius – A802 Integrated Multibeam Sonar System Acceptance Trials*". Vlissingen-Ameland. November 2003
- Hughes Clarke, dr. J.E., (2004), "*Underway Sensor Alignment within vessel coordinate systems*". *Sea Technology*, p. 47-52. Juni 2004
- IHO, International Hydrographic Bureau, Monaco (2005), "*Manual on Hydrography*", 1st Edition.  
<http://www.iho.shom.fr/PUBLICATIONS/download.htm>, 22-02-2007
- IHO, International Hydrographic Bureau, Monaco (2005), "*IHO Standards for Hydrographic Surveys (4th edition)*"  
<http://www.iho.shom.fr/PUBLICATIONS/download.htm>, 18-02-2007
- IHO, International Hydrographic Bureau, Monaco (1994), "*Hydrographic Dictionary Part I Volume I Special Publication*", 5<sup>th</sup> Edition.
- IMO, International Maritime Organization (2006), "*SOLAS, International Convention for the Safety of Life at Sea*" V5.0
- IXSEA, (2005), OCTANS User Guide
- Jong, C.D. de, e.a., (2002), "*Hydrography; Series on Mathematical Geodesy and Positioning*". Delft.

- 
- Kammerer, E, (2000), *"New Method for the Removal of Refraction Artifacts in Multibeam Echosounder Systems"*. The University of New Brunswick.
- Kinneking, dr. ir. N.A., Pol, ing. A.H.F., (2001), *"Geluidssnelheidsprofielen Nieuwe Waterweg"*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat: Meetkundige Dienst.
- L-3 Communications SeaBeam Instruments (2000), *"Multibeam Sonar Theory of Operation"*. East Walpole.  
<http://www.mbari.org/data/mbsystem/formatdoc/> 22-02-2007
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2005), *"Webcursus Interpolatie en Statistiek"*.
- Moustier, C de, *"Sound refraction in the water column"* UNH OMG lecture 16
- Moustier, C de, Kleinrock, M.C. (1986), *"Bathymetric Artifacts in Sea Beam Data: How to Recognize them and what causes them. Journal of geophysical research"*. Vol. 91, No. B3, p. 3407-3424
- Parker, D., Mallace D., (2005), *"A Direct Comparison of the Motion Sensors' Performance from the 2005 Common Dataset"*. Shallow Survey 2005
- Ree, R.E. van, *"Syllabus Hydrografie 1"*
- QPS BV., *"Surveys with a Multibeam"*, Zeist
- QPS BV. (2007), *"Timing in QINSy, version 1,5"*
- Sanne, F. O., Ness, J. (1999), *"The Importance of Accurate Installation and Calibration of Motion Sensors"*. Seatex AS
- Schmidt, V., e.a., (2003), *"The MB-System Cookbook"*. versie 1.11.  
<http://www.mbari.org/data/mbsystem/mb-cookbook/index.html> 22-02-2007
- Valckenier von Geusau, E., (2000), *"Stageverslag MEET"*. Delft

---

## Overige bronnen

Beaudoin, J., (2002), "*Swathed Manual*"

[http://www.omg.unb.ca/~jonnyb/processing/definitive\\_swathed/index.html](http://www.omg.unb.ca/~jonnyb/processing/definitive_swathed/index.html) 22-02-2007

Biersteker, R., (2005), "*Improving the bathymetric capabilities of the Multibeam Echosounder*". Delft, Delft University of Technology, Rijkswaterstaat, Reson B.V.

Elling, R., e.a., (2000), "*Rapportage techniek*". tweede druk, Groningen.

GeoAcoustics Ltd., (2000), "*GeoSwath Product Bulletin*".

Kuus, P., (2007), "*OMG software notes*",

[http://www.omg.unb.ca/%7Epimk/software/omg\\_software\\_notes.html](http://www.omg.unb.ca/%7Epimk/software/omg_software_notes.html) 22-02-2007

Min, E. de, e.a., (2003), "*Precisiebeschrijving AHN 2002*".

Os, Ing. P.J. van, (1999), "*Analyse: Test van Plaats- en Standbepalingssensoren*", definitief versie 1.0, Delft.

## Internet

[www.imo.org](http://www.imo.org)

[www.iho.shom.fr](http://www.iho.shom.fr)

[www.omg.unb.ca](http://www.omg.unb.ca)

---

# Bijlage B Afkortingen en begrippen

---

## Afkortingen

AGI	Adviesdienst voor Geo-informatie en ICT
CoG	Centre of Gravity (zwaartepunt)
CTD	Conductivity Temperature Depth-system
DGPS	Differential Global Positioning System
GPS	Global Positioning System
IHO	International Hydrographic Organisation
LRK	Long Range Kinematic
MEET	Multibeam Error Evaluation Tool
MVP	Moving Vessel Profiler
PPS	Pulse Per Second
PRF	Pulse Repetition Frequency
RTK	Real Time Kinematic
RWS	Rijkswaterstaat
RDNAP	Rijksdriehoeksmeting Normaal Amsterdams Peil
RWSV	Rijkswaterstaat Standaard Voorschrift
SSS	Surface Sound Speed
SVP	Sound Velocity Profile
TSG	ThermoSalinoGraph
TU Delft	Technische Universiteit Delft
TWTT	Two Way Travel Time
UNB	University of New Brunswick
UTC	Universal Time Coordinated
XBT	Expandable BathyThermograph

## Begrippen

<b>array</b>	Kop van het multibeam echolood, bestaat uit transducers
<b>artefact</b>	Systematische en dynamische fout die een periodieke schommeling in de dieptemeting veroorzaakt.
<b>bias</b>	Systematische fout
<b>Center of Gravity</b>	Zwaartepunt, dit is het enige punt in het schip dat geen roll, pitch en yaw maakt.
<b>Dolph-Chebyshev shading</b>	Een schaduwvorming techniek die gelijke, lage "level side lobes" in een bundelpatroon genereert.



---


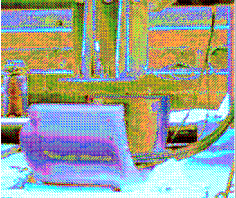





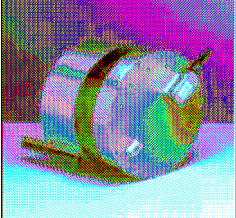
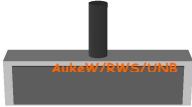


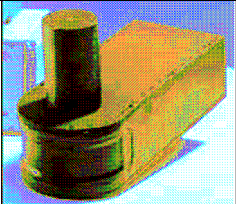

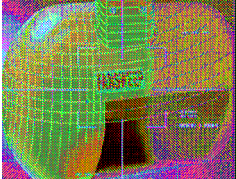
<b>dwarsscheeps</b>	Dwars op de richting waarin het schip vaart
<b>dynamische fout</b>	Een systematische fout waarbij er periodieke schommelingen in de dieptemeting te vinden zijn
<b>heave</b>	Verticale afwijking, veroorzaakt door golven en deining, van de akoestische transducer ten opzichte van de waterspiegel in rust.
<b>hydrofoon</b>	Een apparaat dat naar geluiden in water "luistert" door het omzetten van de fysische bewegingen die het ontvangt door "impinging" geluidsgolven in voltages.
<b>induced heave</b>	De fout in de dieptemeting dat veroorzaakt wordt door een foute lever arm of een fout in de motion sensor
<b>lever arm</b>	Een afstand langs de x-as, y-as en z-as van het scheepsassenstelsel vanaf het referentiepunt tot een ander punt
<b>langsscheeps</b>	In de richting waarin het schip vaart
<b>patch test</b>	Een meting ter controle op de time-delay, pitch, yaw en roll tussen de motion sensor en het multibeam echolood.
<b>pitch</b>	De scheefstand van een vaartuig ten opzichte van het waterpasvlak in langsrichting.
<b>raai</b>	De lijn die een surveyschip aanhoudt tijdens een meting
<b>refractie</b>	Buiging van een straal
<b>roll</b>	De scheefstand van een vaartuig ten opzichte van het waterpasvlak in dwarsrichting.
<b>scatterplot</b>	Een plot waar twee factoren tegen elkaar zijn uitgezet om er achter te komen of er een correlatie aanwezig is.

---

---

<b>statische fout</b>	Een systematische fout waarbij er een constante afwijking te vinden is in de uiteindelijke oplossing van de diepte
<b>surge</b>	Horizontale afwijking van de akoestische transducer langs de langsscheepse as ten opzichte van de waterspiegel in rust.
<b>sway</b>	Horizontale afwijking van de akoestische transducer langs de dwarsscheepse as ten opzichte van de waterspiegel in rust.
<b>systematische fout</b>	Een afwijking in de metingen die in alle (meet-)resultaten terug komt.
<b>time delay</b>	De tijd tussen het werkelijke meetmoment van sensoren en de tijd waarop het sensorgegeven 'geklokt' is door het (software)stelsel.
<b>X-richting</b>	Richting van de langsscheepse as van het scheepsassenstelsel
<b>yaw</b>	De hoek tussen de voorwaartse as van een multibeamstelsel en de langsas van het vaartuig.
<b>Y-richting</b>	Richting van de dwarsscheepse as van het scheepsassenstelsel

# Bijlage C Apparatuur

Kongsberg Maritime	EM100 EM950 EM1000 EM1002			rond
Kongsberg Maritime	EM3000s			vlak
Kongsberg Maritime	EM3000d			vlak dual head
Reson	Seabat serie 8101			rond
Reson	Seabat serie 8125			vlak
Reson	Seabat serie 100 9000			rond
ELAC Nautik	Seabeam 1185			vlak dual head
Atlas Hydrographic	Atlas Fansweep 30 Coastal			rond

---

### CTD (conductivity temperature depth-system)

De CTD is een instrument dat de temperatuur en geleidbaarheid als functie van diepte meet. Geleidbaarheid is gerelateerd aan de hoeveelheid zout in het water, wanneer de geleidbaarheid bekend is, kan de zoutgehalte worden bepaald. Het geluidssnelheidsprofiel wordt berekend door gebruik van een empirische formule.

### Digibar

De Digibar is een instrument, waarmee men handmatig de geluidssnelheid op verschillende dieptes kan meten.

### XBT (expandable bathythermograph)

De XBT meet temperatuur als een functie van diepte. Deze temperatuur informatie wordt naar het schip verzonden via een dunne verbindingslijn. Nadat de XBT gebruikt is, wordt de verbindingslijn doorgesneden en is de XBT verloren. Het geluidssnelheidsprofiel wordt berekend door gebruik van een empirische formule.

Voorbeelden van empirische formules (formules voor het berekenen van de geluidssnelheid uit druk, zoutgehalte en temperatuur) zijn: [Kuwahara, 1939], [Del Grosso, 1952], [Wilson, 1960], [Medwin, 1975] en [Mackenzie, 1981]. Uitleg over deze berekeningen is te vinden in [Kammerer, 200] of [Blommendaal, 2001]

### TSG (ThermoSalinoGraph)

Is een systeem waarbij automatisch zee oppervlakte temperatuur en zoutgehalte wordt gemeten, waarbij gebruik gemaakt wordt van een water intake in het schip waarin metingen worden gedaan. Hierin worden geleiding en temperatuur metingen gedaan. Zoutgehalte wordt vervolgens bepaald uit geleidbaarheid en temperatuur.

### MVP (Moving Vessel Profiler)

Is een instrument voor het constant verzamelen van ondiep en diep water datasets door middel van een winch. De voornaamste functie van een MVP is om nauwkeurig profiel data te verzamelen zonder dat het schip hoeft te stoppen. Het systeem is helemaal automatisch en kan via de computer bediend worden zodat er geen personeel aan dek nodig is. De MVP kan gebruik maken van verschillende sensoren waaronder CTD en andere oceanografische sensoren.

