

in opdracht van
RIJKSWATERSTAAT
RIJKSINSTITUUT voor KUST en ZEE



EINDRAPPORTAGE

voor onderzoek in kader van Mon*Fysica

Gevolgen en omvang van verschillen LRK en waterstandgecorrigeerde dieptemetingen

Opdrachtnummer RIKZ: RKZ-1616

Opdrachtnummer Periplus: 05-RWSRKZ-002

3.0	31 maart 2007
2.0	1 december 2006
1.0	9 oktober 2006
Revisie Nummer	Datum

Uitgevoerd door: Periplus Consultancy BV
Kaap Noord
Asterweg 17 A4
1031 HL AMSTERDAM



Adviesbureau Modelling en Optimalisatie
Deldenerstraat 81
7551 AC HENGELO



COLOFON

Periplus Consultancy BV Rapport 2006-005

“Gevolgen en omvang van verschillen LRK en waterstandgecorrigeerde dieptemetingen”

Auteurs:

Periplus Consultancy:

- Huibert-Jan Lekkerkerk (via Pilot Survey Services)
- Coen van Tooren (via Adviesburo Vuurtooren)
- Bart van Mierlo

AMO:

- Eit van der Meulen

In opdracht van: Rijkswaterstaat RIKZ

Foto's en tekeningen: Periplus Consultancy, tenzij anders vermeld

© Periplus Consultancy BV, Amsterdam, maart 2007, revisie 3.0

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgevers. Periplus Consultancy BV aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit de toepassing van de adviezen of het gebruik van de resultaten van dit onderzoek.



Periplus Consultancy BV
Asterweg 17 A4
1031 HL AMSTERDAM
Tel: 020 - 636 7891
Fax: 020 - 636 1865
Email: info@periplus.nl



Adviesbureau Modelleren en Optimalisatie (AMO)
Deldenerstraat 81
7551 AC HENGELLO
Tel: 074 – 250 3301
Email: amo@tiscali.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Onderzoeksopzet	7
2.1	Vraagstelling	7
2.2	Projectteam	7
2.3	Theoretische Achtergrond Verschillen WST en LRK	7
2.4	Onderzoeksopzet	8
2.4.1	Beschrijving van de mogelijke foutenbronnen	8
2.4.2	Data inventarisatie	9
2.4.3	Analyse per gebied aan de hand van de ontvangen datasets	9
2.4.4	Detailanalyse per foutenbron	10
2.4.5	Kwantitatieve analyse van de voornaamste foutenbronnen	10
3	Introductie Foutenbronnen	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Verschillende Meetsystemen en Foutenbronnen	11
3.3	Foutenbronnen die verschillen tussen LRK en WST kunnen veroorzaken	13
3.3.1	Plaatsbepaling	13
3.3.2	Standopnemer	14
3.3.3	Gyrokompas	15
3.3.4	Referentievlak	15
3.3.5	Waterstandmeting	16
3.3.6	Getijmodel	16
3.3.7	Squat en Inzinking	17
3.3.8	Bootgeometrie	17
3.3.9	Diepgang	18
3.3.10	Presentatie	18
3.4	Foutenbronnen die geen verschillen tussen LRK en WST veroorzaken	18
3.4.1	Echolood	18
3.4.2	Geluidssnelheidmodel	19
3.5	Conclusies foutenbronnen	20
4	Data-inventarisatie	21
4.1	Data-inventarisatie Jarkus 2000 en 2002	21
4.2	Datasets van Meet- en Informatiediensten	21
4.3	Overzicht Bevindingen	24
4.4	Samenvatting en Conclusies van de Data-inventarisatie	25
5	Detailanalyse	27
5.1	De kwalitatieve analyse van de LRK-WST diepteverschillen	27
5.1.1	Introductie	27
5.1.2	Analyse enkele meetdag (30-07-2002)	27
5.1.3	Structurele LRK-WST diepteverschillen Texel	30
5.2	De kwantitatieve analyse van LRK-WST diepteverschillen	31
5.2.1	Introductie	31
5.2.2	Kwalitatieve Analyse Texel	31
5.2.3	Conclusie	33
6	Detailanalyse per Foutenbron	37
6.1	Inleiding	37
6.2	Plaatsbepaling	39
6.2.1	Vertraging	39
6.2.2	Hoogte referentiestation	39
6.2.3	Precisie	41
6.3	Standopnemer	45
6.3.1	Roll en pitch meting	45

6.3.2	Heavemeting	48
6.4	Gyrokompas	52
6.5	Referentievlak	52
6.5.1	Geoïde	52
6.5.2	Datumtransformatie	53
6.6	Waterstandmeting	54
6.7	Getijmodel	54
6.8	Squat	63
6.9	Diepgang	65
6.10	Echolood: Bundelhoek	67
6.11	(Boot)geometrie	67
6.12	Geluidssnelheidmodel	68
6.13	Presentatie	69
7	De voornaamste foutenbron en het verklaringsmodel	71
7.1	Kwantitatieve analyse van de toegepaste waterstandscorrectie	71
7.1.1	Kwantitatieve Analyse van de Breesem	72
7.1.2	Kwantitatieve Analyse van de Vierlingh	73
7.1.3	Conclusie	73
7.2	Verklaringsmodel	74
7.3	Verklaringsmodel Texel	75
8	Analyse kustlijnligging	77
8.1	Berekening MKL	77
8.2	Berekening verdeling MKL met de LRK-WST diepteverschillen	78
8.3	Resultaten	79
8.4	Inleiding TKL	81
8.5	Berekening verdeling van de TKL-verschillen door de LRK-WST diepteverschillen	82
8.6	Berekeningen ΔMKL en ΔTKL voor overige kustgebieden	84
8.7	Gevolgen voor kustlijnzorg	85
9	Conclusies en aanbevelingen	87
9.1	Conclusies aangetoonde Fouten per Meetgebied	87
9.2	Conclusies statistische verwerking	88
9.3	Conclusies Waterstandanalyse	89
9.4	Conclusies Squatmodel	89
9.5	Eindconclusies	89
9.6	Aanbevelingen	90
	Bronvermelding	91
	Begrippenlijst	93
	Bijlagen	
	Bijlage 1: Analyse Delfland	97
	Bijlage 2: Analyse Rijnland	99
	Bijlage 3: Analyse Noord-Hollandse kust	101
	Bijlage 4: Analyse Vlieland	103
	Bijlage 5: Analyse Terschelling	109
	Bijlage 6: Analyse Ameland	117
	Bijlage 7: Definitie van het uitgebreide squatmodel of Verklaringsmodel	125
	Bijlage 8: Berekeningsmethodiek Kustlijnligging	127
	Bijlage 9: Digitale Bijlagen	131

Samenvatting

In opdracht van het RIKZ worden door de Meet- en Informatiediensten jaarlijks dieptemetingen/lodingen uitgevoerd voor de Nederlandse kust. Deze zogenaamde JARKUS-lodingen geven belangrijke informatie over de veranderingen van de kustlijn en de ontwikkelingen van de morfologie van de zeebodem en zijn dus van groot belang voor het handhaven van de Nederlandse kustlijn.

Door de verandering in het meetsysteem, van waterstandgecorrigeerde (WST) naar LRK-dieptemetingen (LRK), zijn er diepteverschillen geconstateerd tussen de twee opnamemethoden, met mogelijk grote gevolgen voor bijvoorbeeld de te toetsen kustlijn met bijbehorende 10-jaars trend.

Naar aanleiding van deze constatering hebben Periplus Consultancy BV en adviesbureau AMO in opdracht van RIKZ onderzoek gedaan naar:

- De mogelijke oorzaken van de verschillen in diepte tussen WST en LRK methoden
- Indien de fouten systematisch zijn of een generieke rekenregel kan worden opgesteld om dit verschil in de WST metingen te corrigeren
- Wat zouden de effecten kunnen zijn op de kustlijntoetsing indien een generieke rekenregel kan worden toegepast

Op basis van de analyse van de verschillende foutenbronnen in het hydrografisch proces zijn de verschillende datasets uit 2002 van verschillende werkgebieden onderzocht. Over het algemeen kan gezegd worden dat de resultaten van de LRK metingen een hogere kwaliteit hebben dan de waterstandgecorrigeerde metingen. Echter, door onzorgvuldigheden tijdens de lodingen en verwerkingen kan ook van deze metingen niet de maximale nauwkeurigheid of een zuivere representatie van de werkelijke bodem worden verwacht.

De bevindingen laten zien dat er drie belangrijke foutenbronnen zijn geconstateerd:

- False Heave
- Squat
- Toepassing waterstandcorrectie

In de verschillende werkgebieden zijn verschillende meetvaartuigen gebruikt met verschillende eigenschappen. Ook blijken de verschillende meetdiensten met verschillende dataverwerkingsmethoden te hebben gewerkt. Met name de toepassing van de waterstandcorrectie is op verschillende manieren, en soms foutief, toegepast. Door het random karakter van met name die laatste foutenbron is het onmogelijk gebleken een generieke rekenregel te ontwikkelen, die voor de verschillen tussen WST en LRK data corrigeert. Op basis van de berekeningen en inventarisatie van de invloeden van de verschillende foutenbronnen is een gemiddeld verschil van 0.10 m met een standaard deviatie van 0.12 m geconstateerd.

Het is duidelijk dat de diepteverschillen groot zijn voor de verschillende gebieden. Dit betekent voor het onderzoek, dat ook geen uitspraken kunnen worden gedaan over de gevolgen van de diepteverschillen tussen LRK en WST data op de toenmalige en huidige kustlijnligging. Echter op basis van de dataset van de Waddeneilanden is een schatting gemaakt van de verwachte kustlijnligging. Hieruit blijkt dat de gemiddelde momentane kustlijn (MKL) circa 2.0 meter landinwaarts, verschuift. Echter deze waarden moeten met de nodige voorzichtigheid worden gezien. Extrapolerend betekent dit een verschil in volume langs de gehele Nederlandse kust van circa 4.3 miljoen m³.

Met een simulatie van de te toetsen kustlijn, die is gebaseerd op een 10-jarige trend wordt aangetoond dat met de genoemde MKL verschuiving een schijnbaar zandverlies is opgetreden van 4.3 miljoen m³. Daar in Nederland jaarlijks 12 miljoen m³ zand wordt gesuppleerd blijkt de verandering van meetmethodiek op de langere termijn geen invloed te hebben op het kustfundament van Nederland.

Gezien de verschillen voor de verschillende gebieden is de uniforme procedure voor opname, verwerking en presentatie van de data op basis van het de Rijkswaterstaat Standaard Voorschriften (RWSV's) en het Quality Management Systeem (QMS) dat in 2006 Rijkswaterstaat in gebruik is genomen erg belangrijk. Een goede begeleiding van het uitvoerend personeel of de uitvoerende marktpartijen is daarbij essentieel. Hiervoor die zullen de procedures goed beschreven dienen te worden. Uitgangspunt daarbij kunnen de huidige Rijkswaterstaat Standaard Voorschriften (RWSV's) voor lodingen vormen.

1 Inleiding

Jaarlijks worden dieptemetingen uitgevoerd voor de Nederlandse kust voor het Rijksinstituut voor Kust en Zee (RIKZ), de zogenaamde JARKUS lodingen. Deze metingen geven belangrijke informatie over de veranderingen van de kustlijn en de ontwikkelingen van de morfologie van de zeebodem en zijn dus van groot belang voor het handhaven van de Nederlandse kustlijn. De gemeten dieptes worden hierbij gereduceerd naar NAP.

Tot 2000 werden de gemeten diepte waardes gecorrigeerd voor getijde invloeden door gebruik te maken van de getijde-informatie van de verschillende meetpalen langs de Nederlandse kust. Dit resulteert in de waterstandgecorrigeerde lodingen of WST lodingen. In 2000 zijn proeven gestart om een geavanceerde techniek te gebruiken om de gemeten diepte om te zetten naar NAP. Met name Real Time Kinematic GPS (RTK GPS) is hierbij ingezet. Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van metingen op basis van zowel satelliet signalen alsmede van een correctie signaal van een grondstation (referentie station). Hierbij wordt zowel de positie als hoogte van het echolood ten opzichte van de WGS84 ellipsoïde bepaald, waarna deze omgerekend kan worden naar NAP waarden.

Rond 2002 maakten alle meetdiensten van Rijkswaterstaat gebruik van de LRK-methode en toen is besloten om voor JARKUS het meetsysteem voor het bepalen van waterdieptes te veranderen van waterstandgecorrigeerde (WST) naar LRK metingen. In eerste instantie heeft men in verschillende gebieden beide systemen tegelijkertijd dieptemetingen laten opnemen.

De RTK methode wordt in dit rapport aangeduid met LRK. Dit is een merkspecifieke benaming voor een RTK variant, waarmee metingen over langere afstand mogelijk zijn. In de rapportage wordt ervan uitgegaan, dat de LRK metingen over het algemeen een nauwkeuriger representatie van de werkelijkheid zijn dan de WST data. Bij de LRK methode wordt de hoogte van de GPS antenne gebruikt om uiteindelijk terug te rekenen naar NAP dieptes. Hierdoor zijn geen aparte getijdedata nodig, om de getijreductie op een bepaald tijdstip te bepalen.

Bij vergelijking van de resultaten van de WST metingen met de waarden van de LRK metingen zijn verschillen geconstateerd, waarvan het vermoeden bestaat dat die systematisch zijn. Op basis van deze constatering heeft RIKZ Periplus Consultancy BV en adviesbureau AMO gevraagd om gezamenlijk een rapport te schrijven om inzicht te krijgen in:

- De mogelijke oorzaken van de verschillen in diepte tussen WST en LRK methoden
- Indien de fouten systematisch zijn of een generieke rekenregel kan worden opgesteld om dit verschil in de WST metingen te corrigeren
- Wat zouden de effecten kunnen zijn op de kustlijntoetsing indien een generieke rekenregel kan worden toegepast

Bij het onderzoek is in eerste instantie uitgegaan van de reeds bestaande literatuur en rapportages, die voor een deel binnen Rijkswaterstaat zelf zijn opgesteld.

Periplus Consultancy BV en adviesbureau AMO hebben in eerste instantie een Plan van Aanpak opgesteld dat in februari 2006 door RIKZ is goedgekeurd.

Bij de onderzoeksopzet is het opname proces van de data als uitgangspunt genomen. De verwerking van de ruwe data en de statistische analyse van de bewerkte data zijn op deze ruwe data gebaseerd. Na uitleg over de te volgen strategie voor het onderzoek, wordt dieper op de mogelijke foutenbronnen, die in het hydrografisch meetproces van invloed kunnen zijn, ingegaan.

Na uitleg over de aangeleverde soorten datasets van de verschillende regionale diensten, wordt een gedetailleerde analyse van de gegevens gepresenteerd. Hierbij is voor het overzicht onderscheid gemaakt tussen:

- Gebiedsafhankelijke analyses
- Analyses op basis van de individuele meetvaartuigen en foutenbronnen

Op basis van de gevonden resultaten zal in hoofdstuk 7 getracht worden tot een verklaringsmodel of generieke rekenregel te komen.

In hoofdstuk 8 wordt tenslotte een schatting gemaakt van de invloed van de diepteverschillen tussen WST en LRK metingen op de kustlijnligging en de gevolgen voor de suppleties voor de kustbescherming.

Op basis van de onderzoeksresultaten zullen de conclusies worden getrokken. Verder zal kort aangegeven worden welke aanbevelingen op basis van dit onderzoek kunnen worden gedaan voor de toekomstige Jarkuslodingen.

2 Onderzoeksoopzet

Naar aanleiding van de geconstateerde verschillen als gevolg van de verandering van waterstandgecorrigeerde (WST) dieptemetingen naar LRK-dieptemetingen, zijn Periplus Consultancy BV en AMO Adviesburo gevraagd deze verschillen nader te onderzoeken. Hiervoor is voorafgaand een plan van aanpak geschreven. Hieronder wordt in het kort weergegeven wat de vraagstelling was, hoe het onderzoek is opgezet en hoe het is uitgevoerd. Voor details wordt verwezen naar het oorspronkelijke Plan van Aanpak voor dit onderzoek [1], zoals vermeld in de lijst van Bronvermelding. Voor een overzicht van de gebruikte begrippen en definities wordt verwezen naar de Begrippenlijst achterin deze rapportage.

2.1 Vraagstelling

De vraagstelling voor dit onderzoek, zoals die door RIKZ is neergelegd, behelst de volgende punten:

- Wat zijn de verschillende oorzaken van de verschillen in diepte tussen WST en LRK datasets?
- Indien de verschillen tussen WST en LRK datasets systematisch zijn kan dan een generieke rekenregel worden opgesteld om voor deze verschillen te corrigeren?
- Wat zijn de effecten van de LRK-WST verschillen op de kustlijntoetsing?

Deze vragen zijn van belang, daar de geconstateerde verschillen tussen WST en LRK data consequenties kunnen hebben voor de ligging van de kustlijn en de daarmee samenhangende zandsuppleties langs de Nederlandse kust in het kader van de kustbescherming. Het verkrijgen van inzichten in de oorzaken en de kwantificering van de verschillen kan invloed hebben op de inzichten worden van de ontwikkeling van de Nederlandse kustlijn en de samenhangende kosten.

Indien uit de analyse blijkt dat een aantal fouten mogelijk voorkomen had kunnen worden door aanpassing van de meetstrategie, dan worden hiervoor aanbevelingen worden gedaan in de rapportage.

2.2 Projectteam

Door Periplus Consultancy BV en Adviesbureau AMO is een team van specialisten samengesteld om het onderzoek uit te voeren. De samenstelling van het projectteam is als volgt geweest:

- Huibert-Jan Lekkerkerk Analyse foutenbronnen, kwalitatieve analyse en rapportage
- Eit van der Meulen Kwantitatieve analyse en rapportage
- Bart van Mierlo Projectleiding
- Coen van Tooren Eindrapportage, conclusies en aanbevelingen
- Ebelien van der Velde Data inventarisatie en eindrapportage
- Arnoud Drevijn Data inventarisatie

2.3 Theoretische Achtergrond Verschillen WST en LRK

Hydrografische metingen onder water werden in het verleden verkregen door het uitvoeren van lodingen welke middels vergelijking met het waterstandsvlak of getij ten tijde van de metingen werden omgezet naar metingen ten opzichte van NAP. Deze conventionele wijze (waterstandgereduceerde lodingen) is tot het jaar 2000 standaard geweest binnen Rijkswaterstaat voor wat betreft de Jaarlijkse Kustlodingen (JARKUS). In het jaar 2000 zijn proeven gestart om een geavanceerde techniek te gebruiken om de gemeten diepte om te zetten naar NAP. Met name Real Time Kinematic GPS (RTK GPS) is hierbij ingezet.

Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van metingen op basis van zowel satelliet signalen alsmede van een correctie signaal van een grondstation (referentie station). Hierbij wordt zowel de positie als hoogte van het echolood ten opzichte van de WGS84 ellipsoïde bepaald, waarna deze later omgerekend kan worden naar NAP waarden. Rond 2002 maakten alle meetdiensten van Rijkswaterstaat gebruik van de RTK methode. De RTK methode wordt in dit rapport aangeduid met LRK. Dit is een merkspecifieke benaming voor een RTK variant waarmee metingen over langere afstand mogelijk zijn.

Waterstandgecorrigeerde en LRK meetmethoden zijn gevoelig voor een aantal factoren waardoor zowel systematische als stochastische fouten een rol kunnen spelen in het meetresultaat. Om tot een goede vergelijking van de meetresultaten te komen is het noodzakelijk een goed inzicht te hebben in de verschillende fouten in de bewerkingsstappen en hun invloed op het eindresultaat.

Algemeen wordt aangenomen dat LRK metingen in de praktijk minder last van meetfouten hebben, maar vragen wel een deskundige bediening om het systeem optimaal te laten presteren.

Er is in het verleden incidenteel onderzoek gedaan naar de verschillen tussen beide methoden, maar in hoeverre en door welke oorzaken de resultaten afwijken is nog vrij onbekend. Er zijn tijdens de JARKUS lodingen aanwijzingen aangetroffen voor een systematisch verschil van 10 tot 20 cm tussen de waterstandgecorrigeerde lodingen en de RTK gecorrigeerde lodingen. Het doel van dit onderzoek is na te gaan of deze constatering juist is.

2.4 Onderzoeksopzet

Door het RIKZ/AMO zijn eerder in 1996, 1997 en 2001 onderzoeken uitgevoerd naar de nauwkeurigheid van dieptemetingen die zijn gerapporteerd in de rapporten 'Statistische analyse dieptemetingen', in 'Nauwkeurighedsanalyse dieptemetingen' en in 'Foutenanalyse van de verschillen tussen LRK en waterstandgecorrigeerde dieptemetingen'. Uit die onderzoeken bleek dat squat een belangrijke foutenbron was voor een correcte bepaling van de werkelijke diepte.

Echter dit hoeft niet de enige belangrijke foutenbron te zijn. Daarom is voorgesteld in de eerste fase van het onderzoek een inventarisatie en analyse uit te voeren van alle mogelijke foutenbronnen, met een nadruk op de foutenbronnen vanuit het hydrografische dataverwerkingsproces.

In de tweede fase wordt de Data Analyse uitgevoerd. Gezien de hoeveelheid data is voor dit onderzoek de dataset van Texel verder uitgewerkt. De rest van de analyses is toegevoegd als bijlagen.

Gezien de uitgebreidheid van het onderzoek en de grote hoeveelheid datasets, hebben we fase 2 verder opgedeeld. Hierdoor is de uiteindelijke opzet als volgt:

- 1) Beschrijving van de mogelijke foutenbronnen, die de verschillen tussen LRK en WST kunnen veroorzaken. Dit gebeurt op basis van praktijkervaring en literatuuronderzoek.
- 2) Data inventarisatie
- 3) Analyse per gebied aan de hand van de ontvangen datasets
- 4) Detailanalyse per foutenbron aan de hand van de ontvangen datasets
- 5) Kwantitatieve analyse van de voornaamste foutenbronnen

Tot slot is een indicatie gegeven van de mogelijke gevolgen van de verschillen van de twee metingen op de kustlijnligging. Hierbij is uitgegaan van een bestaande dataset.

2.4.1 Beschrijving van de mogelijke foutenbronnen

De eerste fase van het onderzoek is een literatuuronderzoek naar de mogelijke foutenbronnen voor de waterstandgecorrigeerde (WST) datasets en de LRK datasets. Het is van belang dit onderzoek zo breed mogelijk uit te voeren en daarbij alle potentiële foutenbronnen in ogenschouw te nemen. Op basis van dit onderzoek ontstaat niet alleen inzicht in welke foutenbronnen er aanwezig kunnen zijn, maar ook in de potentiële invloed van de foutenbron op het verschil tussen waterstandgecorrigeerde en LRK metingen. Als basis voor deze inventarisatie is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande Rijkswaterstaat rapportages. De conclusies hieruit zijn, voor zover van toepassing op de Jarkus lodingen, weergegeven in deze inventarisatie en aangevuld met verdere relevante informatie.

2.4.2 Data inventarisatie

Het is van belang dat de onderzochte datasets corresponderen met die datasets, waarin de verschillen oorspronkelijk zijn aangetroffen. Er is dan ook zoveel mogelijk uitgegaan van de gegevens welke bij het RIKZ aanwezig zijn. Waar nodig is een aanvullende vraag uitgezet bij de Meet- en Informatiediensten. De datasets van 2000 en 2002 betreffen dieptemetingen van beide meetssystemen, die tegelijkertijd met hetzelfde meetvaartuig zijn opgenomen. Deze gegevens zijn als samengestelde en gevalideerde 'raai' gegevens aangeleverd.

Vervolgens zijn deze data verwerkt tot een rechthoekig grid voor een eerste analyse van de verschillen.

2.4.3 Analyse per gebied aan de hand van de ontvangen datasets

Deze analyse is op de volgende niveaus uitgevoerd:

- kwalitatieve analyse op hoofdlijnen
- kwantitatieve analyse

Om het rapport leesbaar en overzichtelijk te houden, is ervoor gekozen niet alle bevindingen in één rapport bij elkaar te zetten. is, gezien de hoeveelheid tekst die voortvloeit uit de data-analyse, voor gekozen om alleen Texel in het hoofdsrapport nader uit te werken. De resultaten van de andere onderzoeksgebieden zijn in de bijlagen beschreven.

Kwalitatieve analyse op hoofdlijnen

Door de tegelijk opgenomen LRK- en de WST-datasets uit 2000 en 2002, zoals die nu is opgeslagen in DONAR, over elkaar te leggen en de waarden van elkaar af te trekken, ontstaat een verschilbestand voor alle JARKUS lodingen. Het resultaat wordt grafisch gepresenteerd op gridbasis met als topografische achtergrond de kust van Nederland. Door deze verschillen te vergelijken met het algemeen bekende verloop van de dieptes langs de kust en de grenzen van de Meet- en Informatiedienst wordt een eerste inzicht in de mogelijke foutenbronnen verkregen.

Op basis van de verschilplots van de verwerkte data langs de gehele kust is het mogelijk (groepen) van raaien te identificeren die systematische afwijkingen bevatten.

Bij de vergelijking worden de verschillen tussen de LRK- en WST-dieptemetingen kleiner dan een bepaalde grenswaarde buiten beschouwing gelaten. De grenswaarde zal bepaald worden aan de hand van de inventarisatie van de mogelijke meetfouten.

Naast het onderzoeken van de verschillen tussen beide vergridde datasets is voor het detailonderzoek vooral gekeken naar de oorspronkelijke ruwe Jarkusraaien voor zover deze beschikbaar waren. Op basis van een steekproef is gecontroleerd of de instellingen van de vaartuigen corresponderen met de verwachtingen en of er afwijkingen in de registratie van de individuele sensoren zijn aangetroffen. Veelal zal dit een bevestiging kunnen geven van de aangetroffen verschillen.

Kwantitatieve analyse

Nadat in de kwalitatieve analyse de foutenbronnen zoveel mogelijk geïdentificeerd zijn, zal in de kwantitatieve analyse geprobeerd worden de grootte van deze foutenbronnen te bepalen.

In de eerste plaats zal een statistische analyse uitgevoerd worden per meetgebied / vaartuig, zodat de grootte van de foutenbronnen en de spreiding ervan bepaald kan worden. Daarnaast zal naar de grootste foutenbronnen een modelonderzoek worden uitgevoerd.

Indien de foutenbronnen kwantitatief te beschrijven zijn voor alle metingen, zal een generieke rekenregel voor deze foutenbronnen ontwikkeld worden.

2.4.4 Detailanalyse per foutenbron

Op basis van de analyse zijn een aantal representatieve gebieden langs de kust aan te geven waar specifieke verschillen optreden. Vermoedelijk is het mogelijk om een indicatie te geven van de grootste foutenbronnen. Hierbij kan men denken aan bijvoorbeeld squat, als blijkt dat diepteverschillen bij ondieptes voor de kust tussen beide methoden afwijken van diepteverschillen op de diepere gedeelten voor de kust. Ook verschillen in de loding- en verwerkingsmethodiek tussen de diverse meetdiensten of partijen die de data hebben verzameld, hopen we te detecteren en te analyseren.

2.4.5 Kwantitatieve analyse van de voornaamste foutenbronnen

Deze fase bestaat uit de volgende stappen:

- Verwerking van de verschillende LRK- en WST datasets op raainiveau
- Analyse van de toegepaste waterstandcorrectie
- Het verklaringsmodel

Verwerking van de LRK- en WST-datasets

Uit de data inventarisatie zal blijken welke datasets het meest geschikt zijn voor verdere analyse en modellering. Voor de modellering van bijvoorbeeld de squat is het van belang de snelheid van het meetvaartuig te weten. Hiervoor zijn nodig de datum, de tijd en de 'x,y,z'-positie van het vaartuig, waarbij de z-positie de diepte is ten opzichte van NAP. Voor de analyses worden alleen die data gebruikt waar deze parameters van bekend zijn. Alleen bij deze datasets het mogelijk te onderzoeken in hoeverre de LRK- en WST-diepteverschillen gerelateerd zijn aan het meetvaartuig.

Analyse van de toegepaste waterstandcorrectie

Uit eerdere onderzoeken [9] is bekend dat waterstandcorrectie of -reductie een belangrijke foutenbron is. De waterstandcorrectie is een omrekening van de actuele waterdiepte naar de waterstand ten opzichte van NAP. Het is de vraag of het LRK-WST diepteverschil gerelateerd is aan de toegepaste waterstandcorrectie. In de betreffende paragrafen wordt de gemiddelde waterstandcorrectie van een raai vergeleken met de gemiddelde LRK-WST diepteverschillen van een gevaren raai.

Het verklaringsmodel

In de modellering worden de LRK-WST diepteverschillen beschreven aan de hand van de belangrijkste aangetroffen foutenbronnen en de invloedsvariabelen, zoals de snelheid van het vaartuig. Hierbij vormt het squat-effect de basis. De squat is de inzinking van een vaartuig door de snelheid van het vaartuig ten opzichte van het water. Daarbij is de squat omgekeerd evenredig met de waterdiepte. We hopen de vraag te beantwoorden in hoeverre de squat de LRK- WST diepteverschillen kan verklaren. Dit leidt een verklaringsmodel De afhankelijkheid van de LRK-WST diepteverschillen met andere foutenbronnen zullen we verwerken in de squatmodellen. De 'uitgebreide squatmodellen' zullen we toepassen op raainiveau.

3 Introductie Foutenbronnen

3.1 Inleiding

In het eerste tijdperk van geautomatiseerde lodingen, ongeveer tot het jaar 1990, zijn de lodingen op de rivieren en de kust uitgevoerd met systemen bestaande uit de componenten radioplaatsbepaling, singlebeam echolood, computer, hard- en software. De gebruikte plaatsbepalingssystemen waren: Decca, Trident, Artemis, Miniranger, Microfix, Trisponder etc. De toen gebruikte plaatsbepalingssystemen hadden een nauwkeurigheid van circa 5 meter [4].

Bootgeometrie stond in de kinderschoenen en bestond uit het meten van wat afstanden met een meetband om dit vervolgens te vertalen naar iets, dat de bootgeometrie heel grof benaderde. Het meten en doorrekenen van roll, pitch en koers was niet aan de orde. Het Z- of diepte referentievlak was, zoals al vele jaren, het wateroppervlak. De squat werd niet gemeten of geschat en de correctie werd niet toegepast vanuit de gedachte, dat deze fout in de vergelijking tussen twee dieptemetingen op dezelfde locatie (gemeten door hetzelfde vaartuig onder dezelfde omstandigheden) zou zijn geëlimineerd.

In het tweede tijdperk (1990 – 2000) werden wel technische verbeteringen doorgevoerd, zoals dGPS voor de plaatsbepaling en verbeterde software voor dataopname. Echter de in het eerste tijdperk vastgestelde meetprocedures en technieken werden veelal behouden.

Opgenomen data uit dit eerste tijdperk met data van nu, het derde tijdperk van de LRK lodingen, is eigenlijk onvergelijkbaar. Immers de compleetheid en de nauwkeurigheid van het meten van nu staat in een schril contrast met toen. Het verschil in het meten van de (diepte) ligging van de bodem tussen nu en toen kan wel oplopen tot 0.50 meter [4]. In dit onderzoek wordt gekeken naar de verschillen tussen de tweede en derde tijdperk dieptemetingen, waarvan tot nu toe werd aangenomen, dat deze verwaarloosbaar waren.

Als we praten over verschillen in de ligging van de bodem is dit op te splitsen in een verschil in X,Y of horizontale positie en een Z verschil of diepte. In dit rapport zijn alle fouten, dus ook de verschillen in de X,Y (positie), vertaald naar de invloed op de Z (hoogte ligging van de bodem). Immers ten gevolge van een positiefout wordt bij een gemeten diepte een verkeerde positie geplaatst, waardoor een fout in het diepteprofiel kan ontstaan.

3.2 Verschillende Meetsystemen en Foutenbronnen

Voor dit onderzoek dienen we de systemen, die voor de kustmetingen gebruikt (kunnen) worden, naast elkaar te zetten. Door het onderling vergelijken van de verschillende datasets kunnen fouten gedetecteerd worden. Uit een inventarisatie uit 2002 blijkt dat de volgende organisaties met de door hen gebruikte meetsystemen bij de kustlodingen betrokken zijn:

	Zeeland	Zuid-Holland	Noord-Holland	Noord Nederland
Lengte raaien (m)	800 / 2500	800 / 900	2000 - 8000	1000 – 3000
Raaiafstand (m)	200	125 - 250	200	180, 200, 220
Opname systeem	QINSy	QINSy	QINSy	QINSy
Reductiemethode	LRK; LRK + WST	LRK	LRK; LRK + WST	LRK; LRK + WST
Opname door:	Waterschap Zeeuwse Eilanden	RWS-ZH	RWS-NH	RWS-NN

Tabel 1: JARKUS inventarisatie 2002

Kijken we naast de lodingen ook nog naar de overige kustmetingen, die voor Rijkswaterstaat worden uitgevoerd, dan kunnen we de volgende meetsystemen onderscheiden.

- WST: Vaartuig uitgerust met dGPS; Standopnemer; echolood en waterstand als reductiemethode.
- V-LRK: Vaartuig uitgerust met LRK dGPS; Standopnemer; echolood.
- LIDAR: Diepte metingen op basis van laser altimetrie metingen vanuit een vliegtuig.
- WESP: Water en Strand Profiler; Voertuig uitgerust met LRK dGPS
- Backpack: Mobiele metingen met behulp van LRK dGPS
- ATV: All Terrain Vehicle metingen met behulp van LRK dGPS

Voor het identificeren van de verschillende foutenbronnen worden de Backpack en ATV aan elkaar gelijk gesteld onder de noemer M-LRK. In de praktijk blijken de foutenbronnen namelijk identiek [3]. De metingen met de WESP zijn een geval apart, aangezien het hier gaat om mobiele RTK metingen die wél gecorrigeerd worden voor roll, pitch en koers.

We kunnen verder onderscheid maken tussen foutenbronnen die wel en foutenbronnen die geen verschillen tussen LRK en WST kunnen veroorzaken. De nadruk ligt daarbij dus op verschillen tussen WST en V-LRK (LRK). In onderstaande tabel worden de relatie tussen de verschillende meetsystemen en hun onderlinge afhankelijkheid duidelijk gemaakt.

Foutenbron		WST	V-LRK	M-LRK
Plaatsbepaling	Hoogte referentiestation	-	X	X
	Precisie plaatsbepaling	X	X	X
	Vertraging	X	X	X
Standopnemer	Roll, pitch	X	X	-
	Heave	X	X	-
Gyrokompas	Koers	X	X	-
Referenties	Geoïdehoogte	-	X	X
	Datumtransformatie	X	X	X
	Waterstandmeting	X	-	-
	Getijmodel	X	-	-
	Squat	X	-	-
	Diepgang	X	-	-
Echolood / Laser	Bundelhoek	X	X	-
Bootgeometrie		X	X	X
Snelheidsmodel	Geluidssnelheid	X	X	-
	Lichtsnelheid	-	-	-
Presentatie	Interpolatie	X	X	X

Tabel 2: Overzicht foutenbronnen. Grijs: deze fout is bij een gelijk meetsysteem gelijk van grootte.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat de invloed van de fout op verschillende meetsystemen van een identieke foutenbron verschillend kan zijn.

Verder wordt in dit rapport de conventie aangehouden dat een negatief diepteverschil betekent dat het LRK-systeem dieper meet dan het WST-systeem.

3.3 Foutenbronnen die verschillen tussen LRK en WST kunnen veroorzaken

Er worden negen foutenbronnen onderscheiden, die de verschillen tussen LRK en WST kunnen veroorzaken. Deze foutenbronnen zijn:

- de plaatsbepaling
- de standopnemer
- het gyrokompas
- het referentievlak (inclusief geoïde)
- waterstandmeting
- getijmodel
- squat
- bootgeometrie
- diepgang
- de datapresentatie

In onderliggende paragrafen worden deze foutenbronnen verder uitgewerkt. Hierbij zal kort op de begrippen worden ingegaan.

3.3.1 Plaatsbepaling

Fouten die zich in de plaatsbepaling kunnen voordoen zijn:

1. Vertragingfouten
2. Foutieve instelling van de hoogte van het referentiestation
3. Precisiefouten in de GPS

Vertraging

Vertraging is de tijdvertraging tussen het meten van een positie en het uitsturen via een radioverbinding van deze positie naar het meetsysteem. Deze fout treedt op bij alle meetmethodieken voor kustmetingen. Dit type fout is inherent aan het plaatsbepalingsysteem. Over het algemeen geldt dat de vertraging van een dGPS systeem kleiner is (orde grootte 0.3 – 0.4 seconde) dan van een LRK systeem (orde grootte 0.2 – 1 seconde).

De fout is afhankelijk van de snelheid van het meetsysteem. Bij het uitvoeren van landmeetkundige metingen (lopend) mag de fout gelijk aan nul worden verondersteld. Bij het vergelijken van twee typen plaatsbepalingsystemen zal niet de vertraging zelf worden gevonden, maar verschilwaarden van de twee gebruikte plaatsbepalingsystemen. De waargenomen fout zal dus kleiner of gelijk zijn aan de werkelijke fout.

Op een vlakke bodem zal de fout wel aanwezig zijn maar niet tot uiting komen als dieptefout. Wel is altijd een positiefout aanwezig. De richting van de fout is gelijk aan de vaarrichting.

Hoogte van het referentiestation

Bij het werken met LRK dGPS wordt 'relatief' ten opzichte van een referentiestation gemeten. Een referentiestation dient nauwkeurig in hoogte te worden ingemeten, maar ook deze inmeting heeft een bepaalde precisie ten gevolge van de gekozen inmeet-methodiek.

In het verleden werden referentiestations iedere dag opnieuw geplaatst en werd de bepaling van de antennehoogte ook iedere dag opnieuw uitgevoerd. Uit onderzoek van Rijkswaterstaat [4] is gebleken dat deze hoogtebepaling een bron van fouten is.

Het gaat hier om een constante fout die zich in de gehele LRK meting voordoet, waarbij van een opstelpunt / referentiestation gebruik is gemaakt, zonder dat dit station opnieuw ingericht is. Deze fout treedt op bij alle systemen die gebruik maken van LRK dGPS systemen. Dit zijn alle systemen met uitzondering van de waterstandgecorrigeerde metingen.

Precisie plaatsbepaling van GPS

Ieder meetstelsel heeft een eigen, inherente meetfout betreffende de plaatsbepaling. In het algemeen kan verondersteld worden dat als er lang genoeg gemeten wordt, de gemiddelde fout gelijk aan nul is.

Het is van belang om rekening te houden met de meettijd, immers er worden vanaf dynamische platformen nagenoeg alleen instantane, dynamische metingen uitgevoerd en geen statische metingen gedurende een bepaalde periode waardoor middeling kan optreden. Voor wat betreft de precisie van plaatsbepalingssystemen moet verder onderscheid gemaakt worden tussen de precisie in de horizontale en verticale positie.

De horizontale positie speelt bij alle systemen een rol, de verticale positie is alleen van belang bij systemen die op basis van LRTK dGPS werken (dus alle met uitzondering van waterstandgecorrigeerde metingen). Uit onderzoek op onder andere het Ketelmeer [8], [9] is gebleken dat de precisie van GPS gebaseerde plaatsbepalingssystemen in twee componenten verdeeld kan worden, te weten:

- Puntruï; dit is de precisie van een enkele meting.
- Periodieke ruis; deze heeft een sinusvormig karakter met een amplitude van circa 0.01 – 0.03 meter en een periode van 15 - 30 minuten. Deze wordt onder andere veroorzaakt door de satelliet constellatie, maar ook door ruis in de elektronica van de ontvanger.

De puntruï is enkel relevant voor individuele metingen, bij langere metingen (> 1 minuut) zal deze fout uitmiddelen. Voor dit onderzoek is de puntruï niet relevant.

De periodieke ruis kan wel een probleem vormen bij hydrografische metingen. Bij een scheepssnelheid van 2 m/s zal een vaartuig gedurende 15 minuten een afstand afleggen van 1800 meter. Dit is ongeveer gelijk aan de gemiddelde raailengte van de kustlodgingen.

Tijdens proeven [8],[9] is tevens vastgesteld dat er bij de opstelling op het Ketelmeer een relatie leek te bestaan tussen de periodieke ruis en de afstand tussen meetvaartuig en referentiestation. Voor de puntruï wordt deze relatie vaak aangegeven door de leverancier (bijvoorbeeld $0.01 \text{ m} + 0.001 \times \text{afstand (km)}$). Voor de periodieke ruis is dit niet het geval en in hoeverre dit zich ook voordoet bij andere opstellingen is niet bekend.

3.3.2 Standopnemer

De standopnemer is het apparaat dat ervoor zorgt dat de dieptemeting wordt gecorrigeerd voor de scheepsbewegingen. De scheepsbewegingen die we hier onderscheiden zijn roll, pitch en heave.

Roll en Pitch

Roll en pitch (en gyro) zijn nodig voor de juiste doorrekening van de antennenpositie naar de transducer via de bootgeometrie. Het is niet ongebruikelijk om bij singlebeam metingen de gyro achterwege te laten indien de antenne direct boven de transducer is gemonteerd. Bij gebruik van een standopnemer ter berekening van de juiste stand van het vaartuig kunnen we zowel een variabele fout als een systematische fout onderscheiden. De variabele fout zal gemiddeld een afwijking gelijk aan nul geven en is daarmee niet relevant in het kader van dit rapport. De systematische fout is het gevolg van een slechte oplijning van de standopnemer met het scheepsassenstelsel. Hierdoor worden onderlinge posities op het vaartuig continue met de verkeerde stand van het vaartuig doorgerekend. Dit resulteert in een foutieve positie (X,Y, Z) van de transducer (en GPS antenne). Bij een bodemhelling zal dit resulteren in een foutieve hoogteberekening. De fout is dus afhankelijk van de kalibratie van de standopnemer en de onderlinge posities tussen de punten waarvoor correcties berekend worden.

Heave

Onder heave wordt de verticale verplaatsing van het meetvaartuig verstaan. Alleen relatief kortstondige verplaatsingen als gevolg van bijvoorbeeld golven worden bepaald met een standopnemer (dus geen getijvariabiliteit). Bij snelle variaties in de scheepsbeweging (bocht maken; versnellen) of constante versnelling ("surfen") kan de, door de sensor waargenomen, heave beduidend afwijken van de werkelijke waarde. Deze waargenomen heave waarde wordt *false heave* genoemd. Afhankelijk van de gekozen filterinstellingen kan het tot rust komen van de sensor na het maken van een bocht of het invaren van een raai behoorlijk lang duren. Het effect wordt gekenmerkt door een grote "opslingering"

van de heave tijdens de bocht / versnelling, gevolgd door een uitdemping van de fout in de tijd. Het effect is afhankelijk van de gekozen instelling en de omgevingsomstandigheden. Bij een perfect ingesteld filter zal er in de regel nog altijd een korte periode nodig zijn om de sensor te laten 'uitdempen'.

Bij een goede meetpraktijk wordt gewacht met de opname totdat de heavemeting gestabiliseerd is, maar de praktijk leert dat zeker bij korte meettraaien deze tijd niet of nauwelijks wordt genomen.

3.3.3 Gyrokompas

Het gyrokompas lijkt een vreemde foutenbron te zijn, omdat deze geen enkele invloed lijkt te hebben op de hoogtemeting. Het gyrokompas als foutenbron is echter relevant, omdat een positiefout zich bij een bodemhelling vertaalt naar een dieptefout. Verder is het van belang dat we alleen de fout in de vaarrichting meenemen en dus niet de totale positiefout. We gaan er vanuit dat de precisie van het gyrokompas geen, maar de kalibratie van het gyrokompas wel een rol speelt bij dit onderzoek.

Bij het plaatsen van de antenne recht boven de transducer is de gyrokompasfout niet van belang, in voorkomende gevallen wordt vaak zonder gyrokompas gewerkt. Echter bij vaartuigen met zowel een kop- als een middentransducer (bijvoorbeeld bij Dienst Noord-Holland) is de koers wel relevant en kan de grootte van de fout veranderen indien van kop- naar middentransducer wordt geschakeld.

3.3.4 Referentievlak

Hydrografen zijn traditioneel gewend te werken met een XY-positiesysteem en de Z-waarden van de transducer worden verkregen via de stand van de waterspiegel ten opzichte van een referentievlak (middenstandsvlak, NAP). De precisie van de peilschalen is bepaald door de gemiddelden van waterstanden vast te leggen over een lange periode.

De fenomenen squat, inzinking en heave veroorzaken een verandering van de diepteligging van het bootgeometriestelsel en daarmee ook van het nulpunt van het transducersysteem (stelsel) ten opzichte van de waterspiegel. Echter de ligging van het referentievlak zelf wordt hierdoor niet beïnvloed.

Werkend met het LRK-positiesysteem hoeven we met waterstand, squat en heave geen rekening te houden en zijn we dus de invloed van een drietal grote en moeilijk te meten (of te schatten) foutenbronnen kwijt.

Geoïde

Bij het gebruik van LRK-dGPS als Z-referentie is het noodzakelijk een goede hoogtecorrectie ten opzichte van NAP toe te passen voor het locale verschil tussen geoïde en ellipsoïde. Wordt dit vergeten dan kunnen er in het werkgebied Nederlandse kust van het RIKZ plaatsen zijn waar een fout in de Z-richting optreedt van -0.10 m tot $+0.40$ meter [12].

De invoer van deze correctie in software systemen is vanaf circa 1996 op gang gekomen. De door Rijkswaterstaat tot ca 2002 gebruikte software RWSLod beschikte niet over een correctie voor de geoïde. RWSLod is vanaf 2000 bij de diverse meetdiensten, die Jarkus lodingen uitvoeren uitgefaseerd en vervangen door QINSy. Deze software beschikt wél over een correctie voor de geoïde.

Datumtransformatie

Met GPS systemen worden posities bepaald ten opzichte van WGS84. In de regel worden deze posities omgerekend naar RD- en NAP-coördinaten voor de kustmetingen. Deze omrekening is gebaseerd op zogenaamde datumtransformatieparameters. Doordat WGS84 een model van de wereldbol is en RD alleen de Nederlandse situatie beschrijft worden de transformatieparameters regelmatig aangepast. Het foutief toepassen van de parameters leidt tot fouten in X-, Y- en Z-richting.

Bij het gebruik van dGPS bij WST metingen zullen de transformatie fouten in de regel niet opvallen, bij toepassing van LRK dGPS ligt dit anders, aangezien hier ook de hoogtemeting verandert. Toch zal ook bij dGPS een fout zichtbaar zijn indien er op hellingen gelood wordt, het gaat hier om een constante

positiefout. Deze fout geldt niet alleen voor toepassing in de survey software van het vaartuig, maar ook bij de omrekening van de coördinaten van het referentiestation naar RD en NAP. De juiste versie van de Coördinaat Calculator van Rijkswaterstaat converteert deze coördinaten correct (v 4.0 voor 2002).

De GPS-fout is verder afhankelijk van de geografische locatie en verandert langzaam langs de kust. Voor een beperkt gebied (tientallen km²) kan de fout constant worden verondersteld.

3.3.5 Waterstandmeting

Waterstandmetingen worden uitgevoerd op vaste locaties door middel van peilschalen. Het referentieniveau op zo'n locatie wordt vastgesteld door landmeetkundige metingen. Vervolgens wordt de meter dusdanig gekalibreerd dat het referentiepunt overeenkomt met de nulaanduiding van de peilschaal. Deze kalibratie is een potentiële foutenbron.

Verder vertonen waterstandsmetingen, zoals elke meting, variabele fouten in de uitlezing. Deze zullen over langere tijd echter uitmiddelen tot nul.

3.3.6 Getijmodel

Het getijmodel is gebaseerd op waarnemingen van peilschalen en uit ervaring opgebouwde relaties tussen de verschillende peilschalen. Invloeden die een afwijking veroorzaken in de Z-referentie zijn:

- Opstuwung veroorzaakt door wind, zandbanken, etc.
- Hoge of lage afvoer van riviermondingen
- Vernauwing in stroomprofiel bij strekdammen en pieren (Hoek van Holland en IJmuiden)
- Positie van de raai t.o.v. de positie van de peilschaal
- Scheepvaart
- Langs- en dwars-verhang
- Waterstandreductie binnen de software
- Eb en vloed

Al deze invloeden zijn van toepassing bij gebruik van de waterstand als Z-referentie. De invloeden veroorzaken aanzienlijke en meestal ook slecht te schatten fouten, die ook niet zomaar meer te reproduceren zijn voor de uiteindelijke correcties. De invloed van de eerste drie hebben min of meer dezelfde strekking. Gesteld kan worden dat overal in het kustgebied, waarin in de tijd gezien een aanpassing in het bodemprofiel heeft plaats gevonden, er een afwijking is ontstaan in het waterstandmodel.

Zandbanken hebben ook invloed op het getijmodel. Als het getijmodel, dat gebruikt wordt voor de berekening van de waterstand, niet wordt aangepast, kunnen er verschillen ontstaan in berekende en werkelijke waterstanden (referentievak). Hoe ondieper of hoe hoger de zandbank of hoe groter de stroomsnelheid, des te groter wordt de waterstandverlaging ter plekke. Voor vernauwingen geldt hetzelfde, alleen verandert nu het doorstroomprofiel in de breedte in plaats van de diepte.

De kwantitatieve invloed van opstuwung is moeilijk te bepalen, maar wordt vaak gemeten aan de hand van de peilschalen. Ditzelfde geldt voor waterstandsverschillen door drukveranderingen. Opstuwung kan lokaal sterk afwijken in vergelijking met de rest van het gebied. Dit treedt vooral op bij metingen langs de kust of in (trechtersvormige) bekkens waarbij de waterstand aan de loef- en lijzijde van het bekken sterk kan verschillen. Zo zijn op het IJsselmeer tussen de Afsluitdijk en Lelystad waterstandsverschillen van enkele decimeters gemeten. In het algemeen geldt dat hoe korter de afstand is tussen het meetpunt en de peilschaal, des te kleiner de afwijking door opstuwung zal zijn.

Het getij langs de kust wordt sterk beïnvloed door de morfologie van de kust. De keuze van de peilschaal in het getijmodel dient dusdanig te zijn, dat deze representatief is voor het werkgebied. In de regel blijkt dit een groot probleem te zijn, aangezien de kustmorfologie van de Nederlandse kust dusdanig verandert dat de invloed hiervan op het te gebruiken getijmodel voor de correctie van de Z-referentie moeilijk te voorspellen is. Over het algemeen wordt de waterstandcorrectie voor een

willekeurig tijdstip berekend door lineaire interpolatie van de 10-minuutwaarden van de lokale waterstandgegevens naar de positie van de gemten raaien

3.3.7 Squat en Inzinking

Squat en inzinking zijn te beschouwen als een afwijking in de ligging van het nulpunt van het bootgeometriestelsel ten opzichte van de waterspiegel. Hierbij slaat squat op het kantelen van het vaartuigen ("speedboot effect") en inzinking op de verticale verandering van de waterlijn van het vaartuig onder invloed van de scheepsvorm, de snelheid door het water en de waterdiepte. In de praktijk worden beide effecten vaak samengevat onder de noemer squat.

Voor de automatische verwerking is een squat-algoritme ontwikkeld op basis van snelheid en waterdiepte. In principe moet hierbij de snelheid door het water gebruikt worden en niet de snelheid over de grond. In de praktijk blijkt de snelheid door het water alleen goed te meten met een elektromagnetisch log en deze is op veel vaartuigen niet aanwezig. Als alternatief wordt soms het toerental gebruikt, echter dit geeft alleen juiste resultaten als het schip met een continue snelheid / toerental vaart. Immers, wanneer de gashendel dicht wordt gezet zal het toerental snel afnemen naar nul terwijl het vaartuig nog een aanzienlijke vaart door het water kan houden.

In de praktijk wordt de snelheid uit de GPS ontvanger gebruikt, deze kan bij stevige stroomsnelheden echter flink afwijken van de snelheid door het water. In zowel QINSy als RWSLod zijn algoritmen aanwezig om te corrigeren voor squat.

Doordat de grootte van de squat afhankelijk is van de waterdiepte, is het noodzakelijk ook altijd te weten wat de getijhoogte ter plaatse van de meting op dat moment is geweest, immers bij hoog water zal de waterdiepte anders zijn dan bij laag water. De squatcorrectie moet worden uitgevoerd op de werkelijk gemeten diepte.

Er zijn echter uitzonderingen op de toepassing van de squatcorrectie. Het gaat daarbij in de regel om kleine en/of snelle meetvaartuigen. Door hun kleine onderwaterschip hebben deze vaartuigen, langzaamvarend, een zeer kleine squat en zullen zij op snelheid (planerend) een negatieve squat krijgen.

Bij landmeetkundige metingen waarmee de kustlodingen worden aangevuld, is ook een 'vorm' van squat terug te vinden. Echter het gaat nu niet om de inzinking van het meetplatform in het water, maar om de inzinking van het meetplatform in de bodem tijdens het verrichten van de metingen.

3.3.8 Bootgeometrie

De bootgeometrie beschrijft de onderlinge samenhang van sensorposities ten opzichte van een Centraal Referentie Punt (CRP). De bootgeometrie wordt gebruikt om de positie van de plaatsbepaling door te rekenen naar bijvoorbeeld de echolood transducer. Het inmeten van de bootgeometrie wordt in de regel met landmeetkundige technieken zoals een Total Station op de wal uitgevoerd. Soms worden slecht bereikbare punten echter met meetbanden ingemeten.

Onder bootgeometrie wordt ook verstaan de bepaling van het akoestisch nulpunt van transducers en het fasecentrum van GPS antennes. De positie van de transducer, welke wordt ingemeten, is veelal niet het nulpunt waar de dieptemeting begint. Vaak wordt namelijk het fysieke midden van de sensor ingemeten terwijl de meting zelf op een ander punt plaats vindt, het akoestisch nulpunt. Bij veel singlebeam echoloden ligt het akoestisch nulpunt verschoven (in de Z-richting) ten opzichte van het ingemeten punt. Voor elke transducer moet het akoestisch nulpunt worden bepaald en de bootgeometrie worden aangepast. Vooral bij singlebeam transducers is in het verleden de Z-waarde van de transducer niet aangepast in de bootgeometrie voor het verschil tussen akoestisch nulpunt en het fysieke nulpunt [4]. Voor GPS antennes geldt iets vergelijkbaars, met dien verstande dat hiervoor in de regel een vaste correctie wordt toegepast. Ook hier gaat het vooral om een verschuiving in de Z-richting.

Afhankelijk van het toegepaste meetsysteem zal een fout in de bootgeometrie meer of minder invloed hebben. Bij dGPS houden we in de regel alleen rekening met een X,Y fout, deze zal echter bij een specifieke bodemhelling ook invloed hebben op de diepte (zie precisie plaatsbepaling). Bij LRK systemen is de volledige bootgeometrie relevant en kunnen naast de al genoemde fouten in X- en Y-richting ook fouten in de Z-richting optreden.

Een fout in de Z-richting van de bootgeometrie resulteert in een constante fout in de meting. Een fout in de X-,Y-richting is afhankelijk van het bodemprofiel ter plaatse.

3.3.9 Diepgang

Voor waterstandgecorrigeerde metingen is het van belang de afstand tussen de waterspiegel en de echolood transducer te kennen. Samen met de waterstand en de dieptemeting resulteert deze namelijk in de diepte ten opzichte van NAP. De diepgang van schepen is echter geen vast gegeven maar is afhankelijk van bijvoorbeeld de beladingsgraad van het vaartuig en de dichtheid van het water.

De diepgang van meetvaartuigen wordt in de regel bepaald door ofwel deze direct af te lezen met behulp van een standpijp, ofwel door het uitvoeren van een barcheck. Een barcheck is de controle van een echolood middels een ijkbalk.

De barcheck is lastig uit te voeren op open water en kan behept zijn met relatief grote meetfouten. Maar ook standpijpmetingen zijn in de regel niet foutloos. Grootste probleem hierbij is het bepalen van de hoogte van de standpijp ten opzichte van de positie van de echolood transducer en het juist aflezen van de meetband.

Speciale aandacht bij het uitvoeren van de barcheck-methode is de akoestische diepgang van het echolood (zie ook bootgeometrie). Voorkomen moet worden dat deze fout dubbel wordt gecorrigeerd. Als het akoestisch nulpunt van de transducer is bepaald en ingevoerd in de bootgeometrie, dan dient de ingevoerde diepgang uit de barcheck hiervoor gecorrigeerd te worden. Deze laatste correctie is zowel voor LRK als waterstandgecorrigeerde metingen gelijk en zal bij het vergelijken van deze typen metingen niet zichtbaar worden.

3.3.10 Presentatie

De grootte van de fout in presentatie is afhankelijk van de gekozen interpolatiemethode en de afstand tussen zowel meetpunten onderling als de meetraaien. Indien meetraaien niet op exact dezelfde locatie zijn gevaren kan bij vergelijking van de lodingen deze fout eenvoudig gedetecteerd worden.

3.4 Foutenbronnen die geen verschillen tussen LRK en WST veroorzaken

Naast foutenbronnen die resulteren in verschillen binnen een enkele opname zijn er ook foutenbronnen die relevant zijn voor de onderlinge vergelijking van metingen van verschillende vaartuigen of uit verschillende gebieden / jaren. Bij deze foutenbronnen kunnen we de volgende onderscheiden:

- echolood
- geluidssnelheidsmodel

3.4.1 Echolood

De belangrijkste foutenbron voor een singlebeam echolood is de bundelhoek, de hoek van geluidsstralen waarmee de echosounder de bodem aftast. Verschillen in de grootte van de bundelhoek veroorzaken verschillen in de Z-nauwkeurigheid en daardoor ook in de resultaten van de singlebeam echoloden, omdat de meeste singlebeam-echoloden uitgerust zijn met een grote openingshoek. De meeste gebruikte singlebeam transducers binnen Rijkswaterstaat [3] hebben een openingshoek van:

- 9.8°, toegepaste frequentie 210 kHz.
- 2.7°, toegepaste frequentie 210 kHz.
- 2.5°, toegepaste frequentie 700 kHz.

In de praktijk kan de bundelhoek een factor 1.5 groter zijn dan de opgegeven bundelhoek als gevolg van zogenaamde zijlobben.

De mate van geaccidenteerdheid van de bodemstructuur veroorzaakt dus verschillen in de dieptemeting. Als de bodem vlak is, zal er geen verschil ontstaan, duinen, bestorting en hellingen zijn van invloed op de dieptemeting. Opgemerkt moet worden dat de invloed van de bundelhoek groot is en altijd een grotere dieptemeting geeft naarmate de bundelhoek kleiner wordt.

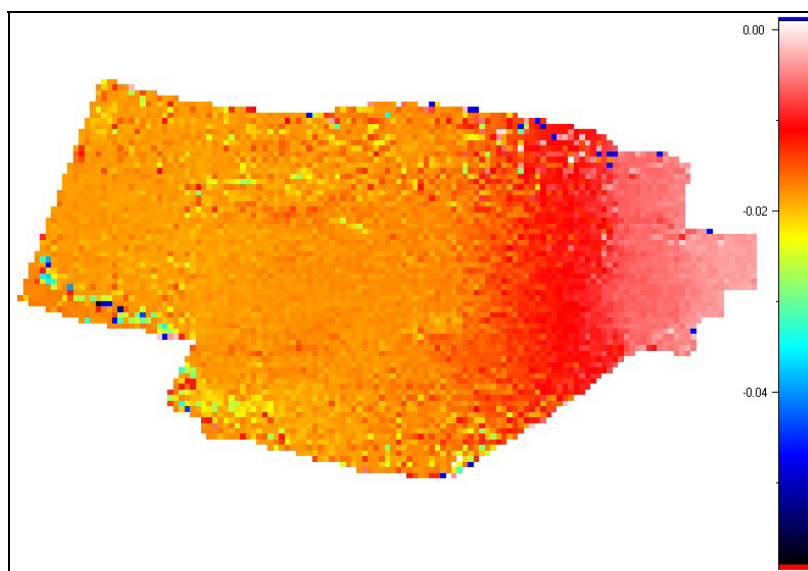
Verder is oplijning van het echolood van groot belang. Indien de bundel van het echolood scheef staat dan zal er een constante fout optreden bij het aanpeilen van een vlakke bodem én het talud. De meeste software kan hiervoor niet corrigeren en gaat uit van een meting loodrecht onder de transducer (projectie). Dit is geen probleem zolang de maximale scheefstand van de transducer niet groter is dan de halve bundelhoek van het echolood. Onder reguliere meetomstandigheden zal met een 'standaard' transducer (9.8°) geen meetfout ontstaan op een vlakke bodem. Bij toepassing van een smallere bundelhoek zullen hierdoor wel meetfouten kunnen ontstaan.

3.4.2 Geluidssnelheidmodel

Bij dieptemetingen wordt de met het echolood gemeten looptijd door middel van een van te voren bepaalde en ingestelde geluidssnelheid omgerekend naar een diepte in meters. De geluidssnelheid wordt bepaald met behulp van een geluidssnelheidsmeter of met een zogenaamde barcheck. De gemeten snelheid wordt ingevoerd in het echolood of in de software en is geldig voor een specifiek echolood.

Bij metingen met behulp van een sensor is de fout gerelateerd aan de precisie van de sensor. De fout varieert bij profielmetingen. Daarnaast kan, afhankelijk van het type sensor, een fout gemaakt worden bij de omrekening van de individuele parameters naar een geluidssnelheid (CTD type meter). Bij de meting van de geluidssnelheid met een barcheck kunnen veel fouten optreden. In de eerste plaats kan er een fout optreden in de bepaling van de lengte van de lijnen waarmee de bar bevestigd is. Deze fouten kunnen door temperatuurverschillen en slijtage van lengte veranderen. Daarnaast is het niet eenvoudig om de bar op een exacte diepte te houden tijdens de meting, zeker indien er golfslag is.

De fout ten gevolge van de geluidssnelheid is een systematische fout, die in grootte toeneemt met de diepte. Figuur 1 laat zien wat de invloed is, als een fout van 2 m/s in de geluidssnelheid wordt ingevoerd.



Figuur 1: fout (in meters) in multibeam profiel ten gevolge van foutieve geluidssnelheid van 2m/s op 5 – 15 meter diepte [9]

3.5 Conclusies foutenbronnen

Op basis van de vraagstelling van dit onderzoek moet de aandacht voor wat betreft mogelijke verschillen tussen de LRK- en de waterstandgecorrigeerde metingen vooral gericht zijn op de foutenbronnen, die deze verschillen veroorzaken.

De overige foutenbronnen zijn van belang, maar zullen in zowel in de LRK als in de waterstandgecorrigeerde metingen voorkomen, aangezien deze met hetzelfde meetsysteem (vaartuig) en tegelijkertijd zijn uitgevoerd. Om de overige foutenbronnen te detecteren, te analyseren en te kwantificeren is een vergelijking met onafhankelijke metingen (bv M-LRK metingen op het droge) nodig. Op basis van de resultaten zou kunnen worden bepaald, hoe de meetstrategie eventueel zou moeten worden aangepast.

LRK Metingen

Voor LRK metingen zijn de volgende foutenbronnen van invloed op de gemeten waarden:

Voor alle waterbodems:

- Hoogte referentiestation
- Geoïdehoogte

Voor (steile) taluds komen hier nog de foutenbronnen bij:

- Vertraging tussen GPS, echolood
- Roll en pitch kalibratie
- Datumtransformatie

Waterstandgecorrigeerde Metingen

Voor waterstandgecorrigeerde metingen zijn de volgende foutenbronnen van invloed op de gemeten waarden:

Voor alle waterbodems:

- Heave correctie
- Squatmodel
- Getijmodel / correctie

Voor (steile) taluds komen hier nog de volgende foutenbronnen bij:

- Vertraging tussen GPS en echolood
- Roll en pitch kalibratie
- Datumtransformatie

Taludmetingen

Voor wat betreft de foutenbronnen op de taluds is er een duidelijke overlap tussen de verschillende meettechnieken te zien. Echter dezelfde bronnen blijken fouten te veroorzaken, die verschillen in de grootte van de fout. Op basis van de potentiële fouten uit het overzicht lijkt het ons niet mogelijk om door middel van een vergelijking tussen de twee datasets fouten in roll / pitch kalibratie op te sporen, evenals fouten in de datumtransformatie. De fout in de datumtransformatie is echter weer eenvoudig te controleren aan de hand van de ruwe data zelf (instelling software). De vertraging is de enige foutenbron, die voor dGPS / waterstandmetingen een andere fout geeft dan voor LRK metingen op het talud. Deze foutenbron is echter alleen te verifiëren indien er specifieke kalibratieaaien gevaren zijn door de desbetreffende meetdienst.

Detectiegrens

Op basis van het overzicht lijken de meeste (significante) foutenbronnen een (vermoedelijke) fout van meer dan 0.05 meter op te leveren. Zie ook hoofdstuk 6 voor een getalsmatige analyse van de potentiële foutenbronnen. Op basis hiervan wordt voorgesteld de detectiegrens bij het vergelijken van de datasets in eerste instantie tussen 0.05 en 0.10 meter te leggen. De exacte waarde is afhankelijk van het uiteindelijke beeld. Hoe lager de waarde hoe groter de detectiekans maar ook hoe groter de kans dat niet-systematische fouten de waargenomen verschillen beïnvloeden.

4 Data-inventarisatie

Voor het detail onderzoek is het van belang dat er met oorspronkelijke JARKUS data wordt gewerkt, en wel de data zoals ze in eerste instantie zijn opgenomen. Na het opvragen van de data, zijn de data beoordeeld op geschiktheid. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk worden enkele conclusies en aanbevelingen gedaan aangaande de uniforme opslag en verwerking van data, om dit soort onderzoeken in de toekomst beter en makkelijker te kunnen opzetten.

Daarnaast is voor de eerste inventarisatie van de fouten gebruik gemaakt van de data zoals ze in DONAR aanwezig zijn. Dit zijn vergridde data, die een resultante zijn van de bewerkingen die na de opname op de data zijn uitgevoerd.

4.1 Data-inventarisatie Jarkus 2000 en 2002

Om het onderzoek te kunnen uitvoeren, is in de eerste plaats een inventarisatie uitgevoerd naar de aanwezigheid van ruwe, ongevalideerde JARKUS data. Dit is nodig om alle aspecten, die van invloed kunnen zijn op de algehele kwaliteit, gedegen te kunnen onderzoeken. De data-inventarisatie heeft uit twee onderdelen bestaan:

- opvragen van data via RIKZ
- opvragen van aanvullende data bij de Meet- en Informatiediensten

Om enige duidelijkheid te scheppen in de keuze van informatiebronnen, is besloten om de informatie in de DIA-bestanden (DONAR) van RIKZ als uitgangspunt te hanteren. De meetdiensten leveren hun gegevens aan RIKZ en de DIA-bestanden zijn de uitwisselbestanden van de gegevens uit de DONAR database. De DIA-bestanden zijn ingelezen in het (softwarepakket) MARIA en per bestand is de betreffende meta-informatie in een spreadsheet gezet. De volgende metadata-items waren van belang voor het onderzoek:

- Aan de DIA-bestanden is voor de herkenbaarheid op basis van de metadata een uniforme naam gegeven.
- Om de dataverwerking te vereenvoudigen zijn alle data per meetdag geëxporteerd naar ASCII-bestanden met de kolommen X Y Z. De X- en Y-waarden zijn hierbij ten opzichte van RD in meters, de Z-waarden zijn de hoogten of diepten in meters ten opzichte van NAP, waarbij de waarden boven NAP positief zijn en de waarden onder NAP negatief.

Naar aanleiding van de aanvraag van JARKUS data van 2000 en 2002, is door het RIKZ JARKUS data op de ftp server van het RIKZ neergezet. Hiervan is een inventarisatie gemaakt naar de aanwezige data, datasoorten en metadata. Hieruit is een keuze gemaakt van die datasets die bruikbaar leken voor het onderzoek.

Op basis van de resultaten van de eerste inventarisatie bij RIKZ zijn de ontbrekende data opgevraagd bij de verschillende Meet- en Informatiediensten en het RIKZ. Er is zowel naar de ruwe als de resultaten van de LRK en dGPS cq. WST metingen gevraagd. Alhoewel niet alle data zijn aangeleverd, is besloten met het onderzoek van start te gaan met de data, die wel aanwezig waren.

4.2 Datasets van Meet- en Informatiediensten

Naar aanleiding van de aanvraag zijn data ontvangen van de volgende Meet- en Informatiediensten: Noord-Nederland, Noord-Holland, Zuid-Holland en Zeeland.

Meetdienst Noord-Nederland

Van Noord-Nederland is een DVD ontvangen met daarop de volgende bestandsformaten:

- QINSy databases (*.db bestanden) met daarin ruwe data zoals opgenomen tijdens de loding voor zowel de LRK als de waterstandgecorrigeerde data
- QINSy Processed Data (*.qpd bestanden) met daarin de gevalideerde, getijgereduceerde data
- *.* getijbestanden gebruikt bij de verwerking

De aangetroffen data betreffen de waddeneilanden met uitzondering van Texel, dit eiland valt onder het beheer van Noord-Holland. De meetgegevens van Schiermonnikoog zijn niet meegenomen in de analyses, omdat de resultaten van Schiermonnikoog bij de eerste controle vergelijkbaar leken met die van Vlieland, Terschelling, en Ameland en de informatie pas later beschikbaar is gekomen.

Informatedienst Water Noord-Holland

Van Noord-Holland is een DVD ontvangen met daarop de volgende soorten bestanden:

- QINSy databases (*.db bestanden) met daarin ruwe data zoals opgenomen tijdens de loding voor de waterstandgecorrigeerde data
- QINSy Processed Data (*.qpd bestanden) met daarin de gevalideerde, samengestelde waterstandgecorrigeerde data
- *.* , een ASCII-bestand met daarin LRK data met datum, tijd, x, y, z
- *.* getijbestanden gebruikt bij de verwerking van de meetgegevens
- Raaienbestanden die zijn gebruikt voor de lodingen
- Digitale tekeningen in Terramodel formaat. Deze tekeningen zijn verder niet gebruikt voor de analyses

Van de gehele Noord-Hollandse kust en Texel zijn LRK data aangetroffen. Van Texel en slechts een gedeelte van de Noord-Hollandse kust waren waterstandgecorrigeerde data beschikbaar. Een bijzonderheid bij de data van Noord-Holland was dat er van diverse gebieden vier soorten lodingen zijn aangetroffen. Het ging daarbij om:

- Lodingen met een koptransducer
- Herbewerking van de lodingen met de koptransducer
- Lodingen met de middentransducer
- 2 lodingen (10-04-02 en 18-04-02) waarbij een herberekening is gemaakt met andere getij informatie.

Omdat het in eerste instantie niet duidelijk was welke lodingen gebruikt dienden te worden, is ervoor gekozen de opnieuw verwerkte lodingen niet mee te nemen en uit te gaan van de oorspronkelijke data zoals opgenomen. Wel is er in een later stadium nog onderzocht wat de verschillen waren tussen de verschillende aangeleverde datasets.

Meet- en adviesdienst Zuid-Holland

Door Zuid-Holland zijn in 2000 lodingen uitgevoerd met RWSLod, de voorganger van QINSy in de gebieden Delfland en Rijnland. Omdat er in heel Nederland nog maar een enkel station is waarop deze software draait (bij RIKZ) en er nagenoeg geen ervaren operators meer zijn, zijn van deze lodingen geen ruwe data meegenomen bij de analyse. In het project [10] zijn deze data wel geanalyseerd en is er onderzocht in welke mate squat-effecten bij de aangetroffen verschillen een rol hebben gespeeld. Zie hiervoor ook de inventarisatie van de foutenbronnen.

Meetinformatiedienst Zeeland

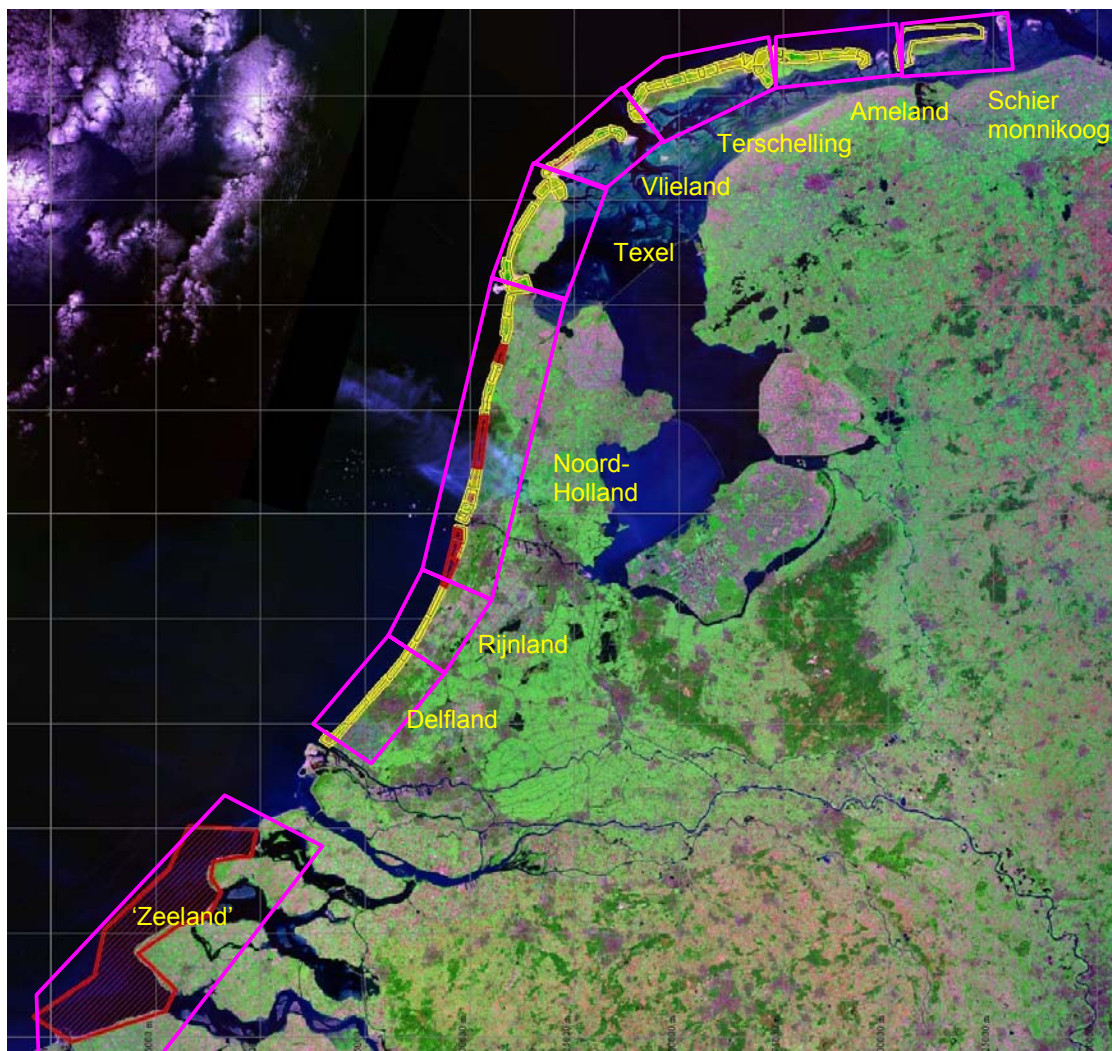
Hiervan is een DVD ontvangen met daarop de volgende soorten bestanden:

- QINSy databases (*.db bestanden) met daarin ruwe data zoals opgenomen tijdens de loding voor de LRK data
- QINSy Processed Data (*.qpd bestanden) met daarin de gevalideerde, LRK data.

De bestanden beslaan niet de gehele Zeeuwse kust, maar slechts een gedeelte. Er is een extra aanvraag gedaan naar de waterstandgecorrigeerde data, maar deze bleek niet meer beschikbaar. Als alternatief was er de mogelijkheid de getijdata opnieuw te bepalen met behulp van (externe) software.

Wel zijn de verwerkte LRK data, behorende bij de ruwe data, in een later stadium nog ontvangen. Echter doordat er geen corresponderende waterstandgecorrigeerde data aanwezig waren, zijn alleen de ruwe data van de meetdienst Zeeland geanalyseerd.

Omdat het doel van de opdracht is het detecteren en analyseren van fouten tussen de datasets zoals geleverd over 2002, is er voor gekozen de data niet opnieuw te verwerken. De resultaten van deze herbewerking zullen namelijk per definitie afwijken van de oorspronkelijke resultaten en daardoor geen waarde hebben bij de analyse. Verder zou dit ook veel extra werk met zich mee brengen.



Figuur 2: ontvangen data. rood = alleen ruwe / LRK data ontvangen geel = zowel LRK als waterstandgecorrigeerde data

Figuur 2 laat duidelijk zien dat van een aantal gebieden geen of onvolledige data zijn ontvangen, deze zijn rood gearceerd. Met deze datasets zijn slechts delen van de analyse uitgevoerd, en dan met name de kwalitatieve analyse.

Er zijn volledige datasets zijn aangetroffen voor:

- Delfland voor het jaar 2000
- Rijnland voor het jaar 2000
- Texel voor het jaar 2002
- Vlieland voor het jaar 2002
- Terschelling voor het jaar 2002
- Ameland voor het jaar 2002

Van de volgende gebieden zijn wel data aangetroffen, maar zijn óf alleen LRK- óf alleen waterstandgecorrigeerde data beschikbaar óf het is niet uit de metadata te halen of het om LRK- of om WST-gecorrigeerde data gaat. Deze gebieden zijn dan ook niet gebruikt bij de detail analyses per gebied:

- Zeeland voor het jaar 2002
- Schiermonnikoog voor het jaar 2002
- Maasvlakte en Zuid-Hollandse Eilanden voor het jaar 2002
- Noord-Holland voor het jaar 2002

4.3 Overzicht Bevindingen

Tijdens de inventarisatie en het verzamelen van de dieptemetingen zijn de volgende zaken geconstateerd:

- Niet alle benodigde data waren aanwezig
- De naamgeving van de bestanden was niet uniform en bevat in veel gevallen geen verwijzing naar het type informatie dat opgesloten zit in het betreffende bestand
- De naamgeving van bestanden bij de verschillende Meet- en Informatiediensten is niet uniform.
- Er is een grote verscheidenheid aan bestandstypen aangetroffen waarvan vaak niet duidelijk is in hoeverre de bestanden elkaar overlappen
- Van veel bestanden was zowel uit de naamgeving als de ingesloten metadata niet af te leiden wat de oorsprong van de gegevens is geweest (LRK of waterstandgecorrigeerde data).
- De metadata waren niet altijd volledig ingevuld, soms ontbraken de metadata helemaal. Daarnaast is voor vergelijkbare bestanden een verschillende invulling van de metadata aangetroffen waardoor vergelijkbaarheid van de bestanden lastig is.
- Het is nauwelijks mogelijk om ruwe data van vóór het QINSy tijdperk, zoals RWSLod data, te verwerken. Het komt zelfs voor dat de bestanden geconverteerd moeten worden naar een nieuwe(re) versie van QINSy om deze nog te kunnen gebruiken. Dit is een belangrijk aandachtspunt voor de toekomst. Door een versiewijziging is het mogelijk dat de databestanden niet meer leesbaar zijn. Tevens is het daarmee van belang oude software versies (en bijbehorende hardware sleutels) beschikbaar te hebben binnen een organisatie zoals het RIKZ.
- Bij de aanvraag van data zijn er verschillen geconstateerd in de beschikbare data. Bij alle meetdiensten, die data met QINSy hebben ingewonnen, waren de databases met ruwe informatie nog beschikbaar. Dit is voor dergelijk onderzoek van groot belang. Bij de meeste meetdiensten was ook de verwerkte data beschikbaar. De getijdata, die een essentieel onderdeel vormen van de verwerking van de WST data, was niet overal meer beschikbaar. Het argument dat waterstandgegevens opnieuw kunnen worden aangemaakt door middel van het waterstandmodel geldt niet, daar getijmodellen soms worden vervangen of verbeterd, waardoor historische studies niet meer uitgevoerd kunnen worden als de oorspronkelijke getijdata niet beschikbaar zijn.
- Bij geen van de aangeleverde bestanden zat een begeleidende brief waarin stond welke bestanden met welke status gebruikt konden worden. Ook de opname- en verwerkingshistorie van deze bestanden was niet beschikbaar. Vermoedelijk kan een deel van deze gegevens wel achterhaald worden bij aanvullende vragen, maar door het leveren van data op deze wijze wordt foutief gebruik in de hand gewerkt.

4.4 Samenvatting en Conclusies van de Data-inventarisatie

Conclusies

Hiervoor beschreven bevindingen leiden tot de volgende conclusies:

- Veel resultaten van lodingen zijn nog beschikbaar, maar vaak is de historie van deze gegevens niet meer bekend. Verder wordt er een grote diversiteit aan bestandformaten gebruikt, waarvoor steeds de inzet van data-specifieke software noodzakelijk is.
- Metadata is vaak niet beschikbaar, of op verschillende wijzen ingevuld, wat leidt tot onduidelijkheid. Dit geldt ook voor de bestandsnamen die in veel gevallen een eerste indicatie zouden moeten kunnen geven van de inhoud van een bestand.
- Van de meeste lodingen is de ruwe data nog wel beschikbaar, maar de gegevens die nodig zijn om de ruwe data verder te verwerken tot eindproducten, zoals gebruikte getijde informatie, niet altijd meer.

Aanbevelingen

Aanbevelingen in het kader van uniforme data opslag:

- Voor data die centraal opgeslagen en aangeleverd dienen te worden, zullen specificaties opgesteld moeten worden ten aanzien van de metadata en naamgeving. Het kernwoord is hier uniformiteit. Hier zou in de toekomst de in ontwikkeling zijnde WADI database (Water Data Infrastructuur) ten dele de oplossing moeten bieden.
- Lodingen zouden binnen de Meet- en Informatiediensten opgeslagen moeten worden als projecten. Tot een project behoren alle bestanden en resultaten die tijdens de opname en verwerking zijn gebruikt, maar ook de (digitale) lodingformulieren. Ten aanzien van het laatste kan het in ontwikkeling zijnde QMS een rol spelen.
- Naast de technische infrastructuur zoals WADI en QMS dienen ook afspraken gemaakt te worden ten aanzien van de betekenis van de metadata en de wijze waarop deze uniform ingevuld kan worden.

5 Detailanalyse

Gezien de grote hoeveelheid data en de gelijke strekking van de analyses per gebied is ervoor gekozen één gebied te kiezen voor dit rapport. In dit hoofdstuk komen aan de orde een kwalitatieve en een kwantitatieve analyse van de LRK-WST diepteverschillen van Texel. De analyse gegevens van de overige kustgebieden, te weten Noord-Holland, Vlieland, Terschelling en Ameland zijn toegevoegd in de bijlagen.

5.1 De kwalitatieve analyse van de LRK-WST diepteverschillen

5.1.1 Introductie

Voor de kwalitatieve analyse zijn in eerste instantie de vergridde DIA-bestanden uit DONAR, met behulp van het Surfer, een softwarepakket voor interpolatie en gridmanipulatie, de datasets ingelezen. Na het inlezen zijn de LRK- en WST-grids met elkaar vergeleken in de Surfer software, een softwarepakket voor data-interpolatie en gridmanipulatie.

Bij het inlezen van de vergridde LRK- en WST-datasets zijn de volgende instellingen in Surfer gebruikt:

- Celgrootte van 5 x 5 meter
- Middeling van data in de cel
- Interpolatie tussen cellen via circulaire interpolatie ('inverse distance' met macht 2) met een maximale afstand van 10 meter tussen gridpunten.
- De LRK-WST verschilgrids zijn opgewerkt tot 25x25 meter grids met behulp van een circulaire interpolatie in Surfer.

Hierbij zijn verschilgrids berekend met de volgende formule:

$$\text{Vershil} = \text{LRK_grid} - \text{WST_grid}$$

Bij een positief verschil ligt de LRK-data dus hoger (ondiepere bodem) dan de WST-data. De verschillen zijn in meters uitgedrukt.

Met het softwarepakket Global Mapper worden de data grafisch gepresenteerd met als topografische achtergrond de kust van Nederland. Op basis van de verschilplots langs de gehele kust is het mogelijk (groepen) van raaien te identificeren die systematische afwijkingen bevatten. Systematische afwijkingen die mogelijk anderszins in de figuur aangetroffen kunnen worden, zijn onder andere:

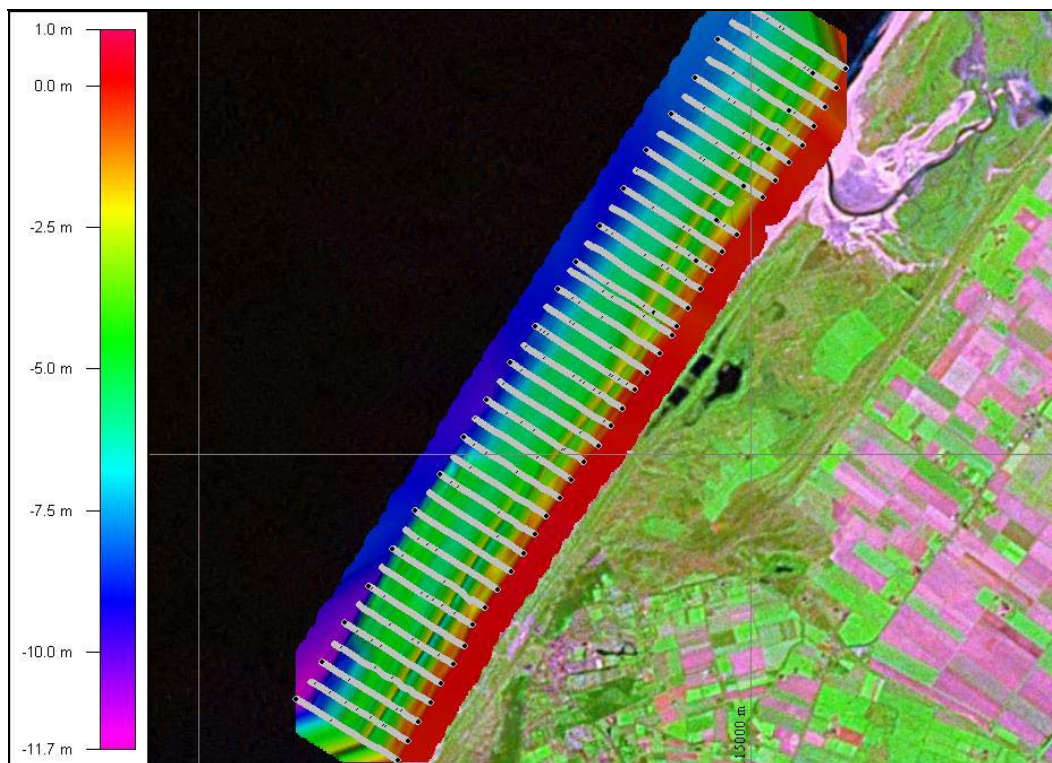
- Afwijkingen veroorzaakt door verschil in meetprocedures van verschillende meetdiensten
- Afwijkingen veroorzaakt door verschillende vaartuigen
- Afwijkingen door handmatige correcties
- Diepte gerelateerde afwijkingen
- Locatie gerelateerde afwijkingen

Behalve de gedetailleerde analyse van Texel, zijn de verdere analyses per gebied opgenomen in de bijlagen van dit rapport en meegeleverde digitale bijlage.

5.1.2 Analyse enkele meetdag (30-07-2002)

Ter illustratie van de werkwijze van de kwalitatieve analyse per werkgebied wordt hieronder de analyse van een enkele meetdag getoond langs de kust bij Texel.

In eerste instantie wordt er gekeken naar zowel de absolute diepten als de verschilplot per meetdag. De LRK diepten worden hierbij gebruikt als referentie voor het diepteoverzicht. Achterliggende reden is de verwachting, dat deze data consistent is dan de WST data aangezien de, in LRK verwachte foutenbronnen, in de regel een constant dan wel langzaam variërend karakter hebben.



Figuur 3: Diepteoverzicht LRK loding bij Texel (alle meetpunten, op basis van triangulatie – TIN model in Global Mapper)

Het diepteprofiel laat een bodem zien die naar de kust toe geleidelijk oploopt, om dan net voor de kust plotseling een sterke helling te vertonen. Verder is net voor de kust een zandbank / stroomgeul zichtbaar die parallel aan de kust loopt. Uit de data is gebleken, dat raaien van zee naar de kust allen in één keer zijn gevaren. De raaien van de kust af zijn tweezijdig ingevaren waarbij de breuk ligt ongeveer ter hoogte van de zandbank.

Vervolgens wordt de verschilplot visueel vergeleken met het LRK diepteoverzicht met als achterliggende reden het controleren op correlatie tussen diepten en verschillen. Op deze manier zou een eerste indruk van potentiële squat effecten verkregen kunnen worden. Figuur 4 laat de verschilplot zien tussen de LRK en WST dieptemetingen.

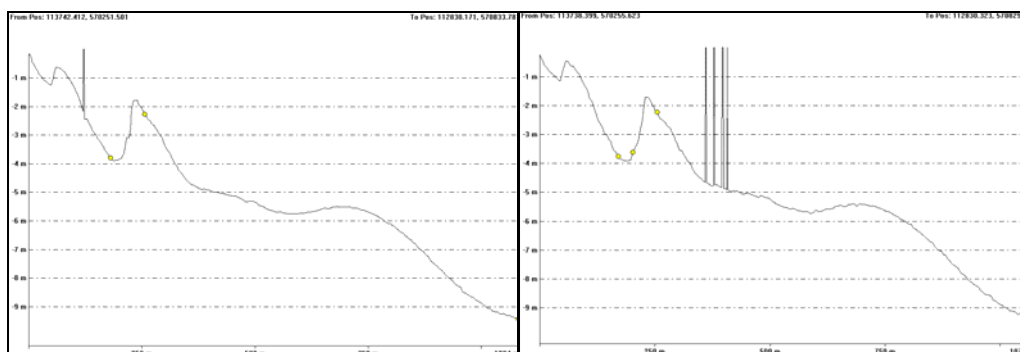


Figuur 4 Verschilplot tussen LRK en WST (25x25 meter Surfer grid). Rode lijnen zijn profielen

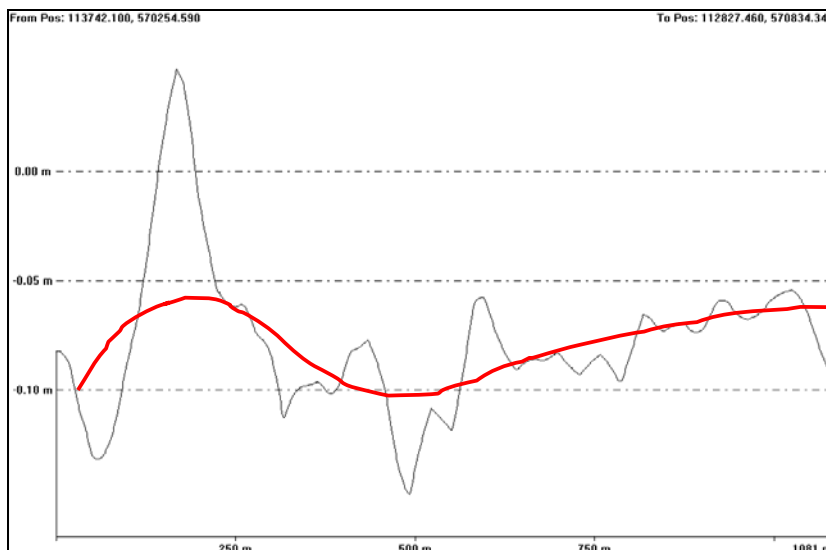
De verschilplot laat een langzaam oplopend verschil zien van zuid-west naar noord-oost. Mogelijke oorzaken zijn een foutieve geoidcorrectie in de LRK data of een foutieve waterstandscorrectie in de WST-data. Echter gezien de afmeting van het gebied en de grootte van de fout is het waarschijnlijker dat het hier gaat om een fout in de WST data. Verder zijn in de plot verschillen te zien die wisselen per raai, bijvoorbeeld aan de landzijde in de zuid-west hoek. Dit soort raaigebonden fouten kunnen een indicatie zijn van false heave effecten.

Tot slot lijken de verschillen direct aan de kust afwijkend te zijn van de overige verschillen. Doordat dit gebied echter klein is en samenvalt met de raairichting gebonden fouten, is dit moeilijk zichtbaar.

Om deze potentiële foutenbronnen verder te onderzoeken worden een aantal individuele profielen nader bekeken. Er worden er één of meerdere dwarsprofielen ter hoogte van een raai getrokken. De hoeveelheid profielen is afhankelijk van de variatie in het gebied.



Figuur 5 dwarsprofiel. Links = RTK; rechts = DGPS / Waterstand (op basis 5x5 surfer grid)



Figuur 6: Verschilprofiel ter hoogte van het dwarsprofiel (0 meter = einde raai landzijde)

De feitelijke dwarsprofielen van Figuur 5 zien er, behoudens een enkele uitschieter, normaal uit. Er zijn geen duidelijke verschillen tussen beide profielen zichtbaar.

Het verschilprofiel (Figuur 6) laat echter twee zaken zien. Ten eerste wordt het verschil langzaam groter, gerekend vanaf de zeezijde (1000 m). Aangezien de diepte hier afneemt, kan dit duiden op squat gerelateerde effecten. Deze trend wordt op ca. 250 meter van de kust onderbroken door een bijna sinusvormig verschil. Wanneer dit verschil gecorreleerd wordt aan de gevaren raai, blijkt dit samen te vallen met het, van twee zijden, invaren van de meetraai. Eerst is een, kort stuk, naar de kust toe gevaren. Vervolgens is het vaartuig gekeerd en is de raai verder gemeten. De sinusvormige afwijking is een indicatie voor aan de heave gerelateerde problemen, het is een aanduiding van een zogenaamd 'false' heave probleem.

5.1.3 Structurele LRK-WST diepteverschillen Texel

In de regio Texel is er gelood door de vaartuigen Breesem en Vierlingh. Het volledige beeld, dat aangetroffen is, is hieronder weergegeven.



Figuur 7: Overzicht van de lodingen van Texel en de LRK-WST verschilgrids (25x25 meter grid)

Op basis van een volledige analyse van alle meetdagen voor Texel blijken de in de voorgaande paragraaf genoemde problemen structureel op te treden in de dataset.

- Er zijn artefacten aangetroffen die duiden op false heave.
- De verschillen aan de landzijde wijken af van die aan de zeezijde, dit is een indicatie voor squat gerelateerde problemen.

Verder wordt ook geconstateerd dat er een langzaam oplopend verschil bestaat dwars op de raairichting. Mogelijke oorzaken hiervan zijn de waterstandscorrecties of het geoïdemodel.

Afgezien van deze fouten, die gebiedsgerelateerd zijn, kunnen verdere kwalitatieve analyses van de mogelijke foutenbronnen gemaakt worden. Deze staan gegroepeerd per foutenbron in het volgende hoofdstuk.

5.2 De kwantitatieve analyse van LRK-WST diepteverschillen

5.2.1 Introductie

In de kwantitatieve analyse wordt een statistische analyse gegeven van de LRK-WST diepteverschillen met de intentie algemene rekenregels te ontwikkelen voor het corrigeren van de WST-dieptemetingen. De kwantitatieve analyse wordt toegepast op de LRK en WST datasets van Vlieland, Terschelling, Ameland, Texel en Noord-Holland, omdat bij deze gecombineerde LRK- en WST-datasets het mogelijk is een onderscheid te maken tussen raaien die gevaren zijn met verschillende vaartuigen en op verschillende dagen.

In de statistische beschrijving van de LRK-WST diepteverschillen worden de kengetallen (gemiddelden en standaardafwijking) voor het beschrijven van de LRK-WST diepteverschillen berekend bij verschillende selecties van data. Door de statistische kengetallen van verschillende selecties met elkaar te vergelijken, kunnen de eerste relaties met mogelijke foutenbronnen van hoofdstuk 3 gekwantificeerd worden. De selecties zijn gemaakt per Jarkusgebied, per vaartuig, per dag, per land- en/of zeewaarts gevaren raaien. De statistische beschrijving is een belangrijke tussenstap voor de ontwikkeling van een algemeen verklaringsmodel.

Op de LRK-WST diepteverschillen worden ook selecties toegepast, om de foutenbronnen die afhankelijk zijn van deze selecties, te onderscheiden. De mogelijke foutenbronnen die op basis van praktijkervaring, literatuuronderzoek [9] en [10] en de hydrografische analyse van hoofdstuk 3 naar voren komen, zijn:

- Gebiedsgerelateerde fouten vanwege verschillende meetdiensten, verschillende vaartuigen en verschillen in de verwerking van de dieptegegevens, zoals de waterstandscorrecties.
- Vaartuigerelateerde fouten, zoals de squat en verschillen in de meetsystemen en meetapparatuur.
- De waterstandscorrectiefout (om de WST-dieptemetingen om te rekenen naar dieptemetingen t.o.v. NAP), die afhangt van de tijd en de positie van de raai ten opzichte van de peilschalen.
- De land- en zeewaarts afhankelijke fout is de squat en de vaarmethodiek.

De analyseresultaten van Texel zijn in dit hoofdstuk gegeven, de resultaten van de overige jarkusgebieden zijn in de bijlage gegeven.

5.2.2 Kwalitatieve Analyse Texel

In de onderstaande tabellen zijn voor Texel voor de Breesem en de Vierlingh de gemiddelde verschillen (m) en de bijbehorende standaardafwijkingen (σ) gegeven van de LRK-WST diepteverschillen (secondewaarden). Daarbij wordt ook het onderscheid tussen de meetdagen en of de raaien land- of zeewaarts zijn gevaren gemaakt. Een negatief verschil betekent dat het LRK-systeem dieper meet dan het WST-systeem. In de (digitale) bijlage zijn de histogrammen gegeven van de LRK-WST diepteverschillen met daarin de normale verdelingsfunctie voor elke gecombineerde cel (met m en σ) in de tabel.

Breesem

Vaartuig	Datum	Tijdsduur		Raaien aantal	Land- en zeewaarts		Landwaarts		Zeewaarts	
		van	tot		m	σ	m	σ	m	σ
Breesem	16-05-2002	9:16:13	15:39:02	42	-0,092	0,08	-0,09	0,08	-0,097	0,079
Breesem	07-08-2002	10:41:50	11:59:37	13	-0,05	0,055	-0,045	0,044	-0,054	0,061
Breesem	23-08-2002	5:45:55	9:01:32	22	-0,126	0,071	-0,129	0,073	-0,108	0,052
Breesem	02-09-2002	12:05:45	15:20:03	22	-0,104	0,066	-0,103	0,061	-0,106	0,081
Breesem	04-09-2002	4:23:13	8:46:34	34	-0,141	0,11	-0,114	0,117	-0,186	0,078
Breesem	Alle			133	-0,107	0,086	-0,104	0,086	-0,115	0,087

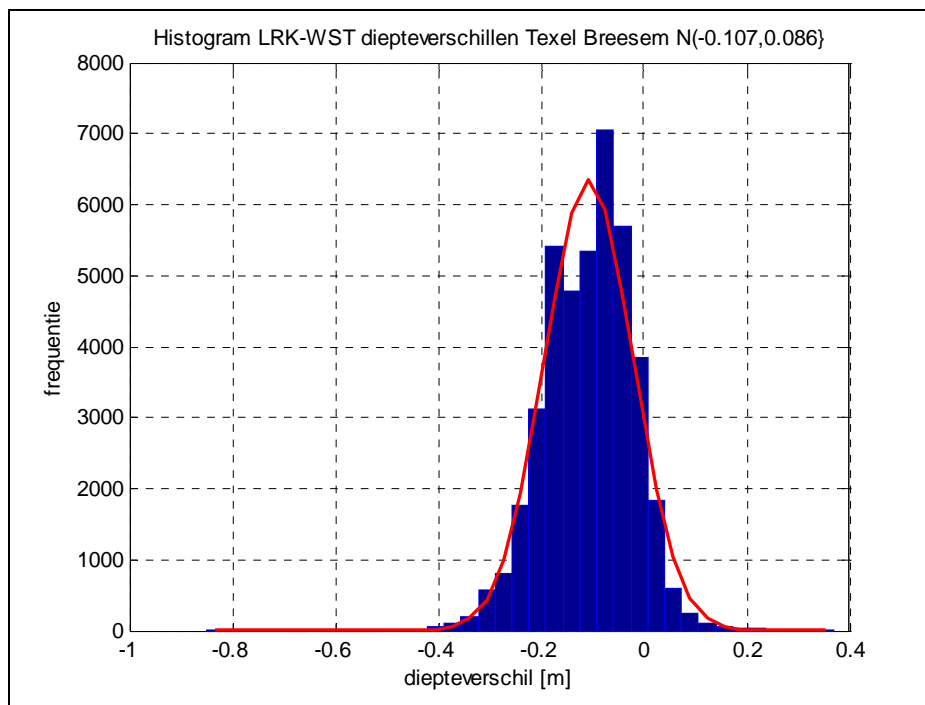
Tabel 3: Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Breesem

Uit de datasets van de LRK-WST diepteverschillen zijn er twee uitbijters gevonden en verwijderd (het verschil is groter dan 2,0 m.):

- Een diepteverschil op 16-5-2002 14:24:09 van -15,38 m.
- Een diepteverschil op 4-9-2002 8:46:28 van -2,05 m.

Uit de tabel blijkt dat het gemiddelde LRK-WST diepteverschil voor de verschillende dagen varieert van -0,05 tot -0,14 m en dat de standaardafwijking varieert van 0,05 tot 0,11 m. De gemiddelde LRK-WST diepteverschillen van de zeewaarts en landwaarts gevaren raaien zijn respectievelijk -0,104 en -0,115 m.

In de onderstaande figuur is de histogram gegeven van de LRK-WST diepteverschillen van de alle dagen (de laatste rij in bovenstaande tabel).



Figuur 8: Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 16 mei, 7, 23 augustus, 2 en 4 september van de Breesem

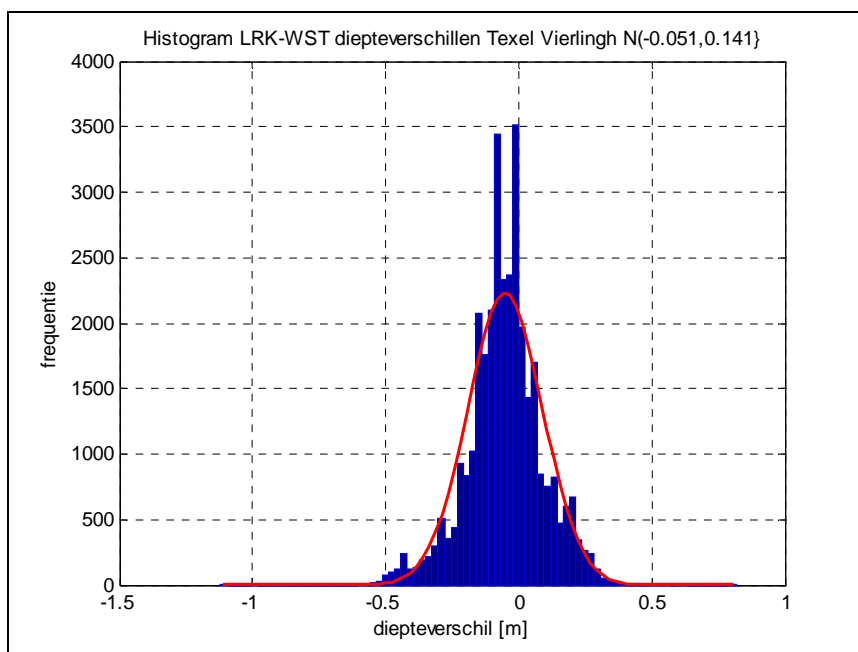
Doordat het gemiddelde LRK-WST diepteverschil varieert voor de verschillende meetdagen, heeft de top van de histogram een breedte van -0,20 tot 0 m.

Vierlingh

Vaartuig	Datum	Tijdsduur		Raaien	Land- en zeewaarts		Landwaarts		Zeewaarts	
		van	tot		aantal	M	σ	M	σ	m
Vierlingh	03-06-2002	8:14:38	14:11:15	53	0,032	0,115	0,045	0,118	-0,028	0,078
Vierlingh	06-06-2002	8:02:02	11:34:17	34	-0,044	0,097	-0,038	0,101	-0,051	0,093
Vierlingh	30-07-2002	5:32:48	12:25:35	77	-0,143	0,133	-0,129	0,131	-0,166	0,133
Vierlingh	Alle			164	-0,051	0,141	-0,03	0,143	-0,096	0,126

Tabel 4 : Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Vierlingh

Het gemiddelde LRK-WST diepteverschil van de raaien is +0,03, -0,044 en -0,143 m voor resp. 3, 6 juni en 30 juli. Wat opvalt is het positieve gemiddelde LRK-WST diepteverschil van 3 juni van +0,032 m bij land- en zeewaarts en +0,045 m. bij landwaarts gevaren raaien. Het absolute LRK-WST diepteverschil is zeewaarts groter dan landwaarts en verschilt gemiddeld 0,066 m. De standaardafwijkingen van de LRK-WST diepteverschillen variëren tussen 0,078 en 0,133 m. In de onderstaande figuur zijn de LRK-WST diepteverschillen (secondewaarden) van 'alle' meetdagen (3,6 juni en 30 juli) gegeven.



Figuur 9: Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 3, 6 juni en 30 juli 2002 van de Vierlingh

Hoewel de gemiddelde LRK-WST diepteverschillen per dag 0,07, 0,10 of 0,17 m. met elkaar kunnen verschillen, geeft de rode curve van de normale verdelingsfunctie een redelijk goede beschrijving van de diepteverschillen van alle dagen. De spreiding σ van de verdelingsfunctie is bij de Vierlingh (0,141 m) duidelijk groter dan bij de Breesem (0,086 m). In (digitale) bijlage zijn de histogrammen gegeven van alle afzonderlijke meetdagen.

5.2.3 Conclusie

De daggemiddelden met de standaardafwijkingen van de LRK-WST diepteverschillen van Texel van de Breesem en de Vierlingh zijn relatief vergelijkbaar. De daggemiddelde variëren van -0,05 tot -0,14 m voor de Breesem en +0,03, -0,04 en -0,14 voor de Vierlingh.

In de bijlage zijn de resultaten gegeven voor de ander regio's. Echter in de onderstaande tabel zijn het totaal aantal raaien per meetvaartuig gegeven, met de gemiddelde LRK-WST diepteverschillen, die we hebben geconstateerd.

Regio	Vaartuig	raaien		
		aantal	land- en zeewaarts m	σ
Texel	Breesem	133	-0,107	0,086
	Vierlingh	164	-0,051	0,141
Vlieland	Blauwe Slenk	136	-0,089	0,173
	Riepel	78	-0,020	0,090
Terschelling	Blauwe Slenk	106	-0,116	0,075
	Capella	65	-0,154	0,086
	Siege	98	-0,156	0,123
Ameland	Amasus	117	-0,170	0,121
	Capella	98	-0,027	0,119
	Siege	307	-0,129	0,125
	Gemma	38	-0,056	0,099
Noord-Holland	Vierlingh-k	21	-0,172	0,197
	Vierlingh-m	43	-0,285	0,314
	Breesem-k	276	-0,273	0,330
	Breesem-m	2	-0,064	0,225
Alle regio's		1682	-0,136	0,181
Alle regio's zonder NH		1340	-0,103	0,121

Tabel 5 : Gemiddelde en standaardafwijking van de LRK-WST diepteverschillen (m) voor 2002

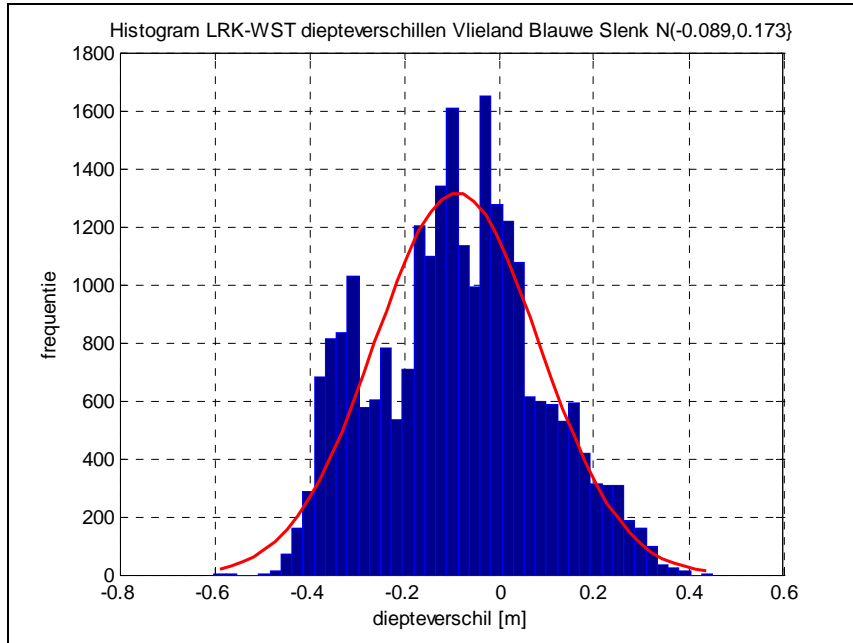
Gezien de verschillen bij de data van Noord-Holland is ook de het gemiddelde zonder deze data weergegeven. Deze data geven alleen een indruk van de verschillen, maar er kunnen verder geen directe conclusies aan worden verbonden.

	kleinste verschil	Grootste verschil
Texel	0,03	-0,14
Vlieland	0,01	-0,25
Terschelling	0,02	-0,24
Ameland	-0,02	-0,19

Tabel 6 : Minimale en maximale daggemiddelde LRK-WST diepteverschillen (m)

Bovenstaand zijn de minimale en maximale verschillen voor de Waddeneilanden gegeven. Zoals hieruit blijkt, gaat het voor het onderzoeksjaar 2002 om een gemiddeld verschil van 10.0 cm met een standaard deviatie van 12.0 cm. Waardoor de verschillen worden veroorzaakt zal in de volgende hoofdstukken worden onderzocht.

Overigens maakt de onderstaande figuur duidelijk, dat een histogram een samenstelling kan zijn van verschillende verdelingen. In de onderstaande figuur zijn de LRK-WST diepteverschillen van 'alle' meetdagen (van 29, 30 en 31 juli 2002) van de Blauwe Slenk op Vlieland gegeven. Dit histogram van de Blauwe Slenk geeft duidelijk aan dat verschillende dagen verschillende verdelingen (gemiddelde met standaardafwijking) van de LRK-WST diepteverschillen kunnen hebben.



Figuur 10: Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 29, 30 en 31 juli van de Blauwe Slenk

Het histogram heeft 3 of 4 pieken. De rode curve van de normale verdelingsfunctie geeft nu een matige beschrijving van de LRK-WST diepteverschillen van alle dagen.

De vraag waarom daggemiddelde LRK-WST diepteverschillen zo van elkaar kunnen verschillen wordt in hoofdstuk 6 beantwoord.

6 Detailanalyse per Foutenbron

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de foutenbronnen worden besproken zoals ze in het veld zijn aangetroffen. De data, die zijn gebruikt, zijn opgenomen met de vaartuigen, zoals beschreven in onderstaande tabel.

Vaartuig	Gebied	Lengte (m) *	Breedte (m) *	Diepgang echolood **	Diepgang instelling	Standopnemer	Gyro	Squatmodel	Aantal GPS antennes	Geluidssnelheid
Kaloo	Zeeland	14.9	3.8	0.91	Constant	Ja	Ja	Nee	1	Software
Houtvliet	Zeeland	14.6	4.2	1.43	Constant	Ja	Ja	Nee	1	Software
Scaldis	Zeeland	5.5	1.6	0.95	Constant	Ja	Ja	Nee	1	Software
Onrust	Zeeland	7.0	2.0	0.40	Constant	Nee	Ja	Nee	1	Software
Breesem	Kust Noord-Holland en Texel	20.0	5.2	0.67	Variabel	Ja	Ja	Nee	1	Software
Vierlingh	Kust Noord-Holland en Texel	20.0	5.1	0.46	Variabel	Ja	Ja	Nee	1	Software
Blauwe Slenk	Vlieland en Terschelling	23.8	5.4	0.94	Constant	Ja	Ja	Nee	2	Software
Riepel	Vlieland en Terschelling	14.2	4.0	0.93	Constant	Nee	Ja	Nee	2	Software
Capella QINSy	Ameland en Terschelling	14.2	4.0	0.96	Constant	Nee	Nee	Nee	2	Software
Capella Internet	Ameland en Terschelling	23.3	5.2							
Siege	Ameland en Terschelling	14.2	4.0	0.95	Constant	Nee	Nee	Nee	2	Software
Amasus	Ameland	14.2	4.0	0.97	Constant	Nee	Nee	Nee	2	Software
Gemma	Ameland	14.2	4.0	0.31	Constant	Nee	Ja	Nee	2	Software

* Afmetingen zoals aangetroffen in de software instellingen

** Diepgang van de echolood transducer zoals aangetroffen in de software instellingen

Tabel 7: Vaartuigen gebruikt bij data opnames, met afmetingen en aanwezige instrumenten

In Tabel 7: Vaartuigen gebruikt bij data opnames, met afmetingen en aanwezige instrumenten is een overzicht gegeven van de vaartuigen met de gebruikte instellingen van de verschillende meetdiensten. De scheepsafmetingen van de Capella, die op Internet zijn gevonden, wijken overigens af van de instellingen in de software.

Verder is van de datasets van Rijnland en Delfland niet duidelijk van welk meetvaartuig de opgenomen datasets afkomstig zijn.

Overigens dient te worden opgemerkt dat op de Capella, Riepel, Blauwe Slenk, Siege, Amasus en Gemma overeenkomstige instellingen staan in de opnamesoftware QINSy voor de scheepsafmetingen, terwijl het hier om verschillende schepen gaat. Vermoedelijk zijn de scheepsafmetingen ergens eenmaal ingegeven en vervolgens gekopieerd naar andere bestanden. Dit heeft geen gevolgen voor de dieptemetingen, met deze waarden wordt tijdens de opname niet gerekend, het zijn slechts administratieve waarden. QINSy kent namelijk een afzonderlijke bootgeometrie welke wél goed is ingevuld.

De data-analyse per foutenbron wordt als volgt beschreven:

- Grootte van de fout
- Hoe kan de fout gecontroleerd worden
- De aangetroffen fouten in de dataset
- Karakteristieke voorbeelden uit de dataset

Grootte van de fout

In de navolgende paragrafen wordt per foutenbron aangegeven wat de kwantitatieve waarden van de verschillende fouten van de ingezette apparatuur voor de hydrografische metingen zijn, zoals deze in de literatuur en op basis van ervaringen in het veld zijn vastgesteld. Bij het opstellen van de diverse formules is steeds uitgegaan van metingen, waarbij haaks op het talud wordt gevaren. In dat geval zal de dwarscheepse bodemhelling niet of nauwelijks veranderen. In de praktijk zal dit niet altijd het geval zijn, maar deze benadering zal slechts kleine afwijkingen vertonen ten opzichte van de werkelijkheid.

De beschreven fouten gaan allen uit van een, volgens een goede meetpraktijk, ingemeten vaartuig, waarbij echte 'blunders' in de metingen door foutieve invoer hersteld zijn. Deze over het algemeen menselijke fouten hebben in de regel een omvang, die ettelijke malen groter kan zijn (bijvoorbeeld door het misplaatzen van een komma) dan de hieronder beschreven fouten.

Een bijzonder type fout zijn tekenconventies. Zeker bij het gebruik van een standopnemer zijn deze relevant. In dit rapport wordt de conventie aangehouden dat de diepte Z een positieve waarde is. Dat betekent dat een positieve ΔZ resulteert in een ondieper profiel. Een positie afwijking in dX, Y betekent een positieverschuiving in de vaarrichting.

Controle van Fouten en aangetroffen Fouten

Voor elk meetsysteem zijn er controle mogelijkheden voor potentiële fouten, in het veld of bij de resulterende datasets. Indien een kwaliteitszorgsysteem wordt gebruikt tijdens het opnemen van de data, zouden een groot aantal van de geobserveerde fouten niet worden gemaakt.

Omdat achterliggende informatie (metadata) rond de lodingen uit dit onderzoek veelal niet bekend is, is gebleken dat een aantal fouten niet of nauwelijks meer op te sporen zijn.

Per potentiële foutenbron zal worden aangegeven of deze fouten in de dataset te constateren zouden zijn geweest op basis van de gebruikte informatie, of deze al dan niet is aangetroffen en in welke mate. Daarnaast is gekeken naar het voorkomen van deze fouten in de aangeleverde datasets.

Karakteristieke Voorbeelden

Tot slot zijn van die fouten, welke specifiek zijn voorgekomen in de gebruikte dataset karakteristieke voorbeelden gegeven. In de bijlagen zullen de diverse fouten verder op gebiedsniveau worden uitgewerkt.

6.2 Plaatsbepaling

6.2.1 Vertraging

Grootte van de fout

In formule wordt de vertraging als volgt beschreven:

$$\Delta Z = -\Delta t \cdot SOG \cdot \tan \alpha$$

met:	ΔZ	= Dieptefout (m)
	Δt	= Vertraging fout (s)
	SOG	= Snelheid van het vaartuig over de grond (m/s)
	α	= Hellingshoek tussen bodem en talud (0° = vlakke bodem; + = schip vaart tegen helling op)

Uitgaande van een gemiddelde meetsnelheid van 2 m/s, zal het diepteverschil bij een hellingshoek van de bodem [25° / ~gradiënt 1:2] en een vertraging van 0.5 s, 0.47m bedragen. Uitgegaan kan worden van een gemiddelde fout op een talud van 0 tot 0.5 m.

Controle van Fouten

- Er zijn methoden om de vertraging te corrigeren, dit gebeurt dan met een zogenaamde PPS puls. Bij correctie blijft een restfout over die in de regel kleiner is dan 0.05 seconde. Er dient gecontroleerd te worden of er een PPS puls is gebruikt
- Bij toepassing van een PPS puls kan er een restfout van 0.5 seconden overblijven door een foutieve PPS puls keuze (zogenaamde omhoog gaande flank / neergaande flank)
- Het is mogelijk de vertraging van een systeem te controleren en (bij sommige software) in te voeren als tijdvertraging in de plaatsbepaling. Er dient dus gecontroleerd te worden of deze controle is uitgevoerd en / of de waarden juist zijn verwerkt in de software

Aangetroffen Fouten

Bij alle, gecontroleerde, data bestanden is gebruik gemaakt van een PPS correctie. Het is niet mogelijk de juiste werking hiervan te controleren. Er zijn geen verdere aanwijzingen gevonden dat deze fout zich systematisch heeft voorgedaan.

Alle lodingen die in het kader van dit onderzoek zijn onderzocht zijn opgenomen met een enkele antenne en meerdere dGPS systemen. Bij de metingen van Noord-Holland is echter de LRK plaatsbepaling gebruikt voor het produceren van waterstand gerelateerde informatie. Het aantonen van vertraging in deze dataset is daarmee per definitie onmogelijk als gevolg van dezelfde ontvanger en instellingen voor zowel de waterstandgecorrigeerde metingen als de LRK metingen.

6.2.2 Hoogte referentiestation

Grootte van de fout

In formule wordt de fout door verkeerde hoogte van het referentiestation als volgt beschreven:

$$\Delta Z = \pm \Delta H_{ref}$$

met:	ΔZ	= Dieptefout (m)
	ΔH_{ref}	= Hoogtefout referentiestation

Uit onderzoek [4] en ervaring van de opstellers van dit rapport is gebleken dat deze fout kan variëren tussen 0 m tot 1 m. Bij een juist opgesteld station is de fout in de orde van **0.0 tot ± 0.1 meter**.

Controle van Fouten

- Door het uitvoeren van positiechecks. Zeer kleine fouten (< 0.02 m) blijven onopgemerkt.
- Door de vergelijking van de hoogte uit het plaatsbepalingsysteem met een waterstandmeting. Kleine fouten (< 0.05 m) blijven onopgemerkt
- Door controle van de gegevens van een monitorstation. Tegenwoordig staan de meeste Rijkswaterstaat referentiestations op vaste punten die vooraf op hun kwaliteit zijn beoordeeld en

constant worden bewaakt (AGRS). Zeer kleine fouten (orde enkele mm) zijn te detecteren indien op een lange termijn een (statistische) vergelijking wordt uitgevoerd.

- Door het vergelijken van gelijke raaien die met een verschillend referentiestation zijn gemeten.
- Door het analyseren van de fout bij verschillende meetvaartuigen die gelijktijdig hetzelfde referentiestation gebruiken

Aangetroffen Fouten

De voorkoming van deze fout vraagt om controles, welke in het veld uitgevoerd en gedocumenteerd moeten worden. In hoeverre deze controles zijn uitgevoerd is niet bekend op basis van de aangeleverde gegevens.

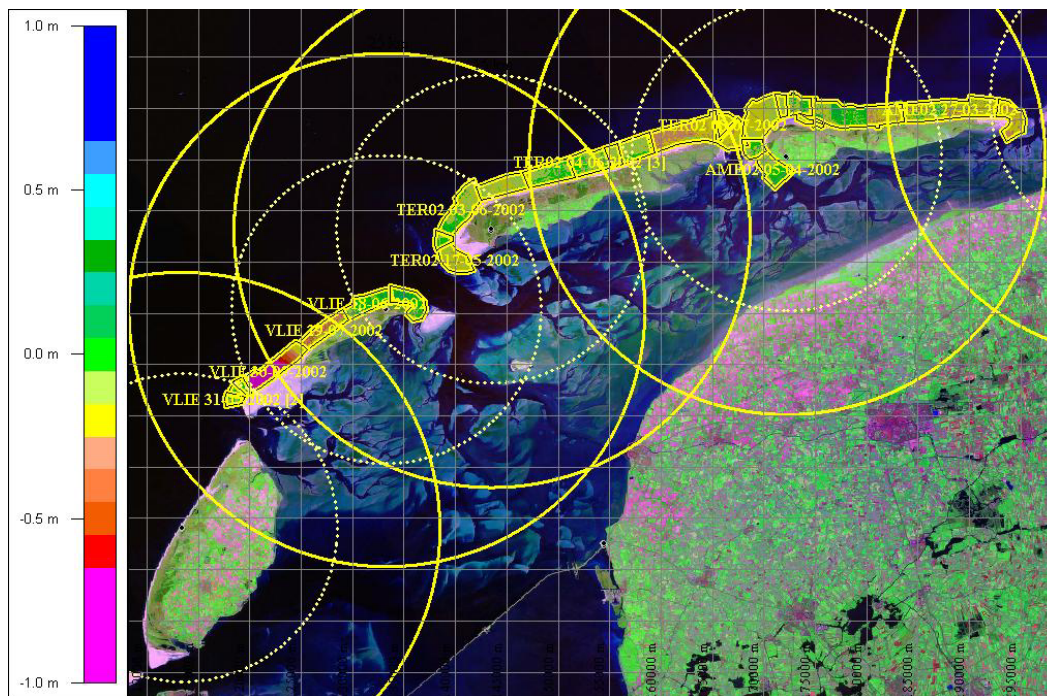
Het is niet bekend of de gebruikte stations ten tijde van de metingen gecertificeerd waren en of hiervan resultaten beschikbaar zijn. Er is geen relatie aangetroffen tussen de opstelling van de referentiestations en de verschillen tussen LRK en WST. Dit is een indicatie dat de opstelling van de referentiestations geen significante foutenbron is in relatie tot de overige foutenbronnen. Tot slot moet opgemerkt worden dat er in het kader van dit onderzoek geen 'ground truthing' van de data heeft plaatsgevonden. Met andere woorden er is geen onderzoek verricht naar de absolute juistheid van ofwel de LRK ofwel de WST data, zodat het mogelijk (maar niet aannemelijk) is dat de gebruikte stations afwijkingen vertonen die nagenoeg gelijk zijn.

De meetvaartuigen Kaloo, Houtvliet, Scaldis en Onrust (van Zeeland) maken, gezien de gelijke antenne coördinaten in QINSy, zowel voor dGPS als voor het LRK plaatsbepalingsstelsel gebruik van dezelfde antenne, maar beschikken wel over een afzonderlijk dGPS en LRK ontvanger. Vermoedelijk wordt het signaal van de enkele antenne hier gesplitst naar twee ontvangers. De Breesem en Vierlingh van Noord-Holland zijn met een enkele GPS antenne en een enkele ontvanger uitgerust. De waterstand gecorrigeerde datasets lijken echter aangemaakt te zijn door de hoogtemeting van het LRK stelsel op 'onnauwkeurig' in te stellen. Doordat gebruik gemaakt wordt voor beiden datasets van dezelfde antenne zijn er geen positieverschillen tussen LRK en waterstandgecorrigeerde dieptemetingen

De vaartuigen Blauwe Slenk, Gemma, Amasus, Riepel, Capella en Siege van Noord-Nederland hebben een apart stelsel voor LRK en dGPS met voor ieder stelsel een eigen antenne. De positiebepaling is daarmee verschillend en de gemeten raaien zullen niet op elkaar vallen.

Karakteristieke Voorbeelden

Onderstaande figuur laat de lodingen in Noord-Nederland zien (aangetroffen verschillen) in relatie tot de afstand tussen werkgebied en referentiestation.



Figuur 11: Dekking LRK keten Noord-Nederland (eilanden). De dichte cirkels geven een straal van 25 kilometer aan, de gestippelde 15 kilometer.

Er lijkt geen basis te zijn voor fouten in de lodingen, welke gerelateerd is aan de locatie van de LRK stations voor zover het fouten in complete lodingen betreft. Wel kunnen individuele meettraaien beïnvloed zijn door een (te) grote afstand tot het referentie station.

6.2.3 Precisie

Grootte van de fout

- *Grootte van de fout ten gevolge van de precisie in de Z-richting (verticale richting)*
 Voor dGPS metingen geldt dat hier geen nauwkeurige Z bepaling kan plaatsvinden, zodat deze fout hierbij niet aan de orde is.

Voor LRK metingen is de periodieke fout proefondervindelijk vastgesteld op het Ketelmeer. Onderstaande tabel laat de gemiddelde systematische fout zien van een groot aantal meetsessies. Hierin is dus de periodieke beweging verdisconteerd. Uit de 12 uren metingen blijkt verder dat de fout zich ook over een complete meetdag niet uitmiddelt. Bij langdurige metingen (> 48 uur) zal deze fout vermoedelijk naar nul naderen. Echter dit is in dit kader niet relevant gezien de duur van de lodingen (< 12 uur).

Opname interval	1 km	5 km	8 km
Puntruus	0.022	0.022	0.020
< 1 minuut	0.008	0.016	0.012
1 – 5 minuten	0.006	0.014	0.014
5 – 20 minuten	0.008	0.014	0.018
1 - 12 uur	n.b.	0.007	n.b.

Tabel 8: Systematische fout in de Z (2σ , m) LRK systeem Ketelmeer over verschillende basislijn lengten [8] en [9]

Het is niet mogelijk voor deze fout een generieke rekenregel te ontwikkelen, omdat de daadwerkelijke fout afhankelijk is van de locatie in de meetraai, de exacte afwijking, etc. Aangenomen kan worden dat de gemiddelde fout een orde grootte heeft van ± 0.01 m.

- *Grootte van de fout ten gevolge van de precisie in de X,Y-richting (horizontale richting)*
 Uitgaande van bovenstaande resultaten is het de verwachting dat fouten in de X,Y-richting bij LRK beperkt blijven tot enkele millimeters. Het effect op de diepte is daarmee nihil. Bij dGPS kan de fout echter wel relevant zijn. Indien we van bovenstaande getallen uitgaan en deze vertalen naar de dGPS situatie dan is een fout in de X,Y-richting van 1 – 2 meter niet ondenkbaar.

In formule:

$$\Delta Z = -\Delta X, Y_{gps} \cdot \tan \alpha$$

met: ΔZ = Dieptefout (m)
 $\Delta X, Y_{gps}$ = Plaatsbepalingsfout in langsscheepse richting (m)
 α = Hellingshoek tussen bodem en talud (0° = vlakke bodem; + = schip vaart tegen helling op)

Afhankelijk van het bodemprofiel [25° / ~1:2] vertaalt deze zich naar een Z fout van. **0 tot 1 m**, afhankelijk van de plaatsbepalingsfout.

Controle van Fouten

De precisie van de plaatsbepaling kan als volgt worden gecontroleerd:

- Data van een monitorstation voor controle daadwerkelijk voorkomen effect. Vaak kan de periodieke fout in de opgenomen data herkend worden.
- Fouten verschillen in naastliggende raaien
- Een raai die twee keer gevaren is, vertoont lokale afwijkingen

Aangetroffen Fouten

Er is geen volledige LRK dekking geweest tijdens specifieke opnames met de Kaloo, Houtvliet, Scaldis en Onrust. De dekking van de LRK keten in het gebied van Zeeland waar deze schepen opereren, is niet volledig. Sommige peilingen zijn buiten LRK bereik uitgevoerd. De peilingen die binnen LRK bereik zijn uitgevoerd, zijn soms slecht van kwaliteit. Dit is in veel voorkomende gevallen een gevolg van een te grote afstand, meer dan 30 kilometer, tot het referentiestation. Enkele lodingen zijn uitgevoerd met de LRK ingesteld op nauwkeurig, terwijl uit de data duidelijk is af te leiden dat deze buiten LRK bereik zijn uitgevoerd.

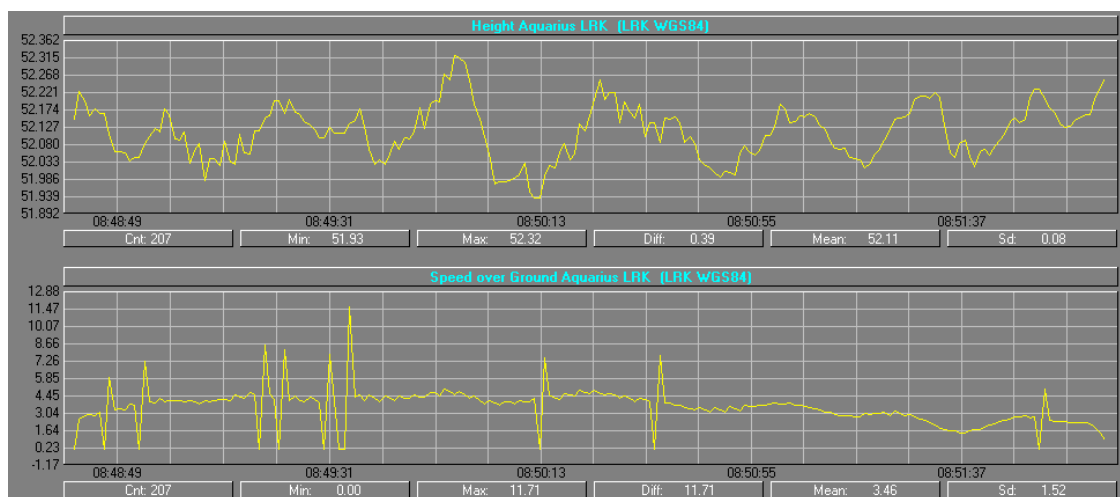
In een enkel geval is men voor de Noord-Hollandse kust met de Breesem en Vierlingh doorgestaan met loden na het wegvallen van het LRK signaal.

In zowel de datasets van Zeeland als van Noord-Holland zijn voorbeelden aangetroffen waarbij het LRK signaal een variabele kwaliteit had of zelfs tijdelijk wegviel. In een aantal gevallen heeft de loding in deze gevallen desondanks doorgang gevonden, met een negatieven invloed op de data als gevolg. Ter voorkoming van deze fouten dienen deze stukken opnieuw gevaren te worden nadat het LRK signaal stabiel dan wel hersteld is.

De Breesem is het enige vaartuig waar filters voor de positie zijn ingesteld. Dit verhoogt de kwaliteitsborging maar heeft verder geen effect op de peiling.

Karakteristieke Voorbeelden

Onderstaand zijn een aantal voorbeelden gegeven van de effecten van de onnauwkeurige plaatsbepaling op de data.

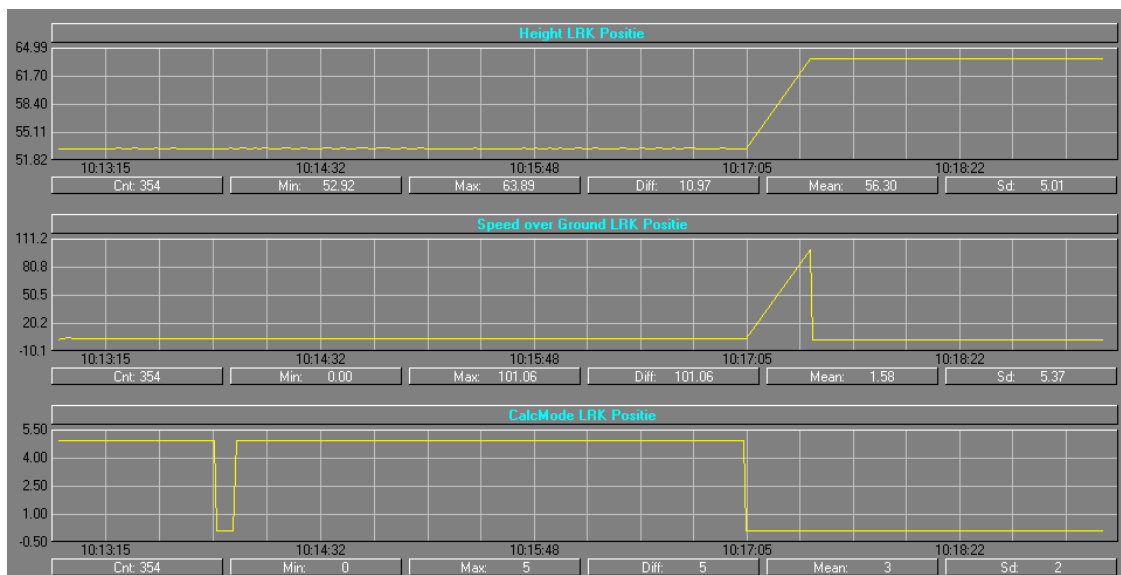


Figuur 12: lijn met positiefouten (Capella; Ameland; 29-03-2002)

In Figuur 12 is goed te zien dat de snelheid grote sprongen vertoont, waarbij steeds een negatieve sprong wordt gevolgd door een positieve snelheidssprong. Dit is het gevolg van een lage positie update vanuit de GPS. In deze gevallen vindt er niet iedere seconde een positie update plaats, maar slechts 1 x per twee seconden. Deze tragere update is in de regel het gevolg van een (te) grote afstand tot aan het referentiestation waardoor er ruis in het signaal ontstaat. Door deze ruis kan de boordontvanger het bericht niet gebruiken bij het bepalen van de positie en stuurt de ontvanger een oude positie uit. Doordat er geen positieverschillen zijn tussen de twee metingen, berekent de software een snelheid van 0 m/s. De volgende positie update komt een seconde later en in die tijd is een twee maal zo grote afstand afgelegd, waardoor de software een twee maal zo hoge snelheid berekent. In bovenstaande voorbeeld rond 08:49:40 is er een gat van 2 seconde tussen de updates, met als gevolg zelfs een 3 x zo hoge snelheid.

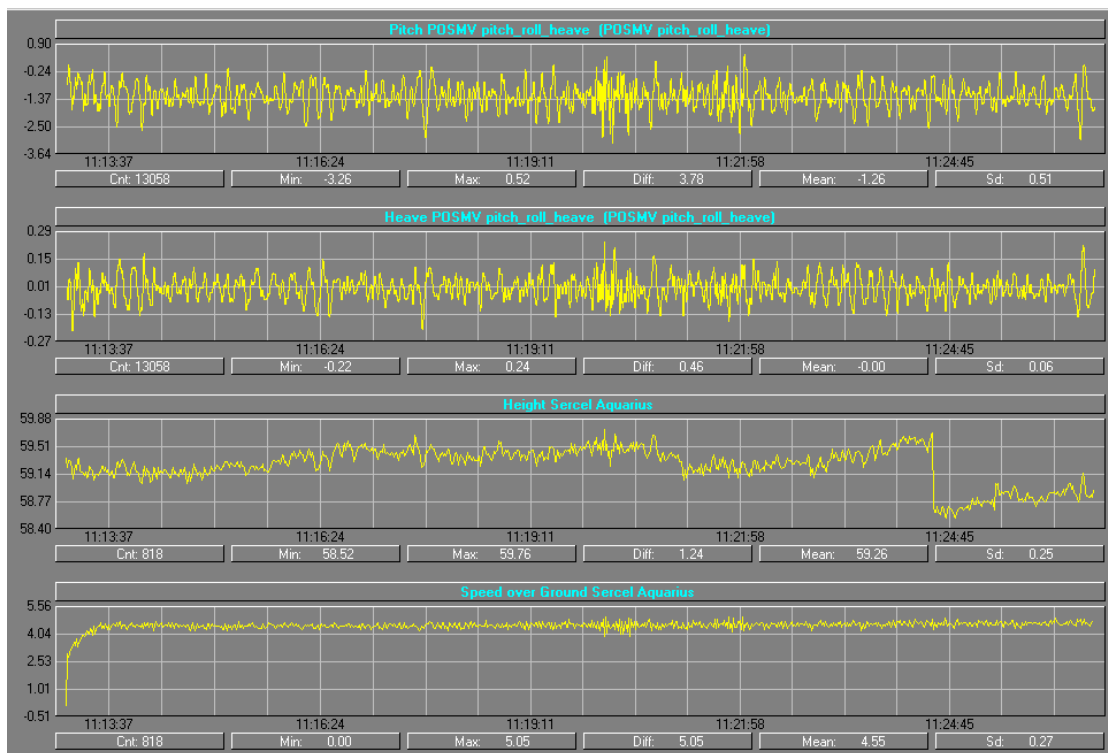
Verder valt bij deze lijn de relatief grote golfbeweging op (circa 0.1 – 0.4 meter). Deze is echter niet terug te vinden in het diepteprofiel. Dit is een extra aanwijzing dat er te ver van het referentiestation wordt gewerkt waardoor de plaatsbepaling onnauwkeurig wordt.

Figuur 13 laat goed het effect zien van het helemaal wegvallen van het LRK signaal. Ook goed zichtbaar is dat dit, voordat het signaal om 10:17 definitief wegvalt, al eerder is weggefallen (10:14). Normaliter zou een meting na het wegvallen van het signaal direct gestopt moeten worden; hier echter gaat de meting nog circa 2 minuten door.



Figuur 13: wegvallen LRK signaal (Breesem; Noord-Holland; 22-05-2006)

Figuur 14 laat zien dat de hoogte van de LRK onbetrouwbaar is geweest tijdens deze peiling. De hoogte springt in één keer een aantal decimeter. Dit correspondeert ook met de zogenaamde calculatie mode (niet zichtbaar) van de GPS, deze staat op dGPS (9). Verder is in deze figuur het gas geven bij aanvang van de meetraai goed zichtbaar, wat leidt tot een false heave.



Figuur 14: lijn met slechte LRK hoogte en false heave (Houtvliet; Vak 11; 14-08-2002)

6.3 Standopnemer

6.3.1 Roll en pitch meting

Grootte van de fout

- Grootte van de fout ten gevolge van Z-geometrie

In formulevorm bij **LRK metingen**:

$$\Delta Z = -\Delta H_{ant-ES} \cdot [\cos(p + \Delta p) - \cos p]$$

met:	ΔZ	= Dieptefout (m)
	ΔH_{ant-ES}	= Verticale afstand tussen GPS antenne en transducer(m)
	p	= Gemeten pitch hoek (0° = verticaal)
	Δp	= Oplijnfout standopnemer in pitch (0° = geen oplijnfout)

Afhankelijk van de oplijnfout [2°] en verticale afstand [10 m] vertaalt deze zich naar een Z fout van **0 tot -0.01 meter**

In formulevorm bij **waterstandmetingen**:

$$\Delta Z = -H_{ES} \cdot [\cos(p + \Delta p) - \cos p]$$

Met:	ΔZ	= Dieptefout (m)
	H_{ES}	= Diepgang transducer ten opzichte van waterspiegel(m)
	p	= Gemeten pitch hoek (0° = verticaal)
	Δp	= Oplijnfout standopnemer in pitch (0° = geen oplijnfout)

Gezien de kleine diepgang van de meeste vaartuigen zal deze oplijnfout circa **0 m** bedragen.

- Grootte van de fout ten gevolge van X, Y geometrie

In formulevorm bij **LRK metingen en Waterstandmetingen**:

$$\Delta Z = \{\Delta H_{ant-ES} \cdot [\sin(p + \Delta p) - \sin p]\} \tan \alpha$$

Met:	ΔZ	= Dieptefout (m)
	ΔH_{ant-ES}	= Verticale afstand tussen GPS antenne en transducer.(m)
	p	= Gemeten pitch hoek (0° = verticaal, + = boeg / stuurboord naar beneden)
	Δp	= Oplijnfout standopnemer in pitch (0° = geen oplijnfout)
	α	= Hellingshoek tussen bodem en talud (0° = vlakke bodem; + = schip vaart tegen helling op)

Afhankelijk van de oplijnfout [2°], de verticale afstand [10 m] en de bodemhelling [25° / ~1:2] vertaalt deze zich naar een Z fout van **0 tot 0.15 meter**.

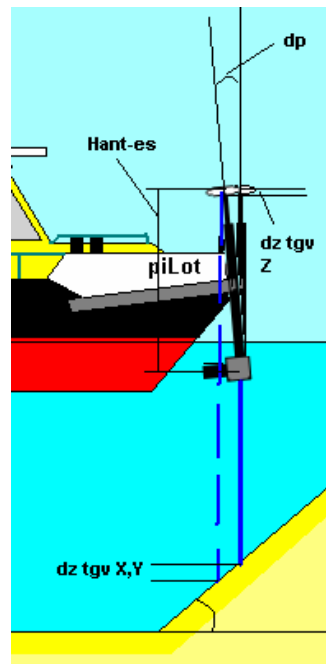
Controle van Fouten

- Door de aanwezigheid bij de data van kalibraties van de standopnemer te controleren

Aangetroffen Fouten

Alle vaartuigen van Noord-Holland en Zeeland zijn met een standopnemer uitgerust. Tevens zijn er kalibratiewaarden aangetroffen, er is echter geen verdere informatie over de precisie en uitvoering van de bijbehorende kalibraties.

Bij Noord-Nederland is slechts de Blauwe Slenk met een standopnemer uitgerust; de overige vaartuigen hebben geen standopnemer aan boord. Gezien de locatie van de overige systemen aan boord zal dit voor afwijkingen zorgen in de meetresultaten. Deze zullen het grootst zijn bij de

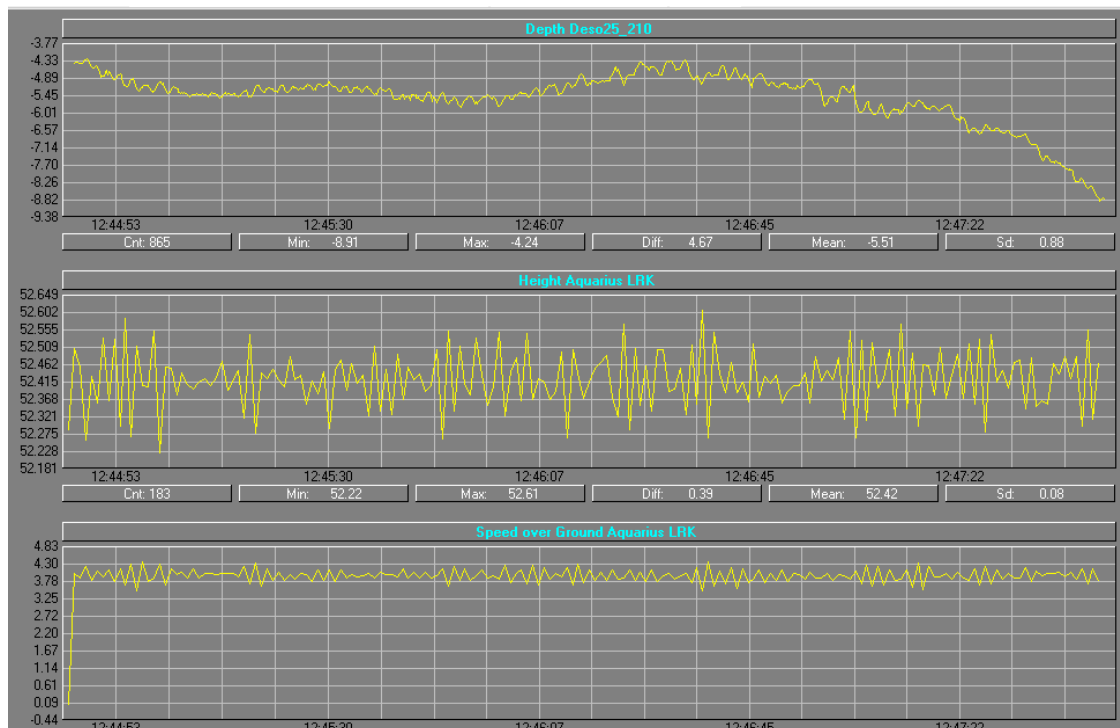


waterstandgecorrigeerde metingen en zich sterk voordoen in situaties met golfslag of daar waar het vaartuig sterk versnelt / vertraagt. Deze fouten zijn dan ook in de dataset aangetroffen. Het resultaat is een golvend bodem profiel met een relatieve korte periode. Bij het bepalen van de gemiddelde bodemligging in een meetraai of voor een volumeberekening zullen deze fouten uitmiddelen.

In een aantal gevallen is bij verschillende vaartuigen geconstateerd dat er abrupt versneld of vertraagd wordt tijdens de opname. Hierdoor ontstaan extra false heave effecten, die vooral de WST meting beïnvloeden.

Karakteristieke Voorbeelden

Onderstaand zijn een aantal voorbeelden gegeven van de fouten in de standopnemer.

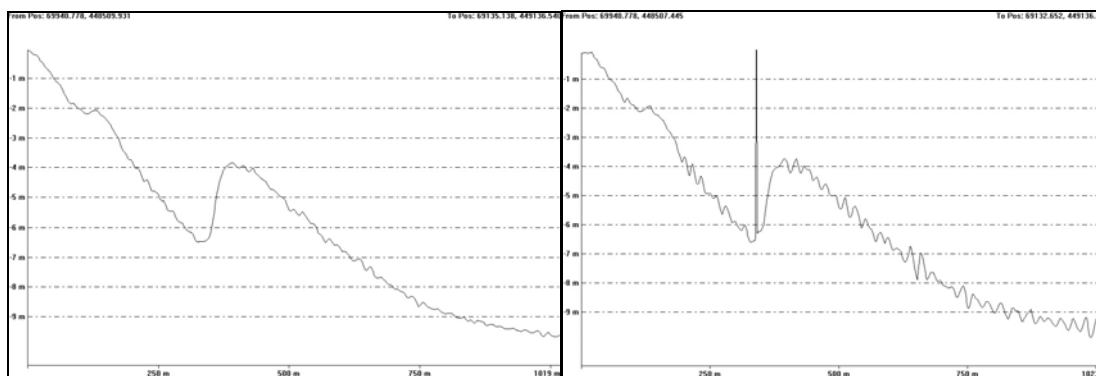


Figuur 15: lijn met golf effect (Riepel; Vlieland; 18-06-2002)

In figuur 29 is duidelijk te zien dat er veel golfslag heeft gestaan tijdens de meting. Zowel het echolood profiel als de LRK hoogte vertonen een sterk golf patroon. Ondanks dat er geen heave sensor aan boord is, kan duidelijk de beweging van de mast waargenomen worden (pitch). Dit is af te leiden uit de snelheid over de grond uit het LRK systeem. Ook deze vertoont een periodieke beweging (sneller / langzamer). Dit wordt veroorzaakt door het bewegen van de antenne in voorwaartse / achterwaartse richting waardoor deze een versnelling ondergaat met / tegen de vaarrichting mee / in. Bij waterstand gecorrigeerde metingen zonder heave sensor zal dit een golfpatroon in het bodemprofiel opleveren zoals ook werkelijk in de dataset is aangetroffen.

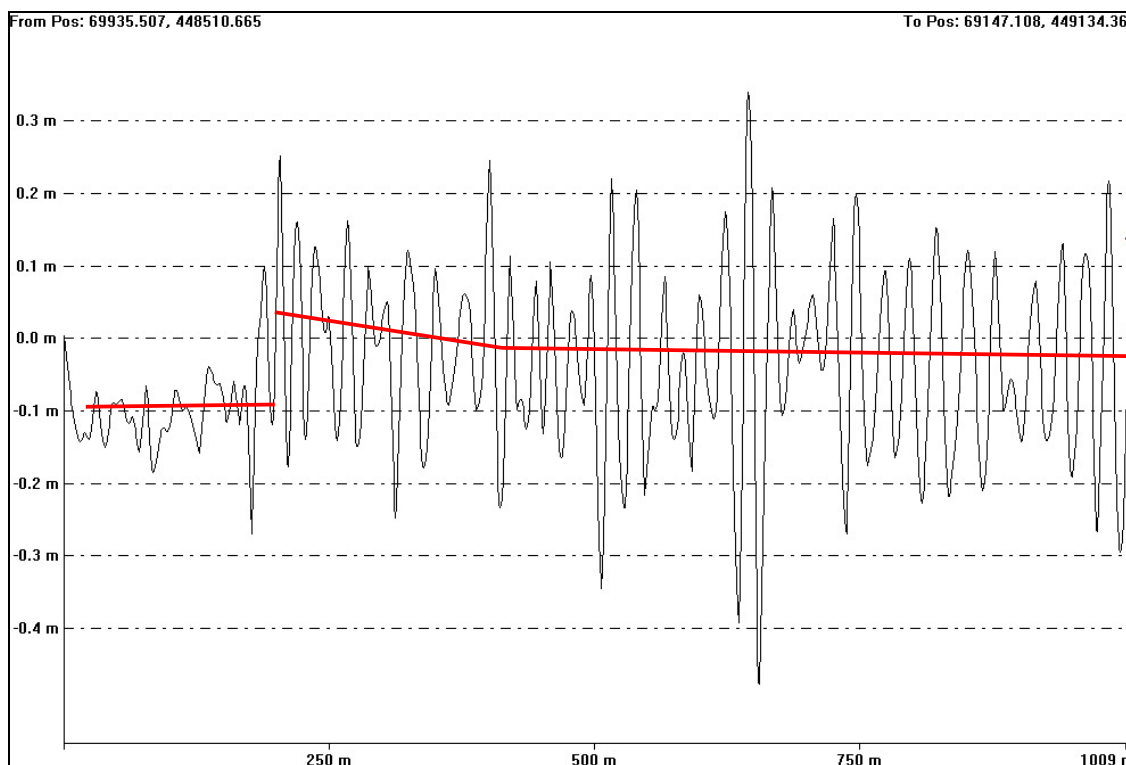
Dus ook de LRK kan hier problemen ondervinden, namelijk door het variëren van de hoogte van de antenne ten gevolge van de pitch beweging. Dit levert eveneens een golfpatroon op, maar nu in de LRK data.

Figuur 16 laat de effecten zien bij het ontbreken van de golfcorrectie. Voor LRK metingen zal de golfbeweging in de tijd worden gecompenseerd in de software ten opzichte van een vast gekozen referentievlak (bv NAP). Echter de waterstandgecorrigeerde dGPS metingen volgen de golven en hebben hiermee direct invloed op de gemeten dieptewaarden.



Figuur 16: Effect ontbreken golfcorrectie. Links LRK profiel, rechts is dGPS / Waterstand (Delfland)

Figuur 17 laat een verschilplot zien waaruit golfgerelateerde afwijking blijken. De gemiddelde afwijking is hierbij nagenoeg nul meter. Er is goed te zien dat deze lijn van twee zijden ingevaren is; de eerste 250 meter wijkt qua patroon sterk af van de rest van het profiel. Overigens is ook duidelijk de invloed van squat waarneembaar.



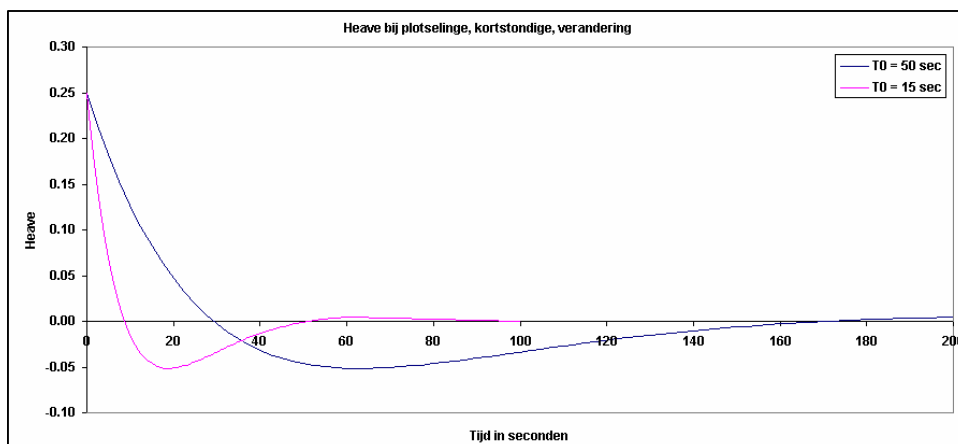
Figuur 17: Verschilplot uit het 5x5 meter grid LRK – WST (rode lijn is gemiddelde afwijking)

6.3.2 Heavemeting

Grootte van de fout

Deze is niet eenduidig in te schatten. Praktijkervaringen met een meetvaartuig op het Markermeer en het Ketelmeer hebben aangetoond dat de effecten aan het begin van de raai kunnen oplopen tot ± 0.20 meter bij waterstandmetingen en tot ± 0.05 m bij LRK metingen met heave correctie op de gemiddelde LRK hoogte.

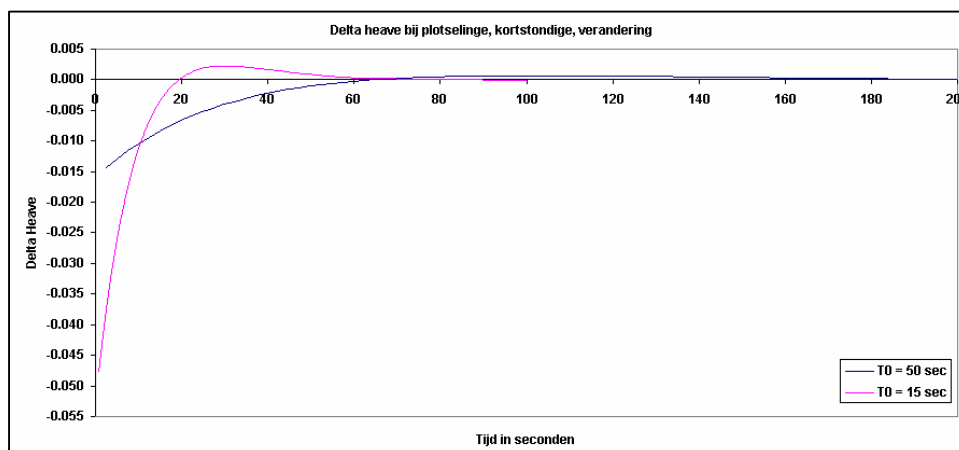
Onderstaand voorbeeld is afgeleid uit de, bij de Ixsea Octans, meegeleverde software voor het bepalen van de effecten van specifieke filterinstellingen. Hoewel specifiek voor deze sensor, worden met de sensoren, zoals gebruikt met de Jarkuslodingen vergelijkbare resultaten aangetroffen. In onderstaande grafiek wordt het effect bij plotselinge hoogteveranderingen en verschillende filterinstellingen van de sensor weergegeven. Hoewel het effect in eerste instantie lijkt op squat / inzinking is er een belangrijk verschil. Bij squatfouten is er een daadwerkelijke verplaatsing van het vaartuig, die niet geregistreerd wordt, terwijl bij false heave een verplaatsing geregistreerd wordt die niet heeft plaats gevonden.



Figuur 18: heave settling na plotselinge hoogteverandering (0.25 meter) bij verschillende filters.

Bij een lange filtertijd (50 seconden) duurt het tot 200 seconden voordat de heave tot rust is gekomen. Dit komt in de praktijk overeen met een afgelegde weg van circa 700 – 800 meter, de gemiddelde lengte van de Jarkus raai.

Het hierboven beschreven effect is vooral van invloed op waterstandgecorrigeerde metingen. Dit houdt verband met de verrekening van de heave ten opzichte van de gemeten diepte. Bij waterstandcorrecties wordt gebruik gemaakt van een directe correctie van de gemeten heave op de dieptemetingen. Bij gebruik van LRK dGPS wordt over het algemeen gebruik gemaakt van de zogenaamde delta-heave-methode. Hierbij wordt de relatieve heave-verandering tussen de LRK metingen gebruikt als aanvulling van de LRK metingen. Wordt de delta-heave-methode echter niet toegepast dan kunnen vergelijkbare fouten ontstaan als bij de WST metingen, die in ongunstige omstandigheden zelfs versterkt kunnen worden.



Figuur 19: delta heave bij plotselinge verandering (0.25 meter) bij verschillende filters

Bij singlebeam metingen op een talud waarbij abrupt werd afgestopt aan het einde van de meetraai zijn fouten aangetroffen tot ± 0.4 m.

Controle van Fouten

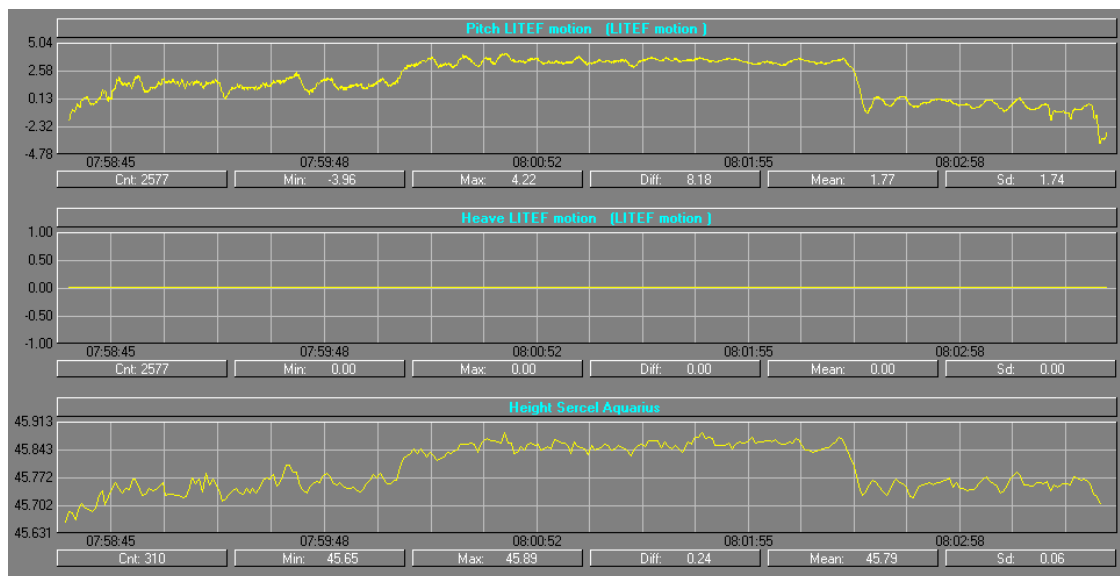
- Controle of de standopnemer werd voorzien van snelheid- en koersinformatie. Deze informatie is alleen beschikbaar uit kalibratie verslagen / interviews.
- Controleren of delta heave wordt toegepast bij LRK metingen
- Controleren op abrupte versnellingen in de loding. Dit geldt ook aan het einde van de meetraai.

Aangetroffen Fouten

De fout in de heavecomponent van de standopnemer is in alle datasets van alle meetdiensten aangetroffen, met uitzondering van de vaartuigen van Noord-Nederland, waarbij überhaupt geen standopnemer aan boord was tijdens de lodingen. Het effect van de fout varieert, maar gemiddeld kan uitgegaan worden van fouten tot circa 0.25 meter. Deze fouten zijn gerelateerd aan de vaarrichting en doen zich enkel in het begin en einde van de meetraai voor. Het effect is zichtbaar over zo'n 150 tot 250 meter gerekend vanaf het starten van de opname. Hieruit mag geconstateerd worden dat de filter instelling juist is en het hier gaat om effecten die inherent zijn aan de meetpraktijk. Ter voorkoming dient het vaartuig voorzichtig op snelheid gebracht te worden en aan het einde van de raai geleidelijk af te remmen. In de praktijk zal dit echter niet altijd mogelijk zijn.

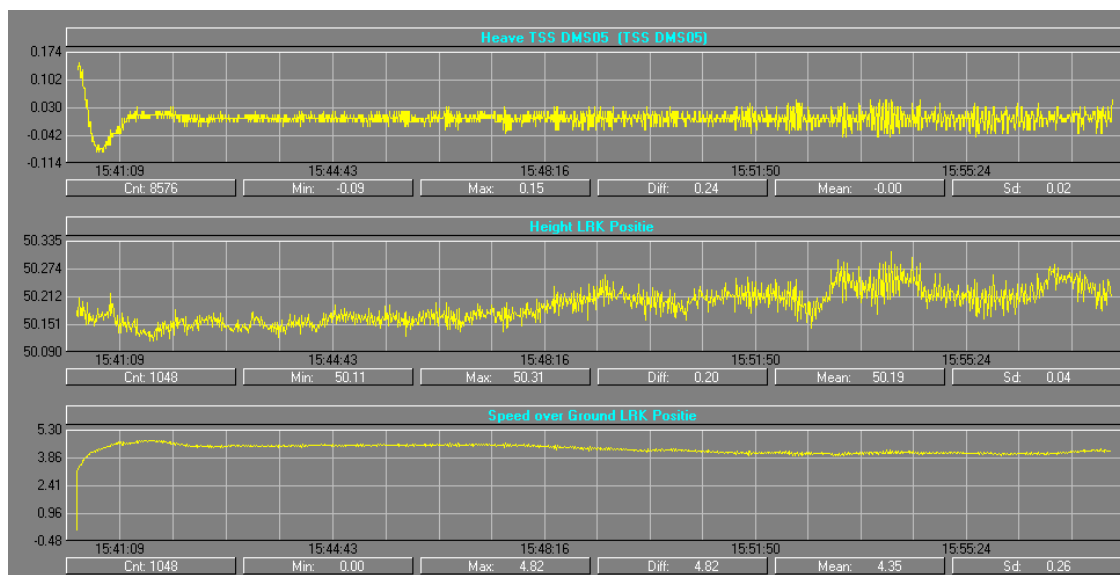
Karakteristieke Voorbeelden

Onderstaand zijn een aantal voorbeelden gegeven van de effecten door de heave component van de standopnemer.

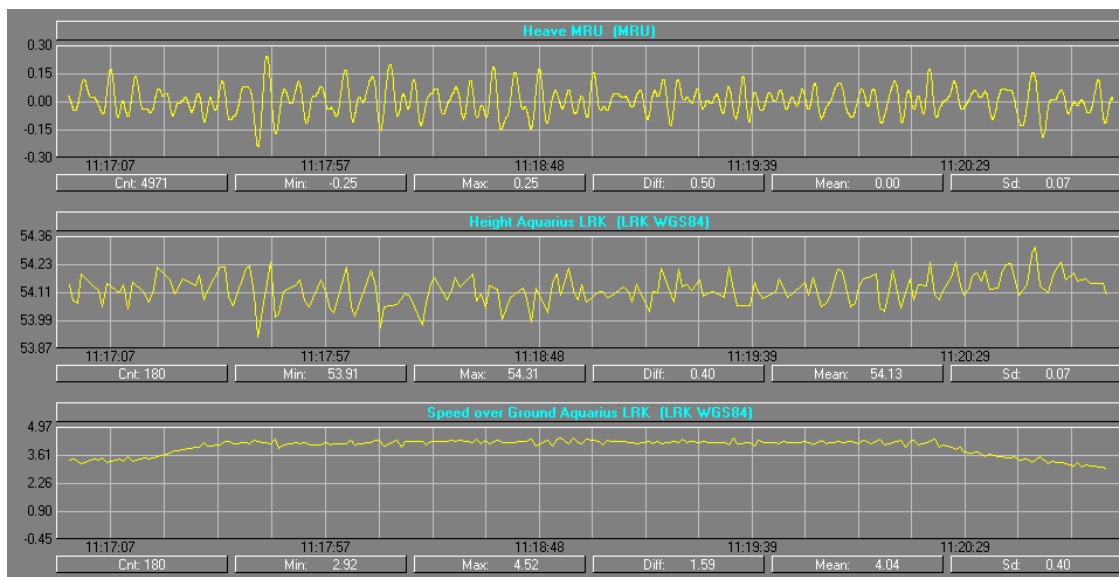


Figuur 20: lijn zonder heave meting (Onrust; Vak 1; 08-05-2002)

In Figuur 20 is goed te zien dat, hoewel zowel de pitch als de LRK hoogte variëren, er geen heave is waar te nemen. Dit kan twee redenen hebben, ofwel de aan boord van de Onrust gebruikte LITEF standopnemer meet deze niet, of er is een foutieve aansluiting gemaakt waardoor de heave component als nul waarden wordt geregistreerd. Verder is het squat effect van het vaartuig duidelijk zichtbaar in de figuur (vergelijk snelheid met hoogte LRK en pitch).

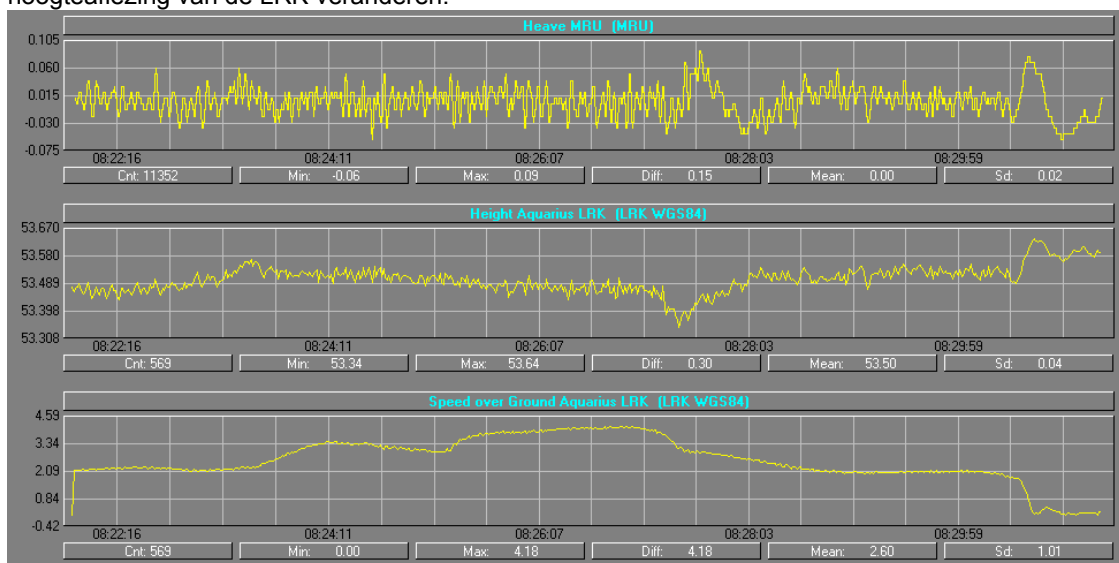


Figuur 21: lijn met false heave effect (Breesem; Texel; 16-05-2002)



Figuur 22: lijn zonder false heave effect (Blauwe Slenk; Vlieland; 30-07-2002)

Figuur 21 en 36 laten duidelijk de effecten zien van het versnellen van het vaartuig aan het begin van de raai. De heave van de Aquarius blijft nagenoeg constant, terwijl de heave een duidelijk golfpatroon vertoont. Verder is het afremmen (geleidelijk) van het vaartuig aan het einde van de meetraai goed te zien. De false heave fout in dit voorbeeld heeft een maximale amplitude van circa 0.2 meter. De tweede lijn laat ook duidelijk het squat effect zien, bij het afnemen van de snelheid zien we de hoogteaflezing van de LRK veranderen.



Figuur 23: lijn met abrupte snelheidsveranderingen (Blauwe Slenk; Terschelling; 17-05-2002)

Figuur 23 toont een lijn, die wordt gekarakteriseerd door een golfpatroon in de data met een korte periode en een relatief lage amplitude, voornamelijk als gevolg van abrupte snelheidsveranderingen. Er is in ieder geval met verschillende snelheden gevaren. Het gevolg hiervan is een plotselinge kanteling van het vaartuig in langsscheepse richting, hetgeen effect heeft op zowel de heave component als de hoogte. Goed te zien is dat de heave tijd nodig lijkt te hebben om te reageren. Dit kan duiden op een foutieve filter instelling. Wanneer nu de heave met de LRK hoogte geïntegreerd wordt ontstaan lokale fouten. Verder is in de LRK hoogte weer een squat effect zichtbaar, hoewel dit, gezien de snelheidsveranderingen lastig waar te nemen is.

6.4 Gyrokompas

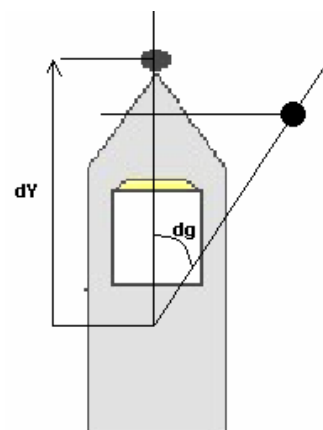
Grootte van de fout

In formulevorm:

$$\Delta Z = \Delta Y_{ant-ES} \cdot [1 - \sin \Delta g \cdot \tan \Delta g] \tan \alpha$$

Met:	ΔZ	= Dieptefout (m)
	ΔY_{ant-ES}	= langsscheepse afstand tussen GPS antenne en transducer.(m)
	Δg	= Oplijnfout gyrokompas (0° = geen oplijnfout)
	α	= Hellingshoek tussen bodem en talud (0° = vlakke bodem; + = schip vaart tegen helling op)

Afhankelijk van de oplijnfout [2°], de horizontale afstand [10 m] en de bodemhelling [25° / ~1:2] vertaalt deze zich naar een Z fout van **0 tot 0.01 meter**.



Controle van Fouten

- Aanwezigheid van kalibraties voor het gyrokompas
- Controle wanneer boeg en wanneer midden transducers zijn gebruikt

Aangetroffen Fouten

De meeste vaartuigen zijn met een (gyro) kompas uitgerust. In een enkel geval (Zeeland: Scaldis) wordt deze echter niet gebruikt bij het corrigeren van de lodingen. Verder zijn met uitzondering van de Vierlingh (Noord-Holland) in alle gevallen kalibratiewaarden van nul aangetroffen voor de kompassen.

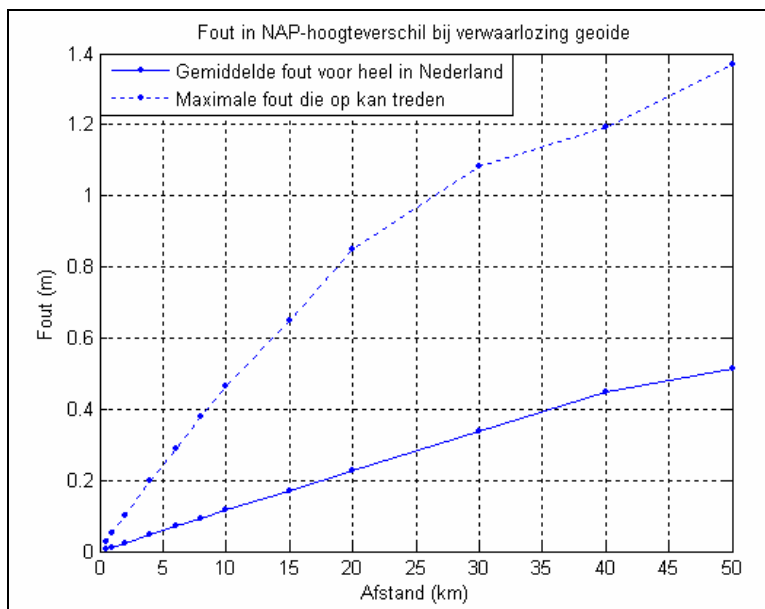
Hoewel het in theorie niet onmogelijk is, is het in de praktijk zelden het geval dat een kalibratie waarde van nul wordt toegepast. Omdat de plaatsing van de GPS antenne bij de meeste vaartuigen direct boven de echolood transducer is zullen de fouten beperkt blijven. De vaartuigen van Noord-Holland waar zowel met kop- als middentransducer is gelood, zijn uitzonderingen. Het niet kalibreren van de gyro heeft geen gevolg voor de vergelijking tussen LRK en waterstand metingen per vaartuig, maar wel voor de vergelijking tussen de vaartuigen onderling.

6.5 Referentievlak

6.5.1 Geoïde

Grootte van de fout

De exacte grootte van de fout is afhankelijk van het lokale geoïdeverloop en de afstand tussen het referentiestation en de ontvanger. Ter illustratie is hieronder de figuur gegeven voor de geoïde (NLGEO2004) die sinds 2004 wordt toegepast. In 2000 en 2002 werd gebruik gemaakt van een andere geoïde (Geoïde van de Min). Deze geeft vergelijkbare fouten.



Figuur 24: fout die in Nederland optreed bij verwaarlozing van de geoïde (NLGEO2004) [12]

Uitgaande van een maximale afstand tussen referentiestation en vaartuig van 25 kilometer ligt de gemiddelde fout tussen **0 en ± 0.3 m**.

Controle van Fouten

- Toepassing juiste omrekening referentiestation coördinaten van RD-NAP naar WGS84
- Toepassing geoïdecorrectie in software aan boord meetvaartuig
- Variatie meetfout in relatie tot afstand referentiestation

Aangetroffen Fouten

In de steekproef is bij alle vaartuigen de juiste geoïde correctie toegepast in de software (QINSy, jaar 2002). De peilingen Rijnland en Delfland, waarvan geen ruwe data geanalyseerd is, is voor zover bekend met RWSLod opgenomen. Deze software had niet de mogelijkheid te corrigeren voor de geoïde correctie. Tot slot kan over de toepassing (of het ontbreken hiervan) in de referentiestations geen uitspraak worden gedaan, aangezien hiervan geen gegevens beschikbaar waren in dit onderzoek.

6.5.2 Datumtransformatie

Grootte van de fout

In formulevorm:

$$\Delta Z = -\Delta H_{DT} + \Delta X, Y_{DT} \cdot \tan \alpha$$

- Met:
- ΔZ = Dieptefout (m)
 - $\Delta X, Y_{DT}$ = Datumtransformatiefout X,Y (m) (in de vaarrichting)
 - ΔH_{DT} = Datumtransformatiefout Z (m)
 - α = Hellingshoek tussen bodem en talud (0° = vlakke bodem; + = schip vaart tegen helling op)

De datumtransformatiefouten zijn afhankelijk van de toegepaste parameters. Voor de situatie waarin de juiste parameterset, die uit het Handboek Technische Werkzaamheden van het Kadaster wordt gehaald (opgave Hydrografische Dienst) en de gebruikte de standaardset uit QINSy, worden voor Nederland de volgende resultaten verkregen: X,Y: 0.30 meter; Z: -0.032 m.

Dit kan resulteren in een meetfout die varieert tussen **0 m en ±0.20 m**

Controle van Fouten

- Keuze juiste conversie parameters in de software
- Juiste omrekening referentiestation coördinaten.

Aangetroffen Fouten

In de steekproef zijn bij alle vaartuigen de juiste geodetische instellingen toegepast. Over de toepassing (of het ontbreken hiervan) in de referentiestations kan geen uitspraak worden gedaan.

6.6 Waterstandmeting

Grootte van de fout

In formulevorm:

$$\Delta Z = \Delta H_{ws}$$

Met: ΔZ = Dieptefout (m)
 ΔH_{ws} = Fout waterstandsmeting Z (m)

De grootte van deze fout is in de regel klein. Bij een juist referentieniveau en een juiste ijking heeft deze fout een orde grootte van **0 tot ± 0.02 m**.

Controle van Fouten

- Laatste kalibratiestaat waterstandmeter en kalibratiehistorie

Aangetroffen Fouten

Op basis van de aangeleverde informatie is het niet mogelijk de kalibratie / juistheid van de gebruikte peilschalen te controleren. In veel gevallen is informatie uit het MSW netwerk gebruikt; het onderhoud en kalibratie hiervan ligt bij het RIKZ.

6.7 Getijmodel

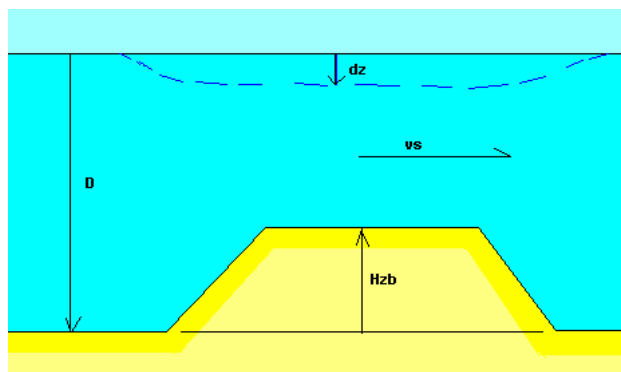
Grootte van de fout

Voor zandbanken en vernauwingen geldt de volgende formule:

$$\Delta Z = k_v \cdot \Delta H_{zB} \cdot \frac{F^2}{\sqrt{1 - F^2}}$$

$$F = \frac{v_s}{\sqrt{9.81 \cdot D}}$$

Met: ΔZ = Dieptefout (m)
 k_v = Vormparameter bij zandbank of vernauwing vaarweg (0.5 – 0.66)
 ΔH_{zB} = Hoogteverschil zandbank met omliggende bodem of vernauwing vaarweg (m)
 v_s = Stroomsnelheid water
 D = Diepte omliggende bodem rondom zandbank of breedte vaarweg (m)



De waterstanddaling bij een stroomsnelheid van 1 m/s, een waterdiepte van 4 meter en een duinhoogte van 1 meter is bij benadering **0.01 tot 0.02 meter**.

De fout ten aanzien van de morfologie / toepassen specifieke peilschaal op een andere locatie is aanzienlijk groter en kan enkele decimeters bedragen. In de literatuur [3] wordt gesproken van afwijkingen in de orde van **0.2 m**.

Controle van Fouten

- Gebruikte waterstandmodel, datum ontwikkeling model
- Variatie in bodemprofiel tussen aanmaakdatum waterstandmodel en toepassingsdatum
- Gekozen peilschalen in relatie tot het werkgebied, representativiteit
- Opwaaiing tijdens de meetperiode bij verschillende peilschalen

Aangetroffen Fouten

In de data van Zeeland ontbrak getijde informatie in het geheel. Bij navraag blijkt deze per verwerking / loding gegenereerd te worden met behulp van een getijdemodel. Welk model dit is en hoe vaak dit wordt geüpdate naar aanleiding van veranderingen in de morfologie is niet bekend.

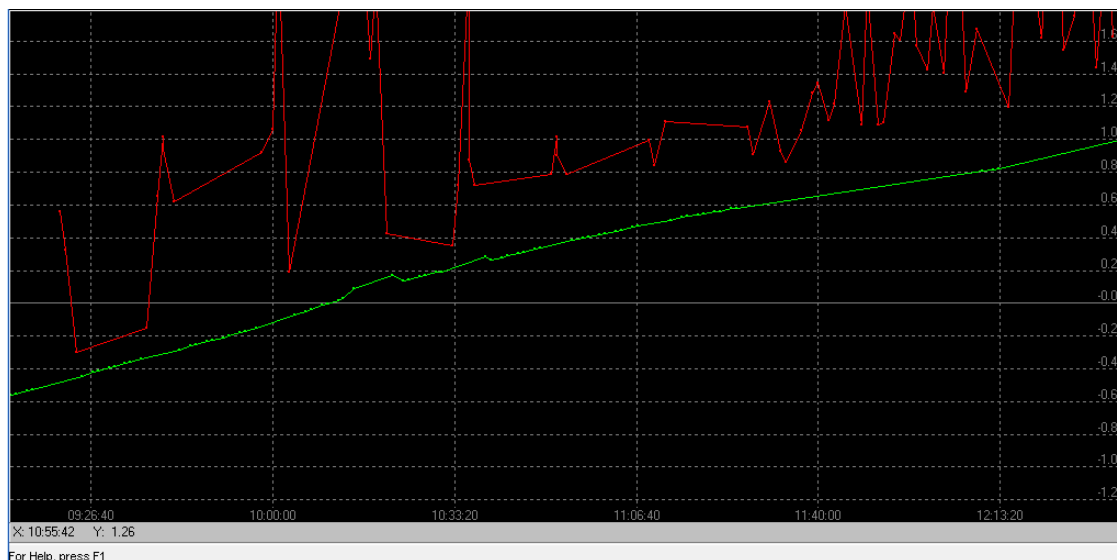
Zowel voor Noord-Holland als Noord-Nederland zijn getijdenbestanden aangetroffen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van correctie op basis van een enkel station dat als representatief wordt beschouwd voor het gehele meetvak. Hierbij kunnen bodemvariatiën niet worden meegenomen en kan, gezien de afmeting van sommige peilvakken (enkele kilometers) een afwijking ontstaan.

De bron van de getijdencorrecties varieert. Bij Noord-Nederland lijkt gebruik te zijn gemaakt van de MSW peilmeetstations die vervolgens met behulp van de 'co-tidal' kaart worden geïnterpoleerd naar het werkgebied. Hierbij zijn interpolaties tot circa 39 kilometer vanaf de peilschaal aangetroffen. In hoeverre het getij van de peilschaal dan nog representatief is voor het lodingsgebied, is niet bekend. Bij Noord-Holland lijkt een waterstandmodel gebruikt te zijn. Echter welk model / peilschalen worden gebruikt is niet af te leiden uit de gedijbestanden of metabestanden. Wel is in de bestanden te zien dat het model relatief veel ruis produceert. De meeste bestanden zijn dan ook gecorrigeerd. Op basis waarvan deze correctie is uitgevoerd is niet bekend.

In Hoofdstuk 7 zal verder ingegaan worden op de kwantitatieve aspecten van deze fout.

Karakteristieke Voorbeelden

Onderstaand zijn een aantal voorbeelden opgenomen, waarin de invloed van het getijmodel op de data kan hebben.

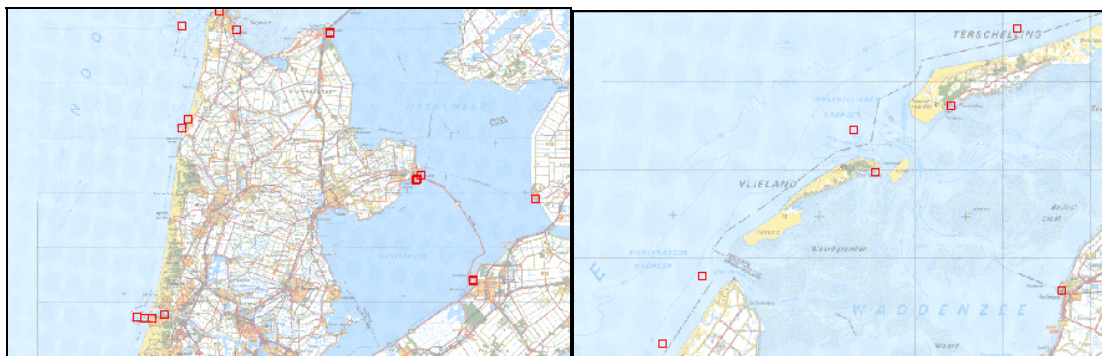


Figuur 25: Aangepaste getij-file Noord-Holland

In Figuur 25: Aangepaste getij-file Noord-Holland laat de rode lijn de oorspronkelijk gemeten getijwaarden zien, de groene die welke na aanpassing zijn verkregen. De verschillen tussen de oorspronkelijke waarden en de gecorrigeerde waarden bedraagt tot circa 60 a 70 centimeter! Op basis hiervan zullen de LRK waarden niet met de waterstandgecorrigeerde data te vergelijken zijn.

Relatie Peilschalen - Werkgebied

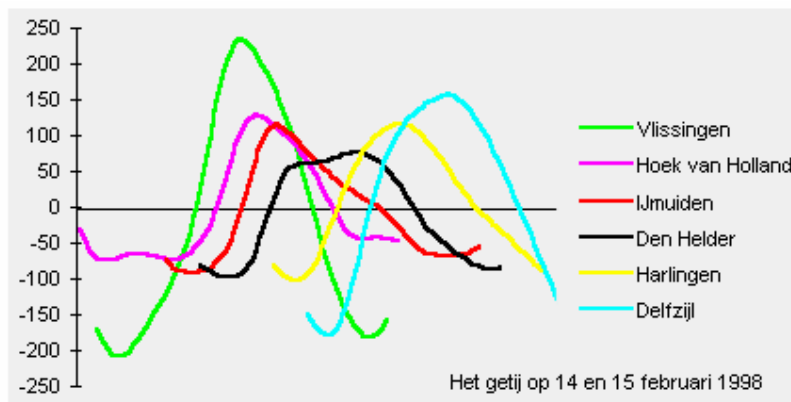
Wanneer we kijken naar de waterstanden zoals opgenomen en geregistreerd in Waterbase voor het beschouwde gebied vallen een aantal andere zaken op. Waterbase (www.waterbase.nl) is een voor iedereen toegankelijk bestand waarin de historische meetwaarden van Rijkswaterstaat zijn opgeslagen. Deze waarden zijn gevalideerd en mogen als juist worden beschouwd. Deze vormen de basisgegevens voor veel analyses door Rijkswaterstaat.



Figuur 26: beschikbare peilschalen in waterbase voor Noord-Holland en Vlieland (rode vierkanten)

Langs de Nederlandse kust zijn er echter gebieden waar nauwelijks peilschalen beschikbaar zijn in het landelijke meetnet. Het is uiteraard mogelijk dat de meetdienst eigen peilschalen hanteert, echter hiervan zijn geen gegevens bekend. Bijvoorbeeld voor het gebied rondom IJmuiden is de waterstandinformatie beperkt en vermoedelijk slecht toepasbaar. De aanwezige peilschalen staan allemaal binnen de strekdammen van de havenmonding en zijn daardoor slecht toepasbaar voor de gebieden direct langs de kust aan de buitenkant van de haven.

Onderstaande figuur laat zien hoe het getij langs de Nederlandse kust verandert wanneer van Zuid naar Noord wordt gekeken.

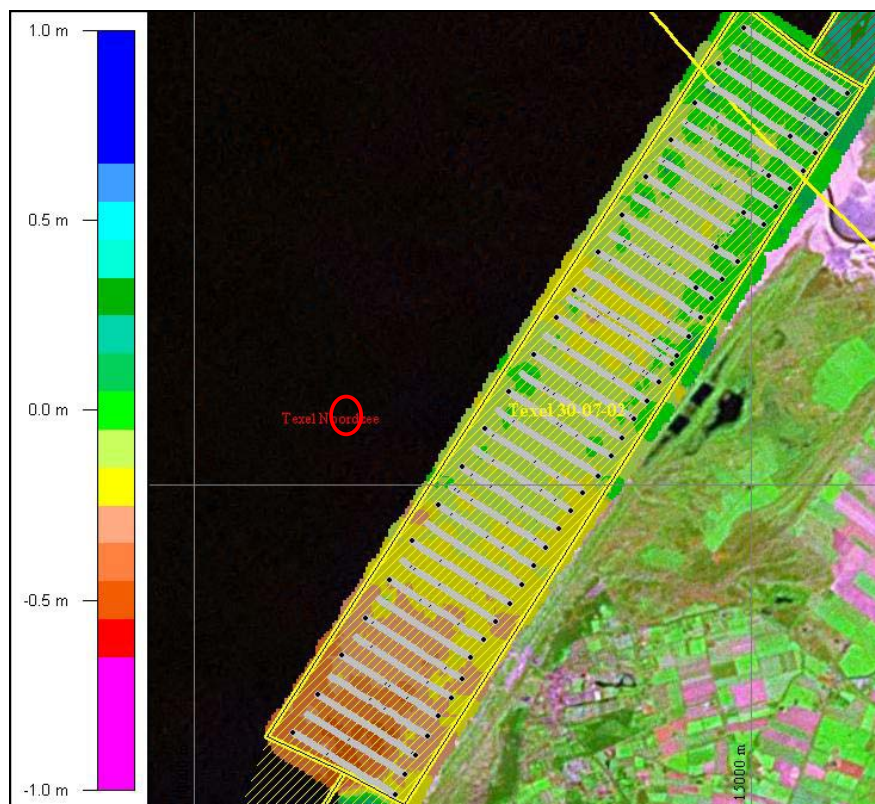


Figuur 27: veranderingen in het getij langs de Nederlandse kust (www.getij.nl)

In deze figuur is goed te zien dat de vorm van het getij varieert tussen de verschillende plekken langs de kust. Door de beperkte beschikbaarheid van peilschalen is deze variatie echter moeilijk te bepalen. Indien de getijcorrecties met behulp van een model worden bepaald is het corrigeren voor dit soort veranderingen beter uit te voeren, echter het model zal altijd gevoed moeten worden met werkelijke waterstandgegevens om te kunnen corrigeren voor bijvoorbeeld meteorologische variaties.

Vergelijking Waterstanden Texel

Om het één en ander te controleren is er voor 30 juli een vergelijking gemaakt tussen de waterstanden zoals opgenomen en geregistreerd in Waterbase voor Texel Noordzee.



Figuur 28: Peilschaal Texel Noordzee (cirkel) in relatie tot het werkgebied

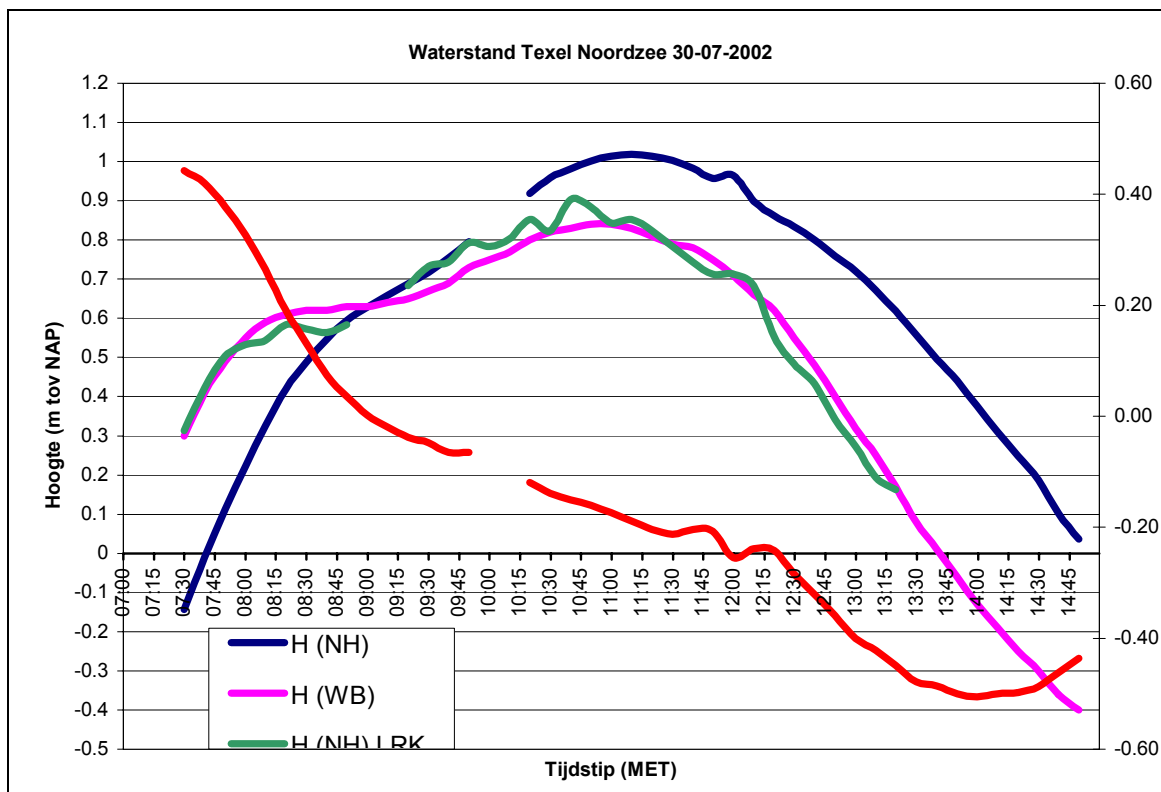
Naast deze vergelijking is er, op basis van de LRK waarden een 'pseudo' waterstand bepaald voor dit werkgebied. Doordat de meetraaien aansluitend zijn gevaren is de gemiddelde hoogte van de raaien steeds bepaald. De parameter hoogte in deze metingen wordt beïnvloed door:

- antenne hoogte
- geoïde hoogte
- squat
- diepgang

Er kan gesteld worden dat niet zozeer de hoogte als wel het moment van hoogwater (vorm van de curve) in ieder geval gelijk moet zijn met die uit Waterbase. Voor de gevonden LRK hoogten is een correctie (51 meter) toegepast om van hoogten ten opzichten van de WGS84 ellipsoïde om te komen tot NAP gecorrigeerde waterstanden.

Verder zijn de getijwaarden met 1 uur gecorrigeerd. Dit is noodzakelijk aangezien de meettijdstippen in QINSy voor de LRK ten opzichte van UTC (\approx GMT) zijn bepaald, terwijl de waterbase gegevens ten opzichte van MET (= GMT + 1 uur = wintertijd) zijn bepaald.

De waterstandgegevens, zoals ingevoerd door Noord-Holland in QINSy, wijken qua tijdstippen af. Er is hierbij de zomertijd gebruikt (GMT + 2 uur = zomertijd). Dit is niet gebruikelijk, normaliter wordt ten opzichte van MET gewerkt door de meetdiensten.



Figuur 29: Waterstand berekeningen voor 30-7-2002 Texel Noordzee

Figuur 29: Waterstand berekeningen voor 30-7-2002 Texel Noordzee laat goed zien dat het, gecorrigeerde, LRK getij (H [NH] LRK)dezelfde curve heeft als het Waterbase getij (H [WB]). Hiermee kan gesteld worden dat het in waterbase gevonden getij representatief is voor dit meetvak qua vorm. De hoogte kan door ondiepwater effecten afwijken, maar dit is, gezien de korte afstand tot het werkgebied vermoedelijk minimaal.

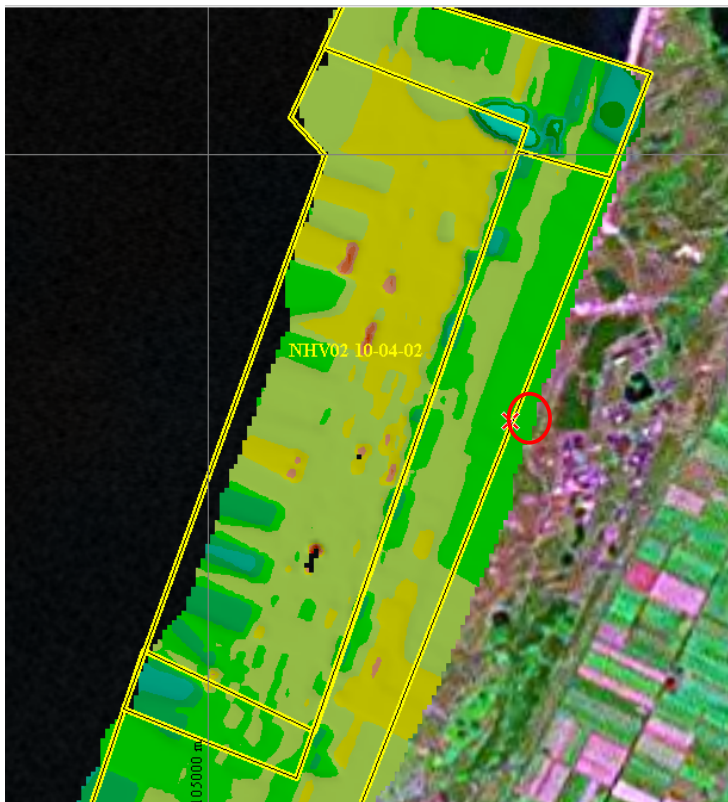
De ingevoerde curve (blauw) wijkt echter duidelijk sterk af van de waterbase curve (paars). De verschillen tussen het waterbase en het ingevoerde getij (rood) laten een lineaire fout zien die varieert van -0.50 tot 0.42 meter.

De gevonden fout correspondeert met de trend in de verschillen tussen de LRK en waterstand metingen, hoewel het verschil daar circa 0.5 meter bedraagt. Concluderend kan gesteld worden dat de ingevoerde waterstanden NIET representatief zijn voor dit gebied en voor een groot deel hebben bijgedragen aan het gevonden verschil tussen de LRK en waterstanddata.

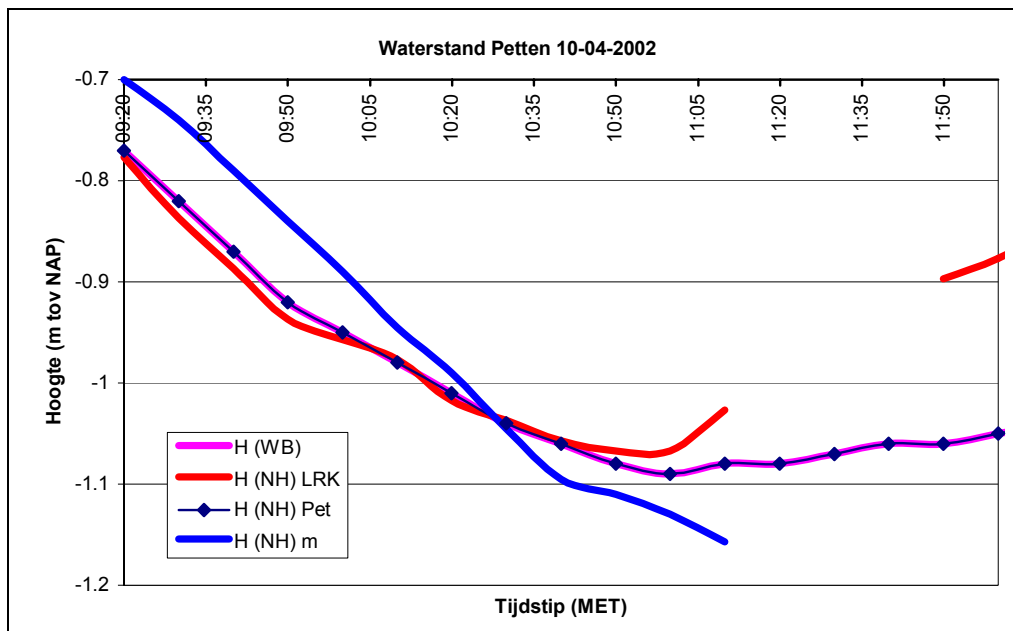
Voor de overige gebieden is deze controle minder eenvoudig uit te voeren aangezien er zich in die gevallen geen peilschaal in de nabijheid bevindt. Gezien de tendens in de aangetroffen verschillen kan het vermoeden worden uitgesproken dat de aangetroffen verschillen verklaard kunnen worden als gevolg van dezelfde fouten.

Vergelijking Waterstanden Petten

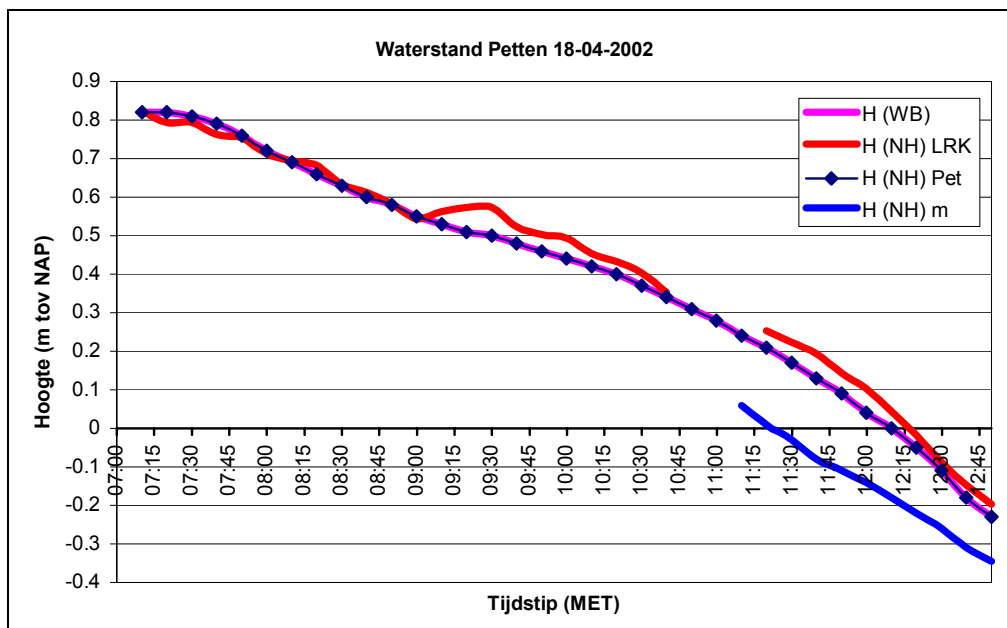
Deze vergelijking is identiek uitgevoerd als de vergelijking bij Texel hierboven.



Figuur 30: Peilschaal Petten-zuid (cirkel) in relatie tot het werkgebied



Figuur 31: Waterstand berekeningen voor 10-4-2002 Petten



Figuur 32: Waterstand berekeningen voor 18-4-2002 Petten

Beide figuren met de waterstandberekeningen laten een vergelijkbaar beeld zien. Voor de bijbehorende peiling zijn twee verwerkingen uitgevoerd, 1 met de peilschaal Petten-Zuid (H (NH) Pet) en 1 met de originele waterstandgegevens (H (NH) m). De data uit waterbase, die van de bewerking met de peilschaal Petten-zuid en de LRK data volgen hetzelfde patroon.

Vergelijken we dit patroon met de oorspronkelijke waterstandgegevens dan is duidelijk te zien dat deze structureel afwijken.

In de LRK data van 10 april 2002 (Figuur 31) is ook een afwijking gevonden (circa 12:00). Door beperkte gegevens (1 enkele meetraai) is het echter niet mogelijk deze te koppelen aan instellingen. Het zou hier om een incident (bv cycle slip van de LRK) of structurele squat kunnen gaan.

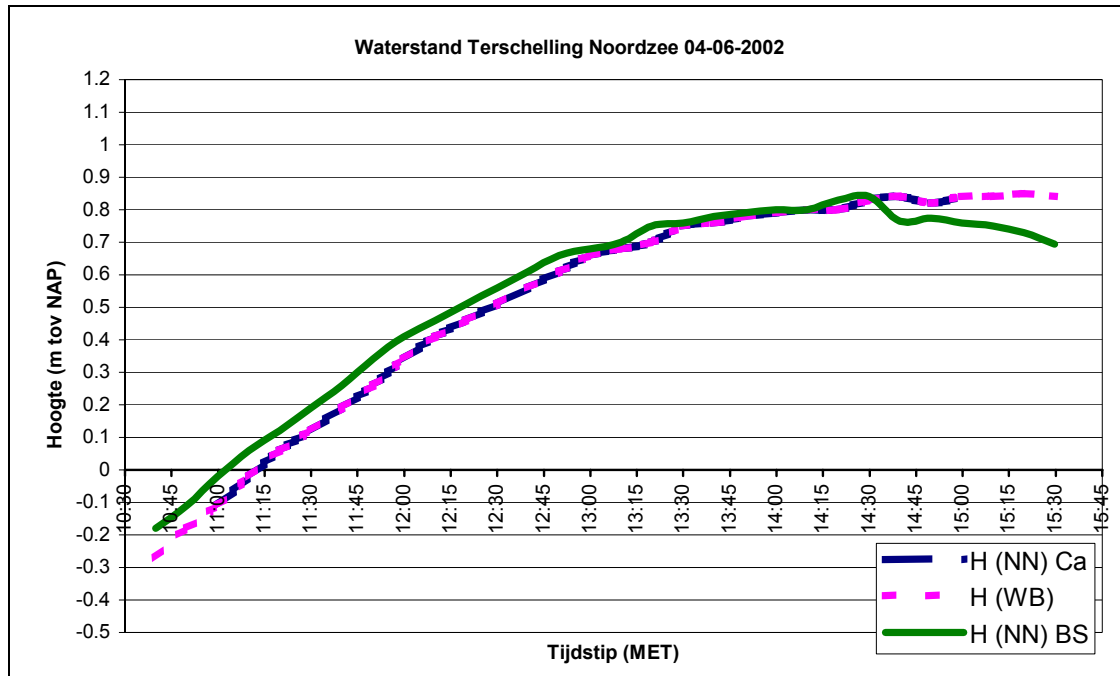
Vergelijking Waterstanden Terschelling

Om één en ander te controleren is er voor 4 juni een vergelijking gemaakt tussen de waterstanden zoals opgenomen en de waterstanden zoals geregistreerd in Waterbase voor Terschelling Noordzee.



Figuur 33: peilschalen rondom Terschelling zoals geregistreerd in Waterbase

Met de getijedata van 4 juni 2006 zijn in totaal 2 peilingen verwerkt, te weten de peiling door de Blauwe Slenk en die van de Capella. De peilschaal staat daarbij in het werkgebied van de Capella. De waterstandgegevens zoals ingevoerd door Noord-Nederland in QINSy wijken qua tijdstippen af. Er is hierbij de zomertijd gebruikt (GMT + 2 uur).



Figuur 34: waterstanden 04-06-02 Terschelling Noordzee voor Blauwe Slenk (groen), Capella (blauw) en Waterbase (paars)

Uit de vergelijking blijkt dat de waterstanden voor Terschelling Noordzee en de Capella identiek zijn. Dit correspondeert met het feit dat de peilschaal in het werkgebied ligt. De waterstanden voor de peiling met de Blauwe Slenk zijn anders, dit kan verwacht worden gezien de ligging van dit gebied op circa 7.5 km van de peilschaal.

Een grove manier om te controleren of de peilschalen juist zijn verschoven ('verzeild') is een vergelijking te maken met de co-tidal kaart van de Noordzee. Deze kaart laat de gebieden zien waarop het op hetzelfde moment hoog water is en waar het getij dezelfde hoogte bereikt.



Figuur 35: vergroting van de co-tidal kaart voor de Noordzee, gedeelte waddeneilanden

De co-tidal kaart laat zien dat de lijnen van gelijke getijhoogte (groen) nagenoeg parallel lopen met Terschelling, zodat er qua getijhoogte voor de Blauwe Slenk een vergelijkbaar getij met dat van de peilschaal verwacht kan worden.

Qua verschuiving in de tijd geldt dat het hoogwater in Vlieland eerder optreedt dan het hoogwater in Ameland. Het verschil is een uur, over een afstand van circa 60 kilometer. Op basis van de afstand tussen de peilschaal en het werkgebied van de Blauwe Slenk mag daarom verwacht worden dat het getij $60 \text{ minuten} \times 7.5 / 60 = 7.5$ minuut eerder optreedt. Dit correspondeert met de vergelijking.

6.8 Squat

Grootte van de fout

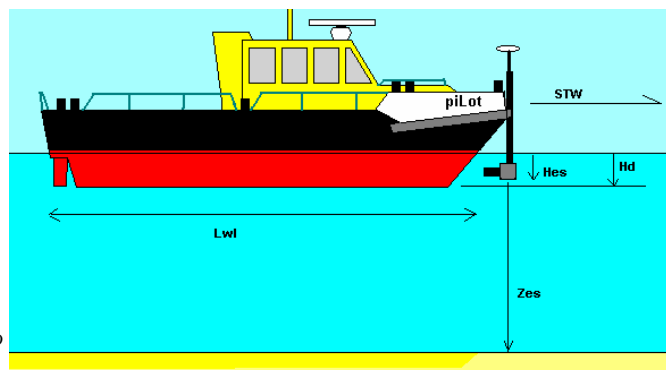
In formulevorm:

$$\Delta Z = k_v \cdot \frac{B_{WL} H_D}{L_{WL}} \cdot \frac{(k_f \cdot F)^2}{\sqrt{1 - (k_f \cdot F)^2}} + C + N$$

$$F = \frac{STW}{\sqrt{9.81 \cdot (Z_{ES} + H_{ES})}}$$

$$k_f \cdot F \leq 0.99$$

$$(Z_{ES} + H_{ES}) > 6 \cdot H_D \rightarrow Z_{ES} + H_{ES} = 6 \cdot H_D$$



Met:	ΔZ	= Dieptefout / Inzinking vaartuig (m)
	k_v	= Vormfactor
	B_{WL}	= Breedte op de waterlijn van het vaartuig (m)
	L_{WL}	= Lengte op de waterlijn van het vaartuig (m)
	H_D	= Gemiddelde diepgang van het meetvaartuig (m) = 2/3 van de werkelijke diepgang
	k_f	= Froude schalingsparameter. In de praktijk vaak nagenoeg gelijk aan 1
	STW	= Snelheid van het vaartuig door het water
	Z_{ES}	= Diepte zoals gemeten door het echolood (m)
	H_{ES}	= Diepgang van het echolood ten opzichte van de waterlijn (m)
	N	= modelruis, met verwachtingswaarde gelijk aan nul
	C	= een constante waarde, afhankelijk van b.v. de waterstandcorrectiefout

Bij een waterdiepte van 4 meter, een snelheid van 2 m/s en de gemiddelde meetvaartuig met afmetingen 4 x 12 x 1 meter ontstaat op basis van bovenstaande formule een inzinking van **-0.03 m**. Neemt de waterdiepte nu af tot 2 meter dan is de inzinking gelijk aan: **-0.06 m**. Bij een maximale lodingsnelheid van 3 m/s en een waterdiepte van 1.5 meter bedraagt het diepteverschil als gevolg van het squat-effect **-0.30** meter.

De negatieve squat van planerende vaartuigen kan oplopen tot **+0.15 m**. Bij het toepassen van squatcorrectie (op basis van algemene parameterwaarden, [10], [11]) is het mogelijk de squat fout met 50 – 75% te verminderen. Sommige meetdiensten passen daartoe een 'vaste' squatcorrectie toe van 0.15 meter [7].

Bij landmeetkundige metingen treedt ook een 'squat effect' op, daarbij moet onderscheid gemaakt worden tussen 'droge' en 'natte' omstandigheden. Bij nat zand is de inzinking nagenoeg gelijk aan **0 m**.

[3]

Voor droog zand geldt het volgende [3]:

- Mobiele LRK metingen te voet: **-0.01 tot -0.02 m**
- Metingen met ATV **-0.02 tot -0.03 m**
- Metingen met WESP **-0.05 m**

Controle van Fouten

- Toepassing squatmodel in de software
- Bron van snelheids- en diepte-informatie
- Scheepsparameters (bron en juistheid)
- Soort vaargedrag (abrupt versnellen / afremmen)
- Toepassing 'vaste' squat waarde bij de verwerking

Aangetroffen Fouten

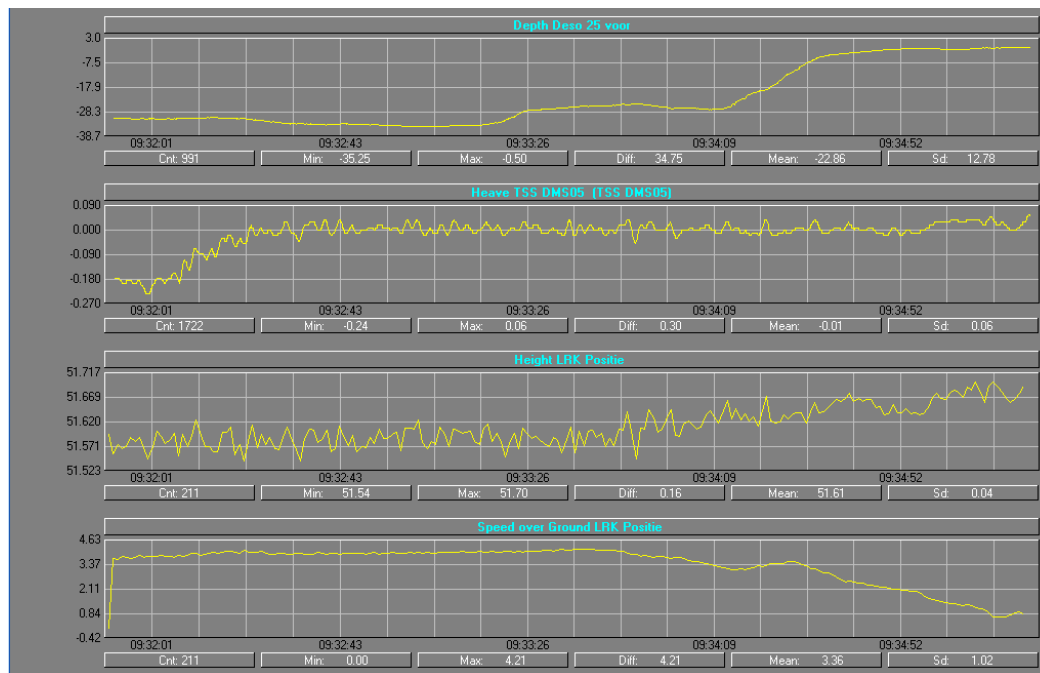
Bij controle is gebleken dat in alle datasets squat gerelateerde effecten voorkomen. Daarnaast is in de steekproef geen enkel squat model aangetroffen in de instellingen van QINSy.

De vaarstrategie van de Adviesdienst Water van Noord-Holland wijkt af van die strategie van andere Meet- en Informatiediensten. In plaats van met constante snelheid naar de kust te varen, wordt bij de constatering dat het ondieper wordt, gas teruggenomen. Dit is geconstateerd bij de data afkomstig van de vaartuigen de Breesem en de Vierlingh. Hierdoor is er in theorie minder last van squat. In Hoofdstuk 7 zal verder ingegaan worden op de kwantitatieve aspecten van deze fout.

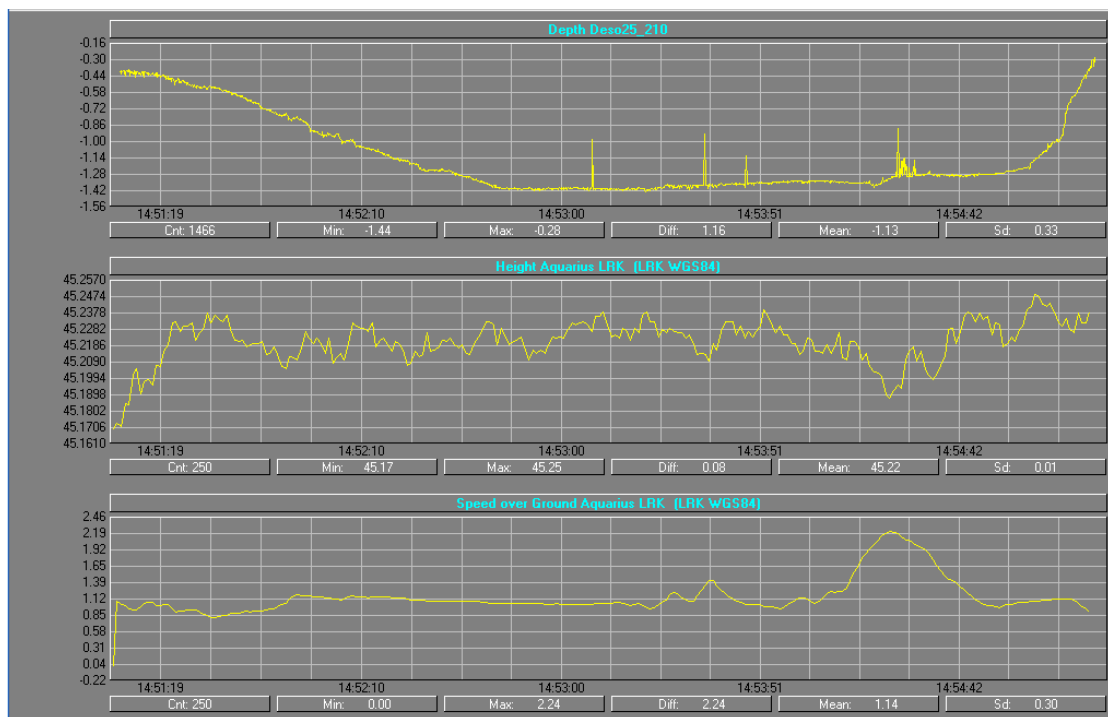
Karakteristieke Voorbeelden

Combinatie van Squat en False Heave

Figuur 36 laat de effecten van zowel false heave als squat goed zien. Aan het begin van de raai is flink gas gegeven. De heave sensor geeft een verticale beweging aan terwijl deze in de LRK data niet zichtbaar is. Dit geeft een verschil van 20 centimeter bij waterstand gerelateerde data. Aan het einde van de meetraai wordt het ondieper en wordt gas terug genomen. Aan het einde van de meetraai is de snelheid nagenoeg nul, waardoor de squat ook als nagenoeg nul verondersteld mag worden. Dit geeft een indicatie van de maximale squat, deze bedraagt circa 0.13 centimeter voor de Breesem op diep water. Bij gelijkblijvende snelheid was de squat alleen maar toegenomen.



Figuur 36: combinatie van false heave en squat (Breesem; Noord-Holland; 02-04-02)



Figuur 37: verschillende squat-effecten gerelateerd aan snelheid (Gemma; Ameland; 07-05-2002)

Figuur 37 laat goed het effect van negatieve squat zien, als een raai erg langzaam (circa 1/ms) gevaren is door de Gemma van Noord-Nederland. Direct aan het begin van de raai zien we bij het versnellen, dat de hoogte van de LRK omhoog gaat in plaats van zoals bij squat te verwachten valt, naar beneden. Dit effect wordt negatieve squat genoemd. Als het vaartuig versnelt tot 2m/s zien we wel weer een daling van de LRK hoogte, echter deze blijft nog altijd hoger als stilliggend. Vermoedelijk is de Gemma een zogenaamd planerend vaartuig welk bij snelheidstoename eerst uit het water komt (kantelt) om vervolgens bij het in plané raken weer horizontaal te gaan liggen.

6.9 Diepgang

Grootte van de fout

In formule:

$$\Delta Z = \Delta H_{ES}$$

Met: ΔZ = Dieptefout (m)
 ΔH_{ES} = Fout in diepgangsmeting (m)

Uitgaande van een maximale fout in de inmeting van de bootgeometrie van 0.01 m tot 0.05 en een variatie in de dagelijkse diepgang van enkele centimeters, ontstaat er een Z fout van ± 0.01 tot ± 0.05 meter.

Controle van Fouten

- Barcheck metingen (opeenvolgende)
- Invoer diepgang in de software is gelijk aan barcheck-meting
- Diepgang op echolood rol is gelijk aan barcheck Bij gebruik van annotatie van de echoloodrol.
- Hoogte standpijp in de bootgeometrie versus resultaten barcheck

Aangetroffen Fouten

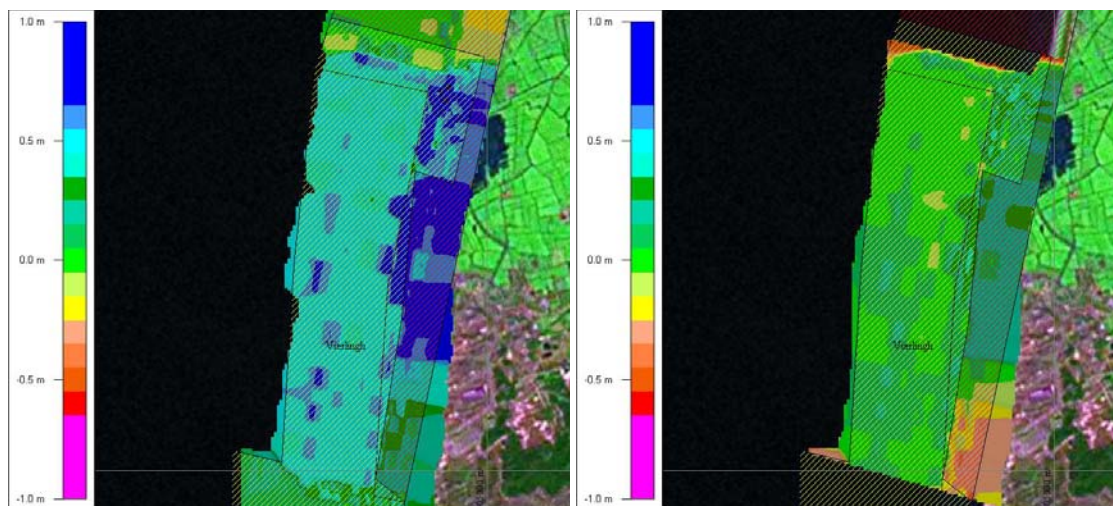
Het is niet na te gaan in hoeverre de, in de instellingen aangetroffen, diepgang gelijk is aan de werkelijke diepgang. Er zijn geen barcheck resultaten aangetroffen.

Bij zowel Zeeland als Noord-Nederland wordt de diepgang als constante ingesteld. Dit correspondeert niet met de werkelijkheid waar de diepgang dagelijks zal variëren ten gevolge van onder andere brandstofverbruik. Dit heeft mogelijk afwijkingen in de waterstand gecorrigeerde lodingen tot gevolg. Bij Noord-Holland wordt de diepgang als variabele ingesteld. De waarde wordt dagelijks ingevoerd en varieert licht (circa 1 cm). De manier van invoeren wijkt af van de standaard manier van QINSy, hiervoor wordt een 'virtuele' peilschaal aangemaakt in plaats van dat de diepgang wordt ingevoerd op de plaats die hiervoor in de software is gereserveerd. De virtuele peilschaal houdt in dat er een waterstandfile waarin de waarden voor de diepgang staan, wordt toegepast. Noord-Holland blijkt de enige Meet-en Informatiedienst die op deze manier met de diepgang omgaat.

Bij Noord-Holland zijn er een groot aantal datasets aangetroffen waarbij een fout in de orde van enkele decimeters optrad tussen LRK en WST metingen. Bij nader onderzoek bleken de fouten gelijk te zijn aan de diepgang van de gebruikte meetvaartuigen. In onderstaande voorbeelden wordt dit geïllustreerd.

Karakteristieke Voorbeelden

Bij de analyse van de data van Noord-Holland is geconstateerd dat een aantal lodingen een grote afwijking hadden van de omliggende lodingen. Achterliggende oorzaak lijkt het niet juist toepassen van de diepgangscorrectie in de waterstandslodingen te zijn. In onderstaande figuren is een verschil te zien tussen de oorspronkelijke dataset van de Vierlingh, en daarnaast die waarbij de diepgang van de vaartuigen juist is gecorrigeerd (correctie van -0.46 m voor de Vierlingh en -0.67 meter voor de Breesem).



Figuur 38: Oorspronkelijke WST dataset voor de Vierlingh (l) en daarnaast de dataset na correctie met de gemiddelde diepgang van 0.46 meter

6.10 Echolood: Bundelhoek

Deze fout heeft alleen effect op de absolute waarden en niet op de verschillen tussen LRK en WST metingen.

Grootte van de Fout

In formule:

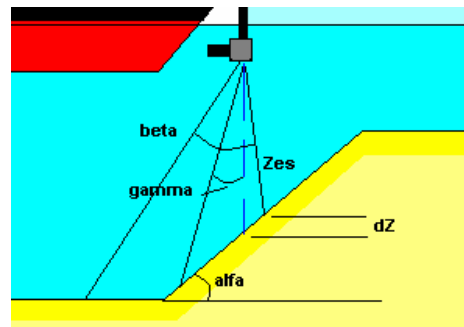
$$\Delta Z = \Delta Z = -Z_{ES} \cdot \tan(\alpha) \cdot \sin(\frac{1}{2}\beta - \gamma_T)$$

$$\Delta Z = 0$$

Bij taludhellingen [$\alpha > (\frac{1}{2}\beta - \gamma_T)$] en $\alpha = +$

Bij taludhellingen [$\alpha < (\frac{1}{2}\beta - \gamma_T)$] en $\alpha = +$

Met:	ΔZ	= Dieptefout (m)
	Z_{ES}	= Gemeten diepte onder de transducer (m)
	β	= Openingshoek van het echolood (°)
	γ_T	= Scheefstand bundel (°; bundel achterwaarts = +)
	α	= Hellingshoek tussen bodem en talud (0° = vlakke bodem; + = schip vaart tegen helling op)



Voor kustlodingen wordt een singlebeam-transducer met een openingshoek van 9.8° graden het meest toegepast. Voor ondiep water (<20 meter) kan deze effectief op 12 – 15° worden gesteld. Afhankelijk van het bodemprofiel [25° / ~1:2] en de diepte [20 m] vertaalt dit zich dan naar een Z fout van: **0 tot 1 meter**. (afhankelijk van de scheefstand)

Controle van Fouten

- Fout is afhankelijk van echolood, dus alleen controle met onafhankelijke meetmethode mogelijk (M-LRK metingen of LIDAR).
- Fout varieert met de waterstand (Z_{ES} groter).

Aangetroffen Fouten

Het is niet mogelijk de bundelhoek en/of scheefstand van de transducers te controleren. Hiervoor ontbraken kalibratieresultaten. Wel is opgevallen dat de gebruikte echolood frequenties voor de Blauwe Slenk afwijken (710 kHz in plaats van 210 kHz) ten opzichte van de overige vaartuigen. Dit heeft geen effect op de vergelijking tussen LRK en WST metingen, wel een (minimaal) effect op vergelijking tussen verschillende vaartuigen.

6.11 (Boot)geometrie

Grootte van de Fout

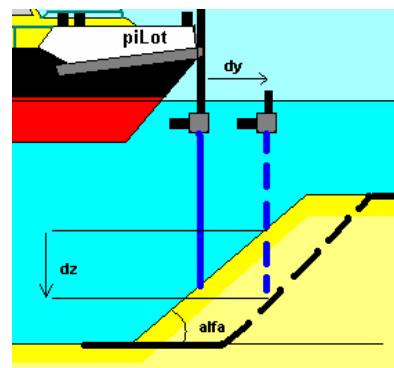
- Grootte van de fout door fouten in de X- en Y-richting

In formule:

$$\Delta Z = -\Delta Y_{bg} \cdot \tan \alpha$$

Met:	ΔZ	= Dieptefout (m)
	ΔY_{bg}	= Langsscheepse, horizontale geometriefout (m)
	α	= Hellingshoek tussen bodem en talud (0° = vlakke bodem; + = schip vaart tegen helling op)

Uitgaande van een maximale fout in de inmeting van de bootgeometrie van 0.01 m tot 0.10 m [9] en afhankelijk van het bodemprofiel vertaalt deze zich naar een fout in de Z-richting van: **0 tot -0.05 meter**.



- Grootte van de fout door fouten in de Z-richting

Orde grootte afwijkingen akoestische nulpunt echolood transducer:

- 210 kHz 1 a 4 centimeter boven het gemeten punt (licht binnen de behuizing)
- 33 kHz 3 a 7 centimeter onder het gemeten punt (licht buiten de behuizing)

Voor het fasecentrum van de LRK GPS antenne geldt een afwijking van ten hoogste enkele millimeters.

De maximale fout in de reguliere bootgeometrie inmeting bedraagt circa 0.10 meter.

In formule:

$$\Delta Z = \Delta H_{bg}$$

Met: ΔZ = Dieptefout (m)

ΔH_{bg} = Verticale geometriefout (m)

Uitgaande van een maximale fout in de inmeting van de bootgeometrie van 0.01 m tot 0.10 m en afhankelijk van het bodemprofiel vertaalt deze zich naar een Z fout van. **± 0.01 tot ± 0.1 meter.**

Controle van Fouten

- Deze fouten zijn nagenoeg oncontroleerbaar in de praktijk.
- Vergelijken bootgeometrie metingen opeenvolgende jaren geeft een indruk van de precisie van de metingen.
- De akoestische diepgang is met een barcheck te bepalen. Controleer of deze is bepaald en of de resultaten zijn toegepast in de software (of het echolood).
- Controle op (sluis) drempel en vergelijking met absolute diepte kalibratieobject.

6.12 Geluidssnelheidsmodel

Deze fout heeft alleen effect op de absolute waarden en niet op de verschillen tussen LRK en WST metingen.

Grootte van de Fout

In formule:

$$\Delta Z = -\Delta c_g \cdot T \approx -\Delta c_g \cdot \frac{Z_{ES}}{1475}$$

Met: ΔZ = Dieptefout (m)

Δc_g = Fout in de geluidssnelheidsmeting (m/s)

T = Looptijd van de geluidspuls tussen transducer en bodem (s)

Z_{ES} = Diepte onder de transducer (m)

Bij directe geluidssnelheidsmeters is de precisie van de geluidssnelheidsmeting in de orde van 1 m/s. Bij CTD probes varieert de fout in de geluidssnelheidsmeting van 1 m/s tot 10 m/s. Bij het uitvoeren van een barcheck varieert de precisie van de gevonden waarde(fout in de geluidssnelheidsmeting) eveneens tussen 1 m/s en 10 m/s.

Lokaal (bijvoorbeeld bij riviermondingen) kunnen grote(re) afwijkingen in de geluidssnelheid optreden. Er zijn gevallen bekend waarin het niet juist corrigeren van de geluidssnelheid resulteerde in afwijkingen van enkele decimeters tot meters.

Afhankelijk van de diepte [20 m] onder de transducer vertaalt een foutieve geluidssnelheid [10 m/s] zich naar een fout in de Z-richting van: **0.00 tot ± 0.15 meter.**

Controle van Fouten

- Fout is controleerbaar met behulp van een (sluis) drempel of een extra afzonderlijke, geijkte geluidssnelheidsmeter
- Bij gebruik van hetzelfde echolood zijn fouten in een individuele meting alleen te controleren met een afzonderlijke meting.
- Deze fout is lastig controleerbaar als de geluidssnelheid in het echolood is ingevoerd, dan moeten de echoloodrollen gebruikt worden ter controle.

Aangetroffen Fouten

De geluidssnelheid heeft geen effect op de verschillen tussen LRK en WST metingen, maar kan wel effect hebben op de onderlinge vergelijking tussen schepen / metingen.

Bij alle meetdiensten wordt de geluidssnelheid schijnbaar in de software ingesteld waardoor deze eenvoudig te controleren is. Het valt op dat bij Zeeland de omrekenwaarde (zogenaamde 'used velocity') zoals ingesteld op het echolood zelf, niet gelijk is aan 1500 m/s en ook verschillend is voor de verschillende vaartuigen. De achterliggende reden hiervoor is niet bekend.

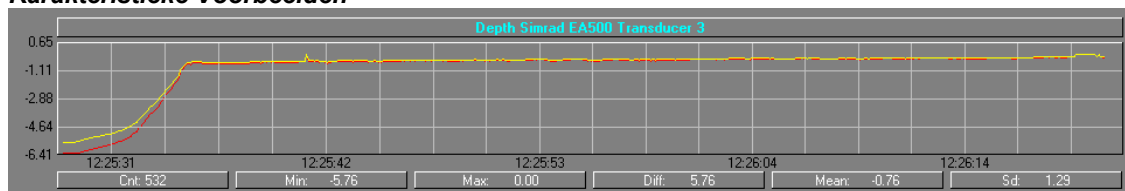
Bij alle meetdiensten wordt de geluidssnelheid slechts 1x per peildag bepaald (aan het begin van de peildag). Hierbij wordt uitgegaan van een geluidssnelheid die gedurende de dag niet varieert op een bepaalde locatie. Dit hoeft echter niet noodzakelijkerwijs het geval te zijn, zeker in gebieden waarbij zoet en zout water bij elkaar komen, zoals rivier mondingen.

Soms wordt er met een 'oude' geluidssnelheid gewerkt. In de regel is deze dan een dag tot enkele dagen oud. In een enkel geval is een snelheid van een jaar oud aangetroffen.

Alleen bij Noord-Holland wordt gebruik gemaakt van een geluidssnelheidsprofiel voor de correctie van de metingen. Dit resulteert in een nauwkeurigere correctie.

Er is een loding aangetroffen waarbij een instelfout voor de geluidssnelheid is gemaakt. Deze lijkt gecorrigeerd te zijn door het toepassen van een correctiefactor op alle dieptemetingen. Dit is niet de gebruikelijke manier van de geluidssnelheid in QINSy corrigeren. Dit heeft echter geen verdere gevolgen voor de vergelijking tussen WST en LRK data.

Karakteristieke Voorbeelden



Figuur 39: Lijn met aangepaste dieptemeting (Onrust; Vak 28; 01-05-2002)

In Figuur 39 is te zien dat de dieptemeting is aangepast. Dit is vermoedelijk om een foutief ingestelde geluidssnelheid te corrigeren.

6.13 Presentatie

Grootte van de Fout

Uit testen [3] is gebleken dat bij een raai afstand van 200 meter en met een meetdichtheid van 1 meetpunt per 5 meter eenvoudig interpolatiefouten kunnen ontstaan in de orde van ± 0.10 tot ± 0.60 meter.

Controle van Fouten

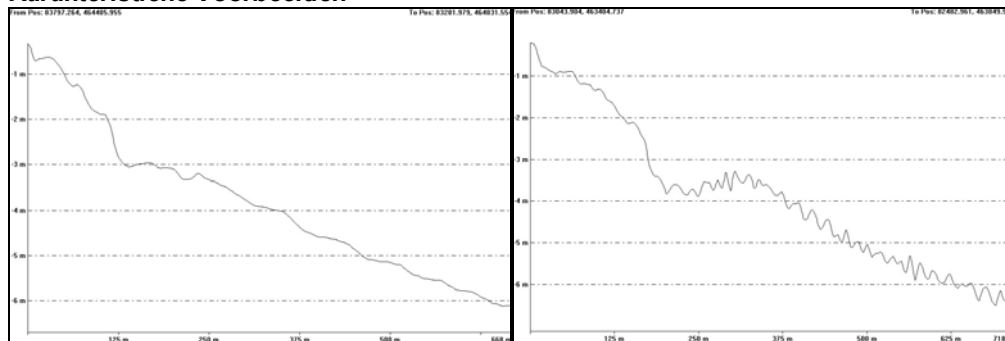
- Vergelijken van niet-geïnterpoleerd model met geïnterpoleerd model met weglating van een enkele meetraai
- Controle van de nauwkeurigheid van de toegepaste interpolatiemethode door het toepassen van residuenanalyse door meetwaarden te vergelijken met geïnterpoleerde waarden

Aangetroffen Fouten

De gebruikte datasets waren allen op raabasis opgebouwd. Hierdoor kunnen ze geen globale interpolatie effecten hebben. In dit onderzoek zijn alle data verder op gelijke manier vergrid en geïnterpoleerd. Uiteraard worden hierbij tussen de meetlijnen interpolatiefouten geïntroduceerd. Echter doordat ook de exacte ligging van de meetlijn bekend is en de fout ter hoogte van de meetraai minimaal is heeft dit effect een minimale invloed gehad op de resultaten van dit onderzoek.

In een aantal gevallen zijn wel afwijkende bodemprofielen aangetroffen of een overmatige hoeveelheid ruis in de data. Dit duidt op de noodzaak van een intensieve bewerking van sommige meetraaien. Hierdoor kunnen deze afwijken van de werkelijkheid.

Karakteristieke Voorbeelden



Figuur 40: Links LRK, rechts is WST data

Verder is te zien dat de bodemprofielen er anders uit zien. Dit kan het gevolg zijn van fouten bij de dataverwerking.

7 De voornaamste foutenbron en het verklaringsmodel

Uit de detailanalyses van hoofdstuk 6 kan worden geconcludeerd, dat de diepteverschillen tussen LRK en WST voornamelijk worden bepaald door de volgende drie fenomenen:

- Waterstandscorrectie
- Squat
- False heave

Op basis van de resultaten van de kwalitatieve analyse van hoofdstuk 5, uitgevoerd op de data van Texel, waarbij er verschillen van meer dan 0,20 m in daggemiddelde LRK-WST diepteverschillen van hetzelfde vaartuig zijn gevonden, is er het vermoeden dat de waterstandscorrectie de grootste foutenbron is. De waterstandscorrectie is daarbij de omrekening van de actuele waterdiepte naar de waterstand t.o.v. NAP. In onderstaande paragraaf wordt de waterstandscorrectiefout verder uitgewerkt.

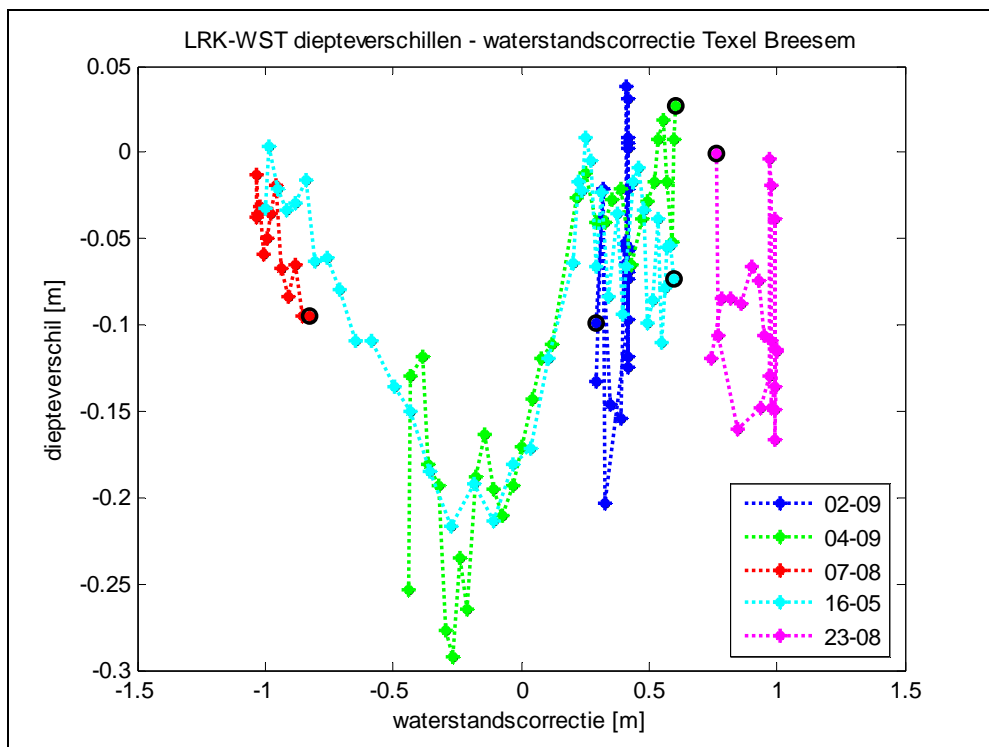
In de daarop volgende paragraaf komt de modellering/het verklaringsmodel van de LRK-WST diepteverschillen aan de orde.

7.1 Kwantitatieve analyse van de toegepaste waterstandscorrectie

De kwantitatieve analyse van de toegepaste waterstandscorrectie is in deze paragraaf uitgevoerd op de twee vaartuigen, de Breesem en de Vierlingh, die de data bij Texel hebben opgenomen. In de bijlage zijn de resultaten gegeven van de overige regio's. In het vorige hoofdstuk is steekproefgewijs aangetoond dat de gehanteerde waterstand niet correspondeert met de gemeten waterstand in hetzelfde gebied. De vraag is of het LRK-WST diepteverschil gerelateerd is aan de toegepaste waterstandscorrectie. De gemiddelde waterstandscorrectie van een raai wordt vergeleken met het gemiddelde LRK-WST diepteverschil van een gevaren raai.

7.1.1 Kwantitatieve Analyse van de Breesem

In onderstaande figuur zijn de raag gemiddelde LRK-WST diepteverschillen uitgezet tegen de toegepaste waterstandscorrectie. De eerst gevaren raai is aangegeven met een 'o'.

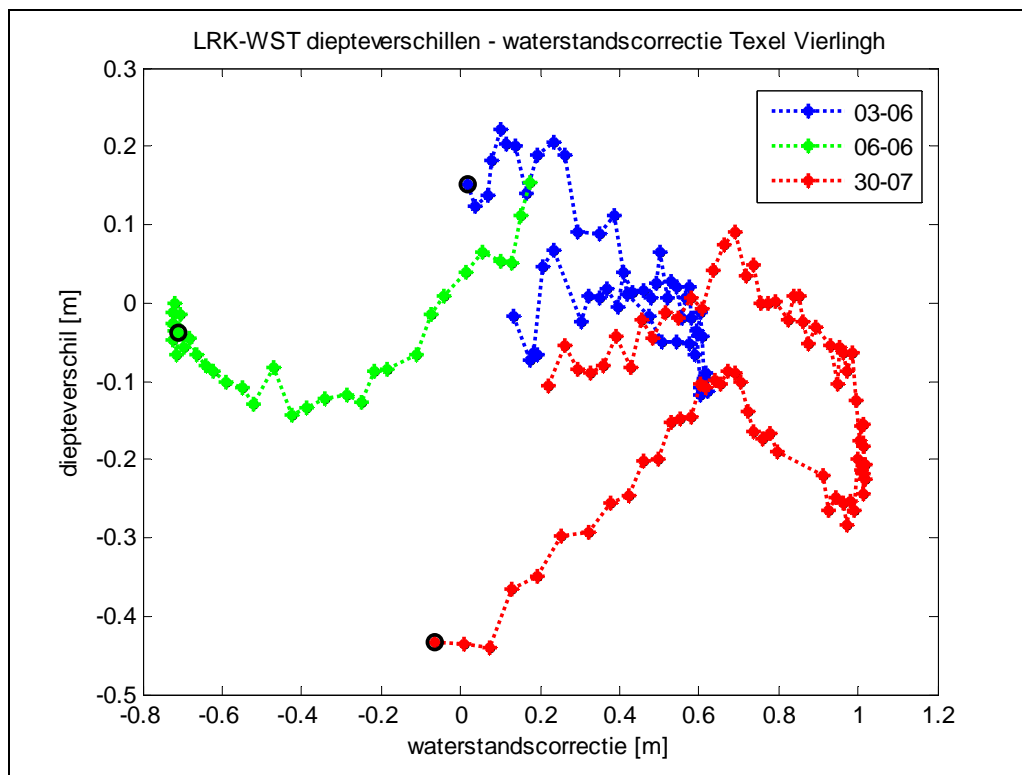


Figuur 41: LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Breesem

Uit de figuur blijkt dat een waterstandscorrectie is toegepast van -1,0 tot 1,0 m om de dieptemeting t.o.v. de actuele waterstand om te rekenen naar NAP. Het LRK-WST diepteverschil varieert daarbij van -0,3 tot 0,05 m. Vooral de gemiddelde LRK-WST diepteverschillen van de groene (gevaren op 04-09-2002), de rode (07-08) en de licht blauwe curve (16-05) hebben een duidelijke relatie met de waterstandscorrectie. Het grootste LRK-WST diepteverschil van 0,28 m is er tussen de eerste en de laatst gevaren raai van de groene curve (04-09). Het maximale diepteverschil op een dag is 0,32 m. Uit de figuur blijkt tevens dat de diepteverschillen bij dezelfde waterstandscorrecties vergelijkbaar zijn en dat geeft aan dat er in dit geval een relatie is tussen het diepteverschil en de toegepaste waterstandscorrectie.

7.1.2 Kwantitatieve Analyse van de Vierlingh

In onderstaande figuur zijn de raigemiddelde LRK-WST diepteverschillen uitgezet tegen de toegepaste waterstandscorrectie van de Vierlingh. De eerst gevaren raai van de drie meetdagen is aangegeven met een 'o'.



Figuur 42: LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Vierlingh

Het gemiddelde LRK-WST diepteverschillen van de rode curve (30-07) is in de eerst gevaren de waarde -0,42 m en uiteindelijk is in de laatst gevaren raai is het gemiddelde diepteverschil -0,1 m, waarbij er tweemaal een trendbreuk van stijgend naar dalend is bij een waterstandscorrectie van 0,6 m. Het maximale diepteverschil op een dag is 0,52 m. In de figuur is ook duidelijk te zien dat de gemiddelde diepteverschillen van de raaien van de andere twee dagen (03-06 en 06-06) een relatie met de waterstandscorrectie. De blauwe en de rode curve zitten in een vergelijkbare waterstandscorrectie, maar de diepteverschillen zijn van verschillende grootte; bij de Breesem waren de diepteverschillen bij dezelfde waterstandscorrecties vergelijkbaar.

7.1.3 Conclusie

De LRK-WST diepteverschillen van de Breesem en de Vierlingh zijn gerelateerd aan de waterstandscorrectie. Bij de Breesem zijn de diepteverschillen van verschillende meetdagen bij dezelfde waterstandscorrecties met elkaar vergelijkbaar bij de Vierlingh niet. Het maximale gemiddelde LRK-WST diepteverschil is bij de Breesem 0,32 m en bij de Vierlingh 0,52 m.

Op basis van deze bevindingen kan worden geconcludeerd dat de waterstandscorrectiefout de belangrijkste fout is voor het verklaren van de LRK-WST diepteverschillen bij Texel.

7.2 Verklaringsmodel

In de wiskundige modellering zijn de LRK-WST diepteverschillen beschreven aan de hand van de belangrijkste foutenbronnen squat, waterstandscorrectie en false heave en de invloedsvariabelen snelheid van het vaartuig en de waterdiepte. Het doel is om een algemeen verklaringsmodel (rekenregel) te ontwikkelen voor het beschrijven van de LRK-WST diepteverschillen en voor het uitvoeren van correcties op de WST-dataset. Matlab-software en het softwarepakket Tijdreeksanalist zijn gebruikt voor de ontwikkeling van een verklaringsmodel voor de LRK-WST diepteverschillen. Dit verklaringsmodel is gebaseerd op het oorspronkelijke uitgebreide squatmodel, zoals dat in de onderzoeken [9] en [10] is toegepast. De modelleringen zijn in dit hoofdstuk uitgevoerd op de raaien van Texel. In de bijlagen zijn de modelleringen gegeven van de overige gebieden.

Het verklaringsmodel is hieronder beschreven. Voor het gebruik van het verklaringsmodel zijn de modelvariabelen snelheid van het vaartuig door het water en actuele waterdiepte nodig.

De snelheid van het vaartuig wordt direct berekend uit de tijdstippen en de positie van de metingen. Doordat hierdoor niet de snelheid door het water, maar die over de grond wordt gebruikt, kan een fout geïntroduceerd worden. Op basis van de stroomatlas voor de Nederlandse Kust (HP33) kan geconcludeerd worden dat de stroming langs de Nederlandse Kust, behoudens de kentering van het getij, parallel aan de kust loopt. Hierdoor zal de geïntroduceerde fout door het gebruik van de snelheid over de grond relatief klein zijn.

De actuele waterdiepte wordt berekend uit de gemeten diepte t.o.v. NAP en de waterstandscorrectie. Doordat het LRK-meetsysteem nauwkeuriger meet dan het dGPS-meetsysteem berekenen we de actuele waterdiepte door de (omgekeerde) waterstandscorrectie toe te passen op de LRK-dieptemetingen t.o.v. NAP.

Definitie van het verklaringsmodel

Het verklaringsmodel is een uitbreiding van het oorspronkelijke squatmodel [9]:

$$I = k_c * \frac{F^2}{\sqrt{1 - F^2}} + C + N, \text{ met } F = \frac{V}{\sqrt{g * D}} \quad (1)$$

met:	I	= inzinking/squat
	F	= Froudegetal
	N	= modelruis, met verwachtingswaarde gelijk aan nul
	C	= een constante waarde, afhankelijk van b.v. de waterstandscorrectiefout
	V	= scheepssnelheid door het water
	D	= actuele waterwegdiepte
	k_c	= bootparameter (gerelateerd met de afmetingen van het vaartuig)
	g	= versnelling, 9.8 m/s ²

Voor de berekening van de squat is nog een uitzonderingssituatie en een randvoorwaarde ingebouwd:

1. $D > 6 * H_0$, dan $D = 6 * H_0$, met $H_0 =$ gemiddelde scheepsdiepgang ($= 2/3 * \text{scheepsdiepgang}$)
2. $F < 0,99$

Is de diepte in absolute zin zes maal groter dan de gemiddelde scheepsdiepgang neem dan de diepte gelijk aan zes maal de gemiddelde scheepsdiepgang. Het Froudegetal is kleiner dan één, anders is de squat niet te berekenen.

Het model van (1) is lineair in de modelparameter k_c . De modelruis is een arima-model [12, Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976): 'Time Series Analysis, Forecasting and Control'. Holden Day, San Francisco] met periodiciteiten voor het modelleren van de autocorrelatie en de 'false heave'. De modelparameter(s) worden geschat met gebruik van de diepteverschillen tussen de LRK- en WST-meetreeksen, de geschatte snelheid van het vaartuig en de dieptegegevens t.o.v. de waterstand (beide berekend met het LRK-meetsysteem).

Het model van (1) is toegepast met en zonder een uitgebreide modellering van de modelruis. Voor de berekening van het Froudegetal zijn zowel secondewaarden van de snelheid en de waterdiepte gebruikt, als ook een lopend gemiddelde van 6 secondewaarden om uitschieters en de dynamiek weg te smoothen. De dynamiek van secondewaarden past namelijk niet goed bij de traagheid van massa van het vaartuig. Op raainiveau kan de waterstandscorrectiefout constant verondersteld worden. Uitschieters zijn niet uit de LRK-WST diepteverschillen verwijderd.

7.3 Verklaringsmodel Texel

Per vaartuig en per meetdag zijn in de onderstaande tabellen weergegeven:

- het gemiddelde (m) en de standaardafwijking (σ) van de geschatte bootparameter k_c
- het gemiddelde (m) en de standaardafwijking (σ) van een eventuele constante fout door bv het toepassen van een foutieve waterstandscorrectie
- de gemiddelde standaardafwijking van de modelruis (σ)
- en de gemiddelde verklaarde variantie van het verklaringsmodel als percentage. Des te hoger de verklaarde variantie, des te beter het model, met de gegeven parameters, aansluit bij de werkelijke situatie

In de digitale bijlage zijn de grafieken gegeven van de modellering van de LRK-WST diepteverschillen van alle raaien.

Breesem

vaartuig	datum	tijdsduur		Raaien Aantal	land- en zeewaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	tot		m	σ	m	σ	m	σ
Breesem	16/05/2002	10:46:33	15:39:02	21	-0.096	0.078	-0.096	0.077	-0.097	0.079
Breesem	07/08/2002	10:41:51	11:59:37	13	-0.05	0.054	-0.046	0.044	-0.053	0.061
Breesem	23/08/2002	5:48:09	9:01:32	14	-0.129	0.07	-0.132	0.073	-0.108	0.052
Breesem	02/09/2002	13:05:37	15:20:03	8	-0.122	0.056	-0.122	0.049	-0.124	0.083
Breesem	04/09/2002	6:13:28	8:46:34	16	-0.196	0.076	-0.199	0.075	-0.194	0.078
Breesem	alle			72	-0.118	0.083	-0.119	0.08	-0.116	0.088

Tabel 9 : Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de modellering van de Breesem

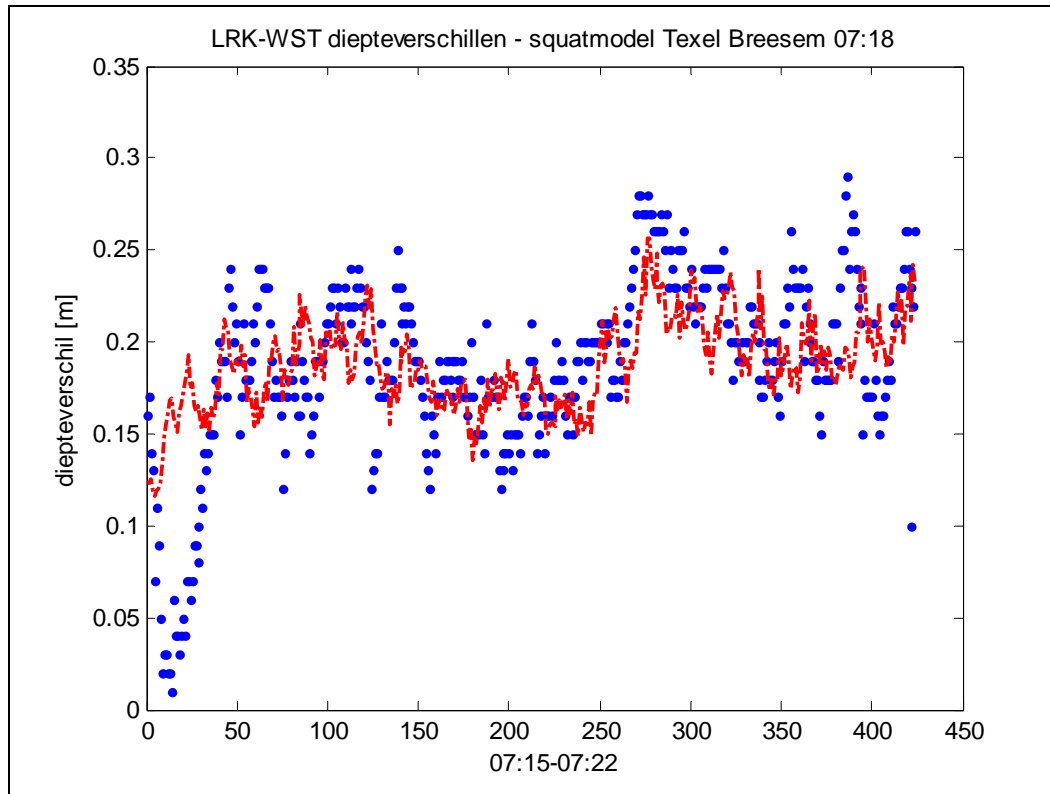
De bootparameter van de Breesem, k_c varieert van 0,26 tot 0,455. De modelparameter C varieert van -0,012 tot 0,076 m. De verklaarde variantie varieert van 33 tot 62%.

Vierlingh

vaartuig	datum	tijdsduur		raaien aantal	land- en zeewaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	tot		m	σ	m	σ	m	σ
Vierlingh	03/07/2002	8:19:08	14:11:15	30	0.034	0.116	0.051	0.119	-0.028	0.078
Vierlingh	06/06/2002	8:02:03	11:34:17	34	-0.045	0.097	-0.039	0.1	-0.051	0.093
Vierlingh	30/07/2002	8:16:48	12:25:35	39	-0.098	0.096	-0.114	0.106	-0.061	0.056
Vierlingh	Alle			103	-0.021	0.118	-0.009	0.13	-0.046	0.083

Tabel 10: Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de modellering van de Vierlingh

De bootparameter k_c varieert van 0,388 tot 0,408. De modelparameter C varieert van -0,057 tot 0,161 m met een standaardafwijking van 0,043 tot 0,134 m. De verklaarde variantie varieert van 50 tot 63%. In onderstaande figuur wordt het verklaringsmodel (de rode curve) de LRK-WST diepteverschillen (de blauwe curve) beschreven.



Figuur 43: Voorbeeld LRK-WST diepteverschillen – modellering voor een meetraai van de Breesem

Het squatmodel geeft een redelijke beschrijving van de diepteverschillen. Duidelijk zichtbaar in de diepteverschillen is de dynamiek, de false heave (vooral bij de aanvang) en een aantal uitbijters.

Conclusie

De diepteverschillen van verschillende dagen zijn bij de Breesem beter met elkaar vergelijkbaar dan bij de Vierlingh. De resultaten van de modellering van de diepteverschillen van Texel zijn aanmerkelijk beter dan bij Noord-Holland en vergelijkbaar met de modelleringen van de overige regio's.

In een groot aantal gevallen blijkt de (data-) modellering matig te zijn vanwege:

- De spreiding in de diepteverschillen
- De dynamiek in de diepteverschillen
- De periodiciteiten in de diepteverschillen veroorzaakt door false heave en door het meedeinen van het vaartuig bij veranderingen van de diepte en de snelheid
- De squatmodellering gaat uit van een stationaire situatie
- De aanname dat de LRK dieper meet dan WST door het squatfenomeen
- De traagheid van massa van een vaartuig tegenover de dynamiek van de dieptemeting en berekende snelheid

8 Analyse kustlijnligging

Uit de analyses van de voorgaande hoofdstukken blijkt dat er duidelijke diepteverschillen zijn tussen het LRK en WST-meetsysteem. Als gevolg van de vervanging van het WST- door het LRK-meetsysteem ontstaan daarmee verschillen in de berekening van de zogenaamde MKL (de momentane kustlijn) en de TKL (te toetsen kustlijn), belangrijk in het kader van de kustlijn­zorg, waar RIKZ verantwoordelijk voor is.

In dit hoofdstuk maken we op basis van de onderzoeksresultaten een schatting van de verdeling van de MKL en TKL en de betreffende hoeveelheid kubieke meters zand op basis van de LRK-WST diepteverschillen van 2002 voor Texel op raainiveau. De schattingen zijn gebaseerd op de aanname dat de LRK-WST diepteverschillen in een raai dezelfde verdelingsfunctie hebben en onderling gecorreleerd zijn.

De MKL- en TKL-gegevens voor de berekeningen op raainiveau zijn door RIKZ aangeleverd in spreadsheetbestanden. In deze bestanden zijn de hoogtes van de duinvoet ten opzichte van de GLW (gemiddelde laagwaterstand), de MKL en de TKL voor elke Jarkusraai vastgesteld. Op basis hiervan is uiteindelijk een inschatting gegeven van het totale volumeverschil van de kustbescherming als gevolg van de verschillen tussen de twee meetsystemen.

De onderzoeksresultaten van Vlieland, Terschelling en Ameland zijn opgenomen in de digitale bijlage DIG 13. Voor de andere regio's zijn deze berekeningen niet uitgevoerd vanwege het specifieke karakter van de diepteverschillen of het ontbreken van de data.

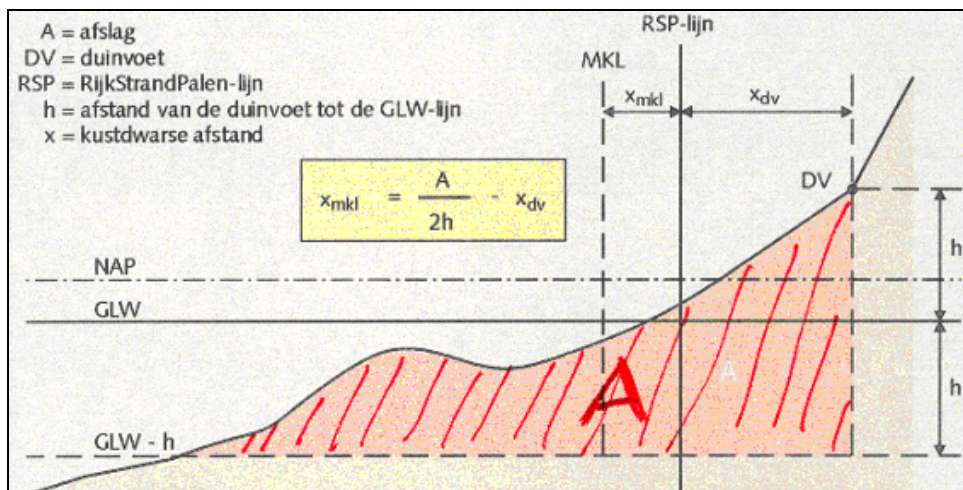
Er dient te worden opgemerkt, dat de in dit hoofdstuk uitgevoerde berekeningen een indicatie geven van de consequenties van de overgang van de WST- naar de LRK- meetsystemen op de te berekenen MKL's en TKL's. Omdat het verschil tussen de twee meetsystemen willekeurig blijkt te variëren per gebied en per meetjaar, is het onmogelijk om voor dit verschil te corrigeren in de vorm van een generieke rekenregel.

8.1 Berekening MKL

In Figuur 44 is grafisch weergegeven hoe de MKL (de momentane kustlijn) door RIKZ wordt berekend. De figuur komt uit 'Leidraad zandige kust'. Er geldt:

$$MKL = x_{mkl} + x_{dv} = \frac{A}{(2 * h)} \quad (1)$$

waarbij: MKL = Kustdwarse afstand van de MKL t.o.v. duinvoet (DV)
 Xmkl = Kustdwarse afstand van de MKL t.o.v. de Rijksstrandpalenlijn
 Xdv = Kustdwarse afstand van de Duinvoet t.o.v. de Rijksstrandpalenlijn
 h = Hoogte van de duinvoet t.o.v. de Gemiddelde Laagwaterstand (GLW)
 A = Afslag



Figuur 44: Berekening van de momentane kustlijn (uit 'Leidraad zandige kust')

Het oppervlak A (het rood gearceerde deel) en de hoogte h zijn van belang voor de berekening van de MKL en worden in deze figuur uitgelegd. De MKL is gebaseerd op de zandinhoud per meter kustlijn onder het profiel van het zee- en strandgedeelte en boven een ondergrens. Het profiel van zowel het zee- als het strandgedeelte moeten dus bekend zijn om de MKL te kunnen berekenen. De GLW (gemiddelde laagwaterstand) en de DV (duinvoet) bepalen daarbij de onder- en bovengrens van het oppervlak A. De hoogte "h" is het verschil tussen de GLW en de DV.

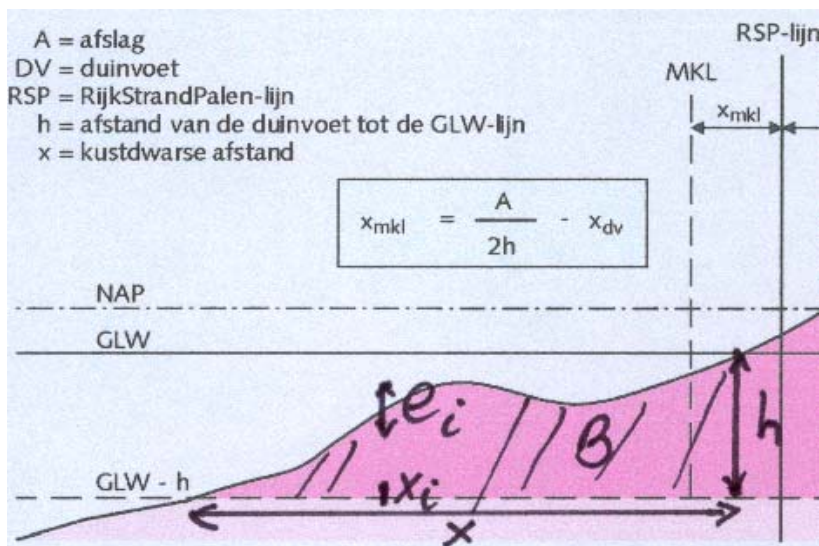
In de voorgaande hoofdstukken is aangetoond dat de LRK-metingen een hogere precisie hebben dan de WST-metingen. De LRK-dieptemetingen gebruiken we dus als de beste schatting van het werkelijke zeeprofiel. Met nadruk wordt erop gewezen, dat hiermee de LRK metingen niet als foutloos verondersteld mogen worden, echter van de twee beschikbare datasets zal deze de werkelijkheid naar alle waarschijnlijkheid het beste benaderen.

De MKL vermenigvuldigd met het hoogteverschil ($2 \cdot h$) is het betreffende aantal kubieke meters zand over een kustlijn lengte van 1 meter. Door de gemiddelde waarde over alle profielen te nemen en deze te vermenigvuldigen met de lengte van de kustlijn wordt de totale zandinhoud langs de kustlijn berekend.

8.2 Berekening verdeling MKL met de LRK-WST diepteverschillen

Uit de analyses in hoofdstuk 5 blijkt dat de LRK-WST diepteverschillen van een raai goed beschreven kunnen worden door een normale verdeling (door het gemiddelde en de standaardafwijking). De (verticale) verdeling van de LRK-WST diepteverschillen resulteert in een (horizontale) verdeling van de MKL (zie de sommatie (2) hieronder).

Voor het schatten van de standaardafwijking van de MKL op basis van de gemeten LRK-WST diepteverschillen is alleen het zeeprofiel van belang, want het landprofiel is identiek voor beide datasets. Door alleen raaien te selecteren met dieptemetingen over het hele bereik van de ondergrens GLW-h tot GLW (B, het zwart gearceerde deel in Figuur 45), zijn de schattingen van de standaardafwijkingen van de MKL door de LRK-WST diepteverschillen met elkaar te vergelijken.



Figuur 45: Berekening verschillen van de momentane kustlijn door de LRK-WST diepteverschillen

Er geldt:

$$\Delta MKL = \frac{\Delta A}{(2 * h)} = \frac{\Delta B}{(2 * h)} = \frac{\sum e_i * dx_i}{(2 * h)} \text{ en } \Delta Z_{\text{and}} = \Delta B * L = L * \sum e_i * dx_i \quad (2)$$

- met:
- ΔMKL = de MKL-verschuiving door de LRK-WST diepteverschillen e_i in meters
 - L = Kustlengte L in meters
 - ΔZ_{and} = het verschil in kubieke meters zand door de LRK-WST diepteverschillen e_i bij een kustlengte L
 - ΔB = het verschil in de zandinhoud onder het LRK- en WST-zeeprofiel per meter kust
 - e_i = de gemeten LRK-WST diepteverschillen van een raai (met dieptemetingen over het hele bereik $GLW-h - GLW$)
 - dx_i = de afstandsverschillen tussen twee meetpunten (x_i, x_{i-1}) van de gevaren raai geprojecteerd langs de theoretische raai

De onderzoeksvraag is nu: gegeven de verdelingsfunctie van de LRK-WST diepteverschillen, wat zijn dan de verdelingsfuncties van ΔMKL en ΔZ_{and} . In het bijzonder zijn we geïnteresseerd in de standaardafwijkingen van ΔMKL en ΔZ_{and} . In bijlage 8 zijn de verdelingfuncties van ΔMKL en ΔZ_{and} verder uitgelegd en uitgewerkt.

Uit de analyse (zie hoofdstuk 5 en 7) blijkt, dat voor het merendeel van de metingen bij Texel de LRK-WST diepteverschillen gecorreleerd zijn. Er is immers met hetzelfde vaartuig op hetzelfde tijdstip gemeten, waarbij er alleen gebruik gemaakt is van verschillende manieren van waterstandsreductie en waarbij alle onderzochte tijdreeksen van de diepteverschillen secundewaarden zijn. De mate van de (auto-)correlatie van de diepteverschillen wordt in de statistische berekeningen van de verdelingsfuncties ΔMKL en ΔZ_{and} meegenomen.

8.3 Resultaten

Voor Texel zijn 22 van de 297 raaien geselecteerd, die voldoen aan het criterium, dat de diepte langs een Jarkusraai gemeten is over het hele bereik van de ondergrens ($GLW - h$) tot aan de GLW . De lengte van de raai en de grootte van de LRK-WST diepteverschillen zijn bepalend voor de berekening van ΔMKL en ΔZ_{and} (respectievelijk de MKL-verschuiving en de betreffende hoeveelheid zand per meter kust). Hiervan zijn het gemiddelde (m) en de standaardafwijking (σ) berekend. In onderstaande tabel zijn de verdelingen op raainiveau met het minimum, maximum en gemiddelde waarden van de ΔMKL en ΔZ_{and} (de hoeveelheid zand per strekkende meter) weergegeven.

Raainr	MKL	Lengte	LRK-WST		ΔMKL		ΔZand	
			raai	m 1	σ 1	m2	σ2	m3
900	243	771,28	-0,14	0,04	-13,49	1,58	-104,38	12,20
960	222	206,25	-0,13	0,03	3,16	0,40	24,48	3,13
976	207	239,91	-0,05	0,03	-1,73	0,46	-13,39	3,57
1000	181	236,99	-0,01	0,04	-0,24	0,69	-1,89	5,32
1001	174	229,23	-0,07	0,14	-2,19	0,57	-16,99	4,42
1033	194	225,70	0,02	0,04	0,44	0,79	3,40	6,15
1053	202	240,56	0,00	0,05	-0,06	1,14	-0,46	8,81
1073	203	243,15	-0,03	0,07	-0,92	1,87	-7,14	14,51
1093	186	246,76	0,01	0,05	0,34	1,16	2,62	9,04
1108	181	272,40	0,03	0,07	0,17	1,76	1,30	13,71
1128	184	298,72	0,00	0,09	0,11	2,42	0,82	18,82
2860	290	334,96	-0,04	0,05	-2,94	1,45	-17,64	8,69
2880	290	298,14	-0,05	0,07	-1,92	2,29	-11,54	13,74
2900	282	239,55	-0,08	0,07	-3,38	2,34	-16,89	11,72
2901	288	318,00	-0,09	0,05	-5,40	1,75	-26,99	8,73
2937	385	240,92	-0,04	0,06	-2,68	1,41	-13,39	7,05
2957	425	268,25	-0,09	0,07	-5,94	1,51	-29,70	7,56
2977	475	232,93	-0,06	0,05	-2,35	1,11	-11,77	5,56
3001	517	282,88	-0,07	0,05	-2,33	0,61	-11,66	3,06
3021	590	237,42	-0,02	0,05	-1,28	0,72	-6,38	3,62
3041	684	73,10	0,00	0,02	1,01	0,06	5,05	0,32
3061	685	155,57	0,00	0,03	-1,03	0,32	-5,14	1,62
min		73,10	-0,14	0,02	-13,49	0,06	-104,38	0,32
max		771,28	0,03	0,14	3,16	2,42	24,48	18,82
gem		267,85	-0,04	0,06	-1,94	1,38	-11,71	9,07

Tabel 11: Gemiddelden en de standaardafwijkingen van de LRK-WST verschillen, de MKL's en de hoeveelheid zand per strekkende meter van raaien

Hierin zijn de volgende waarden opgenomen:

- Raainr Nummer van de meetraai waarvoor de berekening is uitgevoerd
- MKL Opgegeven waarde voor de momentane kustlijn ter plaatse
- Lengte raai Lengte van het deel van de raai tussen GLW – h en GLW
- LRK-WST Verschil tussen LRK en WST meting
- ΔMKL het MKL-verschil door de LRK-WST diepteverschillen
- ΔZand het verschil in kubieke meters zand door de LRK-WST diepteverschillen
- m1, m2, m3 gemiddelden
- σ1, σ2 en σ3 standaardafwijkingen

Let wel: de gemiddelde waarden wijken af van de gemiddelde waarden, zoals weergegeven in hoofdstuk 5. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat een selectie van 22 raaien van het totale aantal raaien wordt gebruikt om deze waarden te berekenen.

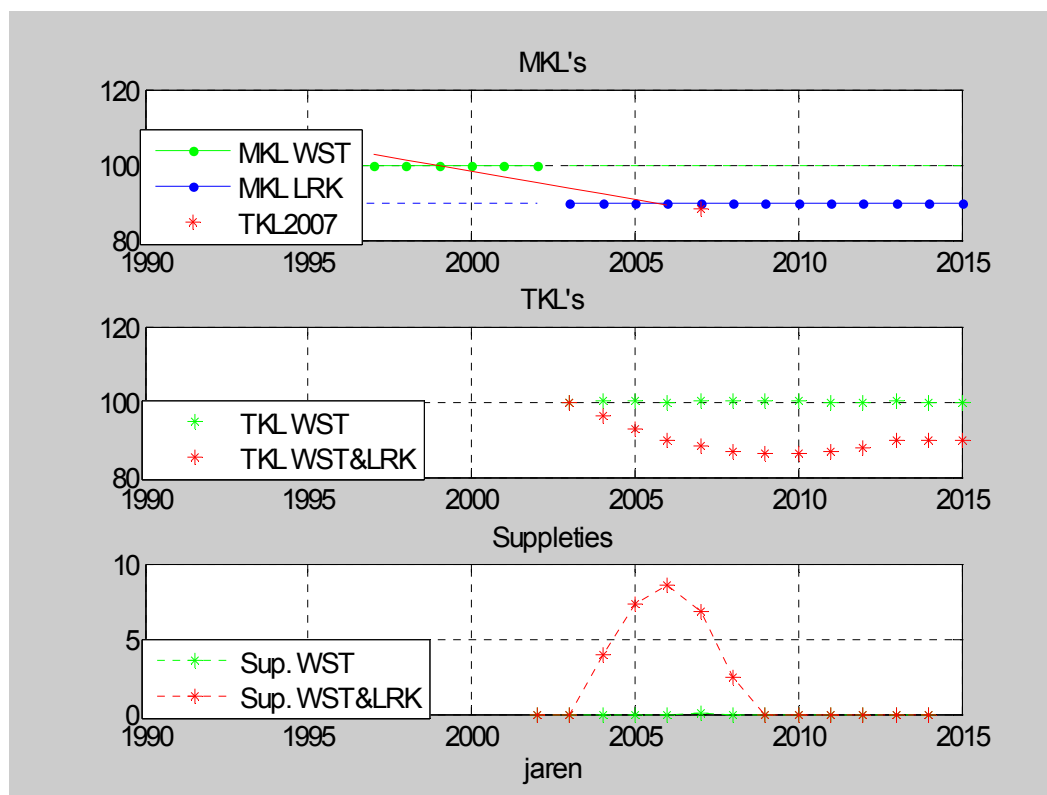
Uit voorgaande hoofdstukken blijkt dat het LRK-meetsysteem betrouwbaarder is dan het WST-meetsysteem. De BKL (basiskustlijn), waarop jaarlijks getoetst wordt, is in het verleden vastgesteld op basis van metingen met het WST-meetsysteem. De uitkomsten van Texel in bovenstaande tabel geven aanleiding te veronderstellen dat de MKL's bepaald met het LRK-meetsysteem als gevolg van de verschillen tussen het LRK- en WST-meetsysteem gemiddeld 1.9 meter landwaarts zijn verschoven, met een standaardafwijking van 1.4 m. In de digitale bijlage DIG13 en in paragraaf 8.6 zijn de uitkomsten gegeven van (een aantal van) de overige gebieden.

In de bovenstaande tabel is de gemiddelde hoeveelheid zand berekend per meter kustlijn (L=1 in vergelijking (2)). De kustlijn lengte tussen de eerste en de laatste raai is 21,6 km lang. Dit betekent voor dit kustdeel een totale hoeveelheid zand door de LRK-WST diepteverschillen van $-253.000 m^3$ ($-11.71 \times 21.600 m$) met een standaardafwijking van $195.900 m^3$.

8.4 Inleiding TKL

De ligging van de te toetsen kustlijn TKL op 1 januari van het jaar T wordt berekend door uit te gaan van de ligging van de tien (momentane kustlijn) MKL-punten in de jaren (T-10) tot en met (T-1). Een vergelijking van de ligging van het berekende TKL-punt met de ligging van het basiskustlijn punt of BKL-punt voor die raai levert informatie op voor de effectuering van de kustlijn zorg. Een (dreigende) overschrijding in landwaartse richting van de BKL van 1990 door de TKL kan tijdig worden gesignaleerd en kan aanleiding geven tot het uitvoeren van zandsuppleties ter plaatse.

In onderstaande figuur is een simulatie weergegeven, van de consequentie van een trendbreuk in de dieptemetingen als gevolg van de overstap van het WST- naar het LRK-meetsysteem in 2002.



Figuur 46: Simulaties van MKL, TKL en zandsuppleties

In Figuur 46 zijn de grafieken weergegeven van gefingeerde MKL's, de berekening van TKL's en de zandsuppleties die uitgevoerd moeten worden om de overschrijding van de kustlijn in landwaartse richting te compenseren.

In de eerste grafiek zijn gefingeerde MKL's van een enkele raai gegeven. De MKL's hebben t/m 2002 de waarde 100 en vanaf 2003 de waarde 90. De trends van de groene en blauwe MKL-punten zijn gelijk aan nul. In 2003 is er een omschakeling van het WST- naar het LRK-meetsysteem. Het LRK-meetsysteem meet dieper dan het WST-meetsysteem, als gevolg waarvan er in 2003 een trendbreuk ontstaat en waardoor de MKL's vanaf 2003 een fractie kleiner worden.

De TKL waarde van 2007 wordt berekend met lineaire regressie van 10 MKL's van 1997 t/m 2006, 6 MKL-waarden 100 van 1997 t/m 2002 en 4 MKL-waarden 90 van 2003 t/m 2006 van het LRK-meetsysteem. De berekende TKL voor 2007 is 88. Door de trendbreuk is de TKL van 2007 kleiner dan 90, de TKL-waarde van 2013. Vanaf 2013 wordt de TKL berekend op basis van 10 MKL's van het LRK-meetsysteem.

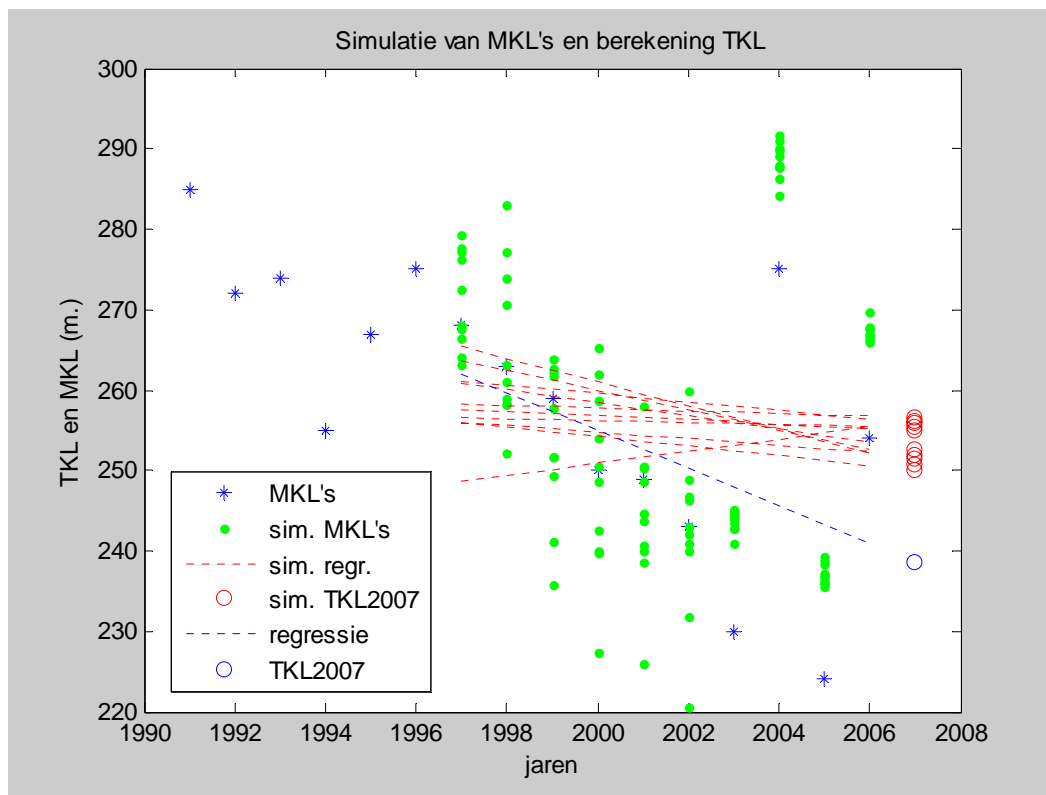
In de tweede grafiek zijn de TKL's van het WST-meetsysteem en de TKL's van deels het WST- en deels het LRK-meetsysteem gegeven. In de grafiek is duidelijk te zien dat door de trendbreuk in 2003 en door de negatieve trends de TKL's na 2003, kleiner worden dan 100 en uiteindelijk convergeren naar de waarde 90, de TKL van 2013. De TKL's van 2007 t/m 2012 zijn zelfs kleiner dan 90 door de trendbreuk. Als gevolg van de relatief kleine waarden voor de TKL na 2003 door de trendbreuk zal men dus meer zand suppleren in de eerste jaren na 2003 dan na 2007.

In de derde grafiek is een simulatie van de zandsuppleties gegeven op basis van het verschil TKL–BKL, met BKL gelijk aan 100. De grootte van de zandsuppletie neemt vanaf 2004 toe tot aan 2006 en neemt vervolgens af. De simulatie geeft nogmaals aan dat door de trendbreuk er dusdanige negatieve trends en relatief kleine TKL's berekend worden, dat er in de eerste jaren na de omschakeling van het WST- naar het LRK-meetsysteem, er te veel zand wordt gesuppleerd.

8.5 Berekening verdeling van de TKL-verschillen door de LRK-WST diepteverschillen

In het onderstaande berekenen we de verdeling van de TKL-verschillen op basis van de gemeten LRK-WST diepteverschillen. Gegeven de verdelingsfunctie van de MKL van een raai en een verhouding van de precisie van het LRK- en het WST-meetsysteem, aannemende dat t/m 2002 met het WST-meetsysteem is gelood en de daarop volgende jaren met het LRK-meetsysteem, kan de standaardafwijking van de TKL van 2007 met bijbehorende 10-jaars trend berekend en gesimuleerd worden.

Voor de onbekende parameter, de verhouding van de precisie van LRK- en WST-meetsysteem, is de factor 5 gekozen (een maximale waarde, zie hoofdstukken 3 en 6). De standaardafwijking van de MKL's t/m 2002 is dus σ_2 en van 2003 t/m 2006 $1/5 \times \sigma_2$. Op basis hiervan is de TKL berekening voor 2007 gesimuleerd met behulp van de zogenaamde Monte-Carlo methodiek, met daarbij de aanname dat de MKL's normaal verdeeld zijn.



Figuur 47: Simulatie van de TKL 2007

Figuur 47 geeft een toelichting op het berekenen van de TKL 2007 (blauw) en de simulaties van de TKL.2007 (rood). De blauwe MKL waarden zijn afkomstig van het RIKZ. De groene MKL waarden vertegenwoordigen dezelfde waarden gecorrigeerd voor de verwachte fouten in de MKL berekening op basis van de tabel van paragraaf 8.3.

De groene waarden simuleren het WST-meetsysteem. De gesimuleerde normale verdeling van de ΔMKL 's is t/m 2002 $N(0, \sigma^2)$ en na 2002 $N(-m2, \sigma^2/5)$. Het WST-meetsysteem meet gemiddeld minder diep dan het LRK-meetsysteem en dit betekent dat de gesimuleerde MKL's vanaf 2003 groter zijn en meer zeewaarts liggen, dan de MKL-waarden van RIKZ.

Het verschil tussen de TKL-waarden van RIKZ en de gesimuleerde TKL-waarden is de ΔTKL . De σTKL is de standaardafwijking van de gesimuleerde TKL's (rood).

In de onderstaande tabel zijn de resultaten gegeven van het minimum, maximum en het gemiddelde van de verdeling van de TKL's van 2003 t/m 2007 bij Texel. Op de tweede rij is het begin- en eindjaar van de tijdreeks van jaarwaarden van de MKL's gegeven. In de digitale bijlage DIG13 zijn alle resultaten opgenomen van individuele raaien.

	2003		2004		2005		2006		2007	
	1993-2002		1994-2003		1995-2004		1996-2005		1997-2006	
TKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL
Min	-0,32	0,07	-7,71	0,05	-12,49	0,04	-15,22	0,03	-16,17	0,02
Max	0,10	2,65	1,81	2,01	2,93	1,49	3,56	1,03	3,80	0,71
Gem	-0,03	1,55	-1,38	1,14	-2,27	0,82	-2,76	0,59	-2,93	0,43

Tabel 12: Berekende verschillen en standaardafwijkingen van de TKL bij Texel op basis van jaarreeksen van de MKL's

In de kolommen 3 en 4 zijn de resultaten gegeven voor TKL 2003, waarbij de Δ MKL's voor alle jaren van 1993 t/m 2002 dezelfde verdelingsfunctie hebben namelijk $N(0, \sigma^2)$. De Δ TKL is dan rond 0 en de σ TKL is van de orde van grootte van σ . De kleine afwijkingen worden veroorzaakt door de simulatie.

Vanaf 2003 wordt de verdelingsfunctie van de Δ MKL $N(-m2, \sigma^2/5)$. De σ TKL neemt duidelijk af bij de berekening van de Δ TKL voor 2003 tot 2007. De σ TKL van 2007 is gemiddeld een factor 3,64 kleiner dan de σ TKL van 2003. De gemiddelde waarden voor de Δ TKL voor de verschillende jaren na 2002 worden uiteraard groter in absolute zin. De gemiddelde waarde voor Δ TKL van 2007 is -2,93 m.

Direct vergelijkbaar met de Δ MKL's kunnen de Δ TKL's omgerekend worden naar hoeveelheden zand per meter kust, door vermenigvuldiging met de hoogte $2 \cdot h$ (met h is afstand tussen de duinvoet en de GLW). Door vermenigvuldiging met een kustlijn lengte kan de betreffende hoeveelheid zand van een gebied berekend worden.

8.6 Berekeningen Δ MKL en Δ TKL voor overige kustgebieden

Bovenstaande berekeningen voor de Δ MKL en Δ TKL zijn eveneens uitgevoerd voor de waddeneilanden Vlieland, Terschelling en Ameland. De bijbehorende tabellen hiervoor zijn te vinden in de digitale bijlage DIG 13.

Regio	Lengte Kust (km)	raaien aantal	LRK-WST		Δ MKL		Δ Zand per meter		Δ Zand per gebied		Δ Zand per 300 km	
			m	σ	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ
Texel	21,6	22	-0,042	0,061	-1,94	1,38	-11,71	9,07	-253002	195917	-3513916	2721075
Vlieland	23,6	64	-0,042	0,052	-0,58	0,89	-4,726	7,253	-111543	171178	-1417924	2175994
Terschelling	41,2	37	-0,106	0,056	-2,5	1,58	-20,56	13,02	-847094	536528	-6168161	3906758
Ameland	27,4	27	-0,171	0,084	-3,13	2,03	-20,65	13,4	-565678	367104	-6193554	4019386
Gemiddeld	28.4	38	-0,091	0,063	-2,04	1,47	-14,41	10,69			-4323389	3205803

Tabel 13: Gemiddelde en standaardafwijking van de LRK-WST diepteverschillen (m) de verschuiving in MKL en de betreffende hoeveelheden zand

De gemiddelde momentane kustlijn (MKL) van de vier waddeneilanden verschuift op basis van het LRK-meetsysteem als gevolg van de verschillen tussen het LRK- en WST-meetsysteem gemiddeld 2 meter landinwaarts, met een standaardafwijking van 1.5 m.

In de laatste kolommen van bovenstaande tabel zijn de volumeverschillen gegeven van de Nederlandse kustlijn als de volumeverschillen per gebied representatief zouden zijn voor de gehele kustlijn, waarvan is aangenomen, dat deze een totale lengte heeft van 300 km.

Het is duidelijk dat de verschillen in de hoeveelheden zand groot zijn voor de verschillende meetgebieden. Door het gemiddelde te nemen van de vier onderzochte gebieden, kan worden geconcludeerd dat, uitgaande van de veronderstelling dat, deze gegevens representatief zijn voor de Nederlandse kustlijn, er sprake is van een schijnbaar zandverlies van 4,32 miljoen m^3 met een gemiddelde standaardafwijking van 3,21 miljoen m^3 als gevolg van de gewijzigde meetmethodiek.

Regio	Raaien aantal	2003		2007		factor kleiner	2003		2007	
		Δ TKL	σ TKL	Δ TKL	σ TKL		Δ Z_TKL	σ Z_TKL	Δ Z_TKL	σ Z_TKL
Texel	22	-0,03	1,55	-2,93	0,43	3,64	-0,18	9,37	-19,29	2,80
Vlieland	64	-0,01	0,97	-0,98	0,28	3,50	-0,06	7,89	-7,98	2,25
Terschelling	37	-0,01	1,62	-3,13	0,60	2,69	-0,11	13,38	-25,76	4,98
Ameland	27	-0,02	2,19	-4,20	0,65	3,38	-0,10	14,42	-27,72	4,27
Gem	38	-0,02	1,64	-2,81	0,51	3,30	-0,11	11,59	-20,18	3,74

Tabel 14: Gemiddelde en standaardafwijking van de TKL-verschuiving van de te toetsen kustlijn TKL en de betreffende hoeveelheid zand Δ Z_TKL per meter kustlijn op basis van de verdeling van de MKL-verschuiving van 2002

De TKL-verschuiving (Δ TKL) van 2002 is rond 0 omdat de TKL is berekend op basis van de 10 MKL's van het WST-meetsysteem. De gesimuleerde TKL-verschuiving van 2007 is landwaarts omdat het LRK-meetsysteem gemiddeld dieper meet dan het WST-meetsysteem en deze TKL is berekend op basis van 6 jaarwaarden van MKL's tot 2003 bepaald met het WST-meetsysteem en 4 jaarwaarden MKL's vanaf 2003 met het LRK-meetsysteem.

De berekening van TKL van 2013 op basis van de 10 MKL's vanaf 2003 zal alleen gebaseerd zijn op de precisie van het LRK-meetsysteem. De schatting voor de verdeling van de Δ TKL van 2013 is in de orde van de verdeling van Δ MKL in tabel 3 met een standaardafwijking gedeeld door de factor vijf van de hogere precisie van het LRK-meetsysteem t.o.v. WST-meetsysteem.

8.7 Gevolgen voor kustlijnzorg

Uit het bovenstaande blijkt dat als gevolg van de overgang van de WST- naar de LRK meetmethodiek in 2003 er sprake is van een schijnbaar zandverlies in de orde van in totaal 4 miljoen m³. Omdat de kustlijntoetsing is gebaseerd op 10 jarige trends wordt deze geschatte 4,32 miljoen m³ verdeeld over de jaren 2004 t/m 2008, zoals is aangetoond met de simulatie in Figuur 46. Dit betekent dat het grootste effect van de verandering in de meetmethodiek op dit moment (2007) al achter de rug is.

In Nederland wordt jaarlijks een vaste hoeveelheid van 12 miljoen m³ zand gesuppleerd. Ongeveer 6 miljoen m³ zand is bestemd voor de kustlijnhandhaving (korte termijn) en de andere 6 miljoen m³ zand voor het zogenaamde kustfundament, zodat Nederland kan meegroeien met de zeespiegelstijging (lange termijn). Het schijnbare zandverlies als gevolg van de omschakeling van het WST- naar het LRK- meetsysteem kan er toe hebben geleid dat er de afgelopen jaren teveel zand is gesuppleerd onder de noemer kustlijnhandhaving. Dit betekent echter niet dat er in totaal teveel zand is gesuppleerd, want dit zand heeft wel bijgedragen aan de handhaving van het kustfundament. Alleen de verdeling van de 12 miljoen m³ zand tussen kustlijnhandhaving en kustfundament is gewijzigd. Op de totale suppletiehoeveelheid van 12 miljoen m³ zand heeft de veranderde meetmethodiek geen invloed gehad.

Door de willekeurige variaties en de verschillende foutenbronnen in de LRK- en WST lodingen is het onmogelijk om aan te geven waar en wanneer deze diepteverschillen optreden en wat de exacte grootte is van deze verschillen. Het is daarom ook onmogelijk voor deze verschillen te corrigeren. Wel is het belangrijk dat Rijkswaterstaat zich bewust is van het feit dat het berekende zandverlies aan de Nederlandse kust in bovengenoemde periode slechts een schijnbaar zandverlies is.

9 Conclusies en aanbevelingen

Als gevolg van de vervanging van de WST methodiek bij lodingen door de LRK methodiek is een verschil geconstateerd in de gemeten bodemhoogtes van beide methoden. De diepteverschillen tussen de WST en LRK metingen zijn op drie manieren onderzocht:

- Verschillende individuele foutenbronnen
- Verschillende gebieden met verschillende eigenschappen
- Verschillende vaartuigen met verschillende eigenschappen

Tijdens het onderzoek is gebleken dat bij de verschillende meetdiensten verschillende dataverwerkingsmethoden worden gebruikt, die het genereren van een generieke rekenregel voor de gehele Nederlandse kust compliceert. Onderstaand zijn de conclusies per meetgebied weergegeven op basis van de analyses van de datasets. Uiteindelijk is op basis van de gegevens een indicatie te geven over de consequenties voor de kustlijnligging en de daarmee gepaard gaande hoeveelheden zand/suppleties langs de Nederlandse kust.

9.1 Conclusies aangetoonde Fouten per Meetgebied

De beschikbaarheid van data en metadata is zeker niet optimaal. Er is een grote verscheidenheid aan bestandstypen en aangeleverde (meta-) data per meetgebied en/of meetdienst. Dit bemoeilijkt de vergelijking en analyse (op de langere termijn) van de data.

Per dataset worden de volgende, gebiedsspecifieke, foutenbronnen aangetroffen:

Conclusies Zeeland

- False heave De geconstateerde fouten lopen op tot circa 0.5 meter.
- Squat. Geconstateerd zijn squateffecten van circa 0.15 meter.
- Functioneren LRK systeem. Het lijkt alsof er regelmatig is gelood met een onbetrouwbaar LRK systeem. Dit kan afwijkingen van enkele centimeters tot decimeters veroorzaken.

Conclusies Delfland / Rijnland

In de datasets van Delfland en Rijnland worden drie potentiële foutenbronnen geïdentificeerd welke zich in de gehele dataset voordoen:

- False heave
- Foutieve toepassing heave data op WST-data. Deze zal over langere afstand uitmiddelen.
- Squat

Daarnaast lijken er ook waterstand gerelateerde effecten in de dataset aanwezig te zijn. De conclusie ten aanzien van squat en waterstand gerelateerde fouten wordt ondersteund door een eerder uitgevoerde analyse door AMO [9]. Hier werden fouten tot 0.19 m aangetroffen. De conclusie ten aanzien van false heave en foutieve heave toepassing kan in dit geval niet bevestigd worden door analyse van de ruwe data, wegens het ontbreken hiervan.

Conclusies Noord-Holland

- Nagenoeg alle gecontroleerde waterstands datasets lijken beïnvloed te zijn door de toepassing van een foutief waterstandmodel. De verschillen als gevolg hiervan kunnen oplopen tot gemiddeld circa 0.2 meter, met uitschieters naar 0.6 meter.
- False heave. De geconstateerde fouten lopen op tot circa 0.2 meter.
- Squat. Geconstateerd zijn squateffecten van circa 0.15 meter.

Conclusies Noord-Nederland

In de datasets worden vier potentiële, systematische, foutenbronnen geïdentificeerd welke zich in de gehele dataset voordoen:

- Een effect wat lijkt op false heave, maar feitelijk veroorzaakt wordt door het kantelen van de GPS antenne bij het versnellen / vertragen van het vaartuig. Dit effect treedt voornamelijk op bij de LRK gecorrigeerde metingen en kan afwijkingen van enkele centimeters tot decimeters tot gevolg hebben.
- False heave bij de Blauwe Slenk. Er zijn fouten geconstateerd met een amplitude van circa 0.2 meter.
- Door het ontbreken van een heave sensor werkt de verticale beweging van het vaartuig door in zowel LRK als WST metingen. Het effect is bij WST metingen het grootst.
- Squat. Geconstateerd zijn squateffecten van circa 0.15 meter.

Wat verder opvalt bij de metingen:

- Ontbreken van een heave sensor bij de metingen die veelal in de brandingszone worden uitgevoerd.

9.2 Conclusies statistische verwerking

Voor de regio's Vlieland, Ameland, Terschelling en Texel geven de selecties per vaartuig en per dag, op een enkele uitzondering na, een goede beschrijving d.m.v. een normale verdelingsfunctie (is bepaald door het gemiddelde en de standaardafwijking) van de LRK-WST dieptemetingen. De LRK-WST dieptemetingen van Noord-Holland bevatten veel uitbijters en zijn in veel gevallen op dagniveau niet goed statistisch te beschrijven. Indien echter gecorrigeerd wordt voor de diepgang van de vaartuigen zijn de LRK-WST diepteverschillen van de regio Noord-Holland vergelijkbaar met de LRK-WST diepteverschillen van de andere regio's Vlieland t/m Texel.

Regio	LRK-WST	
	M	σ
Texel	-0,042	0,061
Vlieland	-0,042	0,052
Terschelling	-0,106	0,056
Ameland	-0,171	0,084
Gemiddeld	-0,091	0,063

Tabel 15: Gemiddelde diepteverschillen LRK-WST

Bovenstaande tabel geeft de gemiddelde verschillen voor de LRK-WST metingen en de standaardafwijkingen. De data van de Waddeneilanden zijn gebruikt omdat deze van alle gebieden het meest representatief zijn.

Over het algemeen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Systematische fouten met variabele spreiding
- Waterstandcorrectie gebeurt niet of niet goed
- Datasets zijn onderling niet vergelijkbaar omdat er geen duidelijk herleidbare oorzaken voor de verschillen zijn
- Per meetdienst geen consistente werkwijzen
 - bijvoorbeeld ten aanzien van wel of niet uitvoeren van kalibraties
 - wijze van bepalen van het geluidsprofiel (of gem. snelheid)
 - wel of niet varen van controle raaien
- er is geen generieke regel te bepalen

9.3 Conclusies Waterstandanalyse

De aanwezigheid van afnemende of toenemende trends in de gemiddelden van LRK-WST diepteverschillen op raainiveau duidt in een groot aantal gevallen op een relatie tussen de diepteverschillen en de waterstandcorrectie. Door de waterstandcorrectie te variëren in de tijd blijkt echter dat de getijfase niet de enige foutenbron is voor het verklaren van de LRK-WST diepteverschillen.

9.4 Conclusies Squatmodel

In het algemeen blijkt dat het erg lastig is om de squat samen met een constante fout te schatten. De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn de 'false heave', uitschieters in de LRK-WST diepteverschillen, autocorrelatie in de LRK-WST diepteverschillen, de fout in het berekenen van de actuele waterdiepte en de vertraging tussen een verandering in de actuele waterdiepte of snelheid van het vaartuig en de daarop volgende reactie van het vaartuig.

9.5 Eindconclusies

Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat lodingen die met LRK zijn uitgevoerd minder gevoelig zijn voor grote fouten dan WST lodingen.

In alle aangeleverde bestanden zijn meerdere foutenbronnen aangetroffen, die effect hebben op de vergelijking tussen LRK en waterstandgecorrigeerde data. De volgende foutenbronnen zijn bij alle datasets aangetroffen:

- False heave
- Squat
- Toepassing waterstandcorrectie

Op basis van de aangeleverde data langs de gehele Nederlandse kust kan worden geconcludeerd dat een gemiddeld verschil wordt geconstateerd van ongeveer -0,10 meter met een standaardafwijking van 0,12 meter. Het LRK-meetsysteem meet dus over het algemeen dieper dan het WST-meetsysteem.

Voornamelijk als gevolg van de invloed van de waterstandcorrecties blijken de verschillen echter sterk en willekeurig te variëren per gebied, meetdag, meetjaar en vaartuig. Hierdoor is het niet mogelijk gebleken een generieke rekenregel te ontwikkelen met acceptabele nauwkeurigheden.

Voor de analyse van de gevolgen van meetmethodoek op de kustlijnligging is een representatieve dataset gekozen. Aangevuld met data, die door RIKZ zijn verstrekt, zijn berekeningen gemaakt van de zogenaamde MKL (de momentane kustlijn) en de TKL (te toetsen kustlijn).

Aannemende dat de geanalyseerde data representatief zijn voor de gehele Nederlandse kust kan worden geconcludeerd dat de MKL door de invoer van het LRK systeem relatief landinwaarts is verschoven over een afstand van gemiddeld 2.0 meter. Langs de gehele Nederlandse kustlijn betekent dat een verschil in volume van ca. 4,3 miljoen m³ zand.

De kustlijnligging wordt in Nederland gebaseerd op een 10 jarige trend. Dit wordt de te toetsen kustlijn genoemd (TKL). Een simulatie van de TKL toont aan dat genoemde MKL verschuiving in ca. 5 jaar volledig doorwerkt in de TKL. Sinds de overgang van WST naar LRK meetsystemen in 2003 is er daardoor verdeeld over ca. 5 jaar een schijnbaar zandverlies opgetreden in de orde van grootte van 4,3 miljoen m³.

In Nederland wordt jaarlijks een vaste hoeveelheid van 12 miljoen m³ zand gesuppleerd. Hiervan is de helft voor de korte termijn kustlijnhandhaving (gebaseerd op de TKL) en de helft voor het kustfundament. Het schijnbare zandverlies als gevolg van de omschakeling van het WST- naar het LRK- meetsysteem kan er toe hebben geleid dat er de afgelopen jaren teveel zand is gesuppleerd onder de noemer kustlijnhandhaving, maar dit heeft dan direct bijgedragen aan de handhaving van het kustfundament. Alleen de verdeling van de 12 miljoen m³ zand tussen kustlijnhandhaving en kustfundament is gewijzigd. Op de totale suppletiehoeveelheid van 12 miljoen m³ zand heeft de veranderde meetmethodiek dus geen invloed gehad.

Er is in het kader van dit onderzoek geen 'ground truthing' uitgevoerd met de LRK data. Dit is ook moeilijk, omdat deze uitgevoerd zou moeten worden met een systeem waarvan zeker is dat deze de juiste waarden geeft. Er is aan het projectteam geen data beschikbaar gesteld waarvoor deze garantie afgegeven kan worden. Een mogelijke controle is met landmeetkundige / laser altimetrie metingen, waarbij de dieptemetingen worden hieraan worden gekoppeld. Echter deze vergelijking is niet uitgevoerd in het kader van dit onderzoek.

9.6 Aanbevelingen

Om de maximale kwaliteit uit de uitgevoerde LRK metingen te halen is het noodzakelijk dat alle meetdiensten overgaan op een eenduidige meetprocedure. Dit maakt de metingen onderling vergelijkbaar.

Daarnaast moet aandacht geschonken worden aan het toepassen van de 'goede meetpraktijk'. Er worden regelmatig onzorgvuldigheden aangetroffen in de opname en verwerking van de data, waardoor de kwaliteit en controleerbaarheid van de data niet optimaal is. Voorbeelden hiervan zijn het toepassen van de geluidssnelheid, de invaarafstand aan het begin van de meetraai en de toepassing en kalibratie van sensoren zoals het gyrokompass en de standopnemer. Met behulp van audits kan regelmatig gecontroleerd worden of de acquisitie en verwerking van data op de correcte wijze gebeurt. Ook met het oog op de plannen, de Jarkuslodingen door marktpartijen uit te laten voeren, pleit voor een dergelijke aanpak.

Veel van bovenstaande zaken kan worden verholpen door duidelijk voorgeschreven meetprocedures en een goede begeleiding van het uitvoerende personeel, waarbij gewezen wordt op de potentiële gevolgen van een foutieve meting.

Ten aanzien van de opslag en uitwisseling van data dient een eenduidige vorm gekozen te worden met een eenduidige naamgeving. Daarnaast moeten de metadata duidelijk en eenduidig door alle meetdiensten worden ingevoerd en opgeslagen. Een potentiële oplossing voor het laatste probleem is het in 2006 Rijkswaterstaat-breed ingevoerde QMS. Verder dient vastgelegd te worden welke gegevens er voor de Jarkus lodingen beschikbaar moeten blijven en gedurende welke termijn.

Het blijkt onmogelijk te zijn om bij de berekening van de kustlijnligging statistisch verantwoord te corrigeren voor het effect van de omschakeling van het WST- naar het LRK- meetsysteem. Toch is het belangrijk dat Rijkswaterstaat zich bewust is van het feit dat een deel van het berekende zandverlies aan de Nederlandse kust tussen 2003 en 2009 slechts een schijnbaar zandverlies is.

Bronvermelding

Documenten / Bronnen

In de rapportage wordt verwezen naar onderstaande corresponderende literatuur en documenten.

- [1] Plan van Aanpak, RIKZ-1616: Gevolgen en omvang van verschillen LRK en waterstandgecorrigeerde dieptemetingen; februari 2006; Periplus Consultancy BV & AMO
- [2] AGI-GAM-2003-40: Inwinning "droge" JARKUS profielen langs Nederlandse kust; 12 november 2003; Adviesdienst Geo-informatie en ICT
- [3] AGI/110105/GAM010: Onderzoek naar efficiency verbetering kustlodingen; 17 december 2002; Adviesdienst Geo-informatie en ICT
- [4] Plan van Aanpak JARKUS 2004; december 2003; Informatiedienst Water-Noord-Holland
- [5] MD-GAM-2001-34: Onderzoek naar het verschil tussen multibeam / singlebeam op de rivieren; april 2002; Meetkundige Dienst
- [6] ZLMD-04.N.004: Nauwkeurigheid Vaklodingen Westerschelde en monding – de praktijk; mei 2004; Meet Informatiedienst Zeeland
- [7] MD-GAM-2002-30: Borging Boorproces; 2002; Meetkundige Dienst
- [8] Evaluatie Technische Resultaten Ketelmeer; 2002; Meet Informatie Dienst IJsselmeergebied
- [9] Foutenanalyse van de verschillen tussen LRK en waterstandgecorrigeerde dieptemetingen; 2001; AMO
- [10] Nauwkeurighedsanalyse Dieptemetingen; 1997; AMO
- [11] www.rdnap.nl
- [12] Box, G.E.P. and Jenkins, G.M. (1976): 'Time Series Analysis, Forecasting and Control'. Holden Day, San Francisco

Begrippenlijst

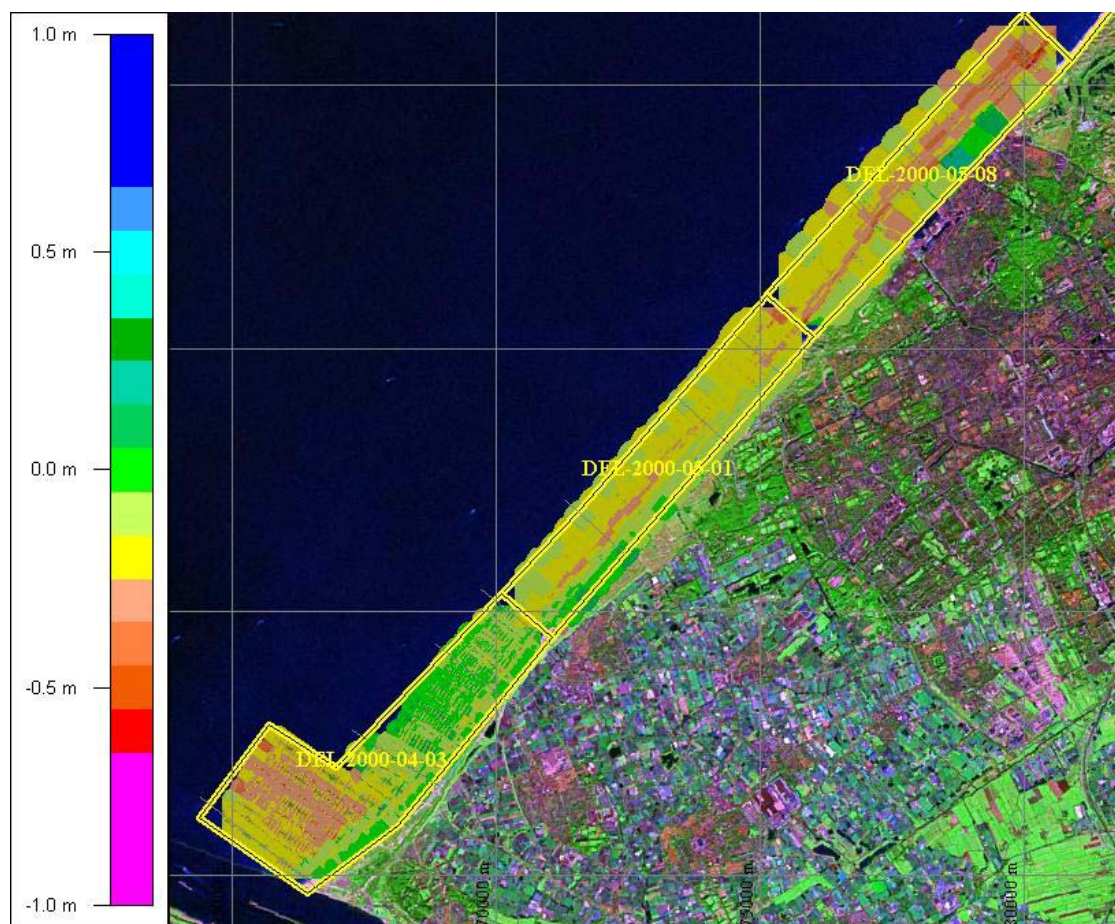
Deze begrippenlijst is gebaseerd op de definities zoals ze door IDSW zijn vastgelegd.

Begrip	Definitie
Azimuth	De hoek die een richting van standplaats naar richtpunt maakt met het noorden (positief met de wijzers van de klok mee)
Bessel ellipsoïde	Ellipsoïde model zoals toegepast voor Nederland
Betrouwbaarheid	De gevoeligheid van een meetontwerp voor modelfouten
Bewerkte data	Data aangepast/ bewerkt door: - filteren - schematiseren - smoothen - reduceren.
Blunder	Alle fouten die niet willekeurig of systematisch zijn. Deze fouten zijn vaak groot, en per definitie, onvoorspelbaar. Ze worden in de regel veroorzaakt door plotselinge veranderingen in de omgevingsomstandigheden, systeemfouten of gebruikersfouten
bootgeometriestelsel	Het stelsel van coördinaatassen waarin de vorm of elementen op een vaartuig vastgelegd kunnen worden. Meestal ligt de Y-as in de voorwaartse richting van het vaartuig. In het verleden werd vaakcentrale echolood transducer als nulpunt gekozen, tegenwoordig wordt hiervoor ook de motion sensor gebruikt.
Centraal referentie punt	Punt op het vaartuig ten opzichte waarvan het bootgeometrie stelsel gedefinieerd is
Coördinaat	Set kengetallen waarmee de ligging van een punt in een coördinaatstelsel wordt aangegeven
Coördinaatstelsel	Stelsel van drie assen die elkaar in een punt loodrecht snijden, waarmee ieder punt ruimtelijk vastgelegd kan worden met afstanden tot de X, Y en Z-as. Het stelsel wordt gedefinieerd door een oorsprong en oriëntering.
correctie	De numerieke waarde van de beste schatting die gemaakt kan worden van het verschil tussen de werkelijke en de gemeten waarde van een parameter
Dataverwerking	algemene term voor een reeks wiskundige algoritmen om een (grote) hoeveelheid data te verwerken tot bruikbare gegevens. Het teken is dusdanig dat de correctie opgeteld kan worden bij de waarneming als positief getal.
Datum-transformatie	Een transformatie van coördinaten in het ene coördinaatstelsel naar een ander coördinaatstelsel
dekking navigatiesysteem	Het deel van het voorziene werkgebied van het navigatiesysteem waarin positiebepaling met de afgesproken kwaliteit mogelijk is.
Differential Global Positioning System	Positiesysteem gebruik makend GPS en een speciaal opgesteld referentiestation voor XY bepaling.
echolood	Een meettoestel dat diepte meet doormiddel van één enkelvoudige neerwaarts gerichte akoestische bundel. Meting ontstaat door de looptijdmeting na uitzending - weerkaatsing - terugontvangst van een akoestisch signaal. Door de halve looptijd te vermenigvuldigen met de geluidssnelheid in water wordt de diepte bepaald.
Filteren	Door het gebruik van filters worden fouten verwijderd
Footprint	Bodemgebied dat door een bundel is aangestraald. (beluid)
Fout	Het verschil tussen een gemeten/benaderde waarde en de echte waarde. Omdat de echte waarde vaak niet bekend is, is ook de fout niet bekend (anders kon de fout worden verwijderd). Meestal is er wel aan te geven hoe groot de kans is dat de fout tussen bijvoorbeeld +2 en -2 cm in zit.
geïnterpoleerd gridpunt	De waarde van een 'niet aangetroffen' grid bepaald volgens een meestal berekende wijze uit omliggende positiewaarden van footprints of omliggende gridwaarden
Geodetisch datum	De parameters waarmee, direct of indirect, depositie van de oorsprong, de oriëntering van de coördinaatassen en de schaal van het coördinaatstelsel gedefinieerd zijn. Ook wel coördinaatdefinitie genoemd. Elk coördinaatstelsel heeft een datum.
Geoïdehoogte	Hoogte van de geoïde ten opzichte van de ellipsoïde
Gevalideerde data	Data waaruit alle missers of blunders zijn gehaald. Om met data te kunnen rekenen is het van belang dat alle missers (outliers) uit de data wordt gereduceerd
Global Positioning System	Een satelliet radio plaatsbepaling, navigatie en tijdbepalings systeem in beheer bij de Amerikaanse overheid

Grid	Een denkbeeldig raster op de aardoppervlakte, waarvan de vakgrootte, nulpunt en gridhoek zijn vastgesteld. Een grid is in de hydrografie een netwerk van aaneengesloten meestal vierkanten cellen. De randen van de cellen vormen dan het raster van het grid.
gyrokompas	Een instrument dat de hoek aangeeft van de langs-as van het vaartuig ten opzichte van het astronomische noorden (noordelijk deel van de as waar onze aarde om draait).
Heave	Vertikale afwijkingen van een vaartuig, veroorzaakt door golven en deining. Hierdoor varieert ook de sensorhoogte ten opzichte van een bepaald reductievlak of de gemiddelde zeestand
hellingstelsel	Stelsel van (haaks op elkaar staande) assen waarvan de helling van iedere as wordt gemeten. Er zijn drie assen mogelijk (roll, pitch en yaw) waarvan in de regel alleen roll en pitch bepaald worden.
herhaalbaarheid	De precisie van een navigatiesysteem alleen rekening houdend met de toevallige fouten. Hoe dicht bij elkaar liggen metingen als je een zelfde grootte meerdere keren na elkaar meet. Meestal uitgedrukt in een 95% cirkel
herhaalbare nauwkeurigheid	De nauwkeurigheid waarmee een gebruiker kan terugkeren naar een waarde gemeten op een vorig tijdstip en met ongecorrleerde waarnemingen van hetzelfde systeem. Dit is bijvoorbeeld van belang bij plaatsbepaling en geeft aan of een gebruiker op een eerder gemeten positie kan terugkeren
Interpolatie	Berekenen van waarden tussen gegeven punten of meetpunten in. Indien interpolatie heeft plaats gevonden, dan dient de methode te worden genoemd inclusief het steungebied tot hoe ver zijn gemeten punten gebruikt voor de interpolatie.
Squat / inzinking	De vaartuiginzinking ten opzichte van de waterspiegel veroorzaakt door vaart door het water.
Min-geoïde (de)	Model wat de afwijkingen beschrijft tussen het NAP vlak en de hoogteberekening via een ellipsoïde. Deze correcties zijn nodig voor het corrigeren van hoogten verkregen met een GPS ontvanger
nauwkeurigheid	Het totaal van precisie en betrouwbaarheid. Nauwkeurigheid kan dus niet alleen in cm's worden uitgedrukt maar moet worden gebruikt als een combinatie van precisie (bijvoorbeeld in cm) en een uitspraak over de mate van controle die er is. Dit begrip kan dus niet gebruikt worden als een losse kwaliteitsindicator. Het hoeft dus eigenlijk nooit te worden gebruikt.
Offset	Hoekverschil tussen nul-assen van de sensor met respectievelijk het XY vlak in X-richting, het XY vlak in Y-richting en het YZ vlak in Z-richting van het bootgeometriestelsel
Omwentelings-ellipsoïde	Mathematische figuur, die ontstaat door een ellips, met lange en korte as a en b te roteren om de korte as (kortweg: ellipsoïde)
Precisie	De spreiding van een stochastische grootte ten opzichte van haar gemiddelde. Wordt beschreven door een covariantiematrix. Een maat voor de precisie van een enkele grootte is de standaardafwijking (1 sigma). In de praktijk wordt met precisie soms ook de variantie σ^2 of bijvoorbeeld 2 sigma bedoeld. Soms wordt ook gesproken van een cm-nivo of dm-nivo, dit geeft dan tevens de resolutie van gegevens aan. Het is dus goed om bij onduidelijkheid te vragen welke precisie-maat nu eigenlijk wordt bedoeld. Bijvoorbeeld: met een precisie van 2 sigma = 10 cm wordt bedoeld dat 95% van de gevallen minder dan 10 cm van de werkelijke waarde afwijkt.
Real Time Kinematic DPGS Long Range Kinematic DGPS	Plaatsbepalingssysteem gebruik makend van DGPS voor zeer preciese XY en Z bepaling.
Reduceren	technieken om (complexe) data in grootte te reduceren, interferenties bij metingen mathematisch te corrigeren en om een verband te leggen tussen de gemeten waarden en hetgeen je wil weten.
Referentie-ellipsoïde	Wiskundig oppervlak (referentieoppervlak) dat gebruikt wordt als basis voor kaartprojecties
referentiestation	Station uitgerust met een GPS ontvanger en een radiozender gebruikt voor differentiele GPS metingen. De GPS ontvanger berekend zijn positie, deze wordt vergeleken met de bekende positie van het station. De correcties van de gemeten positie ten opzichte van de bekende positie worden middels een radio verbinding verzonden aan de overige ontvangers
Relatieve ligging/positie of hoogte	Positie of hoogte van een aantal punten ten opzichte van elkaar
Relatieve nauwkeurigheid	De nauwkeurigheid waarmee een gebruiker zijn positie kan bepalen in relatie tot de positie van een andere gebruiker van hetzelfde systeem op dezelfde tijd. Dit geeft aan in hoeverre twee gebruikers van hetzelfde systeem zich ten opzichte van elkaar kunnen positioneren

Residu	Het verschil tussen een waargenomen waarde en een berekende waarde van een grootte. Bijvoorbeeld bekend veronderstelde waarde, waarde uit een model.
Resolutie	Het kleinst waarneembare detail
Roll / rollen	De scheefstand van een vaartuig ten opzichte van het waterpasvlak in dwarsrichting.
Ruwe data	Onbewerkte data van sensor. Ruwe data is niet tijdgesynchroniseerde data, deze informatie komt zo van de sensor en is nog niet door software aangepast of omgezet naar een ander formaat.
Samengestelde data	Het synchroniseren van data van verschillende sensoren tot hetzelfde meetmoment door terug te rekenen naar dat meetmoment. In sommige pakketten wordt dit gelijk uitgevoerd met getijcorrectie. Opgemerkt moet worden dat getij als een aparte sensorwaarde wordt gezien evenals diepte en plaats. Het maakt dus niet uit of data nog gecorrigeerd moet worden voor de waterstand of dat data in hoogte al t.o.v. NAP is gemeten / berekend.
schematiseren	Vereenvoudigde voorstelling van de ruimtelijke en temporele verdeling van systeemvariabelen en parameters. Bij lodingen in het algemeen is dit een vorm van datareductie waarbij een gridcel een waarde krijgt gebaseerd op de datapunten binnen die gridcellen; bv een gemiddelde, maximum, minimum e.d.. Bij singlebeam lodingen spreken we in sommige gevallen van schematiseren als functie van datareductie op de ideale raai. Op vaste afstanden in de raai wordt de diepte geplaatst. Het is dan een combinatie van idealiseren en reductie.
Smoothen	Vorm van filteren waarbij nieuwe waarden berekend worden in plaats van de gemeten waarden. Filters die smoothen zijn: median, mean en butteworth (is ongeveer hetzelfde als mean) Deze filters worden veel gebruikt voor de bepaling van een trend.
Pitch / stampen	De scheefstand van een vaartuig ten opzichte van het waterpasvlak in langsrichting
Standaard afwijking	Maat voor de spreiding van een stochastische grootte. Sigma is de spreiding ten opzichte van het gemiddelde xgem. Als van een te schatten grootte veel metingen worden gedaan, kan de standaardafwijking worden berekend met $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{gem})^2}{n-1}}$. Dit kan bijvoorbeeld onder laboratoriumomstandigheden worden gedaan, om zodoende een precisie-schatting voor een bepaald meetinstrument te krijgen. Vervolgens wordt deze standaardafwijking sigma gebruikt als bekende parameter voor de metingen in het veld met dat apparaat. Veel metingen kennen een normale verdeling voor de fout, zodat geldt dat als 2 sigma (2 keer de standaardafwijking) 1 meter bedraagt, 95% van de gegevens minder dan een meter afwijken van de werkelijke waarde, en 68% minder dan 5 cm.
standopnemer	Sensor die versnellingen en hoekversnellingen meet en hieruit de stand van de sensor bepaald
Systematische fout	Fouten die door een nader te bepalen functie kunnen worden beschreven. Systematische fouten zijn alle fouten die geen toevallige fout zijn. Dat kan dus van alles betekenen, bijvoorbeeld: constante voor groot gebied, evenredig aan topografie, gecorreleerd met het opnamesysteem (bijvoorbeeld strookgewijze fouten). In GIS-terminen: een afwijking in de metingen die in alle (meet-)resultaten terug komt en die niet in een verwerkingsproces is te corrigeren. Voorbeelden: Als 1 waarnemer uit een ploeg van 2 mensen altijd 5 cm boven het prisma mikt ontstaat een systematische fout. Als op een laseraltimeter een verkeerde schaalfactor wordt toegepast (bijv. lichtsnelheid) ontstaat een systematische fout die evenredig is met de hoogte zelf. Als de plaats van een sensor in een boot of vliegtuig 2 cm verkeerd is ingemeten is dat een toevallige fout (kan plus of min zijn) maar dit heeft een systematische fout (hier constante fout) in het eindresultaat tot gevolg.
Toevallige fout	Een fout waarvan de waarde statistisch onafhankelijk is van voorgaande of latere waarden. Een fout die niet door een functie kan worden beschreven, (ofwel waarvan de waarde statistisch onafhankelijk is van voorgaande of latere waarden.) De kansverdeling van deze variabele wordt beschreven door een willekeurige, begrensde functie. De toevallige fout wordt (meestal) beschreven door de standaard deviatie
Transducer	De sensor, die de akoestische bundel(s) het water in stuurt en ontvangt.
variantie	Maat voor de spreiding van een stochastische grootte. $\text{variantie} = \sigma^2$
Vertraging / latency	De tijd tussen de werkelijke meetmomenten van sensoren en de tijd waarop het sensorgegeven 'geklokt' wordt door het (software) systeem. Op het moment van klokken komt het gegeven in de regel beschikbaar voor het (software) systeem
World Geodetic System 1984	Geodetisch model van de aarde zoals toegepast door GPS. Wordt beschreven door een netwerk van punten in relatie tot het massacentrum van de aarde. Beschrijft verder transformaties tussen de belangrijkste geodetische datum en de geoid.

Bijlage 1: Analyse Delfland



Overzicht lodingen Delfland en verschillen tussen LRK- en WST-metingen (25x25 meter grid)

Structurele LRK-WST diepteverschillen Delfland

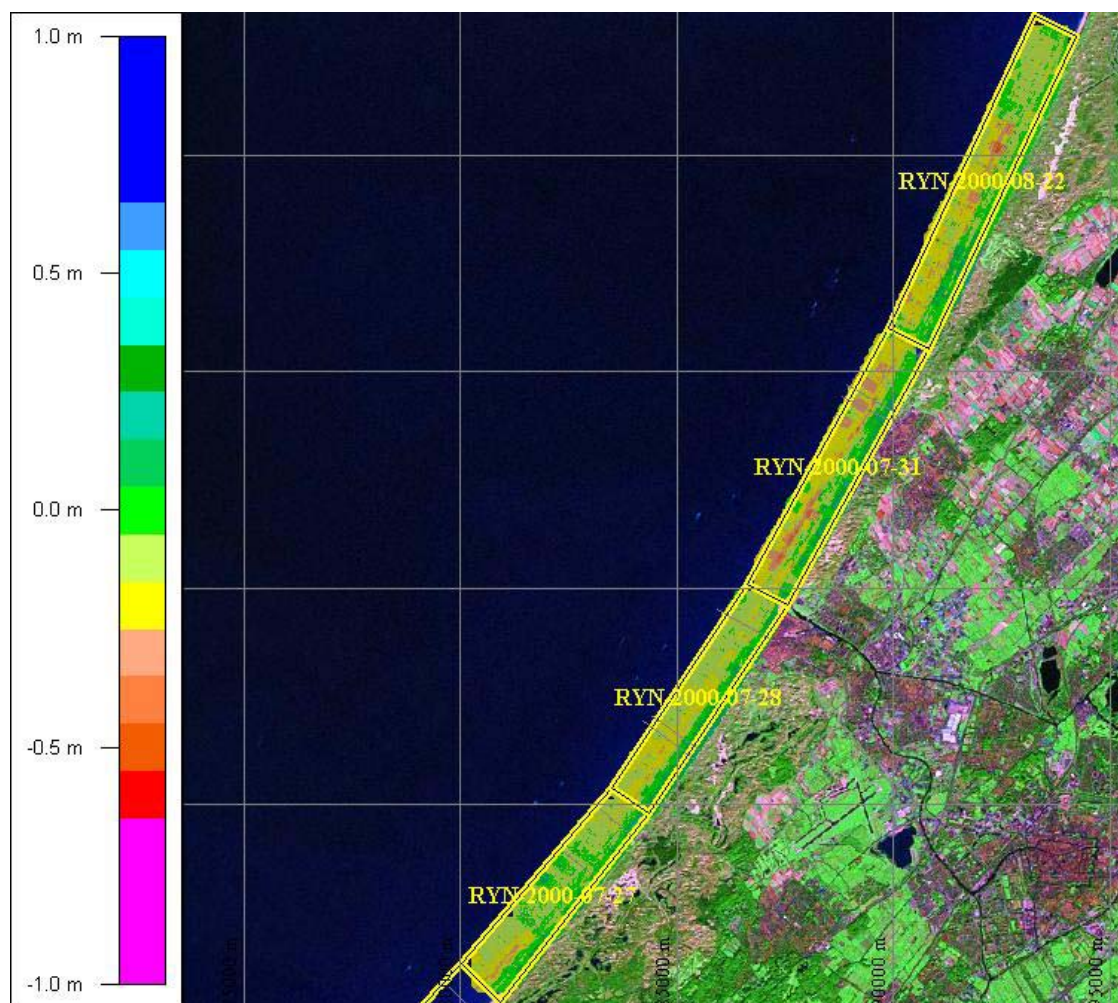
Er is duidelijk een golfpatroon zichtbaar in de datasets. Dit is een indicatie van golfslag of fouten die zijn gerelateerd aan scheepsbewegingen waarvoor niet is gecorrigeerd. De fout is het duidelijkst zichtbaar in het WST-raaiprofiel, hierdoor lijkt een foutieve toepassing van de heave correctie.

- Aan het einde van de raai is er een afname van de diepteverschillen. Dit is een indicatie van snelheids- en dieptegerelateerde problemen, die vallen onder de squatproblematiek.
- Globale LRK-WST diepteverschillen tonen een consequent patroon, de verschillen nemen toe naarmate de diepte afneemt (een mogelijke een indicatie voor squat).
- Het patroon van de tweezijdig ingevaren raaien verschilt van die van de enkelzijdig ingevaren raaien. Dit is een indicatie van false heave en squat effecten.

Niet-structurele LRK-WST diepteverschillen Delfland

- Er is geen systematiek in de verschillen tussen de verschillende peildagen, de oorzaak kan bijvoorbeeld een foutief waterstands-algoritme of de uitval van het LRK-station zijn. Er zijn verschillende afwijkingen geconstateerd in naastliggende raaien.
- Verschillen aan de landzijde lijken af te nemen langs de kust, aan de zeezijde zijn deze constant. Dit is een indicatie van fouten die zijn gerelateerd aan het waterstands-algoritme.
- De verschillen aan de zeezijde van de dataset lijken een bepaalde trend te vertonen. Deze trend is aan de landzijde niet zichtbaar. Een forse uitschieter in het profiel aan de landzijde kan duiden op een fout in het waterstandsmodel.

Bijlage 2: Analyse Rijnland



Overzicht lodingen Rijnland en verschillen tussen LRK en WST metingen (25x25 meter grid)

Kwalitatief

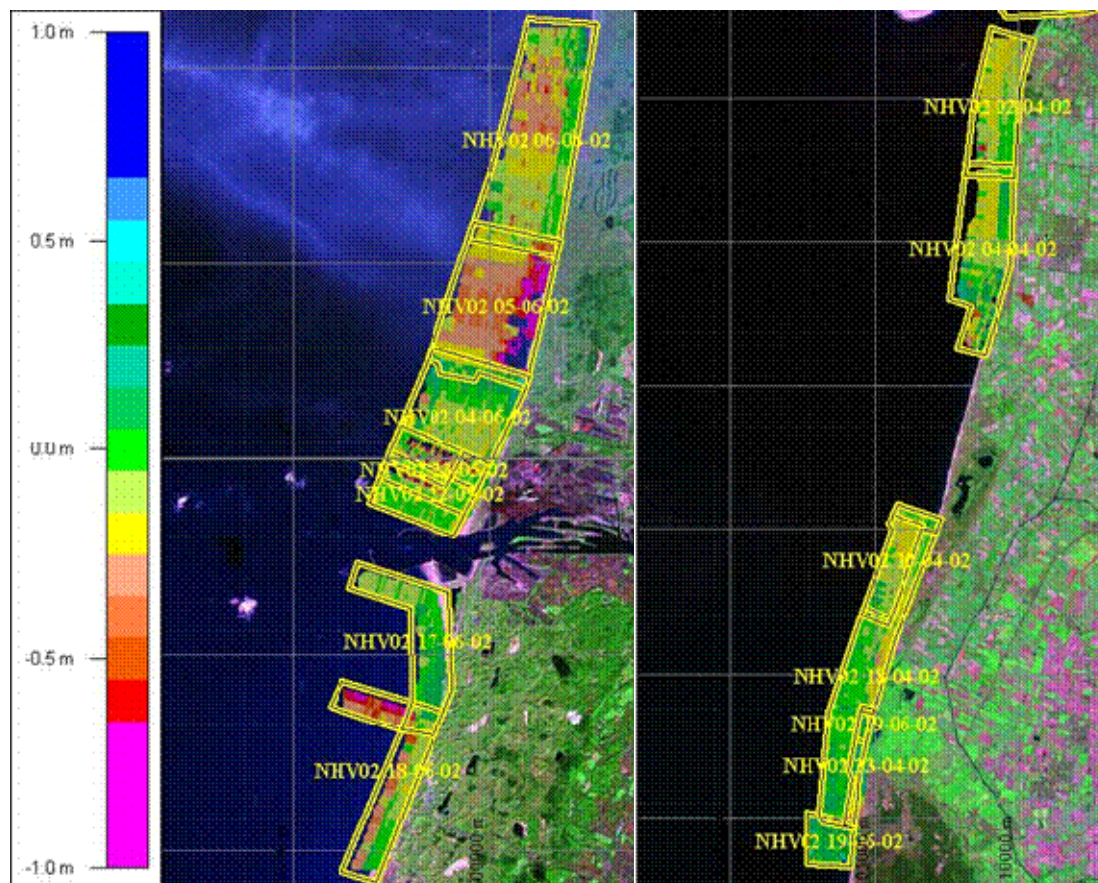
Structurele LRK-WST diepteverschillen Rijnland

- Er zijn duidelijke artefacten zichtbaar aan het begin en einde van een aantal raaien. Deze duiden op heave sensor problemen, false heave, bij het plotseling afremmen of versnellen van het meetvaartuig.
- Verschillen die veroorzaakt worden door een golfbeweging. Deze golfbeweging is duidelijk terug te vinden in het WST-raaiprofiel. Dit wijst op een foutieve toepassing van heave data.
- Het verschil tussen LRK- en WST dieptemetingen is relatief klein. Er lijkt een relatie tussen de diepte en het verschil te bestaan. Deze relatie kan veroorzaakt worden door squat.

Niet-structurele LRK-WST diepteverschillen Rijnland

In een enkel profiel is te zien dat de bodemprofielen uit de LRK loding er anders uitzien dan de profielen uit de waterstand gerelateerde loding. Dit kan het gevolg zijn van een andere methode van dataverwerking.

Bijlage 3: Analyse Noord-Hollandse kust



Overzicht lodingen Noord-Holland en verschillen tussen LRK en WST metingen (25x25 meter grid)

Kwalitatief

Structurele LRK-WST diepteverschillen kust Noord-Holland

- Er is een langzaam oplopend verschil dwars op de raairichting geconstateerd. Mogelijke oorzaken hiervoor zijn het waterstandsmodel of het geoidemodel.
- De verschillen aan de landzijde wijken af van die aan de zeezijde, dit is een indicatie voor squaet gerelateerde problemen.
- Er lijken false heave artefacten in de data aanwezig te zijn.

Niet-structurele LRK-WST diepteverschillen kust Noord-Holland

- Er is een groot aantal datasets aangetroffen, waarbij een fout in de orde van enkele decimeters optrad tussen LRK en WST metingen. Bij nader onderzoek bleken de fouten vergelijkbaar te zijn aan de diepgang van de gebruikte meetvaartuigen (er is een correctie van -0.46 m toegepast voor de Vierlingh en -0.67 meter voor de Breesem).
- Slechte LRK ontvangst en hierdoor te korte meettraaien in een deel van het gebied
- Een enkel gebied is door meerdere vaartuigen gelood; de peilingen sluiten daar onderling niet goed aan.
- Bij een enkele raai lijkt een hoogtefout in de RTK plaatsbepaling, als gevolg van cycle slip (Zie hoofdstuk 6) te zijn opgetreden. Dit leidt tot verschillen van circa 0.2 meter.

Kwantitatief

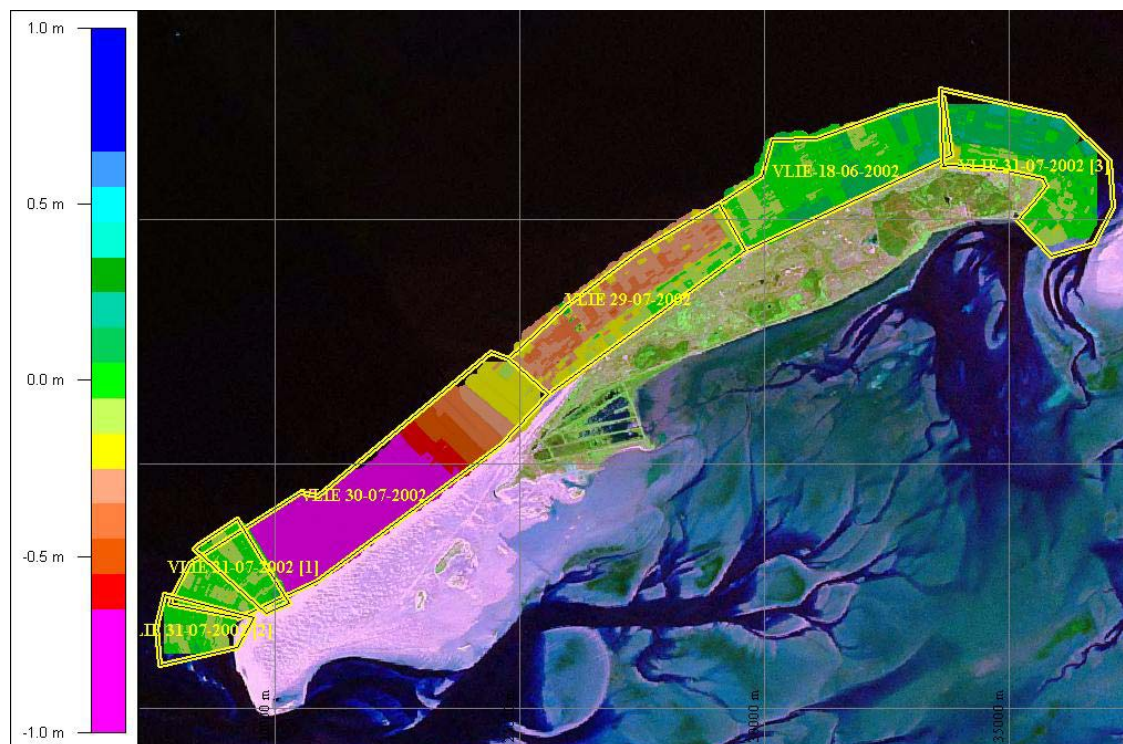
In het Jarkusgebied Noord-Holland is er gevaren door de Breesem en de Vierlingh. Er is een onderscheid gemaakt tussen vaartuigen uitgerust met een kop- of een middentransducer; de vaartuigen krijgen de extensie '-k' en '-m'.

In de navolgenden tabellen zijn de gemiddelde verschillen (m) en de bijbehorende standaardafwijkingen (σ) gegeven van de LRK-WST diepteverschillen (secondewaarden) met daarbij het onderscheid in de meetdagen en/of de raaien land- of zeewaarts zijn gevaren. Een negatief verschil betekent dat het LRK-gemiddeld dieper meet dan het WST-metingen. In de digitale bijlagen zijn histogrammen gegeven van de LRK-WST diepteverschillen met daarin de normale verdelingsfunctie voor elke gecombineerde cel (met m en σ) in de tabel.

Vaartuig	Datum	tijdsduur		raaien aantal	land- en zeewaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	tot		M	σ	m	σ	m	σ
Breesem-k	02-04-2002	9:31:56	13:20:53	43	-0.114	0.084	-0.094	0.085	-0.169	0.05
Breesem-k	04-04-2002	5:49:16	9:22:12	32	-0.092	0.111	-0.057	0.113	-0.167	0.057
Breesem-k	18-04-2002	6:21:01	11:41:58	55	-0.724	0.097	-0.74	0.101	-0.682	0.067
Breesem-k	23-04-2002	10:11:55	12:20:14	20	-0.128	0.237	-0.15	0.226	0.156	0.188
Breesem-k	22-05-2002	9:15:33	10:17:05	7	-0.031	0.126	-0.041	0.143	-0.001	0.027
Breesem-k	04-06-2002	9:28:37	12:52:19	12	-0.021	0.112	-0.021	0.114	-0.024	0.081
Breesem-k	05-06-2002	7:22:03	10:34:36	27	-0.531	0.416	-0.627	0.481	-0.383	0.221
Breesem-k	06-06-2002	9:19:49	13:15:29	30	-0.129	0.12	-0.098	0.114	-0.189	0.107
Breesem-k	17-06-2002	8:43:24	9:59:16	13	0.03	0.078	0.03	0.078		
Breesem-k	18-06-2002	8:40:05	9:50:52	17	-0.132	0.136	-0.132	0.136		
Breesem-k	19-06-2002	7:19:10	9:54:57	20	-0.439	0.239	-0.39	0.244	-0.587	0.139
Breesem-k	Alle			276	-0.273	0.33	-0.257	0.35	-0.322	0.254

Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Breesem-k

Bijlage 4: Analyse Vlieland



Overzicht lodingen Vlieland en verschillen tussen LRK en WST metingen (25x25 meter grid)

Kwalitatief

Structurele LRK-WST diepteverschillen Vlieland

- De verschillen worden gekenmerkt door een constante fout die naar de oever toe kleiner wordt. Dit kan het gevolg zijn van squat (gas terug nemen, lagere snelheid).
- Daarnaast zijn er duidelijke verschillen zichtbaar die gerelateerd zijn aan de vaarrichting. Deze worden vermoedelijk veroorzaakt door false heave.

Niet-structurele LRK-WST diepteverschillen Vlieland

- Kleine afwijkingen in de diepteprofielen kunnen veroorzaakt worden door onregelmatigheden in het LRK-signaal. Deze afwijkingen worden over grotere afstanden echter uitgemiddeld.
- Er is een enkele dataset aangetroffen met zeer grote, oplopende verschillen. Deze wordt vermoedelijk veroorzaakt door het niet toepassen van de RTK-hoogte op de RTK-dieptemetingen waardoor de verschillen met de waterstand fluctueren. Bij controle van de ruwe data (detailanalyse) lijken de instellingen correct te zijn. Het lijkt of bij het verwerken van de data een foutieve instelling is gebruikt. Dit vermoeden wordt gedeeltelijk ondersteund door het feit dat de eerste raai afwijkend is van en enkele maanden na de opnamen is aangepast. Vermoedelijk is er bij herverwerken van deze dataset een zogenaamde instellingsfout gemaakt die niet meer rechtgezet is. Dit heeft effect op de LRK metingen.

Kwantitatief

In het Jarkusgebied Vlieland is er gevaren door de Blauwe Slenk en de Riepel.

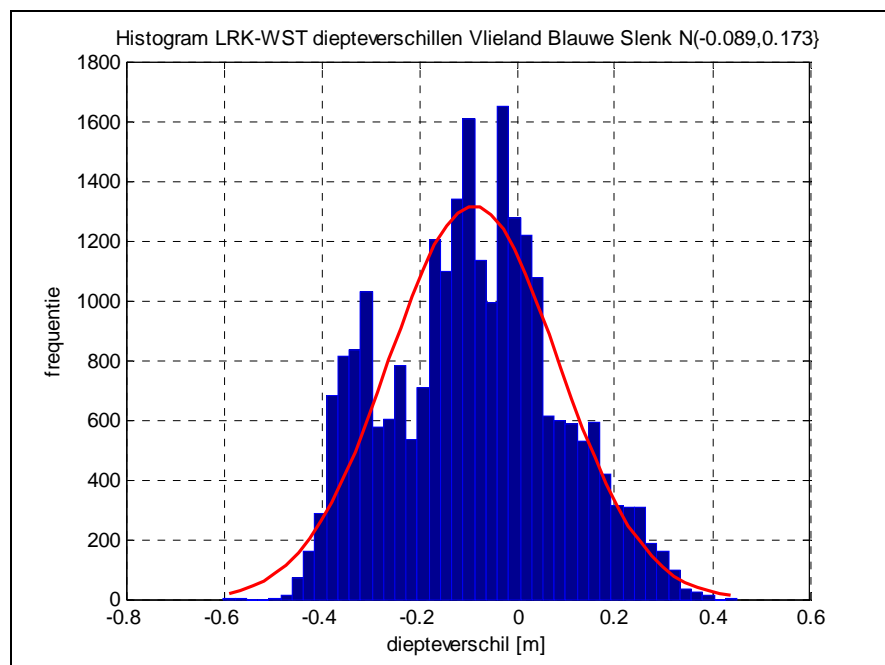
In de tabellen navolgende tabellen zijn de gemiddelde verschillen (m) en de bijbehorende standaardafwijkingen (σ) gegeven van de LRK-WST diepteverschillen (secondewaarden) met daarbij het onderscheid in de meetdagen en of de raaien land- of zeewaarts zijn gevaren. Een negatief verschil betekent dat het LRK- gemiddeld dieper meet dan het WST-meetsysteem. In de digitale bijlagen zijn histogrammen gegeven van de LRK-WST diepteverschillen met daarin de normale verdelingsfunctie voor elke gecombineerde cel (met m en σ) in de tabel.

In totaal zijn er bij Vlieland 214 raaien gevaren door de twee vaartuigen de Blauwe Slenk en de Riepel. Door de Blauwe Slenk zijn lodingen uitgevoerd op 29, 30 en 31 juli 2002 en door de Riepel op 18 juni, 30 juli en 31 juli 2002

vaartuig	datum	Tijdsduur		raaien aantal	land- en zeewaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	tot		m	Σ	m	σ	M	σ
Blauwe Slenk	29-07-2002	9:05:26	14:41:31	57	-0.254	0.113	-0.225	0.121	-0.32	0.048
Blauwe Slenk	30-07-2002	7:14:19	11:21:03	37	-0.055	0.111	-0.049	0.123	-0.062	0.096
Blauwe Slenk	31-07-2002	7:32:06	11:30:05	42	0.082	0.109	0.058	0.105	0.133	0.1
Blauwe Slenk	alle			136	-0.089	0.173	-0.086	0.166	-0.094	0.185

Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Blauwe Slenk

In de onderstaande figuur zijn de LRK-WST dieptemetingen 'alle' meetdagen van 29, 30 en 31 juli 2002 gegeven.

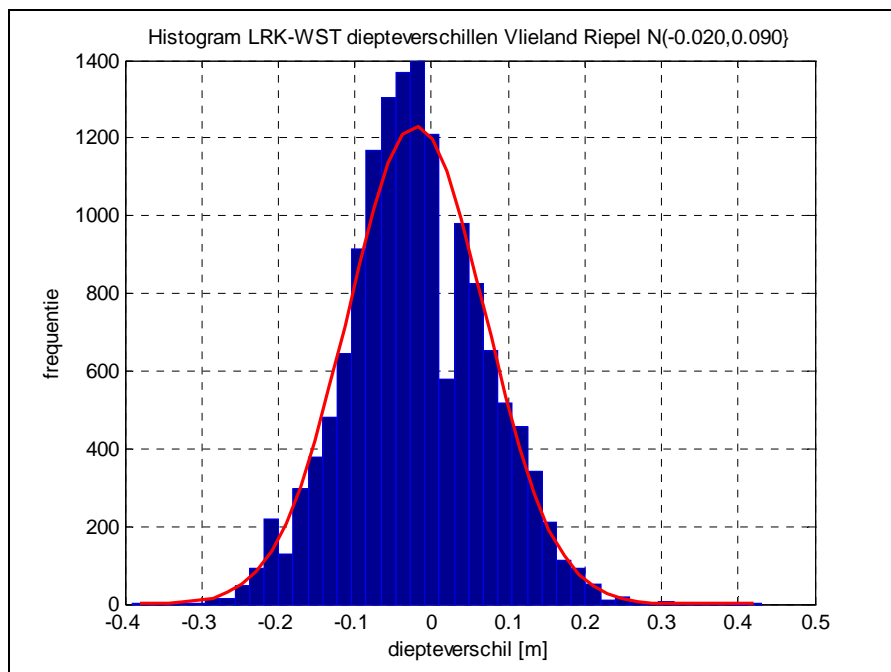


Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 29, 30 en 31 juli van de Blauwe Slenk

De bovenstaande histogram heeft 3 of 4 pieken. De rode curve van de normale verdelingsfunctie geeft een matige beschrijving van de diepteverschillen van alle dagen. De tabel en de figuur maken duidelijk dat de verdeling van de diepteverschillen van alle meetdagen een samenstelling is van verschillende verdelingen van de afzonderlijke dagen. In de digitale bijlagen zijn de histogrammen gegeven van de afzonderlijke meetdagen.

vaartuig	datum	Tijdsduur		raaien aantal	land- en zeewaarts		Landwaarts		zeewaarts	
		van	Tot		m	σ	m	σ	M	σ
Riepel	18-06-2002	9:25:18	12:53:07	38	0.014	0.088	0.024	0.087	-0.015	0.082
Riepel	30-07-2002	8:32:17	11:12:52	22	-0.062	0.083	-0.047	0.082	-0.095	0.076
Riepel	31-07-2002	8:18:51	10:27:49	18	-0.035	0.07	-0.029	0.067	-0.05	0.073
Riepel	alle			78	-0.02	0.09	-0.008	0.089	-0.05	0.086

Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Riepel



Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 18 juni en 30 en 31 juli van de Riepel

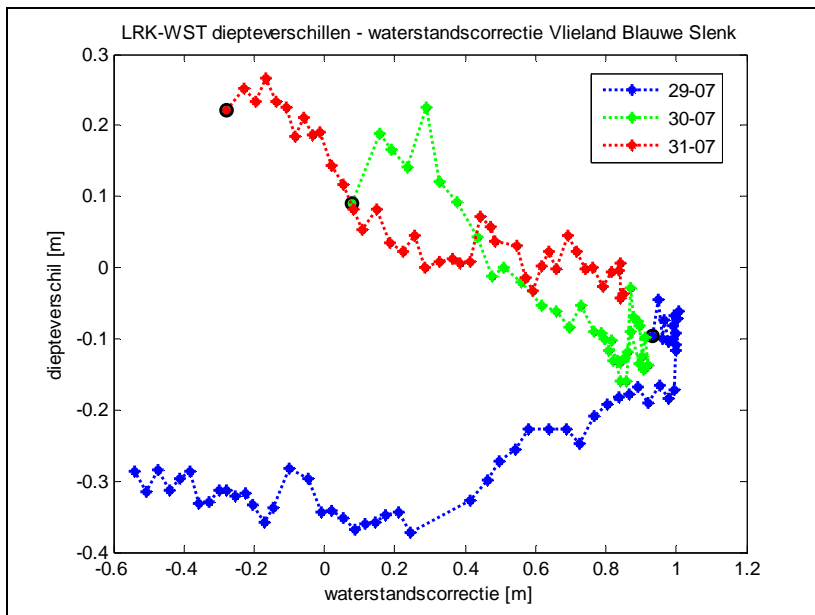
Conclusie

De daggemiddelde LRK-WST diepteverschillen kunnen voor de twee vaartuigen verschillen van 0,01 tot -0,25 m.

Kwantitatieve analyse van de toegepaste waterstandscorrectie

Blauwe Slenk

In onderstaande figuur zijn de raagmiddelde LRK-WST diepteverschillen uitgezet tegen de toegepaste waterstandscorrectie van de Blauwe Slenk bij Vlieland. De eerst gevaren raai op 29 juli (blauw) heeft een gemiddelde waterstandscorrectie om 9:05 uur van +0,93 m en de laatste gevaren raai tot 14:41 heeft een gemiddelde waterstandscorrectie van - 0,53 m. De waterstandscorrectie van 30 juli (groen) zijn van 0,08 m. om 7:14 naar 0,80 m. om 11:21. De waterstandscorrectie van 31 juli (rood) zijn van -0,29 m. om 7:32 naar 0,85 m. om 11:30. De eerst gevaren raai is aangegeven met een 'o'.

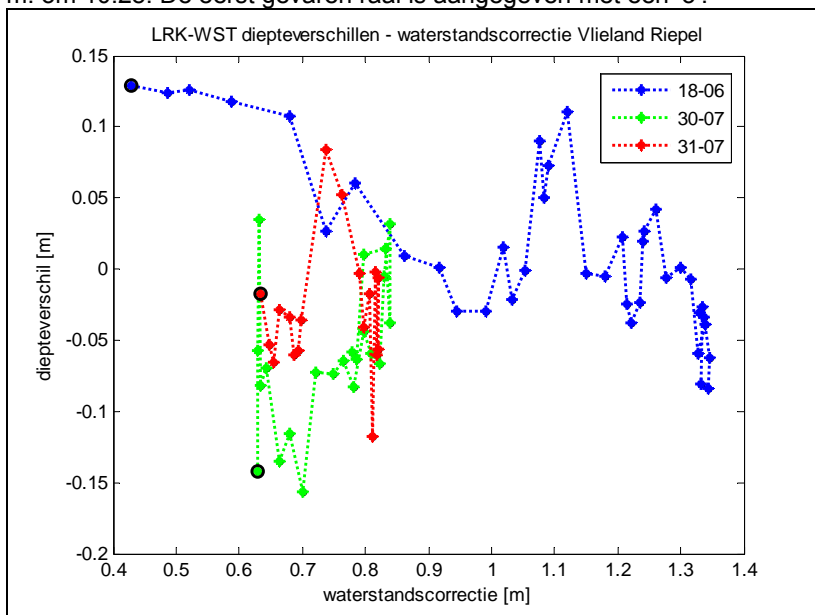


LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Blauwe Slenk, Vlieland

De blauwe curve van de diepteverschillen van 29 juli wijkt duidelijk af van de andere twee curves van 30 en 31 juli. Het beginpunt van blauwe curve is op 9:05 bij maximale waarde voor de waterstandscorrectie. De beginpunten van de groene van 30 juli om 7:14 en de rode curve van 31 juli om 7:32 zijn bij een minimale waterstandscorrectie. De LRK-WST diepteverschillen hebben een negatieve trend in de tijd en een relatie met de waterstandscorrectie.

Riepel

In onderstaande figuur zijn de gemiddelde LRK-WST diepteverschillen per raai uitgezet tegen de toegepaste waterstandscorrectie van de Riepel bij Vlieland. De eerst gevaren raai op 29 juni (blauw) heeft een gemiddelde waterstandscorrectie om 9:25 uur van +0,42 m en de laatste gevaren raai tot 12:53 heeft een gemiddelde waterstandscorrectie van +1,33 m. De waterstandscorrectie van 30 juli (groen) zijn van 0,63 m. om 8:32 naar 0,78 m. om 11:13. De waterstandscorrectie van 31 juli (rood) zijn van +0,62. om 8:18 naar 0,82 m. om 10:28. De eerst gevaren raai is aangegeven met een 'o'.



LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Riepel, Vlieland

De blauwe curve van de diepteverschillen van 18 juni heeft een negatieve trend, waarbij het gemiddelde diepteverschil van 0,13 naar -0,05 m verandert. De groene en rode curve van resp. 30 en 31 juli hebben geen duidelijke relatie met de waterstandscorrectie.

Conclusie

De raagemiddelde LRK-WST diepteverschillen van de Blauwe Slenk hebben een negatieve trend in de tijd en daarmee een relatie met de waterstandscorrectie; voor de Riepel is dit voor een enkele dag (18 juni) aangetoond.

Verklaringsmodel Vlieland

Blauwe Slenk

vaartuig	datum	tijdsduur		kc		C		modelruis	verklaard
		van	tot	m	σ	m	σ		
Blauwe Sle	29-7-2002	9:05:25	14:41:31	0,72	0,48	-0,071	0,138	0,045	60,164
Blauwe Sle	30-7-2002	7:14:18	11:21:03	0,254	0,046	0,028	0,124	0,027	76,033
Blauwe Sle	31-7-2002	7:32:06	11:30:05	0,74	0,61	0,266	0,159	0,04	63,145
Blauwe Sle	alle			0,63	0,501	0,041	0,2	0,039	22,37

Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de squatmodellering van de Blauwe Slenk

Riepel

vaartuig	datum	tijdsduur		kc		C		modelruis	verklaard
		van	tot	m	σ	m	σ		
Riepel	18-6-2002	9:25:17	12:53:07	0,404	0,14	0,145	0,064	0,054	38,132
Riepel	30-7-2002	8:32:16	11:12:52	0,334	0,173	0,049	0,036	0,046	44,52
Riepel	31-7-2002	8:18:50	10:27:49	0,305	0,1	0,112	0,003	0,063	9,773
Riepel	alle			0,354	0,154	0,088	0,063	0,05	55,826

Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de squatmodellering van de Riepel

Conclusie

In een groot aantal gevallen blijkt de modellering matig te zijn vanwege:

- de spreiding in de diepteverschillen,
- de dynamica in de diepteverschillen
- periodiciteiten in de diepteverschillen veroorzaakt door false heave en door het meedeinen van het vaartuig bij veranderingen van de diepte en snelheid
- de squatmodellering gaat uit van een stationaire situatie
- de aanname dat de LRK dieper meet dan WST door het squatfenomeen

Analyse Kustlijnligging Vlieland

In de onderstaande tabellen zijn de berekeningen gegeven van de standaardafwijkingen in de verschillen van de kustlijn (ΔMKL), het verschil in kubieke meters zand (ΔZ) en de verschillen in de te toetsen kustlijn (ΔTKL) door de LRK-WST diepteverschillen.

Standaardafwijkingen ΔMKL en ΔZ

In de onderstaande tabel zijn voor geselecteerde raaien de resultaten gegeven. De in de eerste twee rijen genoemde grootheden zijn uitgelegd in figuur 1 en in de vergelijkingen (3) t/m (6). De afstand van de duinvoet tot aan de GLW-lijn (de hoogte h) is bij Vlieland constant en is 4,08 m. In de kolom 'auto' zijn de uitkomsten gegeven van het toepassen van resp. de Portmanteau-toets (1=waar, 0=onwaar). De correlatiecoëfficiënt geeft ten slotte de autocorrelatie tussen opeenvolgende diepteverschillen.

Raainr	MKL	lengte raai	LRK-WST		ΔMKL		ΔZ		auto	corr. coeff.
			m1	σ1	m2	σ2	m3	σ3		
min		29,86	-0,286	0,009	-15,68	0,01	-127,96	0,07		0,19
gem		222,11	-0,042	0,052	-0,58	0,89	-4,73	7,25	0,94	0,80
max		763,98	0,159	0,112	10,11	2,39	82,51	19,48		0,99

Berekende gemiddelden en standaardafwijkingen van de MKL's en de hoeveelheid zand

In de tabel zijn de 64 (van de 176) raaien gegeven, die er aan voldoen dat er dieptemetingen zijn over de hele range van de ondergrens tot aan de GLW.

Uitgezonderd de raaien met de raainummers 5077, 5146, 5379 en 5460 is er sprake van autocorrelatie. De gemiddelden van de LRK-WST diepteverschillen variëren van -0,286 tot 0,159 m en is gemiddeld -0,042 m. De gemiddelden van ΔMKL variëren van -15,88 tot 10,11 m en is gemiddeld -0,58 m. De gemiddelden van ΔZ per meter kustlijn variëren van -127,96 tot 82,51 m³ en is gemiddeld -4,73 m³.

De standaardafwijkingen van de LRK-WST diepteverschillen variëren van 0,009 tot 0,112 m en is gemiddeld 0,052 m. De standaardafwijkingen van ΔMKL variëren van 0,01 tot 2,39 m en is gemiddeld 1,88 m. De standaardafwijkingen van ΔZ variëren van 0,07 tot 19,48 m³ (per meter kust) en is gemiddeld 7,25 m³. De kustlijn lengte tussen de eerste en de laatste raai, resp. raainummer 4000 en 5460 is 23,6 km lang. Dit betekent voor dit kustdeel een totale hoeveelheid zand door de LRK-WST diepteverschillen van -111500 m³ met een standaardafwijking van 171100 m³.

Standaardafwijking ΔTKL

In de onderstaande tabel zijn de resultaten gegeven voor de berekening van de TKL's van 2003 t/m 2007. Op de tweede rij is het begin- en eindjaar gegeven van de tijdreeks van jaarwaarden van de MKL's gegeven.

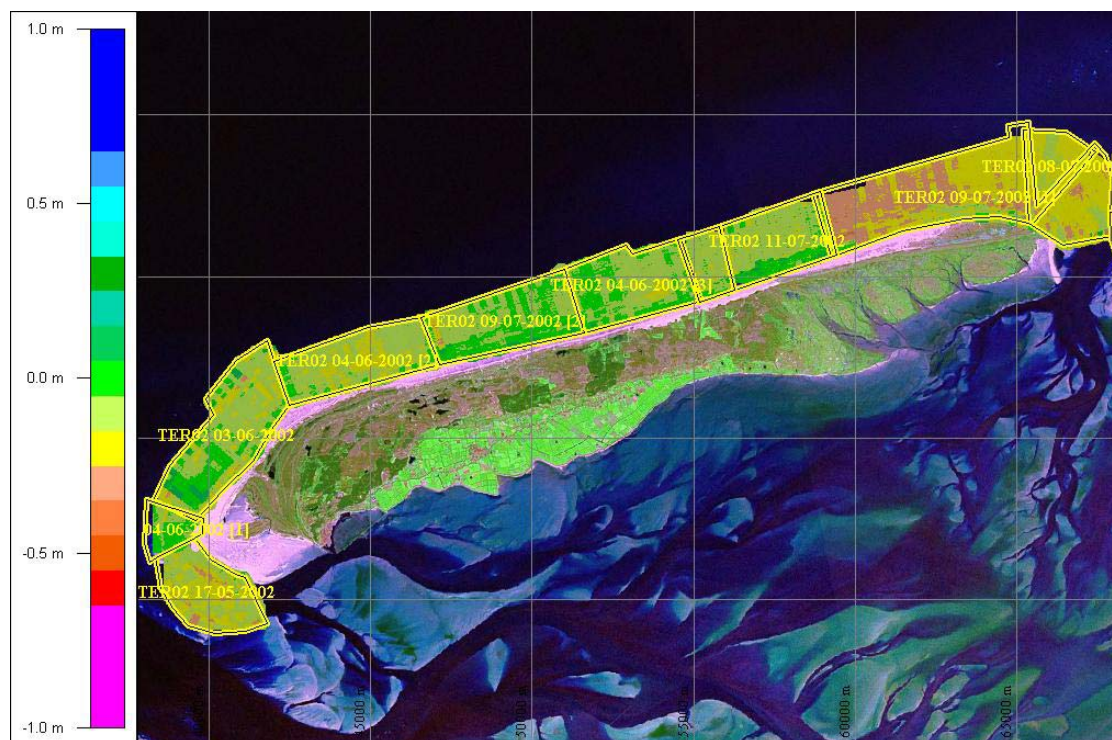
TKL	2007	2003		2004		2005		2006		2007	
MKL's		1993-2002		1994-2003		1995-2004		1996-2005		1997-2006	
Raainr	TKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL
min		-0,27	0,01	-8,83	0,01	-14,53	0,01	-17,68	0,00	-18,81	0,00
gem		-0,01	0,97	-0,45	0,72	-0,75	0,53	-0,91	0,39	-0,98	0,28
max		0,24	2,52	5,66	1,92	9,35	1,50	11,40	1,08	12,10	0,73

Berekende verschillen en standaardafwijkingen van de TKL op basis van jaarreeksen van de MKL's

In de kolommen 3 en 4 zijn de resultaten gegeven voor TKL 2003, waarbij de MKL's voor alle jaren van 1993 t/m 2002 dezelfde verdeling hebben namelijk $N(0, \sigma^2)$. De ΔTKL en de σTKL van 2003 blijken in de orde van grootte te zijn van de 0 en σ2. De σTKL neemt duidelijk af bij de berekening van de TKL voor 2003 tot 2007. De σTKL van 2007 is gemiddeld een factor 3,50 kleiner dan de σTKL van 2003. De gemiddelde waarde voor ΔTKL van 2007 is -0,98 m.

Bijlage 5: Analyse Terschelling

In de regio Terschelling is gevaren door de Blauwe Slenk, de Capella en de Siege.



Overzicht kustlodgingen Terschelling en verschillen tussen LRK en WST metingen (25x25 m. grid)

Kwalitatief

Structurele LRK-WST verschillen Terschelling

- De LRK-WST diepteverschillen zijn in het 25x25m grid in het gebied nagenoeg uniform verdeeld.
- Er is een periodieke afwijking met een korte periode zichtbaar. De oorzaak hiervan is niet duidelijk af te leiden uit de diepteprofielen, maar kan door zowel het LRK signaal als door de heave sensor (of het ontbreken daarvan) worden veroorzaakt.
- De LRK-WST diepteverschillen lijken gecorreleerd te zijn met het diepteprofiel en kunnen daarmee veroorzaakt zijn door squateffecten.

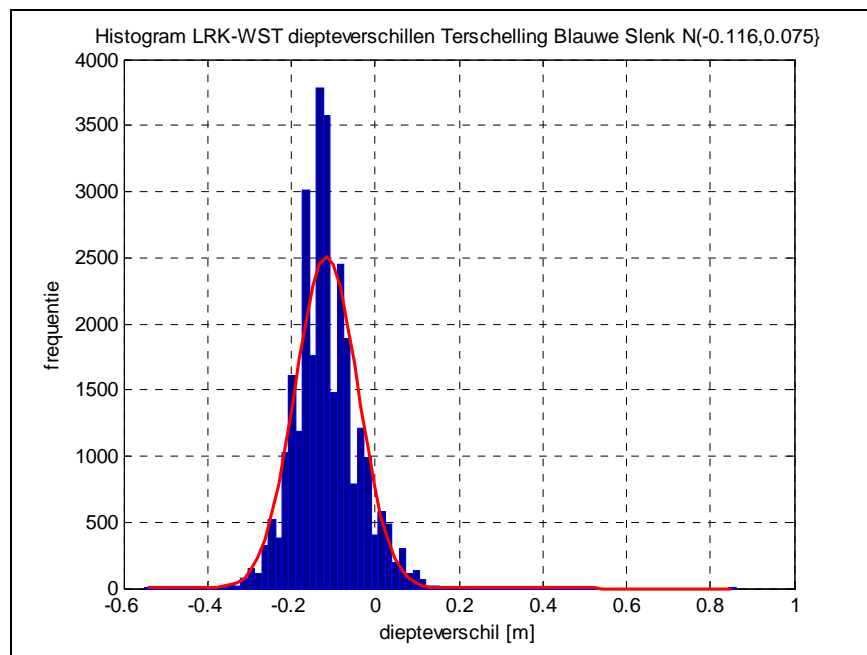
Kwantitatieve analyse van LRK-WST diepteverschillen Terschelling

In het Jarkusgebied Terschelling is er gevaren door de Blauwe Slenk, de Capella en de Siege.

In de tabellen ..zijn de gemiddelde verschillen (m) en de bijbehorende standaardafwijkingen (σ) gegeven van de LRK-WST diepteverschillen (secondewaarden) met daarbij het onderscheid in de meetdagen en of de raaien land- of zeewaarts zijn gevaren. Een negatief verschil betekent dat het LRK- gemiddeld dieper meet dan het WST-meetsysteem. In de digitale bijlage van Terschelling zijn histogrammen gegeven van de LRK-WST diepteverschillen met daarin de normale verdelingsfunctie voor elke gecombineerde cel (met m en σ) in de tabel.

vaartuig	datum	tijdsduur		raaien	land- en zeewaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	tot		aantal	m	σ	m	σ	M
Blauwe Slenk	17-05-2002	8:21:52	11:44:12	20	-0.16	0.058	-0.159	0.052	-0.162	0.064
Blauwe Slenk	03-06-2002	9:15:09	13:57:10	41	-0.089	0.078	-0.093	0.08	-0.085	0.076
Blauwe Slenk	04-06-2002	9:46:36	14:21:33	45	-0.108	0.066	-0.109	0.065	-0.107	0.066
Blauwe Slenk	alle			106	-0.116	0.075	-0.116	0.074	-0.117	0.076

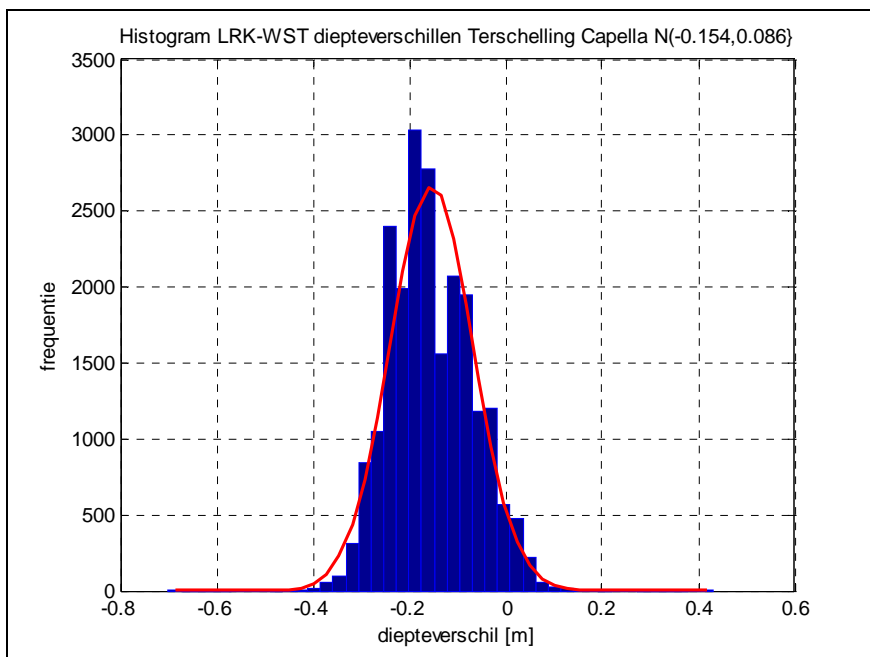
Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Blauwe Slenk



Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 17 mei, 3 en 4 juni 2002 van de Blauwe Slenk

vaartuig	datum	Tijdsduur		raaien	land- en zeewaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	tot		aantal	m	σ	m	σ	M
Capella	04-06-2002	10:16:04	13:42:44	31	-0.072	0.061	-0.07	0.059	-0.076	0.064
Capella	08-07-2002	11:22:09	12:29:23	6	-0.163	0.06	-0.157	0.062	-0.169	0.058
Capella	09-07-2002	7:27:40	11:57:46	28	-0.21	0.058	-0.201	0.056	-0.218	0.059
Capella				65	-0.154	0.086	-0.142	0.084	-0.167	0.087

Tabel 16: Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Capella

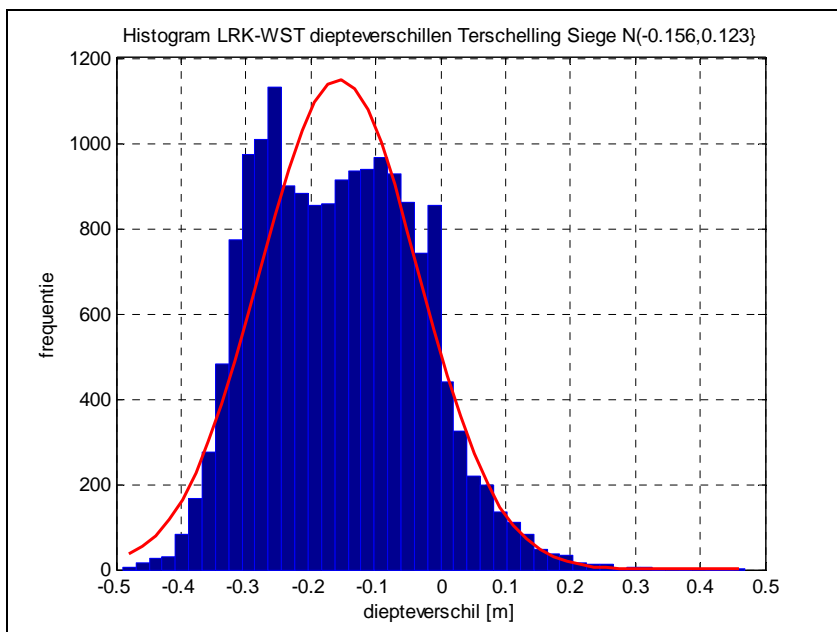


Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 4 juni en 8 & 9 juli 2002 van de Capella

Vaartuig	datum	tijdsduur		raaien	land- en zeevaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	tot		aantal	m	σ	m	σ	M
Siege	09-07-2002	7:42:13	12:03:29	51	-0.241	0.085	-0.222	0.09	-0.283	0.056
Siege	11-07-2002	8:43:55	9:52:18	16	0.019	0.099	0.019	0.099		
Siege	12-07-2002	7:14:44	10:20:06	31	-0.104	0.084	-0.096	0.076	-0.113	0.093
Siege	alle			98	-0.156	0.123	-0.141	0.123	-0.186	0.116

Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Siege

In de volgende figuur zijn de LRK-WST dieptemetingen 'alle' meetdagen van 9, 11 en 12 juli 2002 gegeven.



Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 9, 11 en 12 juli van de Siege

De bovenstaande histogram heeft 2 duidelijke pieken, rond -0,25 en -0,10 m. De rode curve van de normale verdelingsfunctie geeft een matige beschrijving van de diepteverschillen van alle dagen. De tabel en de figuur maken duidelijk dat de verdeling van de diepteverschillen van alle meetdagen een samenstelling is van verschillende verdelingen van de afzonderlijke dagen. In de digitale bijlage zijn de histogrammen gegeven van de afzonderlijke meetdagen. De normale verdelingsfunctie geeft wel een goede beschrijving van de LRK-WST diepteverschillen van de afzonderlijke dagen.

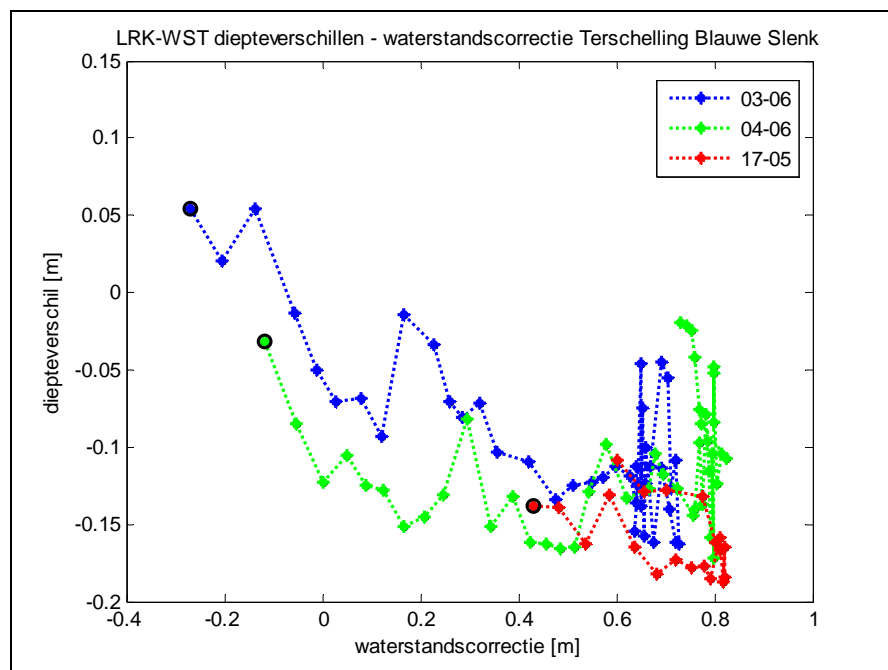
Conclusie

De daggemiddelde LRK-WST diepteverschillen kunnen voor de vaartuigen verschillen van 0,02 tot -0,24 m.

Kwantitatieve analyse van de toegepaste waterstandscorrectie Terschelling

Blauwe Slenk

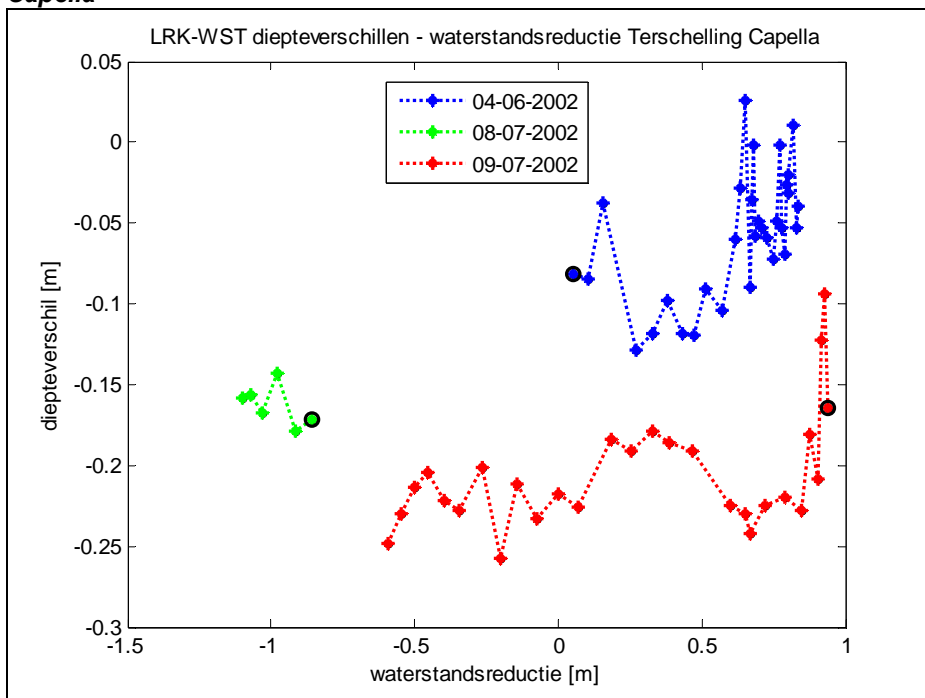
In onderstaande figuur zijn de raagemiddelde LRK-WST diepteverschillen uitgezet tegen de toegepaste waterstandscorrectie van de Blauwe Slenk. De eerst gevaren raai is aangegeven met een 'o'.



LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Blauwe Slenk

De raagemiddelde LRK-WST diepteverschillen van de blauwe (03-06) en van de groene curve (04-06) hebben negatieve trend in de tijd en een relatie met de waterstandscorrectie. Bij de rode curve (17-05) is er een verschil tot 0,05 m. bij dezelfde waterstandscorrectie op verschillende tijdstippen.

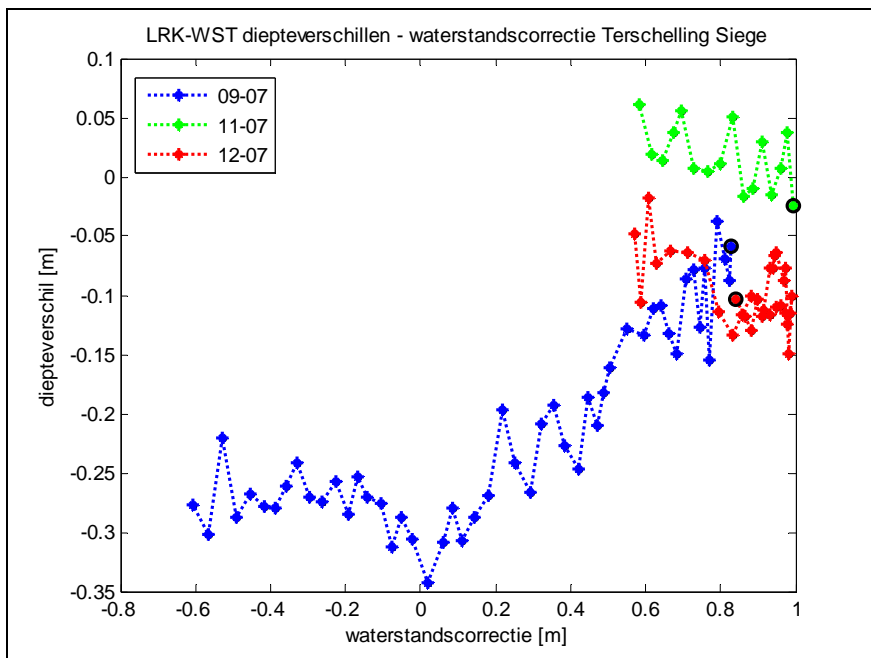
Capella



LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Capella

De gemiddelde LRK-WST diepteverschillen van de blauwe (04-06) en van de rode curve (09-07) hebben geen duidelijke relatie met de waterstandscorrectie. Opvallend is uiteraard het verschil tussen beide curves op bij vergelijkbare waterstandscorrecties.

Siege



LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Siege

Bij de blauwe curve (09-07) heeft de eerste raai de maximale waterstandscorrectie, vervolgens is er een trendbreuk rond de waterstandscorrectie van 0 meter, waarna er geen duidelijke relatie meer is tussen de diepteverschillen en de waterstandscorrectie.

Conclusie

De raai gemiddelde LRK-WST diepteverschillen van de Blauwe Slenk hebben een negatieve trend in de tijd en daarmee een relatie met de waterstandscorrectie; voor de Riepel en de Siege is dit voor een enkele dag (9 juli) aangetoond.

Verklaringsmodel Terschelling

Blauwe Slenk

vaartuig	datum	tijdsduur		kc		C		modelruis	verklaard
		van	tot	m	σ	m	σ	σ	perc.
Blaauwe Sle	17-5-2002	8:21:52	11:44:12	0,222	0,031	-0,073	0,015	0,039	32,817
Blaauwe Sle	3-6-2002	9:15:09	13:57:10	0,327	0,196	0,038	0,098	0,041	47,747
Blaauwe Sle	4-6-2002	9:46:36	14:21:33	0,282	0,071	0,005	0,037	0,051	21,867
Blaauwe Sle	alle			0,306	0,165	0,02	0,087	0,042	56,602

Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de squatmodellering van de Blauwe Slenk

Capella

vaartuig	datum	tijdsduur		kc		C		modelruis	verklaard
		van	tot	m	σ	m	σ	σ	perc.
Capella	4-6-2002	10:16:04	13:42:44	0,256	0,144	0,029	0,055	0,045	26,263
Capella	8-7-2002	11:22:09	12:29:23						
Capella	9-7-2002	7:27:40	11:57:46	0,237	0,046	-0,129	0,027	0,034	41,966
Capella	alle			0,245	0,096	-0,061	0,09	0,038	44,061

Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de squatmodellering van de Capella

De beschrijving van het uitgebreide squatmodellen van de LRK-WST diepteverschillen van de 6 raaien van 8 juli is matig.

Siege

vaartuig	datum	tijdsduur		kc		C		modelruis	verklaard
		van	tot	m	σ	m	σ	σ	perc.
Siege	9-7-2002	7:42:12	12:03:29	0,252	0,046	-0,127	0,069	0,042	50,602
Siege	11-7-2002	8:43:54	9:52:18						
Siege	12-7-2002	7:14:44	10:20:06	0,318	0,13	0,112	0,059	0,065	22,729
Siege	alle			0,258	0,054	-0,108	0,094	0,043	34,996

Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de squatmodellering van de Siege

De beschrijving van het uitgebreide squatmodellen van de LRK-WST diepteverschillen van de 16 raaien van 11 juli is matig.

Conclusie

In een groot aantal gevallen blijkt de modellering matig te zijn vanwege:

- de spreiding in de diepteverschillen,
- de dynamica in de diepteverschillen
- periodiciteiten in de diepteverschillen veroorzaakt door false heave en door het meedeinen van het vaartuig bij veranderingen van de diepte en snelheid
- de squatmodellering gaat uit van een stationaire situatie
- de aanname dat de LRK dieper meet dan WST door het squatfenomeen

Analyse Kustlijnligging Terschelling

In de onderstaande tabellen zijn de berekeningen gegeven van de standaardafwijkingen in de verschillen van de kustlijn (ΔMKL), het verschil in kubs zand (ΔZ) en de verschillen in de te toetsen kustlijn (ΔTKL) door de LRK-WST diepteverschillen.

Standaardafwijkingen ΔMKL en ΔZ

In de onderstaande tabel zijn voor geselecteerde raaien de resultaten gegeven. De in de eerste twee rijen genoemde grootheden zijn uitgelegd in figuur 1 en in de vergelijkingen (3) t/m (6). De afstand van de duinvoet tot aan de GLW-lijn (de hoogte h) is bij Terschelling 4,12 m. In de kolom 'auto' zijn de uitkomsten gegeven van het toepassen van resp. de Portmanteau-toets (1=waar, 0=onwaar). De correlatiecoëfficiënt geeft ten slotte de autocorrelatie tussen opeenvolgende diepteverschillen.

Raainr	MKL	Lengte Raai	LRK-WST		ΔMKL		ΔZ		auto	corr. coeff.
			m1	$\sigma 1$	m2	$\sigma 2$	m3	$\sigma 3$		
Min		89,29	-0,180	0,022	-22,74	0,09	-187,37	0,75		-0,18
Gem		510,30	-0,106	0,056	-2,50	1,58	-20,56	13,02	0,95	0,67
Max		1591,63	0,053	0,108	15,81	7,12	130,30	58,69		0,98

Berekende gemiddelden en standaardafwijkingen van de MKL's en de hoeveelheid zand

In de tabel zijn de 37 (van de 199) raaien gegeven, die er aan voldoen dat er dieptemetingen zijn over de hele range van de ondergrens tot aan de GLW. Uitgezonderd de twee raaien met de raainummers 108 en 180 is er sprake van autocorrelatie. De gemiddelden van de LRK-WST diepteverschillen variëren van -0,18 tot 0,053 m en is gemiddeld -0,106 m. De gemiddelden van ΔMKL variëren van -22,74 tot 15,81 m en is gemiddeld -2,50 m. De gemiddelden van ΔZ variëren van -187,37 tot 130,30 m³ (per meter kust) en is gemiddeld -20,56 m³.

De standaardafwijkingen van de LRK-WST diepteverschillen variëren van 0,022 tot 0,108 m en is gemiddeld . De standaardafwijkingen van ΔMKL variëren van 0,09 tot 7,12 m en is gemiddeld 1,58 m. De standaardafwijkingen van ΔZ variëren van 0,75 tot 58,69 m³ (per meter kust) en is gemiddeld 13,02 m³. De kustlijn lengte tussen de eerste en de laatste raai, resp. raainummer 100 en 2580 is 41,2 km lang. Dit betekent voor dit kustdeel een totale hoeveelheid zand door de LRK-WST diepteverschillen van -847100 m³ met een standaardafwijking van 536500 m³.

Standaardafwijking ΔTKL

In de onderstaande tabel zijn de resultaten gegeven voor de berekening van de TKL's van 2003 t/m 2007. Op de tweede rij is het begin- en eindjaar gegeven van de tijdreeks van jaarwaarden van de MKL's gegeven.

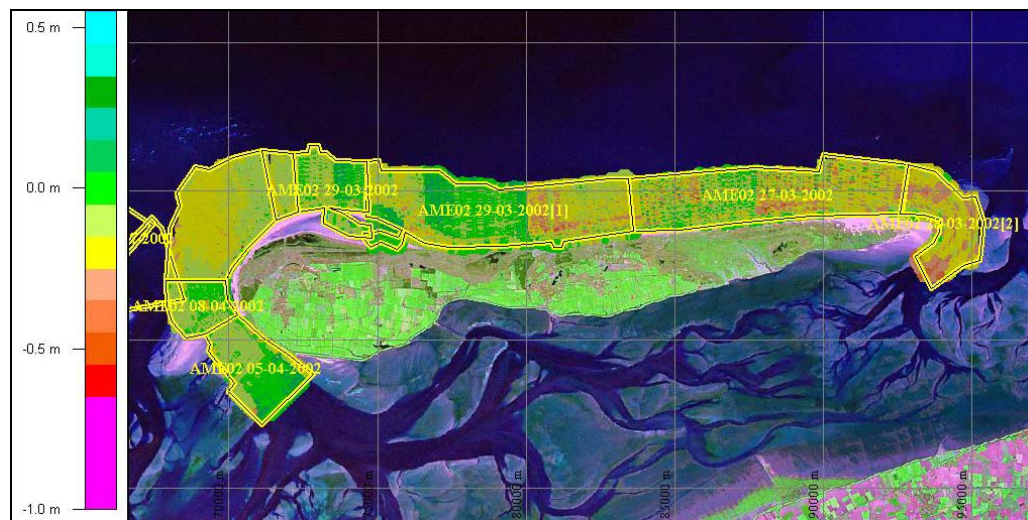
TKL	2007	2003		2004		2005		2006		2007	
MKL's		1993-2002		1994-2003		1995-2004		1996-2005		1997-2006	
Raainr	TKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL
min		-0,53	0,09	-11,38	0,07	-19,39	0,05	-24,40	0,04	-27,34	0,03
gem		-0,01	1,62	-1,48	1,28	-1,80	1,20	-2,70	0,85	-3,13	0,60
max		0,16	6,97	8,89	5,48	14,67	5,61	17,87	3,87	18,95	2,46

Berekende verschillen en standaardafwijkingen van de TKL op basis van jaarreeksen van de MKL's

In de kolommen 3 en 4 zijn de resultaten gegeven voor TKL 2003, waarbij de MKL's voor alle jaren van 1993 t/m 2002 dezelfde verdeling hebben namelijk $N(0, \sigma 2gr)$. De ΔTKL en de σTKL van 2003 blijken in de orde van grootte te zijn van de 0 en $\sigma 2$. De σTKL neemt duidelijk af bij de berekening van de TKL voor 2003 tot 2007. De σTKL van 2007 is gemiddeld een factor 2,69 kleiner dan de σTKL van 2003. De gemiddelde waarde voor ΔTKL van 2007 is -3,13 m.

Bijlage 6: Analyse Ameland

In totaal zijn er 560 raaien gevaren door de vaartuigen de Amasus, de Capella, de Siege en de Gemma



Overzicht lodingen Ameland en verschillen tussen LRK- en WST-metingen (25x25 meter grid)

Structurele LRK-WST verschillen Ameland

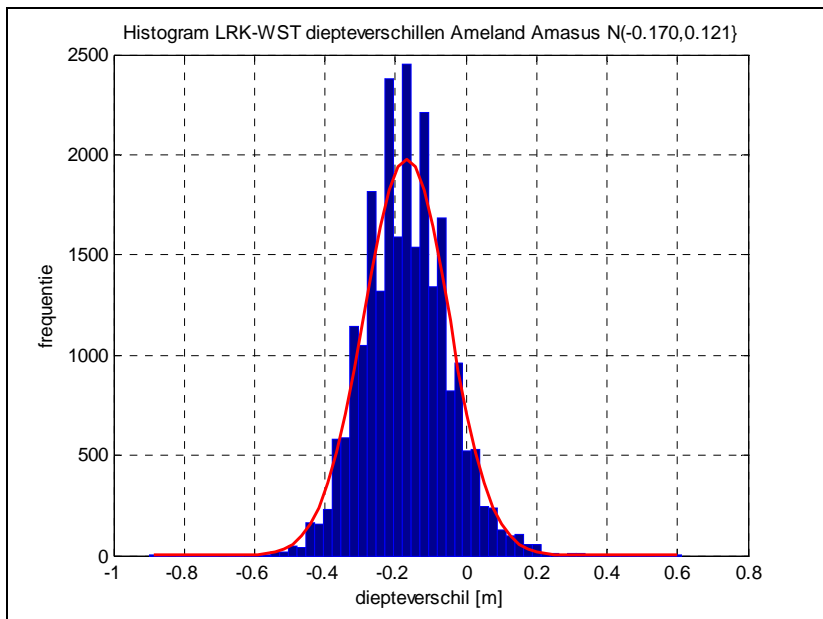
- De verschillen lijken vooral het gevolg van false heave effecten aan het begin en aan het einde van de meetraai en de verschillen zijn tamelijk constant.
- De verschillen worden gekenmerkt door een periodieke afwijking bovenop een langzaam variërende systematische fout. De periodieke uitwijkingen zijn ook duidelijk zichtbaar in zowel de dGPS- als de LRK-data en duiden op een foutief werkende sensor, maar ze kunnen ook veroorzaakt zijn door een te grote afstand tot het RTK-referentiestation.
- De systematische fout wordt gekenmerkt door een grote afwijking aan het begin en aan het einde van de meetraai. Daartussen is de fout vrijwel constant. In het constante deel lijkt het effect van het bodemprofiel zichtbaar, dit duidt op het niet corrigeren voor de squat.

Kwantitatief

In het Jarkusgebied Ameland is er gevaren door de Amasus, de Capella, de Siege en de Gemma. In de tabellen navolgende zijn de gemiddelde verschillen (m) en de standaardafwijkingen (σ) gegeven van de LRK-WST diepteverschillen (secondewaarden) met daarbij het onderscheid in de meetdagen en of de raaien land- of zeewaarts zijn gevaren. Een negatief verschil betekent dat het LRK- gemiddeld dieper meet dan het WST-meetsysteem. In de digitale bijlagen zijn histogrammen gegeven van de LRK-WST diepteverschillen met daarin de normale verdelingsfunctie voor elke gecombineerde cel (met m en σ) in de tabel.

vaartuig	datum	Tijdsduur		raaien aantal	land- en zeewaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	Tot		m	σ	m	σ	m	σ
Amasus	27-03-2002	13:37:29	14:23:35	10	-0.138	0.165	-0.139	0.127	-0.137	0.195
Amasus	28-03-2002	7:22:45	13:53:55	39	-0.201	0.101	-0.205	0.097	-0.197	0.106
Amasus	29-03-2002	8:13:46	12:22:19	58	-0.113	0.118	-0.108	0.114	-0.122	0.127
Amasus	alle			117	-0.17	0.121	-0.168	0.115	-0.173	0.129

Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Amasus



Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 27, 28 en 29 maart 2002 van de Amasus

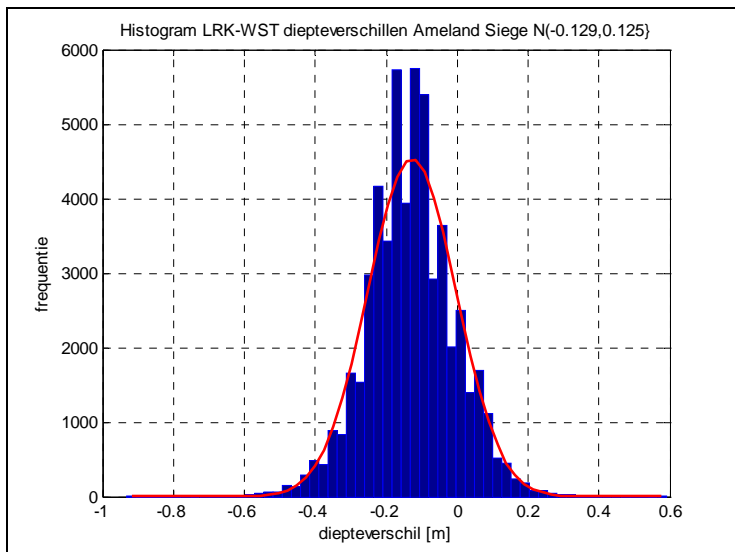
Vaartuig	datum	Tijdsduur		raaien	land- en zeewaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	Tot		aantal	m	σ	m	σ	M
Capella	27-03-2002	12:46:38	14:37:10	18	-0.078	0.157	-0.071	0.128	-0.084	0.182
Capella	28-03-2002	7:32:34	13:00:39	41	-0.005	0.093	-0.011	0.087	0.001	0.1
Capella	29-03-2002	8:24:58	12:33:01	39	-0.026	0.115	-0.043	0.111	0.007	0.117
Capella	alle			98	-0.027	0.119	-0.032	0.106	-0.019	0.135

Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Capella

Figuur 48: Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 27, 28 en 29 maart 2002 van de Capella

Vaartuig	datum	tijdsduur		raaien	land- en zeewaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	tot		aantal	m	σ	m	σ	M
Siege	27-03-2002	10:06:23	14:27:06	48	-0.172	0.173	-0.17	0.151	-0.174	0.192
Siege	28-03-2002	7:35:53	13:50:00	74	-0.186	0.093	-0.19	0.088	-0.183	0.098
Siege	29-03-2002	8:34:27	11:04:22	29	-0.094	0.11	-0.091	0.109	-0.122	0.111
Siege	02-04-2002	8:37:33	12:41:24	30	-0.139	0.064	-0.145	0.066	-0.127	0.058
Siege	05-04-2002	7:17:15	10:37:26	25	-0.023	0.086	-0.025	0.089	-0.02	0.079
Siege	08-04-2002	9:27:16	10:49:26	12	-0.04	0.105	-0.041	0.104	-0.038	0.106
Siege	09-04-2002	7:35:05	10:53:13	20	-0.153	0.078	-0.157	0.072	-0.15	0.085
Siege	17-04-2002	11:23:37	12:24:47	12	-0.192	0.065	-0.212	0.065	-0.157	0.049
Siege	18-04-2002	8:37:51	11:42:18	35	-0.016	0.105	-0.016	0.105		
Siege	28-05-2002	8:24:06	9:48:56	22	-0.117	0.054	-0.109	0.047	-0.192	0.049
Siege	alle			307	-0.129	0.125	-0.121	0.119	-0.14	0.132

Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Siege

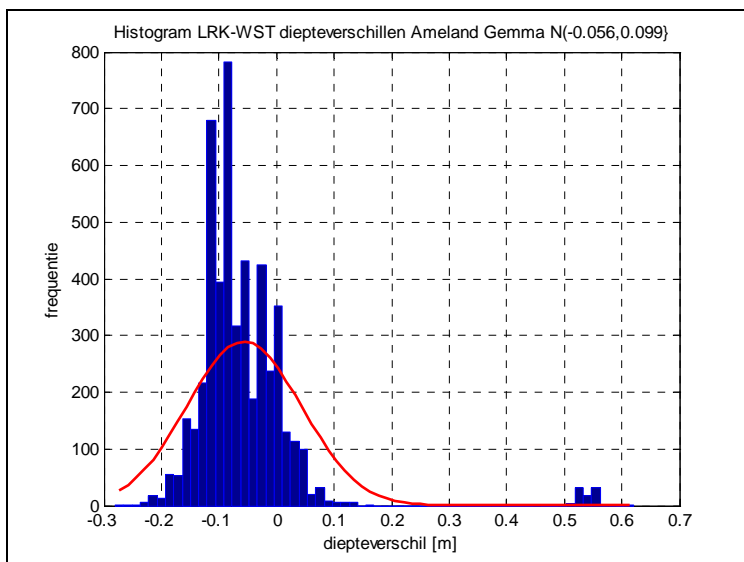


Histogram van LRK-WST diepteverschillen van de Siege bij Ameland

vaartuig	datum	tijdsduur		raaien	land- en zeewaarts		landwaarts		zeewaarts	
		van	tot		aantal	m	σ	m	σ	M
Gemma	07-05-2002	14:51:11	16:51:40	24	-0.029	0.126	-0.01	0.151	-0.059	0.059
Gemma	28-05-2002	8:08:07	9:49:39	14	-0.085	0.046	-0.078	0.046	-0.092	0.044
Gemma	alle			38	-0.056	0.099	-0.039	0.122	-0.077	0.054

Gemiddelde (m) en standaardafwijking (σ) van de LRK-WST diepteverschillen van de Gemma

In de volgende figuur zijn de LRK-WST dieptemetingen 'alle' meetdagen van 7 en 28 mei 2002 gegeven.



Histogram van LRK-WST diepteverschillen van 7 en 28 mei van de Gemma

Het bovenstaande histogram heeft meerdere pieken en een aantal uitbijters tussen 0,5 en 0,6 m. De rode curve van de normale verdelingsfunctie geeft een matige beschrijving van de diepteverschillen van de twee meetdagen. De tabel en de figuur maken duidelijk dat de verdeling van alle diepteverschillen een samenstelling is van verschillende verdelingen van de diepteverschillen van de land- en zeewaarts gevaren raaien en van de twee meetdagen.

In de digitale bijlagen zijn de histogrammen gegeven van de afzonderlijke meetdagen. Ook voor 7 mei geeft de normale verdelingsfunctie geen goede beschrijving van de LRK-WST diepteverschillen.

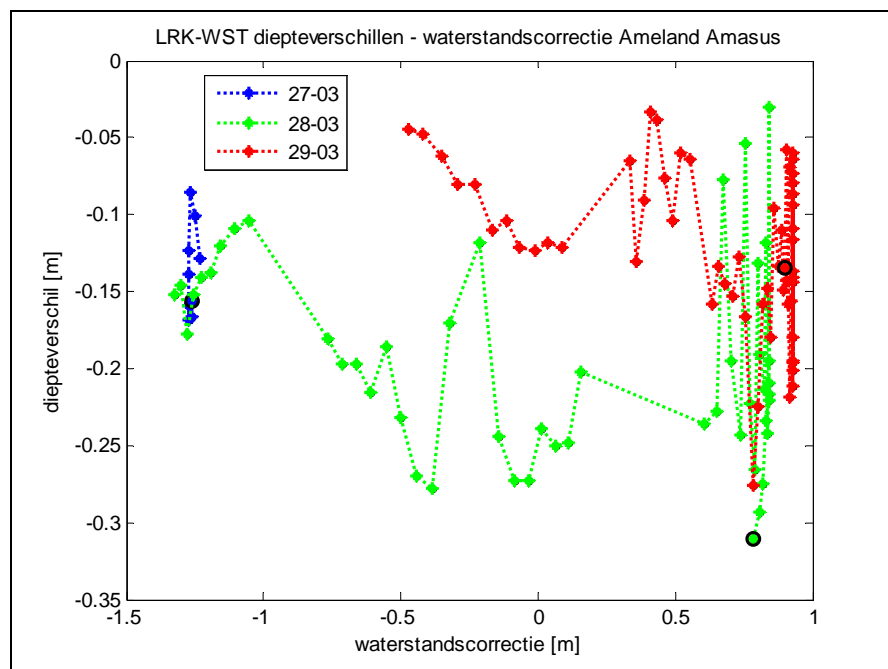
Conclusie

De daggemiddelde LRK-WST diepteverschillen kunnen liggen tussen -0,02 tot -0,19 m, afhankelijk van het type meetvaartuig.

Kwantitatieve analyse van de toegepaste waterstandscorrectie Ameland

Amasus

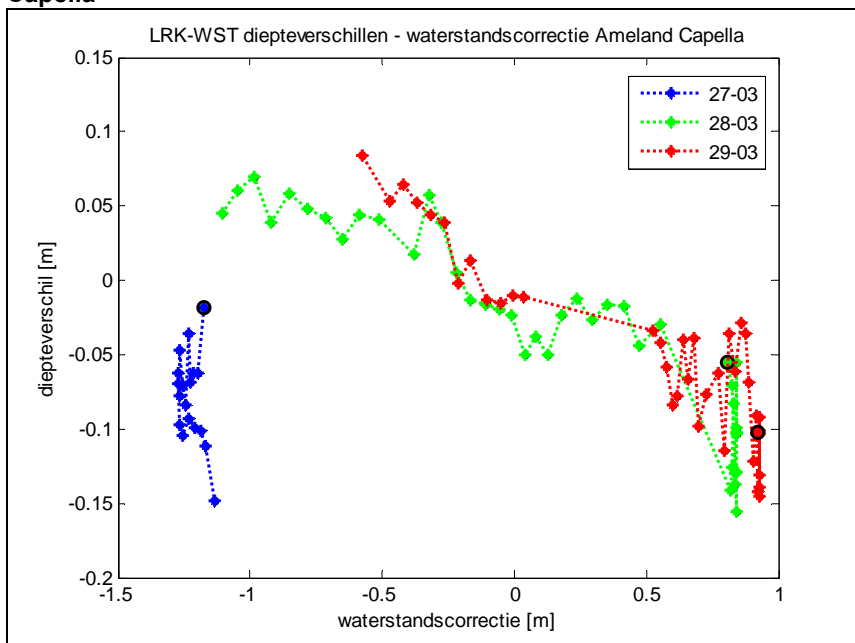
In onderstaande figuur zijn de gemiddelde LRK-WST diepteverschillen per raai uitgezet tegen de toegepaste waterstandscorrectie van de Amasus. De eerst gevaren raai is aangegeven met een 'o'.



LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Amasus

De gemiddelde LRK-WST diepteverschillen van de groene (28-03) en van de rode curve (29-03) hebben geen duidelijke relatie met de waterstandscorrectie, maar hebben een grote spreiding i.h.b. rond de maximale waarden van de waterstandscorrectie. Opvallend zijn uiteraard de verschillen tussen de groene en rode curve bij vergelijkbare waterstandscorrecties.

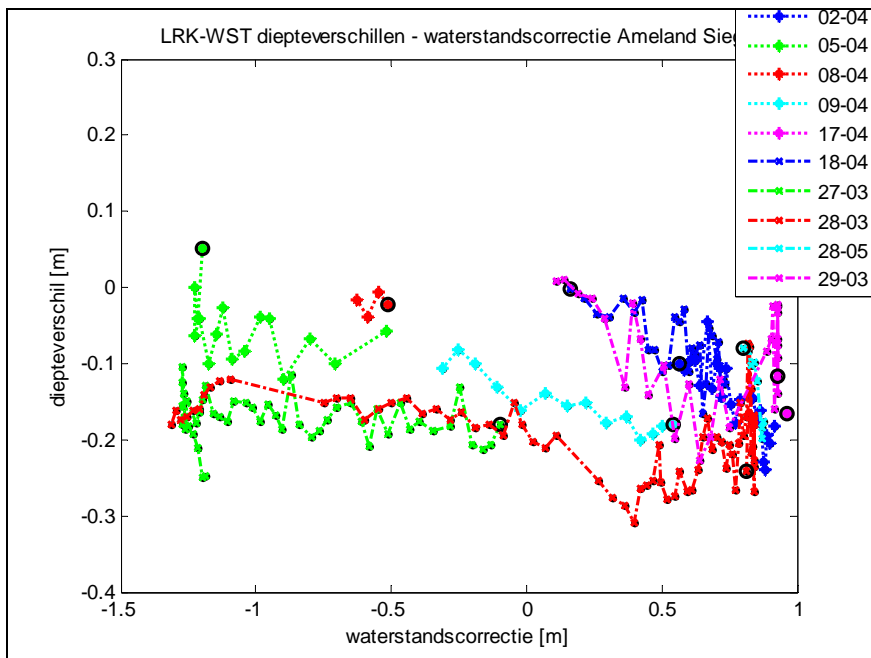
Capella



LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Capella

De gemiddelde LRK-WST diepteverschillen van de groene (28-03) en van de rode curve (29-03) hebben positieve trend in de tijd en een relatie met de waterstandscorrectie. Bij de blauwe curve (17-05) is er een LRK-WST diepteverschil van bijna 0,15 m. tussen de eerste en de laatste raai bij vergelijkbare waterstandscorrectie.

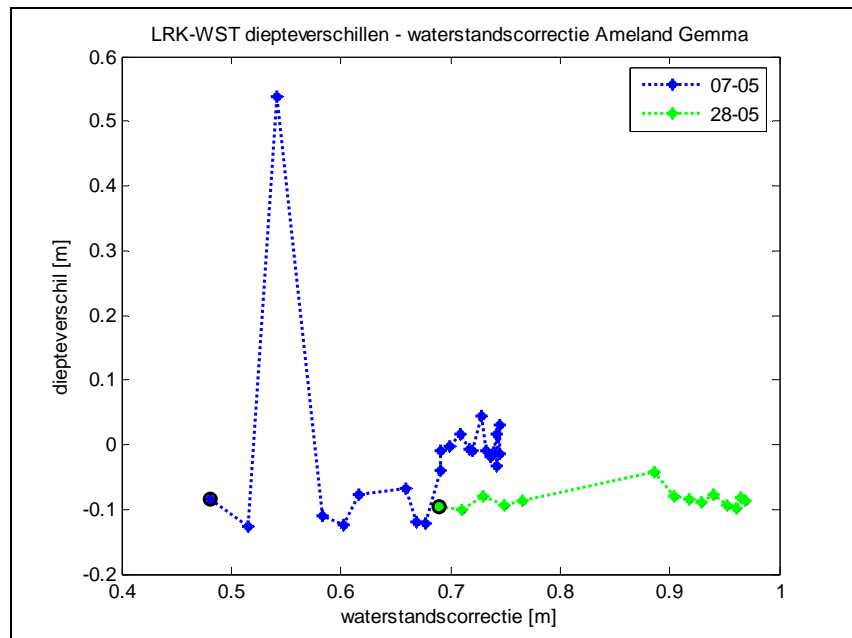
Siege



LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Siege

Er zijn 10 meetdagen van lodingen met de Siege geweest van in totaal 307 raaien. De curves van 28 (rood) en 29 maart (magenta), 9 (licht blauw) en 18 april (blauw) vertonen een lichte trend in in toenemende diepteverschillen in de tijd en daarmee een relatie met de waterstandscorrectie.

Gemma



LRK-WST diepteverschil – waterstandscorrectie van de Gemma

Opvallend is de grote uitbijter van het gemiddelde LRK-WST diepteverschil van meer dan 0,5 m. Verder is er geen duidelijke relatie van de LRK-WST diepteverschillen met de waterstandscorrectie.

Conclusie

Bij verschillende raaigemiddelde LRK-WST diepteverschillen zijn trends zichtbaar, waarmee een relatie met de waterstandscorrectie wordt aangetoond.

Verklaringsmodel Ameland

Amasus

vaartuig	datum	tijdsduur		kc		C		modelruis	verklaard
		van	tot	m	σ	m	σ	σ	perc.
Amasus	27-3-2002	13:37:28	14:23:35						
Amasus	28-3-2002	7:22:44	13:53:55	0,286	0,071	-0,057	0,065	0,07	31,162
Amasus	29-3-2002	8:13:45	12:22:19	0,427	0,143	0,04	0,084	0,093	21,38
Amasus	alle			0,338	0,121	-0,022	0,085	0,073	60,485

Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de squatmodellering van de Blauwe Slenk

De beschrijving van het uitgebreide squatmodel van de LRK-WST diepteverschillen van de 10 raaien van 27 maart is matig.

Capella

vaartuig	datum	tijdsduur		kc		C		modelruis	verklaard
		van	tot	m	σ	m	σ		
Capella	27-3-2002	12:46:37	14:37:10						
Capella	28-3-2002	7:32:33	13:00:39	0,235	0	-0,013	0	0,082	12,119
Capella	29-3-2002	8:24:57	12:33:01	0,3	0,106	0,063	0,116	0,099	13,99
Capella	alle			0,284	0,092	0,044	0,102	0,097	80,905

Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de squatmodellering van de Capella

De beschrijving van het uitgebreide squatmodellen van de LRK-WST diepteverschillen is vaak matig.

Siege

vaartuig	datum	tijdsduur		kc		C		modelruis	verklaard
		van	tot	m	σ	m	σ		
Siege	27-3-2002	10:06:22	14:27:06	0,511	0	0,064	0	0,159	8,06
Siege	28-3-2002	7:35:52	13:50:00	0,274	0,078	-0,054	0,065	0,08	13,615
Siege	29-3-2002	8:34:26	11:04:22	0,165	0	-0,049	0	0,037	66,416
Siege	2-4-2002	8:37:32	12:41:24	0,174	0,049	-0,036	0,044	0,042	34,642
Siege	5-4-2002	7:17:14	10:37:26						
Siege	8-4-2002	9:27:15	10:49:26						
Siege	9-4-2002	7:25:26	10:53:13						
Siege	17-4-2002	11:23:37	12:24:47						
Siege	18-4-2002	8:37:50	11:42:18	0,196	0	0,092	0	0,057	45,37
Siege	28-5-2002	8:24:05	9:48:56						
Siege	alle			0,224	0,092	-0,037	0,059	0,073	58,469

Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de squatmodellering van de Siege

De beschrijving van het uitgebreide squatmodellen van de LRK-WST diepteverschillen is matig.

Gemma

vaartuig	datum	tijdsduur		kc		C		modelruis	verklaard
		van	tot	m	σ	m	σ		
Gemma	7-5-2002	14:51:10	16:51:40	0,207	0,031	0,053	0,06	0,021	83,642
Gemma	28-5-2002	8:08:06	9:49:39						
Gemma	alle			0,207	0,031	0,053	0,06	0,021	20,686

Modelparameters, modelruis en verklaarde variantie van de squatmodellering van de Gemma

De beschrijving van het uitgebreide squatmodellen van de LRK-WST diepteverschillen van de raaien is matig.

Conclusie

In een groot aantal gevallen blijkt de modellering matig te zijn vanwege:

- de spreiding in de diepteverschillen,
- de dynamica in de diepteverschillen
- periodiciteiten in de diepteverschillen veroorzaakt door false heave en door het meedeinen van het vaartuig bij veranderingen van de diepte en snelheid
- de squatmodellering gaat uit van een stationaire situatie
- de aanname dat de LRK dieper meet dan WST door het squatfenomeen

Ameland

In de onderstaande tabellen zijn de berekeningen gegeven van de standaardafwijkingen in de verschillen van de kustlijn (ΔMKL), het verschil in kubs zand (ΔZ) en de verschillen in de te toetsen kustlijn (ΔTKL) door de LRK-WST diepteverschillen.

Standaardafwijkingen ΔMKL en ΔZ

In de onderstaande tabel zijn voor geselecteerde raaien de resultaten gegeven. De in de eerste twee rijen genoemde grootheden zijn uitgelegd in figuur 1 en in de vergelijkingen (3) t/m (6). De afstand van de duinvoet tot aan de GLW-lijn (de hoogte h) is bij Ameland 3,30 m. In de kolom 'auto' zijn de uitkomsten gegeven van het toepassen van resp. de Portmanteau-toets (1=waar, 0=onwaar). De correlatiecoëfficiënt geeft ten slotte de autocorrelatie tussen opeenvolgende diepteverschillen.

Raainr	MKL	lengte raai	LRK-WST		ΔMKL		ΔZ		auto	corr.
			m1	$\sigma 1$	m2	$\sigma 2$	m3	$\sigma 3$		coeff.
min		22,15	-0,315	0,022	-13,59	0,06	-89,69	0,37		0,33
gem		291,20	-0,171	0,084	-3,13	2,03	-20,65	13,40	0,96	0,85
max		446,41	-0,075	0,141	5,71	3,87	37,70	25,55		0,97

Tabel 17: Berekende gemiddelden en standaardafwijkingen van de MKL's en de hoeveelheid zand

In de tabel zijn de 27 (van de 286) raaien gegeven, die er aan voldoen dat er dieptemetingen zijn over de hele range van de ondergrens tot aan de GLW. Uitgezonderd de raai met de raainummer 4840 is er sprake van autocorrelatie.

De gemiddelden van de LRK-WST diepteverschillen variëren van -0,315 tot -0,075 m en is gemiddeld -0,171 m. De gemiddelden van ΔMKL variëren van -13,59 tot 5,71 m en is gemiddeld -3,13 m. De gemiddelden van ΔZ variëren van -89,69 tot 37,7 m³ (per meter kust) en is gemiddeld -20,65 m³

De standaardafwijkingen van de LRK-WST diepteverschillen variëren van 0,022 tot 0,141 m en is gemiddeld 0,084 m. De standaardafwijkingen van ΔMKL variëren van 0,06 tot 3,87 m en is gemiddeld 2,03 m. De standaardafwijkingen van ΔZ variëren van 0,37 tot 25,55 m³ (per meter kust) en is gemiddeld 13,40 m³. De kustlijn lengte tussen de eerste en de laatste raai, resp. raainummer 4800 en 2280 is 27,4 km lang. Dit betekent voor dit kustdeel een totale hoeveelheid zand door de LRK-WST diepteverschillen van -565700 m³ met een standaardafwijking van 367100 m³.

Standaardafwijking ΔTKL

In de onderstaande tabel zijn de resultaten gegeven voor de berekening van de TKL's van 2003 t/m 2007. Op de tweede rij is het begin- en eindjaar gegeven van de tijdreeks van jaarwaarden van de MKL's gegeven.

TKL	2007	2003		2004		2005		2006		2007	
MKL's		1993-2002		1994-2003		1995-2004		1996-2005		1997-2006	
Raainr	TKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL	ΔTKL	σTKL
min		-0,26	0,06	-7,73	0,04	-12,67	0,04	-15,36	0,03	-16,31	0,02
gem		-0,02	2,19	-2,01	1,66	-3,23	1,23	-3,95	0,91	-4,20	0,65
max		0,52	3,94	3,19	3,19	5,55	2,30	6,41	1,75	6,93	1,26

Berekende verschillen en standaardafwijkingen van de TKL op basis van jaarreeksen van de MKL's

In de kolommen 3 en 4 zijn de resultaten gegeven voor TKL 2003, waarbij de MKL's voor alle jaren van 1993 t/m 2002 dezelfde verdeling hebben namelijk $N(0, \sigma 2)$. De ΔTKL en de σTKL van 2003 blijken in de orde van grootte te zijn van de 0 en $\sigma 2$. De σTKL neemt duidelijk af bij de berekening van de TKL voor 2003 tot 2007. De σTKL van 2007 is gemiddeld een factor 3,38 kleiner dan de σTKL van 2003. De gemiddelde waarde voor ΔTKL van 2007 is -4,20 m.

Bijlage 7: Definitie van het uitgebreide squatmodel of Verklaringsmodel

De definitie van het algemene uitgebreide squatmodel is:

$$I = k_v * \frac{B_0 * H_0}{L_0} * \frac{(k_f * F)^2}{\sqrt{1 - (k_f * F)^2}} + C + N, \text{ met } F = \frac{V}{\sqrt{g * D}} \quad (1)$$

met:

I	= inzinking/squat
F	= Froudegetal
N	= modelruis, met verwachtingswaarde gelijk aan nul
C	= een constante waarde, afhankelijk van b.v. de waterstandcorrectiefout
B ₀	= scheepsbreedte in de waterlijn
L ₀	= scheepslengte in de waterlijn
H ₀	= gemodelleerde scheepsdiepgang (=2/3 * scheepsdiepgang)
V	= scheepssnelheid door het water
D	= actuele waterwegdiepte
k _v	= vormparameter
k _f	= de Froude schalingsparameter
g	= versnelling, 9.8 m/s ²

De Froude schalingsparameter is een extra vrijheidsgraad in het model voor het schalen van het Froudegetal naar de squat. Voor de berekening van de squat is nog een uitzonderingssituatie en een randvoorwaarde ingebouwd:

1. D > 6*H₀, D = 6*H₀.
2. k_f * F <= 0.99.

Is de diepte in absolute zin zes maal groter dan de gemiddelde scheepsdiepgang neem dan de diepte gelijk aan zes maal de gemiddelde scheepsdiepgang. De bovengrens van de Froude schalingsparameter k_f*F is iets kleiner dan 1, anders is de squat niet te berekenen.

Onbekend in het algemene uitgebreide squatmodel zijn de waarden van de modelparameters: k_v, k_f, B₀, H₀ en L₀. Een eenvoudiger versie van het model is als de Froude schalingsconstante k_f gelijk is aan één. Omdat de overige modelparameters onbekend zijn krijgt het eenvoudige model de volgende vorm:

$$I = k_c * \frac{F^2}{\sqrt{1 - F^2}} + C + N, \text{ met } F = \frac{V}{\sqrt{g * D}} \quad (2)$$

of

$$I = k_c * F + C + N, \text{ met } F = \frac{V}{\sqrt{g * D}} \quad (3)$$

met:

k _c	= bootparameter
C	= waterstandcorrectiefout en ander constante fouten

In het algemene model van (1) worden de modelparameters k_v en k_f met een niet lineair optimalisatie-algoritme geschat. De uitgebreide squatmodellen (2) en (3) zijn lineair in de modelparameter k_c. De modelruis is een arima-model met periodiciteiten voor het modelleren van de autocorrelatie en de 'false heave'. De modelparameter(s) worden geschat met gebruik van de diepteverschillen tussen de LRK- en WST-meetreeksen, de geschatte snelheid van de boot en de dieptegegevens ten opzichte van de waterstand.

In deze rapportage zijn toegepast de eenvoudige uitgebreide squatmodellen van (2) en (3), zonder een uitgebreide modellering van de modelruis. Uitschieters zijn niet uit de LRK-WST diepteverschillen verwijderd. Voor de berekening van het Froudegetal is voor zowel de snelheid als de actuele waterdiepte (beide berekend met LRK-meetsysteem) een lopend gemiddelde toegepast van 6 waarden om uitschieters te weg te smoothen. Door de aanwezigheid van 'false heave' en uitschieters in de LRK-WST diepteverschillen is niet voor het kleinste kwadratencriterium, maar voor een robuust schattingsalgoritme gekozen. Op raainiveau is de modelparameter C is een schatting van constante fouten.

Bijlage 8: Berekeningsmethodiek Kustlijnligging

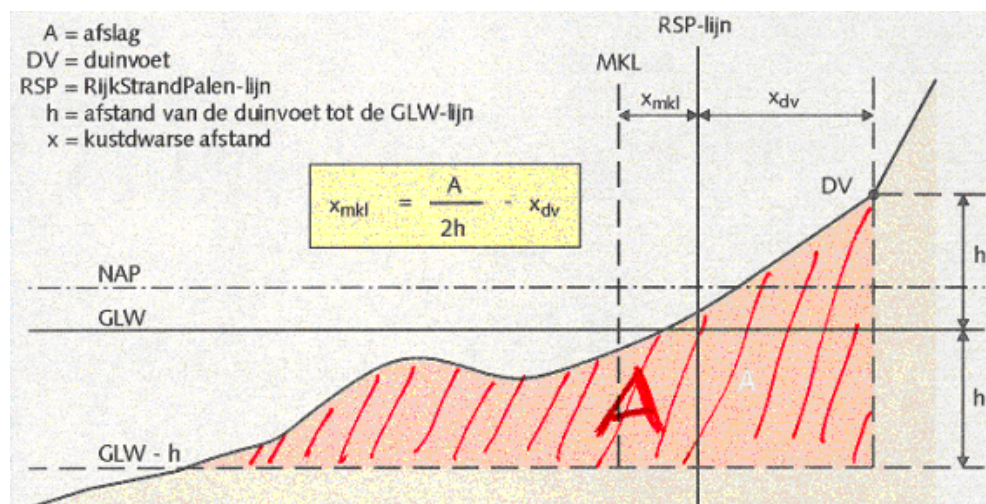
In deze bijlage wordt uitgebreid ingegaan op de onderliggende formules voor de uitgevoerde berekeningen. Dit is de afleiding van de verdelingsfunctie van ΔMKL en ΔZ als functie van de verdelingsfunctie van de LRK-WST diepteverschillen.

Berekening MKL

Voor de berekening van de MKL geldt:

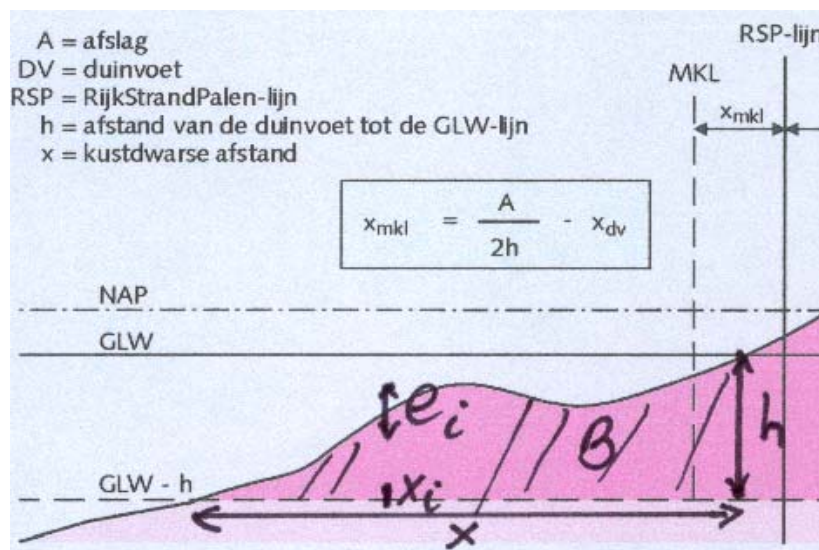
$$MKL = x_{mkl} + x_{dv} = \frac{A}{(2 * h)}$$

De MKL vermenigvuldigd met het hoogteverschil ($2 * h$) is het betreffende aantal kubieke meters zand.



Figuur 49: Berekening van de momentane kustlijn (uit 'Leidraad zandige kust')

Afleiding statistische vergelijkingen voor de verdeling van ΔMKL en ΔZ



Berekening verschuiving van de momentane kustlijn door de LRK-WST diepteverschillen

Er geldt:

$$\Delta MKL = \frac{\Delta A}{(2 * h)} = \frac{\Delta B}{(2 * h)} = \frac{\sum_i e_i * dx_i}{(2 * h)} \quad \text{en} \quad \Delta Zand = \Delta B * L = L * \sum_i e_i * dx_i \quad (1)$$

met: ΔMKL = het MKL-verschuiving door de LRK-WST diepteverschillen e_i in meters
 L = Kustlengte L in meters
 $\Delta Zand$ = het verschil in kubieke meters zand door de LRK-WST diepteverschillen e_i bij een kustlengte L
 ΔB = het verschil in de zandinhoud onder het LRK- en WST-zeeprofiel per meter kust
 e_i = de gemeten LRK-WST diepteverschillen van een raai (met dieptemetingen over het hele bereik $GLW-h - GLW$)
 dx_i = de afstandsverschillen tussen twee meetpunten (x_i, x_{i-1}) van de gevaren raai geprojecteerd langs de theoretische raai

Laat E_1, E_2, \dots gelijk verdeeld (voor een willekeurige verdeling) zijn, met $\text{var}(E_i) = \sigma_i^2$ dan geldt:

$$\text{var}\left(\sum_i^n E_i\right) = \text{var}(E_1 + E_2 + \dots + E_n) = \sum_i^n \sum_j^n \text{cov}(E_i, E_j) = \sum_i^n \text{var}(E_i) + \sum_{i \neq j}^n \text{cov}(E_i, E_j) \quad (2)$$

Veronderstellen we dat E_i en E_j (i en j ongelijk) onderling onafhankelijk zijn, dan geldt $\text{cov}(E_i, E_j) = 0$, zodat:

$$\text{var}\left(\sum_i^n E_i\right) = \sum_i^n \text{var}(E_i) = \sum_i^n \sigma_i^2 \quad (3)$$

Veronderstellen we dat E_i en E_j (i en j ongelijk) onderling afhankelijk zijn, dan geldt:

$$\text{var}\left(\sum_i^n E_i\right) = \sum_i^n \text{var}(E_i) = \left(\sum_i^n \sigma_i\right)^2 \quad (4)$$

Dit is af te leiden door eerst voor 2 s.v uit te werken en vervolgens het aantal n :

$$\text{var}(E_1 + E_2) = \text{var}(E_1) + \text{var}(E_2) + 2 \text{cov}(E_1, E_2) = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2 * \sigma_1 * \sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_2)^2 \quad (5)$$

Er een gewogen som:

$$\text{var}\left(\sum_i^n h_i * E_i\right) = \text{var}(h_1 * E_1 + h_2 * E_2 + \dots + h_n * E_n) = \sum_i^n \text{var}(h_i * E_i) + \sum_{i \neq j}^n \text{cov}(h_i * E_i, h_j * E_j) \quad (6)$$

Veronderstellen we dat E_i en E_j (i en j ongelijk) onderling onafhankelijk zijn, dan geldt $\text{cov}(E_i, E_j) = 0$, zodat:

$$\text{var}\left(\sum_i^n h_i * E_i\right) = \sum_i^n (h_i)^2 * \text{var}(E_i) = \sum_i^n h_i^2 * \sigma_i^2 = \sigma^2 \sum_i^n h_i^2 \quad (7)$$

Vergelijking (7) is een *ondergrens* van de mogelijke variantie. De standaardafwijking is de wortel van de variantie.

Veronderstellen we dat E_i en E_j (i en j ongelijk) een autocorrelatie hebben van 1, dan geldt:

$$\text{var}\left(\sum_i^n h_i * E_i\right) = \sum_i^n \text{var}(h_i * E_i) = \left(\sum_i^n h_i * \sigma_i\right)^2 = \sigma^2 * \left(\sum_i^n h_i\right)^2 \quad (8)$$

Vergelijking (8) is een *bovengrens* van de mogelijke variantie.

Beschouw nu de vergelijking voor ΔMKL in vergelijking (1). Voor de ondergrens van de variantie (7) van ΔMKL geldt:

$$\text{var}(\Delta MKL) = \text{var}\left(\frac{\sum_i^n (dx_i * E_i)}{(2 * h)}\right) = \frac{\sigma^2 * \sum_i^n (dx_i)^2}{(4 * h^2)} \quad (9)$$

Voor de ondergrens van de hoeveelheid zand $\Delta Zand$ geldt:

$$\text{var}(\Delta Zand) = \text{var}(L * \Delta MKL * (2 * h)) = (2 * h * L)^2 * \text{var}(\Delta MKL) = L^2 * \sigma^2 * \sum_i^n (dx_i)^2 \quad (10)$$

Voor de bovengrens van de variantie (8) van ΔMKL geldt:

$$\text{var}(\Delta MKL) = \text{var}\left(\frac{\sum_i^n (dx_i * E_i)}{(2 * h)}\right) = \frac{\sigma^2 * (\sum_i^n dx_i)^2}{(4 * h^2)} \quad (11)$$

Voor de bovengrens van de hoeveelheid zand $\Delta Zand$ geldt:

$$\text{var}(\Delta Zand) = \text{var}(L * \Delta MKL * (2 * h)) = (2 * h * L)^2 * \text{var}(\Delta MKL) = L^2 * \sigma^2 * (\sum_i^n dx_i)^2 \quad (12)$$

De berekening van de verwachtingswaarde van ΔMKL en $\Delta Zand$ is eenvoudig:

$$E(\Delta MKL) = E\left(\frac{\sum_i^n (dx_i * E_i)}{(2 * h)}\right) = \mu l * \frac{\sum_i^n (dx_i)}{(2 * h)} \quad , \text{ met } \mu \text{ is verwachtingswaarde } E_i. \quad (13)$$

$$E(\Delta Zand) = L * 2 * h * E(\Delta MKL) = \mu l * L * \sum_i^n (dx_i) \quad (14)$$

We veronderstellen nu dat de autocorrelatie tussen opeenvolgende variabelen gelijk is aan $(\rho)^t$ met t is het verschil in de index (voor opeenvolgende variabelen geldt t=1). Dan geldt:

$$\text{var}(E1 + Ek) = \text{var}(E1) + \text{var}(Ek) + 2 \text{cov}(X1, Xk) = \sigma_1^2 + \sigma_k^2 + 2 * \rho^{k-1} * \sigma_1 * \sigma_k \quad (15)$$

Bij een autocorrelatie ρ kan nu de verhouding berekend worden tussen de variantie/ standaardafwijking met de autocorrelatie ($\rho < 1$) en de bovengrens van de variantie ($\rho = 1$). In de onderstaande tabel zijn fracties gegeven bij verschillende n van het aantal s.v. E_i en autocorrelatie ρ . De fracties worden in hoofdstuk 8 gebruikt om een betere schatting te geven dan de bovengrens van ΔMKL in (11) en $\Delta Zand$ (12).

n\p	0,95	0,90	0,85	0,80	0,50	0,20	0,00
2	0,99	0,97	0,96	0,95	0,87	0,77	0,71
5	0,96	0,92	0,89	0,85	0,67	0,52	0,45
10	0,92	0,85	0,79	0,74	0,51	0,38	0,32
20	0,86	0,74	0,66	0,59	0,37	0,27	0,22
30	0,80	0,66	0,57	0,51	0,31	0,22	0,18
50	0,71	0,56	0,47	0,40	0,24	0,17	0,14
70	0,64	0,48	0,40	0,35	0,21	0,15	0,12
100	0,56	0,41	0,34	0,29	0,17	0,12	0,10
200	0,42	0,30	0,24	0,21	0,12	0,09	0,07
300	0,35	0,25	0,20	0,17	0,10	0,07	0,06

Tabel 18: Berekende fracties t.o.v. de bovengrens standaardafwijking bij n LRK-WST diepteverschillen en bij een autocorrelatie ρ

Samenvattend

De onderstaande vergelijkingen gelden voor een willekeurige verdeling van de LRK-WST diepteverschillen

1. Geen autocorrelatie LRK-WST diepteverschillen.

Δ MKL heeft een verdelingsfunctie met:

$$m2 = m1 * \frac{\sum_i dx_i}{(2 * h)} \quad \text{en} \quad \sigma_{2kl} = \sigma_1 * \frac{\sqrt{\sum_i (dx_i)^2}}{(2 * h)}$$

Het aantal kubieke meters zand ΔZ and bij een kustlengte L kust heeft daarmee een verdelingsfunctie met:

$$m3 = L * m1 * \sum_i dx_i \quad \text{en} \quad \sigma_{3kl} = L * \sigma_1 * \sqrt{\sum_i (dx_i)^2}$$

De sigma's zijn schattingen voor een ondergrens van de werkelijke sigma.

2. Maximale autocorrelatie LRK-WST diepteverschillen.

Δ MKL heeft een verdelingsfunctie met:

$$m2 = m1 * \frac{\sum_i dx_i}{(2 * h)} \quad \text{en} \quad \sigma_{2gr} = \sigma_1 * \frac{\sum_i dx_i}{(2 * h)}$$

Het aantal kubieke meters zand ΔZ and bij een kustlengte L heeft daarmee een verdelingsfunctie met:

$$m3 = L * m1 * \sum_i dx_i \quad \text{en} \quad \sigma_{3gr} = L * \sigma_1 * \sum_i dx_i$$

De sigma's zijn schattingen voor een bovengrens van de werkelijke sigma

3. De best mogelijke schatting van de sigma is een fractie van de bovengrens en wordt bepaald de correlatiecoëfficiënt

Bijlage 9: Digitale Bijlagen

In de digitale bijlagen worden de detail analyses per gebied weergegeven. Ook histogrammen en modellen zijn hier digitaal opgeslagen. Deze gegevens hebben de basis gevormd voor dit rapport. De volgende bijlagen zijn hierin opgenomen:

Bijlage DIG01	Analyse Ruwe Data Zeeland
Bijlage DIG02	Analyse Ruwe Data Noord-Holland
Bijlage DIG03	Analyse Ruwe Data Noord-Nederland
Bijlage DIG04	Detail Analyse Delfland
Bijlage DIG05	Detail Analyse Rijnland
Bijlage DIG06	Detail Analyse Noord-Hollandse Kust
Bijlage DIG07	Detail Analyse Texel
Bijlage DIG08	Detail Analyse Vlieland
Bijlage DIG09	Detail Analyse Terschelling
Bijlage DIG10	Detail Analyse Ameland
Bijlage DIG11	Histogrammen van Diepteverschillen LRK-WST
Bijlage DIG12	Modellen
Bijlage DIG13	Tabellen op raainiveau van Kustlijnanalyses