

Vergelijking tussen de interpolatiemethodes DIGIPOL, SURFIS en KRIGING

Stageverslag van Lidia van Halderen

20 juni 2005

Vergelijking tussen de interpolatiemethodes DIGIPOL, SURFIS en KRIGING

Stageverslag van Lidia van Halderen

20 juni 2005

Rapportnummer AGI-2005-GPMP-015

Colofon

Uitgegeven door:

Adviesdienst Geo-Informatie en ICT

Informatie:

Tel: 015 275 75 75

Fax:015 275 75 76

Uitgevoerd door:

Lidia van Halderen

Datum:

20 juni 2005

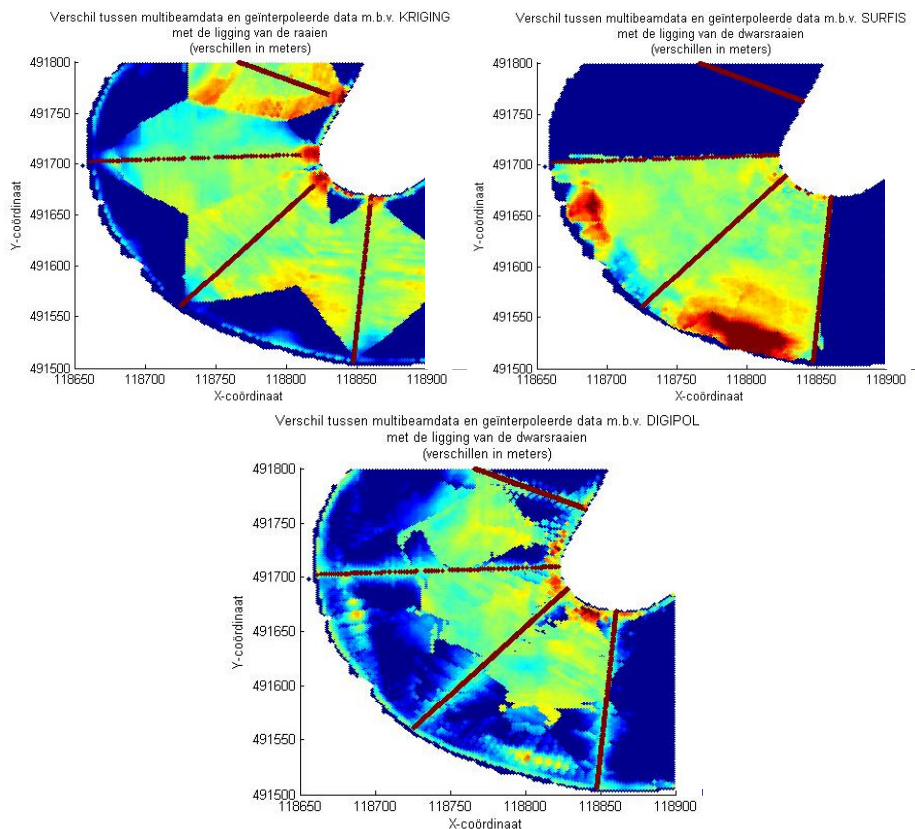
Status:

Definitief

Versienummer:

1.0

Vergelijking tussen de interpolatiemethodes DIGIPOL, SURFIS en KRIGING



Stageverslag

Lidia van Halderen



Adviesdienst
Geo-informatie en ICT
Rijkswaterstaat



Technische Universiteit Delft

VOORWOORD

In de opleiding geodesie van de Technische Universiteit in Delft is in het derde leerjaar een stage opgenomen voor de duur van 8 weken. Deze is gevolgd bij de Adviesdienst voor Geo-informatie en ICT van Rijkswaterstaat te Delft. Het tijdens deze stage uitgevoerde onderzoek, dat resulteerde in het voor U liggende rapport, nam verreweg het grootste deel van deze genoemde periode in beslag.

Het doel van dit onderzoek is het vergelijken van de interpolatiemethodes DIGIPOL, SURFIS en KRIGING op basis van het geleverde interpolatieresultaat, maar ook komen een validatie van de geleverde kwaliteitsbeschrijving en de verschillen in gebruiksgemak en rekentijd aan de orde. Van de genoemde drie methodes worden zowel DIGIPOL als SURFIS binnen Rijkswaterstaat ingezet voor het interpoleren van dieptemetingen. KRIGING is een andere veel gebruikte interpolatiemethode waarvan wordt verwacht dat deze ook goed inzetbaar is voor de bovengenoemde toepassing.

Graag wil ik van deze gelegenheid gebruik maken om zowel mijn stagebegeleiders van de Adviesdienst voor Geo-informatie en ICT, Gert Brand en Sander Oude Elberink, als mijn stage begeleider vanuit de Technische Universiteit Delft, Roderik Lindenbergh, te bedanken voor hun steun en nuttige adviezen waarvan zij mij hebben voorzien. Zonder hun inzet zou dit onderzoek nooit geresulteerd hebben in het voor U liggende resultaat.

Lidia van Halderen
20 juni 2005

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	2
SAMENVATTING	6
<u>HOOFDSTUK 1: INLEIDING</u>	8
<u>HOOFDSTUK 2: INWINNEN VAN DE DATASET</u>	10
2.1 INWINNING VAN DIEPTEGEGEVENS MET BEHULP VAN SINGLEBEAM	10
2.2 INWINNING VAN DIEPTEGEGEVENS MET BEHULP VAN MULTIBEAM	13
2.2.1 SWATH MULTIBEAMSYSTEEM	14
2.2.2 SWEEP MULTIBEAMSYSTEEM	16
2.3 FOUTENBRONNEN BIJ ECHOLODING	17
2.3.1 BEWEGINGEN VAN HET SCHIP	17
2.3.2 AFWIJINGEN VAN DE VOORTPLANTINGSSNELHEID VAN GELUID IN WATER	21
<u>HOOFDSTUK 3: INTRODUCTIE DIGIPOL, SURFIS EN KRIGING</u>	23
3.1 WERKING VAN DIGIPOL	23
3.1.1 VOORBEWERKING.....	24
3.1.1.1 Maken van het grid.....	24
3.1.1.2 Bepalen van de te interpoleren gridcellen	26
3.1.2 INTERPOLATIEPROCEDURE.....	27
3.1.2.1 De ruwe interpolatie	28
3.1.2.2 De richtingsbepaling	31
3.1.2.3 De gerichte interpolatie	33
3.1.2.4 Kwaliteitsbeschrijving van interpolatieresultaat	34
3.2 WERKING VAN SURFIS	37
3.2.1 VOORBEWERKING.....	37
3.2.1.1 Selecteren van het onderzoeksgebied.....	37
3.2.1.2 Berekenen van de rivieras	38
3.2.1.3 Transformatie van de coördinaten.....	39
3.2.2 INTERPOLATIEPROCEDURE.....	39
3.2.2.1 Kwaliteitsbeschrijving van de interpolatiemethode	39
3.2.2.2 De gerichte interpolatie	40
3.2.2.3 Kwaliteitsbeschrijving van het interpolatieresultaat	41

3.3	WERKING VAN KRIGING.....	43
3.3.1	VOORBEWERKING.....	43
3.3.1.1	Analyse van het experimentele variogram	43
3.3.1.2	Kiezen van het semi-variogram.....	46
3.3.2	INTERPOLATIEPROCEDURE.....	47
3.3.2.1	Kwaliteitsbeschrijving van de interpolatiemethode	47
3.3.2.2	Ordinary KRIGING.....	49
3.3.2.3	Universal KRIGING	50
3.3.2.4	Simple KRIGING.....	51
3.4	EIGENSCHAPPEN VAN DIGIPOL SURFIS EN KRIGING	53

HOOFDSTUK 4: BESCHRIJVING VAN DE VERGELIJKINGSMETHODES.....55

4.1	VERGELIJKING VAN INTERPOLATIERESULTATEN.....	55
4.2	VERGELIJKING VAN INTERPOLATIEKWALITEIT	56
4.3	VERGELIJKING VAN GEBRUIKSGEMAK EN REKENTIJD	56

HOOFDSTUK 5: RESULTATEN VAN DE PETROLEUMHAVEN AMSTERDAM.....58

5.1	VERGELIJKING VAN INTERPOLATIERESULTATEN.....	61
5.1.1	RESULTAAT DWARSRAAIEN OM DE 50M	62
5.1.1.1	Resultaat DIGIPOL	62
5.1.1.2	Resultaat SURFIS	64
5.1.1.3	Resultaat KRIGING	65
5.1.1.4	Verschillen tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING	67
5.1.2	RESULTAAT DWARSRAAIEN OM DE 100M	70
5.1.2.1	Resultaat DIGIPOL	70
5.1.2.2	Resultaat SURFIS	72
5.1.2.3	Resultaat KRIGING	73
5.1.2.4	Verschillen tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING	75
5.1.3	RESULTATEN VAN DE OVERIGE RAAICONFIGURATIES	78
5.2	VERGELIJKING VAN INTERPOLATIEKWALITEIT	80
5.2.1	KWALITEIT DWARSRAAIEN OM DE 50M	81
5.2.2	KWALITEIT DWARSRAAIEN OM DE 100M	83
5.2.3	KWALITEIT VAN DE OVERIGE RAAICONFIGURATIES	85
5.2.4	VERGELIJKING VAN GEGEVEN EN BEREKENDE KWALITEIT	86
5.2.5	VERGELIJKING VAN VARIATIES IN DE RESOLUTIE	89
5.3	VERGELIJKING VAN GEBRUIKSGEMAK EN REKENTIJD	93

<u>HOOFDSTUK 6: CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</u>	<u>97</u>
LITERATUURLIJST	100
BIJLAGEN	101
BIJLAGE 1: VERKLARING VAN VARIOGRAMMODELLEN EN PARAMETERS	102
BIJLAGE 2: RESULTATEN VAN DE OVERIGE RAAICONFIGURATIES	103
BIJLAGE 3: KWALITEIT VAN DE OVERIGE RAAICONFIGURATIES	139
BIJLAGE 4: BEVINDINGEN VAN DE STAGE.....	150

SAMENVATTING

Doordat dieptemetingen altijd bestaan uit metingen die op een specifiek punt worden uitgevoerd en er dus nooit volledig vlakdekkende meetinformatie wordt ingewonnen, zullen de dieptewaarden op de locaties zonder meetgegevens worden geïnterpoleerd. Op deze te interpoleren locaties ontstaat hierdoor een fout die onafhankelijk is van de meetfout op de gemeten punten, maar welke wel afhankelijk is van de gekozen interpolatiemethode. Deze fout wordt wel de interpolatiefout genoemd en is vele malen groter dan de meetfout op de meetpunten.

Doel van dit onderzoek is het in kaart brengen van deze interpolatiefout voor de door Rijkswaterstaat gebruikte interpolatiemethodes DIGIPOL en SURFIS en de internationaal vaak gebruikte interpolatiemethode KRIGING en deze drie methodes met elkaar te vergelijken. Deze vergelijking gebeurt niet alleen op basis van het interpolatieresultaat, maar ook de geleverde kwaliteitsbeschrijving en het gebruikersgemak worden bij de vergelijking meegenomen. Er wordt hierbij gebruik gemaakt van een dichte multibeamdataset die als werkelijke bodemdiepte wordt beschouwd. Uit deze multibeamdataset zijn er verschillende singlebeamraaien geëxtraheerd, welke zijn gebruikt als bekende punten bij de interpolatie.

DIGIPOL is een iteratieve lineaire interpolatiemethode waarbij er gebruik wordt gemaakt van een richtingsafhankelijkheid bij het zoeken naar bekende punten die worden meegenomen bij de interpolatie van een specifiek punt. Allereerst wordt er een initiële interpolatie uitgevoerd waarbij voor ieder onbekend punt een dieptewaarde wordt bepaald zonder gebruik te maken van enige vorm van richtingsafhankelijkheid. Vervolgens wordt er hieruit voor de onbekende punten de hoofdrichting van de dieptelijnen bepaald, welke worden gebruikt bij de tweede iteratie van het interpolatieproces. Dit proces wordt beëindigd wanneer de berekende hoofdrichting een stabiele waarde heeft aangenomen.

SURFIS is ook een lineaire interpolatiemethode, maar hier wordt aangenomen dat de richting van de dieptelijnen afhankelijk is van de loop van het midden van de geul of rivieras en de vooraf opgegeven grenzen. Het zoekgebied waarin er naar bekende punten wordt gezocht voor de interpolatie van een onbekend punt volgt dan ook de loop van de rivieras.

KRIGING is niet zoals DIGIPOL en SURFIS een interpolatiemethode dat specifiek is ontwikkeld voor het interpoleren van dieptegegevens. Hierbij worden de onderlinge afstanden en het onderlinge verschil in dieptewaarden van de bekende punten in een variogram gezet. Door een goede kromme te schatten door het verkregen variogram, is er voor iedere afstand van een bekend punt dus ook het verschil in dieptewaarden bekend. Hierbij kan er wel gebruik worden gemaakt van richtingsafhankelijkheid, maar deze moet dan voor het gehele te interpoleren gebied ongeveer gelijk zijn.

Uit het onderzoek is gebleken dat de kwaliteit van de interpolaties niet alleen afhankelijk is van de gebruikte methode, maar ook van de ligging van de gebruikte meetpunten en de gebruikte resolutie. Wanneer deze meetpunten dicht bij elkaar liggen is het resultaat van de interpolaties met alledrie de genoemde methodes beter dan wanneer de meetpunten verder uit elkaar liggen. Verder bleek dat wanneer de meetpunten verder uit elkaar liggen en er wordt gekozen voor een grotere resolutie bij het interpoleren, dat dan de interpolatieresultaten beter de multibeamdata benaderden. Dit komt doordat bij het vergriden van de multibeamdata er minder details van de bodem worden meegenomen. Deze hoeven dan door de interpolatiemethodes ook niet te worden geschat om wel een resultaat te krijgen dat lijkt op de multibeamdata.

De verschillende interpolaties van een deel van de bocht van de Petroleumhaven in Amsterdam gaven aan dat bij alle gebruikte raaiconfiguraties, de resultaten van de interpolatie met KRIGING de grootste verschillen gaf met de multibeamdata. Dit komt doordat in dit een bocht de oriëntatie van de richtingsafhankelijkheid verandert en deze verandering niet bij de interpolatie met KRIGING kan worden meegenomen. Bij een kleine raaiafstand waren de verschillen tussen de resultaten van SURFIS en DIGIPOL met de multibeamdata ongeveer aan elkaar gelijk. Werd echter de afstand tussen de raaien vergroot, dan werd het resultaat van de interpolatie met DIGIPOL beduidend slechter dan de interpolatie met SURFIS.

Ook de geleverde kwaliteitsbeschrijving voor ieder geïnterpoleerd punt van SURFIS klopte heel aardig met de kwaliteit van de geïnterpoleerde bodem wanneer deze werd vergeleken met de multibeamdata. De geleverde kwaliteitsbeschrijving van DIGIPOL gaf geen standaardafwijking voor ieder geïnterpoleerd punt afzonderlijk, maar alleen een kwaliteitsbeschrijving van de gebruikte singlebeamraaien. Hierdoor krijgt de gebruiker dus geen informatie over de kwaliteit van het interpolatieresultaat. De berekende variantie bij KRIGING was over het algemeen veel te hoog geschat. Dit komt doordat er ook bij het berekenen van de variantie gebruik wordt gemaakt van het variogram. Hierdoor krijgen alle punten die even ver van een bekend punt af liggen dezelfde variantie.

Het gebruiksgemak van de programma's is onder te verdelen door te kijken naar zowel het aantal en de gevoeligheid van de parameters, de werkomgeving als de rekestijd. DIGIPOL had het minste in te stellen parameters, welke afhankelijk waren van de gebruikte raaiafstand, die bovendien het minst gevoelig waren, maar er was geen visualisatie tijdens en aan het einde van het interpolatieproces. Dit was wel het geval bij zowel SURFIS als KRIGING, waar bij KRIGING bovendien door het programma zelf de beste waarden voor de parameters konden worden berekend (een kleine verandering hiervan gaf echter al grote verschillen). Bij SURFIS was het instellen van de parameters het lastigst, maar waren de parameters ook niet echt gevoelig voor kleine wijzigingen. De rekestijd tenslotte was bij KRIGING verreweg het grootst. Bovendien was het geheugengebruik hier ook het grootst, waardoor er nauwelijks andere programma's op dezelfde computer konden worden gedraaid. De rekestijd en het geheugengebruik van DIGIPOL en SURFIS was ongeveer even groot, maar beduidend kleiner dan dat van KRIGING.

Wanneer er dus bij SURFIS meer aanpassingen zouden worden uitgevoerd m.b.t. de gebruiksvriendelijkheid (zie ook hoofdstuk 6 bij de aanbevelingen), zou dit de beste interpolatiemethode zijn voor deze toepassing (het interpoleren van havens en rivieren).

HOOFDSTUK 1: Inleiding

Wanneer er dieptemetingen worden uitgevoerd in een rivier, een haven of op zee, dan gebeurt dit zodat deze informatie kan worden gebruikt om een beeld te vormen van het verloop van de bodem. Om tot een volledig vlakdekkend beeld te komen zullen deze (puntsgewijs ingewonnen) dieptemetingen moeten worden geïnterpoleerd. Voor deze interpolatie zijn een groot aantal methodes ontwikkeld die allemaal gebruik maken van andere principes en eigenschappen. De dieptewaarden die de niet gemeten punten zullen krijgen hangt dus af van de gekozen interpolatiemethode en de daarbij horende kenmerken. Er zullen dus altijd verschillen aan te wijzen zijn wanneer de resultaten van verschillende interpolatiemethodes met elkaar zullen worden vergeleken.

DIGIPOL is één van deze vele interpolatiemethodes en is ontwikkeld door het Rijksinstituut voor Kust en Zee van Rijkswaterstaat (het RIKZ). Deze methode wordt voor veel interpolaties binnen Rijkswaterstaat gebruikt en is daarmee intern een soort standaard geworden. SURFIS is een andere interpolatiemethode die ook is ontwikkeld binnen Rijkswaterstaat, maar dan bij een andere dienst, het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (het RIZA). Ook SURFIS wordt gebruikt binnen Rijkswaterstaat, maar dit gebruik is slechts beperkt tot bij het RIZA zelf.

Doordat er voor dezelfde toepassing binnen Rijkswaterstaat twee interpolatiemethodes worden gebruikt, is het interessant om een vergelijkend onderzoek uit te voeren. Hierdoor ontstaat er een duidelijk beeld van de goede en mindere eigenschappen van de twee methodes. Naast DIGIPOL en SURFIS is ook de interpolatiemethode KRIGING bij deze vergelijking betrokken. KRIGING is een methode die internationaal veelvuldig wordt toegepast wanneer een interpolatie is gewenst. KRIGING is dus niet specifiek ontworpen voor het interpoleren van dieptemetingen, waar dat bij DIGIPOL en SURFIS wel het geval was.

Om een goed beeld te krijgen van de fout die er bij het interpoleren wordt gemaakt, zijn de interpolatieresultaten van de bovengenoemde drie methodes vergeleken met een multibeamdataset. Doordat de bekende punten die gebruikt zijn bij de interpolaties een onderdeel waren van deze multibeamdataset mag worden aangenomen dat de multibeamdata de bodem het beste beschrijven en dat deze dus als referentie mag worden gebruikt zonder dat hier grote fouten mee worden gemaakt. Deze bekende punten waar een dieptemeting is uitgevoerd, simuleren dus een singlebeamdataset.

Het doel van dit onderzoek is dus ook het achterhalen van de verschillen tussen de methodes van DIGIPOL, SURFIS en KRIGING zodat de gebruiker van deze methodes zijn keuze goed kan onderbouwen. Bovendien moet dit onderzoek de gebruiker een goede indicatie geven van de omvang van de fouten die er bij een interpolatie ontstaan.

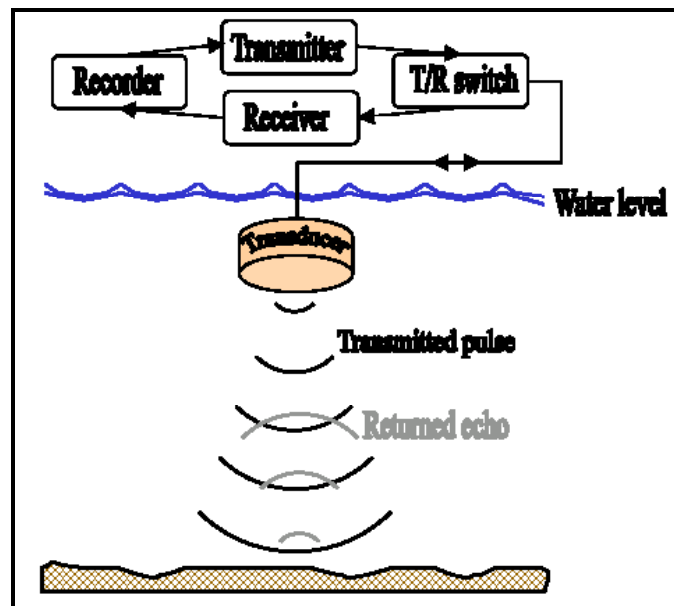
Om de lezer een idee te geven hoe zowel een singlebeam- als een multibeamdataset wordt ingewonnen en eruit ziet, is er hierover een korte beschrijving opgenomen in hoofdstuk 2. Het derde hoofdstuk wordt gebruikt om de interpolatiemethodes van zowel DIGIPOL en SURFIS als KRIGING uitgebreid te beschrijven, waarna in hoofdstuk 4 de manieren waarop de vergelijking plaats gaat vinden worden behandeld. In hoofdstuk 5 worden de resultaten van de verschillende interpolaties met DIGIPOL, SURFIS en KRIGING gepresenteerd, waarbij gebruik is gemaakt van een dataset van de Petroleumhaven in Amsterdam. Ondersteunende informatie hierbij is opgenomen in de bijlagen 1 t/m 3. Daarna worden er in hoofdstuk 6 alle conclusies uit de voorgaande hoofdstukken bij elkaar gevoegd. Ook worden er in dit hoofdstuk aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek en worden er mogelijke aanpassingen aan de huidige software aangestipt. In bijlage 4 is tenslotte een kort verslag opgenomen waarin een korte beschrijving volgt van de organisatie binnen de Adviesdienst voor Geo-informatie en ICT en de plaats van de AGI binnen de organisatie van het ministerie van Verkeer- en Waterstaat. Ook zullen de bevindingen van de stage in deze bijlage naar voren komen.

HOOFDSTUK 2: Inwinnen van de dataset

Er zijn vele verschillende meetmethodes voor het uitvoeren van dieptemetingen. Echosounding wordt van al deze methodes het meest toegepast. In dit hoofdstuk worden de principes van de twee meest gebruikte echosoundingmethodes (singlebeam en multibeam) behandeld, evenals de grootste foutenbronnen die bij de metingen een rol spelen. De gebruikte bronnen hierbij zijn [2], [3], [8] en [9] uit de literatuurlijst.

2.1 Inwinning van dieptegegevens met behulp van singlebeam

De singlebeammethode is een bepaalde echosoundingmethode. Echosounding berust op het principe van het meten van het tijdsinterval tussen een uitgezonden en ontvangen geluidssignaal. De geluidsgolf weerkaatst tegen de bodem en wordt weer opgevangen door de ontvanger. Bij een singlebeamsysteem wordt er gebruik gemaakt van het vanaf één positie op een schip verzenden van een signaal loodrecht naar de bodem. De apparatuur die hiervoor nodig is bestaat uit twee delen, namelijk een transducer die aan de boeg van het schip is bevestigd en een besturingssysteem aan boord. Dit besturingssysteem bestaat uit een transmitter, een receiver, een recorder en een T/R switch (zie figuur 2.1).



Figuur 2.1: Schematische weergave van een singlebeamsysteem

De transmitter genereert een elektrische golf met een frequentie tussen de 1 en de 10 MHz. De lengte van deze golf varieert tussen de 0.1 en de 50 microseconden. De gegenereerde frequentie wordt verlaagd naar het frequentiebereik van de transducer, dat ligt tussen de 100 en de 500 kHz.

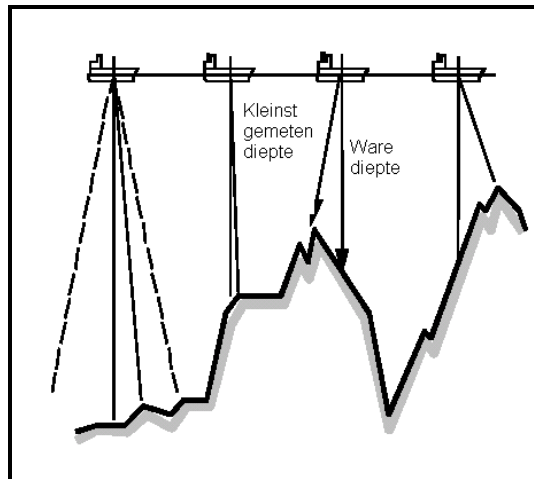
De T/R switch geeft het elektrische signaal dat werd gegenereerd door de transmitter door aan de transducer. In ondiep water geeft de T/R switch het signaal pas door als het vorige signaal weer ontvangen is door de ontvanger. In diepere wateren wordt niet gewacht tot het vorige signaal terug weer ontvangen is, maar wordt er voor gezorgd dat er niet meer dan vijf signalen tegelijk onderweg zijn. Eén cyclus van doorlaten, uitzenden en ontvangen wordt een ping genoemd. De transducer bevindt zich meestal op de boeg van het schip en heeft een aantal functies. Hij converteert het elektrische signaal van de zender in een akoestisch signaal, zendt dit akoestische signaal uit, ontvangt en zet het weerkaatste signaal om in een elektrisch signaal. Vervolgens stuurt hij het elektrische signaal door via de T/R switch naar de receiver, die vervolgens het signaal weer doorgeeft aan de recorder. De recorder meet het tijdsverschil tussen zenden en ontvangen, slaat de data op en berekent de afstanden door het tijdsverschil (de looptijd) te vermenigvuldigen met de geluidssnelheid in het water.

Doordat de bodem een diffuse weerkaatsing heeft, moet er een sterk (geluids)signaal gegenereerd worden, dat niet verloren gaat in de achtergrondruis. Deze puls wordt zo goed mogelijk loodrecht naar beneden uitgezonden, zodat de diepte berekend kan worden. Als we aannemen dat de puls loodrecht naar beneden wordt uitgezonden, dan geldt de volgende relatie:

$$D = \frac{c\Delta t}{2} \quad (\text{formule 2.1})$$

Hierbij is D de afstand tussen de ontvanger en het bodemoppervlak, c de voortplantingssnelheid van geluidsgolven in water en Δt het tijdsverschil tussen de uitgezonden en ontvangen puls.

In de praktijk is de middenas van het schip echter nooit precies loodrecht naar beneden gericht. Dit komt door schommelingen van het schip (pitch, roll, yaw en heave). Hiervoor zijn correcties nodig op hetgeen bepaald wordt. Ook is het niet vanzelfsprekend dat de kortste afstand die bepaald wordt, altijd de diepte is. Dit is bijvoorbeeld niet het geval wanneer de bodem niet horizontaal loopt (zie figuur 2.2).



Figuur 2.2: Verschil tussen kortste en gemeten afstand

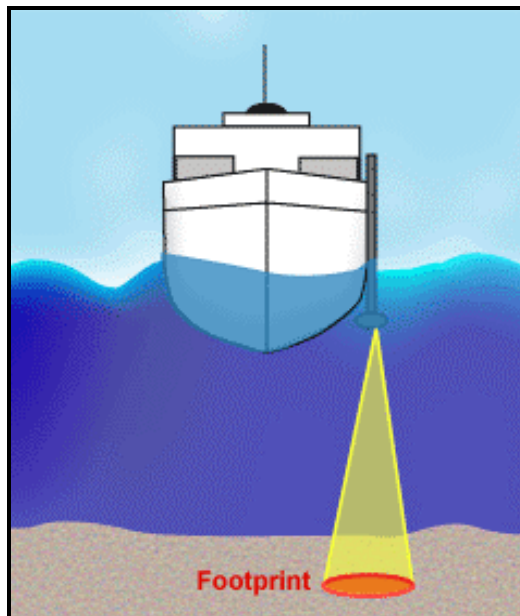
Stel dat de bodem een helling heeft van α , dan is het effect op de berekende afstand D :

$$\delta D = (D - \delta D) \tan(\alpha) \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \approx D \tan(\alpha) \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (\text{formule 2.2})$$

Het geluidssignaal is van nature geen bundel, maar een puntbron die naar alle kanten uitdijt. Om als resultaat een footprint op de bodem te krijgen, moet het signaal afgebakend worden. De hoek van uitzenden is, samen met de diepte, een maat voor de diameter van de footprint op de bodem, zie figuur 2.3. De grootte van de footprint is te bepalen uit de relatie:

$$r = 2D \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (\text{formule 2.3})$$

Zowel in formule 2.2 als 2.3 is β de hoek van het signaal en D de afstand is van de transducer tot de bodem.



Figuur 2.3: De omvang van de footprint

De frequentie van het uitzenden van de pulsen bepaalt samen met de snelheid van het schip het aantal footprints op de bodem. De verzameling van alle footprints die samen een meetlijn vormen wordt een raai genoemd. Het is haast onmogelijk om met deze methode de gehele bodem als een continu oppervlak in kaart te brengen. Hierdoor zal er dus een interpolatie nodig zijn.

Bij de singlebeam methode is de footprint, in vergelijking met de andere methoden, vrij klein. Dit betekent dat deze methode niet geschikt is om een continue bedekking van de bodem te krijgen. Doordat de footprint klein is en het uitgezonden signaal sterk, is de resolutie daarentegen weer hoog, waardoor een hele precieze meting wordt verkregen.

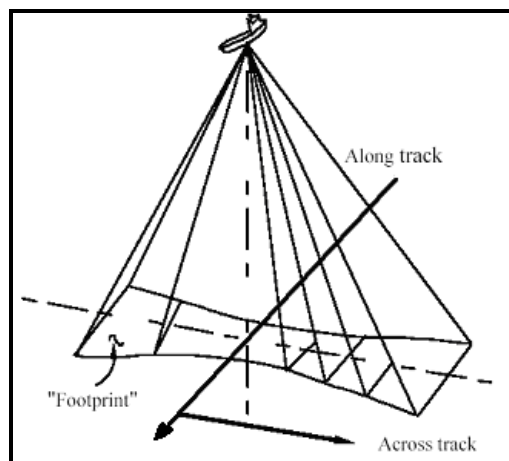
2.2 Inwinning van dieptegegevens met behulp van multibeam

Multibeam echosounding is een inwinningstechniek, uitgevonden rond 1970, die op een relatief snelle manier een gedetailleerde indruk verschaft van de waterdiepten van zeeën, rivieren en meren. Het wordt gebruikt om een hogere productiviteit en bodembedekking te verkrijgen dan met de oudere inwinningstechnieken haalbaar is, zoals bijvoorbeeld met de singlebeammethode. Een multibeam echosounding systeem bestaat uit een aantal smalle bundels, die samen de bodem scannen als één geheel.

Multibeam echosounding is er in twee verschillende methodes, namelijk swath systemen en sweep systemen. Een swath systeem produceert meerdere akoestische bundels die zich vormen uit één signaal dat door één transmitter uitgezonden wordt. Dit resulteert in een brede footprint, loodrecht op de vaarrichting. Een sweep systeem bestaat uit een array van singlebeam echosounders die met een onderlinge gelijke afstand zijn verdeeld. Het array is aan het schip bevestigd met een constructie, zodanig dat het array evenwijdig is aan het zeeoppervlak, en loodrecht op de vaarrichting staat.

2.2.1 Swath multibeamstelsysteem

Een swath multibeam echosounder zendt een waaivormig signaal uit naar de zeebodem. Dit resulteert in een brede footprint, met over het algemeen een hoek van 120° in de across track richting. Deze footprint staat loodrecht op de vaarrichting (across track). Het teruggekaatste signaal wordt ontvangen door de transducer. De transducer verdeelt het signaal in smalle bundels, die allemaal onder een iets andere hoek worden verzonden. De breedte van deze kleinere bundels varieert van één tot enkele graden, waardoor er per ping ongeveer honderd dieptemetingen tegelijk gedaan worden. Voor een overzicht, zie figuur 2.4.



Figuur 2.4: Overzicht van een swath systeem

Een swath systeem kan onder een boot of naast de boot bevestigd worden, maar het is ook mogelijk een Remotely Operated Vehicle te gebruiken, een soort vis die achter de boot aan wordt gesleept door middel van een kabel. Het voordeel van deze laatste constructie is dat je geen last hebt van de schommelingen op het wateroppervlak, en dat je minder last hebt van meetrui, omdat je minder geluid van de motor van de boot opvangt. Echter is de positie van de transducer zo moeilijk te bepalen, omdat de transducer onder water zit en achter het schip aan wordt gesleept. Een mogelijkheid om een positie bij benadering te bepalen is door gebruik te maken van de lengte van de kabel, maar er moet wel gecorrigeerd worden in het geval de kabel niet strak gespannen staat, wat meestal het geval is. Een ander nadeel van de visconfiguratie is dat de afstand van de transducer tot de zeebodem kleiner is, waardoor ook de footprint kleiner wordt.

Voor iedere ontvangen bundel wordt de dubbele looptijd van het signaal gemeten, evenals de hoek waaronder de bundel wordt uitgezonden. Hieruit, en met een voortplantingssnelheid van geluid in het water, kan de diepte en de horizontaal afgelegde afstand van het signaal worden berekend met gebruik van de volgende formules:

$$D = \frac{1}{2} c \Delta t \cos \psi$$

$$y = \frac{1}{2} c \Delta t \sin \psi$$

(formule 2.4)

Hierin is D de diepte, y de horizontaal afgelegde afstand, c de voortplantingssnelheid van het signaal in water, Δt de looptijd van het signaal en ψ de hoek waaronder de bundel wordt uitgezonden. De gemeten diepte en horizontale afstand resulteren weer in een positie ten opzichte van de transducer. De positie van de transducer wordt bepaald met een navigatiesysteem, meestal met GPS.

De grootte van de footprint r kan berekend worden. Deze is afhankelijk van de bundelbreedte β , diepte D en de hoek ψ waaronder de bundel wordt uitgezonden. Er zijn twee mogelijke situaties, zie ook figuur 2.5:

1) $\psi = 0$: De grootte van de footprint wordt gegeven door de volgende relatie:

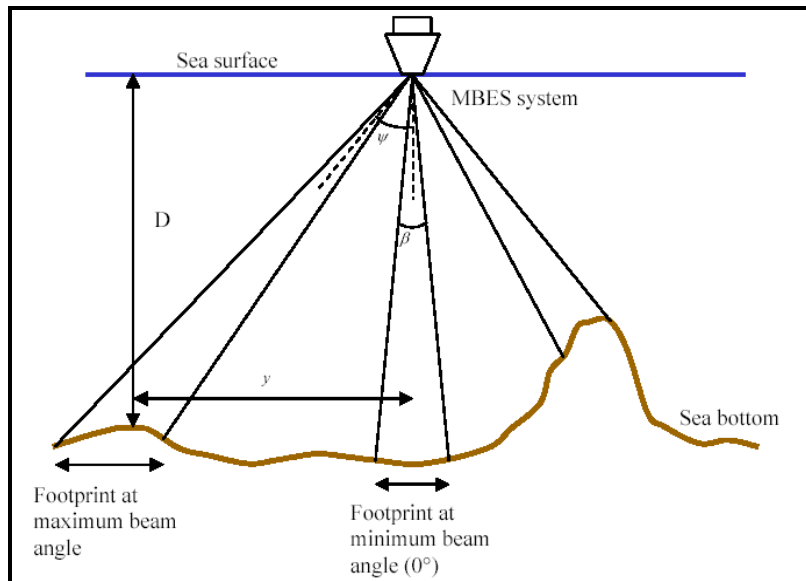
$$r = 2D \tan\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

(formule 2.5)

2) $\psi \neq 0$: De grootte van de footprint wordt dan gegeven door de relatie:

$$r = D\left(\tan\left(\psi + \frac{\beta}{2}\right) - \tan\left(\psi - \frac{\beta}{2}\right)\right)$$

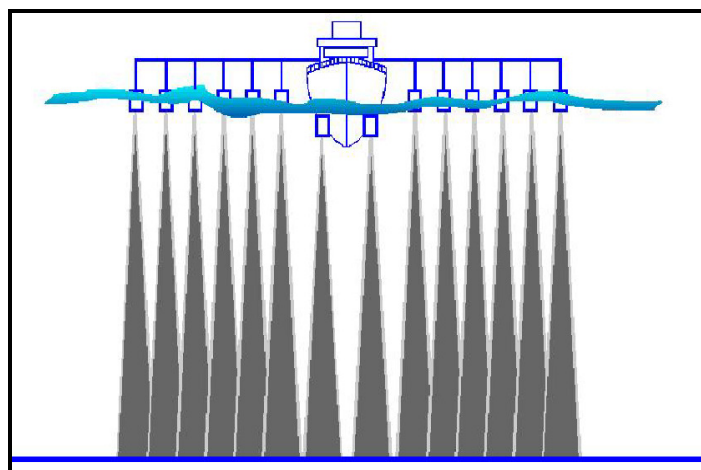
(formule 2.6)



Figuur 2.5: Schematische weergave van de bepaling van de footprint

2.2.2 Sweep multibeamstelsel

Een sweep systeem bestaat uit een array van singlebeam echosounders die met een onderlinge gelijke afstand zijn verdeeld. Het array is aan het schip bevestigd met een constructie, zodanig dat het array evenwijdig is aan het zeeoppervlak, en loodrecht op de vaarrichting staat. Doordat iedere singlebeam echosounder zijn eigen transducer heeft, bestaat het sweep systeem dus ook uit meerdere transducers. Met dit systeem kan een dekking van 100% worden verkregen, afhankelijk van de diepte en de onderlinge afstand tussen de transducers, zie figuur 2.6.



Figuur 2.6: Overzicht van een sweep systeem

Bij een sweep systeem wordt alleen de dubbele looptijd van de verschillende signalen gemeten. Doordat het signaal loodrecht naar beneden wordt uitgezonden, wordt er uit het signaal alleen maar een hoogteverschil ten opzichte van de transducer berekend. De volledige positie krijgt men door deze lokale hoogte te combineren met de gemeten positiecoördinaten van de transducer (met GPS). De hoek van het signaal (de bundelbreedte β) is ongeveer 5° . Dit is aanzienlijk kleiner dan bij de gebruikelijke singlebeam echosounders.

Onder ruwe omstandigheden zal er weinig gebruik gemaakt worden van de sweep multibeam echosounders, omdat hierdoor de bomen waaraan de transducers zijn bevestigd niet meer evenwijdig lopen aan het wateroppervlak. Dit resulteert erin dat de signalen niet meer loodrecht naar beneden worden uitgezonden en dus de bodembedekking verre van optimaal is. Bovendien moet de gemeten afstand dan ook voor de hoek waaronder het signaal wordt uitgezonden worden gecorrigeerd.

In ondiep water wordt vooral gebruik gemaakt van swathsystemen, zodat er geen gaten in de bodembedekking ontstaan. Bij gebruik van een sweepsysteem is dit niet altijd mogelijk, omdat de bedekking dan ook afhankelijk is van de afstand tussen de transducers, en van de diepte van het water. Bij ondiep water moeten de transducers dan dicht op elkaar zitten, en dat is technisch niet altijd mogelijk.

2.3 Foutenbronnen bij echoloding

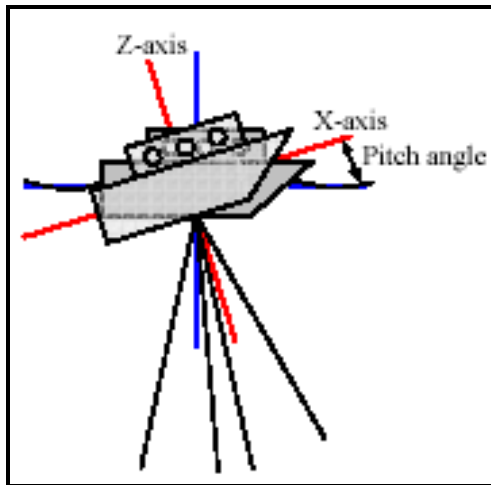
Er zijn veel foutenbronnen die invloed hebben op metingen met de singlebeam of multibeam echosounder. De belangrijkste zijn de bewegingen van het schip (pitch, roll, yaw en heave) en de gebruikte voortplantingssnelheid van geluid in water, die afhankelijk is van parameters zoals het zoutgehalte, de temperatuur en de druk.

2.3.1 Bewegingen van het schip

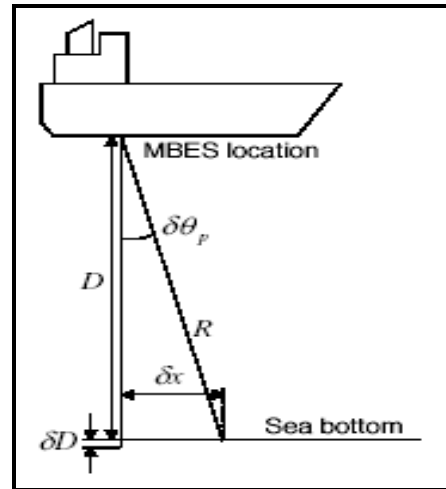
Doordat het water waarin het schip ligt altijd in beweging is, zal het schip niet continu in dezelfde positie blijven ten opzichte van de oever. Deze bewegingen zullen van invloed zijn op zowel de positie van het schip als de dieptemetingen en daardoor is het wenselijk deze fouten goed te kunnen modelleren. Het mag duidelijk zijn dat deze fouten groter zullen zijn bij metingen op zee en onder zware weersomstandigheden dan bij metingen in de binnenwateren waar het waterniveau redelijk stabiel zal blijven. De vier verschillende bewegingen die het schip kan maken worden hieronder uitgelegd.

Pitch:

De pitch beweging is een rotatie om de breedte-as van het schip. Dit is een denkbeeldige as die loopt van bakboord naar stuurboord. Deze rotatiefout wordt $\delta\theta_p$ genoemd, en is geïllustreerd in de figuren 2.7 en 2.8. De pitch beweging veroorzaakt fouten in de x- en z-coördinaten van de positie waar het signaal weerkaatst wordt op de bodem.



Figuur 2.7: Een illustratie van de pitch hoek



Figuur 2.8: Een schema van de pitch variabelen

Er gelden de volgende relaties tussen de pitch variabelen:

$$R = \frac{D + \delta D}{\cos 0} = \frac{D}{\cos \delta \theta_p} \quad (\text{formule 2.7})$$

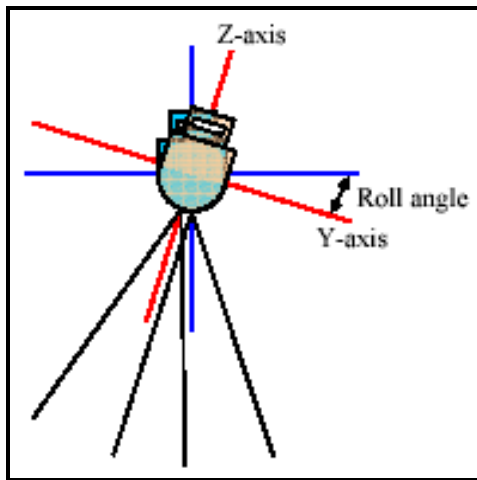
$$\frac{\delta x}{D} = \tan \delta \theta_p$$

waarbij δx de fout is loodrecht op de verzonden bundel, D de werkelijke afstand tussen de transducer en de bodem, R de gemeten afstand tussen de transducer en de bodem, δD het verschil tussen D en R en $\delta \theta_p$ de pitch onzuiverheid. Voor een kleine pitch hoek volgen uit het bovenstaande de volgende relaties:

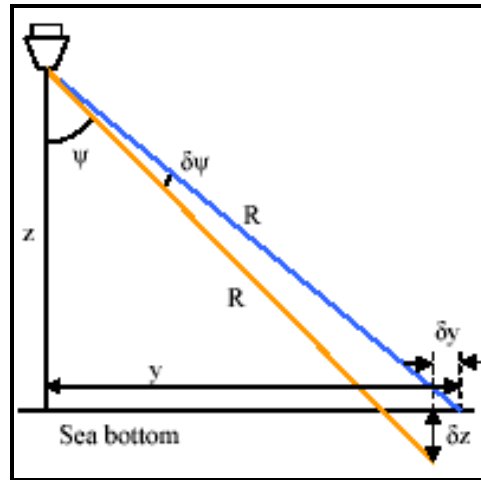
$$\delta D \approx \frac{1}{2} D \delta \theta_p^2 \quad (\text{formule 2.8})$$

$$\delta x \approx D \delta \theta_p$$

Wanneer deze pitch hoek bijvoorbeeld 3° is (dit is aannemelijk doordat het wateroppervlak in binnenwateren redelijk vlak is), dan betekent dat een fout in de dieptemeting van 0.15 % van de gemeten diepte en een waarde voor δx van 0.25% van de gemeten diepte. Voor een gemeten diepte van 10 meter geeft dit dus een fout in de gemeten diepte van 1.5 centimeter.



Figuur 2.9: Een illustratie van de roll hoek



Figuur 2.10: Een schema van de roll variabelen

Roll:

Roll is de draaiing van het schip om de x-as, dat is de as die in de richting van de vaarrichting staat. Hierdoor ontstaat een fout in de y- en de z-coördinaat. Zie ook figuur 2.9. Het effect van deze fout $\delta\theta_r$ is weergegeven in figuur 2.10. De swath hoek wordt aangenomen als ψ , maar in werkelijkheid is deze hoek $\psi + \delta\theta_r$. Samen met de waargenomen afstand, $R = c \cdot \Delta T / 2$, kunnen we schrijven:

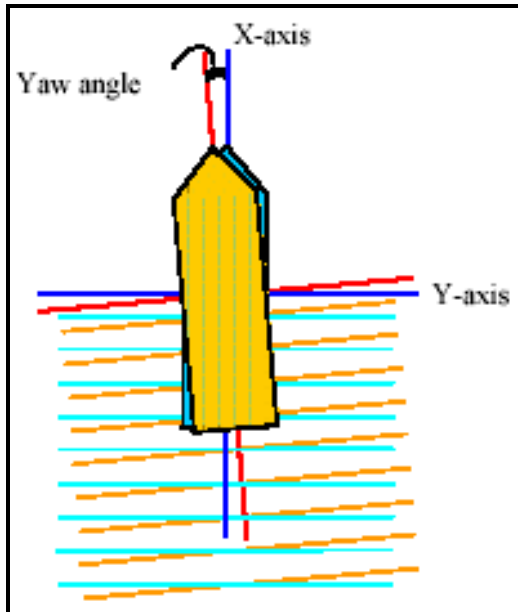
$$R = \frac{D + \delta D}{\cos \psi} = \frac{D}{\cos(\psi + \delta\theta_r)} \quad (\text{formule 2.9})$$

$$R = \frac{y - \delta y}{\sin \psi} = \frac{y}{\sin(\psi + \delta\theta_r)}$$

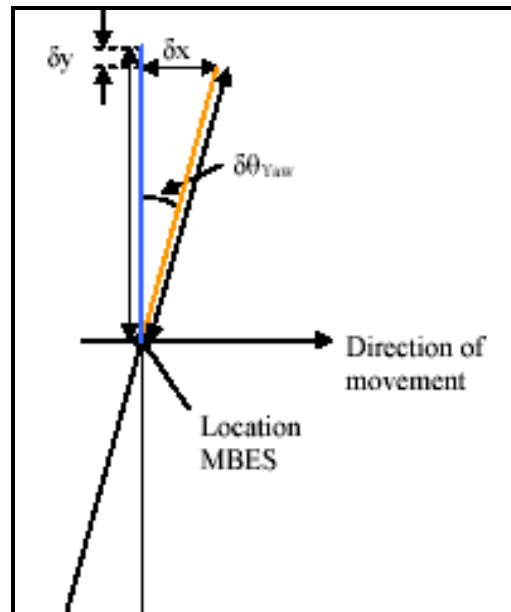
waarbij δD de fout in de diepte is en δy de fout in de y-coördinaat, als gevolg van de roll onzuiverheid $\delta\theta_r$. Als deze fout klein is dan volgt uit formule 2.9 dat:

$$\begin{aligned} \delta D &\approx D \delta\theta_r \tan \psi \\ \delta y &\approx -D \delta\theta_r \end{aligned} \quad (\text{formule 2.10})$$

Deze fouten zitten in dezelfde orde van grootte als de fouten die ontstaan door de pitch hoek.



Figuur 2.11: Een illustratie van de yaw hoek



Figuur 2.12: Een schema van de yaw variabelen

Yaw:

Yaw is de fout $\delta\theta_y$ die ontstaat door de rotatie om de z-as. Hierdoor ontstaat een fout in de x- en y-coördinaat, zie figuren 2.11 en 2.12. Deze fouten in de berekening van de x- en y-coördinaat worden beschreven door de volgende relaties:

$$\begin{aligned} \delta x &\approx y\delta\theta_y \\ \delta y &\approx \frac{1}{2}D\delta\theta_y^2 \end{aligned} \quad (\text{formule 2.11})$$

Ook hier geldt dat de grootte van de bovenstaande fouten ongeveer gelijk is aan degenen die ontstaan wanneer er sprake is van een pitch hoek.

Heave:

Heave is het verschijnsel dat het schip langs de z-as beweegt. Hierdoor verandert de grootte van de footprint. In ondiepe wateren kan dit een groot probleem zijn. Er zijn een paar manieren om het effect van de heave te meten, namelijk:

- De ruwe data wordt gemiddeld, waardoor de hevige schommeling verdwijnt.
- Gebruik maken van een elektromagnetisch apparaat op de kust, dat de verticale hoek met het schip meet. Dit gaat alleen op bij metingen dicht bij de kust.
- Gebruik maken van een heave compensator. Dit is een verticaal gemonteerde accelerometer op een stabiel platform.
- Gebruik maken van DGPS. Dit is een variant op het GPS-systeem, het verschil is dat er bij DGPS ook nog gebruik wordt gemaakt van een referentiestation, waardoor de nauwkeurigheid van de GPS waarneming wordt verhoogd.

2.3.2 Afwijkingen van de voortplantingssnelheid van geluid in water

De belangrijkste variabele bij echosounding is de geluidssnelheid. De geluidssnelheid hangt af van een aantal factoren, namelijk de temperatuur, het zoutgehalte, het volume van de hoeveelheid lucht in het water en de druk. De druk is echter vrijwel lineair afhankelijk van de diepte, zodat in veel formules de geluidssnelheid als functie van de diepte is gegeven.

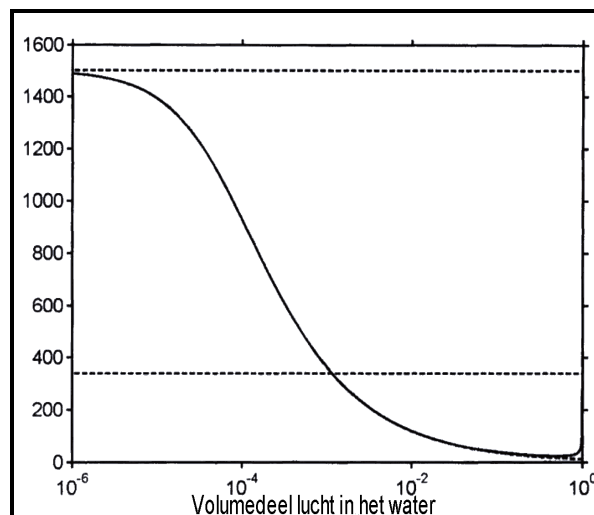
Een empirische verkregen formule voor de geluidssnelheid in water is:

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.017z \quad (\text{formule 2.12})$$

Hierbij is c de geluidssnelheid in water, T de temperatuur in $^{\circ}\text{C}$ (waarbij geldt dat: $0 < T < 35^{\circ}\text{C}$), S het zoutgehalte in ppt (waarbij geldt dat: $0 < S < 45$ ppt) en z de diepte in m (waarbij geldt dat: $0 < z < 1000$ m).

In deze formule wordt nog geen rekening gehouden met de hoeveelheid lucht die zich in het water bevindt. Lucht kan voor een significante vertraging zorgen, omdat de voortplantingssnelheid van het signaal in lucht veel lager is dan in water (ongeveer 340 m/s tegenover ongeveer 1500 m/s). Om dit tegen te gaan wordt er bij de meting rekening gehouden met de hoeveelheid lucht in het water.

In de volgende grafiek (figuur 2.13) is de invloed van de lucht op de metingen te zien. Uit deze grafiek blijkt dat bij een volumedeel lucht gelijk aan 0,01%, de geluidssnelheid in water al bijna is gehalveerd.



Figuur 2.13 De voortplantingssnelheid van het signaal bij verschillende volumedelen lucht

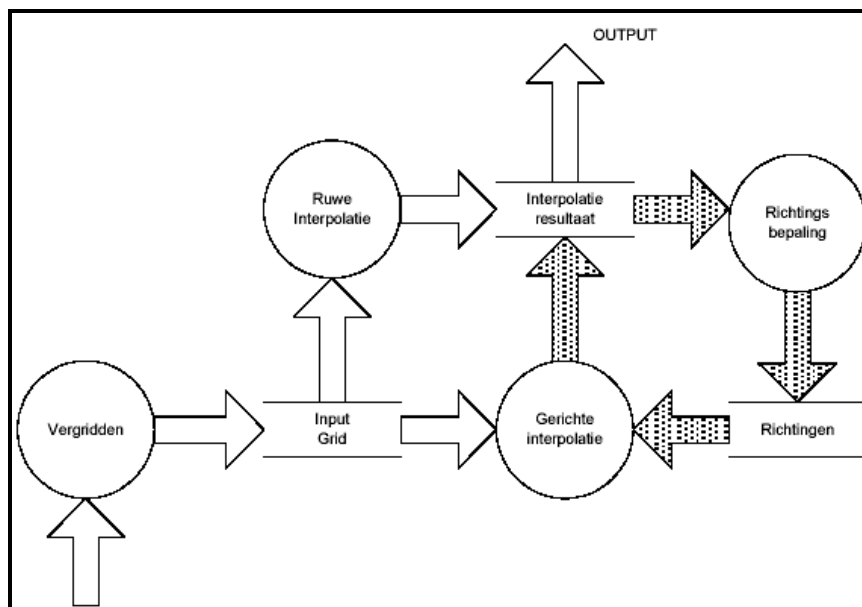
De aanwezigheid van lucht in het water wordt voornamelijk veroorzaakt door brekende golven. Bij slecht weer zijn de golven hoger, waardoor er ook meer lucht aanwezig zal zijn. Bovendien komt de lucht dan ook in dieper gelegen water. Dit heeft als gevolg dat de metingen verslechteren, of dat er helemaal niet gemeten kan worden. In binnenwateren worden de grootste golven veroorzaakt door de motorschroeven van de schepen.

HOOFDSTUK 3: **Introductie DIGIPOL, SURFIS en KRIGING**

In dit hoofdstuk zullen de bovengenoemde drie methodes, DIGIPOL, SURFIS en KRIGING, worden geïntroduceerd. Allereerst zal van ieder afzonderlijk een beschrijving volgen van de gebruikte interpolatiemethode en de daarbij behorende voorbereidingen van de datasets die als de invoer van het interpolatieprogramma zullen dienen. Tenslotte zal er in de laatste paragraaf duidelijk worden aangegeven wat de overeenkomsten en verschillen zijn tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING. Hierbij zullen ook de aannames die bij de verschillende programma's worden gemaakt duidelijk schematisch worden weergegeven. De gebruikte bronnen zijn wederom te vinden in de literatuurlijst, onder [6] en [7] voor de beschrijving van DIGIPOL, onder [4], [5], [10] en [12] voor SURFIS en onder [1] en [11] voor KRIGING.

3.1 **Werking van DIGIPOL**

DIGIPOL wordt gebruikt door vele afdelingen van Rijkswaterstaat, waaronder het RIKZ (het RijksInstituut voor Kust en Zee) en de Directie Zeeland. DIGIPOL is een iteratief interpolatieprogramma, dat is gebaseerd op triangulatie waarbij er bij iedere interpolatie 3 bekende punten worden gebruikt waarbij één van die punten op een andere raai ligt. Voordat de interpolatie nader wordt uitgelegd, zal eerst worden ingegaan op de voorbereidingen die het programma zal uitvoeren om de invoerdata gereed te maken voor het interpolatieproces. In figuur 3.1 staat het gehele proces dat moet worden doorlopen schematisch weergegeven.



Figuur 3.1: Structuur van DIGIPOL

3.1.1 Voorbewerking

Voordat er aan de eigenlijke interpolatie begonnen kan worden, zijn er twee voorbereidingen in het programma van DIGIPOL opgenomen die nodig zijn, zodat de dataset op de juiste wijze kan worden geïnterpoleerd. Deze voorbereidingen samen worden ook wel het vergriden van de dataset genoemd. Hier is de ruwe dataset, die bestaat uit losse punten met dieptegegevens, al voorbereid tot het invoerbestand dat bij DIGIPOL wordt gebruikt. In dit invoerbestand is het voor ieder gemeten punt duidelijk bij welke raai ze thuishoren. Een raai is de denkbeeldige meetlijn, veelal loodrecht op de richting van een kust, rivier, dijk of oever. Dit is dus de van tevoren bepaalde koers waarin gevaren wordt bij het uitzetten van de meting. Ook is het mogelijk om iso- en contourlijnen mee te nemen in het hele proces. Contourlijnen worden gebruikt om harde grenslijnen in te voeren voor het te interpoleren gebied. Dit is handig wanneer het gemeten gebied een ander gebied geheel of gedeeltelijk omsluit waarvan geen metingen beschikbaar zijn.

Zo worden er in dit gebied geen dieptewaarden berekend tijdens de interpolatie, waardoor er geen betekenisloze waarden ontstaan. Ook is het voor de vergelijking met eerdere metingen handig om iedere keer dezelfde randen van het gebied te definiëren, omdat het schip niet iedere keer tot hetzelfde punt doorvaart. Isolijnen zijn lijnen waar de dieptewaarden hard worden vastgelegd en dus tijdens het interpolatieproces hun huidige waarde behouden. Voor de gridcellen op de isolijn die nog geen waarde hebben, wordt deze verkregen door een lineaire interpolatie van het begin- en eindpunt van dit lijnstuk. In de voorbereidingen van DIGIPOL wordt er allereerst een grid gemaakt uit het invoerbestand. Vervolgens worden er uit dit grid de cellen geselecteerd welke moeten worden geïnterpoleerd.

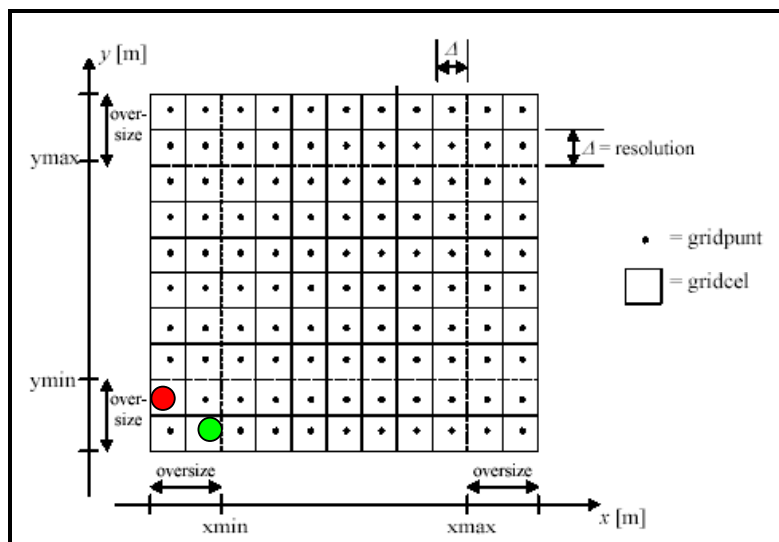
3.1.1.1 Maken van het grid

Om een grid te kunnen construeren, zal het invoerbestand aan een aantal gestelde voorwaarden moeten voldoen. Allereerst wordt er gekeken of het invoerbestand gesorteerd is op voetmaat. De voetmaat is de afstand tussen het beginpunt (het nulpunt) van de raai en de projectie van het gemeten punt op dezelfde raai. Dit is nodig omdat er in DIGIPOL een optimale raaihoek wordt berekend en de afwijking tussen deze berekende en de gevaren raaihoek wordt bepaald.

Ook wordt er bij het invoerbestand gecontroleerd of het gebruikte coördinatenstelsel hetzelfde is als het door DIGIPOL gebruikte coördinatenstelsel. Is dit niet het geval, dan wordt er een coördinatenconversie toegepast. Het door DIGIPOL gebruikte coördinatenstelsel is een driedimensionaal rechthoekig Euclidisch coördinatenstelsel. Ieder punt krijgt dus een XYZ-coördinaat.

Nu kan het bestand de volgende stappen doorlopen, zodat uiteindelijk een regelmatig grid ontstaat (zoals weergegeven in figuur 3.2):

- Allereerst worden er naast de XYZ-waarden voor ieder punt ook nog een ander gegeven opgeslagen. Dit is de hoek tussen de positieve x-as van het door DIGIPOL gebruikte coördinatenstelsel en het lijnstuk tussen dit punt en het vorige punt op dezelfde raai.
- Het te gebruiken grid kan door de gebruiker worden opgegeven middels een minimale en maximale waarde voor de x- en y-coördinaten van het te interpoleren gebied. Daarnaast kunnen de *resolutie* (de grootte van een gridcel) en de *oversize* (het aantal gridcellen aan de rand van het te interpoleren gebied die worden gebruikt bij de interpolatie) door de gebruiker worden opgegeven. Iedere gridcel wordt genummerd: de cel linksonder krijgt de index 0 en met toenemende x- en y-coördinaten wordt er verder genummerd (zo krijgt de gridcel met de rode punt dus het nummer 01 en die met de groene punt het nummer 10).



Figuur 3.2: Door de gebruiker te specificeren grid

- De waarde van iedere gridcel wordt bepaald door het gemiddelde te nemen van de meetpunten die erbinnen vallen. De cellen die in dit proces niet de waarde 0 krijgen, worden bekende cellen genoemd. Dit gemiddelde wordt opgeslagen in de meetinformatie als een geheel getal in centimeters. Dit moet binnen het interval $[-30000, +30000]$ liggen, anders wordt het programma automatisch gestopt.
(NB: Door deze middeling wordt de kwaliteit van de gebruikte singlebeamdata al nadelig beïnvloed! Dit komt doordat wanneer er zich binnen deze gridcel een slechter singlebeampunt ligt, dit significant zal doorwerken bij de berekening van het gemiddelde.)

- De contour- en isolijnen worden ingevoerd door een begin- en eindpunt (A en B) van het lijnstuk aan te geven. Tussen deze twee punten worden er een aantal van n tussenpunten geselecteerd volgens de formule:

$$M_k = A + \frac{k}{n}(B - A) \quad (\text{formule 3.1})$$

De dieptewaarden d_k van deze punten worden berekend met behulp van lineaire interpolatie, volgens de formule:

$$d_k = d_A + \frac{k}{n}(d_B - d_A) \quad (\text{formule 3.2})$$

Waarbij d_A en d_B de dieptewaarden zijn in de punten A en B.

Voor beide formules geldt dat k een geheel getal is van 0 tot n, waarbij n het grootste aantal gridcellen dat tussen de begin- en eindpunten A en B zit is:

$$\begin{aligned} n = |j_B - j_A| & \quad \text{als } |i_B - i_A| \leq |j_B - j_A| & \quad \text{of} \\ n = |i_B - i_A| & \quad \text{als } |i_B - i_A| > |j_B - j_A| \end{aligned}$$

- Iedere gridcel die een of meer punten M_k bevat, krijgt in de lijninformatie een waarde 1, de andere cellen krijgen een waarde 0. Wel moeten de cellen die de lijn beschrijven met elkaar “8-connected” verbonden zijn (zowel horizontaal, verticaal of diagonaal).

3.1.1.2 Bepalen van de te interpoleren gridcellen

Na deze voorberekingsstap is er de beschikking over het ruwe grid, dat bij de interpolatie als basis zal dienen. Deze voorbereking is grofweg te verdelen in de volgende drie stappen:

- Allereerst wordt het te interpoleren gebied bepaald. Dit gebeurt door uit de lijninformatie een afbeelding te maken (de “label-afbeelding”) waar de waarde 0 is toegekend aan de in de vorige stap bepaalde lijncellen. De cellen die bij de verschillende gebieden (alle cellen die “4-connected” zijn, dus recht aan elkaar grenzen) horen, krijgen in deze afbeelding per gebied een gebiedsnummer. Dan wordt er per nummer gekeken hoeveel bekende cellen zich in dit gebied bevinden. Het gebied met de meeste bekende cellen is het te interpoleren gebied. Hiervan wordt de zogenoemde valide afbeelding gemaakt: iedere cel van het te interpoleren gebied krijgt de waarde 1, evenals de lijncellen die recht aan het te interpoleren gebied grenzen.

- Deze valide afbeelding wordt nog verder bewerkt, zodat er door DIGIPOL alleen geïnterpoleerde dieptes worden berekend voor cellen die niet te ver van een bekende cel af liggen. Dit gebeurt door gebruik te maken van de variabele *searchdepth*, die van te voren kan worden opgegeven. Uit de verzameling te interpoleren cellen zoals die in de valide afbeelding is opgeslagen, worden alle cellen verwijderd die verder dan de *searchdepth* van een bekende cel verwijderd liggen. Dit gebeurt door deze cellen op 0 te zetten in de valide afbeelding. De afstanden tot de bekende cellen worden berekend met behulp van de Borgefors transform, waarbij de bekende cellen de waarde 0 krijgen en de overige cellen de (benaderde) afstand tot de dichtstbijzijnde cel, vermenigvuldigd met 5. Hierdoor ontstaan er goede verhoudingen met gehele getallen. De cellen die verder van een bekende cel liggen dan 5 maal de *searchdepth* zullen dus in de valide afbeelding op 0 worden gezet.
- Als laatste stap wordt het ruwe grid bepaald uit de valide afbeelding en de meetinformatie, die gegevens bevat over welke cel er een bekende cel is. Iedere bekende cel uit de meetinformatie wordt exact zo overgenomen in het ruwe grid. Wanneer een onbekende cel in de valide afbeelding de celwaarde 0 heeft, krijgt deze cel in het ruwe grid de waarde NODATA (= een te negeren cel). Wanneer een onbekende cel in de valide afbeelding de celwaarde 1 heeft, krijgt deze cel in het ruwe grid de waarde NODATA+1 (= een te interpoleren cel).

3.1.2 Interpolatieprocedure

De interpolatieprocedure kan worden onderverdeeld in twee stappen, namelijk de ruwe interpolatie en de gerichte interpolatie. Voor deze laatste stap, is er een richtingsbepaling nodig. De gerichte interpolatie, en dus ook de richtingsbepaling, is een iteratief proces en wordt dus iedere keer weer opnieuw berekend. De nieuwe richtingsbepaling wordt hierbij bij de gerichte interpolatie meegenomen, terwijl de interpolatie steeds wordt uitgevoerd met hetzelfde ruwe grid uit de vergriddingsstap. Deze iteratie wordt net zo lang uitgevoerd totdat het door de gebruiker ingestelde maximale aantal iteraties is bereikt, of dat het algoritme vaststelt dat een voldoende stabiel resultaat is bereikt.

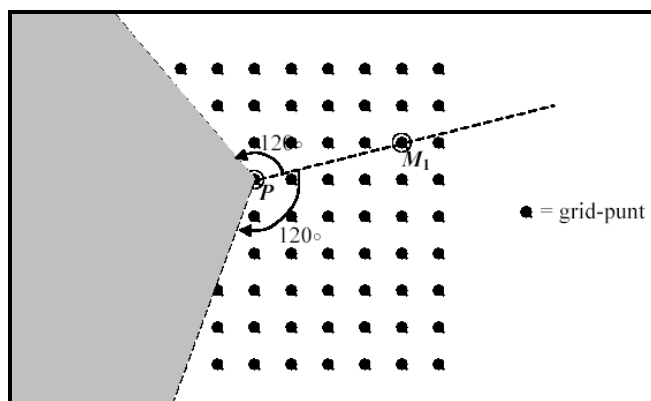
3.1.2.1 De ruwe interpolatie

Deze interpolatiestap maakt geen gebruik van richtingsinformatie, maar neemt aan dat de metingen tot stand zijn gekomen door loodrecht op de dieptelijnen te varen.

(NB: Wanneer deze aanname geldt, dan levert deze iteratiestap al voldoende resultaat op.)

De ruwe interpolatiestap gaat als volgt:

- 1) Van het te interpoleren punt P wordt het meest dichtbij liggende bekende (meet)punt gezocht. Dit punt wordt punt M_1 genoemd.
- 2) Vervolgens wordt er een tweede punt gezocht dat zich ook zo dicht mogelijk bij het punt P bevindt, maar op een andere raai ligt dan punt M_1 . Dit tweede punt wordt het punt M_2 genoemd. Dit punt wordt verkregen door te zoeken in het gebied dat ligt tussen een hoek van 120° links en rechts van het lijnstuk M_1P (het grijze gebied in figuur 3.3).
(NB: Ligt het punt P nu exact op de lijn M_1M_2 (=geval 1), dan voldoen deze twee punten en is de derde stap niet nodig.)



Figuur 3.3: Gebied waarin het punt M_2 moet liggen

- 3) Als laatste wordt er een derde hoekpunt gezocht dat zo dicht mogelijk bij het punt P ligt, zodat de nu gevormde driehoek $M_1M_2M_3$ het te interpoleren punt P omsluit (=geval 2).

Bij het zoeken naar het meest dichtbij liggende bekende punt wordt er gebruik gemaakt van een steeds groter wordende cirkel met middelpunt P totdat er een punt M wordt gevonden. De verkregen cirkel heeft dan een straal die gelijk is aan de normale Euclidische afstand r_{MP} . Voor ieder bekend punt wordt er dus de afstand berekend tot P en wordt dit met oplopende afstand in een tabel weggeschreven. Het zoeken naar een bekend punt wordt begrensd door de van tevoren aangegeven *searchdepth*, de maximale afstand tot waar een bekend punt zich mag bevinden om in aanmerking te komen om als bekend punt in de interpolatie te worden gebruikt. Het eerste punt in deze tabel is dus het punt M_1 . Daarna wordt er vanaf dit punt in de tabel verder gezocht naar een punt dat voldoet aan de selectiecriteria die zijn bepaald in stap 2. Voor stap 3 wordt er weer vanaf het begin van de tabel gestart met zoeken.

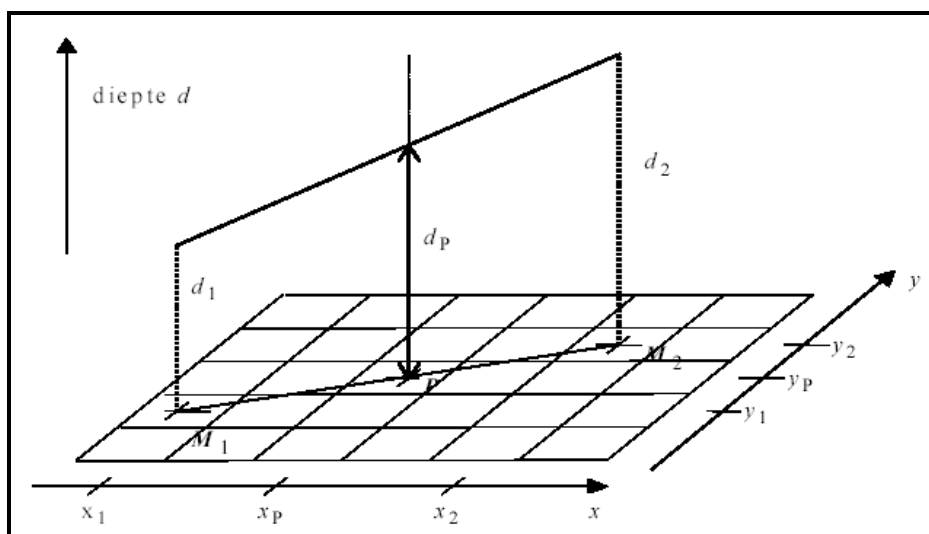
Nu is het mogelijk dat het gevonden punt M_3 op dezelfde lijn ligt als de punten M_1 en P . In dit geval zal het eerder gevonden punt M_2 niet meewegen bij de interpolatie van de dieptewaarde van punt P . Wanneer dit niet het geval is, wordt er nog een vierde stap uitgevoerd, waarin wordt geprobeerd om in plaats van het gevonden punt M_2 een beter punt M_2 te vinden:

- 4) De verkregen tabel wordt vanaf het begin weer doorzocht tot de afstand van het oude punt M_2 , tot er een punt wordt gevonden dat samen met de punten M_1 en M_3 het te interpoleren punt P omsluit. Wordt er geen nieuw punt gevonden wat hieraan voldoet, dan wordt het oude punt M_2 gebruikt.

Geval 1:

Wanneer het punt P op de lijn M_1M_2 ligt, is de interpolatie van de dieptewaarde van het punt P vrij eenvoudig. Tussen de dieptewaarden van de punten M_1 en M_2 wordt een lijn getrokken, waar er door het punt P een loodlijn loopt die de lijn M_1M_2 snijdt. Dit snijpunt is de te interpoleren dieptewaarde van het punt P (zie figuur 3.4).

Uit de driehoeksverhoudingen volgt dat de verhouding $(d_p - d_1) / (d_2 - d_1)$ gelijk is aan de verhouding M_1P / M_1M_2 .



Figuur 3.4: Interpoleren van de diepte in punt P uit twee bekende punten

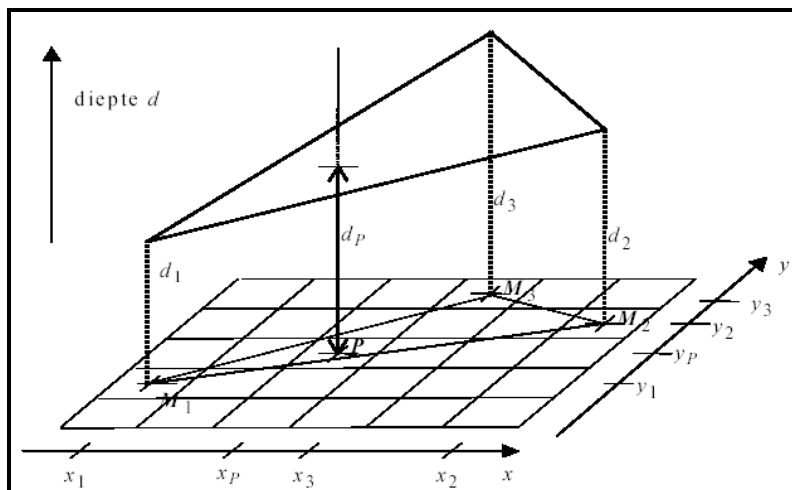
Dit levert de volgende formule voor d_p op:

$$d_p = d_1 + \frac{\sqrt{(x_p - x_1)^2 + (y_p - y_1)^2}}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}} \cdot (d_2 - d_1) \quad \text{(formule 3.3)}$$

Hier geldt dus: hoe dichtert punt P bij een bekend punt ligt, hoe zwaarder dit bekende punt meetelt in de berekening van de diepte van punt P .

Geval 2:

Wanneer punt P niet op de lijn M_1M_2 ligt, is er dus een derde bekend punt M_3 nodig dat niet op de lijn M_1M_2 ligt. Voor de interpolatie van de dieptewaarde voor punt P wordt er dus een driehoek getrokken tussen de dieptewaarden van de genoemde drie bekende punten. Ook hier wordt er weer een loodlijn getrokken door het punt P en het snijpunt met de getrokken driehoek is de te interpoleren dieptewaarde voor punt P (zie figuur 3.5).



Figuur 3.5: Interpoleren van de diepte in punt P uit drie bekende punten

Hier ontstaat dus een stelsel van drie vergelijkingen met drie onbekenden, namelijk:

$$\begin{pmatrix} x_p - x_1 \\ y_p - y_1 \\ d_p - d_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_2 - x_1 & x_3 - x_1 \\ y_2 - y_1 & y_3 - y_1 \\ d_2 - d_1 & d_3 - d_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} \quad (\text{formule 3.4})$$

Oplossen van dit stelsel geeft:

$$d_p = d_1 + \alpha \cdot (d_2 - d_1) + \beta \cdot (d_3 - d_1)$$

$$\alpha = \frac{(x_p - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_p - y_1)}{(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)} \quad (\text{formule 3.5})$$

$$\beta = \frac{(x_2 - x_1)(y_p - y_1) - (x_p - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)}$$

Ook hier geldt dus: hoe dichterbij punt P bij een bekend punt ligt, hoe zwaarder dit bekende punt meetelt in de berekening van de diepte van punt P.

3.1.2.2 De richtingsbepaling

Bij de gerichte interpolatie wordt er geen gebruik gemaakt van de Euclidische afstand tussen een te interpoleren punt en een bekend punt. Hier wordt dus niet gezocht met een cirkel met middelpunt P en een straal die gelijk is aan r_{MP} . In plaats daarvan wordt er gebruik gemaakt van de richtingsinformatie, zodat er tijdens de interpolatierekening wordt gehouden met de overheersende richting van de dieptelijnen in de omgeving van het te interpoleren punt P. Dit gebeurt door gebruik te maken van een ellips waarbij de korte halve as een straal heeft van de Euclidische afstand r_{MP} (dus een maximale straal van *searchdepth*) en de halve lange as een straal heeft van $w \cdot r_{MP}$ (dus een maximale straal van $w \cdot \text{searchdepth}$). De oriëntatie van de ellips is gedefinieerd door de hoek α tussen de halve lange as en de x-as van het ruwe grid.

(NB: Wanneer w de waarde 1 heeft, ontstaat er dus dezelfde cirkel zoals die is gebruikt bij de ruwe interpolatie.)

Berekenen van de gradiëntvectoren:

Voordat de waarden van w en α berekend kunnen worden, moeten eerst de gradiëntvectoren voor ieder gridpunt (het midden van een gridcel) worden bepaald. Deze gradiëntvector bestaat uit twee componenten, een x- en een y-component. Iedere component is de partiële afgeleide in het gridpunt G van de diepte naar x of y. Het berekenen van deze gradiënten is alleen zinvol wanneer de bodem een continu verloop heeft. Het berekenen van de partiële afgeleide, $(\partial d / \partial x)_G$ respectievelijk $(\partial d / \partial y)_G$, in het punt G gebeurt door gebruik te maken van de omliggende gridcellen in de x- of y-richting.

In DIGIPOL worden er aan weerszijden van de gridcel met punt G de drie aanliggende cellen gebruikt bij deze berekening, waaraan de volgende gewichten worden toegekend:

(-3, -4, -3, 0, 3, 4, 3). Hierbij hoort de 0 bij de gridcel met punt G. De andere gridpunten worden voor het gemak D, E, F, H, I en J genoemd. Verder worden de geïnterpoleerde dieptewaarden uit de ruwe interpolatiestap gebruikt.

Hierdoor wordt de partiële afgeleide berekend volgens:

$$(\partial d / \partial x)_G = \frac{d_B - d_A}{2 \cdot a} \quad (\text{formule 3.6})$$

Waarbij a de afstand is tussen punt G en respectievelijk punt D en punt J.

De diepten van punt A en punt B worden berekend volgens de formules:

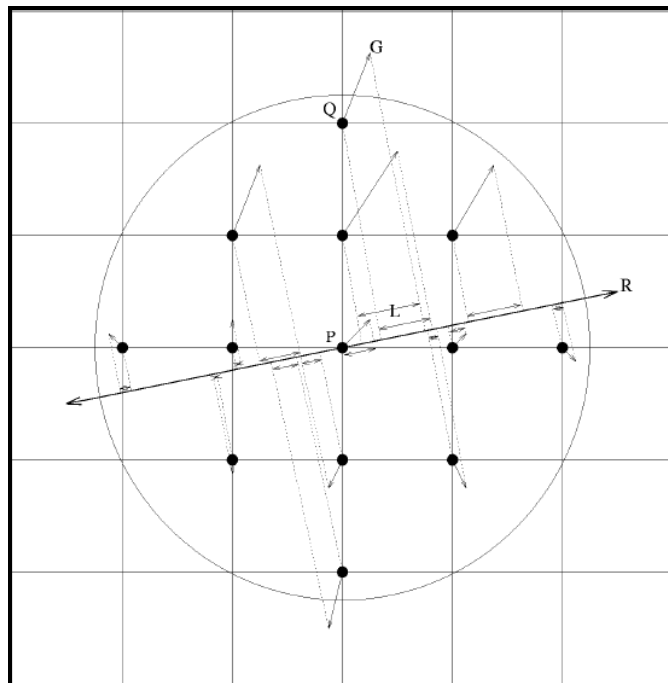
$$d_A = \frac{3 \cdot d_D + 4 \cdot d_E + 3 \cdot d_F}{10} \quad \text{en} \quad d_B = \frac{3 \cdot d_H + 4 \cdot d_I + 3 \cdot d_J}{10} \quad (\text{formule 3.7})$$

Punt A en B zijn dus gewogen gemiddelden van de dieptewaarden (D, E, F, H, I en J) links en rechts van punt G.

Bepaling van de hoofdrichting α :

De hoek α (=de hoofdrichting) is dus de overheersende richting van de dieptelijnen in de omgeving van P. Met overheersend wordt dus een gemiddelde of dominante waarde van de dieptelijnsrichting (of: stromingsrichting) bedoeld. Een dieptelijns is een verzameling punten met dezelfde diepte.

Voor de berekening van de hoofdrichting wordt er gebruik gemaakt van de gradiëntvectoren die binnen een cirkel met straal *directiondepth* rond het te interpoleren punt P liggen. De variabele *directiondepth* kan door de gebruiker van DIGIPOL van te voren worden gekozen. Alle gradiëntvectoren die binnen de *directiondepth* liggen, worden loodrecht geprojecteerd op de lijn R door het te interpoleren punt P (=het middelpunt van de cirkel). De richting van de lijn R die de kleinste kwadratische som van de lengte van deze projecties oplevert, is de hoofdrichting α (zie figuur 3.6).



Figuur 3.6: Loodrechte projectie van gradiëntvectoren op lijn R

De lengte van een loodrechte projectie (vector \mathbf{v}) op de lijn R met eenheidsvector $\mathbf{e} = \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix}$ wordt berekend volgens:

$$\mathbf{v} \cdot \mathbf{e} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix} = x \cdot \cos \alpha + y \cdot \sin \alpha \quad (\text{formule 3.8})$$

Hiermee is de te minimaliseren functie F, de som van de gekwadrateerde lengtes v_i , te berekenen met:

$$\begin{aligned}
 F &= \sum_i [(\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{e})^2] \\
 &= \left(\sum_i [x_i^2] \right) \cdot \cos^2 \alpha + \left(\sum_i [y_i^2] \right) \cdot \sin^2 \alpha + 2 \cdot \left(\sum_i [x_i \cdot y_i] \right) \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha
 \end{aligned}
 \tag{formule 3.9}$$

Door de afgeleide van deze functie op nul te stellen, ontstaat een formule voor de hoofdrichting:

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2 \cdot \sum_i [x_i \cdot y_i]}{\sum_i [x_i^2] - \sum_i [y_i^2]} \right)
 \tag{formule 3.10}$$

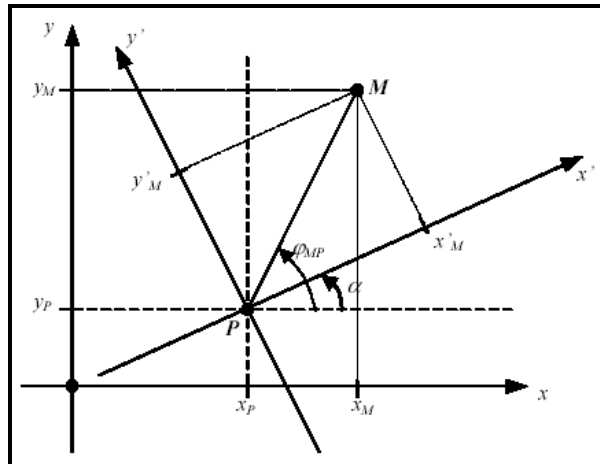
Bepaling van de richtingssterkte w:

De richtingssterkte van een gridpunt G wordt berekend door de gekwadrateerde lengte van de loodrechte projectie van de gradiëntvector op de hierboven genoemde eenheidsvector (T_G) te delen door de gekwadrateerde lengte van de loodrechte projectie van de gradiëntvector loodrecht op de hierboven genoemde eenheidsvector (N_G). Daarna wordt w bepaald door de som te nemen over alle punten in het cirkelvormige zoekgebiedje met straal *directiondepth* rond het punt G. in formulevorm:

$$w = \frac{\sum_i T_i}{\sum_i N_i} = \frac{\sum_i \left[\begin{pmatrix} \partial d / \partial x \\ \partial d / \partial y \end{pmatrix}_i \cdot \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix} \right]^2}{\sum_i \left[\begin{pmatrix} \partial d / \partial x \\ \partial d / \partial y \end{pmatrix}_i \cdot \begin{pmatrix} -\sin \alpha \\ \cos \alpha \end{pmatrix} \right]^2}
 \tag{formule 3.11}$$

3.1.2.3 De gerichte interpolatie

In deze interpolatiestap wordt er gebruik gemaakt van de in de vorige stap berekende richtingssterkte en hoofdrichting bij het zoeken naar de meest optimale keuze voor de bekende punten M_i . Wanneer het punt M ten opzichte van het te interpoleren punt P loodrecht op de lijn α ligt, is de gebruikte afstand gelijk aan de normale Euclidische afstand r_{MP} . Wanneer het punt M meer richting de hoofdrichting ligt, wordt de gebruikte afstand kleiner dan r_{MP} . Deze wordt weergegeven door de afstandmaat r_{scaled} . Hier wordt dus als het ware de meetlat uitgerekt. Dit gebeurt met een factor w, die altijd groter of gelijk is aan 1. Hierdoor wordt er bij een $w > 1$ niet meer gezocht in een cirkelvormig gebied rond P, maar met een ellipsoïdisch gebied. Er ontstaat dus een nieuw getransleerd en getoerd coördinatenstelsel, zoals weergegeven in figuur 3.7.



Figuur 3.7: De coördinatentransformatie

De nieuwe coördinaten worden dus berekend volgens:

$$\begin{aligned} x'_M &= r_{MP} \cos(\varphi_{MP} - \alpha) \\ y'_M &= r_{MP} \sin(\varphi_{MP} - \alpha) \end{aligned} \quad (\text{formule 3.12})$$

$$\text{met: } \varphi_{MP} = \arctan(y_{MP}/x_{MP})$$

Na deze keuze van de bekende punten M, wordt er weer geïnterpoleerd. Dit gebeurt op dezelfde manier als omschreven in paragraaf 3.1.2.1.

3.1.2.4 Kwaliteitsbeschrijving van interpolatieresultaat

Optioneel levert DIGIPOL als uitvoer behalve het geïnterpoleerde grid met de geïnterpoleerde dieptewaarden ook drie uitvoerbestanden met in de gridcellen een kwaliteitsindicatie voor de berekende geïnterpoleerde dieptewaarden. Iedere gridcel met deze kwaliteitsinformatie bevat een waarde die een indicatie geeft voor de kwaliteit ofwel betrouwbaarheid van de berekende dieptewaarde in de overeenkomstige gridcel van het geïnterpoleerde grid.

Het eerste kwaliteitsbestand bevat een uitvoer met in iedere gridcel de "overbruggingsafstand". De overbruggingsafstand is gelijk aan de lengte van de langste zijde van de interpolatiedriehoek, gedeeld door de richtingsterkte w van de ellips waarbinnen naar de punten is gezocht. Door te delen door w wordt het getal minder afhankelijk van het richtingsgedrag bij het zoeken. Een grote waarde van een overbruggingsafstand betekent dat de diepte in dat punt is berekend uit verder weg gelegen punten, hetgeen in het algemeen betekent dat de voor de betreffende gridcel berekende diepte minder nauwkeurig is.

Het tweede kwaliteitsbestand bevat een beeld met in iedere gridcel de "hoekafwijking", de hoek in graden, in het interval $[0,90]$ tussen de hoofdrichting die in de laatst uitgevoerde iteratie is berekend voor deze cel en de richting van de bij deze cel het meest dichtbij gelegen raai. De waarde 0 betekent dat de raairichting optimaal is. Bij de maximale waarde van 90 is er sprake van een raai die samenvalt met de dieptelijn. In gridcellen waarin het programma de richting van de raai die daarbij in de buurt ligt niet heeft kunnen vaststellen (bijvoorbeeld bij willekeurig over het vlak verdeelde meetpunten), geeft DIGIPOL een uitvoer van de hoekafwijking van 0.

Een afbeelding met de hoekafwijking in ieder punt wordt iedere keer bij het uitvoeren van de gerichte interpolatie bijgewerkt. Deze uitvoer van de hoekafwijking is alleen zinvol als de gemeten punten inderdaad raaien of andersoortige lijnen van meetpunten vormen. Als de gemeten punten willekeurig over het vlak zijn verdeeld, dan zijn de berekende waarden van de hoekafwijking niet zinvol. Aan de grootte van de waarde van de uitvoer van de hoekafwijking is te zien met welke gridcellen het algoritme de meeste moeite heeft gehad (hoe dichterbij 0, des te makkelijker ging de interpolatie). In deze punten is naar verwachting de fout in de geïnterpoleerde dieptewaarden het grootst.

Het derde kwaliteitsbestand ("de nauwkeurighedsanalyse") bevat de resultaten van de kruisvalidatie. Hierbij wordt de raai als kleinste eenheid gebruikt. In DIGIPOL wordt de kruisvalidatie na de gerichte interpolatie uitgevoerd. Dit komt doordat er hierbij gebruik wordt gemaakt van de berekende voorkeursrichtingen aldaar. Bij de kruisvalidatie wordt er dus voor iedere raai een geïnterpoleerde waarde berekend met behulp van de waarden van de andere raaien.

(NB: In gevallen waarin de invoerdata niet uit raaien bestaat, dient de gebruiker de gegevens over een aantal invoerbestanden te verdelen. Deze bestanden zullen dan door DIGIPOL als kleinste eenheden voor de kruisvalidatie worden gebruikt.)

De nauwkeurighedsanalyse in DIGIPOL bestaat uit de volgende stappen (zie [6]):

1. Voer de gebruikelijke iteraties van de interpolatie uit.
2. Voer voor elke raai een extra interpolatie uit, waarbij op de plaats van de raai de dieptewaarden worden geïnterpoleerd op basis van de omliggende raaien. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de reeds berekende voorkeursrichting uit stap 1. Het verschil tussen de oorspronkelijke (vergridde) dieptewaarden en de nieuw berekende diepten levert de zogenaamde *kruisvalidatiefout* ter plaatse.
3. Interpoleer de met stap 2 berekende fouten met behulp van een extra iteratie, daarbij weer gebruik makend van de reeds berekende richtingen en ratio's uit stap 1.
4. Bereken op basis van de weegfactoren van de steunpunten (de hoekpunten van de interpolatiedriehoeken) van alle geïnterpoleerde punten de *paraboolvormwaarde* (de middelste gedeeld door de som van de grootste en de kleinste).
5. Bereken de *krommingsfout* (2 maal het product van de stappen 3 en 4).
6. Interpoleer de standaard deviaties van de vergridding d.m.v. een extra iteratie, opnieuw gebruik makend van de reeds bekende richtingen en ratio's uit stap 1. Dit levert de *steunpuntfout*.
7. Stel de *toevallige fout* gelijk aan de *steunpuntfout*, met dien verstande dat hij op de raaien 0 wordt gemaakt.
8. Bereken de totale fout (ook wel nauwkeurigheid of kwaliteitsindicator genoemd): de wortel uit de som van de kwadraten van de stappen 5, 6 en 7.

Een analyse van deze door DIGIPOL meegegeven kwaliteitsbeschrijvingen komt in paragraaf 5.2.4 aan de orde.

3.2 Werking van SURFIS

SURFIS wordt gebruikt door de afdeling RIZA (Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling) van Rijkswaterstaat, waar ook de ontwikkeling van het programma heeft plaatsgevonden, maar ook in het buitenland (o.a. België, Frankrijk) wordt SURFIS regelmatig gebruikt. Het programma wordt vooral ingezet bij het interpoleren van meetgegevens van rivierbodems. Net als bij het hiervoor besproken programma DIGIPOL, is het ook bij SURFIS noodzakelijk dat de invoerdata wordt bewerkt voordat er geïnterpoleerd kan worden. Deze voorbereiding is echter niet identiek aan de voorbereiding van DIGIPOL!

3.2.1 Voorbereiding

Voordat er met de interpolatie wordt begonnen, moeten er eerst enkele gegevens worden aangeleverd die nodig zijn bij de interpolatie. Doordat het te interpoleren gebied meestal een rivier betreft, wordt er gevraagd om twee gebiedsgrenzen en een rivieras aan te geven. Ook vindt er een coördinatentransformatie plaats, zodat een coördinatenstelsel wordt verkregen waarmee de interpolatieprocedure veel gemakkelijker rekent. Deze voorbereidingsstappen zullen ieder apart kort worden toegelicht.

3.2.1.1 Selecteren van het onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied bestaat meestal uit een stukje van een rivierbedding. Hierdoor is het mogelijk om harde grenslijnen te definiëren waar het te interpoleren gebied ophoudt (zoals dijken of oeverlijnen). Het is mogelijk om de hele lengte van de rivier in één keer te interpoleren, maar ook is het mogelijk om een deel te selecteren. Dit gebeurt door het specificeren van het onderzoeksgebied. Dit is een rechthoekig gebied waarvan de gebruiker van tevoren de minimale en maximale waarden van de x- en y-coördinaat kan aangeven. De grenslijnen die in het onderzoeksgebied liggen kunnen ieder apart in een eigen bestandje worden opgeslagen. Dit zijn twee lijstjes met punten (in XYZ-waarden) die in het onderzoeksgebied liggen of in de overlap. In dit gebied worden geen punten geïnterpoleerd, maar worden de bekende punten (en dus ook de punten van de grenslijnen) wel gebruikt voor de interpolatie van de punten die binnen het onderzoeksgebied liggen. Deze overlap is standaard een vast gegeven en heeft een afmeting van 250 meter aan alle zijden van het onderzoeksgebied.

Doordat de grenslijnen uit een lijstje met onregelmatige punten bestaan, dienen deze eerst te worden geïnterpoleerd, zodat er echte grenslijnen ontstaan. Er is gekozen voor een lineaire interpolatie waarbij er tussen twee punten op een grenslijn één meter ruimte overblijft. Doordat de oeverlijnen en dijken over het algemeen een vrij continu verloop hebben, zal deze afstand nauwelijks invloed hebben op kwaliteit van de latere interpolatie.

3.2.1.2 Berekenen van de rivieras

Bij de interpolatiemethode van SURFIS wordt er, net als bij DIGIPOL, gebruik gemaakt van een zoekrichting. Doordat er wordt aangenomen dat er vooral verschillen in diepte aanwezig zullen zijn in de richting van de rivierdoorsnede en in veel mindere mate in de stroomrichting van de rivier, wordt er gebruik gemaakt van de rivieras. Dit is het midden tussen de hiervoor opgegeven en berekende grenslijnen. De rivieras kan door de gebruiker worden opgegeven in een bestand met XYZ-waarden, maar kan ook door SURFIS worden berekend. Wanneer voor de laatste optie wordt gekozen, zal de rivieras een veel grilliger verloop hebben, doordat dan iedere kleine inham in de oeverlijn terug te vinden is in de loop van de rivieras. Wanneer de rivieras door de gebruiker wordt gespecificeerd, zal de loop hiervan veel regelmatiger zijn. Wel moet de resolutie waarmee de rivieras bekend is (de afstand tussen de punten in het bestand) dan niet te groot zijn. Want doordat ook hier gebruik wordt gemaakt van een lineaire interpolatie voor het genereren van een lijn, worden er bij een grote resolutie veel minder details van de rivierlijn meegenomen dan bij een kleine resolutie het geval zal zijn.

(NB: Bij een grote afstand tussen de punten op de rivieras zal ook de uiteindelijke interpolatie van mindere kwaliteit zijn, omdat de y-coördinaten van de punten zijn gerelateerd aan de punten van de rivieras, zie paragraaf 3.2.1.3.)

Vervolgens wordt er van het beginpunt van de rivier tot ieder punt op de rivieras de afstand (in meter) berekend. Het beginpunt van de rivier is daar waar de als eerste opgegeven grens begint. (De twee grenzen hoeven dus niet in dezelfde richting te worden opgegeven.)

Ook wordt er voor ieder punt op de rivieras de richting bepaald door de x- en y-coördinaat van een punt erboven en eronder. De afstand tussen de laatstgenoemde twee punten kan door de gebruiker zelf worden gespecificeerd bij: afstand voor bepalen zoekrichting.

Als laatste worden er voor ieder punt van de rivieras de dwarsraaien bepaald, dat wil zeggen dat er voor ieder punt op de rivieras wordt gezocht naar een punt op de twee grenzen die loodrecht liggen t.o.v. de rivieras. Hieruit volgen puntenparen die samen de dwarsraai vormen. Doordat het niet altijd zo hoeft te zijn dat het dichtstbijzijnde punt op een grens loodrecht op de rivieras ligt, wordt er gebruik gemaakt van een maximale zoekafstand. Vanaf het meest dichtbij liggende punt op de grens wordt er dan tot de lengte van de maximale zoekafstand op de grens gezocht naar een punt dat loodrecht op de rivieras ligt. Ook de lengte van de gevormde dwarsraaien wordt bepaald en opgeslagen.

3.2.1.3 Transformatie van de coördinaten

Bij het programma SURFIS wordt er geen gebruik gemaakt van een rechthoekig coördinatenstelsel (de gebruikte dataset is gegeven in RD, dus wel rechthoekig). In plaats daarvan wordt er voor het coördinatenstelsel gebruik gemaakt van de twee opgegeven grenzen. Alle punten krijgen een x-coördinaat gerelateerd aan de eerste grens. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de lengte van de dwarsraaien en deze x-coördinaat wordt weergegeven in procent. Zo krijgen dus alle punten die op de eerste grens liggen een x-coördinaat van 0, alle punten op de rivieras een x-coördinaat van 50 en alle punten op de tweede grens krijgen een x-coördinaat van 100. De y-coördinaat geeft de afstand in de lengterichting van de rivier weer vanaf het begin van de rivier (daar waar de eerste grens begint) en wordt weergegeven in meters. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de eerder bepaalde afstanden van de punten van de rivieras. Het punt waarvan de y-coördinaat moet worden bepaald krijgt dezelfde y-coördinaat als het meest dichtbij liggende punt van de rivieras.

3.2.2 Interpolatieprocedure

Nu er in de voorbereidingsstappen het onderzoeksgebied is gedefinieerd, de bijbehorende grenzen en lijnen zijn gespecificeerd en het coördinatenstelsel is gedefinieerd, kan er met de eigenlijke interpolatie begonnen worden. Deze interpolatie kan ook weer onderverdeeld worden in enkele fases. Zo zal allereerst het zoekgebied moeten worden gespecificeerd dat aangeeft welke bekende punten er worden gebruikt bij de interpolatie van het punt P. Vervolgens heeft de gebruikte interpolatiemethode een korte toelichting. Ook is het mogelijk om, zowel voorafgaand aan de interpolatie als daarna, uitspraken te doen met betrekking tot de kwaliteit van de gebruikte interpolatiemethode en de resultaten daarvan.

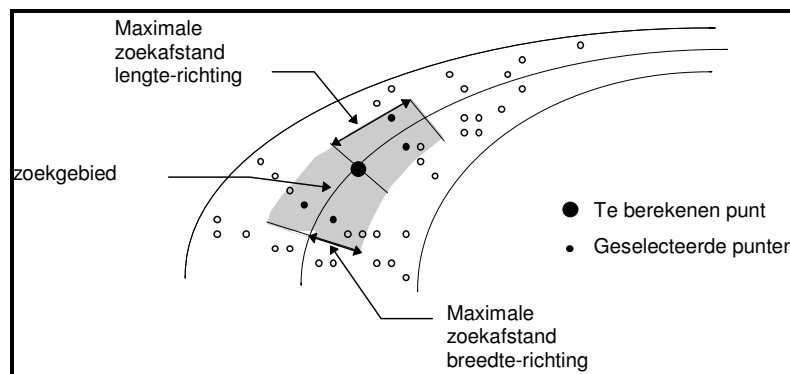
3.2.2.1 Kwaliteitsbeschrijving van de interpolatiemethode

Bij SURFIS bestaat er de mogelijkheid om voorafgaand aan de interpolatie een kruisvalidatie uit te voeren. Hierbij wordt ieder gemeten punt teruggerekend uit de overige bekende punten volgens de hieronder omschreven interpolatiemethode. Hierdoor wordt er voor ieder bekend punt de interpolatiefout (de “geschatte toevallige fout”) in kaart gebracht, doordat er nu voor ieder punt een werkelijke en berekende waarde beschikbaar is. Aan de hand daarvan is het mogelijk om voor ieder geïnterpoleerd punt de geschatte toevallige fout te berekenen. Voor ieder punt geldt dat de interpolatiefout samen met de meetfout de residuele standaardafwijking (= opgetreden toevallige fout) geeft. Echter, de meetfout is zelden goed bekend en dus is het berekenen van de residuele standaardafwijking in ieder punt volgens deze eenvoudige optelsom niet mogelijk.

De residuele standaardafwijking kan wel worden berekend uit de toevallige fouten van de bekende punten. Op deze punten is er geen sprake van grote meetfouten. Door de bepaalde toevallige fout in een aantal klassen in te delen met ongeveer een gelijke toevallige fout, is het mogelijk om voor iedere klasse de gemiddelde residuele standaardafwijking te bepalen. Hieruit kan een (vaak lineaire) relatie worden bepaald, waardoor voor iedere mogelijke waarde van de geschatte toevallige fout een bijbehorende residuele standaardafwijking kan worden gezocht.

3.2.2.2 De gerichte interpolatie

Doordat, zoals eerder vermeld, er bij rivieren over het algemeen sprake is van een veel kleinere variatie in de bodemhoogte in de lengterichting dan in de breedterichting, wordt er bij het programma SURFIS geen gebruik gemaakt van een cirkelvormig zoekgebied. In plaats daarvan wordt er gebruik gemaakt van een zoekgebied dat afhankelijk is van het verloop van de rivieras en de vooraf opgegeven grenzen. Dit zoekgebied heeft dus dezelfde vorm als het gebruikte coördinatenstelsel in SURFIS (zie figuur 3.8). De maximale afmetingen van het zoekgebied kunnen door de gebruiker worden opgegeven, voor de lengterichting en de breedterichting afzonderlijk. Uit de ervaringen van gebruikers is gebleken dat voor een haven of rivier een verhouding van 1:10 een goed resultaat geeft, waarbij het zoekgebied in de lengterichting dus een factor 10 groter is dan het zoekgebied in de breedterichting.



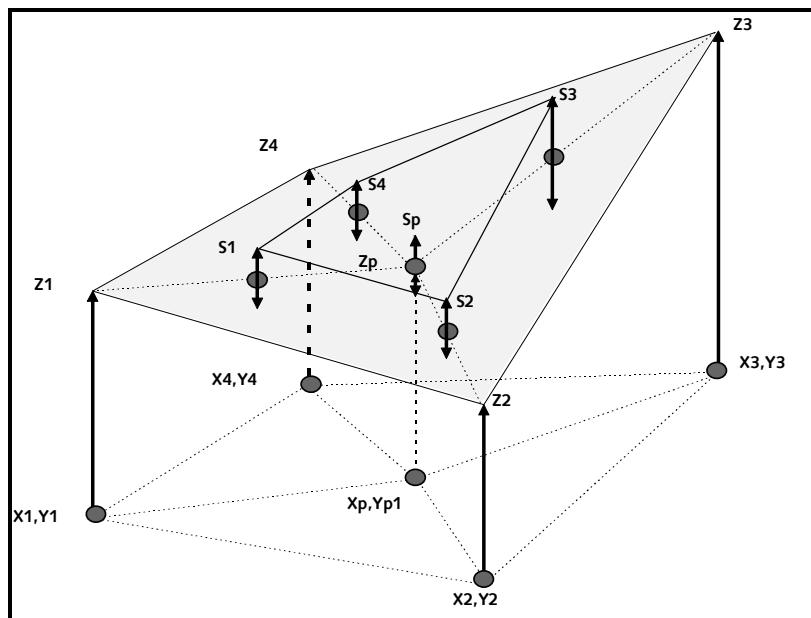
Figuur 3.8: Definieren van het zoekgebied

Wanneer het zoekgebied voor een punt bekend is, wordt dit in vier kwadranten verdeeld. Voor ieder kwadrant wordt er één punt geselecteerd dat het meest in de buurt ligt van het te interpoleren punt P. Hierbij wordt rekening gehouden met de uitgerekte vorm van het zoekgebied. Er wordt dus geen gewogen gemiddelde van de punten binnen het zoekgebied gebruikt als bekende dieptewaarde.

De verkregen vier bekende punten worden gebruikt bij de gerichte interpolatie van punt P. Hierdoor ontstaat er een vierhoek met in de hoekpunten de punten M_1 t/m M_4 met hun bijbehorende dieptewaarden z_1 t/m z_4 . Het oppervlak dat door deze vier bekende punten heen wordt gelegd, wordt berekend met behulp van meervoudige lineaire regressie. Bij deze meervoudige lineaire regressie zijn de onafhankelijke variabelen: de x-coördinaat en de y-coördinaat in het SURFIS coördinatensysteem en het product van deze waarden. De algemene formule voor meervoudige lineaire regressie is:

$$E\{Y_i\} = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} \quad (\text{formule 3.13})$$

In dit geval is k (het aantal onafhankelijke variabelen) dus 3 en i (het aantal waarnemingen) dus 4 (dit zijn de bekende punten M_1 t/m M_4 met de bijbehorende dieptewaarden z_1 t/m z_4). Hierdoor ontstaat een vlak waar in iedere lijn M_iP een knik loopt, waaruit de dieptewaarde in punt P kan worden berekend met de bekende x- en y-coördinaten (zoals weergegeven in figuur 3.9).



Figuur 3.9: Oppervlak door de punten M_i m.b.v. meervoudige lineaire regressie

3.2.2.3 Kwaliteitsbeschrijving van het interpolatieresultaat

Wanneer er voor de interpolatie gekozen is om een kruisvalidatie uit te voeren en er dus een geschatte toevallige fout (het verschil tussen de meetwaarde en de met de kruisvalidatie berekende waarde) berekend is voor de vier bekende punten M_1 t/m M_4 , biedt SURFIS ook de mogelijkheid om de geschatte toevallige fout van het geïnterpoleerde punt te berekend. Om dit mogelijk te maken, worden er eerst vier punten dicht bij het punt P geselecteerd. Dit zijn de punten S_1 t/m S_4 die in het midden van de lijn M_iP liggen op het berekende oppervlak. Doordat er gebruik wordt gemaakt van een lineaire interpolatie, zal er een afwijking ontstaan ten opzichte van de rechte lijn. Echter, in deze punten S_i wordt deze afwijking verondersteld normaal verdeeld

te zijn met een gemiddelde van 0 en een standaardafwijking van σ . De geschatte toevallige fout wordt nu voor de punten S_i uit de dieptewaarden van de bekende punten en het geïnterpoleerde punt P berekend. Door op deze vier punten S_i weer meervoudige lineaire regressie toe te passen, wordt de geschatte toevallige fout voor het geïnterpoleerde punt P berekend. Met behulp van de eerder berekende relatie tussen de geschatte en de opgetreden toevallige fout (zie paragraaf 3.2.2.1) is het mogelijk om voor het geïnterpoleerde punt de residuele standaardafwijking te bepalen. Wanneer de residuele standaardafwijking bekend is voor het hele geïnterpoleerde gebied, is het mogelijk om voor ieder punt een interval te berekenen waar de werkelijke dieptewaarde tussen dient te vallen. Het is dan ook de bedoeling dat de geïnterpoleerde waarde daar ook netjes tussen ligt. Dit moet blijken uit paragraaf 5.2.4 waar de gegeven kwaliteitsbeschrijving wordt vergeleken met de berekende kwaliteit van het interpolatieresultaat.

3.3 Werking van KRIGING

KRIGING is een interpolatiemethode die in de wetenschappelijke wereld genoemd wordt als een aanbevolen interpolatiemethode. Dit komt doordat er bij KRIGING gebruik wordt gemaakt van een stochastisch model. Hierdoor is het mogelijk om de kwaliteit van de interpolatie in kaart te brengen. In deze paragraaf zal de werking van deze methode kort worden beschreven. Hierbij wordt er een onderscheid gemaakt tussen enkele bekende soorten KRIGING. Ook bij KRIGING worden er voor de werkelijke interpolatie bepaalde berekeningen uitgevoerd die van belang zijn voor een goede interpolatie.

3.3.1 Voorbewerking

Bij de interpolatie volgens KRIGING wordt er gebruik gemaakt van verschillende variogrammen. Deze worden in deze voorbereidingsfase geïntroduceerd en bepaald. Zo worden allereerst het ruwe en het experimentele variogram behandeld in paragraaf 3.3.1.1. Vervolgens wordt het semi-variogram via een iteratieve methode bepaald. Dit wordt behandeld in paragraaf 3.3.1.2, waarbij er een relatie bestaat met paragraaf 3.3.2.1 die de kwaliteit van de interpolatiemethode, en dus ook het gekozen variogram behandelt.

3.3.1.1 Analyse van het experimentele variogram

Het experimentele variogram wordt gebruikt om de ruimtelijke correlatie van de bekende datapunten in kaart te brengen. Om het experimentele variogram te verkrijgen wordt er gebruik gemaakt van het ruwe variogram. Hierbij wordt de afstand tussen twee bekende datapunten (M_i en M_i') uitgezet tegen het kwadratisch verschil in dieptewaarden $\frac{1}{2} (d_{M_i} - d_{M_i'})^2$. Hierdoor ontstaat dus een figuur met $\frac{1}{2} \cdot n(n-1)$ punten, waarbij n het aantal bekende punten is. Al deze punten samen vormen het ruwe variogram (dit is dus een zogenoemd scatter plot, een figuur met onsamenhangende punten). Uit dit ruwe variogram wordt het experimentele variogram berekend door de onderlinge afstand tussen deze punten in een aantal intervallen te verdelen, waarbij ieder interval evenveel punten bevat. Voor ieder interval kan nu een gemiddelde waarde worden berekend, volgens:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [d_{M_i} - d_{M_i'}]^2 \quad (\text{formule 3.14})$$

Hierbij is N de grootte van het interval en h de afstand tussen de twee bekende punten.

Wanneer er een lijn wordt getrokken door deze intervalgemiddelden, ontstaat het experimentele variogram. Variaties op het verkregen variogram zijn mogelijk door het kiezen van een ander aantal intervallen, het nemen van de middelste waarde in plaats van de gemiddelde waarde of bij een interval met grote fluctuaties het selecteren van meer punten in dit interval. De verschillen hiertussen zullen echter gering zijn en is deze keuze van het experimentele variogram afhankelijk van de gebruiker, er is geen beste oplossing.

In de bovengenoemde methode voor het bepalen van het experimentele interval wordt ervan uitgegaan dat de ruimtelijke correlatie onafhankelijk was van de oriëntatie. Wanneer er echter wel een enkele vorm van richtingafhankelijkheid wordt verondersteld, wordt er gebruik gemaakt van het richtingafhankelijke experimentele variogram. Ook dit variogram wordt berekend uit het ruwe variogram. Hier wordt echter de oriëntatie van ieder paar punten berekend (waarbij een hoek die 180° verschilt met een andere als dezelfde wordt beschouwd). Deze oriëntaties worden in twee groepen gesplitst, zodat er twee experimentele variogrammen ontstaan waarbij de ene bestaat uit alle punten met een oriëntatie van bijvoorbeeld -90° tot 0° en de ander uit de punten met een oriëntatie van 0° tot 90° . (In deze tweedeling is gekozen voor twee oriëntaties die loodrecht op elkaar staan, maar dit is niet noodzakelijk.) Wanneer er tussen deze twee experimentele variogrammen grote verschillen waarneembaar zijn, zal er dus sprake zijn van enige vorm van richtingafhankelijkheid en is de dataset dus niet isotroop (=richtingsonafhankelijk). De twee loodrechte oriëntaties waar de verschillen het grootst zijn worden als de hoofdrichtingen gekozen. Vervolgens wordt de afstand tussen twee punten, waarbij rekening is gehouden met de richtingsafhankelijkheid, berekend volgens

$$h_g = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 h_i H_{ij} h_j} \quad (\text{formule 3.15})$$

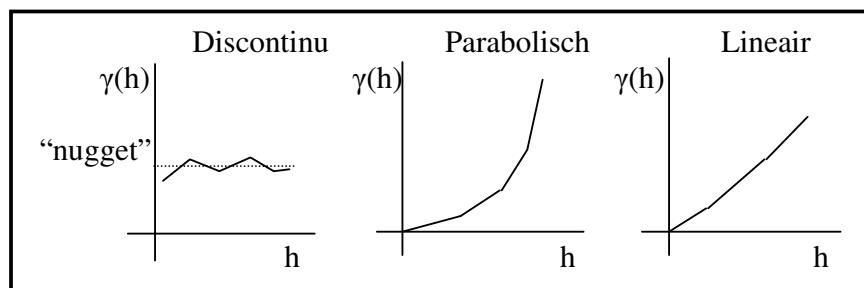
waarbij de dimensie 2 is en h_1 en h_2 de afstanden zijn in respectievelijk de x- en de y-richting. H_{ij} is het element van de matrix H die de rotatie en de schaling van de assen bevat. Voor een rotatie φ en een schaling van de tweede as α geeft dit de volgende matrix H:

$$H = \begin{bmatrix} \cos^2 \varphi + \alpha^2 \sin^2 \varphi & (1 - \alpha^2) \sin \varphi \cos \varphi \\ (1 - \alpha^2) \sin \varphi \cos \varphi & \sin^2 \varphi + \alpha^2 \cos^2 \varphi \end{bmatrix} \quad (\text{formule 3.16})$$

Deze berekende waarde voor h_g kan vervolgens in de rest van de interpolatiemethode als vervanging dienen voor de verder gebruikte h .

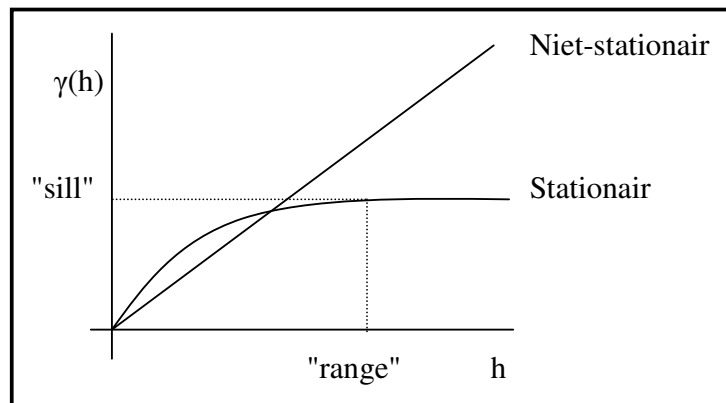
Wanneer het experimentele variogram berekend is, wordt er gekeken naar het gedrag van het experimentele variogram op een kleine schaal (rond de oorsprong) en op grote schaal. Bij het gedrag op kleiner schaal zijn er twee uitersten aan te wijzen, namelijk een discontinu gedrag en een parabolisch gedrag. Wanneer het experimentele variogram discontinu is, zal er bij de oorsprong een (bijna) horizontale lijn waarneembaar zijn die niet in de oorsprong zal beginnen. Het verschil tussen de oorsprong en deze gemiddelde waarde wordt de “nugget” genoemd. Discontinuu gedrag is een indicatie van microvariabiliteit. Dit zijn fluctuaties op kleinere schaal dan het gekozen interval. Bij parabolisch gedrag zal het experimentele variogram wel in de oorsprong beginnen.

Hierbij is er variabiliteit op een veel grotere schaal dan het gekozen interval en is ook de afgeleide van de dieptewaarden (de helling) een continue functie en dus goed gedefinieerd. Tussen een discontinu gedrag en een parabolisch gedrag liggen vele andere vormen, waarvan een (bijna) lineair gedrag het meeste voorkomt. Hierbij zijn er voor het grootste deel fluctuaties op een grotere schaal, maar ook wel enkele op de schaal van het gekozen interval. Hierdoor is het experimentele variogram een bijna continue functie, maar de helling is een discontinue functie.



Figuur 3.10: Een discontinu, parabolisch en lineair experimentele variogram rond de oorsprong

Op grote schaal wordt er gekeken naar de mate van stationairiteit. Wanneer het experimentele variogram stationair is, zullen er kleine fluctuaties zijn die stabiliseren rond een bepaalde gemiddelde waarde. Deze gemiddelde waarde wordt de “sill” genoemd. Een andere eis aan de stationairiteit is dat de covariantie tussen twee punten alleen afhankelijk is van de afstand tussen deze twee punten. De afstandswaarde waar het experimentele variogram deze sill bereikt, wordt de “range” (of ook wel de “correlatieafstand”) genoemd. Dit is dus de schaal waar twee bekende punten praktisch ongecorrleerd zijn. Wanneer het experimentele variogram niet convergeert naar een gemiddelde waarde, wordt het variogram niet-stationair genoemd.



Figuur 3.11: Het experimentele variogram op grote schaal

3.3.1.2 Kiezen van het semi-variogram

Door het experimentele variogram nader te beschouwen, kan er een eerste keuze gemaakt worden voor het semi-variogram. Het semi-variogram $\gamma(h)$ kan worden bepaald door uit een hele lijst van verschillende modellen het model te kiezen dat het experimentele variogram het beste benadert. Deze modellen zijn functiebeschrijvingen die dus worden gebruikt als covariantiefunctie $R(h)$ (voor een stationaire functie geldt: $\gamma(h) = R(0) - R(h)$, waarbij $R(0)$ de sill is). Om een functie als covariantiefunctie te gebruiken gelden enkele wiskundige beperkingen, waarvan er één is dat de covariantiefunctie nooit een negatieve waarde aan kan nemen. Door deze beperkingen zijn er slechts een aantal functies geschikt. Een overzicht van te gebruiken functies is opgenomen in bijlage 1.

Wanneer er een keuze van een variogram is gemaakt op basis van het experimentele variogram, is dit niet het definitieve variogram. Dit komt doordat iedere knoop i van het experimentele variogram slechts een gemiddelde waarde is van $\gamma(h_i)$. Hierdoor kan de mate van betrouwbaarheid voor iedere knoop verschillen. Bovendien hangt het experimentele variogram af van de keuze van de verschillende intervallen. Hier is geen beste keuze van te maken, doordat bij grotere intervallen de betrouwbaarheid minder wordt, maar het experimentele variogram een gladder verloop krijgt.

Wanneer er een voorlopige keuze is gemaakt van het semi-variogram, wordt er voor ieder bekend meetpunt het verschil berekend met het gekozen model uit de vorige bekende punten, volgens:

$$\delta_i = d_{Mi} - \hat{d}_{Mi}, \quad (\text{formule 3.17})$$

Waarbij d_{Mi} de gemeten dieptewaarde is en \hat{d}_{Mi} de dieptewaarde die is berekend met behulp van het gekozen model. Vervolgens wordt het orthonormale verschil berekend volgens

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{\sigma_i} = \frac{\delta_i}{\sqrt{2\gamma(h_{ij})}} \quad (\text{formule 3.18})$$

Waarbij $\gamma(h_{ij})$ de waarde is van het semi-variogram bij een afstand die gelijk is aan de afstand tussen het punt i en het dichtstbijzijnde bekende punt. Deze verschillen worden vervolgens gebruikt om de waarden van de parameters van het gekozen model aan te passen, zodat het model beter bij de data past (meestal via het kleinste kwadraten principe). Maar ook kunnen deze verschillen worden gebruikt om te beslissen of een ander model de ruwe dataset beter beschrijft. Hiermee wordt dus het uiteindelijke semi-variogram bepaald.

3.3.2 Interpolatieprocedure

Zoals eerder vermeld, hangt de kwaliteit van de interpolatie onder andere af van de keuze van het variogram. Maar ook andere toetsen worden bij KRIGING toegepast. Verder wordt in deze paragraaf natuurlijk de eigenlijke interpolatiemethode van KRIGING uitgelegd. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de drie belangrijkste vormen van KRIGING, namelijk simple, ordinary en universal KRIGING, waarbij ook aandacht wordt besteed aan de kwaliteit van het interpolatieresultaat.

3.3.2.1 Kwaliteitsbeschrijving van de interpolatiemethode

Net als bij DIGIPOL en SURFIS is het ook bij KRIGING mogelijk om een kruisvalidatie toe te passen, door alle bekende meetpunten terug te rekenen met de gekozen KRIGING-interpolatiemethode en deze te vergelijken met de originele dataset. Maar bij KRIGING worden er nog andere modelvalidaties toegepast. Zo wordt er gebruik gemaakt van de toetsgrootheden Q_1 en Q_2 . Deze geven een indicatie van de statistieke verdeling van de berekende verschillen die gevonden worden bij de kruisvalidatie.

De toetsgrootheid Q_1 staat voor het gemiddelde van de orthonormale verschillen. De waarde voor Q_1 wordt berekend volgens:

$$Q_1 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n \varepsilon_i \quad (\text{formule 3.19})$$

waarbij n het aantal bekende meetpunten is en ε_i het orthonormale verschil is uit formule 3.18. De index i begint pas op 2, omdat de KRIGING-waarde van een bekend punt wordt berekend uit de voorgaande punten. Q_1 is een willekeurige variabele en dus kan er een kansdichtheidsfunctie (een pdf, probability density function) worden berekend. De verwachtingswaarde van Q_1 wordt dan:

$$E\{Q_1\} = E\left\{\frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n \varepsilon_i\right\} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n E\{\varepsilon_i\} = 0 \quad (\text{formule 3.20})$$

En de variantie is dan:

$$\begin{aligned} E\{Q_1^2\} &= E\left\{\left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n \varepsilon_i\right)^2\right\} = E\left\{\left(\frac{1}{n-1}\right)^2 \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n \varepsilon_i \varepsilon_j\right\} \\ &= \left(\frac{1}{n-1}\right)^2 \sum_{i=2}^n \sum_{j=2}^n E\{\varepsilon_i \varepsilon_j\} = \left(\frac{1}{n-1}\right)^2 (n-1) = \frac{1}{n-1} \end{aligned} \quad (\text{formule 3.21})$$

Hierbij is Q_1 normaal verdeeld, doordat de verschillen ongeveer normaal verdeeld zijn en Q_1 het gemiddelde van deze verschillen is. Dus de kansdichtheidsfunctie kan worden beschreven door:

$$pdf(Q_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi/(n-1)}} \exp\left(-\frac{x^2}{2/(n-1)}\right) \quad (\text{formule 3.22})$$

De grenzen waarbinnen de toetswaarde wordt geaccepteerd, zijn:

$$|Q_1| > \frac{2}{\sqrt{n-1}} \quad (\text{formule 3.23})$$

Hierbij wordt er uitgegaan van een kans van 5% dat het juiste model wordt verworpen. De toetsgrootheid Q_2 wordt berekend volgens:

$$Q_2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n \varepsilon_i^2 \quad (\text{formule 3.24})$$

Ook hier staat ε_i voor de orthonormale verschillen uit formule 3.18 en n voor het aantal punten.

Q_2 is net als Q_1 een willekeurige variabele waarbij de verwachtingswaarde dan gelijk is aan $E\{Q_2\}=1$ en de variantie gelijk is aan $E\{(Q_2 - 1)^2\} = 2/(n - 1)$. Bovendien is $Q_2(n - 1)$ verdeeld volgens de chi-kwadraat verdeling met parameter $(n - 1)$. Dit geeft de volgende formule voor de pdf van Q_2 :

$$pdf(Q_2) = \frac{(n-1)^{\frac{n-1}{2}} Q_2^{\frac{n-3}{2}}}{2^{\frac{n-1}{2}} \Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \exp\left(-\frac{(n-1)Q_2}{2}\right) \quad (\text{formule 3.25})$$

waarbij Γ de gammafunctie weergeeft. Hier geldt dat de grenzen waarbinnen de toetswaarde Q_2 nog wordt geaccepteerd liggen bij 2,5% en 97,5% van de totale oppervlakte onder de kansdichtheidsfunctie. Deze grenzen zijn afhankelijk van de waarde van n , dus van het aantal bekende meetpunten. Voor $n > 40$ geldt dat je de verdeling van Q_2 kan benaderen met een standaardnormale verdeling, zodat geldt:

$$|Q_2 - 1| > \frac{2,8}{\sqrt{n-1}} \quad (\text{formule 3.26})$$

3.3.2.2 Ordinary KRIGING

Bij ordinary KRIGING wordt er uitgegaan van een lineaire interpolatie waarbij er zich een onbekende trend in de data bevindt die constant is. De dieptewaarde van ieder onbekend punt P wordt berekend door middel van een lineaire combinatie van de dieptewaarden d_{M_i} in de bekende punten. In formulevorm:

$$\hat{d}_p = \sum_{i=1}^n \lambda_i d_{M_i} \quad (\text{formule 3.27})$$

Hierbij moet er dus gezocht worden naar optimale waarden voor de gewichten λ_i . Doordat het verschil tussen de geïnterpoleerde waarde en de werkelijke waarde in ieder punt P een verwachting heeft van 0, kan er dus geschreven worden:

$$E\{\hat{d}_p - d_p\} = \sum_{i=1}^n \lambda_i m - m = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1\right) m = 0 \quad (\text{formule 3.28})$$

waarbij m de verwachtingswaarde is. Om dus voor iedere waarde van m aan deze voorwaarde te kunnen voldoen, zal dus moeten gelden:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (\text{formule 3.29})$$

Bovendien is het gewenst dat de variantie van de interpolatiefout (de MSE, mean square error) minimaal is. Wanneer dan de voorwaarde van formule 3.29 wordt gebruikt, ontstaat de volgende formule:

$$E\{(\hat{d}_p - d_p)^2\} = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(|x_i - x_j|) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(|x_i - x_p|) \quad (\text{formule 3.30})$$

Hierbij wordt er dus gebruik gemaakt van het verkregen variogram. Met andere woorden: er moet dus gezocht worden naar waarden voor de gewichten λ_i die de vergelijking van formule 3.30 minimaliseren en voldoen aan de voorwaarde van formule 3.29. Wanneer er bij het minimaliseren van bovenstaande functie gebruik wordt gemaakt van Lagrange multipliers v , is dit te schrijven als:

$$-\sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(|x_i - x_j|) + v = -\gamma(|x_i - x_p|) \quad (\text{formule 3.31})$$

Wanneer dit wordt geschreven in matrixvorm, ontstaat er een vergelijking in de vorm $Ax=b$, waarbij x de vector met onbekenden is en dus alle λ_i en v_i bevat. Vector b bestaat uit de waarden van $-\gamma(|x_i - x_p|)$ (dus de variogramwaarde voor alle bekende punten ten opzichte van punt P) en voor iedere v_i heeft b de waarde 1. Door formule 3.31 in te vullen in formule 3.30 wordt een vergelijking verkregen voor de gemiddelde interpolatiefout (MSE):

$$\sigma_p^2 = E\{(\hat{d}_p - d_p)^2\} = -v + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(|x_i - x_p|) \quad (\text{formule 3.32})$$

Hierdoor kan dus voor ieder geïnterpoleerd punt de variantie worden berekend.

3.3.2.3 Universal KRIGING

Bij universal KRIGING (ook wel KRIGING met een drift genoemd) wordt er uitgegaan van een onbekende trend die variabel is, in plaats van constant zoals bij ordinary KRIGING. Nu kan de functie voor de dieptewaarden geschreven worden als:

$$d(x) = \sum_{k=1}^m f_k(x) \beta_k + \varepsilon(x) \quad (\text{formule 3.33})$$

Waarbij $f_k(x)$ bekende basisfuncties zijn van x , β_k onbekende driftcoëfficiënten zijn en $\varepsilon(x)$ is een beschrijving van het stochastische deel van $d(x)$ met een verwachtingswaarde van 0 en een bekende covariantiefunctie $R(h)$. (NB: Voor stationaire functies geldt $R(h)=R(0)-\gamma(h)$, waarbij $R(0)$ de sill is, voor niet stationaire functies kan $R(h)$ worden berekend uit de data. Dit wordt uitgebreid uitgelegd in [11], p.125 e.v.)

Net als bij ordinary KRIGING moet de geïnterpoleerde dieptewaarde een lineaire functie zijn van de bekende punten (zie formule 3.27). Ook moeten de gewichten λ_i zo worden gekozen dat de verwachtingswaarde van het verschil tussen de werkelijke dieptewaarde en de geïnterpoleerde waarde gelijk is aan 0 (zo is de geïnterpoleerde waarde een zuivere schatter), voor alle mogelijke waarden van β_k . Dus:

$$E\{\hat{d}_p - d_p\} = E\left\{\sum_{i=1}^n \lambda_i d(x_i) - d_p\right\} = \sum_{k=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i f_k(x_i) - f_k(P)\right) \beta_k = 0 \quad (\text{formule 3.34})$$

Om aan deze voorwaarde te voldoen voor alle mogelijke waarden van de driftcoëfficiënten β_k zijn er dus m voorwaarden:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i f_k(x_i) = f_k(P) \quad (\text{formule 3.35})$$

Deze voorwaarden worden ook wel universality conditions of unbiasedness conditions genoemd. Door gebruik te maken van formule 2.35 en de bekende covariantiefunctie $R(h)$ wordt de volgende formule voor de variantie van de interpolatiefout (MSE) verkregen:

$$\begin{aligned} E\{(\hat{d}_p - d_p)^2\} &= -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j R(h_{ij}) - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i R(x_i, P) + R(P, P) \\ &= -\sum_{k=1}^m f_k(P) v_k - \sum_{i=1}^n \lambda_i R(x_i, P) + R(P, P) \end{aligned} \quad (\text{formule 3.36})$$

3.3.2.4 Simple KRIGING

Bij simple KRIGING wordt er wederom uitgegaan van een trend in de data, maar nu wordt deze bekend verondersteld (deze is onafhankelijk van de waarnemingen). Hierbij wordt er gebruik gemaakt van de covariantiefunctie die, doordat bij simple KRIGING uitgegaan wordt van een stationaire functie, bekend is uit het variogram. Hierdoor verandert de formule 3.27 in:

$$\hat{d}_p = k + \sum_{i=1}^n \lambda_i d(x_i) \quad (\text{formule 3.37})$$

waarbij k een constante is die net als λ_i een deterministisch gewicht is en de bekende trend weergeeft. Doordat net als bij ordinary en universal KRIGING de verwachtingswaarde van het verschil tussen de geïnterpoleerde dieptewaarde en de werkelijke waarde 0 dient te bedragen kan er een uitdrukking voor k worden gevonden:

$$E\{\hat{d}_p - d_p\} = k + \sum_{i=1}^n \lambda_i m(x_i) - m(P) = 0 \quad (\text{formule 3.38})$$

Deze kan weer worden gebruikt in formule 3.37. Doordat het bovendien uitsluitend gaat om stationaire functies, is de m (de trend) overal gelijk. Hierdoor ontstaat de uiteindelijke formule voor de interpolatiewaarde:

$$\hat{d}_p = m + \sum_{i=1}^n \lambda_i (d(x_i) - m) \quad (\text{formule 3.39})$$

En de variantie van de interpolatiefout (MSE) kan dan worden beschreven als:

$$E\{(\hat{d}_p - d_p)^2\} = \sum_{i=1}^n \lambda_i R(x_i - x_p) + R(0) \quad (\text{formule 3.40})$$

en waarbij $R(x_i - x_p)$ al berekend is volgens:

$$R(x_i - x_p) = \sum_{j=1}^n \lambda_j R(x_i - x_j) \quad (\text{formule 3.41})$$

3.4 Eigenschappen van DIGIPOL SURFIS en KRIGING

In deze paragraaf worden de hiervoor besproken interpolatieprogramma's nog eens naast elkaar gezet en worden de belangrijkste eigenschappen en gemaakte aannames schematisch weergegeven.

Allereerst worden de eigenschappen van de drie interpolatiemethodes met elkaar vergeleken. Tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING zijn, naast verschillen ook enkele overeenkomsten te vinden. Zo zijn het allemaal lineaire interpolatiemethodes en krijgen de bekende meetpunten geen correctie mee tijdens de interpolatie. De belangrijkste eigenschappen staan hieronder in een tabel weergegeven.

Eigenschappen van interpolatiemethode			
	DIGIPOL	SURFIS	KRIGING
Lineaire interpolatie:	Ja	Ja	Ja
Gebruik extrapolatie:	Nee	Nee	Ja
Correctie bekende punten:	Nee	Nee	Nee
Interpolatie in randgebied:	Nee	Nee	Ja

Tabel 3.1: Eigenschappen van de interpolatiemethodes

Vervolgens zijn er ook een aantal voorwaarden waaraan de ingewonnen data moet voldoen. Deze aannames zijn van belang voor de kwaliteit van de interpolatie. De aannames die in de verschillende methodes worden gebruikt zijn:

Gemaakte aannames			
	DIGIPOL	SURFIS	KRIGING
Continu verloop bodemoppervlak:	Ja	Ja	Ja
Data loodrecht op dieptelijnen:	Ja	Ja	Nee
Onderzoeksgebied in 1 hoofdrichting:	Nee	Ja	Ja
Afhankelijk van gekozen hoofdrichting:	Nee	Ja	Ja

Tabel 3.2: Gemaakte aannames bij de interpolatiemethodes

De kwaliteit van het geïnterpoleerde gebied is van belang om te beslissen of de geïnterpoleerde waarden goed genoeg de werkelijke waarde benaderen. In de onderstaande tabel staat weergegeven over welke soort kwaliteitsbeschrijving er in de verschillende methodes te beschikken valt.

Kwaliteitsbeschrijving			
	DIGIPOL	SURFIS	KRIGING
Kruisvalidatie mogelijk:	Ja	Ja	Ja
Afstand tussen interpolatiepunt en geselecteerde bekende punten bekend:	Ja	Nee	Ja
Indicatie slechte interpolatiepunten:	Ja	Ja	Ja
Interpolatiefout in ieder punt bekend:	Nee	Ja	Ja

Tabel 3.3: Mate van kwaliteitsbeschrijving van het resultaat bij de verschillende programma's

HOOFDSTUK 4: Beschrijving van de vergelijkingsmethodes

Het doel van dit onderzoek betreft het vergelijken van de interpolatieprogramma's DIGIPOL en SURFIS en de interpolatiemethode van KRIGING. Dit betekent dat niet alleen het uiteindelijk verkregen interpolatieresultaat van belang is. Ook zijn er andere zaken die van doorslaggevende mate van belang zijn bij de uiteindelijke keuze van het inzetten van het betreffende interpolatieprogramma voor een specifiek doel. In dit hoofdstuk zullen de belangrijkste aspecten waarop de keuze voor DIGIPOL, SURFIS of KRIGING gebaseerd zal worden, aan bod komen.

4.1 Vergelijking van interpolatieresultaten

Het belangrijkste argument om voor een bepaalde interpolatiemethode te kiezen, is natuurlijk het uiteindelijke interpolatieresultaat. Doordat de werkelijke vorm van het te interpoleren gebied nooit exact bekend is (anders zou het niet geïnterpoleerd hoeven worden), is het niet mogelijk om het exacte verschil tussen de werkelijke waarde en het interpolatieresultaat te bepalen. De werkelijke vorm van het te interpoleren gebied kan echter wel zo goed mogelijk worden benaderd. Dit kan door het gebruiken van een gebied waar veel onafhankelijke metingen van beschikbaar zijn en waar die data nauwelijks van elkaar verschillen. Ook kan ervoor gekozen worden om data die op een andere manier ingewonnen zijn te gebruiken als referentie.

Bij de in dit onderzoek gebruikte vergelijkingsmethode wordt de multibeamdata als referentie gebruikt en worden de interpolatieresultaten hiermee vergeleken (zo worden de interpolatieresultaten als het ware gevalideerd). Dit is mogelijk doordat de beschikbare multibeamdata heel erg gedetailleerd is (ongeveer 100 punten per m²). Hierbij wordt dus de multibeamdata als de set werkelijke waarden van de bodemdiepte beschouwd. Deze aanname volstaat omdat ook de metingen die gebruikt zijn als bekende punten bij de verschillende interpolaties (de singlebeamraaien) een onderdeel zijn van dezelfde multibeamdata.

Doordat de singlebeamraaien handmatig uit de multibeamdata gegenereerd zijn, konden ook eenvoudig verschillende raaiconfiguraties met elkaar worden vergeleken. Dit is interessant omdat er eigenlijk geen standaard configuratie is en er op deze wijze ook gekeken kan worden naar de uitwerking van bepaalde eigenschappen en aannames van de interpolatiemethodes. Deze komen weer tot uiting in het uiteindelijke interpolatieresultaat. Aannemelijk is dat zowel de afstand tussen de raaien als de onderlinge oriëntatie verschillen geven bij het interpolatieresultaat.

Natuurlijk worden niet alleen de resultaten gevalideerd met de multibeamdata, ook de resultaten van de verschillende interpolatiemethodes onderling met elkaar vergeleken. Hierdoor word in één oogopslag duidelijk waar de grootste verschillen tussen de verschillende methodes zich bevinden.

4.2 Vergelijking van interpolatiekwaliteit

De vergelijking van de interpolatieresultaten zal niet alleen visueel zijn, ook zullen enkele statistische kenmerken van het interpolatieresultaat worden vergeleken met die van de multibeamdata. Hierbij kan worden gedacht aan het berekenen van de totale fout die bij de interpolatie wordt gemaakt, de gemiddelde fout en de standaardafwijking van deze gemaakte fout. Naast deze afzonderlijke kwaliteitsbeschrijving zullen ook de resultaten van de door de interpolatieprogramma's zelf geleverde kwaliteitsbeschrijving worden vergeleken met de validatie-uitkomst. Hierdoor wordt een indicatie gegeven hoe goed het interpolatieprogramma zelf zijn interpolatiefout kan schatten.

Verder wordt er ook gekeken naar de grootte van de meetfout en de verhouding van deze meetfout ten opzichte van de gemaakte interpolatiefout. Hierbij zal de afstand van een geïnterpoleerd punt ten opzichte van een meetpunt hoogstwaarschijnlijk een belangrijke rol spelen. Ook de toegepaste gridgrootte (de resolutie) zal van belang zijn voor de kwaliteit van het uiteindelijke interpolatieresultaat. Bij het gebruik van een kleinere resolutie zullen er namelijk bij de berekening van ieder geïnterpoleerd punt minder bekende punten worden gebruikt die worden gemiddeld.

Natuurlijk worden ook hiermee de resultaten van de verschillende interpolatiemethodes onderling met elkaar vergeleken. Hierdoor worden de verschillen tussen de uitkomsten van de drie interpolatiemethodes goed duidelijk.

4.3 Vergelijking van gebruiksgemak en rekentijd

Niet alleen het interpolatieresultaat is van belang bij het kiezen van één van de interpolatieprogramma's voor een specifiek project. Ook zullen het gebruikersgemak en de benodigde rekentijd een belangrijke onderbouwing vormen voor de uiteindelijke keuze. Zeker voor een project waarbij alleen een globale kennis van de bodem noodzakelijk is, zullen deze twee aspecten veel zwaarder meewegen bij de keuze. Want wanneer er geen voorkennis nodig is voor het gebruik, kan het door iedereen worden gebruikt in plaats van enkel door een specialist en ben je dus meer variabel met het inzetten van mankracht. En wanneer er bovendien met het ene interpolatieprogramma veel sneller een resultaat wordt verkregen dan met het ander, zal dit ook zeker meewegen bij de keuze, want nog altijd geldt: tijd is geld en geld is er altijd te weinig!

Doordat de rekentijd afhankelijk is van de grootte van het te interpoleren gebied, de resolutie van het interpolatieresultaat en het aantal bekende punten, is het alleen mogelijk om de rekentijd van de drie interpolatieprogramma's die nodig is voor één dataset met elkaar te vergelijken. Bovendien hangt bij DIGIPOL de benodigde rekentijd ook nog af van het aantal gebruikte iteraties. Naast de rekentijd is ook het geheugengebruik van belang, dus of de interpolatie ook op de achtergrond kan draaien zonder dat dit de snelheid van andere softwareprogramma's al te zeer beïnvloed.

Het gebruikersgemak is ook niet eenvoudig in getallen uit te drukken. Maar er is wel een indicatie aan te geven door te kijken naar het aantal instelparameters en de gevoeligheid hiervan. Ook wordt er gekeken of er een relatie bestaat tussen de instelparameters en de gemiddelde afstand tussen de raaien en of er bij de programma's gedurende de interpolatie gebruik wordt gemaakt van visualisaties. Deze geven namelijk een indicatie of de interpolatie net zo wordt uitgevoerd zoals gewenst of niet. Wanneer dit niet het geval is, kan de interpolatie worden afgebroken zodat er niet onnodig veel tijd verloren gaat.

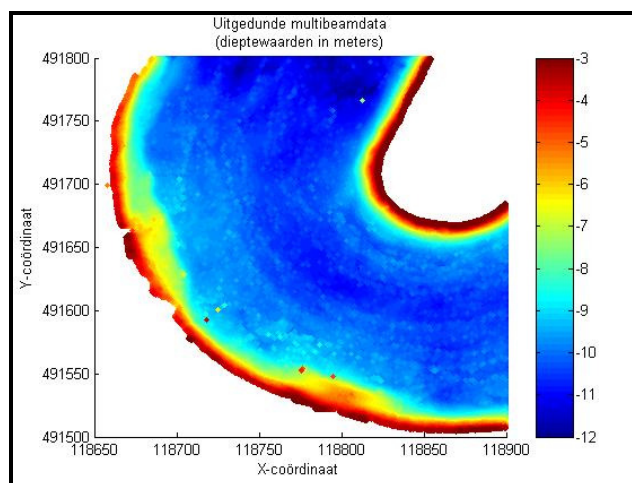
HOOFDSTUK 5: Resultaten van de Petroleumhaven Amsterdam

De Petroleumhaven in Amsterdam is een vrij vlakke haven die een typische u-vorm heeft. Doordat er in veel havens en rivieren sprake is van een dieptewaarde die richtingsafhankelijk is en daar dit ook bij de Petroleumhaven het geval is, is deze locatie een goede keuze om de vergelijking tussen de interpolatieprogramma's te maken. Doordat de haven ook nog een scherpe bocht maakt, is het interessant om te zien of de drie interpolatieprogramma's hier goed mee om kunnen gaan.



Figuur 5.1: Een luchtfoto van de Petroleumhaven in Amsterdam

Doordat het verwerken van de verschillende interpolaties van de hele Petroleumhaven veel te lang zouden gaan duren, is ervoor gekozen een deel van de Petroleumhaven te selecteren waarmee de uiteindelijke interpolaties zijn uitgevoerd (het gebied binnen het blauwe kader in figuur 5.1). Om bovenstaande redenen is het zuidwestelijke deel van de haven gebruikt bij de uitvoering van de verschillende interpolaties. Ook hier is nog een deel van de bocht in aanwezig, de azimut verandert hier van 10 naar 90° (zie figuur 5.2).

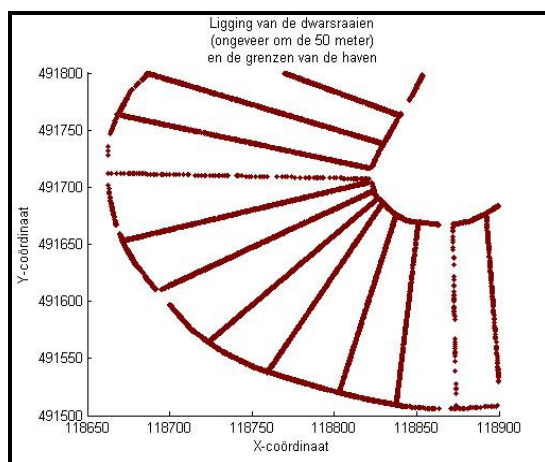


Figuur 5.2: Onderzochte deel van de Petroleumhaven

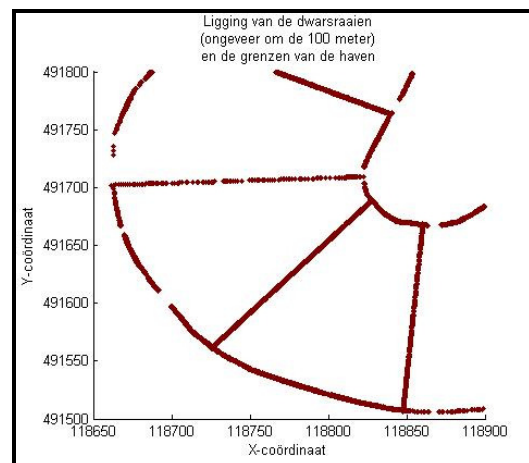
Maar nu nog bleek de verkregen multibeamdataset nog te groot om makkelijk gebruikt te kunnen worden. Doordat het aantal meetpunten van deze dataset per vierkante meter nog hoog was (ongeveer 100 punten per m^2), is besloten de dataset te filteren totdat er een punt dichtheid van 15 punten per m^2 was gerealiseerd. Doordat er bij de vergelijking toch gebruik wordt gemaakt van een grid van deze multibeamdata dat maximaal een resolutie heeft van 2 bij 2 meter, zal dit filteren een niet noemenswaardig effect hebben op het uiteindelijke resultaat.

Om de interpolatiemethodes onder verschillende omstandigheden met elkaar te vergelijken, zijn er meerdere singlebeamconfiguraties uit de multibeamdataset gegenereerd. Doordat hier eigenlijk een onbeperkt aantal verschillende configuraties mogelijk zijn, zijn er een zevental verschillende singlebeamdatasets gebruikt bij de vergelijking.

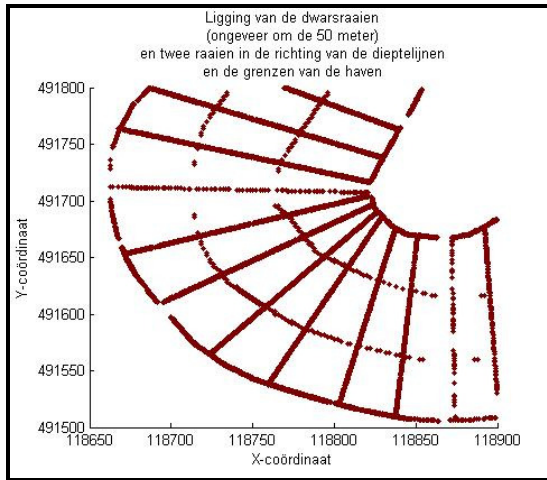
Zo is er gekozen voor twee gebruikelijke datasets met enkel dwarsraaien, waarbij bij één dataset de raaien een onderlinge afstand hebben van ongeveer 50 meter en waar de andere dataset bestaat uit dwarsraaien om de 100 meter. Verder is er ook gebruik gemaakt van deze twee datasets waaraan twee extra raaien in de richting van de dieptelijnen (de “lengterichting”) zijn toegevoegd (zie de figuren 5.3 t/m 5.6). DIGIPOL zegt hier afhankelijk van te zijn, maar de andere interpolatiemethodes zeggen hier niks over. Hierdoor kan worden onderzocht of dit werkelijk niets uitmaakt.



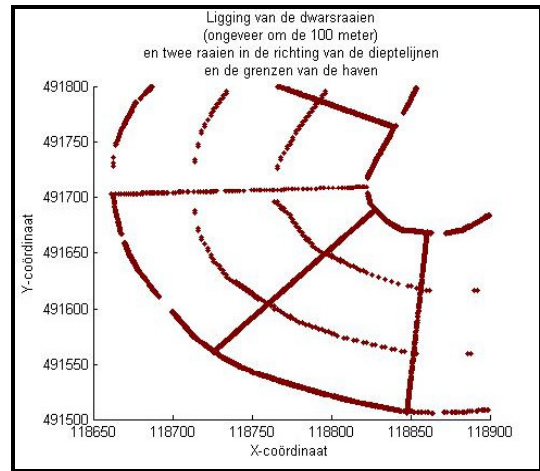
Figuur 5.3: Dwarsraaien om de 50m



Figuur 5.4: Dwarsraaien om de 100m

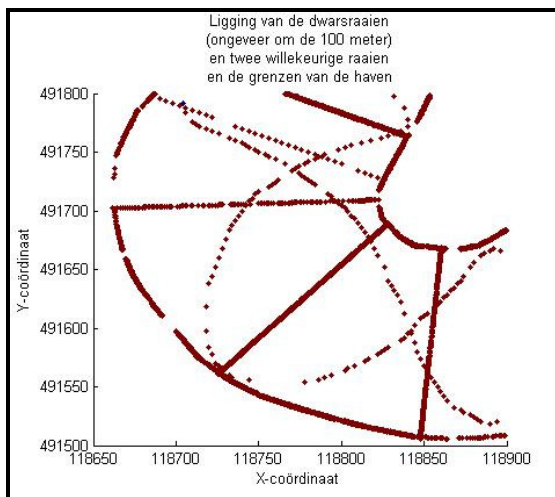


Figuur 5.5: Dwarsraaien om de 50m met twee raaien in de lengterichting

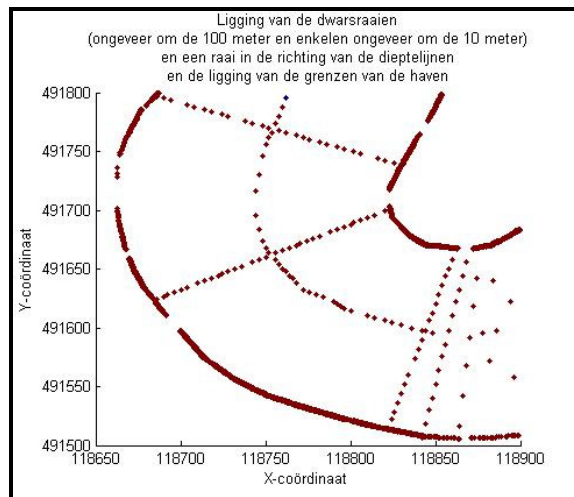


Figuur 5.6: Dwarsraaien om de 100m met twee raaien in de lengterichting

Naast deze vier singlebeamdatasets is er ook nog gebruik gemaakt van drie andere singlebeamconfiguraties. Zo is er allereerst gekeken naar wederom een dataset met dwarsraaien met een onderlinge afstand van ongeveer 100 meter, waarbij twee willekeurige raaien zijn toegevoegd (zie figuur 5.7). Hierbij is het interessant om te zien of deze willekeurige raaien zorgen voor een beter interpolatieresultaat dan met enkel dwarsraaien en de combinatie van dwarsraaien en raaien in de lengterichting.

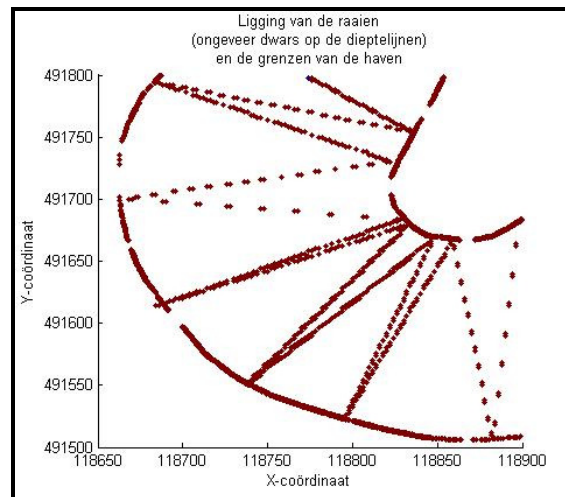


Figuur 5.7: Dwarsraaien om de 100m en twee willekeurige raaien



Figuur 5.8: Dwarsraaien om de 100m en enkele dwarsraaien om de 10m

Tot slot is er ook gebruik gemaakt van twee singlebeamconfiguraties waarbij er op kleine onderlinge afstand is gemeten en ook op een grotere afstand. In figuur 5.8 is te zien dat er eerst een aantal raaien op korte afstand is gemeten en daarna alleen op een langere afstand.



Figuur 5.9: Raaien ongeveer dwars op de lengterichting

In figuur 5.9 is er een andere manier gebruikt om zowel op korte als op lange afstand meetpunten in te winnen. Hier liggen de singlebeamraaien niet exact loodrecht op de lengterichting, maar maken ze ten opzichte hiervan een kleine hoek. Het resultaat is dat in het hele interpolatiegebied er afwisselend meetpunten dicht bij elkaar als verder van elkaar af liggen, en niet dat er maar op één positie de meetpunten dicht bij elkaar liggen (zoals dit wel gebeurt in figuur 5.8). Deze twee configuraties zijn gekozen omdat informatie over meetpunten die zowel een kleine als een grote onderlinge afstand hebben de kwaliteit van de interpolatie met KRIGING aanzienlijk verbetert. Interessant is om te zien hoe DIGIPOL en SURFIS met deze datasets om kunnen gaan. De versies van de in dit hoofdstuk gebruikte software zijn in de literatuurlijst opgenomen. Verder zijn de bronnen [13] en [14] uit deze lijst voor dit hoofdstuk geraadpleegd.

5.1 Vergelijking van interpolatieresultaten

In deze paragraaf zullen voor iedere singlebeamdataset en voor iedere interpolatiemethode de verschillen tussen het interpolatieresultaat en de multibeamdataset worden besproken. Voor de singlebeamdatasets met dwarsraaien om de 50 en om de 100 meter zullen deze verschillen in een afzonderlijke paragraaf worden behandeld, waarin ook voor iedere interpolatiemethode dit verschil in een afzonderlijke subparagraaf zal worden beschreven. In een vierde subparagraaf zullen de verschillen tussen de drie interpolatiemethodes onderling worden besproken. Als laatste worden er in paragraaf 5.1.3 de resultaten van de overige singlebeamdatasets kort besproken (de uitgebreide resultaten zijn terug te vinden in bijlage 2).

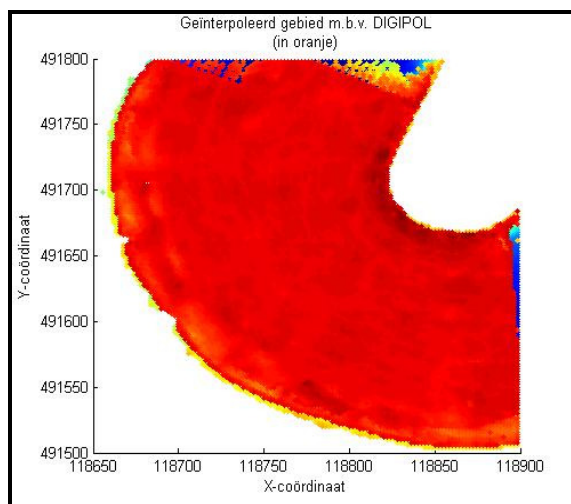
Bij het uitvoeren van de interpolaties is er iedere keer voor een standaard gridgrootte van 2 x 2 meter gekozen, zodat de resultaten goed te vergelijken zijn ondanks dat SURFIS geen gemiddelde gridwaarden berekend, maar alleen de waarden van het gridpunt. Doordat de haven een bodem heeft zonder steile hellingen zal dit nauwelijks tot zichtbare verschillen leiden (behalve misschien aan de havenoevers). De mogelijke variaties in gridgrootte zullen in paragraaf 5.2 worden behandeld. Hierbij moet er dus wel rekening worden gehouden dat de berekende verschillen tussen SURFIS en de andere interpolatieprogramma's groter kunnen zijn dan de werkelijke verschillen. Bij de KRIGING-interpolaties is er gebruik gemaakt van de ordinary KRIGING, de interpolatie waarbij er een onbekende constante trend wordt verondersteld in de data aanwezig te zijn.

5.1.1 Resultaat dwarsraaien om de 50m

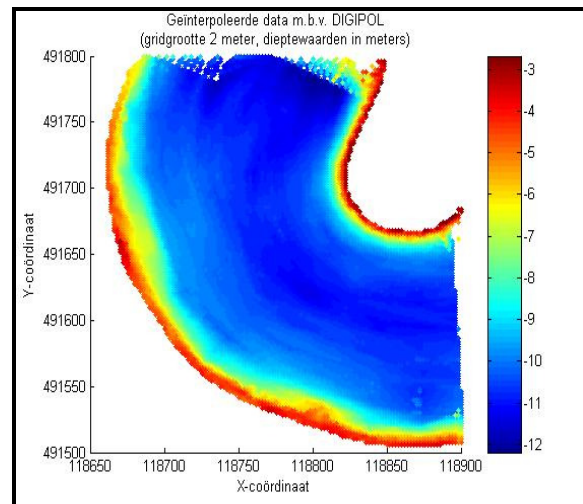
De verwachting bij de singlebeamconfiguratie waarbij de raaien dwars op de richting van de dieptelijnen liggen en waar er een afstand van ongeveer 50 meter tussen de verschillende raaien is gebruikt, was dat deze afstand voor alledrie de interpolatiemethodes voldoende was om een goed interpolatieresultaat te verkrijgen. De resultaten van de vergelijking zullen hieronder worden beschreven.

5.1.1.1 Resultaat DIGIPOL

Met een raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 50 meter werd met DIGIPOL zowat het hele zuidwestelijke deel van de Petroleumhaven geïnterpoleerd, zoals te zien is in figuur 5.10. Het uiteindelijke resultaat van de interpolatie is weergegeven in figuur 5.11.

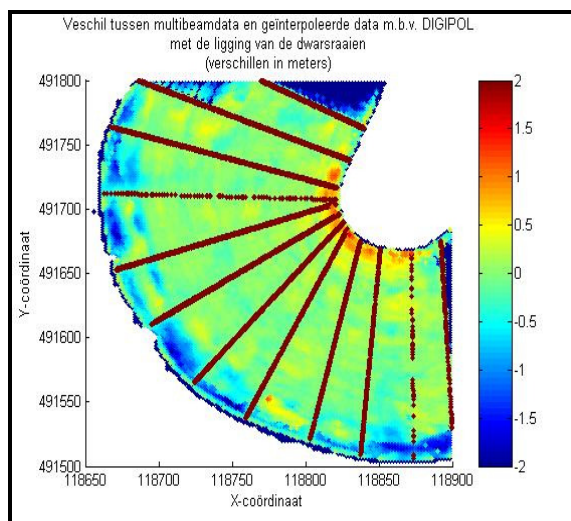


Figuur 5.10: Locatie van het geïnterpoleerde gebied

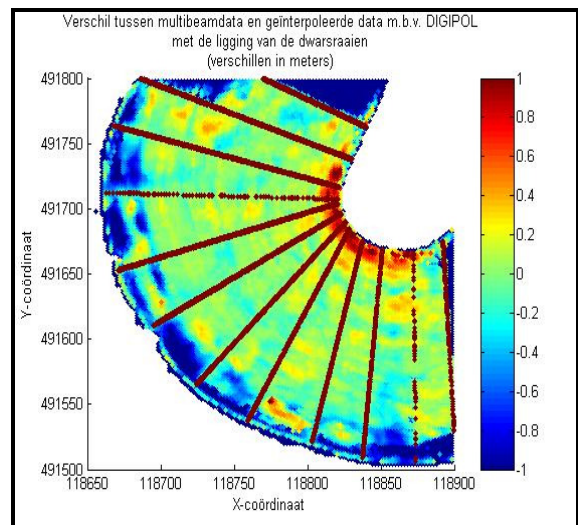


Figuur 5.11: Het geïnterpoleerde gebied

Hierbij is er gekozen voor een waarde van 125 meter voor de *searchdepth* en 150 meter voor de *directiondepth*. Wanneer figuur 5.11 wordt vergeleken met figuur 5.2 zijn er op het eerste oog al verschillen waarneembaar aan de randen van de Petroleumhaven. Wanneer het verschil tussen de multibeamdata in figuur 5.2 en het interpolatieresultaat van DIGIPOL in figuur 5.11 wordt gevisualiseerd, ontstaan de afbeeldingen die zijn weergegeven in de figuren 5.12 en 5.13. Hierbij worden twee verschillende schalen gebruikt, namelijk verschillen die liggen tussen respectievelijk -2 tot $+2$ meter en -1 tot $+1$ meter. Om het resultaat beter te kunnen vergelijken zijn ook de bij de interpolatie gebruikte singlebeamraaien in de figuren weergegeven.



Figuur 5.12: Verschil -2 tot $+2$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

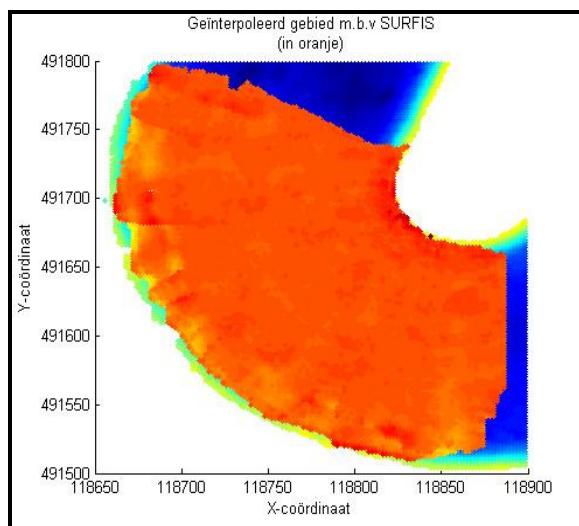


Figuur 5.13: Verschil -1 tot $+1$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

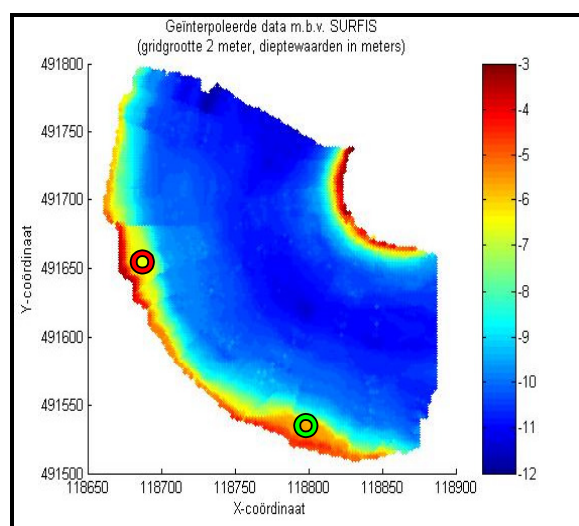
Het is duidelijk zichtbaar dat zowel in figuur 5.12 als in figuur 5.13 overheersend veel groen aanwezig is en dat de verschillen tussen het geïnterpoleerde gebied en de multibeamdata dus dicht bij 0 liggen (tussen de -20 en $+20$ cm.). Uit deze figuren blijkt dat de interpolatiefout dus vele ordes van grootte groter is dan de meetfout die bij de inwinning gemaakt wordt. Ook is goed te zien dat aan de linkerkant van de haven de verschillen relatief groter zijn dan in het midden van de haven. Dit komt doordat zowel de afstand tussen de raaien hier relatief iets groter is, maar vooral omdat er aan de randen niet goed kan worden geïnterpoleerd omdat er buiten het gebied geen gegevens beschikbaar zijn. Dit zie je ook terug aan de rechterkant van de haven, hier is de onderlinge afstand tussen de raaien kleiner dan in het midden van de haven, maar ook hier zijn de verschillen tussen multibeam en de geïnterpoleerde data groter dan in het midden van de haven.

5.1.1.2 Resultaat SURFIS

Met een raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 50 meter werd met SURFIS, in tegenstelling tot met DIGIPOL een veel kleiner deel van de Petroleumhaven geïnterpoleerd (zie figuur 5.14). Dit komt doordat SURFIS gebruik maakt van door het programma zelf berekende raaien die de richting weergeven van het uiteindelijke interpolatieresultaat. Doordat de linkergrens relatief gezien (t.o.v. deze gemaakte dwarsraaien) minder ver doorloopt dan de rechtergrens, wordt er ook pas vanaf dit punt geïnterpoleerd. Verder is één van de eigenschappen van SURFIS dat er niet wordt geëxtrapoleerd en dat er dus, wanneer er aan de randen niet voldoende bekende punten worden gevonden, hier niet kan worden geïnterpoleerd. Het uiteindelijke resultaat van de interpolatie is weergegeven in figuur 5.15.



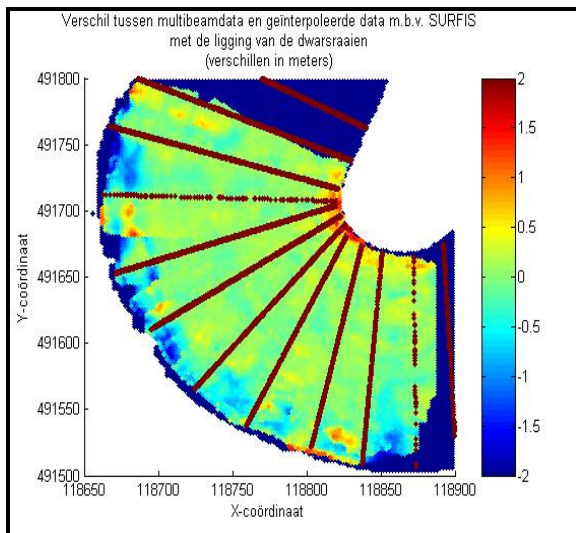
Figuur 5.14: Locatie van het geïnterpoleerde gebied



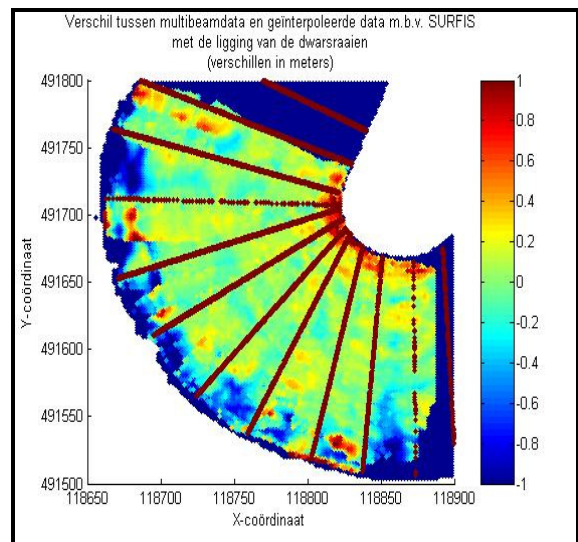
Figuur 5.15: Het geïnterpoleerde gebied

Bij deze interpolatie met SURFIS is er bij het berekenen van de rivieras gekozen voor een waarde van 75 meter voor de afstand voor het bepalen van de zoekrichting en bij het berekenen van de dwarsraaien is er een maximale zoekafstand van 30 meter gebruikt. De verhouding tussen de grootte van het zoekgebied in lengte- en breedterichting is gesteld op 10, waarbij er gebruik wordt gemaakt van een maximale zoekafstand in de breedterichting van 20 meter. Aan figuur 5.15 is te zien dat in de omgeving van het punt (118675, 491650), weergegeven in het rood, SURFIS wel duidelijk een talud waarneemt, evenals rondom het punt (118800, 491525), weergegeven in het groen. Maar het eerste talud verloopt bij de interpolatie veel minder geleidelijk op dan bij de multibeamdata en bij het andere talud.

Wanneer het verschil tussen de multibeamdata in figuur 5.2 en het interpolatieresultaat van SURFIS in figuur 5.15 wordt gevisualiseerd, ontstaan de afbeeldingen die zijn weergegeven in de figuren 5.16 en 5.17. Ook hierbij worden twee verschillende schalen gebruikt, namelijk verschillen die liggen tussen respectievelijk -2 tot $+2$ meter en -1 tot $+1$ meter en is de ligging van de gebruikte raaien weergegeven.



Figuur 5.16: Verschil -2 tot $+2$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

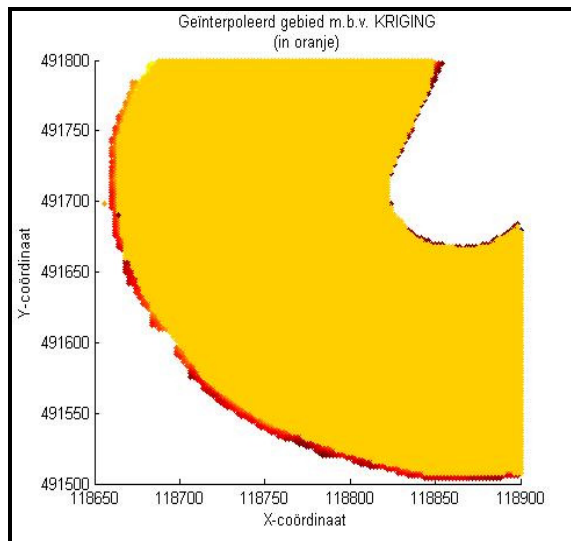


Figuur 5.17: Verschil -1 tot $+1$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

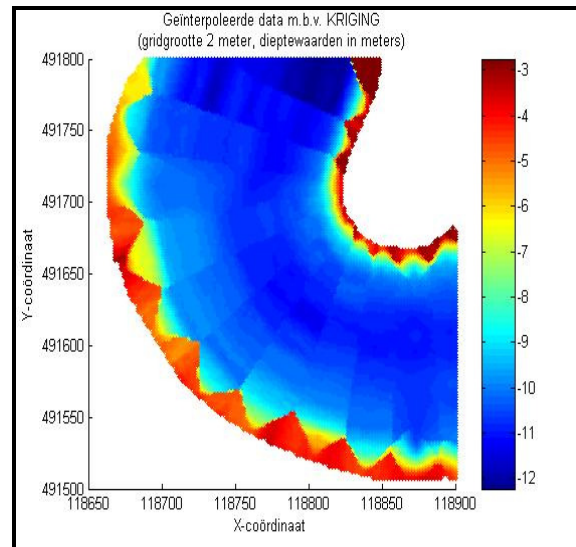
Het is duidelijk zichtbaar dat in figuur 5.16 overheersend veel groen aanwezig is. Wordt de schaal vergroot, dan zien we al wat meer variatie (zie figuur 5.17). Maar de verschillen tussen het geïnterpoleerde gebied en de multibeamdata liggen over het algemeen in het midden van het geïnterpoleerde gebied toch wel redelijk dicht bij 0 (tussen de -40 en $+40$ cm.). Ook is goed te zien dat aan de randen van de haven, en dan met name aan de linker- en rechterkant, maar ook bovenaan het interpolatiegebied de absolute verschillen het grootst zijn.

5.1.1.3 Resultaat KRIGING

Met een raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 50 meter werd met KRIGING de hele Petroleumhaven geïnterpoleerd (zie figuur 5.18). Doordat KRIGING ook extrapoleert, werden ook de dieptewaarden voor de delen buiten de oevers van de haven berekend. Om tot een goed te vergelijken illustratie te komen is het gebied buiten de grenzen (dezelfde grenzen die zijn gebruikt bij zowel DIGIPOL als bij SURFIS) handmatig verwijderd. Zoals blijkt uit figuur 5.18 zijn dit niet exact de grenzen van de multibeamdata, maar lopen ze wel langs de dieptelijnen op die locatie. Het uiteindelijke resultaat van de interpolatie is weergegeven in figuur 5.19.

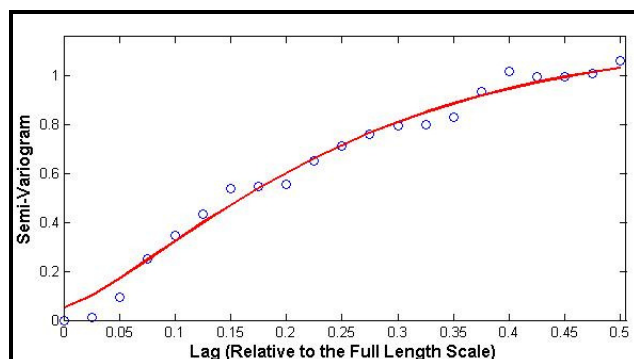


Figuur 5.18: Locatie van het geïnterpoleerde gebied



Figuur 5.19: Het geïnterpoleerde gebied

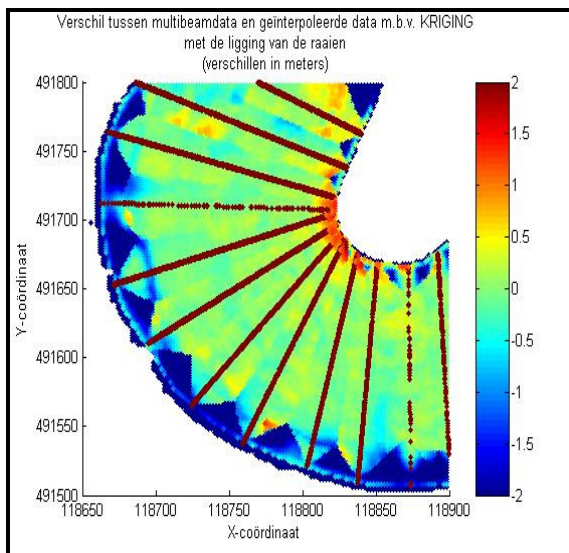
Bij deze interpolatie met KRIGING is er gebruik gemaakt van model 13 (zie bijlage 1) met een range van 0.5, een nugget van 0.05, een sill van 1.135, een lengthscale van 0.26, een power van 1.3 en een holescale van 0 voor het berekenen van het juiste variogrammodel. Het gebruikte variogram is weergegeven in figuur 5.20.



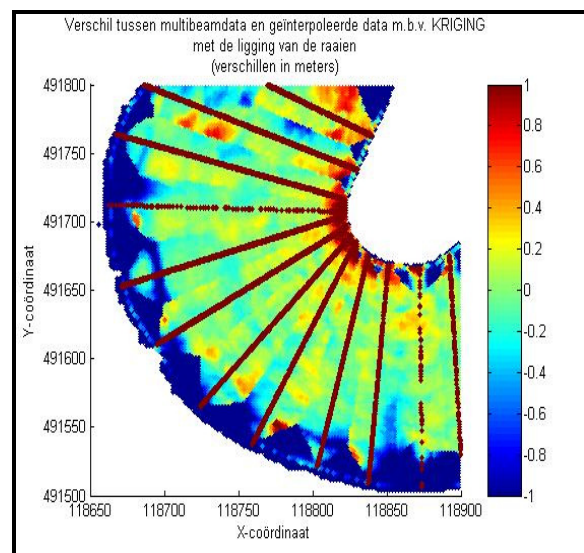
Figuur 5.20: Het variogram van de singlebeamdata

Wanneer figuur 5.19 wordt vergeleken met de multibeamdata is het eerste dat opvalt de verschillen in interpolatie aan de randen. Dit komt doordat er bij de interpolatie geen gebruik is gemaakt van richtingsafhankelijkheid (ook wel “anisotropy” genoemd). Dit komt doordat KRIGING niet kan werken met een richtingsafhankelijkheid die gedurende de dataset van richting verandert. Om een beter resultaat te krijgen zal dus de dataset in meerdere afzonderlijke delen moeten worden opgedeeld. Hierover meer in de aanbevelingen van hoofdstuk 6.

Wanneer het verschil tussen de multibeamdata in figuur 5.2 en het interpolatieresultaat van KRIGING in figuur 5.19 wordt gevisualiseerd, ontstaan de afbeeldingen die zijn weergegeven in de figuren 5.21 en 5.22. Ook hierbij worden twee verschillende schalen gebruikt, namelijk verschillen die liggen tussen respectievelijk -2 tot $+2$ meter en -1 tot $+1$ meter en is de ligging van de gebruikte raaien weergegeven.



Figuur 5.21: Verschil -2 tot $+2$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING



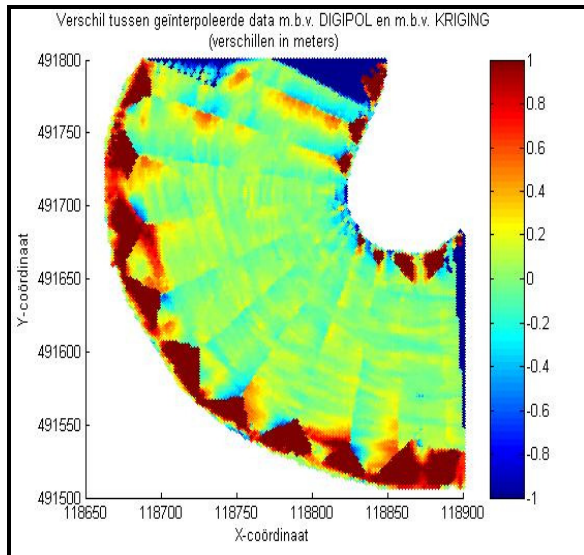
Figuur 5.22: Verschil -1 tot $+1$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

Ook hier is het duidelijk dat de aan de randen de verschillen tussen de multibeamdata en de geïnterpoleerde data met KRIGING het grootst zijn, zowel aan de zijkanten als aan de bovenzijde. Maar verder is ook hier duidelijk zichtbaar dat in figuur 5.21 overheersend veel groen aanwezig is. Wordt de schaal vergroot, dan zien we al wat meer variatie (zie figuur 5.22). Maar de verschillen tussen het geïnterpoleerde gebied en de multibeamdata liggen over het algemeen in het midden van het geïnterpoleerde gebied toch wel redelijk dicht bij 0 (tussen de -40 en $+40$ cm.).

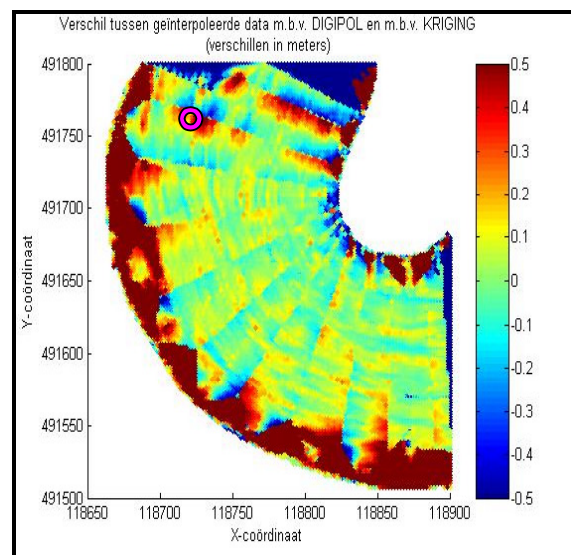
5.1.1.4 Verschillen tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING

Naast de verschillen tussen iedere interpolatiemethode en de multibeamdataset, zijn ook de verschillen tussen de interpolatieprogramma's onderling weergegeven, zodat een nog beter beeld ontstaat over de verschillen tussen de interpolatieprogramma's. Omdat de absolute verschillen tussen de drie interpolatiemethodes en de multibeamdata allemaal kleiner waren dan 1 meter, zijn de onderlinge verschillen tussen DIGIPOL SURFIS en KRIGING weergegeven op een schaal van -1 tot $+1$ meter en van -0.5 tot $+0.5$ meter.

Allereerst zijn in de figuren 5.23 en 5.24 de verschillen tussen DIGIPOL en KRIGING weergegeven. Hier is goed te zien dat de verschillen tussen DIGIPOL en KRIGING dezelfde orde van grootte hebben als de verschillen tussen de multibeamdata en KRIGING.



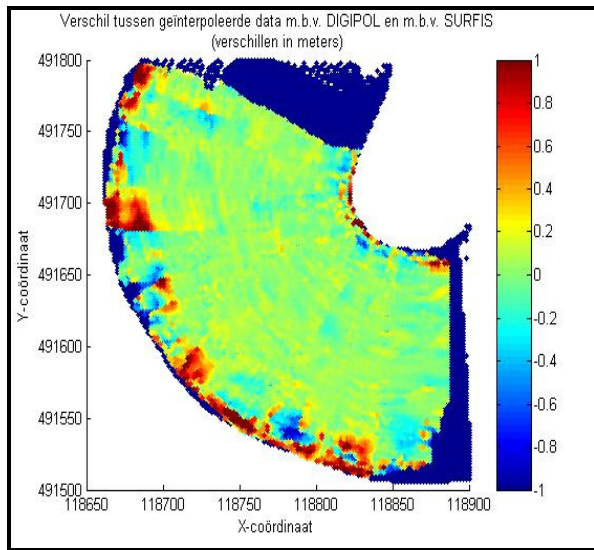
**Figuur 5.23: Verschil –1 tot +1 van KRIGING
– DIGIPOL**



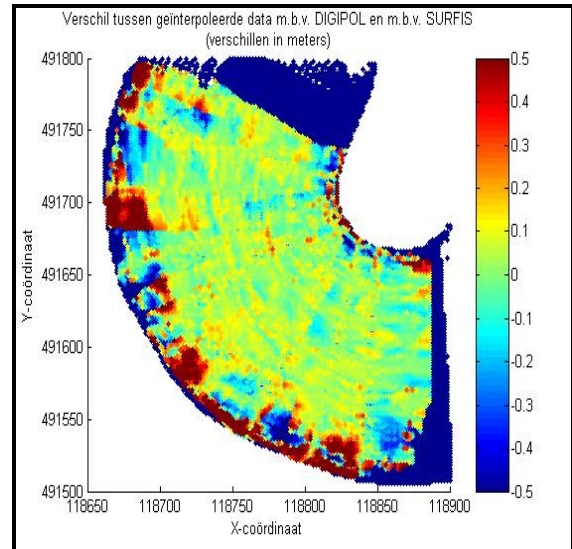
**Figuur 5.24: Verschil –0.5 tot +0.5 van KRIGING
– DIGIPOL**

Ook is in zowel figuur 5.23 als in figuur 5.24 duidelijk de structuur van de KRIGING-interpolatie terug te vinden (de lijnen bij de KRIGING-interpolatie die tussen de raaien in liggen). Bovendien is duidelijk te zien dat de verschillen aan de randen groot zijn, maar zoals uit de vorige paragrafen is gebleken was de interpolatie van DIGIPOL aan de randen te laag, terwijl de interpolatie van KRIGING daar juist te hoog was. Opvallend is ook het gebied rondom het punt (118740,491760), weergegeven in het paars. Hier zit een kleine onregelmatigheid in de multibeamdata. KRIGING heeft bij de interpolatie echter niet het gehele gebied een te hoge of een te lage waarde gegeven (DIGIPOL interpoleerde het gehele gebied wel te hoog), maar juist een deel te hoog en een deel te laag. Dit gebeurt eigenlijk bij iedere onregelmatigheid van de bodem die precies ligt op één van de lijnen die KRIGING tijdens de interpolatie maakt. Hierdoor krijgt de bodem na de interpolatie met KRIGING geen continu verloop, terwijl de interpolatie met DIGIPOL wel resulteert in een continu oppervlak.

In de figuren 5.25 en 5.26 zijn de verschillen tussen DIGIPOL en SURFIS weergegeven. Hier vallen de verschillen aan de linkeroever van de haven meteen op. Hier geeft de interpolatie met SURFIS voor een groot deel een hogere interpolatiewaarde dan de interpolatie met DIGIPOL. De verschillen in het midden van de haven zijn erg klein, het merendeel valt binnen de –10 en +10 cm. Opvallend is dat de verschillen overwegend positief zijn, dus dat de geïnterpoleerde waarden van SURFIS meestal gelijk zijn aan die van DIGIPOL of hoger liggen.

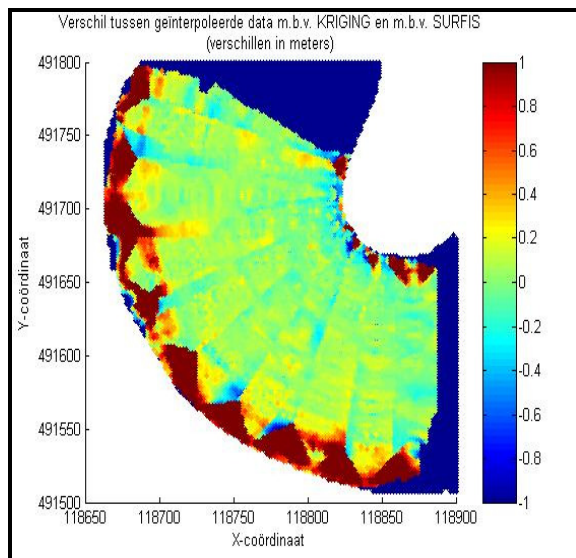


**Figuur 5.25: Verschil -1 tot +1 van DIGIPOL
- SURFIS**

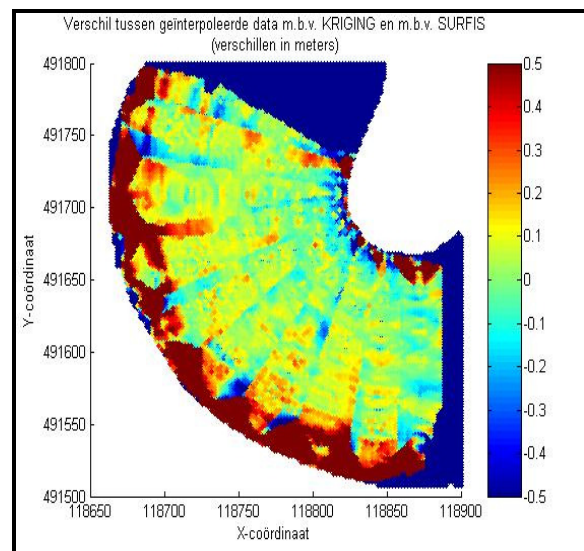


**Figuur 5.26: Verschil -0.5 tot +0.5 van DIGIPOL
- SURFIS**

Als laatste is de vergelijking tussen KRIGING en SURFIS gemaakt (zie de figuren 5.27 en 5.28). Ook hier blijkt dat aan de oevers van de haven de verschillen het grootst zijn. De karakteristiek van de interpolatie met KRIGING is ook in deze figuren terug te vinden. Verder is te zien dat er aan de rechterkant van de haven er ook relatief veel negatieve verschillen te ontwaren zijn. Hier ligt dus de geïnterpoleerde bodem van KRIGING lager dan die van SURFIS (terwijl ze beiden te hoge waarden gaven in vergelijking met de multibeamdata).



**Figuur 5.27: Verschil -1 tot +1 van KRIGING
- SURFIS**



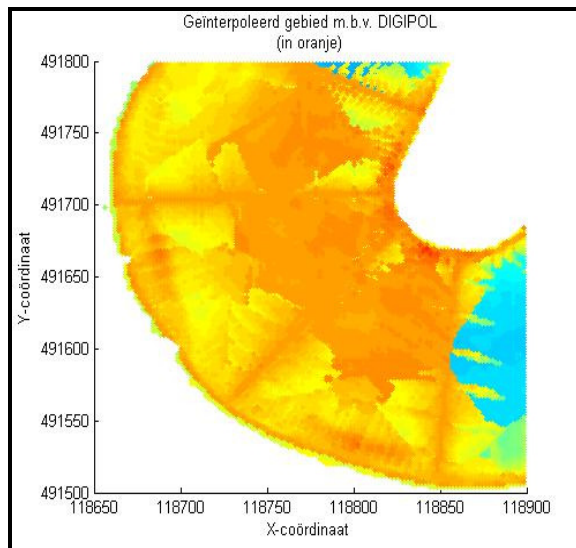
**Figuur 5.28: Verschil -0.5 tot +0.5 van KRIGING
- SURFIS**

5.1.2 Resultaat dwarsraaien om de 100m

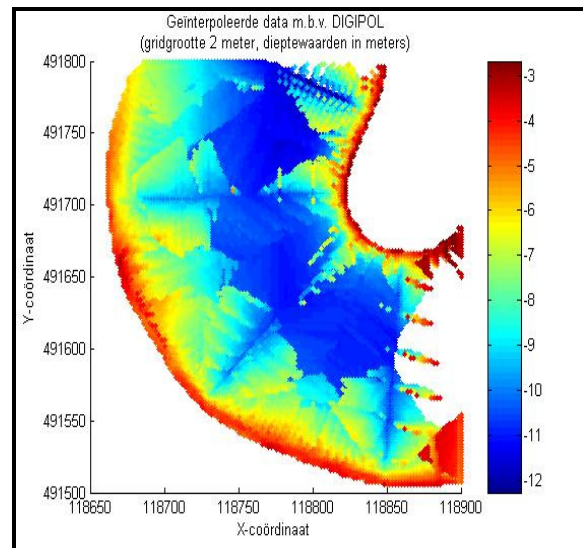
De verwachting bij de singlebeamconfiguratie waarbij de raaien dwars op de richting van de dieptelijnen liggen en waar er een afstand van ongeveer 100 meter tussen de verschillende raaien is gebruikt, was dat deze afstand voor alledrie de interpolatiemethodes een minder resultaat zou opleveren dan bij een onderlinge afstand van 50 meter, maar dat ook hier de resultaten op elkaar zouden lijken. De resultaten van de vergelijking zullen hieronder worden beschreven.

5.1.2.1 Resultaat DIGIPOL

Met een raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 100 meter werd met DIGIPOL een groot deel van het zuidwestelijke deel van de Petroleumhaven geïnterpoleerd, maar minder dan bij een raaiconfiguratie om de 50 meter. In figuur 5.29 is de locatie van het geïnterpoleerde gebied weergegeven. Het uiteindelijke resultaat van de interpolatie is weergegeven in figuur 5.30.

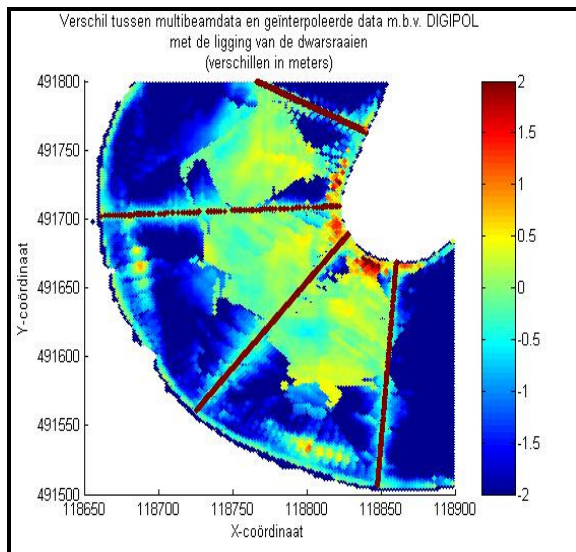


Figuur 5.29: Locatie van het geïnterpoleerde gebied

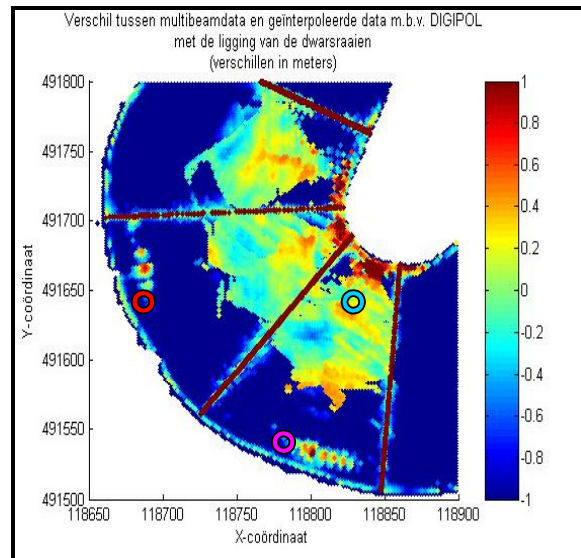


Figuur 5.30: Het geïnterpoleerde gebied

Hierbij is er gekozen voor een waarde van 300 meter voor de *searchdepth* en 150 meter voor de *directiondepth*. Wanneer figuur 5.30 wordt bekeken, zullen de verschillen met figuur 5.2 niet moeilijk op te sporen zijn. Wanneer het verschil tussen de multibeamdata in figuur 5.2 en het interpolatieresultaat van DIGIPOL in figuur 5.30 wordt gevisualiseerd, ontstaan de afbeeldingen die zijn weergegeven in de figuren 5.31 en 5.32. Hierbij worden twee verschillende schalen gebruikt, namelijk verschillen die liggen tussen respectievelijk -2 tot $+2$ meter en -1 tot $+1$ meter. Om het resultaat beter te kunnen vergelijken zijn ook de bij de interpolatie gebruikte singlebeamraaien in de figuren weergegeven.



Figuur 5.31: Verschil -2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL



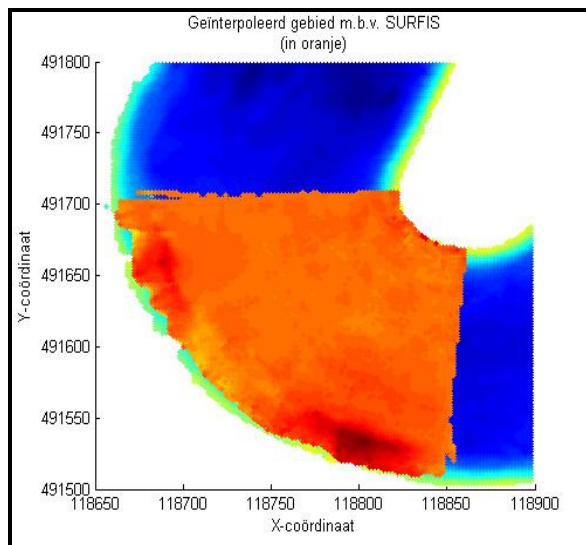
Figuur 5.32: Verschil -1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

Het zal duidelijk zijn dat de bodem hier op maar zeer weinig locaties goed wordt geïnterpoleerd ten opzichte van de multibeamdata, DIGIPOL geeft hier een te hoge waarde aan de linkerkant van de haven. (Doordat de dieptewaarden negatief zijn, geeft een multibeamwaarde van bijvoorbeeld -12 meter en een DIGIPOL-waarde van -10 meter, wat dus hoger ligt, een verschil van $-12 - -10 = -2$ meter.) Boven het rode punt en rechts van het paarse punt liggen verschillen die ineens zo'n 3 meter groter zijn. Dit komt doordat er op deze plaatsen een talud ligt en het geïnterpoleerde vlak hier dus ineens te laag ligt (dit geïnterpoleerde vlak ligt dus tussen het hoogste punt van dit talud en de laagste punten hier omheen). Wel is het opmerkelijk dat deze te lage waarden niet aan de linkeroever grenzen, aangezien hier het talud alleen maar hoger wordt.

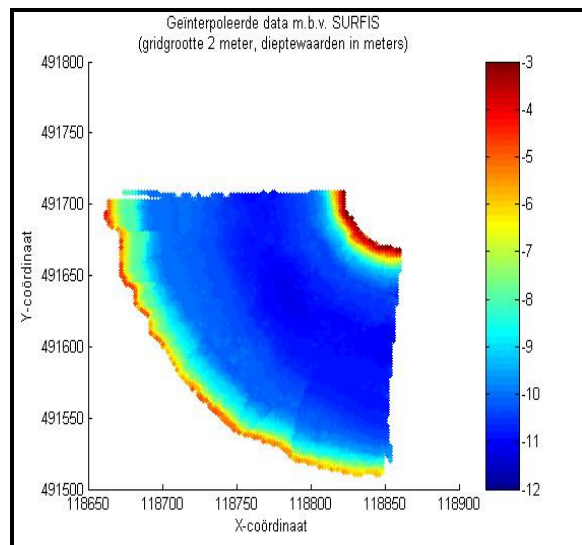
Aan de rechterkant van de haven is ook zoiets opmerkelijks te zien. Boven het blauwe punt (118840,491660) zijn de geïnterpoleerde waarden te laag ten opzichte van de multibeamdata, maar daar vlak naast zijn ze juist weer veel te hoog. En in de multibeamdata is hier toch echt een vrij continu vlak te zien. Ook bij deze interpolatie is dus een slechter resultaat te zien aan de randen, maar deze zijn zo groot geworden dat je een heel klein middenstuk overhoudt dat wel goed is geïnterpoleerd. Dit alles komt doordat de afstand tussen de raaien gewoon te groot is.

5.1.2.2 Resultaat SURFIS

Ook met een raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 100 meter werd met SURFIS, in tegenstelling tot met DIGIPOL een veel kleiner deel van de Petroleumhaven geïnterpoleerd (zie figuur 5.33). Dit komt doordat de bovenste (halve) raai niet door SURFIS wordt gebruikt vanwege de door het programma zelf berekende raaien. Verder is één van de eigenschappen van SURFIS dat er niet wordt geëxtrapoleerd en dus blijft het gebied over dat wordt weergegeven in figuur 5.34.



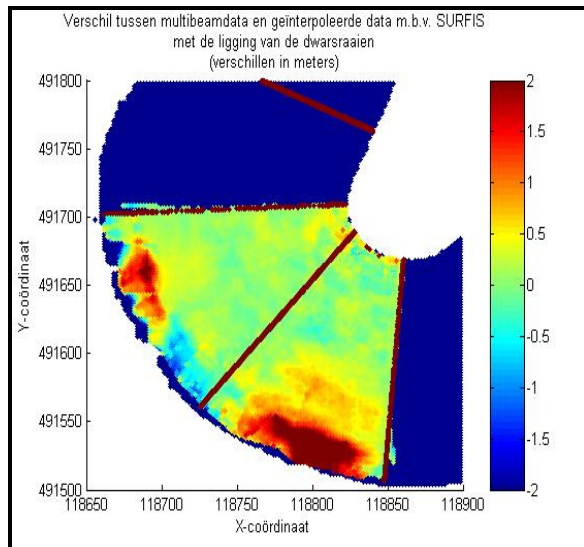
Figuur 5.33: Locatie van het geïnterpoleerde gebied



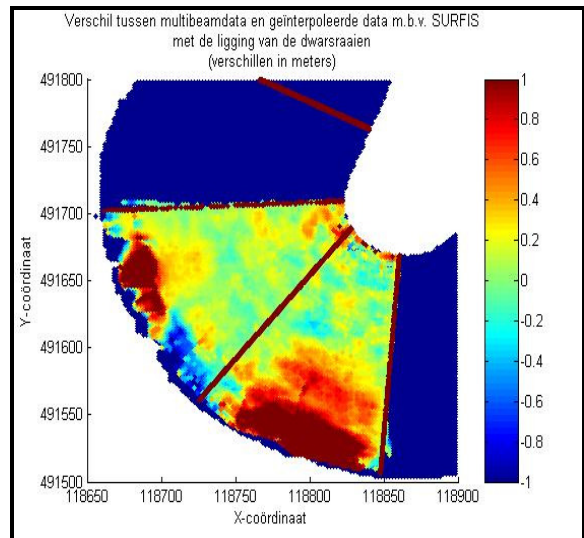
Figuur 5.34: Het geïnterpoleerde gebied

Bij deze interpolatie met SURFIS is er bij het berekenen van de rivieras gekozen voor een waarde van 75 meter voor de afstand voor het bepalen van de zoekrichting en bij het berekenen van de dwarsraaien is er een maximale zoekafstand van 30 meter gebruikt. De verhouding tussen de grootte van het zoekgebied in lengte- en breedterichting is gesteld op 10, waarbij er gebruik wordt gemaakt van een maximale zoekafstand in de breedterichting van 20 meter.

Wanneer het verschil tussen de multibeamdata in figuur 5.2 en het interpolatieresultaat van SURFIS in figuur 5.34 wordt gevisualiseerd, ontstaan de afbeeldingen die zijn weergegeven in de figuren 5.35 en 5.36. Ook hierbij worden weer twee verschillende schalen gebruikt, namelijk verschillen die liggen tussen respectievelijk -2 tot $+2$ meter en -1 tot $+1$ meter en is de ligging van de gebruikte raaien weergegeven.



Figuur 5.35: Verschil –2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

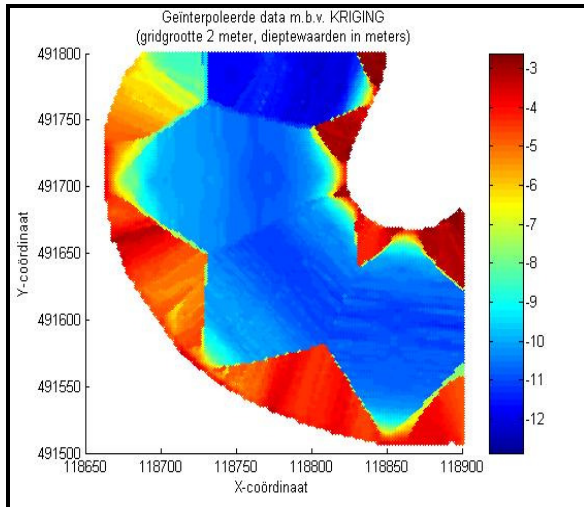


Figuur 5.36: Verschil -1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

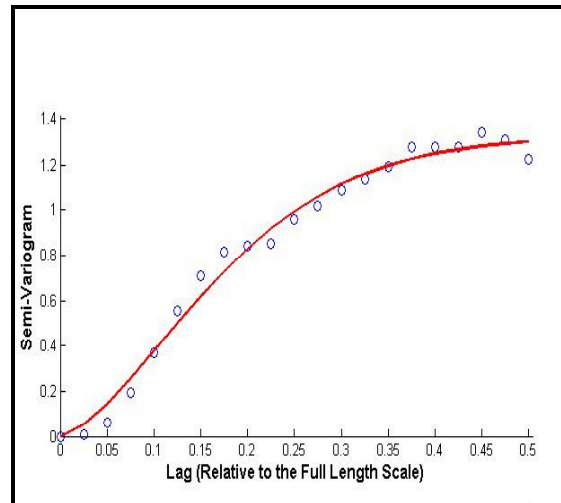
Het is duidelijk zichtbaar dat in figuur 5.35 overheersend veel groen aanwezig is, alleen op de positie van de twee taluds zijn de geïnterpoleerde waarden van SURFIS te laag. Wordt de schaal vergroot, dan zien we al wat meer variatie (zie figuur 5.36), vooral het onderste talud zie je in omvang toenemen. Maar de meeste verschillen tussen het geïnterpoleerde gebied en de multibeamdata liggen over het algemeen toch wel redelijk dicht bij 0 (tussen de –20 en +20 cm.).

5.1.2.3 Resultaat KRIGING

Met een raiconfiguratie van dwarsraaien om de 100 meter werd met KRIGING wederom de hele Petroleumhaven geïnterpoleerd. Doordat KRIGING ook extrapoleert en de methode om de niet interessante delen van het interpolatieresultaat te verwijderen iedere keer hetzelfde is, zullen de illustraties voor de locatie van de interpolatie bij KRIGING voor alle mogelijke raiconfiguraties hetzelfde zijn (dus zoals weergegeven in figuur 5.18). Het uiteindelijke resultaat van de interpolatie is weergegeven in figuur 5.37.

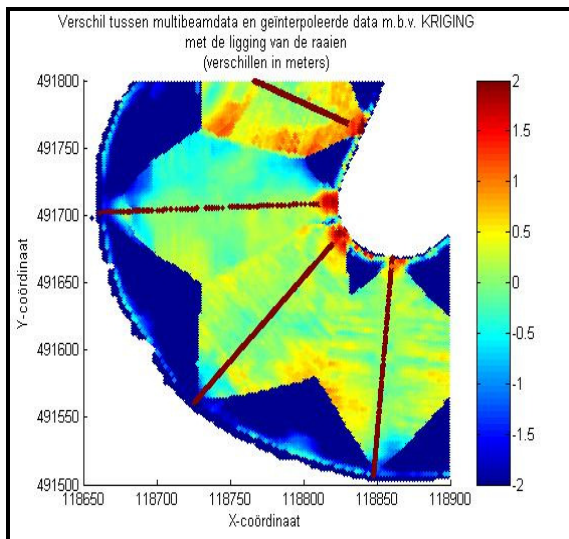


Figuur 5.37: Het geïnterpoleerde gebied

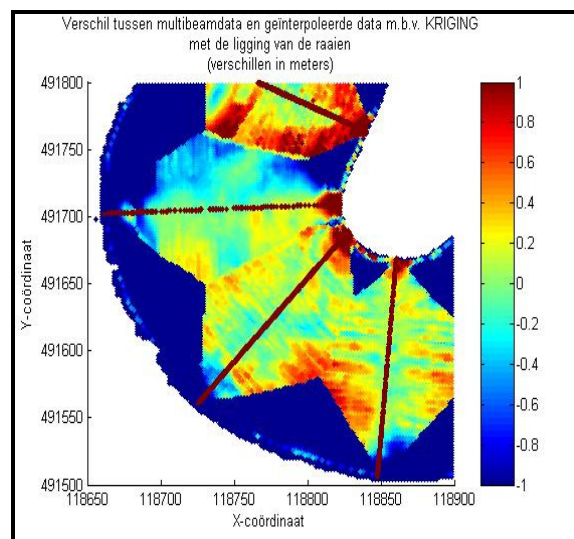


Figuur 5.38: Het variogram van de singlebeamdata

Bij deze interpolatie met KRIGING is er gebruik gemaakt van model 13 (zie bijlage 1) met een range van 0.5, een nugget van 0, een sill van 1.322, een lengthscale van 0.20, een power van 1.55 en een holescale van 0 voor het berekenen van het juiste variogrammodel. Het gebruikte variogram is weergegeven in figuur 5.38. Wanneer figuur 5.37 wordt vergeleken met de multibeamdata is ook hier het eerste dat opvalt de verschillen in interpolatie aan de randen. Doordat de afstand tussen de raaien groter is dan bij de vorige raaiconfiguratie, beslaan de “kartels” ook een groter deel van de haven.



Figuur 5.39: Verschil -2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

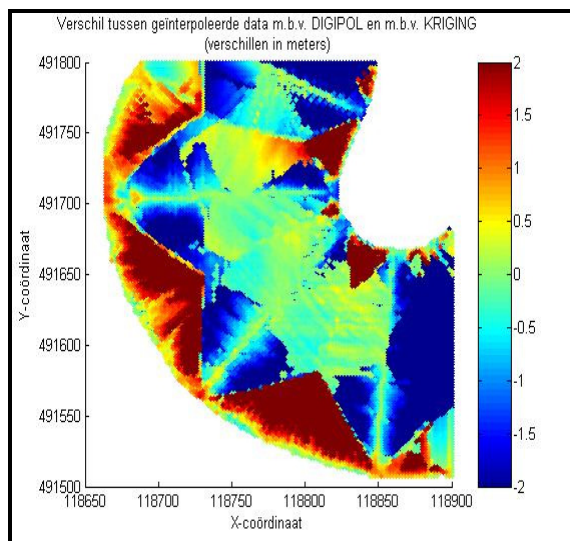


Figuur 5.40: Verschil -1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

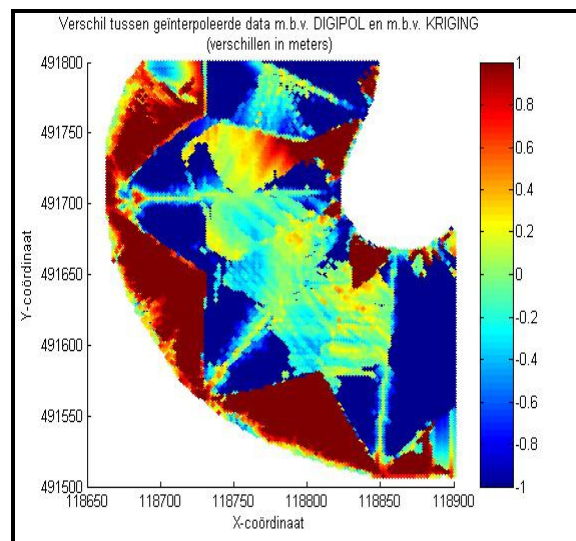
Ook hier is het duidelijk dat de aan de randen de verschillen tussen de multibeamdata en de geïnterpoleerde data met KRIGING het grootst zijn en ook midden tussen de singlebeamraaien. Wat ook opvalt is dat het noordelijkste deel een slechtere interpolatie heeft dan het zuidelijkste deel. Dit is natuurlijk afhankelijk van het feit dat er hier wel gehele singlebeamraaien bij de interpolatie worden meegenomen, terwijl dit in het noordelijkste deel niet het geval is.

5.1.2.4 Verschillen tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING

In de figuren 5.41 en 5.42 zijn de verschillen tussen DIGIPOL en KRIGING weergegeven. Doordat de verschillen tussen de multibeamdata en zowel DIGIPOL als KRIGING in de orde van -2 en $+2$ meter liggen, is er gekozen voor de schalen van -2 tot $+2$ en van -1 tot $+1$. Op deze schalen is er al veel variatie te zien in de verschillen, zodat een schaal van -0.5 tot $+0.5$ achterwege is gelaten. In deze figuren is goed te zien dat de verschillen tussen DIGIPOL en KRIGING heel erg groot zijn en dat ze alleen op enkele plaatsen in het midden van de haven ongeveer dezelfde dieptewaarden leveren. Dit alles ligt aan de omvang van de randen waar niet goed wordt geïnterpoleerd.

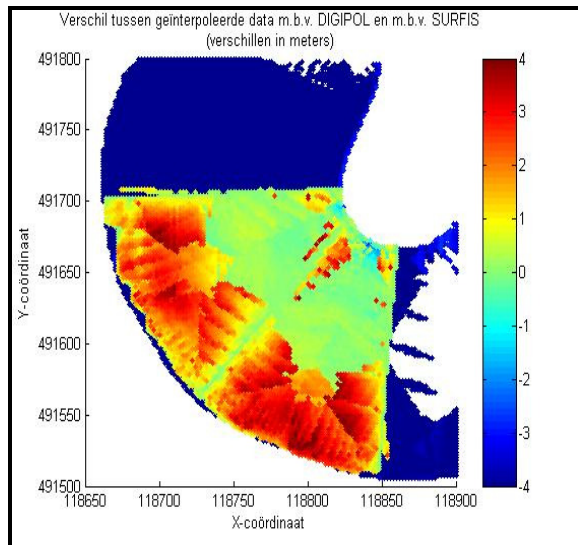


**Figuur 5.41: Verschil -2 tot $+2$ van KRIGING
– DIGIPOL**

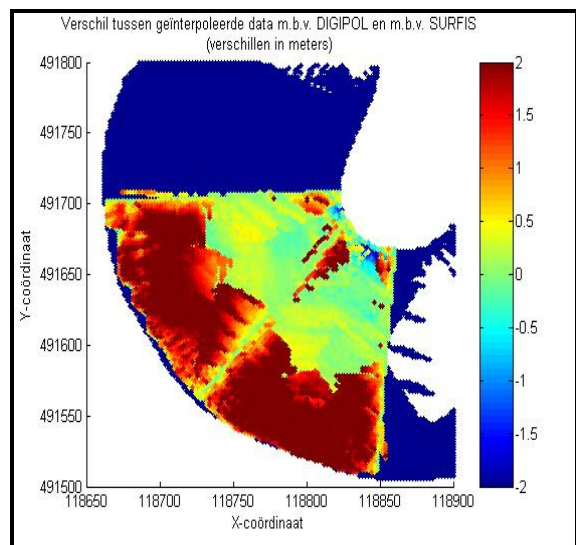


**Figuur 5.42: Verschil -1 tot $+1$ van KRIGING
– DIGIPOL**

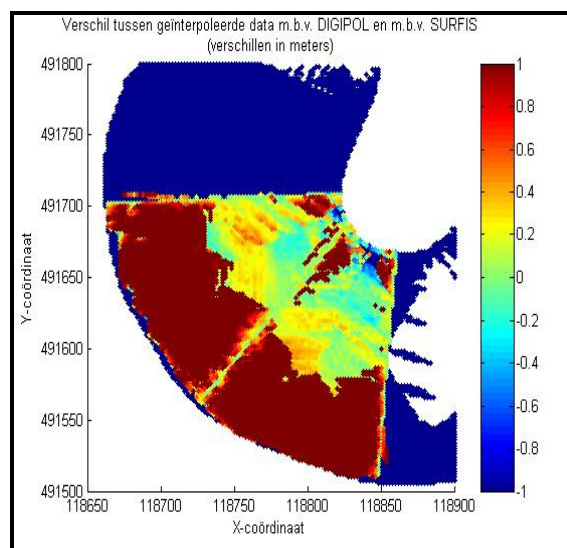
Ook is duidelijk te zien dat DIGIPOL aan de randen (bij de rode “kartels”) de bodem juist lager interpoleert dan KRIGING daar doet, terwijl dit aan de aangrenzende (blauwe) gebieden juist andersom is. Verder zijn in zowel figuur 5.41 als in figuur 5.42 duidelijk de gebruikte singlebeamraaien te onderscheiden (doordat deze gemeten waarden niet veranderen in beide interpolaties), terwijl dit bij de vorige raaiconfiguratie (met een onderlinge afstand van 50 meter) niet mogelijk was omdat hier ook de omliggende verschillen heel erg klein waren.



**Figuur 5.43: Verschil –4 tot +4 van DIGIPOL
– SURFIS**



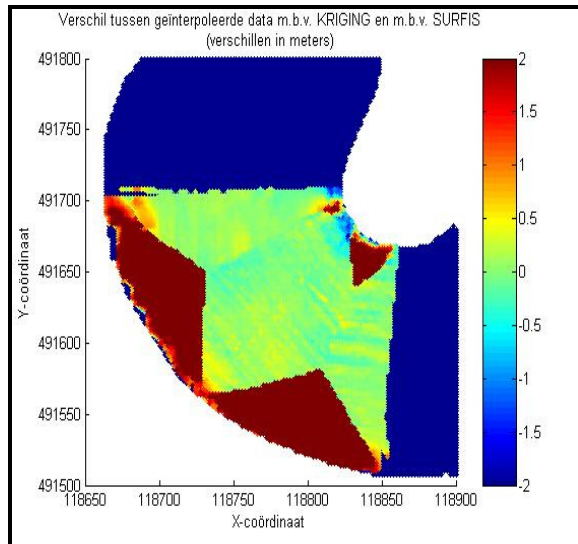
**Figuur 5.44: Verschil –2 tot +2 van DIGIPOL
– SURFIS**



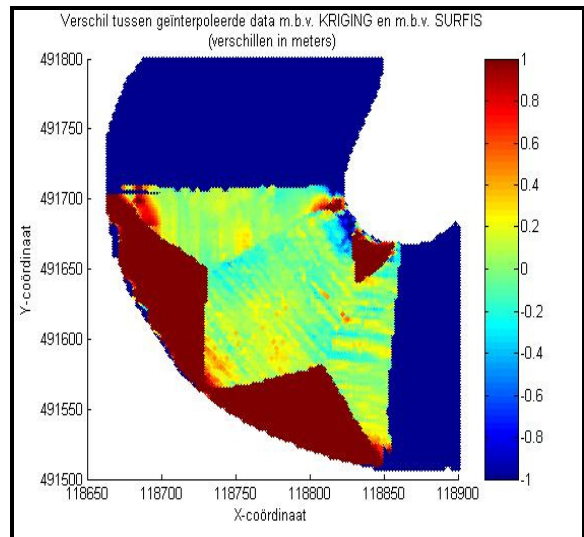
**Figuur 5.45: Verschil –1 tot +1 van DIGIPOL
– SURFIS**

In de figuren 5.43, 5.44 en 5.45 zijn de verschillen tussen DIGIPOL en SURFIS weergegeven. Hier is gekozen voor een extra schaal van –4 tot +4 meter omdat er bij de verschillen van –2 tot +2 meter nog aardig wat punten in de buitenste twee waarden vielen. In figuur 5.43 worden de details van deze gebieden ook goed weergegeven. Uit deze figuren wordt duidelijk dat de interpolatie van DIGIPOL in de randgebieden rond de 4 meter hogere dieptewaarden geeft dan de interpolatie met SURFIS doet.

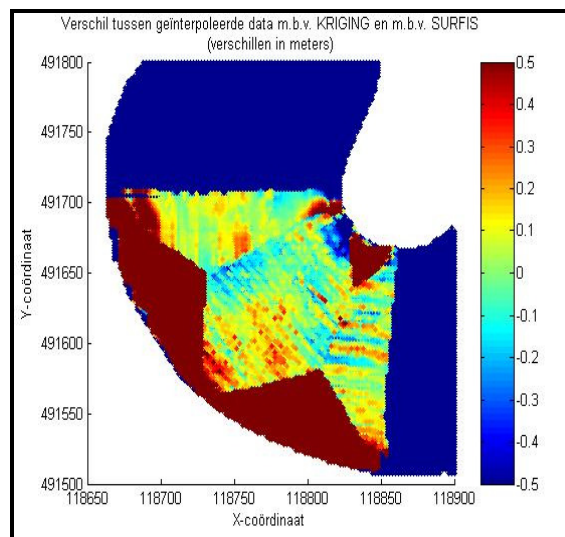
Opvallend zijn ook de grote verschillen aan de rechterkant van de haven. Doordat hier de raaien toch dichter bij elkaar liggen dan aan de linkerkant en bovendien waren in deze gebieden de verschillen tussen de multibeamdata en de afzonderlijke interpolatiemethodes niet zo groot (bovendien was de omvang van de betreffende gebieden ook kleiner).



**Figuur 5.46: Verschil -2 tot +2 van KRIGING
- SURFIS**



**Figuur 5.47: Verschil -1 tot +1 van KRIGING
- SURFIS**



**Figuur 5.48: Verschil -0.5 tot +0.5 van KRIGING
- SURFIS**

Als laatste is weer de vergelijking tussen KRIGING en SURFIS gemaakt (zie de figuren 5.46, 5.47 en 5.48). Hier is duidelijk zichtbaar dat in het midden van de haven de interpolaties met KRIGING en die met SURFIS niet veel van elkaar verschillen. Doordat de standaard gekozen schalen van -2 tot $+2$ meter en van -1 tot $+1$ meter niet genoeg detailinformatie gaven, is er nog een derde schaal aan toegevoegd van -0.5 tot $+0.5$ meter (zie figuur 5.48). Ook hieruit blijkt dat de verschillen erg klein zijn (rond de 20 cm). Verder zijn aan de randen de geïnterpoleerde dieptewaarden van KRIGING hoger dan die van SURFIS.

5.1.3 Resultaten van de overige raaiconfiguraties

Van de overige raaiconfiguraties zijn de uitwerkingen zoals in de vorige twee paragrafen opgenomen in bijlage 2. Hieronder is voor iedere raaiconfiguratie een korte samenvatting te lezen. Voor verklarende figuren wordt ook verwezen naar bijlage 2.

Bij de singlebeamconfiguratie waar de dwarsraaien met een onderlinge afstand van 50 meter zijn verstevigd met twee raaien in de lengterichting, was de verwachting dat dit bij DIGIPOL geen verschil zou uitmaken met het resultaat van paragraaf 5.1.1, maar dat het voor SURFIS en ook voor KRIGING een beter resultaat zou opleveren. Voor de interpolatie met KRIGING heb je nu ook in de lengterichting informatie over punten die dicht bij elkaar liggen (deze wordt verwerkt in het variogram) en bij SURFIS verwacht je rondom de gebruikte lengteraaian een beter interpolatieresultaat. Na de interpolaties bleek dat er geen veranderingen ten opzichte van paragraaf 5.1.1 merkbaar zijn bij de interpolaties met zowel DIGIPOL als SURFIS en ontstaat er bij KRIGING slechts heel dicht bij de lengteraaian een iets beter resultaat.

Ook bij de dwarsraaien om de 100 meter met twee lengteraaian was de eerste verwachting dat het toevoegen van lengteraaian aan de singlebeamdataset van dwarsraaien om de 100 meter, vooral bij SURFIS en KRIGING een beter interpolatieresultaat zou geven. Doordat echter uit de vorige alinea blijkt dat het bij een raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 50 meter nauwelijks leidde tot kleinere verschillen met de multibeamdata, was de verwachting dat dit ook hier het geval zou zijn. Echter gaf DIGIPOL hier een fikse verbetering van het interpolatieresultaat, maar ook bij de interpolaties met SURFIS en KRIGING werden de verschillen met de multibeamdata een stuk kleiner.

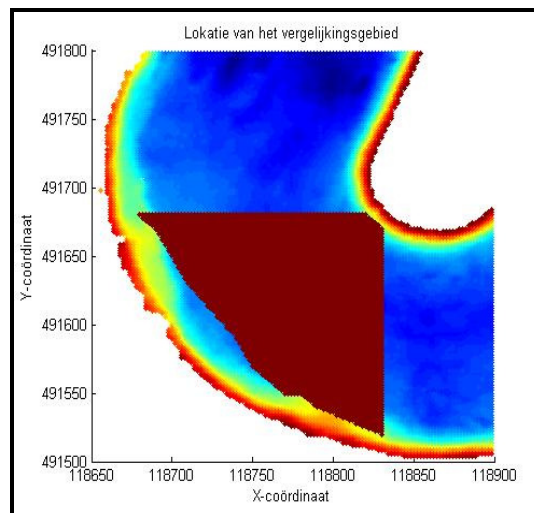
Doordat de configuratie met alleen dwarsraaien om de 100 meter tot een vrij slecht interpolatieresultaat leidde, is de verwachting dat bij de raaiconfiguratie met dwarsraaien om de 100 meter die zijn aangevuld met twee willekeurige raaien net als in de hiervoor genoemde configuratie een beter interpolatieresultaat wordt verkregen. Doordat de willekeurige raaien niet één oriëntatie hebben ten opzichte van de havenoevers, is de verwachting dat er nog meer informatie over de bodem van de haven wordt meegenomen bij de interpolatie. Bij DIGIPOL was het resultaat zowel beter als dat van paragraaf 5.1.2 als van de in de vorige alinea genoemde raaiconfiguratie. Bij SURFIS is slechts een hele kleine verbetering van het resultaat in de vorige alinea waar te nemen en bij KRIGING zijn er minder verschillen die dicht bij 0 liggen, maar de omvang van de gebieden met grote verschillen is kleiner geworden.

De verwachting van de raaiconfiguratie met dwarsraaien om de 100 meter en een paar dwarsraaien heel dicht op elkaar, was dat er uit de dwarsraaien die zeer dicht op elkaar liggen informatie werd gehaald over het gedrag van de bodem op korte afstanden in de lengterichting. Deze informatie zou dan kunnen worden meegenomen bij het berekenen van de dieptewaarden op de andere locaties. Er werd verwacht dat vooral de interpolatie met KRIGING hierdoor verbeterd werd. Dit was echter slechts minimaal het geval, bij SURFIS en DIGIPOL waren er zoals verwacht geen verschillen.

Tenslotte was er bij de drie interpolaties nog gebruik gemaakt van een singlebeamdataset waarbij de raaien ongeveer loodrecht op de lengterichting liggen. De verwachting van deze raaiconfiguratie was dat alledrie de interpolatieprogramma's een beter resultaat zouden laten zien dan met enkel dwarsraaien om de 100 meter, doordat bij iedere raai zowel korte afstand informatie als lange afstand informatie aanwezig is. Doordat de onderlinge afstand bij deze raaiconfiguratie echter zo'n 75 meter bedraagt, was de verwachting dat dit een resultaat zou geven dat ongeveer net zoveel lijkt op de multibeamdata dan dat de interpolatie met dwarsraaien om de 50 meter doet. Het resultaat van DIGIPOL lijkt in het midden van de haven vrij goed op het resultaat uit paragraaf 5.1.1, aan de randen is deze gelijkenis echter een stuk minder. Bij SURFIS is deze gelijkenis nog een stuk beter en bij KRIGING was de verbetering van het resultaat het grootst.

5.2 Vergelijking van interpolatiekwaliteit

Zoals gezegd zullen bij de vergelijking van de interpolatieresultaten ook enkele statistische kenmerken van het interpolatieresultaat worden vergeleken. Dit gebeurt niet alleen tussen de interpolatiemethodes en de multibeamdata, ook hier worden er weer onderlinge vergelijkingen gemaakt. Om alle resultaten van deze paragraaf goed met elkaar te kunnen vergelijken is er hiervoor gebruik gemaakt van een vergelijkingsgebied. Dit vergelijkingsgebied valt binnen alle interpolatiegebieden (van de verschillende methodes en van de verschillende raiconfiguraties) en is weergegeven in figuur 5.49.



Figuur 5.49: De locatie van het vergelijkingsgebied

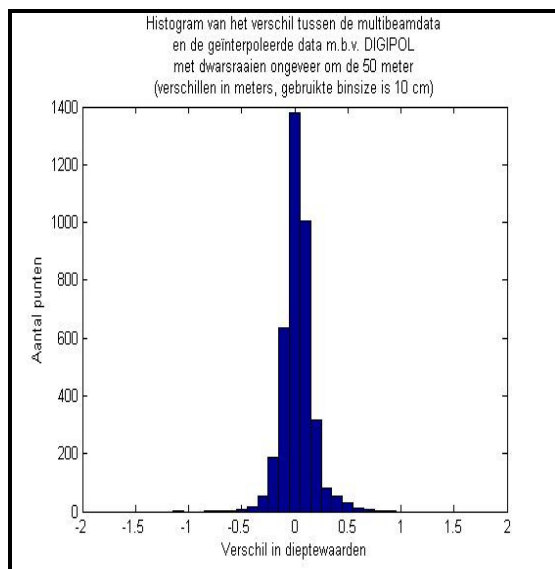
De fout die er bij een interpolatie gemaakt wordt is onafhankelijk van de meetfout, dus hoe goed er op de plaats van de singlebeam-meting wordt gemeten. De grootte van de interpolatiefout is afhankelijk van de afstand tot de meetpunten en vele malen groter dan de meetfout (deze ligt rond de enkele centimeters of is zelfs nog kleiner, terwijl de interpolatiefout (het verschil tussen de multibeamdata en de geïnterpoleerde data is hiervoor een goede maatstaf) dit ver overschrijdt, zoals is gebleken in paragraaf 5.1. In deze paragraaf zullen de interpolatiefouten van het hele vergelijkingsgebied worden geanalyseerd. Dit gebeurt voor de singlebeamdatasets van de dwarsraaien om de 50 en om de 100 meter in een afzonderlijke subparagraaf, voor de overige raiconfiguraties wordt in paragraaf 5.2.3 een korte samenvatting gegeven. Deze staan in bijlage 3 compleet uitgewerkt.

Naast de afzonderlijke kwaliteitsbeschrijving worden ook de resultaten van de door de interpolatieprogramma's zelf geleverde kwaliteitsbeschrijving vergeleken met de validatie-uitkomst. Hierdoor wordt een indicatie gegeven hoe goed het interpolatieprogramma zelf zijn interpolatiefout kan schatten en of die overeenkomt met het verschil tussen het interpolatieresultaat en de multibeamdata. Dit alles komt in paragraaf 5.2.4 aan bod.

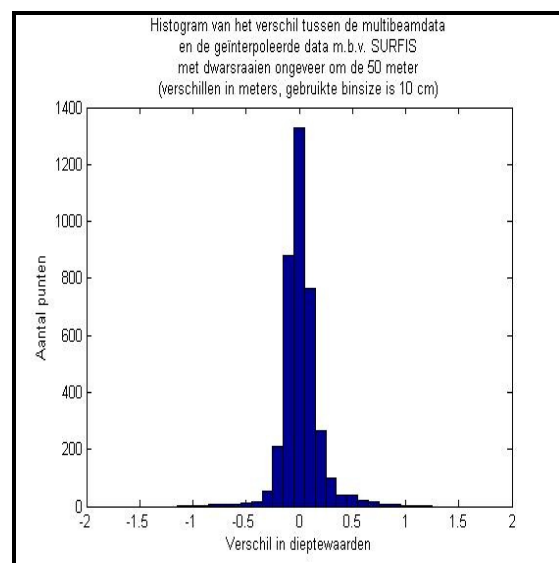
Bij het uitvoeren van de interpolaties is er iedere keer voor een standaard gridgrootte van 2 x 2 meter gekozen, maar in paragraaf 5.2.5 zullen de mogelijke variaties in gridgrootte worden behandeld en worden toegepast op één singlebeamdataset.

5.2.1 Kwaliteit dwarsraaien om de 50m

Uit paragraaf 5.1.1 is gebleken dat de absolute verschillen tussen de multibeamdata en de geïnterpoleerde waarden allemaal maximaal rond de 2 meter liggen. Op deze verschillen zijn wat statistische bewerkingen losgelaten. Hiervoor zijn allereerst van alle punten in het vergelijkingsgebied de verschillen tussen de multibeamdata en de met behulp van DIGIPOL, SURFIS en KRIGING geïnterpoleerde data berekend. Hiervan is een histogram gemaakt, zodat er bij ieder staaf uit het histogram bekend is hoeveel punten zo'n verschil hebben dat binnen de uiterste verschillen van de staaf valt. (Zie de figuren 5.50, 5.51 en 5.52.)

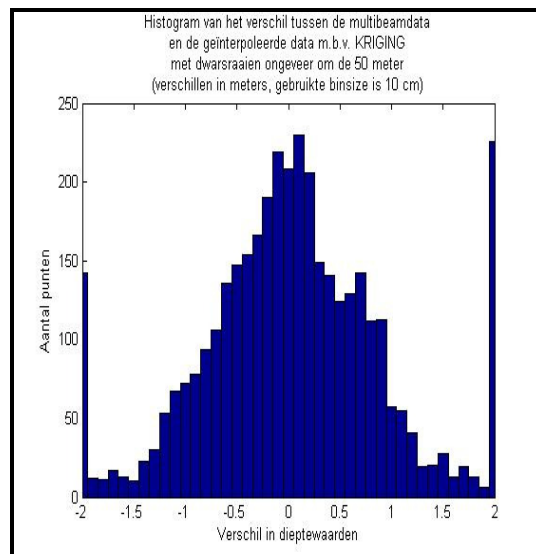


Figuur 5.50: Histogram van de verschillen tussen multibeam en DIGIPOL in het vergelijkingsgebied



Figuur 5.51: Histogram van de verschillen tussen multibeam en SURFIS in het vergelijkingsgebied

Het is duidelijk te zien dat de interpolaties met DIGIPOL en SURFIS beiden heel veel verschillen leveren die dicht bij 0 liggen, terwijl dit bij KRIGING niet het geval is. Ook is bij KRIGING het aantal punten dat verschillen heeft van -2 of $+2$ meter vele malen groter dan bij DIGIPOL of SURFIS. Dit komt doordat de kartelranden aan de linker- en rechterkant van de haven nog (gedeeltelijk) binnen het vergelijkingsgebied vallen. Hier is de interpolatie heel slecht en dit geeft dus grote verschillen. Wanneer de eerste en de laatste staaf van het KRIGING-histogram worden weggelaten, geven alledrie de histogrammen een redelijk normale verdeling van de verschillen weer. Bij de interpolatie met DIGIPOL en met SURFIS is alleen de standaardafwijking van de verschillen vele malen kleiner dan bij de KRIGING interpolatie (zie ook tabel 5.1).



Figuur 5.52: Histogram van de verschillen tussen multibeam en KRIGING in het vergelijkingsgebied

Verder zijn er van het vergelijkingsgebied de totale fout en de gemiddelde fout berekend (door de totale fout te delen door het aantal punten dat in het vergelijkingsgebied ligt, dit zijn er 3791). Verder zijn zowel de variantie als de standaardafwijking van de verschillen berekend, evenals de RMSE (de Root Mean Square Error) die de wortel is van het gemiddelde van de som van de kwadratische verschillen tussen de multibeamdata en de interpolatie.

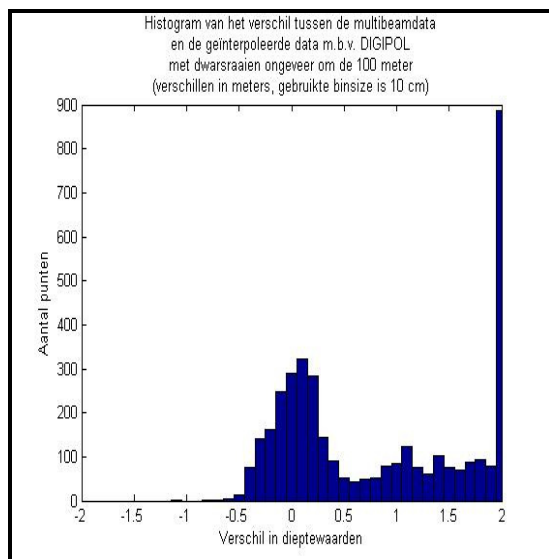
	DIGIPOL	SURFIS	KRIGING
Totale fout (m)	105.12	63.282	448.81
Gemiddelde fout (m)	0.027729	0.016693	0.11839
RMSE (m)	0.14137	0.17483	1.3405
Variantie (m ²)	0.019215	0.030286	1.7829
Standaardafwijking (m)	0.13862	0.17403	1.3353

Tabel 5.1: Statistische eigenschappen van de vergelijkingsgebieden

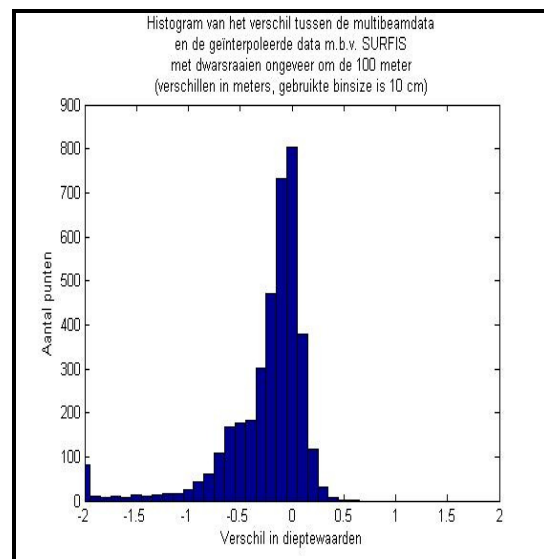
Uit deze tabel blijkt dat de KRIGING interpolatie de grootste fouten geeft met de grootste standaardafwijking en dat dit interpolatieresultaat dus slechter is dan dat met DIGIPOL of SURFIS. Opvallend is dat bij SURFIS de totale en de gemiddelde fout kleiner zijn dan bij DIGIPOL, maar de RMSE-waarde en de variantie (en dus ook de standaardafwijking) groter zijn. Dit komt doordat er bij de RMSE en ook bij de variantie wordt gerekend met absolute verschillen en bij de totale en gemiddelde fout gebeurt dit niet. Bij SURFIS zullen er dus van de negatieve verschillen met de multibeamdata ongeveer net zo veel zijn als van de positieve verschillen, terwijl bij DIGIPOL er meer positieve verschillen aanwezig zullen zijn. Dit blijkt ook uit de bijbehorende histogrammen. De resultaten van de interpolaties zijn dus ongeveer gelijk.

5.2.2 Kwaliteit dwarsraaien om de 100m

Uit paragraaf 5.1.2 is gebleken dat de absolute verschillen tussen de multibeamdata en de geïnterpoleerde waarden ook hier allemaal maximaal rond de 2 meter liggen. Net als in de voorgaande paragraaf zijn deze verschillen weergegeven in histogrammen (in de figuren 5.53, 5.54 en 5.55).

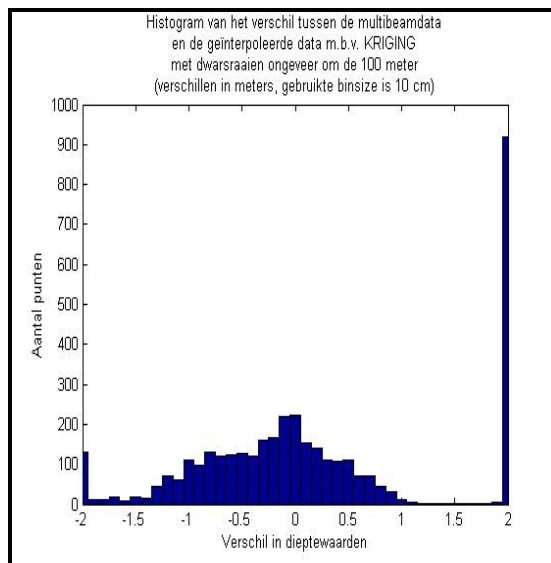


Figuur 5.53: Histogram van de verschillen tussen multibeam en DIGIPOL in het vergelijkingsgebied



Figuur 5.54: Histogram van de verschillen tussen multibeam en SURFIS in het vergelijkingsgebied

Uit de histogrammen van DIGIPOL en SURFIS blijkt dat de interpolatie met SURFIS veel meer kleinere verschillen geeft met de multibeamdata dan dat DIGIPOL doet. Ook bij deze raai-configuratie valt bij KRIGING de hoogte van de buitenste twee staven op, ook dit heeft te maken met de slechte interpolatie aan de linker- en rechterkant van de haven. Wanneer deze worden weggelaten ontstaat bij KRIGING toch wel weer een normale verdeling.



Figuur 5.55: Histogram van de verschillen tussen multibeam en KRIGING in het vergelijkingsgebied

Bij DIGIPOL en SURFIS is mooi te zien dat de eerstgenoemde meer positieve verschillen geeft, terwijl SURFIS meer negatieve verschillen geeft. Wel is bij beiden de standaardafwijking vele malen kleiner dan bij KRIGING het geval is (zie ook tabel 5.2). Naast de standaardafwijking zijn ook weer de totale fout, gemiddelde fout, RMSE en variantie berekend en in tabel 5.2 weergegeven.

	DIGIPOL	SURFIS	KRIGING
Totale fout (m)	3701.2	-993.42	4024.8
Gemiddelde fout (m)	0.97630	-0.26205	1.0617
RMSE (m)	1.4447	0.55823	2.8874
Variantie (m ²)	1.1339	0.24295	7.2098
Standaardafwijking (m)	1.0649	0.49290	2.6851

Tabel 5.2: Statistische eigenschappen van de vergelijkingsgebieden

Uit deze tabel blijkt dat de KRIGING interpolatie wederom de grootste fouten geeft met de grootste standaardafwijking en dat dit interpolatieresultaat dus slechter is dan dat met DIGIPOL of SURFIS. Opvallend is dat bij SURFIS alle waarden kleiner zijn dan die van DIGIPOL. Hierdoor kun je concluderen dat de interpolatie met SURFIS een resultaat met een betere kwaliteit oplevert dan de interpolatie met DIGIPOL (en natuurlijk ook met KRIGING) doet.

5.2.3 Kwaliteit van de overige raaiconfiguraties

De kwaliteitsbeschrijvingen van de overige vijf raaiconfiguraties worden hieronder kort beschreven. Voor een meer gedetailleerde uitleg en de bijbehorende histogrammen zal bijlage 3 moeten worden geraadpleegd.

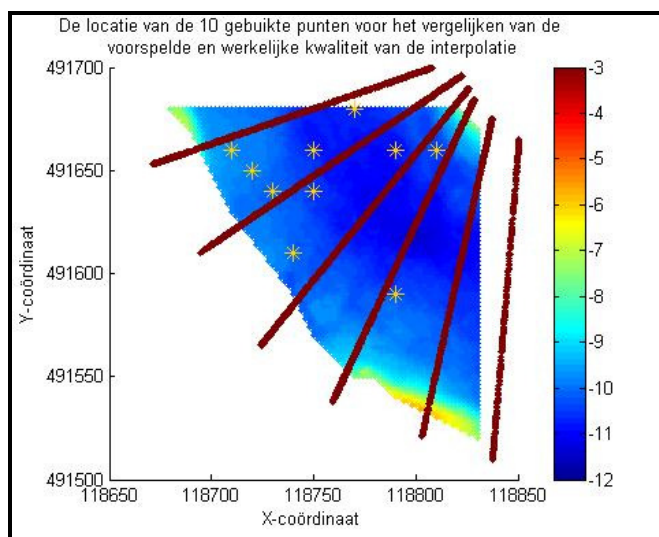
Wanneer er aan de raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 50 meter twee lengteraaien worden toegevoegd, blijken de verschillen bij alledrie de interpolatiemethodes toch iets kleiner te worden dan in paragraaf 5.2.1 het geval was. Bij de dwarsraaien om de 100 meter en twee lengteraaien is het verkregen resultaat ook beter dan de methode zonder de lengteraaien in paragraaf 5.2.2. Dit verschil is echter veel groter dan het verschil tussen de dwarsraaien om de 50 meter met of zonder de lengteraaien.

Bij de raaiconfiguratie met dwarsraaien om de 100 meter en een twee willekeurige raaien blijkt dat DIGIPOL hier het beste resultaat geeft. Maar ook de resultaten van SURFIS en KRIGING zijn hier beter dan in paragraaf 5.2.2 het geval was. Dit in tegenstelling tot de resultaten van dwarsraaien om de 100 meter met enkele dwarsraaien heel dicht op elkaar. Hier was er bij DIGIPOL geen verschil te zien met paragraaf 5.2.2, terwijl zowel de resultaten van SURFIS als KRIGING een lichte verbetering lieten zien.

Tenslotte geeft SURFIS bij de configuratie waarbij de raaien ongeveer dwars op de lengterichting liggen het resultaat dat het meeste lijkt op het resultaat uit paragraaf 5.2.1. De kwaliteit van de resultaten van zowel DIGIPOL als KRIGING ligt tussen die van paragraaf 5.2.1 en 5.2.2 in (zoals ook werd verwacht, aangezien de raaiafstand ook ongeveer tussen de 50 en de 100 meter in ligt).

5.2.4 Vergelijking van gegeven en berekende kwaliteit

Alledrie de interpolatieprogramma's leveren informatie over de kwaliteit van het geïnterpoleerde resultaat. Door van 10 punten in het vergelijkingsgebied het verschil en de voorspelde maximale fout te analyseren, geeft dit een indicatie over de juistheid van de door de interpolatieprogramma's geleverde kwaliteitsbeschrijving van het eindresultaat. Doordat deze analyse niet voor iedere raai-configuratie nodig was om een beeld te vormen van de mate van juistheid van de kwaliteitsbeschrijving, is gekozen voor twee singlebeamdatasets. Allereerst is er gekozen voor de dwarsraaien om de 50 meter, deze gaf bij alledrie de interpolatiemethodes een redelijk goed interpolatieresultaat. Ook is het interessant om te zien of bij een slechter interpolatieresultaat de kwaliteitsbeschrijving dit ook vertelt. Daarom is er ook voor de singlebeamdataset gekozen waar de raaien 100 meter uit elkaar liggen. De ligging van deze punten ten opzichte van de singlebeamraaien om de 50 meter is weergegeven in figuur 5.170. Bij de singlebeamraaien om de 100 meter liggen twee raaien aan de rand van het vergelijkingsgebied en een derde in het midden (op de positie van de derde singlebeamraai van boven in figuur 5.56).



Figuur 5.56: Locatie van gebruikte punten voor kwaliteitsanalyse

Maar, zoals al is gebleken uit de programmabeschrijving van hoofdstuk 3, geven niet alledrie de programma's dezelfde soort kwaliteitsbeschrijving. Zo geeft DIGIPOL voor (bijna) ieder geïnterpoleerd punt een kwaliteitsindicatie, SURFIS een voorspelfout en KRIGING een variantie. De voorspelfout van SURFIS is de verwachte fout op het punt en is gegeven als een σ in meters. De variantie van KRIGING is eenvoudig naar deze eenheid terug te rekenen door de wortel te nemen uit de verkregen variantie (in meter²). De kwaliteitsindicatie van DIGIPOL daarentegen is gegeven in centimeters, maar wanneer deze nader bekeken worden (zie ook tabel 5.3) blijkt dat, wanneer deze waarden worden teruggerekend naar meters, nog geen echt reële waarden worden verkregen en deze dus niet gebruikt kunnen worden bij de verdere analyse.

Coördinaten van gebruikte punten	Vershil tussen multibeam en DIGIPOL	Kwaliteit indicatie	Vershil tussen multibeam en SURFIS	Voorspel fout (in meters)	Vershil tussen multibeam en KRIGING	Voorspelde standaard afwijking (in meters)
(118710,491660)	0.040000	619	0.01311	0.09978	-0.4028	0.3586
(118720,491650)	-0.070000	1002	-0.03303	0.1336	-0.8516	0.4480
(118730,491640)	0.050000	562	-0.06279	0.1062	-0.1708	0.3276
(118750,491660)	0.16000	461	0.1039	0.1478	0.3490	0.4524
(118770,491680)	0.010000	15	-0.1404	0.1354	2.161	0.3697
(118740,491610)	-0.010000	555	-0.08518	0.1200	-1.123	0.5859
(118750,491640)	0.13000	547	0.1536	0.1160	-0.0440	0.3607
(118790,491660)	-0.020000	189	0.01532	0.1220	0.6528	0.4354
(118810,491660)	0.030000	344	0.01967	0.1167	0.2563	0.3709
(118790,491590)	0.060000	163	-0.08297	0.1622	-0.5777	0.3481

Tabel 5.3: Verschillen en berekende kwaliteit van interpolaties met raaien om de 50 meter voor 10 punten.

Uit tabel 5.3 blijkt dat bij SURFIS veel van de punten een voorspelfout (σ) hebben die groter is dan het verschil tussen de multibeamdata en de geïnterpoleerde waarden en dat de gemaakte fout dus binnen de gestelde marge valt. Slechts bij twee punten is de voorspelfout kleiner dan het werkelijke verschil (bij het 5^e en het 7^e punt, deze zijn in het rood aangegeven), waarbij bovendien bij het 5^e punt het verschil tussen de voorspelfout en het werkelijke verschil heel erg klein is, terwijl op dit punt de gemaakte interpolatiefout het grootst is. Ook is te zien dat bij de punten 1, 8 en 9 de voorspelfout zowat een factor 10 groter is dan de werkelijke fout. Hier is de voorspelfout dus te negatief over het verkregen interpolatieresultaat. Wel liggen alle berekende fouten binnen een marge van 2σ .

De voorspelde variantie van KRIGING (in de tabel omgerekend naar een standaardafwijking) is bij 6 van de punten kleiner dan het berekende verschil tussen multibeam en de geïnterpoleerde waarden met KRIGING en vallen deze verschillen dus buiten de gestelde marge. Ook deze punten zijn met rood weergegeven. Vooral het 5^e punt heeft een grote verschilwaarde, maar een relatief kleine standaardafwijking. Net als bij de interpolatie met SURFIS is ook bij KRIGING de gemaakte fout op het 5^e punt het grootst, terwijl het 6^e punt (dat op de kartelrand van de KRIGING-interpolatie valt) de grootste standaardafwijking heeft (dit was op deze plaats ook te verwachten).

De verschillen tussen de multibeamdata en de interpolaties waarbij er gebruik gemaakt werd van singlebeamraaien om de 100 meter zijn, samen met de bijbehorende kwaliteitsbeschrijvingen, weergegeven in tabel 5.4.

Coördinaten van gebruikte punten	Vershil tussen multibeam en DIGIPOL	Kwaliteit indicatie	Vershil tussen multibeam en SURFIS	Voorspel fout (in meters)	Vershil tussen multibeam en KRIGING	Voorspelde standaard afwijking (in meters)
(118710,491660)	1.680	NaN	-0.2770	0.1313	-0.5737	1.079
(118720,491650)	1.540	NaN	-0.2114	0.1342	-0.6693	1.147
(118730,491640)	1.410	604	-0.03202	0.1324	0.04086	0.9670
(118750,491660)	0.2900	902	0.01680	0.1379	0.3767	0.8770
(118770,491680)	0.09000	79	-0.1698	0.1201	7.305	0.7878
(118740,491610)	1.4800	402	-0.1409	0.1145	-1.051	0.7144
(118750,491640)	0.2100	858	0.08745	0.1200	-0.007627	0.9547
(118790,491660)	0.03000	7	0.04841	0.1140	0.6668	0.5027
(118810,491660)	0.8200	557	0.08054	0.1128	0.06782	0.1375
(118790,491590)	-0.1100	146	-0.4893	0.1194	-0.8798	0.9509

Tabel 5.4: Verschillen en berekende kwaliteit van interpolaties met raaien om de 100 meter voor 10 punten.

Opvallend is dat de verschillen van DIGIPOL op deze 10 punten veelal groter zijn dan de verschillen van zowel SURFIS als KRIGING. Verder blijkt uit de tabel dat de kwaliteitsindicatie van DIGIPOL bij de eerste twee punten geen waarden levert, terwijl hij hier wel heeft geïnterpoleerd. Verder blijken de waarden van de kwaliteitsindicator in tabel 5.4 ook niet consequent lager of hoger te zijn dan in tabel 5.3, dus wordt het niet duidelijk dat dit interpolatieresultaat slechter is dan bij het gebruik van de dwarsraaien om de 50 meter.

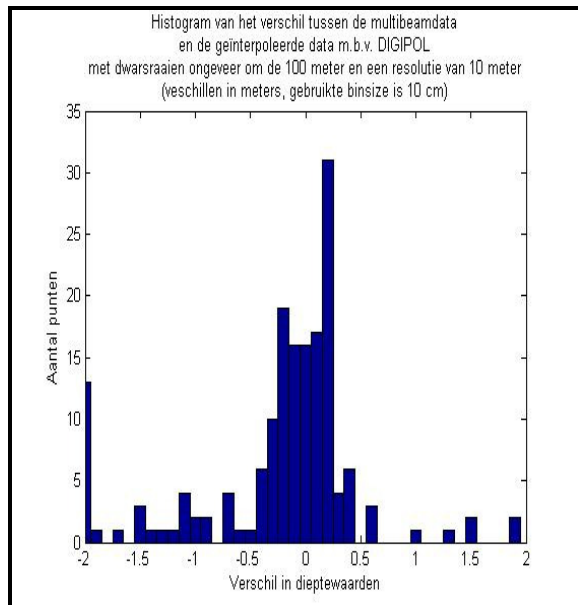
Bij SURFIS liggen de interpolatieverschillen van 5 punten binnen de gestelde marges van de voorspelfout van het bij behorende punt ($=\sigma$), degenen die er niet binnen vallen zijn aangegeven in het rood. Dit zijn er al meer dan bij het gebruik van de singlebeamraaien uit de vorige situatie (dwarsraaien om de 50 meter), maar nog altijd de helft van de steekproef valt binnen de gestelde marge. De overige helft van de steekproef valt grotendeels binnen een marge van 2σ . Verder valt het op dat het verschil tussen de waarden van de interpolatieverschillen en de voorspelfout niet zo groot meer is als in de vorige situatie, waar de voorspelfout ongeveer dezelfde grootte aannam.

Bij KRIGING valt het op dat de gegeven varianties bij alle punten groter zijn dan in de voorgaande situatie en dat er dus ook daadwerkelijk een slechter interpolatieresultaat verwacht wordt. Verder vallen de verschillen tussen het interpolatieresultaat en de multibeamdata hier bij 7 van de 10 punten binnen de door KRIGING gestelde marge. Ook hier geven de punten 5 en 6 het grootste verschil tussen de multibeamdata en de geïnterpoleerde waarde en horen deze twee punten, samen met het punt 8, bij de door KRIGING niet juist geschatte fouten die weer in de tabel rood zijn weergegeven. Echter zijn de voorspelde standaardafwijkingen zo groot (vaak rond de meter) dat deze waarden in de praktijk niet goed bruikbaar zijn.

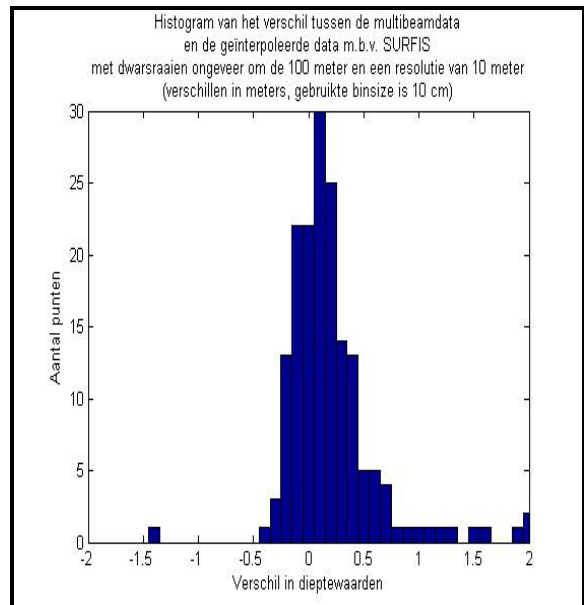
Wanneer de tabellen 5.3 en 5.4 met elkaar vergeleken worden, blijkt dat in de steekproef de kwaliteitsbeschrijving van SURFIS bij een raai afstand van 50 meter beter is dan de kwaliteitsbeschrijving van KRIGING, terwijl dit bij een raai afstand van 100 meter precies andersom is. De verschillen van SURFIS tussen de multibeamdata en de geïnterpoleerde data zijn echter in beide gevallen kleiner dan die van KRIGING en ook is de geleverde kwaliteitsbeschrijving van SURFIS veel realistischer dan de kwaliteitsbeschrijving van KRIGING. De door DIGIPOL geleverde kwaliteitsbeschrijving zal eerst nader moeten worden bekeken alvorens deze in de toegepaste analyse kan worden meegenomen.

5.2.5 Vergelijking van variaties in de resolutie

Naast de variaties in de onderlinge afstand tussen de bekende punten (zoals beschreven in de paragrafen 5.1.1 t/m 5.1.2 en 5.2.1 t/m 5.2.2 en in de bijlagen 2 en 3) zal ook de toegepaste gridgrootte (de resolutie) van belang zijn voor de kwaliteit van het uiteindelijke interpolatieresultaat. Uit de paragrafen 5.1.1 en 5.2.1 is gebleken dat een resolutie van 2 meter bij een raai afstand van 50 meter een gewenst resultaat oplevert, terwijl de interpolatie van de dwarsraaien die 100 meter uit elkaar lagen uit paragraaf 5.1.2 en 5.2.2 met een resolutie van 2 meter hele grote verschillen gaf. Voor deze raai configuratie zijn de interpolaties nog een keer uitgevoerd, maar nu met een resolutie van 10 meter. De verschillen die deze interpolaties gaven, zijn weergegeven in de histogrammen van de figuren (5.57 t/m 5.59).



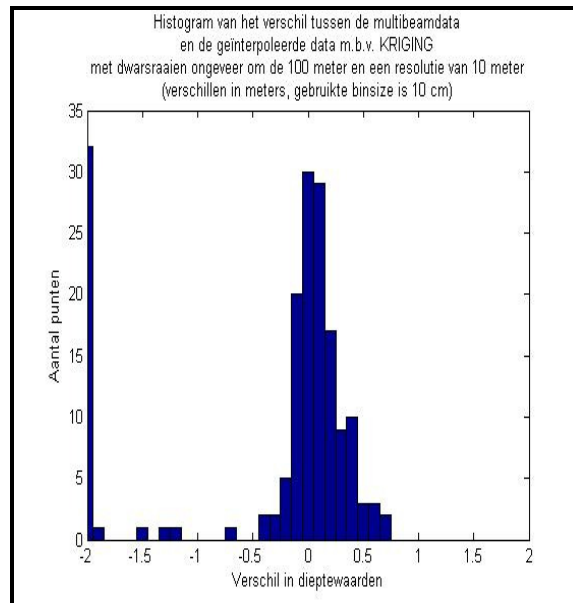
Figuur 5.57: Histogram van de verschillen tussen multibeam en DIGIPOL in het vergelijkingsgebied



Figuur 5.58: Histogram van de verschillen tussen multibeam en SURFIS in het vergelijkingsgebied

Wanneer deze histogrammen vergeleken worden met die in de figuren 5.53 t/m 5.55 is duidelijk te zien dat de verschillen meer de 0 benaderen en de standaardafwijkingen beduidend kleiner zijn. Doordat er gekozen is voor een grotere resolutie, ook voor de multibeamdata, zitten er minder details in de multibeamdata en worden deze details ook niet bij de berekening van de verschillen tussen het interpolatieresultaat en de multibeamdata meegenomen. Hierdoor ontstaan dus ook meer kleinere verschillen.

Opvallend is ook dat de interpolatie met DIGIPOL met een resolutie van 2 meter vooral veel grote positieve verschillen gaf, terwijl de grootste verschillen bij een resolutie van 10 meter juist hoofdzakelijk negatief zijn. Hier geeft DIGIPOL dus een interpolatiewaarde die hoger ligt dan de “werkelijke” multibeamwaarde. Bij SURFIS is dit juist andersom, deze gaf bij een interpolatie met een resolutie van 2 meter juist veel grote negatieve verschillen en dus een te hoge geïnterpoleerde waarde. In figuur 5.58 is te zien dat bij een resolutie van 10 meter de grote verschillen juist positief, en dus lager dan de werkelijke bodemdiepte, zijn.



Figuur 5.59: Histogram van de verschillen tussen multibeam en KRIGING in het vergelijkingsgebied

Bij KRIGING zijn de grootste verschillen tussen de twee histogrammen te zien. Hier liggen de verschillen veel dichterbij 0, waardoor ook het histogram uit figuur 5.59 (net als dat van DIGIPOL en SURFIS) een veel smaller histogram wordt. Wel is in figuur 5.59 nog steeds een groot aantal punten dat een verschil heeft van -2 meter. Ook hier is er namelijk nog steeds sprake van een slechtere interpolatie aan de randen die grote verschillen oplevert. Opvallend is wel dat in figuur 5.55 er aan weerszijden van het histogram van deze uitschieters zichtbaar waren, terwijl in figuur 5.59 dit alleen aan de kant van de negatieve verschillen het geval is.

Wanneer bovendien de totale fout, gemiddelde fout, RMSE, variantie en standaardafwijking met die uit paragraaf 5.1.2 worden vergeleken, ontstaan de tabellen 5.5 t/m 5.7. Het blijkt bij alledrie de interpolatiemethodes te gelden dat er bij de grotere resolutie van 10 meter, de fouten die er bij de interpolatie gemaakt worden kleiner zijn dan bij de resolutie van 2 meter. De verschillen tussen de interpolatie met een resolutie van 2 meter en van 10 meter zijn bij DIGIPOL verreweg het grootst.

	Resolutie 2 meter	Resolutie 10 meter
Totale fout	3701.2	-46.310
Gemiddelde fout	0.97630	-0.27402
RMSE	1.4447	0.91698
Variantie	1.1339	0.76576
Standaardafwijking	1.0649	0.87507

Tabel 5.5: Statistische eigenschappen van de interpolaties met DIGIPOL

	Resolutie 2 meter	Resolutie 10 meter
Totale fout	-993.42	34.231
Gemiddelde fout	-0.26205	0.20255
RMSE	0.55823	0.48168
Variantie	0.24295	0.19099
Standaardafwijking	0.49290	0.43702

Tabel 5.6: Statistische eigenschappen van de interpolaties met SURFIS

	Resolutie 2 meter	Resolutie 10 meter
Totale fout	4024.8	-145.98
Gemiddelde fout	1.0617	-0.86380
RMSE	2.8874	2.1305
Variantie	7.2098	3.7930
Standaardafwijking	2.6851	1.9476

Tabel 5.7: Statistische eigenschappen van de interpolaties met KRIGING

Uit deze drie tabellen blijkt dus dat er een afhankelijkheid bestaat tussen de gebruikte raaiafstand en de gebruikte resolutie. Bij deze raaiafstand geeft een grotere resolutie dus voor alledrie de interpolatiemethodes een beter interpolatieresultaat met kleinere verschillen. Er is dus geen ideale resolutie die voor alle mogelijke raaiafstanden het beste resultaat oplevert!

5.3 Vergelijking van gebruiksgemak en rekentijd

Het gebruiksgemak hangt af van meerdere factoren. Hiervan is het aantal door de gebruiker in te stellen variabelen samen met de gevoeligheid hiervan de belangrijkste factor. Maar ook de benodigde voorkennis en de werkomgeving kunnen bepalend zijn voor de keuze van het te gebruiken interpolatieprogramma.

DIGIPOL is een interpolatieprogramma dat de interpolatiemethode gebruikt met dezelfde naam. Dit geldt ook voor SURFIS, dit in tegenstelling tot KRIGING. Dit is puur een interpolatiemethode, waarvan er veel verschillende programma's beschikbaar zijn. Het in dit onderzoek gebruikte KRIGING-programma is EasyKrig (zie ook de literatuurlijst voor gedetailleerde informatie van de gebruikte software). Het kan dus zijn dat andere KRIGING-programma's op dit vergelijkingsvlak beter scoren.

DIGIPOL is een programma dat onder DOS werkt. Het is puur een interpolatieprogramma en heeft gedurende de interpolatie geen enkele visualisatie. De meest eenvoudige manier om de variabelen in te voeren is om deze in een tekstbestandje onder elkaar te zetten en dit op te slaan als een .set bestand. Hierdoor kan met één commando de interpolatie worden gestart. In dit .set bestand staat de naam genoemd van het bestand met de singlebeam-metingen (waarbij de raaien moeten worden ingevoerd op voetmaat) en kan er worden aangegeven in welk uitvoerformaat de interpolatiebestanden moeten worden gegeven en welke uitvoerbestanden door de gebruiker gewenst zijn. Er zijn twee uitvoerformaten mogelijk, namelijk een donar-formaat en een arcinfo-formaat. Bij het donar-formaat ontstaat er een bestand met een x-, y- en z-waarde, terwijl bij het arcinfo-formaat alleen de z-waarden worden gegeven.

Doordat de minimale en maximale waarde evenals de gridgrootte door de gebruiker worden opgegeven, is het dus voor iedere z-waarde te achterhalen bij welke coördinaten het hoort. Naast deze vijf door de gebruiker in te stellen variabelen, wordt er door DIGIPOL ook nog om een waarde voor de *directiondepth* en de *searchdepth* gevraagd (zie paragraaf 3.1 en verder voor de betekenis van deze variabelen) die ook kunnen worden ingevoerd in het .set bestand, evenals bepaalde contouren waarbinnen moet worden geïnterpoleerd (in het geval van de Petroleumhaven zijn dit dus de twee oevers).

SURFIS is een normaal .exe bestand waarbij er gedurende het interpolatieproces wel een visualisatie plaats vindt, namelijk een weergave van de berekende dwarsraaien, een van de locatie van de bekende punten en gedurende het interpolatieproces worden de geïnterpoleerde gridcellen direct weergegeven. Vooral de visualisatie van de berekende dwarsraaien is handig voor de gebruiker, omdat zo direct kan worden gezien of de bijbehorende variabelen goed zijn ingesteld. Is dit niet het geval, dan kan de interpolatie worden afgebroken, zodat niet onnodig veel tijd verloren gaat. Na de interpolatie is er ook nog een visualisatie van de berekende voorspelfout.

Voordat de interpolatie gestart kan worden dienen allereerst twee bestanden te worden aangemaakt, namelijk een .log en een .run bestand. Het .run bestand wordt gebruikt om het interpolatieprogramma aan te sturen en bevat naast de bestandsnaam van de bekende punten (in x-, y- en z-waarden) en die van het .log bestand, ook de minimale en maximale coördinaten en de resolutie. Verder kunnen ook hier de contouren (grenzen) worden opgegeven waarbinnen moet worden geïnterpoleerd en is het mogelijk om zelf een rivieras op te geven, maar dit kan ook door het programma zelf worden gedaan. Ook is het mogelijk om aan te geven of er een validatie plaats moet vinden (en zo ja, hoeveel punten er dan gevalideerd moeten worden). De variabelen die SURFIS gebruikt bij de interpolatie zijn een zoekrichtingsafstand, een maximale zoekafstand en een stapgrootte voor de variatie van de zoekrichting voor het berekenen van de dwarsraaien (ook is het de gebruiker mogelijk gemaakt om aan te geven hoeveel van deze raaien er op het beeldscherm worden weergegeven). Verder zijn de variabelen voor de interpolatie zelf de maximale zoekafstand in zowel de lengte- als de breedterichting. Dezelfde variabelen moeten ook worden opgenomen in het .log bestand, waar gedurende de interpolatie gegevens worden bijgevoegd.

Het gebruikte KRIGING-programma EasyKrig is een programma dat draait onder MATLAB, een rekenprogramma van Mathworks. Ook hier is een directe visualisatie aanwezig, zowel bij het inladen van de data, het berekenen van het variogram als de visualisatie van het uiteindelijke resultaat. Alle in te stellen variabelen zijn hier bovendien bij iedere stap weergegeven en hebben bepaalde defaultwaarden die door de gebruiker aangepast kunnen worden. Dit is bijvoorbeeld het geval bij het bepalen van het beste variogrammodel. Door gebruik te maken van de least-squares-fit wordt door het programma het best passende model bepaald. Ook kan de mate van richtingsafhankelijkheid worden aangepast (de standaardwaarden zijn anisotroop). Bij de eigenlijke interpolatie moeten ook hier weer de minimale en maximale coördinaten en de te gebruiken resolutie worden ingesteld, evenals de soort KRIGING die moet worden toegepast (ook hier is er een standaardmethode: ordinary KRIGING). Alle gebruikte data (zowel in- als output) en de waarden van de gebruikte variabelen worden in de huidige werkdirectory in MATLAB bewaard, maar deze worden niet automatisch opgeslagen. Dit moet door de gebruiker zelf gedaan worden (wanneer MATLAB wordt afgesloten zonder dat deze gegevens zijn opgeslagen zullen de resultaten van de interpolatie dus verloren gaan).

Uit het bovenstaande blijkt dat DIGIPOL het interpolatieprogramma is dat het minste aantal instelparameters heeft. Bovendien geldt dat er voor deze instelparameters een soort standaardwaarden worden gebruikt (die afhankelijk zijn van de raai afstand). Dit is een waarde van 2,5 keer de raai afstand voor de *searchdepth* en de breedte van de interessante geulen en minimaal de raai afstand voor de *directiondepth*. Ook is er gekeken naar wat een kleine wijziging in de waarde van de parameters voor resultaat had op de interpolatie. Hier bleek dat een verandering van 10 meter bij zowel de *searchdepth* als de *directiondepth* weinig verandering gaf aan het interpolatieresultaat. Echter is er bij DIGIPOL helemaal geen visualisatie van datgene wat er gebeurt, dus er kunnen geen conclusies aan het resultaat worden verbonden voordat er een nabewerking is gedaan om het geheel te visualiseren.

Bij KRIGING kunnen heel erg veel parameters worden ingesteld. Doordat er echter een least-squares-fit kan worden gebruikt, hoeven veel van deze waarden niet meer te worden gespecificeerd door de gebruiker. Maar een kleine verandering in deze parameters geeft wel een volledig ander interpolatieresultaat. Wel is er door de gebruiker kennis van de mate van richtingsafhankelijkheid nodig. Bovendien wordt er bij het programma EasyKrig van uitgegaan dat de gebruiker bekend is met de basiskennis van MATLAB.

SURFIS heeft in verhouding tot de andere twee programma's de meeste in te stellen parameters. Een voordeel is wel dat de meeste parameters nodig zijn voor het berekenen van de dwarsraaien en dat het resultaat hiervan wordt getoond voordat er aan de interpolatie begonnen gaat worden. Een nadeel is dat de waarden van deze parameters op twee plaatsen (zowel in de .run als .log bestanden) moeten worden ingevuld. Door onoplettendheid kunnen hier dus inconsistente bestanden ontstaan. Voor het interpoleren met een andere resolutie hoeft echter alleen maar een andere gridgrootte te worden opgegeven, de berekende dwarsraaien zijn namelijk alleen maar afhankelijk van de vorm van de haven of rivier. Bij SURFIS zijn de door de gebruiker in te stellen parameters niet heel erg gevoelig zoals bij KRIGING, maar gevoeliger dan bij DIGIPOL.

De totale rekestijd die de drie interpolatieprogramma's nodig hadden om het eindresultaat te verkrijgen verschilden nogal en waren afhankelijk van het geïnterpoleerde gebied. Uit paragraaf 5.1 en verder is gebleken dat de interpolatie met SURFIS als resultaat de kleinste interpolatiegebieden gaf. Hierdoor was het programma dan ook sneller klaar dan de interpolatie met DIGIPOL of KRIGING. Wanneer bij DIGIPOL geen maximum aantal iteraties door de gebruiker was opgegeven duurde de interpolatie ongeveer net zo lang als die van KRIGING. Dit alles was afhankelijk van de afstand tussen de raaien en dus afhankelijk van het aantal gebruikte bekende punten. Bij de raaiconfiguratie waar de dwarsraaien ongeveer 50 meter uit elkaar lagen duurde de interpolatie met DIGIPOL en de interpolatie met KRIGING toch al gauw zo'n 10 tot 15 minuten, SURFIS was hier een heel klein beetje sneller. Wanneer er echter met een grotere resolutie werd gerekend was de interpolatie met KRIGING toch beduidend langer bezig dan de interpolaties met DIGIPOL en SURFIS, die ongeveer even lang bezig waren. Als laatste gaf een grotere raaiafstand een snellere interpolatie met SURFIS (het geïnterpoleerde gebied was hier ook veel kleiner), DIGIPOL was een goede tweede en KRIGING was hier wederom het traagst. Het berekenen van de dwarsraaien bij SURFIS ging zeer snel (enkele seconden). Hierdoor was het handig om deze eerst te visualiseren voordat het (langer durende) interpoleren werd gestart. Hierdoor heb je een controle voordat je het eindproduct hebt verkregen. Dit was bij zowel DIGIPOL als KRIGING niet het geval. Hier bestond dus een grotere kans dat de interpolatie moest worden overgedaan.

Niet alleen de totale rekestijd, maar ook het geheugengebruik is van belang. Wanneer er namelijk weinig geheugen wordt gebruikt gedurende een langere tijd (en het programma dus eenvoudig op de achtergrond kan draaien zonder de andere processen te vertragen), is dit wenselijker dan dat voor een kortere tijd de computer waarop de interpolatie draait niet voor andere doeleinden kan worden gebruikt. DIGIPOL draaide het eenvoudigst op de achtergrond, terwijl KRIGING zo veel geheugen in beslag nam dat er nauwelijks meer iets naast gedaan kon worden. Doordat SURFIS gedurende het draaien van het programma nog om input van de gebruiker vraagt, draaide dit ook vrij lastig op de achtergrond. Wel was het mogelijk om zowel DIGIPOL als SURFIS tegelijk te laten interpoleren, alleen moest er dan op gelet worden wanneer SURFIS vroeg om gebruikersinput (er verschijnt dan geen pop-up).

HOOFDSTUK 6: Conclusies en aanbevelingen

Uit het vorige hoofdstuk is gebleken dat er tussen de interpolatiemethodes van DIGIPOL, SURFIS en KRIGING op alle genoemde vergelijkingsvlakken toch wel een aantal verschillen zijn aan te wijzen. In dit laatste hoofdstuk zullen deze verschillen op een rijtje worden gezet en aan het einde zullen nog enkele aanbevelingen voor verder onderzoek en veranderingen aan de software worden besproken.

Wanneer de verschillen tussen de multibeamdata en de interpolatieresultaten van DIGIPOL, SURFIS en KRIGING uit paragraaf 5.1 en 5.2 (en dus ook uit bijlage 2 en 3) worden vergeleken, blijkt allereerst dat de gekozen raaiafstand van groot belang is voor de omvang van de uiteindelijke interpolatiefout. Deze interpolatiefout is vele ordes groter dan een meetfout op een bekend punt, de gebruikelijk enkele centimeters bedraagt. Bij een zo klein mogelijke raaiafstand zorgen alledrie de interpolatiemethodes voor het beste resultaat. Opvallend is echter dat de resultaten van DIGIPOL en SURFIS bij een raaiafstand van 50 meter weinig verschillen laten zien, terwijl de verschillen bij een raaiafstand van 100 meter heel erg groot zijn. Vooral het resultaat van DIGIPOL geeft hier hele grote interpolatiefouten die soms wel kunnen oplopen tot meer dan een meter.

Ook is de manier waarop de raaien zijn georiënteerd van belang voor het uiteindelijke interpolatieresultaat. Opvallend was dat er bij de interpolatie met DIGIPOL waarbij de dwarsraaien om de 100 meter waren aangevuld met twee lengteraaian, ondanks dat de literatuur aangaf dat DIGIPOL hier ongevoelig voor is, toch een aanmerkelijke verbetering in het interpolatieresultaat waar te nemen was. Dit kwam doordat bij alleen dwarsraaien om de 100 meter, er in de buitenkant van de bocht te weinig bekende punten bij de interpolatie werden meegenomen. Bij SURFIS waren er, behalve dicht bij de toegevoegde lengteraaian, weinig verschillen merkbaar met alleen de dwarsraaien. Wanneer er gebruik wordt gemaakt van raaien die niet dwars op de lengterichting liggen, maar deze wel goed benaderen, geeft SURFIS hier het beste resultaat.

KRIGING gaf bij alle interpolaties grotere verschillen met de multibeamdata dan de interpolaties met DIGIPOL of SURFIS. Dit komt doordat KRIGING geen rekening houdt met de verandering in richtingsafhankelijkheid in het geïnterpoleerde gebied. Dit levert vooral slechte interpolatieresultaten op de plaatsen waar er tussen twee punten die dicht bij elkaar liggen grote verschillen in dieptewaarden zijn. KRIGING geeft dus in het geval van de Petroleumhaven vooral aan de oevers grote verschillen. Wordt KRIGING gebruikt voor de interpolatie met een grilliger verloop van de bodem van een rivier of van een zee, zullen er over een veel groter deel van het geïnterpoleerde gebied grote interpolatiefouten worden gemaakt.

Naast de onderlinge afstand en de oriëntatie van de raaien is ook de gekozen resolutie bepalend voor de kwaliteit van het interpolatieresultaat. Er is gebleken dat er een afhankelijkheid bestaat tussen de gebruikte raaiafstand en de gebruikte resolutie. Bij de relatief grote raaiafstand van 100 meter geeft een grotere resolutie van 10 meter (in plaats van de eerder gebruikte 2 meter) voor alledrie de interpolatiemethodes een beter interpolatieresultaat met kleinere verschillen ten opzichte van de multibeamdata. Dit komt ook mede doordat de multibeamdata wordt verwerkt tot een grid met dezelfde resolutie en er dus bepaalde details van de multibeamdata verdwijnen. Deze details worden vaak niet door de interpolatiemethode gedetecteerd waardoor er verschillen ontstaan met de multibeamdata. Er is dus geen ideale resolutie die voor alle mogelijke raaiafstanden het beste resultaat oplevert!

Wanneer de kwaliteitsbeschrijving, zoals die door de verschillende methodes wordt geleverd, wordt onderzocht blijkt dat de door KRIGING geleverde kwaliteitsbeschrijving vaak een te grote variantie levert voor een geïnterpoleerd punt. Deze variantie is alleen afhankelijk van de afstand tot een bekend punt en niet van de positie die dit geïnterpoleerde punt heeft ten opzichte van de richting van de dieptelijnen. De kwaliteitsbeschrijving van DIGIPOL bestaat uit een drietal onderdelen, maar geen ervan geeft een goede indicatie van de omvang van de interpolatiefout op een onbekend punt. De door SURFIS geleverde kwaliteitsbeschrijving klopte voor het grootste deel van het aantal punten in de steekproef met de verschillen die er tussen de multibeamdata en de geïnterpoleerde dieptewaarden zaten.

Naast de verschillen in de resultaten zijn er ook enkele verschillen in het gebruikersgemak aan te wijzen. Zo moet voor DIGIPOL het bestand met de meetwaarden worden gesorteerd op voetmaat. Dit is een beperking van het gebruik die alleen noodzakelijk is voor de berekening van het kwaliteitsbestand met de hoekafwijking. Daar dit kwaliteitsbestand geen indicatie geeft van de gemaakte interpolatiefout in een bepaald punt is deze beperking niet van belang voor het uiteindelijke interpolatieresultaat. Bovendien is het bij DIGIPOL niet mogelijk om de verschillen tussen de ruwe interpolatie en de gerichte interpolatie te bekijken of de resultaten van de verschillende iteraties van de gerichte interpolatie. Deze worden namelijk over elkaar heen geschreven. Als laatste geeft de kwaliteitsindicator van DIGIPOL een nauwkeurighedsbeschrijving per raai en niet per punt, zodat ook dit niet van belang is voor de kwaliteit van het resultaat van de interpolatie (het is alleen een controle op de ingewonnen data). De instelparameters waren daarentegen vrij eenvoudig goed in te stellen en de interpolaties konden makkelijk op de achtergrond worden gedraaid.

Bij SURFIS scoorde de gebruiksvriendelijkheid een beetje minder, en dan met name de beschrijving van de instelparameters. Ook was het niet erg handig dat deze instelparameters op twee locaties moesten worden ingevuld. Maar doordat er gebruik wordt gemaakt van visualisaties tijdens het interpolatieproces, krijgt de gebruiker een veel betere indicatie of dit goed verloopt dan bij DIGIPOL het geval was. Het draaien van de interpolatie op de achtergrond was wel mogelijk, maar ging niet zoals bij DIGIPOL het geval was.

De gebruiksvriendelijkheid van het gebruikte programma voor de KRIGING-interpolaties laat weinig te wensen over. Zo wordt er gebruik gemaakt van visualisaties tijdens het interpolatieproces en kunnen de meest optimale waarden voor de interpolatieparameters worden berekend met één druk op de knop. Er gaat bij deze interpolatie echter wel de meeste tijd verloren en is het in de tussentijd niet mogelijk om eenvoudig met andere programma's op dezelfde computer te werken zonder dat hiervan de snelheid wordt ingeperkt.

Wanneer al deze conclusies worden samengenomen in een eindwaardering, komt het gebruik van SURFIS als beste uit de bus. Niet alleen geeft deze bij de meeste interpolaties het beste interpolatieresultaat, ook de voorspelling van de gemaakte interpolatiefout komt goed overeen met de verschillen zoals die zijn berekend met de multibeamdata.

Enkele aanbevelingen met betrekking tot DIGIPOL:

- Een verbetering van de huidige kwaliteitsbeschrijving, zodat ook per geïnterpoleerd punt de voorspelde interpolatiefout aan de gebruiker kan worden verstrekt.
- Het leveren van deze kwaliteitsbeschrijving in alle te kiezen uitvoerformaten.
- Het gebruiken van meer visualisaties naar de gebruiker toe, zodat het gevolg van de gekozen instellingen op de dataset kenbaar wordt gemaakt.

Enkele aanbevelingen met betrekking tot SURFIS:

- Een verbetering van de huidige beschrijving van de in te stellen parameters, zodat het duidelijker wordt wat veranderingen in waarden van deze parameters voor effect hebben op het uiteindelijke interpolatieresultaat.
- Het aanpassen van de te gebruiken .log files, zodat de hierin opgenomen waarden van de parameters uit de waarden in de .run files worden gegenereerd en er door de gebruiker geen .log file meer hoeft te worden aangemaakt.

Enkele aanbevelingen met betrekking tot KRIGING:

- Door het partitioneren van de dataset waarvan bekend is dat deze veranderingen in de hoofdrichting bevat, kan het interpolatieresultaat worden verbeterd.
- Daar dit voor kronkelende rivieren enorm veel werk is, moet er misschien worden gezocht naar een methode waarbij de richtingsafhankelijkheid kan veranderen in de dataset.

LITERATUURLIJST

- [1] Barendrecht, L.G. en A.L.M. Dekkers, *Practische inleiding tot Kriging, een methode voor ruimtelijke statistische analyse*, maart 1993
- [2] Blacquiere, G. en K. van Woerde, *Multibeam Echosounding: Beamforming versus Interferometry*, maart 1998
www.elac-nautik.de/web/site/pdf/vertech/beamforming.pdf
- [3] Brissette, M., *Applications of Multibeam Sonars In Mine Warfare*, 1996
http://www.omg.unb.ca/~mbriss/PDF_Docs/mbes_in_mine_warefare.pdf
- [4] Fioole, A., *De achtergronden van het computerprogramma SURFIS*. Deel D: SURFIS40, april 2005
- [5] Fioole, A., *De nauwkeurigheid bij het ruimtelijk interpoleren met SURFIS van bodemhoogten in het spijkerboor*, Dordrecht, januari 2000
- [6] Functioneel Ontwerp DIGIPOL, versie 4.1, maart 2004
- [7] Gebruikershandleiding DIGIPOL, versie 4.1, maart 2004
- [8] Hennis, N., *Automatic Outlier Detection in Multibeam Data*, Afstudeerscriptie Technische Universiteit Delft, 2003
- [9] Jong, C.D. de, et al. *Hydrography*, Delft: Universitaire Pers, 2002
- [10] Jonge, J.J. de, *Overzetten bodempeilingen Waal/Pannerdensch kanaal in GRID*, oktober 1996
- [11] Kitanidis, P.K., *Introduction to geostatistics*, Cambridge University Press, 2000
- [12] Sies, E.M., *Simulatie van een quickscan*, april 2000
- [13] Wiegmann, N., et al. *Opnametechnieken vaklodingen, vergelijking tussen verschillende inwintechnieken*, Delft, maart 2005
- [14] Wolk, M. van der, *Het kansmodel van digitale hoogte modellen*, Afstudeerscriptie Technische Universiteit Delft, februari 2000

gebruikte software:

- DIGIPOL: DIGIPOL (Rijkswaterstaat, RIKZ) versie 4.1, 2 maart 2004
- SURFIS: SURFIS2d (Rijkswaterstaat, RIZA) versie SURFIS40, 15 april 2004
- KRIGING: EasyKrig (Woods Hole Oceanographic Institution) versie 3.0, 15 juli 2004
MATLAB (The Mathworks, Inc.) versie 7.0, 13 september 2004

BIJLAGEN

Bijlage 1: Verklaring van variogrammodellen en parameters

In het programma EasyKrig is er een keuze uit 13 variogrammodellen. Dit zijn de meest gebruikelijke modellen en zijn hieronder in een tabel weergegeven:

model	$\gamma(h)=$
1) Spherical	$C(0) \cdot [1.5 \cdot h/L - 0.5 \cdot (h/L)^3] + \gamma(0)$
2) Exponential	$C(0) \cdot [1 - \exp(-h/L)] + \gamma(0)$
3) Gaussian	$C(0) \cdot [1 - \exp(-(h/L)^2)] + \gamma(0)$
4) Linear	$C(0) \cdot h + \gamma(0)$
5) Sinc	$C(0) \cdot [1 - \sin(b \cdot h)] + \gamma(0)$
6) Exponential cosine(type I)	$C(0) \cdot [1 - \cos(b \cdot h) \cdot \exp(-h/L)] + \gamma(0)$
7) Exponential cosine(type II)	$C(0) \cdot [1 + \cos(b \cdot h) \cdot \exp(-h/L)] + \gamma(0)$
8) Gaussian cosine	$C(0) \cdot [1 - \cos(b \cdot h) \cdot \exp(-(h/L)^2)] + \gamma(0)$
9) Bessel(J_0)	$C(0) \cdot [1 - J_0(b \cdot h)] + \gamma(0)$
10) Exponential Bessel	$C(0) \cdot [1 - J_0(b \cdot h) \cdot \exp(-h/L)] + \gamma(0)$
11) Gaussian Bessel	$C(0) \cdot [1 - J_0(b \cdot h) \cdot \exp(-(h/L)^2)] + \gamma(0)$
12) Gaussian Linear	$C(0) \cdot [1 - (1 - b \cdot h) \cdot \exp(-(h/L)^2)] + \gamma(0)$
13) General Exponential Bessel	$C(0) \cdot [1 - J_0(b \cdot h) \cdot \exp(-(h/L)^P)] + \gamma(0)$

Tabel B.1: Mogelijke variogrammodellen

De gebruikte parameters hierbij zijn:

$\gamma(0)$	Nugget
$C(0)$	Sill-nugget = $R(0) - \gamma(0)$
h	Afstand tussen twee punten
L	Lengthscale
b	Hole effect
J_0	Bessel functie van orde 0
P	Power

Tabel B.2: Variogramparameters

De begrippen nugget en sill zijn al in hoofdstuk 3.3 aan bod gekomen, de lengthscale is een genormaliseerde afstand (werkelijke afstand gedeeld door de maximale afstand tussen twee bekende punten in het te interpoleren gebied) die de ligging van het buigpunt van het variogram bepaalt. Het hole-effect geeft de aanwezigheid van gebieden met een hele lage z-waarde ten opzichte van de omringende gebieden. In het geval van de petroleumhaven was de waarde van het hole-effect altijd 0. De power van functie 13 geeft de mate van steilheid van het model weer (bovendien geeft een power van 1 het model 10 en een power van 2 geeft het model 11).

Voor een uitleg van de Bessel-functies wordt verwezen naar de website www.efunda.com

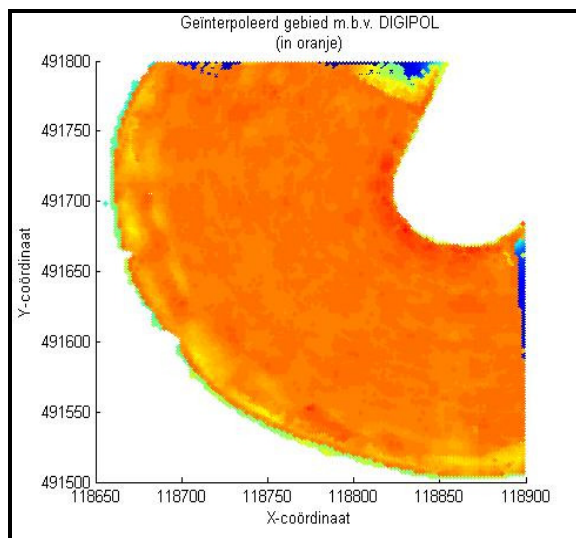
Bijlage 2: Resultaten van de overige raaiconfiguraties

Resultaat dwarsraaien om de 50m met twee lengteraaien

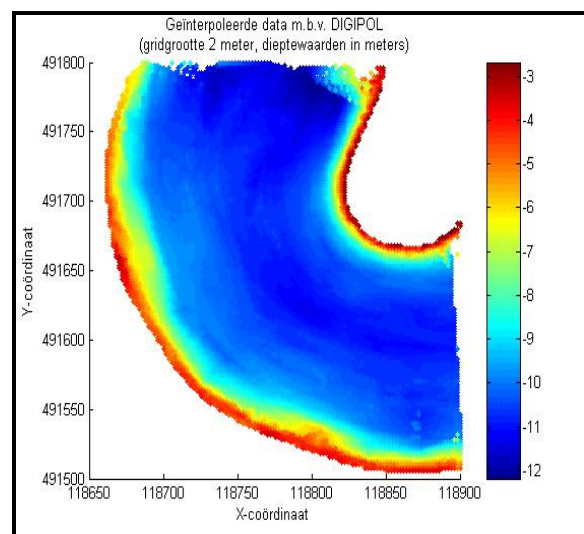
Bij de singlebeamconfiguratie waar de dwarsraaien met een onderlinge afstand van 50 meter zijn verstevigd met twee raaien in de lengterichting, was de verwachting dat dit bij DIGIPOL geen verschil zou uitmaken met het resultaat van paragraaf 5.1.1 (DIGIPOL zou veronderstellen dat de gebruikte singlebeamraaien ongeveer loodrecht op de richting van de dieptelijnen liggen), maar dat het voor SURFIS en ook voor KRIGING een beter resultaat zou opleveren. Voor de interpolatie met KRIGING heb je nu ook in de lengterichting informatie over punten die dicht bij elkaar liggen (deze wordt verwerkt in het variogram) en bij SURFIS verwacht je rondom de gebruikte lengteraaien een beter interpolatieresultaat. Ook hier staan de resultaten hieronder beschreven.

Resultaat DIGIPOL

Met deze raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 50 meter met twee lengteraaien, werd met DIGIPOL een even groot deel van de Petroleumhaven geïnterpoleerd als bij dezelfde raaiconfiguratie maar dan zonder de lengteraaien. In figuur B.1 is de locatie van het geïnterpoleerde gebied weergegeven. Het uiteindelijke resultaat van de interpolatie is weergegeven in figuur B.2.

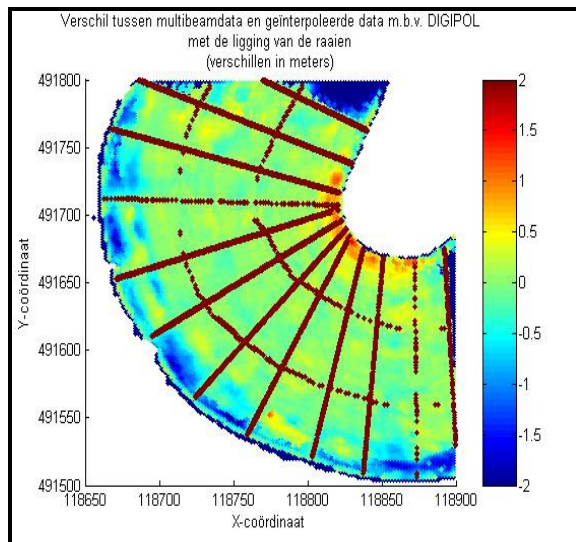


Figuur B.1: Locatie van het geïnterpoleerde gebied

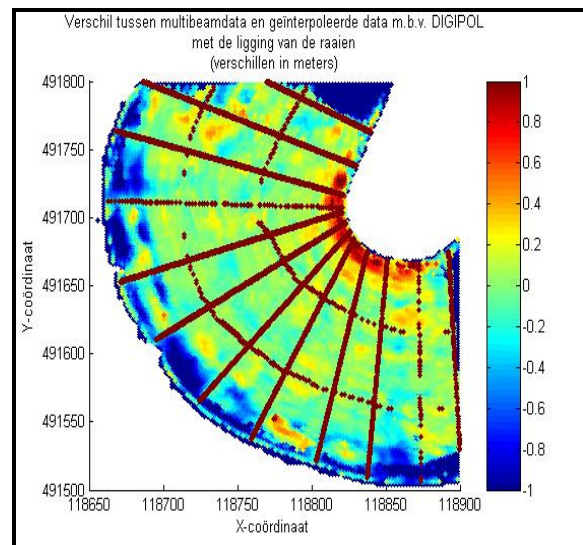


Figuur B.2: Het geïnterpoleerde gebied

Bij deze interpolatie is er, net als bij een raaiconfiguratie met een onderlinge afstand van 50 meter zonder de lengteraaien, gekozen voor een waarde van 125 meter voor de *searchdepth* en 150 meter voor de *directiondepth*. Het verkregen resultaat van figuur B.2 geeft op het eerste gezicht een bevestiging van het eerder genoemde vermoeden dat deze figuur identiek moet zijn aan figuur 5.11.



Figuur B.3: Verschil –2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

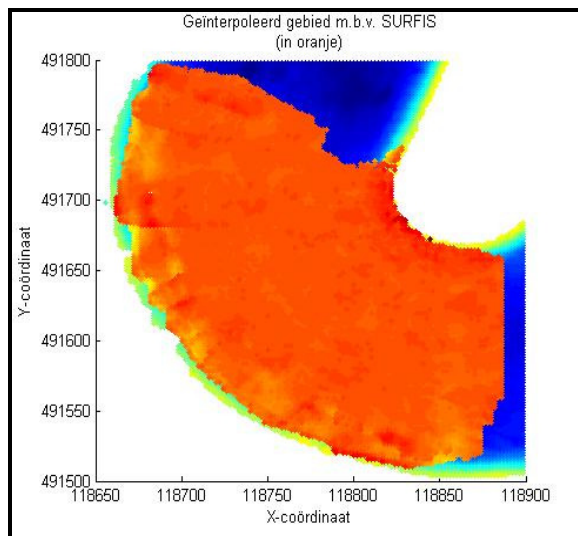


Figuur B.4: Verschil –1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

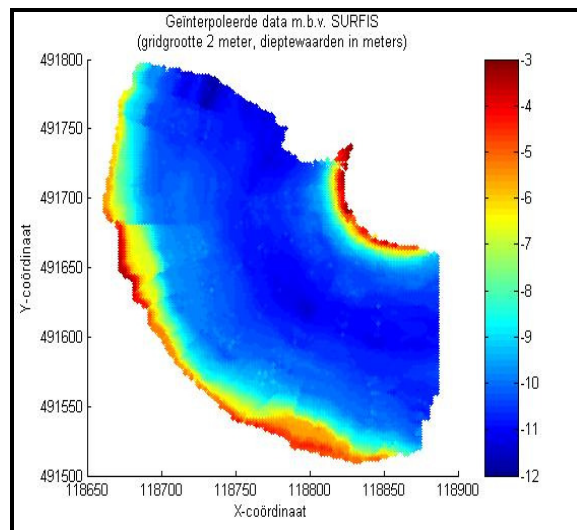
Wanneer bovendien ook hier de verschillen tussen het interpolatieresultaat en de multibeamdata worden gevisualiseerd (zie de figuren B.3 en B.4), blijken ook deze gelijk te zijn aan de figuren 5.12 en 5.13 uit paragraaf 5.1.1. Voor de interpolatie met DIGIPOL geeft deze extra meetinformatie dus geen beter interpolatieresultaat.

Resultaat SURFIS

Wanneer de locatie van het interpolatieresultaat van SURFIS (zie figuur B.5) wordt vergeleken met die uit paragraaf 5.1.1, blijkt dat er in figuur B.5 aan de rechterkant bovenin een stukje van de haven minder wordt geïnterpoleerd dan bij de raaiconfiguratie zonder de lengteraaien. Dit is opmerkelijk, omdat je bij het toevoegen van meetinformatie niet verwacht dat het geïnterpoleerde gebied kleiner wordt. Het interpolatieresultaat dat, met dezelfde instellingen van de variabelen als in paragraaf 5.1.1, met SURFIS wordt verkregen is weergegeven in figuur B.6.

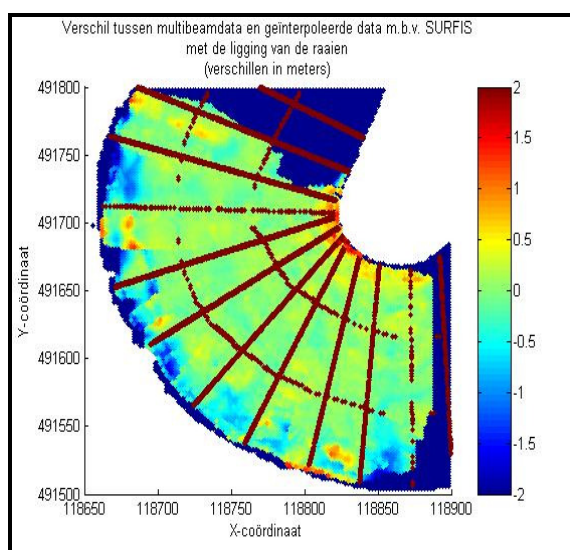


Figuur B.5: Locatie van het geïnterpoleerde gebied

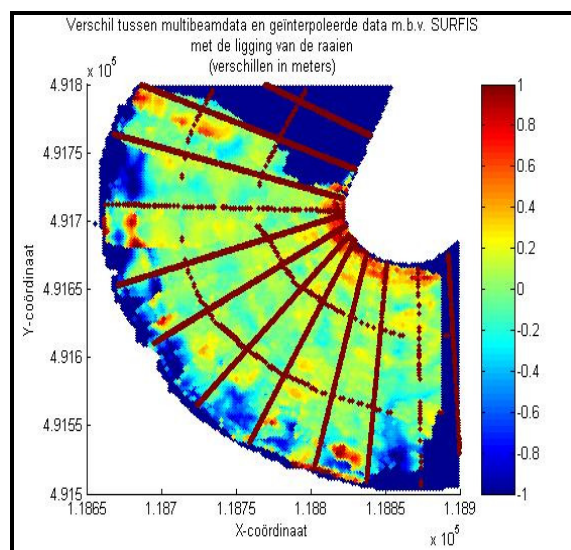


Figuur B.6: Het geïnterpoleerde gebied

Wat wel wordt verwacht is dat het interpolatieresultaat wordt verbeterd. Wanneer figuur B.6 wordt vergeleken met figuur 5.15 uit paragraaf 5.1.1 blijken ook hier de verschillen niet goed te achterhalen te zijn. Wanneer ook hier weer de verschillen tussen het interpolatieresultaat en de multibeamdata worden berekend, ontstaan de figuren B.7 en B.8.



Figuur B.7: Verschil -2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

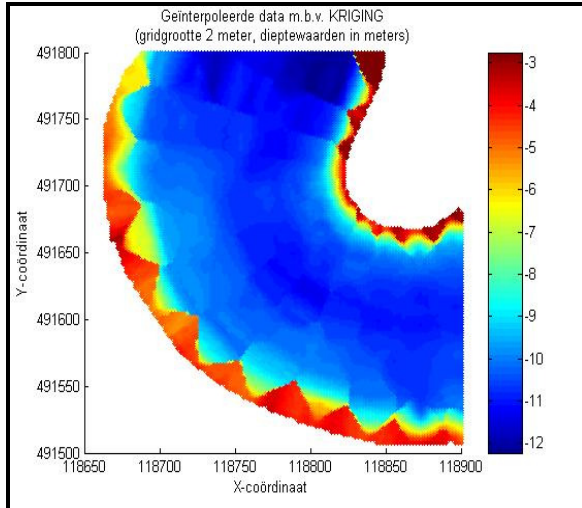


Figuur B.8: Verschil -1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

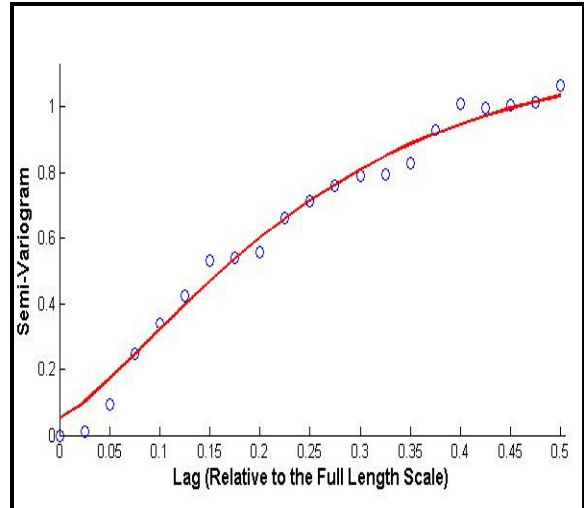
Ook hier zijn de verschillen tussen het interpolatieresultaat en de multibeamdata weer vrij klein. Wanneer deze figuren echter worden vergeleken met die uit paragraaf 5.1.1 blijken ook hier geen verschillen merkbaar te zijn en dus geven de extra metingen ook hier geen beter resultaat.

Resultaat KRIGING

Wanneer de singlebeamdataset met de dwarsraaien om de 50 meter met de twee lengteraaien wordt geïnterpoleerd met KRIGING ontstaat de interpolatiemap zoals deze is weergegeven in figuur B.9. Ook hier valt op dat er op het eerste gezicht geen verschillen te ontdekken zijn met figuur 5.19.

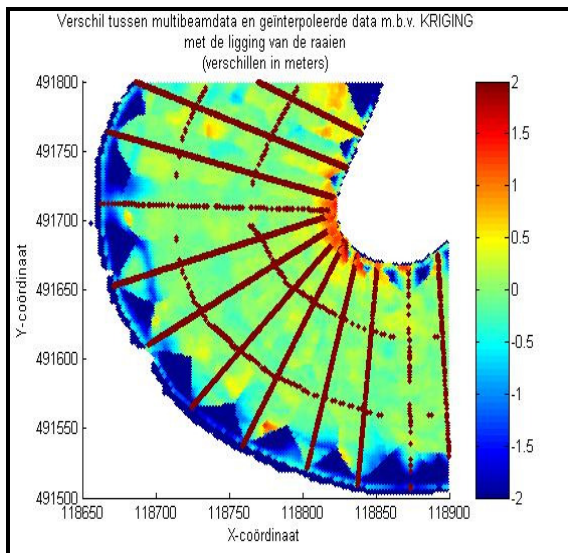


Figuur B.9: Het geïnterpoleerde gebied

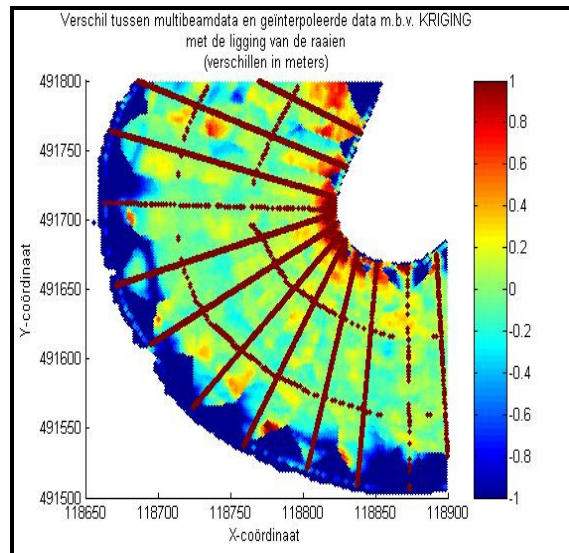


Figuur B.10: Het variogram van de singlebeamdata

Ook bij deze interpolatie met KRIGING is er gebruik gemaakt van model 13 (zie bijlage 1) met een range van 0.5 voor het berekenen van het juiste variogrammodel, maar met een nugget van 0.05, een sill van 1.14, een lengthscale van 0.26, een power van 1.30 en een holescale van 0. Het gebruikte variogram is weergegeven in figuur B.10.



Figuur B.11: Verschil -2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

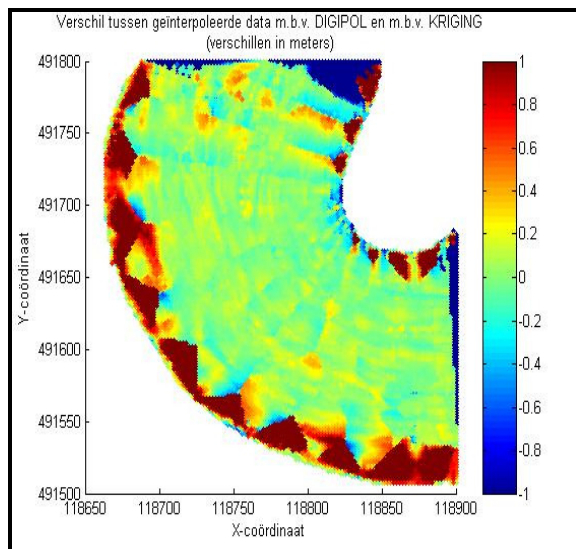


Figuur B.12: Verschil -1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

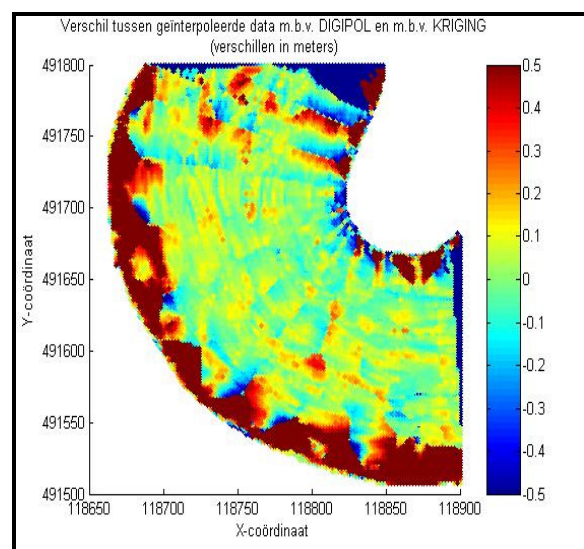
Ook hier zijn de verschillen tussen het interpolatieresultaat en de multibeamdata uitgerekend en weergegeven (zie de figuren B.11 en B.12). En ook hier blijkt dat er nauwelijks verschillen zichtbaar zijn met de resultaten uit paragraaf 5.1.1. Alleen heel erg dicht bij de lengteraaian treed een kleine verbetering van het interpolatieresultaat op.

Verschillen tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING

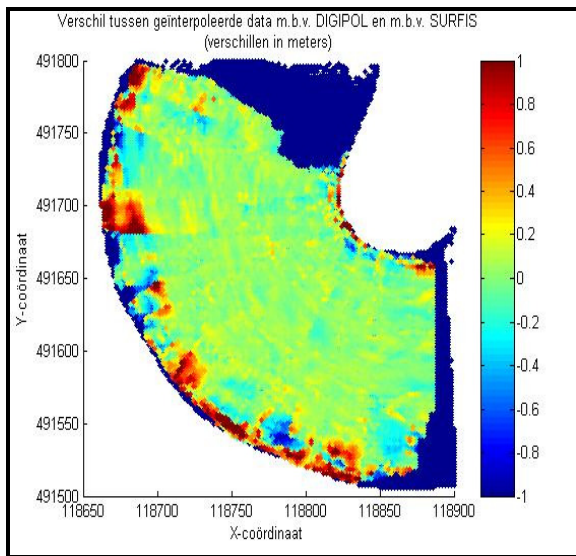
Doordat de verschillen tussen de interpolatie met DIGIPOL met alleen dwarsraaien om de 50 meter en die met twee extra lengteraaian nauwelijks een ander resultaat opleveren en ook KRIGING kleine verschillen geeft, zijn de verschillen tussen DIGIPOL en KRIGING ook niet veel anders dan in paragraaf 5.1.1. Wel is in de figuren B.13 en B.14 zichtbaar dat rond de positie van de lengteraaian het een en ander veranderd is. Zo zijn de verschillen vlak naast de lengteraaian groter dan in paragraaf 5.1.1 het geval was, terwijl de verschillen op de positie van de lengteraaian kleiner zijn geworden. Dit alles komt door het interpolatieresultaat van de KRIGING-methode.



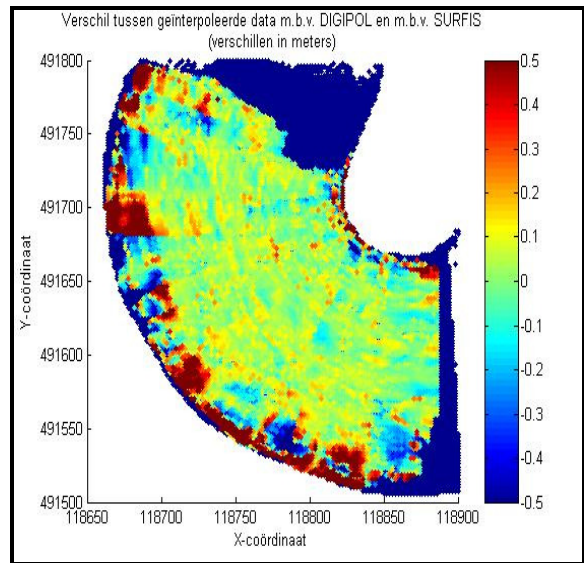
**Figuur B.13: Verschil -1 tot +1 van KRIGING
- DIGIPOL**



**Figuur B.14: Verschil -0.5 tot +0.5 van KRIGING
- DIGIPOL**

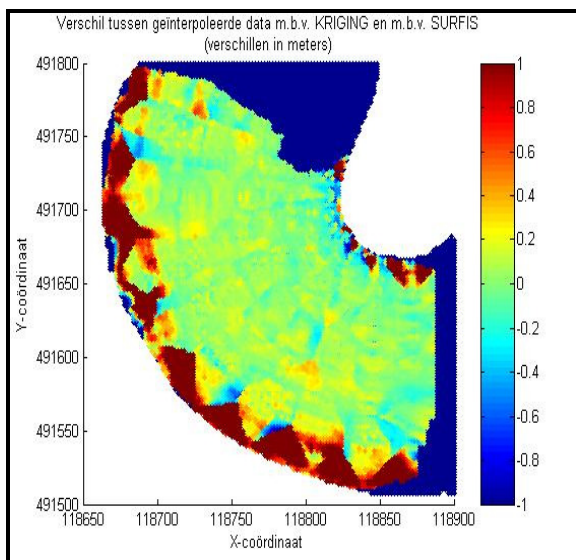


**Figuur B.15: Verschil –1 tot +1 van DIGIPOL
– SURFIS**

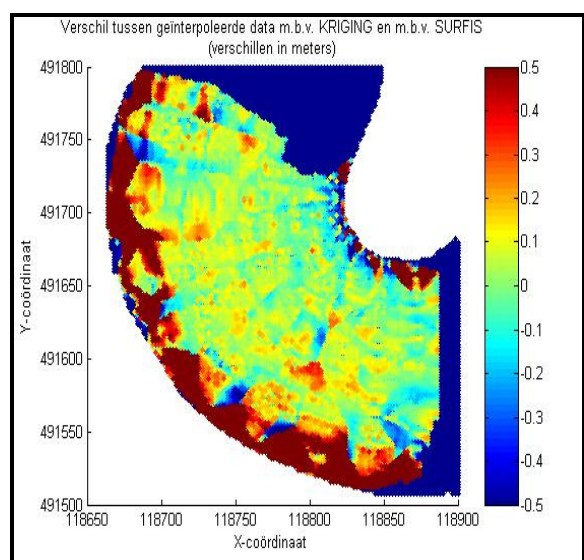


**Figuur B.16: Verschil –0.5 tot +0.5 van DIGIPOL
– SURFIS**

Wanneer de interpolatieverschillen tussen DIGIPOL en SURFIS bekeken worden (zie de figuren B.15 en B.16), blijkt inderdaad dat er hier geen verschillen zichtbaar zijn met de figuren 5.25 en 5.26 uit paragraaf 5.1.1. Daarentegen geven de verschillen tussen KRIGING en SURFIS (zie de figuren B.17 en B.18) wel enkele merkbare verschillen. Net als bij het verschil met DIGIPOL geeft ook het verschil met SURFIS een kleiner verschil op de lengtraaien en een groter verschil vlak naast de lengtraaien. Aan de randen en tussen de lengtraaien in blijven ook hier de verschillen gelijk aan die uit paragraaf 5.1.1.



**Figuur B.17: Verschil –1 tot +1 van KRIGING
– SURFIS**



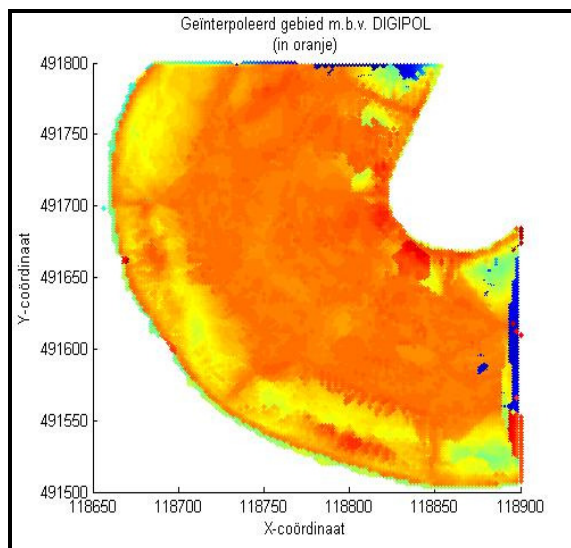
**Figuur B.18: Verschil –0.5 tot +0.5 van KRIGING
– SURFIS**

Resultaat dwarsraaien om de 100m met twee lengteraaien

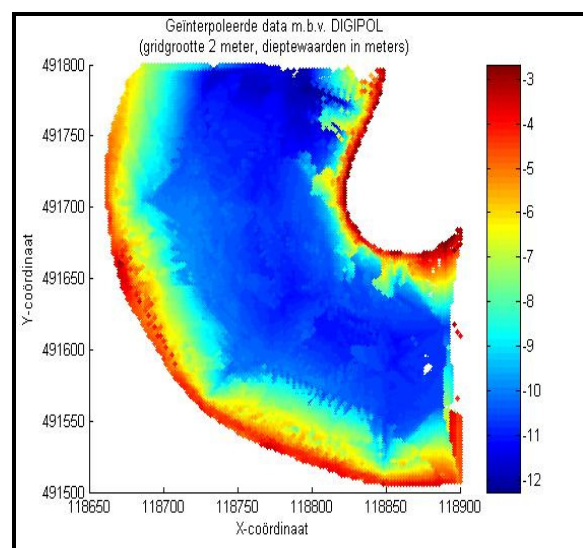
Ook hier was de eerste verwachting dat het toevoegen van lengteraaien aan de singlebeamdataset van dwarsraaien om de 100 meter, vooral bij SURFIS en KRIGING een beter interpolatieresultaat zou geven. Doordat echter uit de vorige paragraaf bleek dat het bij een raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 50 meter nauwelijks leidde tot kleinere verschillen met de multibeamdata, was de verwachting dat dit ook hier het geval zou zijn.

Resultaat DIGIPOL

Ook met een raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 100 meter en twee lengteraaien werd met DIGIPOL bijna het hele zuidwestelijke deel van de Petroleumhaven geïnterpoleerd. De locatie van het geïnterpoleerde gebied is weergegeven in figuur B.19 en het uiteindelijke resultaat van de interpolatie is weergegeven in figuur B.20. Hierbij is er net als in paragraaf 5.1.2 gebruik gemaakt van een waarde van 300 meter voor de *searchdepth* en 150 meter voor de *directiondepth*.

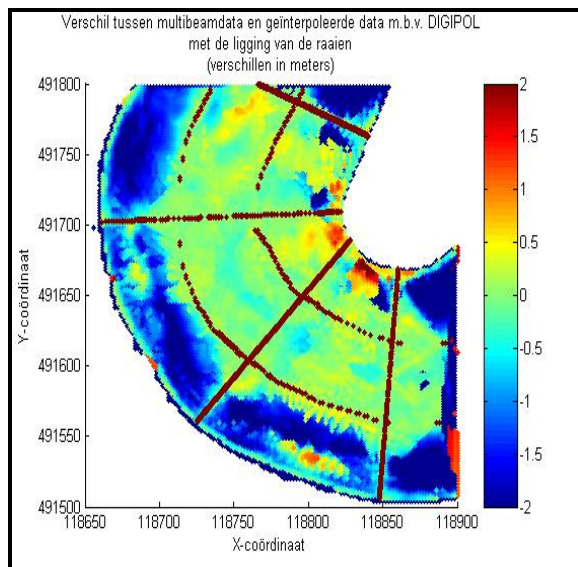


Figuur B.19: Locatie van het geïnterpoleerde gebied

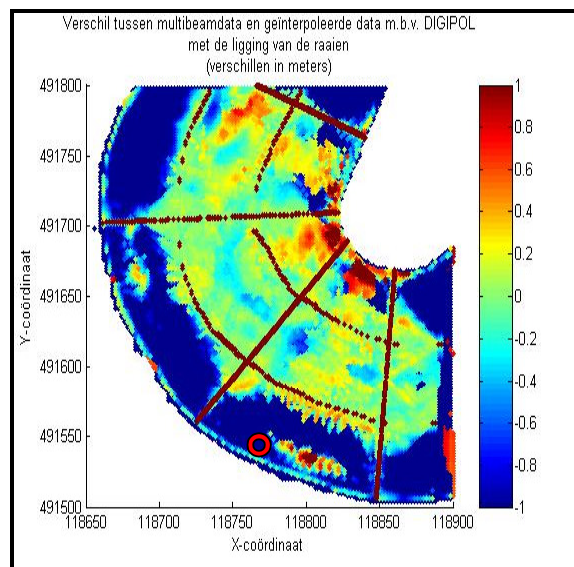


Figuur B.20: Het geïnterpoleerde gebied

Wanneer figuur B.20 wordt vergeleken met het interpolatieresultaat uit paragraaf 5.1.2 (zie figuur 5.30) is duidelijk zichtbaar dat het meenemen van twee lengteraaien hier wel leidt tot een beter interpolatieresultaat. Dit blijkt ook uit de figuren B.21 en B.22 waar het verschil tussen het interpolatieresultaat van DIGIPOL en de multibeamdata is weergegeven.



Figuur B.21: Verschil -2 tot $+2$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

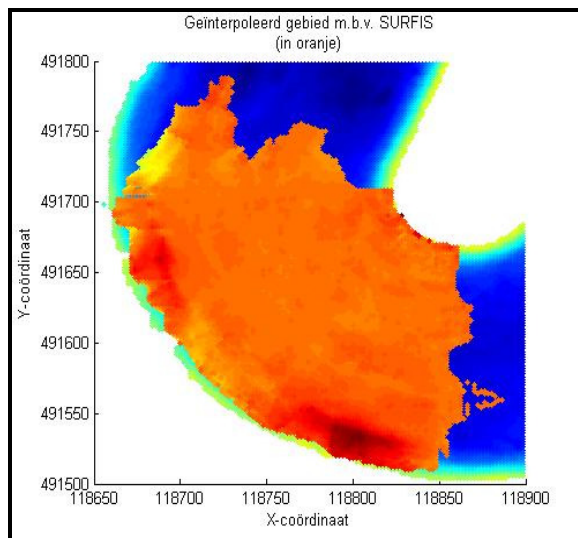


Figuur B.22: Verschil -1 tot $+1$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

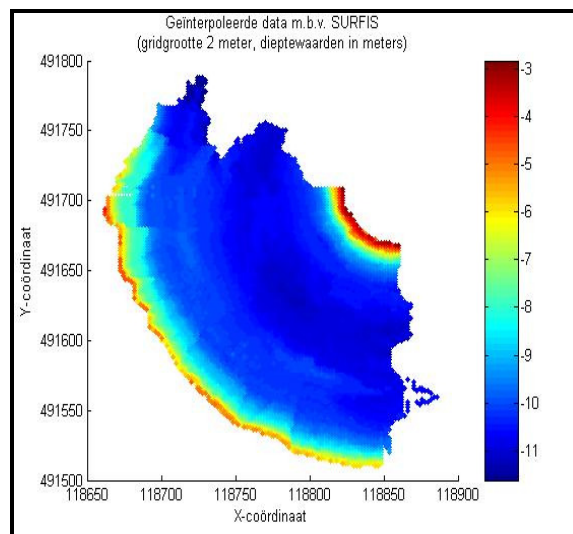
Uit de bovenstaande figuren blijkt dat de verschillen tussen het interpolatieresultaat en de multibeamdata al heel veel kleiner zijn dan in paragraaf 5.1.2. Niet alleen tussen de lengteraaien is het interpolatieresultaat beter, het meenemen van de lengteraaien bij de interpolatie heeft ook effecten op de interpolatie aan de randen. Vooral aan de rechteroever van de haven zijn de verschillen kleiner geworden, de verschillen aan de linkerkant van de haven zijn ongeveer gelijk gebleven of zelfs slechter geworden. Dit is het geval rechts van het rode punt (118800,491530), maar zoals al uitgelegd in paragraaf 5.1.2 is dit een toevalligheid in de interpolatie (doordat er hier een talud ligt dat precies tussen de raaien in ligt) en dus niet zo van belang bij deze vergelijking van het interpolatieresultaat ten opzichte van paragraaf 5.1.2.

Resultaat SURFIS

Wanneer de locatie van het met SURFIS geïnterpoleerde deel van de Petroleumhaven wordt gevisualiseerd (zie figuur B.23), blijkt dat dit een vrij willekeurige vorm aanneemt. Zowel de boven- als de ondergrens van het gebied zijn flink gerafeld en zeker geen mooie rechte lijn, zoals in figuur 5.33 van paragraaf 5.1.2 het geval was. Maar wanneer het geïnterpoleerde gebied (zie figuur B.24) nader bekeken wordt zijn er, behalve de andere vorm van het gebied, weinig verschillen zichtbaar ten opzichte van figuur 5.34.

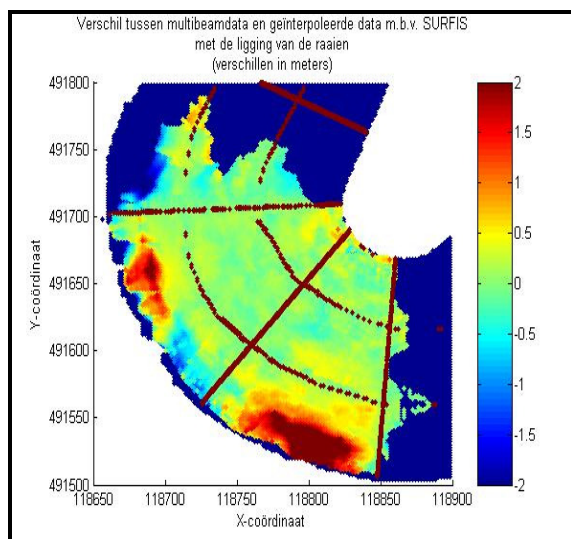


Figuur B.23: Locatie van het geïnterpoleerde gebied

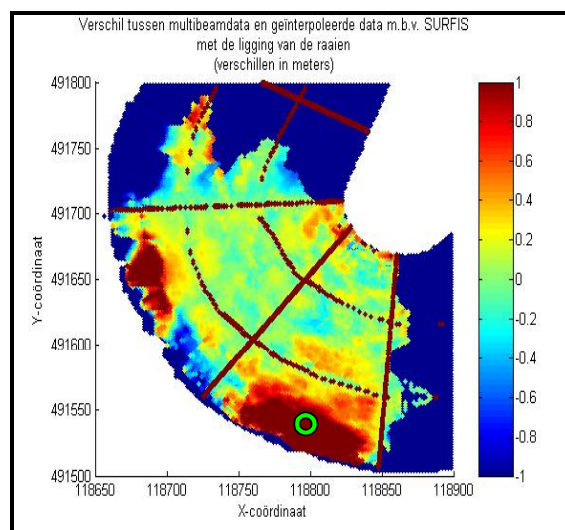


Figuur B.24: Het geïnterpoleerde gebied

Bij de interpolatie met SURFIS zijn voor de in te stellen variabelen dezelfde waarden gekozen als in paragraaf 5.1.2. Wanneer echter de verschillen tussen de geïnterpoleerde data en de multibeamdata worden weergegeven (zie de figuren B.25 en B.26), zijn er net als bij DIGIPOL hier wel redelijk grote verschillen zichtbaar. Vooral het gebied rond het groene punt (118800,491530) is veel beter geïnterpoleerd dan in paragraaf 5.1.2, ook hier zie je dat rondom de lengteraaien de verschillen met de multibeamdata een stuk kleiner zijn.



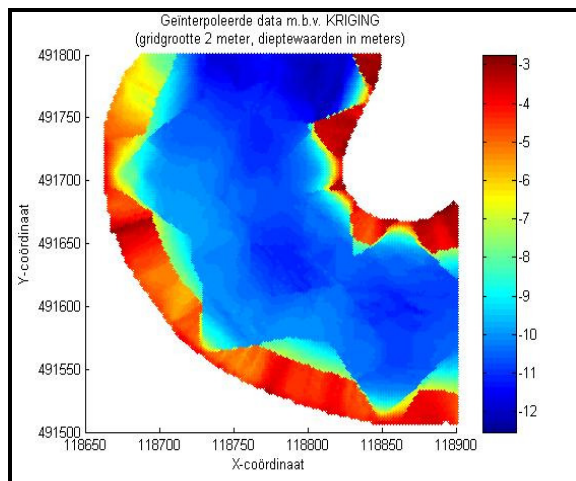
Figuur B.25: Verskil -2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS



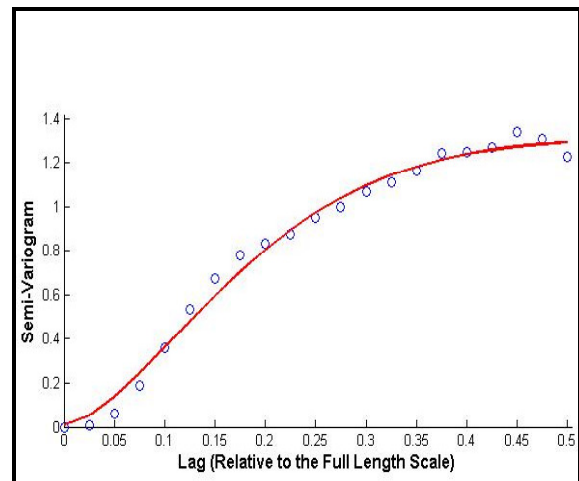
Figuur B.26: Verskil -1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

Resultaat KRIGING

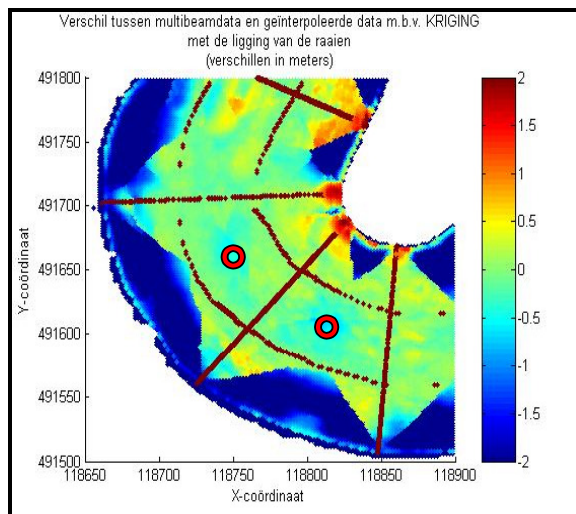
Bij de interpolatie met KRIGING waarbij er gebruik wordt gemaakt van een singlebeamdataset met dwarsraaien om de 100 meter en twee dwarsraaien zijn er toch wel enkele verschillen te zien tussen figuur B.27 en figuur 5.37. Wat als eerste opvalt zijn de verschillen bij de “kartels” aan de randen van de haven. Deze hebben geen scherpe punten meer, maar lopen geleidelijk af. Verder is het lijnenpatroon dat in figuur 5.37 zichtbaar is (in het midden tussen de dwarsraaien), in figuur B.27 zo goed als verdwenen. Bij deze interpolatie met KRIGING is er wederom gebruik gemaakt van model 13 (zie bijlage 1) met een range van 0.5 voor het berekenen van het juiste variogrammodel, maar nu had de nugget een waarde van 0.01, de sill een waarde van 1.32, de lengthscale een waarde van 0.21, de power een waarde van 1.58 en de holescale had een waarde van 0. Het gebruikte variogram is weergegeven in figuur B.28.



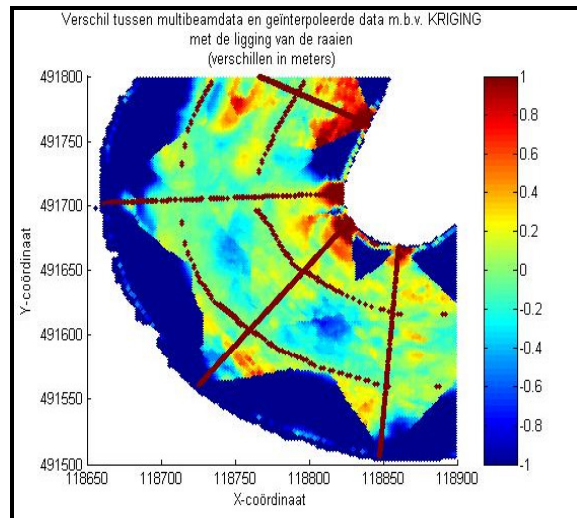
Figuur B.27: Het geïnterpoleerde gebied



Figuur B.28: Het variogram van de singlebeamdata



Figuur B.29: Verschil –2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

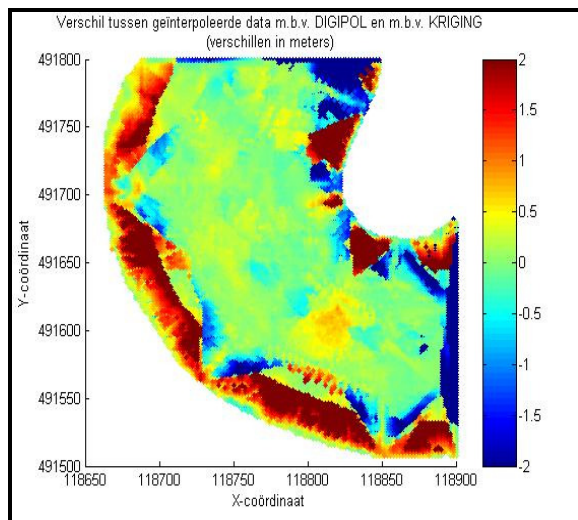


Figuur B.30: Verschil –1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

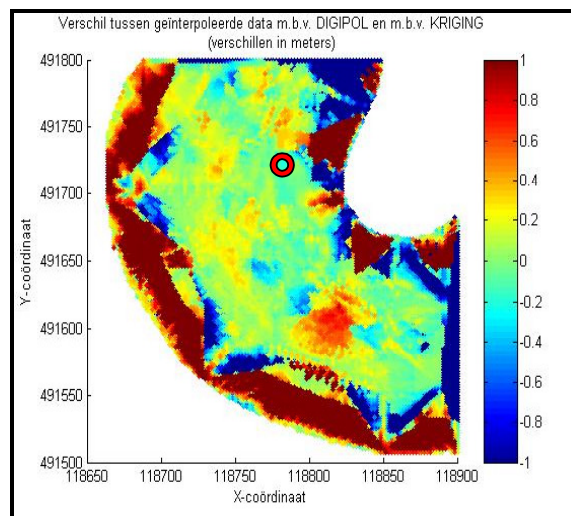
Wanneer bovendien de verschillen tussen de multibeam en het geïnterpoleerde resultaat uit de figuren B.29 en B.30 worden vergeleken met die uit paragraaf 5.1.2, dan blijkt dat inderdaad de verschillen in het midden tussen de dwarsraaien een stuk kleiner zijn geworden. Maar de punten van de kartels aan de randen geven echter nog steeds zulke hele grote verschillen. Wat bovendien opvalt is dat rondom de rode punten (118750,491650) en (118800,491600) midden tussen de raaien de geïnterpoleerde waarden met KRIGING hoger zijn dan de multibeamdata, terwijl uit de figuren 5.39 en 5.40 blijkt dat hier de verschillen juist positief zijn en de geïnterpoleerde waarden dus lager zijn dan de multibeamwaarden.

Verschillen tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING

Het verschil tussen de interpolatieresultaten van DIGIPOL en KRIGING zoals dit is weergegeven in de figuren B.31 t/m B.33 vertoont niet alleen aan de randen grote variaties (dit is al zichtbaar wanneer de afzonderlijke interpolaties nader worden bekeken), maar ook in het midden van de haven is een gebied met opmerkelijk grote verschillen. Hier geeft de interpolatie met DIGIPOL een lagere waarde van de bodemdiepte dan KRIGING doet. Dit is op dezelfde plek rondom het meest rechtse rode punt (118800,491600) waar de interpolatie met KRIGING ook al te hoge waarden gaf ten opzichte van de multibeamdata. Dit waarneembare verschil in de figuren B.31 t/m B.33 zal dus grotendeels worden veroorzaakt door het interpolatieresultaat van KRIGING.

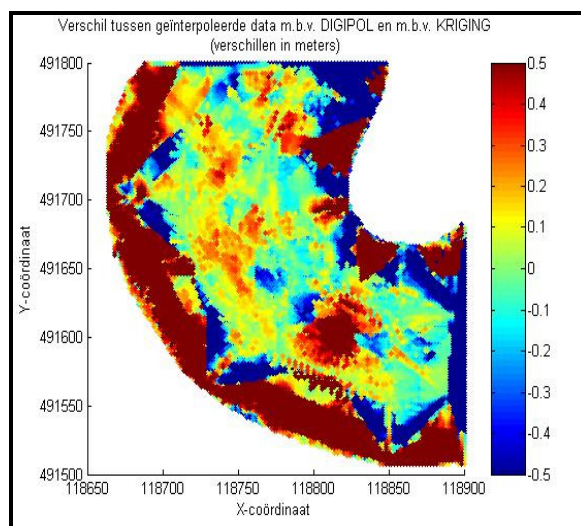


**Figuur B.31: Verschil –2 tot +2 van KRIGING
– DIGIPOL**



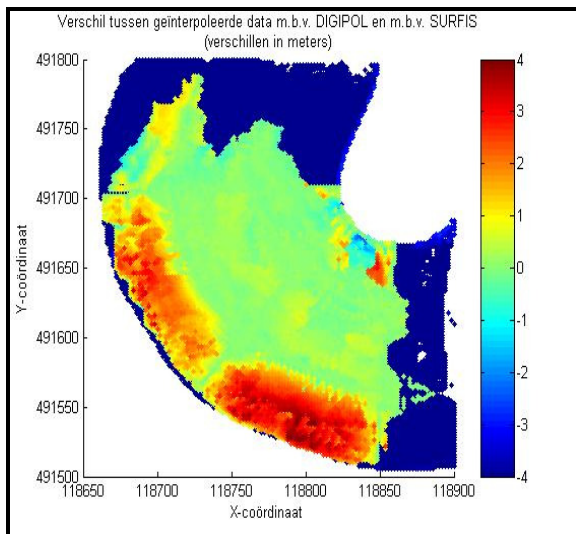
**Figuur B.32: Verschil –1 tot +1 van KRIGING
– DIGIPOL**

Wanneer de figuren B.31 t/m B.33 worden vergeleken met de resultaten uit paragraaf 5.1.2 is het opvallend om te zien dat niet alleen de verschillen in het midden van de haven zijn verbeterd, ook aan de rechterkant van de figuur is duidelijk een verbetering te zien. In paragraaf 5.1.2 is hier nauwelijks geïnterpoleerd door DIGIPOL, terwijl dat in de figuren B.31 t/m B.33 wel goed zichtbaar is. Opvallend is ook dat het gebied in het midden van de haven wat bij deze interpolatie grote verschillen geeft, dit juist niet het geval is in de figuren 5.41 en 5.42 van paragraaf 5.1.2. In deze figuren is het juist het gebied rond het rode punt (118775,491725) dat hele grote verschillen geeft. Daarvan zie je in de figuren B.31 t/m B.33 niets meer terug.

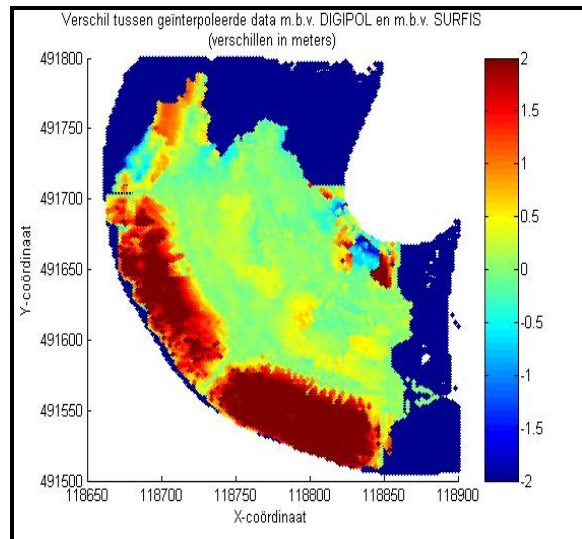


**Figuur B.33: Verschil –0.5 tot +0.5 van KRIGING
– DIGIPOL**

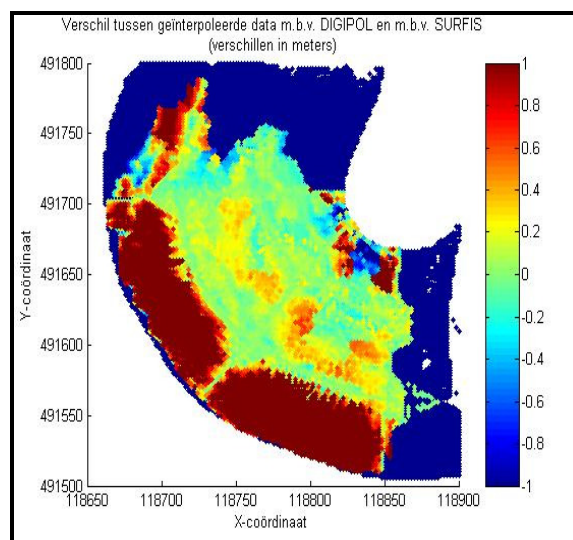
Wanneer de verschillen tussen de interpolatie met SURFIS en DIGIPOL worden weergegeven waarbij gebruik is gemaakt van dwarsraaien om de 100 meter en twee lengteraaen, ontstaan de figuren B.34 t/m B.36. Hier vallen de grote verschillen aan de randen, en dan met name de linkerkant van de haven, meteen op. Hier interpoleert DIGIPOL dus hoger dan SURFIS doet. Deze verschillen waren in paragraaf 5.1.2 ook aanwezig, maar daar waren de gebieden veel groter. Verder geven de resultaten van DIGIPOL en SURFIS in het midden van de haven ongeveer dezelfde dieptewaarden.



**Figuur B.34: Verschil -4 tot +4 van DIGIPOL
- SURFIS**

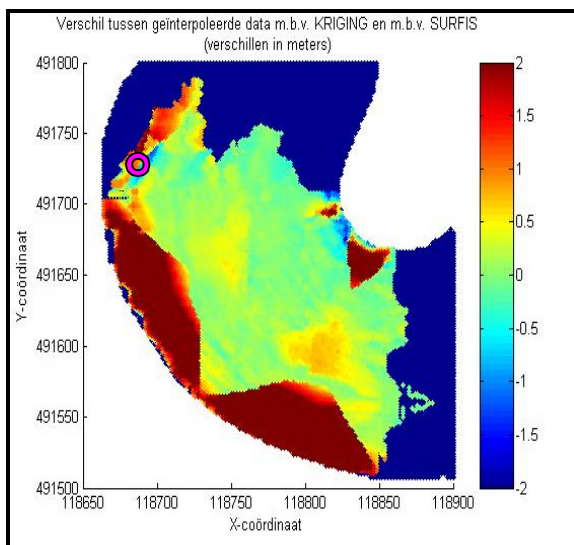


**Figuur B.35: Verschil -2 tot +2 van DIGIPOL
- SURFIS**

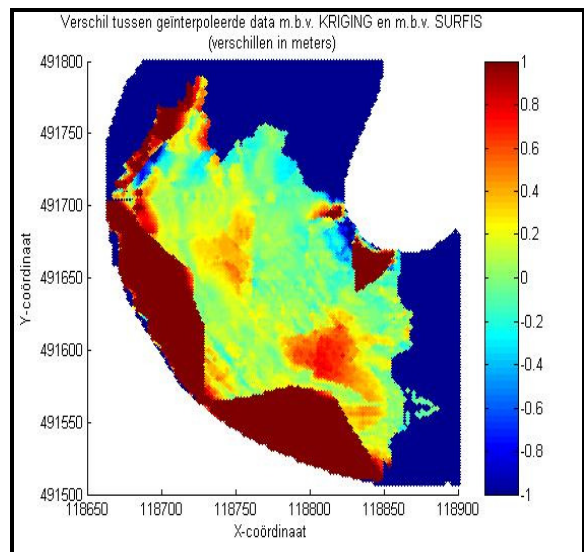


**Figuur B.36: Verschil -1 tot +1 van DIGIPOL
- SURFIS**

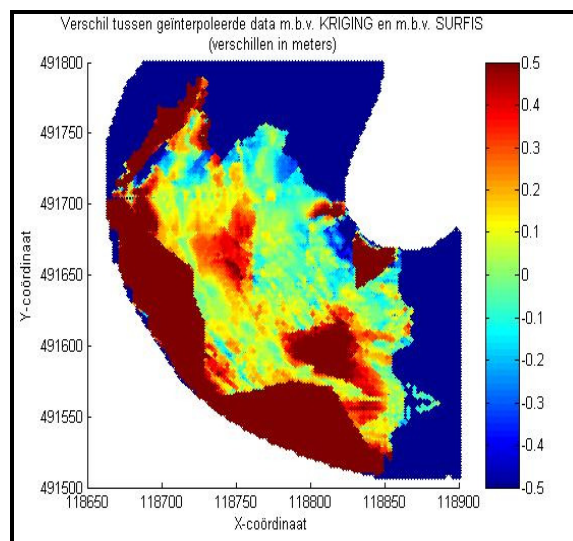
Tenslotte is in de figuren B.37 t/m B.39 het verschil in het interpolatieresultaat tussen KRIGING en SURFIS weergegeven. Ook hier is duidelijk zichtbaar dat aan de randen de interpolatie met KRIGING zorgt voor grote verschillen. Wat ook opvalt is het gebied rondom het paarse punt (118700,491725). Hier zijn aan de rand grote positieve verschillen zichtbaar (veroorzaakt door KRIGING) maar vlak daarnaast zijn er juist hele grote negatieve verschillen. Dit is een locatie waar SURFIS hoger interpoleert dan de multibeamdata, terwijl KRIGING dit veel minder doet, maar aan de randen juist lager interpoleert. Ook deze figuren lijken nauwelijks op het resultaat in paragraaf 5.1.2, doordat de beide afzonderlijke interpolaties al erg met die resultaten verschillen.



**Figuur B.37: Verschil –2 tot +2 van KRIGING
– SURFIS**



**Figuur B.38: Verschil –1 tot +1 van KRIGING
– SURFIS**



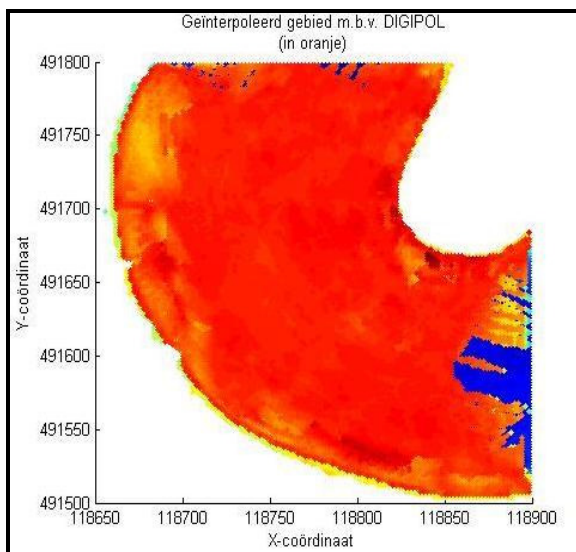
**Figuur B.39: Verschil –0.5 tot +0.5 van KRIGING
– SURFIS**

Resultaat dwarsraaien om de 100m en twee willekeurige raaien

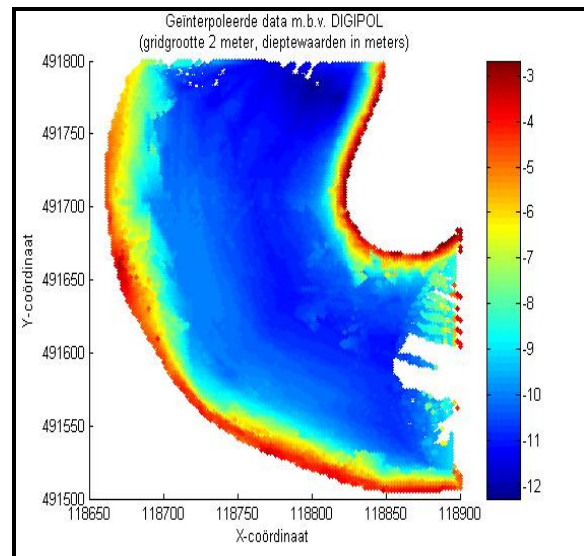
Net als in bij de vorige raaiconfiguratie is ook hier de verwachting dat door het toevoegen van de twee willekeurige raaien aan de dwarsraaien om de 100 meter een beter interpolatieresultaat wordt verkregen. Doordat de willekeurige raaien niet één oriëntatie hebben ten opzichte van de havenoevers, is de verwachting dat er nog meer informatie over de bodem van de haven wordt meegenomen bij de interpolatie.

Resultaat DIGIPOL

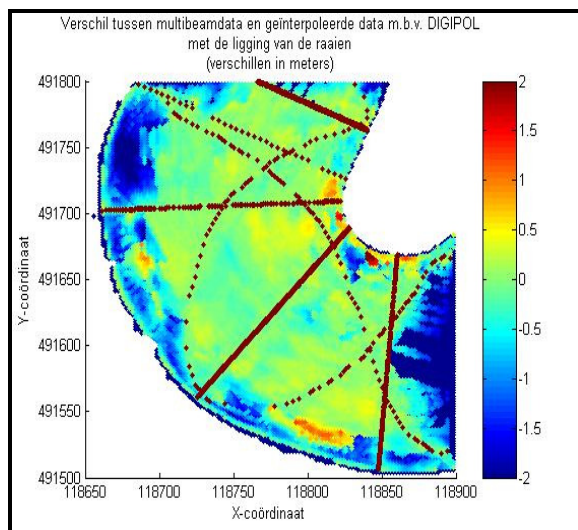
Ook bij deze raaiconfiguratie werd er met DIGIPOL een groot deel van het zuidwestelijke deel van de Petroleumhaven geïnterpoleerd. Alleen zijn er, zoals is weergegeven in figuur B.40, aan de beide randen van het gebied nog niet geïnterpoleerde plekken (opvallend is hier wel de vorm van deze grenslijn). Het uiteindelijke interpolatieresultaat, wat is verkregen door wederom gebruik te maken van een waarde van 300 meter voor de *searchdepth* en een waarde van 150 meter voor de *directiondepth*, is weergegeven in figuur B.41. Opvallend is dat deze afbeelding al veel meer gelijkenissen vertoont met de multibeamdata dan zowel het resultaat uit paragraaf 5.1.2 als het resultaat waar er bij de dwarsraaien om de 100 meter twee lengteraaien zijn toegevoegd, doet.



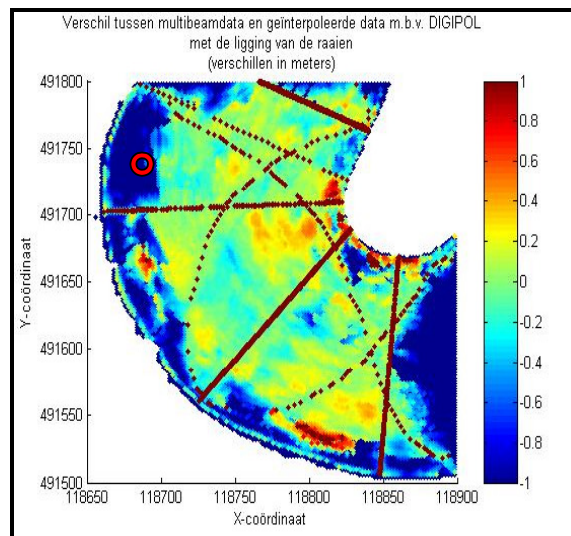
Figuur B.40: Locatie van het geïnterpoleerde gebied



Figuur B.41: Het geïnterpoleerde gebied



Figuur B.42: Verschil -2 tot $+2$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

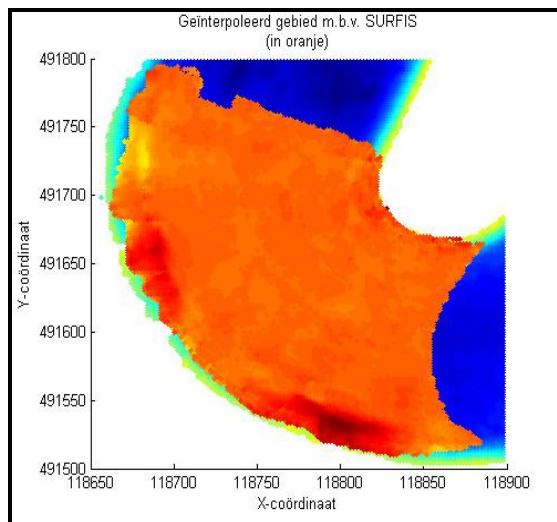


Figuur B.43: Verschil -1 tot $+1$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

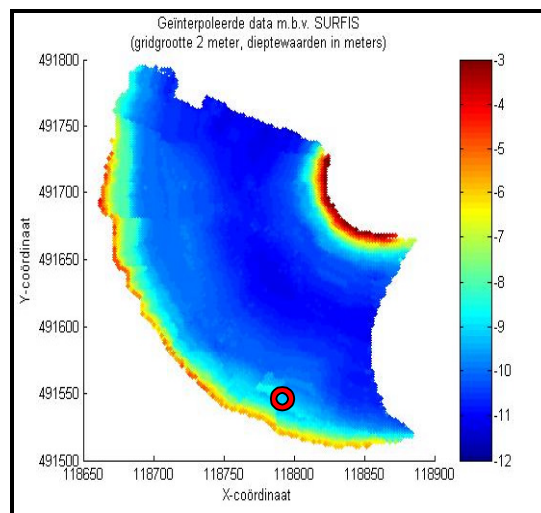
Wanneer bovendien de verschillen met de multibeamdata worden weergegeven (zie de figuren B.42 en B.43), blijkt ook hieruit dat deze interpolatie een beter resultaat levert dan bij het gebruik van enkel dwarsraaien om de 100 meter of deze toegevoegd met twee lengteraaian. Vooral de interpolatie aan de randen is aanzienlijk beter, maar ook in het midden van de haven zijn de verschillen minder groot. Alleen in het gebied rondom het rode punt (118675,491750) levert net als bij de andere genoemde raaiconfiguraties nog grote verschillen. Dit komt doordat de twee willekeurige raaien hier nauwelijks in de buurt komen. Wanneer er hier een derde raai aan wordt toegevoegd die wel meer door dit gebied loopt (misschien wel vlak langs de linkerkant van de haven), zal ook hier het verschil aanzienlijk kleiner worden.

Resultaat SURFIS

De interpolatie met SURFIS geeft een resultaat waar de grenzen van het geïnterpoleerde gebied een meer globalere vorm hebben dan bij de dwarsraaien om de 100 meter met twee lengteraaian (zie figuur B.44). Dit komt doordat hier aan weerszijden het gebied wordt omsloten door raaien met bekende punten, terwijl dit met enkel twee extra raaien in de lengterichting niet het geval was. Het uiteindelijke interpolatieresultaat, zoals weergegeven in figuur B.45, lijkt echter veel overeenkomsten te hebben met figuur B.24. Opvallend is echter het gebied rond het rode punt (118780,491550), dat in figuur B.45 een iets hogere waarde heeft dan zijn directe omgeving.

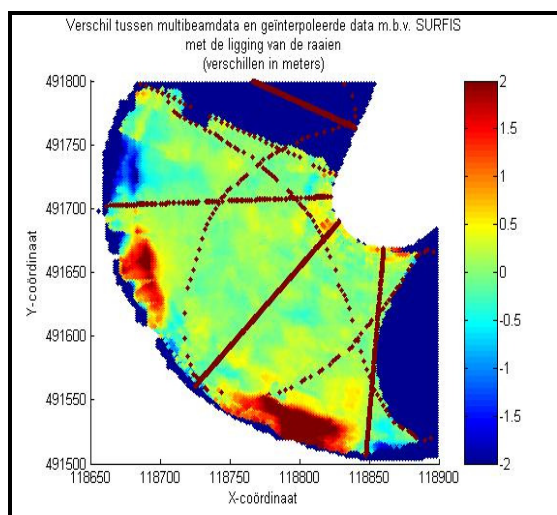


Figuur B.44: Locatie van het geïnterpoleerde gebied

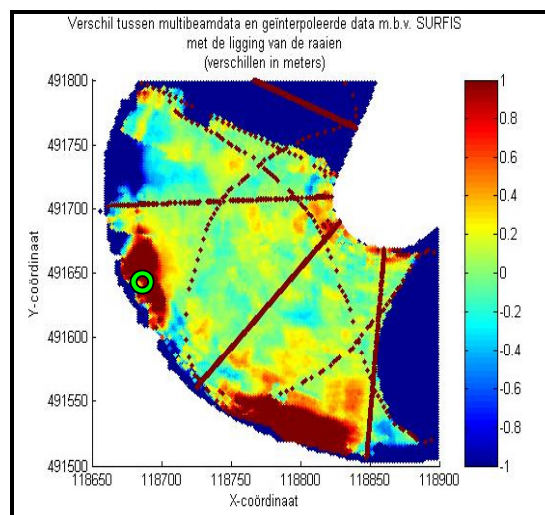


Figuur B.45: Het geïnterpoleerde gebied

Wanneer de verschillen tussen het interpolatieresultaat met SURFIS en de multibeamwaarden worden gevisualiseerd, zoals dit is gebeurd in de figuren B.46 en B.47, blijkt dat dit gebied inderdaad hoger ligt dan de omgeving, alleen is in deze figuren het gebied veel groter dan in figuur B.45. Dit komt doordat de gekozen raaien vlak langs het betreffende talud gaan en dus slechts een klein deel van de informatie wordt verwerkt in het uiteindelijke interpolatieresultaat. Dit is ook te zien bij het andere talud rond het groene punt (118700,491650), waar er helemaal geen raai doorheen loopt. Deze verhoging wordt daardoor ook niet waargenomen bij de interpolatie. Wel zijn de verschillen uit figuur B.46 en B.47 kleiner dan bij het resultaat van de dwarsraaien om de 100 meter met twee lengteraaien, maar dit is vooral rondom de raaien het geval. Dit komt doordat in beide interpolaties de twee taluds tussen de raaien in liggen, het midden van de haven werd bij beide interpolaties ongeveer even goed geïnterpoleerd.



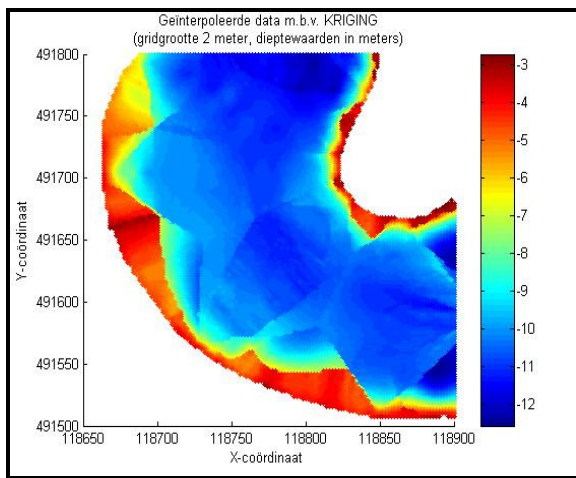
Figuur B.46: Verschil -2 tot $+2$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS



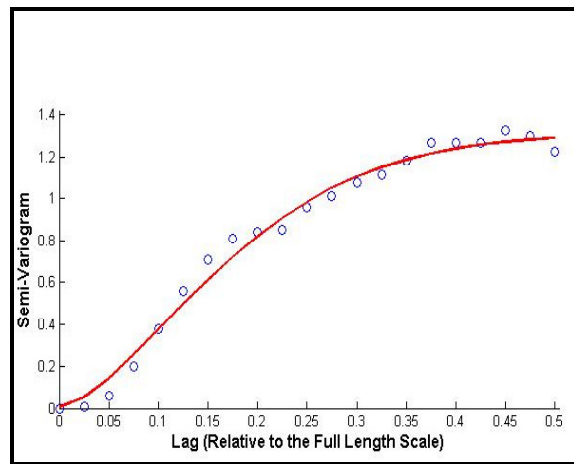
Figuur B.47: Verschil -1 tot $+1$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

Resultaat KRIGING

Wanneer het interpolatieresultaat van KRIGING met de dwarsraaien om de 100 meter en twee willekeurige raaien (zie figuur B.48) wordt vergeleken met het resultaat van de dwarsraaien om de 100 meter met twee lengteraaien, vallen nog steeds de gekartelde randen op. Want wanneer deze worden vergeleken met die uit figuur B.27 blijken deze vooral aan de rechteroever van de haven voor een groot deel verdwenen te zijn. Ook aan de linkeroever zijn verschillen te ontdekken, vooral in het middelste deel van de oever is een groot deel van de kartels verdwenen. Dit komt doordat hier één van de willekeurige raaien vlak langs deze oever loopt. Verder is ook door het toevoegen van de twee willekeurige raaien het lijnenpatroon in het midden van de haven veranderd ten opzichte van paragraaf 5.1.2.

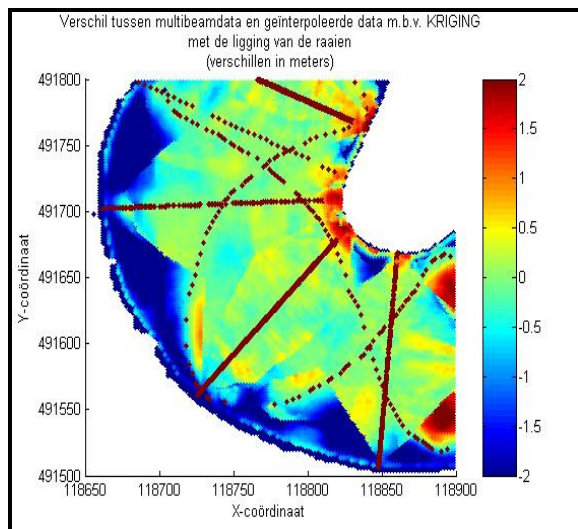


Figuur B.48: Het geïnterpoleerde gebied

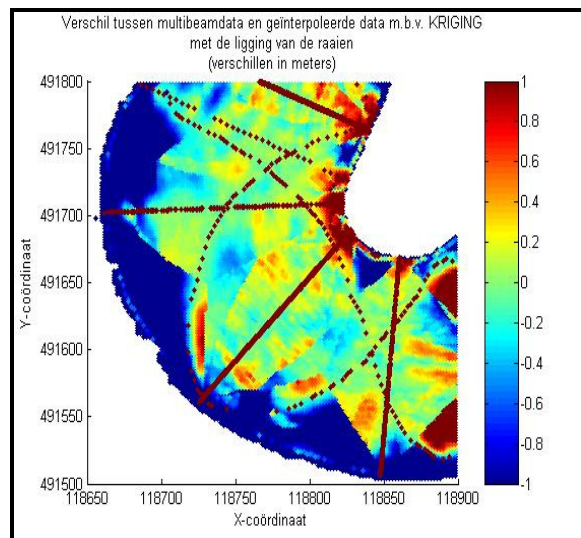


Figuur B.49: Het variogram van de singlebeamdata

Bij deze interpolatie met KRIGING is er gebruik gemaakt van model 13 (zie bijlage 1) met een range van 0.5, een nugget van 0.01, een sill van 1.31, een lengthscale van 0.20, een power van 1.56 en een holescale van 0 voor het berekenen van het juiste variogrammodel. Het gebruikte variogram is weergegeven in figuur B.49. Wanneer de waarden van deze instelparameters worden vergeleken met de gebruikte waarden uit paragraaf 5.1.2 en die van de dwarsraaien om de 100 meter met twee lengteraaien, blijkt dat deze slecht hele kleine verschillen geven en dat het experimentele variogram dus bij alledrie bijna gelijk is.



Figuur B.50: Verschil –2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

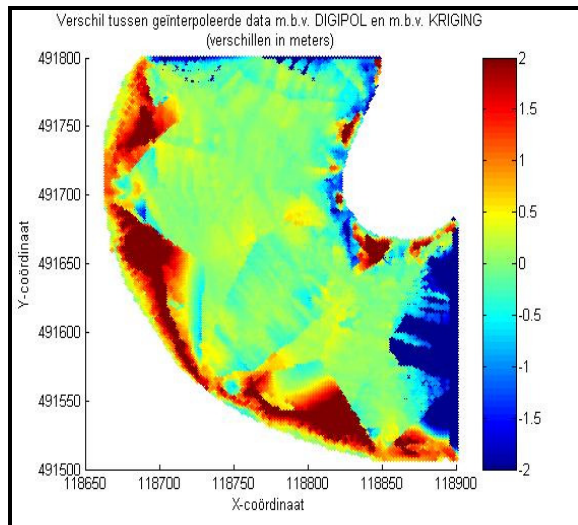


Figuur B.51: Verschil –1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

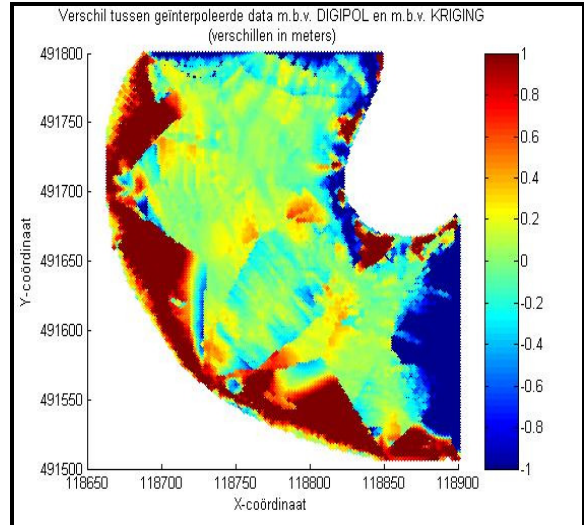
Ook hier worden de verschillen met de multibeamdata weergegeven, en wel in de figuren B.50 en B.51. Hieruit blijkt dat de interpolatie aan de randen met KRIGING nog steeds grote verschillen geeft, maar dat er bij deze interpolatie ook grote positieve verschillen (aan de rechtergrens van het interpolatiegebied) ontstaan terwijl dit bij de in de paragrafen hiervoor besproken interpolaties steeds niet het geval was. Verder is in figuur B.51 duidelijk te zien dat in het midden van de haven er veel meer gebieden zijn waar er relatief grote verschillen (van –40 tot +60 cm) zijn dan bij de dwarsraaien om de 100 meter en twee lengteraaien. Wel zijn deze gebieden kleiner qua omvang dan de gebieden in figuur B.30, maar toch is er in figuur B.51 beduidend minder groen (dus verschillen dicht bij 0) aanwezig.

Verschillen tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING

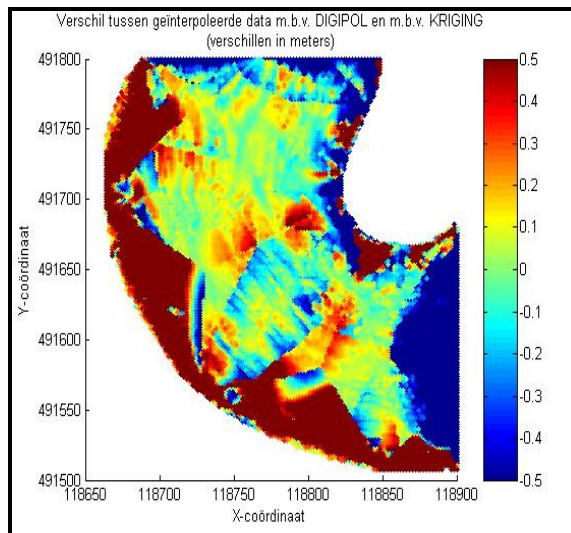
Wanneer ook hier de verschillen tussen DIGIPOL en KRIGING worden weergegeven (zie de figuren B.52 t/m B.54), zien de interpolatieresultaten er, wanneer de randen weer even worden weggelaten, vrij hetzelfde uit. Alleen in het midden van de twee grootste gebieden die door raaien omsloten werden, zijn er verschillen van zo'n 50 centimeter te zien. Hier geeft de interpolatie met DIGIPOL een lagere waarde voor de bodemdiepte dan dat KRIGING doet.



**Figuur B.52: Verschil –2 tot +2 van DIGIPOL
– KRIGING**

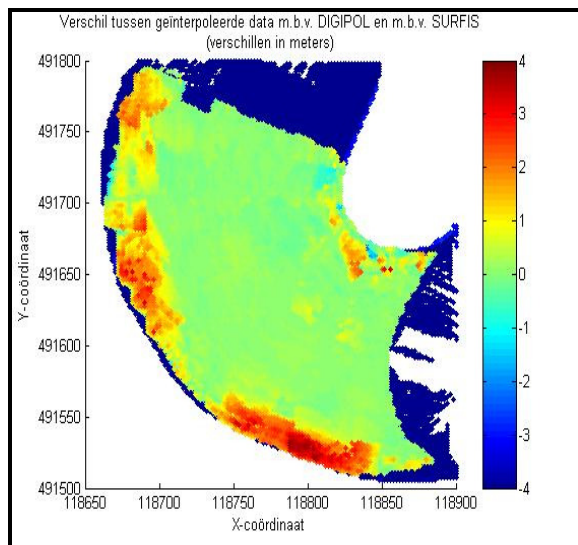


**Figuur B.53: Verschil –1 tot +1 van DIGIPOL
– KRIGING**

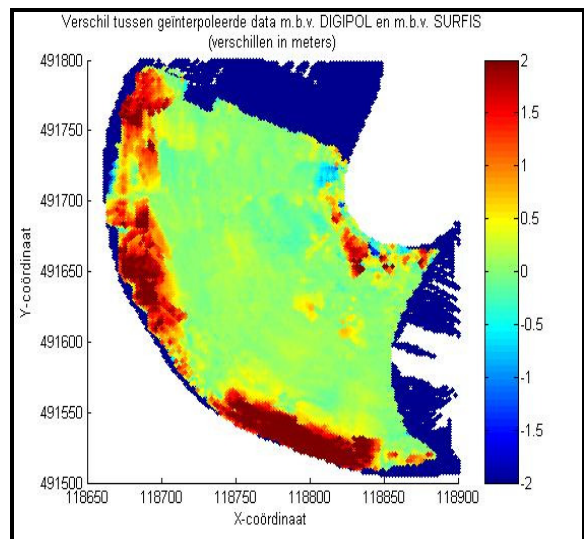


**Figuur B.54: Verschil –0.5 tot +0.5 van DIGIPOL
– KRIGING**

Wanneer de bovenstaande figuren worden vergeleken met die van de dwarsraaien om de 100 meter met twee lengteraaien, blijkt dat het onderste gebied uit figuur B.54 op dezelfde positie ligt als het gebied in figuur B.33. Wel zijn de verschillen in dit gebied met de in deze paragraaf gebruikte raaiconfiguratie aanzienlijk kleiner dan in bij een raaiconfiguratie met dwarsraaien om de 100 meter en twee lengteraaien. Maar ook het overige deel van het midden van de haven levert op meer locaties kleinere verschillen op.

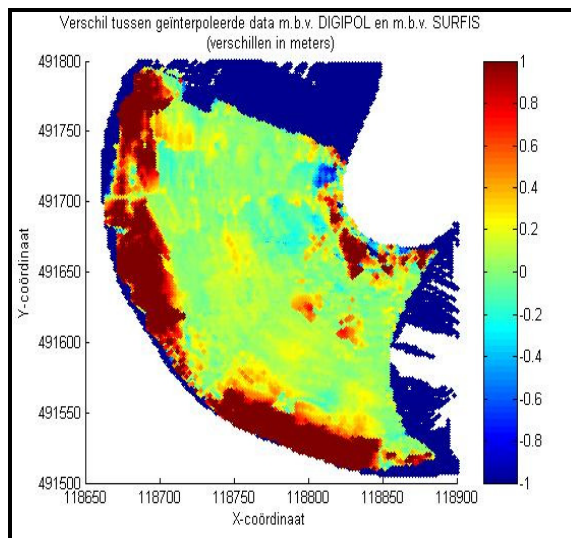


**Figuur B.55: Verschil –4 tot +4 van DIGIPOL
– SURFIS**



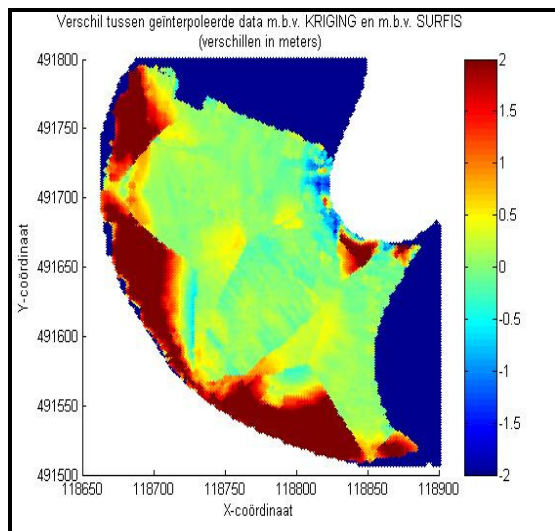
**Figuur B.56: Verschil –2 tot +2 van DIGIPOL
– SURFIS**

Wanneer de verschillen tussen DIGIPOL en SURFIS worden bekeken (zie de figuren B.55 t/m B.57) blijkt dat er over het algemeen, behalve aan de randen, zeer veel kleine verschillen zijn die bovendien nog overwegend positief zijn. Hier interpoleert DIGIPOL dus consequent hoger dan SURFIS doet. Wanneer bovendien dit resultaat wordt vergeleken met het resultaat van de dwarsraaien om de 100 meter en twee lengteraaien, dan blijkt dat de interpolatieverschillen tussen DIGIPOL en SURFIS met deze raaiconfiguratie nog kleiner zijn en dat zelfs de grote verschillen aan de randen aanzienlijk kleiner zijn geworden in omvang.

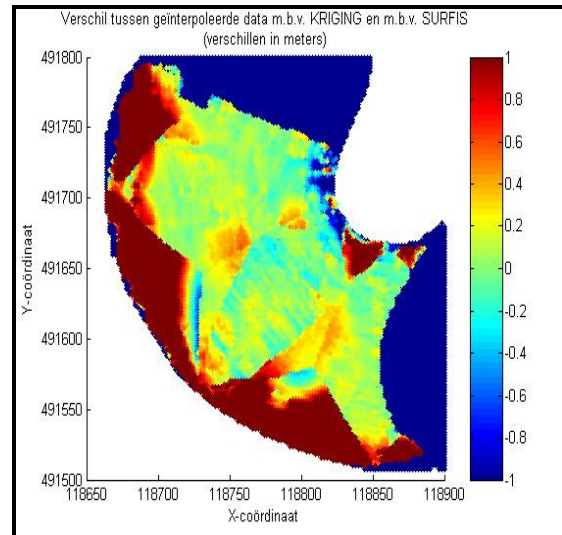


**Figuur B.57: Verschil –1 tot +1 van DIGIPOL
– SURFIS**

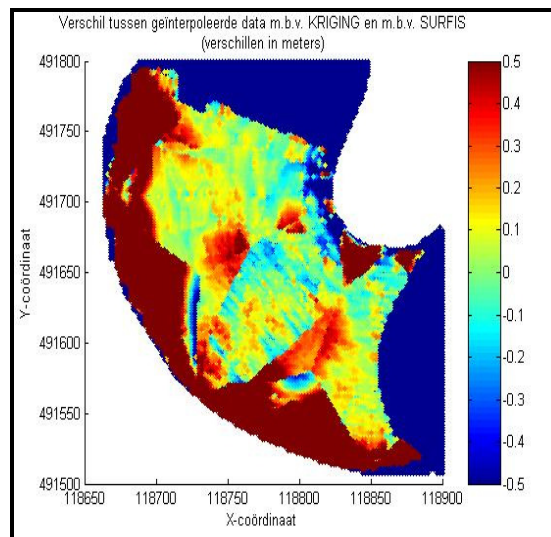
Tenslotte worden de verschillen tussen KRIGING en SURFIS in kaart gebracht, zie de figuren B.58 t/m B.60. Ook hier zijn de verschillen kleiner geworden dan in de vorige paragraaf, maar dit komt net als bij de verschillen tussen DIGIPOL en KRIGING vooral door het verbeterde interpolatieresultaat van KRIGING. Door een betere ligging van de bekende punten zijn bovendien in het noordelijkste deel van het interpolatiegebied de verschillen ten opzichte van de raai-configuratie met dwarsraaien om de 100 meter en twee lengterraaien een stuk kleiner.



**Figuur B.58: Verschil -2 tot +2 van KRIGING
- SURFIS**



**Figuur B.59: Verschil -1 tot +1 van KRIGING
- SURFIS**



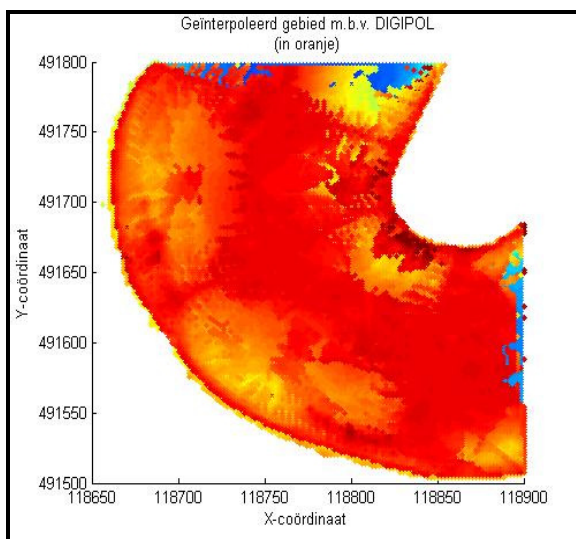
**Figuur B.60: Verschil -0.5 tot +0.5 van KRIGING
- SURFIS**

Resultaat dwarsraaien om de 100m en enkele om de 10m

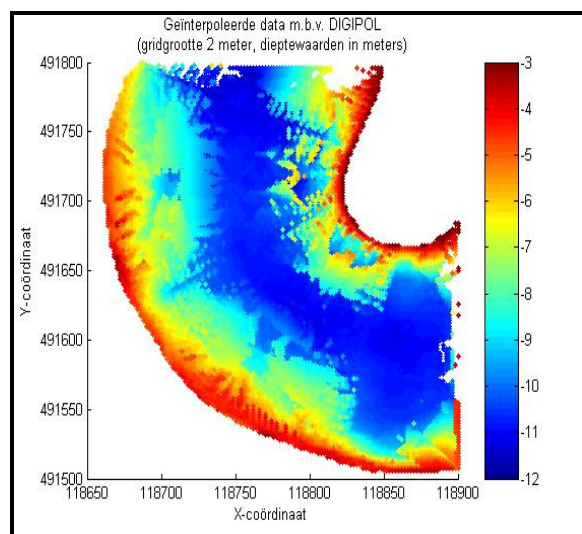
De verwachting van deze raaiconfiguratie was dat er uit de dwarsraaien die zeer dicht op elkaar liggen informatie werd gehaald over het gedrag van de bodem op korte afstanden in de lengterichting. Deze informatie zou dan kunnen worden meegenomen bij het berekenen van de dieptewaarden op de andere locaties. Er werd verwacht dat vooral de interpolatie met KRIGING hierdoor verbeterd werd.

Resultaat DIGIPOL

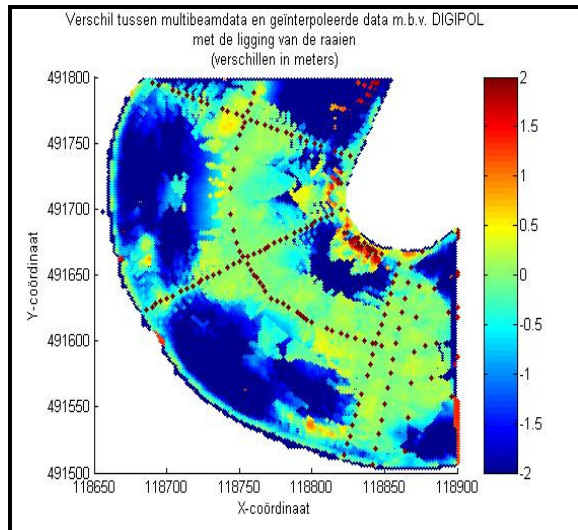
Het gebied dat door DIGIPOL met een raaiconfiguratie van dwarsraaien om de 100 meter en enkele om de 10 meter (waar bovendien nog één lengteraii aan toegevoegd is) wordt geïnterpoleerd is, zoals te zien is in figuur B.61, een klein beetje groter dan in de vorige paragraaf. Wanneer het interpolatieresultaat (figuur B.62) wordt bekeken, blijkt dat dit echter veel slechter de multibeamdata benaderd dan dat de interpolatie met DIGIPOL in de vorige paragraaf deed. En dit terwijl ook hier dezelfde waarden voor de *searchdepth* en *directiondepth* zijn gekozen. Wel is in deze figuur te zien dat de interpolatie waar de dwarsraaien dicht op elkaar liggen een gewenst resultaat oplevert, alleen wordt deze informatie niet overgedragen naar de rest van het gebied.



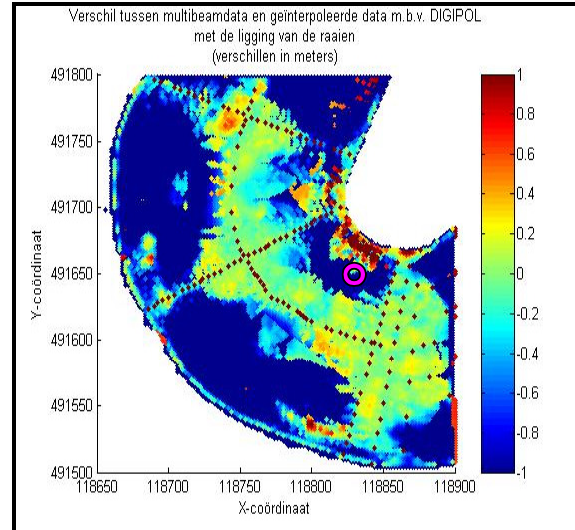
Figuur B.61: Locatie van het geïnterpoleerde gebied



Figuur B.62: Het geïnterpoleerde gebied



Figuur B.63: Verschil -2 tot $+2$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

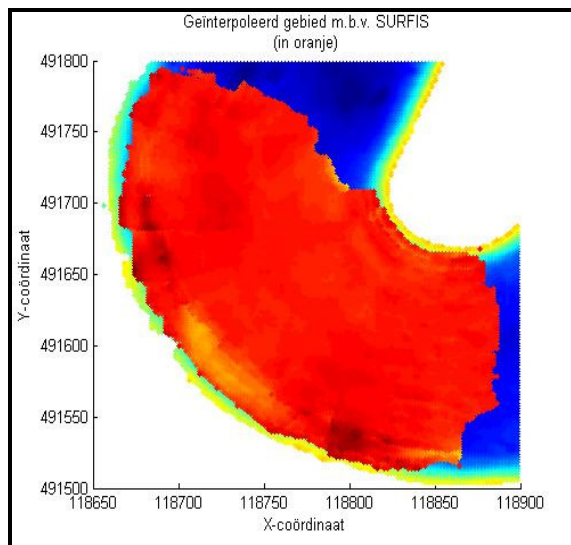


Figuur B.64: Verschil -1 tot $+1$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

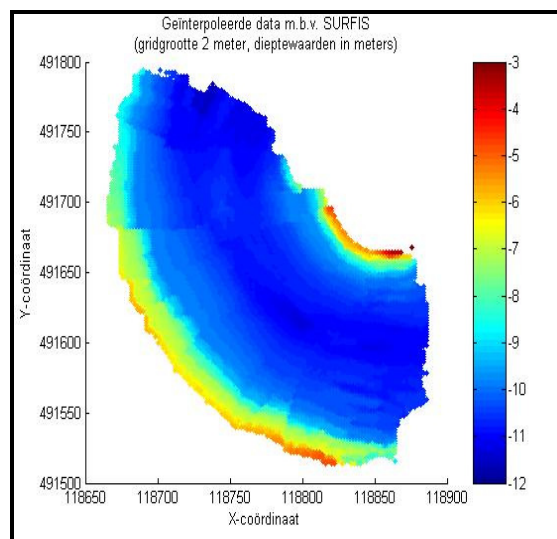
De verschillen van het interpolatieresultaat met de multibeamdata zijn weergegeven in de figuren B.63 en B.64. Opvallend is dat de geïnterpoleerde waarden die niet vlak bij de raaien liggen, allemaal hoger zijn dan de multibeamdata, met uitzondering van het gebied aan de rechteroever van de haven boven het paarse punt (118825,491675). Hier zijn de verschillen juist positief en dus geeft DIGIPOL hier een te lage bodemdiepte. Maar ook bij de vorige interpolaties van DIGIPOL waarbij de raaiafstand ongeveer 100 meter was, waren deze positieve verschillen aanwezig.

Resultaat SURFIS

Ook bij deze interpolatie is het gebied dat door SURFIS geïnterpoleerd wordt niet begrensd door rechte lijnen. Dit wordt verduidelijkt door figuur B.65. Maar wanneer het interpolatieresultaat (weergegeven in figuur B.66) wordt bekeken, valt het onmiddellijk op dat deze interpolatie een betere afbeelding geeft van de multibeamdata dan dat DIGIPOL bij deze raaiconfiguratie deed. Net als bij de interpolatie met DIGIPOL zijn ook hier dezelfde waarden voor de variabelen aangehouden als in paragraaf 5.1.2.

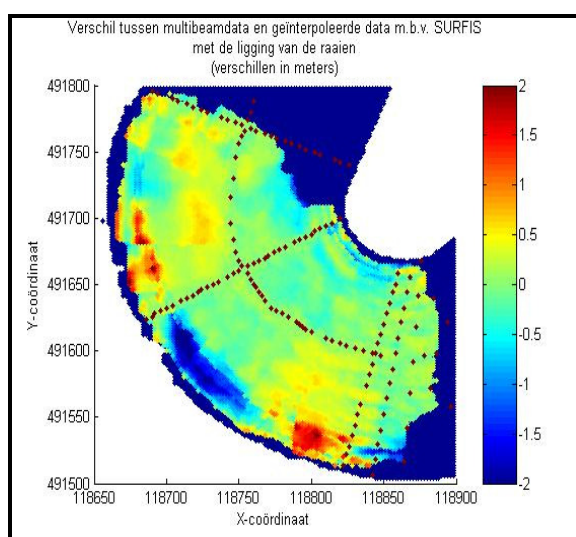


Figuur B.65: Locatie van het geïnterpoleerde gebied

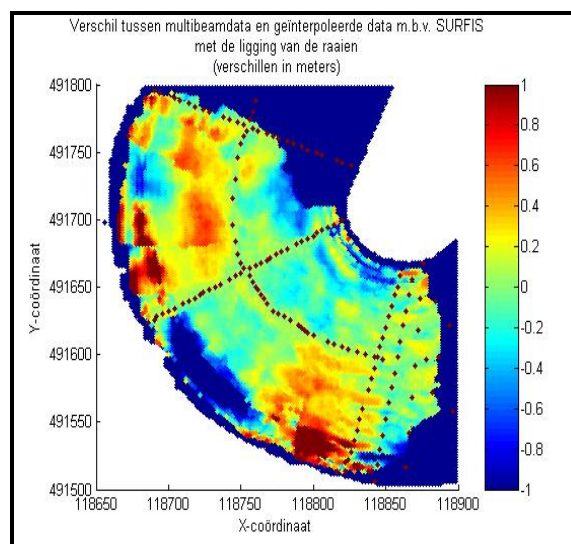


Figuur B.66: Het geïnterpoleerde gebied

De verschillen met de multibeamdata, zoals deze zijn weergegeven in de figuren B.67 en B.68, laten zien dat deze interpolatie inderdaad de multibeamdata beter benadert dan dat de interpolatie met DIGIPOL dat deed. Wanneer deze twee figuren worden vergeleken met de figuren 5.35 en 5.36 uit paragraaf 5.1.2 en met de figuren B.25 en B.26, blijkt dat bij deze interpolatie met SURFIS de twee taluds aan de linkeroever van de Petroleumhaven beter worden geïnterpoleerd. Hierdoor ontstaan echter in het gebied tussen deze taluds in weer grotere negatieve verschillen en wordt hier dus de bodem te hoog geschat. Verder zijn er aan de rechteroever van de haven vooral veel opvallende negatieve verschillen. Deze waren zowel in paragraaf 5.1.2 als bij de raiconfiguratie met dwarsraaien om de 100 meter en twee lengtraaien juist positief.



Figuur B.67: Verskil -2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

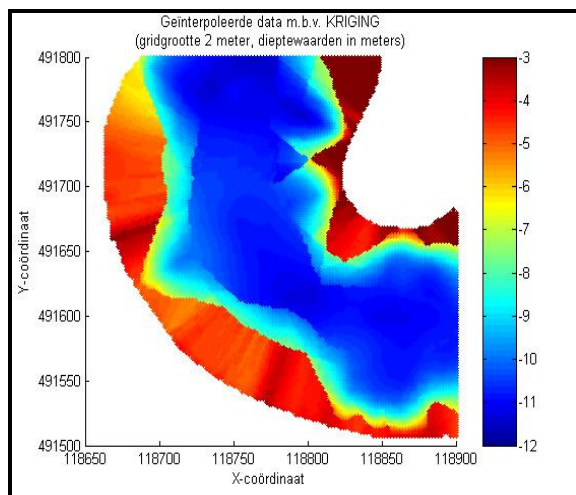


Figuur B.68: Verskil -1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

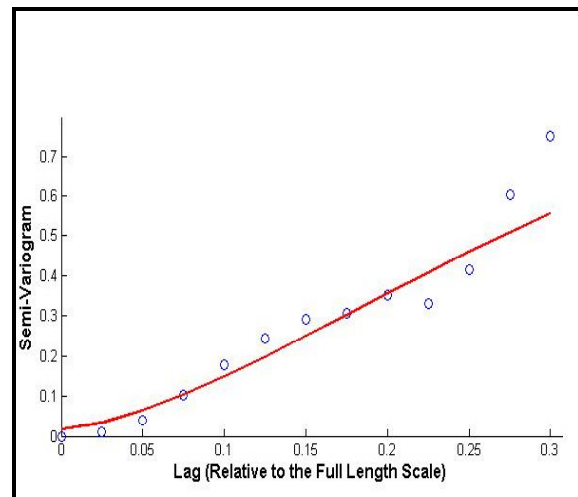
Resultaat KRIGING

Het resultaat van de KRIGING-interpolatie (in figuur B.69) laat zien dat hier inderdaad het vermoeden bevestigd wordt, en dat dus de informatie die de dicht op elkaar liggende dwarsraaien geven worden meegenomen bij de andere dwarsraaien die verder uit elkaar liggen (vergelijk ook figuur 5.37 van paragraaf 5.1.2). Hierdoor zijn er veel minder kartels aan de havenoevers.

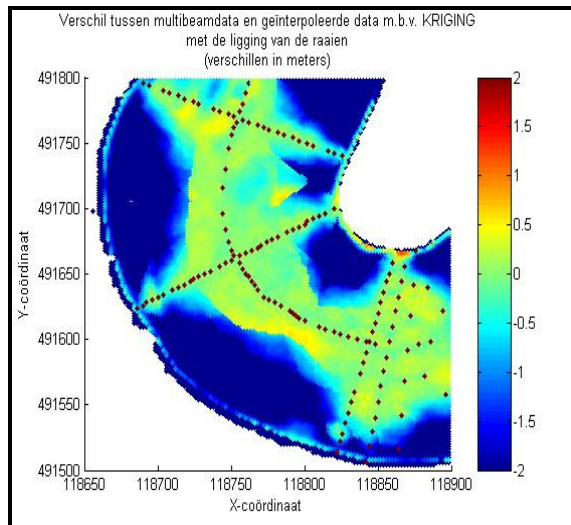
Voor het verkrijgen van deze interpolatie met KRIGING is er ook hier weer gebruik gemaakt van model 13 (zie bijlage 1), maar nu met een range van 0.3, een nugget van 0.02, een sill van 1.078, een lengthscale van 0.37, een power van 1.52 en een holescale van 0 voor het berekenen van het juiste variogrammodel. In figuur B.70 is dit variogrammodel, evenals het experimentele variogram, weergegeven.



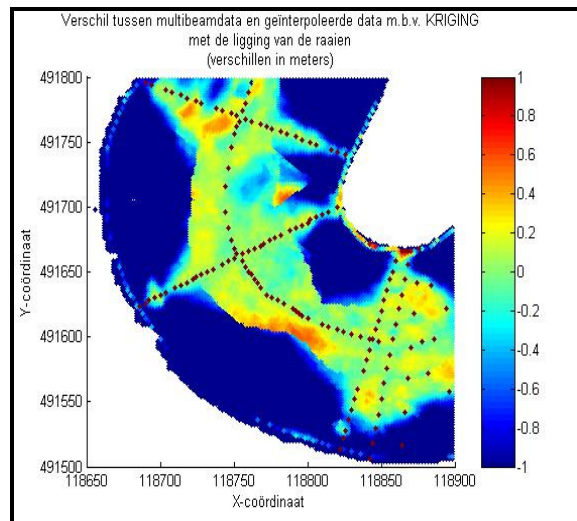
Figuur B.69: Het geïnterpoleerde gebied



Figuur B.70: Het variogram van de singlebeamdata



Figuur B.71: Verschil –2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING



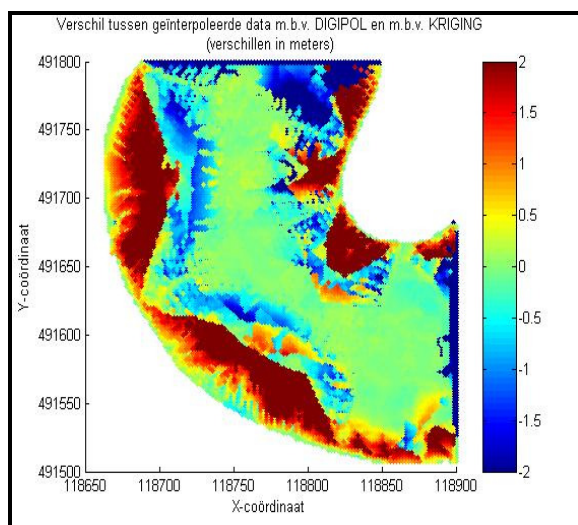
Figuur B.72: Verschil –1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

Wanneer de verschillen tussen de multibeamdata en het interpolatieresultaat worden weergegeven (figuren B.71 en B.72), blijkt dat het midden van de haven kleine tot zeer kleine verschillen geeft (de grootste verschillen zijn zo'n 50 centimeter). Echter wordt een groot deel aan de beide kanten van de haven heel slecht geïnterpoleerd, waardoor het totaal niet echt een wenselijk resultaat geeft. (Zelfs het resultaat van paragraaf 5.1.2 gaf een resultaat dat meer leek op de multibeamdata.)

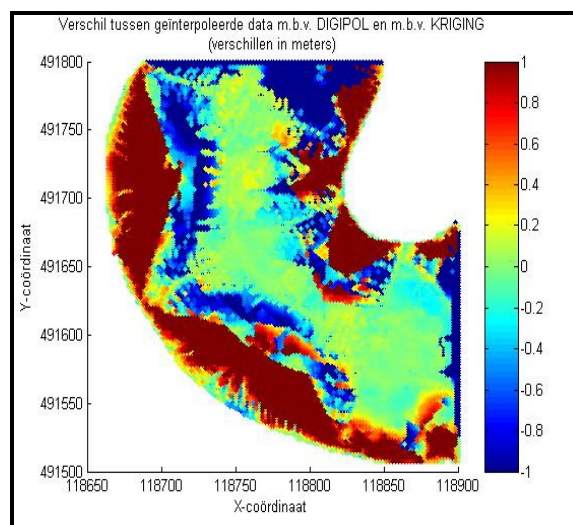
Verschillen tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING

Wanneer dan ook de verschillen tussen DIGIPOL en KRIGING worden weergegeven (figuren B.73 t/m B.75), zijn de verschillen aan de randen heel erg groot en blijft er maar een relatief klein deel van het midden van de haven over waarmee echt goed vergeleken kan worden.

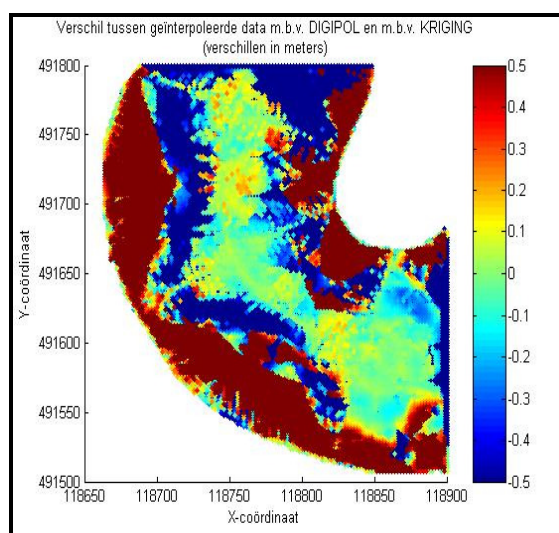
In het gebied waar de dwarsraaien nog geen 10 meter van elkaar verwijderd liggen blijkt dat hier de verschillen tussen DIGIPOL en KRIGING uitermate klein zijn (gemiddeld verschil van minder dan 10 centimeter). Ook het gebied dat rondom de dwarsraaien en de lengteraai ligt geeft bij zowel DIGIPOL als bij KRIGING ongeveer dezelfde waarde voor de bodemdiepte. Maar daarbuiten geeft dit al gauw grote verschillen van meer dan 1 meter.



**Figuur B.73: Verschil –2 tot +2 van KRIGING
– DIGIPOL**

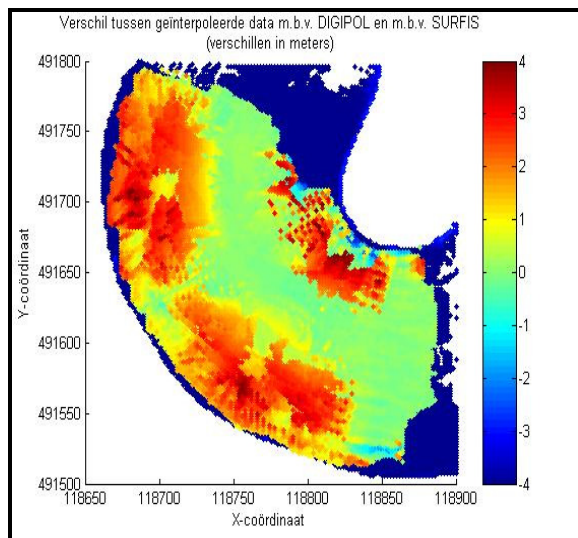


**Figuur B.74: Verschil –1 tot +1 van KRIGING
– DIGIPOL**

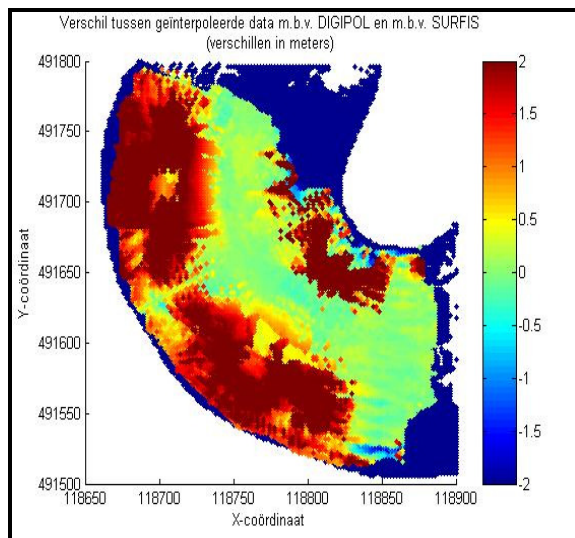


**Figuur B.75: Verschil –0.5 tot +0.5 van KRIGING
– DIGIPOL**

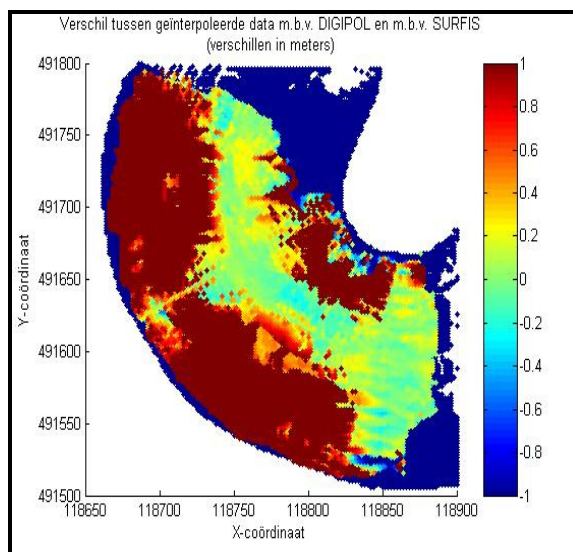
Wanneer de verschillen tussen DIGIPOL en SURFIS worden afgebeeld, zoals in de figuren B.76 t/m B.78 is gebeurd, blijkt dat hier net als in de vorige paragraaf de verschillen hoofdzakelijk positief zijn en dat de interpolatie met SURFIS dus lagere bodemdieptes geeft dan dat DIGIPOL doet. Verder is duidelijk te zien dat de interpolatie met DIGIPOL zorgt voor de grote verschillen aan de randen (figuur B.64 is duidelijk in figuur B.78 te herkennen). Deze verschillen zijn in ieder geval vele malen groter dan in zowel paragraaf 5.1.2, als bij de raiconfiguraties met dwarsraaien om de 100 meter waarbij respectievelijk twee lengterraaien en twee willekeurige raaien waren toegevoegd het geval was.



**Figuur B.76: Verschil –4 tot +4 van DIGIPOL
– SURFIS**

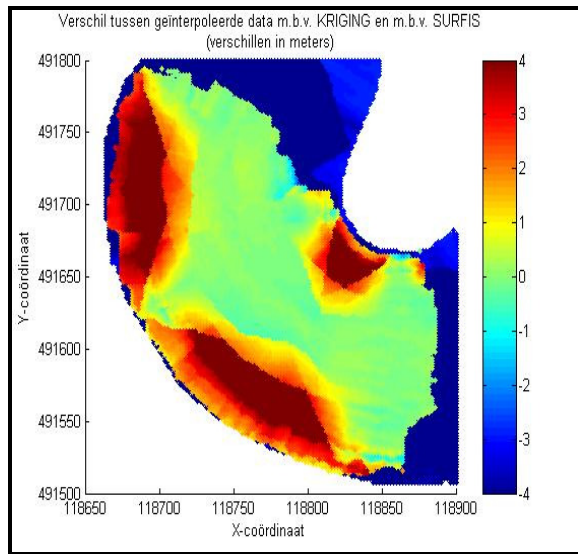


**Figuur B.77: Verschil –2 tot +2 van DIGIPOL
– SURFIS**

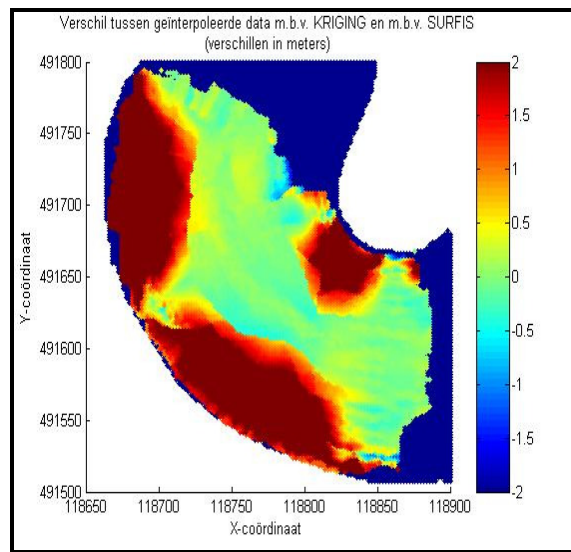


**Figuur B.78: Verschil –1 tot +1 van DIGIPOL
– SURFIS**

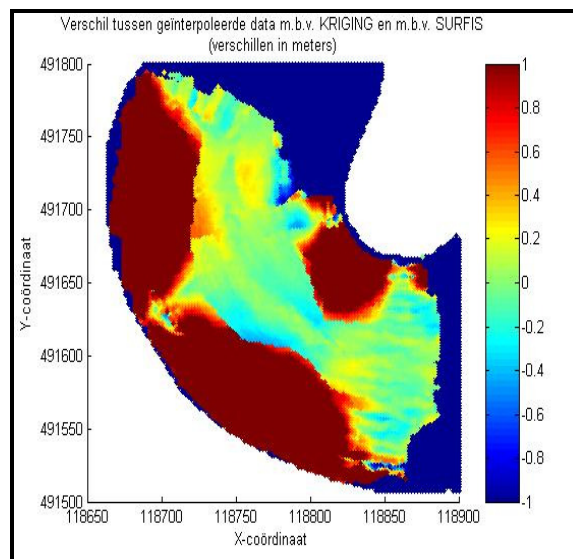
Wanneer tenslotte de verschillen tussen SURFIS en KRIGING worden weergegeven (in de figuren B.79 t/m B.81) blijkt dat ook hier de interpolatieresultaten van KRIGING hoofdzakelijk verantwoordelijk zijn voor de grote verschillen. Wel komen de interpolatieresultaten van SURFIS en KRIGING meer overeen dan in de andere twee vergelijkingen in deze paragraaf het geval was. Opvallend goed te zien is dat het verschil tussen KRIGING en SURFIS veel gelijkmatiger verloopt dan dat de verschillen tussen DIGIPOL en SURFIS dat doen. Hieruit blijkt dus dat de interpolatie met KRIGING gelijkmatiger verloopt dan de interpolatie met DIGIPOL bij deze raiconfiguratie doet.



**Figuur B.79: Verschil -4 tot +4 van KRIGING
- SURFIS**



**Figuur B.80: Verschil -2 tot +2 van KRIGING
- SURFIS**



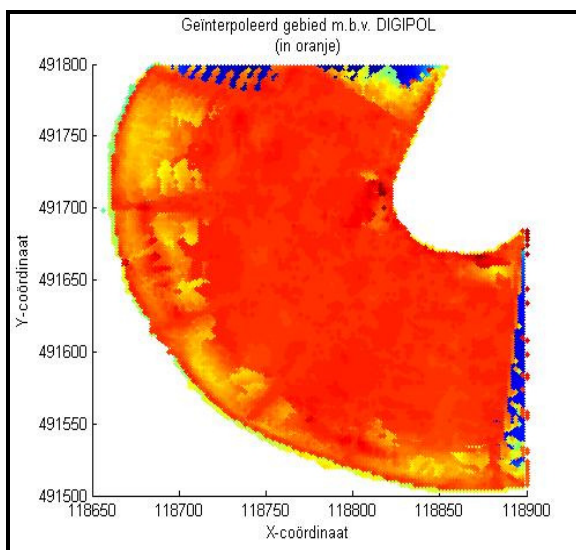
**Figuur B.81: Verschil -1 tot +1 van KRIGING
- SURFIS**

Resultaat raaien ongeveer dwars op de lengterichting

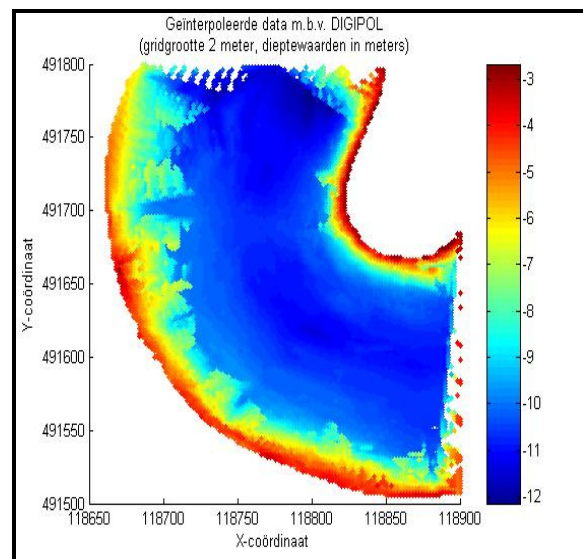
De verwachting van deze raaiconfiguratie was dat alledrie de interpolatieprogramma's een beter resultaat zouden laten zien dan met enkel dwarsraaien om de 100 meter, doordat bij iedere raai zowel korte afstand informatie als lange afstand informatie aanwezig is. Doordat de onderlinge afstand bij deze raaiconfiguratie echter zo'n 75 meter bedraagt, was de verwachting dat dit een resultaat zou geven dat ongeveer net zoveel lijkt op de multibeamdata dan dat de interpolatie met dwarsraaien om de 50 meter doet.

Resultaat DIGIPOL

Wederom beslaat de interpolatie met DIGIPOL bijna het hele zuidwestelijke deel van de Petroleumhaven (zie figuur B.82). Maar zoals het interpolatieresultaat in figuur B.83 laat zien, lijkt de interpolatie niet dezelfde kwaliteit te hebben dan die uit paragraaf 5.1.1. Bij deze interpolatie met DIGIPOL is gekozen voor een *searchdepth* van 200 meter en een *directiondepth* van 150 meter.

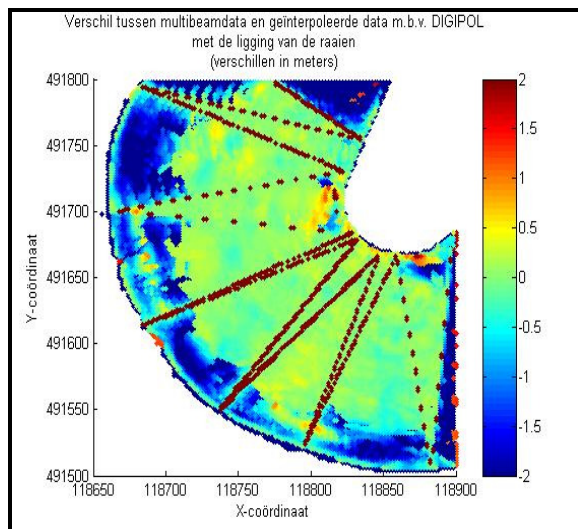


Figuur B.82: Locatie van het geïnterpoleerde gebied

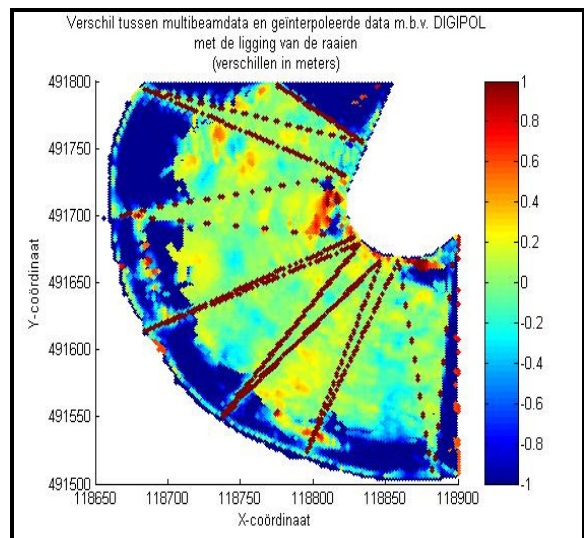


Figuur B.83: Het geïnterpoleerde gebied

Het vermoeden wordt bevestigd wanneer de verschillen met de multibeamdata uit de figuren B.84 en B.85 worden vergeleken met die uit 5.12 en 5.13 van paragraaf 5.1.1. In de bovenstaande figuren is duidelijk te zien dat aan de linkeroever van de haven de verschillen veel groter zijn dan in paragraaf 5.1.1. Opvallend is wel dat in figuur B.85 blijkt dat aan de rechteroever de verschillen zowel positief als negatief zijn en dat DIGIPOL dus langs deze oever zowel te hoog als te laag interpoleert (en hierbij zijn er ongeveer evenveel positieve als negatieve verschillen). In het midden van de haven ziet het resultaat van figuur B.85 er inderdaad ongeveer net zo uit als in paragraaf 5.1.1 het geval was.



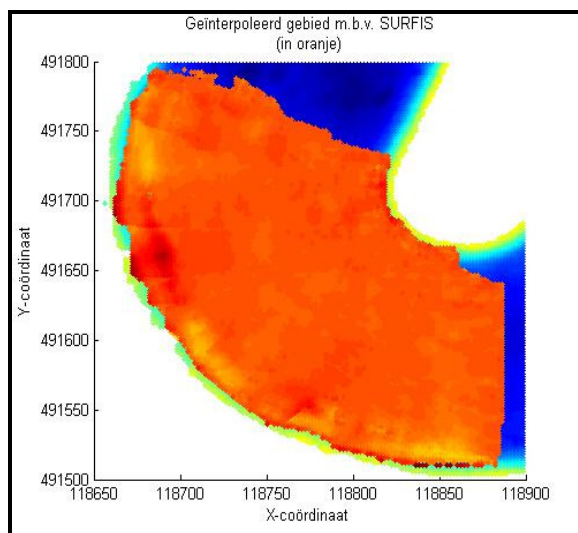
Figuur B.84: Verschil -2 tot $+2$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL



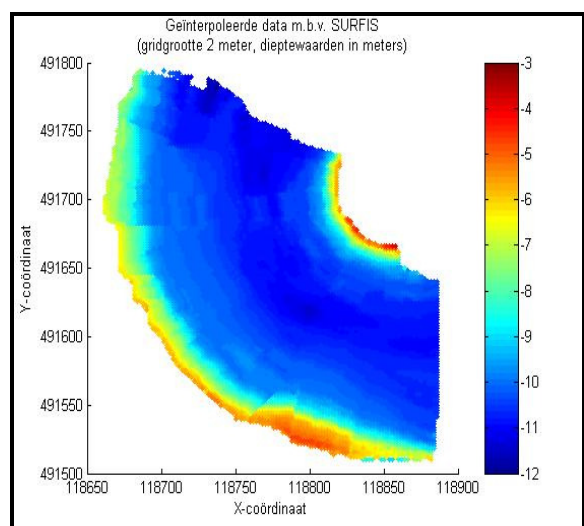
Figuur B.85: Verschil -1 tot $+1$ tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. DIGIPOL

Resultaat SURFIS

Het gebied dat met deze raiconfiguratie door SURFIS wordt geïnterpoleerd heeft nagenoeg dezelfde afmetingen als die uit paragraaf 5.1.1 (vergelijk de figuren 5.14 en B.86). Ook hier zijn weer dezelfde instellingen voor de variabelen gebruikt als in alle voorgaande interpolaties met SURFIS ook al het geval was. Het uiteindelijke interpolatieresultaat uit figuur B.87 lijkt redelijk op het interpolatieresultaat met SURFIS uit paragraaf 5.1.1, wat een bevestiging is van het eerder omschreven vermoeden.

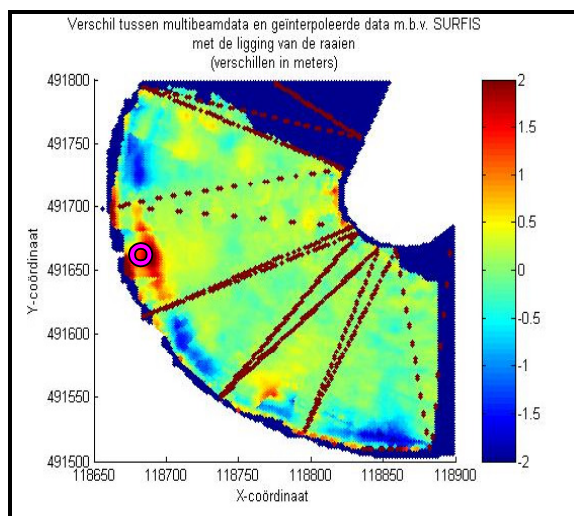


Figuur B.86: Locatie van het geïnterpoleerde gebied

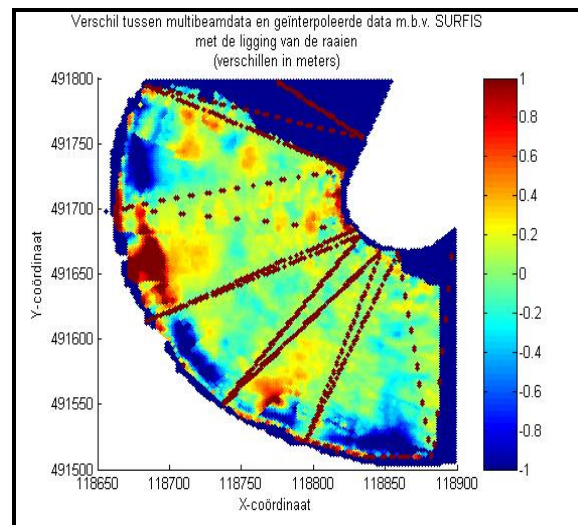


Figuur B.87: Het geïnterpoleerde gebied

Wanneer de verschillen met de multibeamdata (zie de figuren B.88 en B.89) worden vergeleken met die uit paragraaf 5.1.1, blijkt dat deze afbeeldingen inderdaad meer lijken op die uit paragraaf 5.1.1 dan dat dezelfde afbeeldingen van DIGIPOL dat doen. Maar toch zijn er hier ook nog enkele redelijk grote verschillen zichtbaar, vooral aan de linkeroever. Hier ligt één van de taluds, rondom het paarse punt (118675,491650), weer in zijn geheel tussen de raaien, waardoor er hier grote positieve verschillen ontstaan. De negatieve verschillen die ten noorden van dit talud liggen komen aardig overeen met het interpolatieresultaat van paragraaf 5.1.1, maar zowel de negatieve verschillen die ten zuiden van dit talud liggen als de positieve verschillen van het tweede talud zijn groter dan in paragraaf 5.1.1 het geval is.



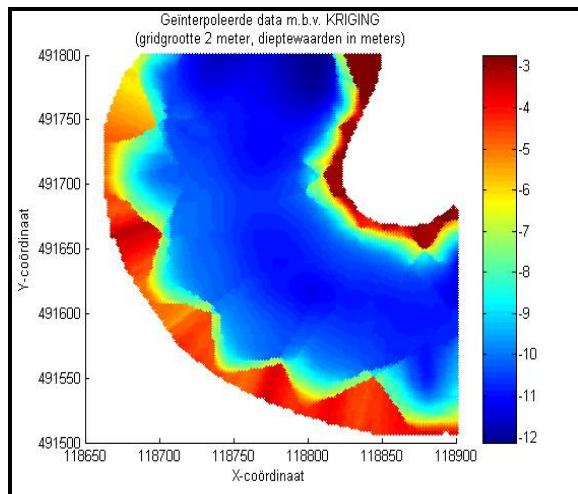
Figuur B.88: Verschil -2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS



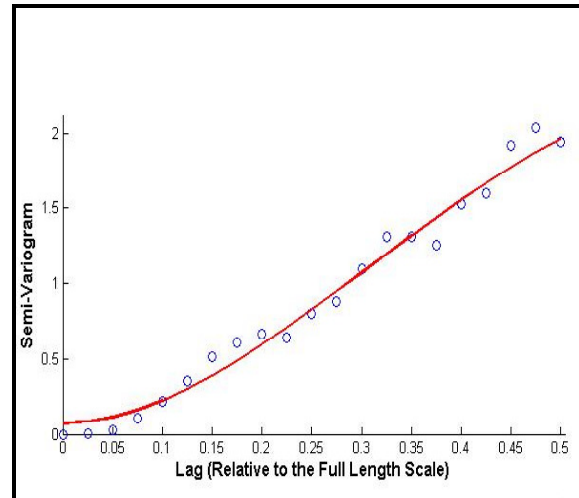
Figuur B.89: Verschil -1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. SURFIS

Resultaat KRIGING

Bij de interpolatie met KRIGING is er dit keer gebruik gemaakt van de volgende waarden van de in te stellen parameters: een waarde van 0.07 voor de nugget, een waarde van 2.75 voor de sill, een waarde van 0.45 voor de lengthscale, een waarde van 1.89 voor de power en een waarde van 0 voor de holescale. Ook hier is weer gebruik gemaakt van een range van 0.5 en model 13 van bijlage 1. In figuur B.91 is het geschatte model dat bij deze parameters hoort weergegeven, evenals het experimentele variogram. Het uiteindelijke interpolatieresultaat van figuur B.90 lijkt zo op het eerste gezicht redelijk veel op het resultaat uit paragraaf 5.1.1 (er zijn alleen in figuur B.90 minder kartels te zien, maar dit komt doordat de raaiafstand iets groter is). Maar wanneer er beter naar het resultaat van het midden van de haven wordt gekeken, blijkt dat het lijnenpatroon uit figuur 5.19 veel minder sterk terug te vinden is in figuur B.90. Hier geven de lijnen een wat meer realistisch patroon van dieptelijnen weer.

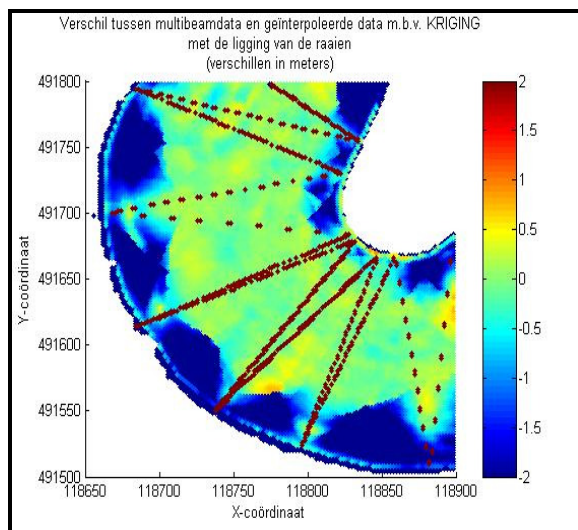


Figuur B.90: Het geïnterpoleerde gebied

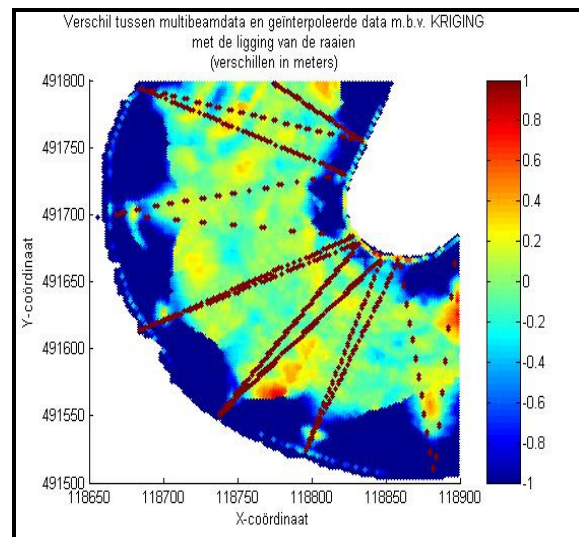


Figuur B.91: Het variogram van de singlebeamdata

Uit de verschillen met de multibeamdata uit de figuren B.92 en B.93 blijkt dat er, behalve weer aan de randen, over het algemeen goed wordt geïnterpoleerd. Wanneer deze resultaten worden vergeleken met die uit paragraaf 5.1.1 blijkt dat KRIGING hier aan beide oevers van de haven negatieve verschillen geeft en dus hoger interpoleert dan dat de multibeamdata aangeeft. (Dit was in paragraaf 5.1.1 niet het geval, daar bevatte de linkeroever vooral negatieve verschillen, maar de rechteroever juist hoofdzakelijk positieve verschillen.)



Figuur B.92: Verschil -2 tot +2 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

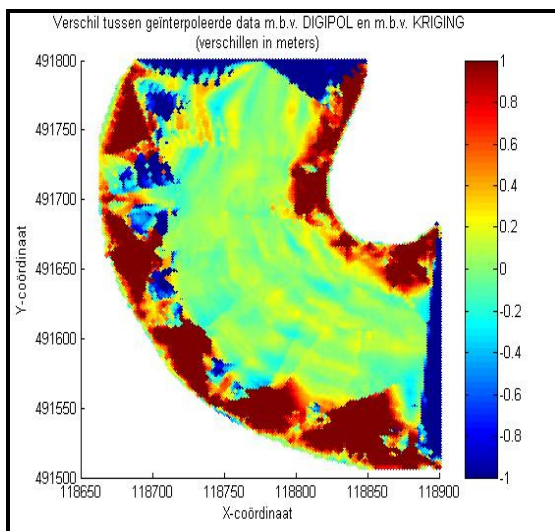


Figuur B.93: Verschil -1 tot +1 tussen multibeam en de interpolatie m.b.v. KRIGING

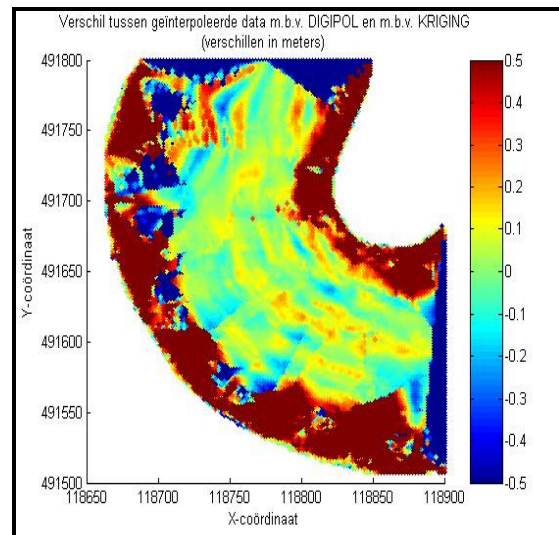
Verschillen tussen DIGIPOL, SURFIS en KRIGING

Zoals te verwachten geven de afbeeldingen van de verschillen in interpolatieresultaat tussen DIGIPOL en KRIGING (zie de figuren B.94 en B.95) aan de randen weer grote verschilwaarden. Verder is er echter ook in het midden van de haven een aantal redelijk grote verschillen te zien. Vooral in het noordelijkste deel zijn enkele verschillen die oplopen tot zo'n 50 centimeter. Hier interpoleert DIGIPOL hoger dan KRIGING. Opvallend zijn ook de zuidelijker gelegen kleinere verschillen in het midden van de haven.

Wanneer deze verschillen worden vergeleken met die uit paragraaf 5.1.1 blijkt ook hieruit dat vooral de interpolatie met KRIGING een beter resultaat oplevert, aangezien in zowel figuur B.94 als B.95 het lijnenpatroon minder nadrukkelijk aanwezig is. Verder zijn op de locaties waar de verschillen in het midden van de haven die in de figuren B.94 en B.95 het grootst waren, ook in de figuren 5.23 en 5.24 het grootst. Ook blijkt de afmeting van de linkerrand waar grote verschillen aanwezig zijn ongeveer een even groot deel van de haven in beslag te nemen, de rechterrand is daarentegen in de figuren B.94 en B.95 iets groter.

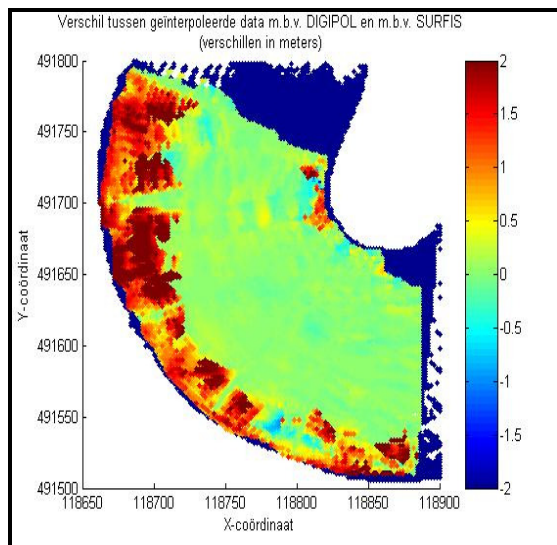


**Figuur B.94: Verschil -1 tot +1 van DIGIPOL
- DIGIPOL**

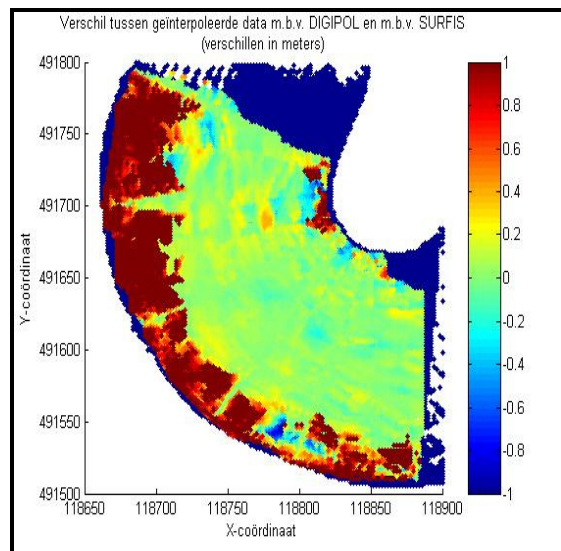


**Figuur B.95: Verschil -0.5 tot +0.5 van DIGIPOL
- DIGIPOL**

De verschillen tussen de interpolaties met DIGIPOL en SURFIS, zoals deze zijn weergegeven in de figuren B.96 en B.97, zijn ook hier aan met name de linkeroever van de haven weer heel erg groot. Hier ligt de geïnterpoleerde waarde van DIGIPOL weer boven de waarde van SURFIS. Wat opvalt is dat aan de rechteroever er een veel kleiner aantal verschillen te zien is, maar dat daar waar er wel verschillen zijn deze vrij groot zijn. Wanneer deze resultaten bovendien worden vergeleken met die uit paragraaf 5.1.1, dan blijken deze resultaten in het midden van de haven ongeveer identiek te zijn. Echter is de linkerrand veel breder met veel meer verschillen dan in paragraaf 5.1.1.

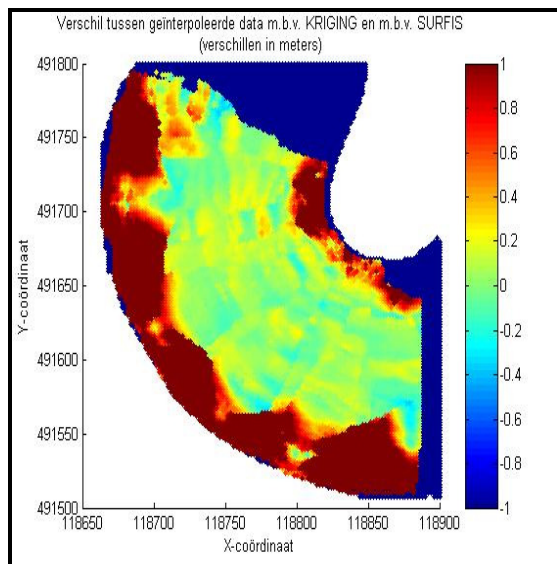


**Figuur B.96: Verschil -2 tot $+2$ van DIGIPOL
– SURFIS**

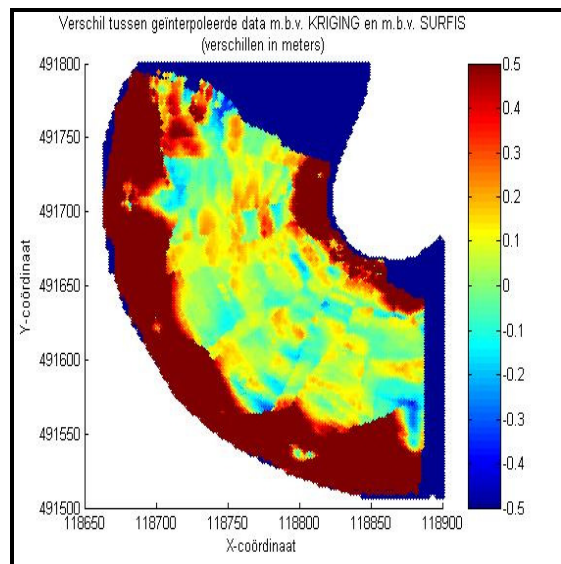


**Figuur B.97: Verschil -1 tot $+1$ van DIGIPOL
– SURFIS**

Wanneer tenslotte de verschillen tussen SURFIS en KRIGING worden weergegeven (zie de figuren B.98 en B.99), dan blijken ook hier de randen een groter deel van de haven te beslaan dan in paragraaf 5.1.1 het geval was. Verder is ook hier de relatief grote interpolatiefout van KRIGING in het noordelijke deel van de haven goed terug te vinden. Opvallend is dat er ten opzichte van paragraaf 5.1.1 op bepaalde locaties in het midden van de haven in de figuren B.98 en B.99 juist een kleiner verschil tussen de interpolatieresultaten van SURFIS en KRIGING te zien is.



**Figuur B.98: Verschil -1 tot $+1$ van KRIGING
– SURFIS**



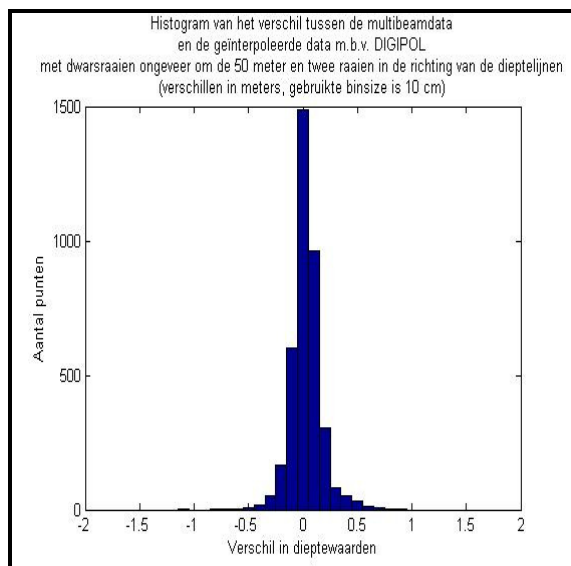
**Figuur B.99: Verschil -0.5 tot $+0.5$ van KRIGING
– SURFIS**

Bijlage 3: Kwaliteit van de overige raaiconfiguraties

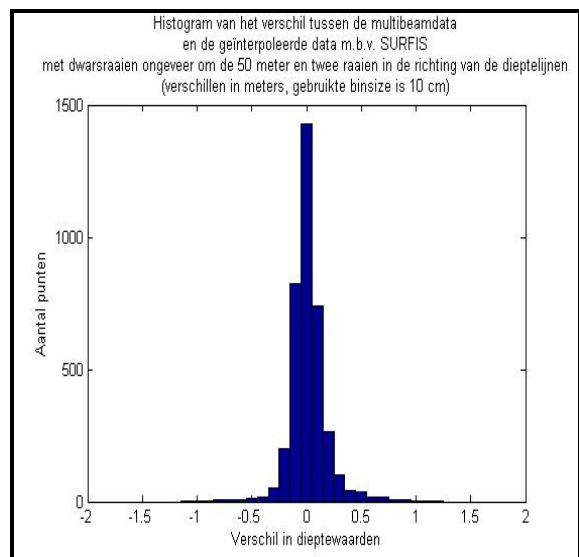
Kwaliteit dwarsraaien om de 50m met twee lengterraaien

Wanneer van het vergelijkingsgebied de verschillen tussen de multibeamdata en de interpolatieresultaten waarbij gebruik is gemaakt van dwarsraaien om de 50 meter met twee lengterraaien middels een histogram worden gevisualiseerd, ontstaan de afbeeldingen in de figuren B.100 t/m B.102. Hieruit blijkt dat de interpolaties met DIGIPOL en SURFIS meer kleinere verschillen geven dan de interpolatie met KRIGING dat doet. Bovendien is te zien dat SURFIS meer negatieve dan positieve verschillen geeft met de multibeamdata en dus een beetje te hoog interpoleert. Bij DIGIPOL is dit net andersom. Wanneer het histogram van de KRIGING-interpolatie wordt bekeken, blijkt dat deze ongeveer evenveel positieve als negatieve verschillen heeft ten opzichte van de multibeamdata.

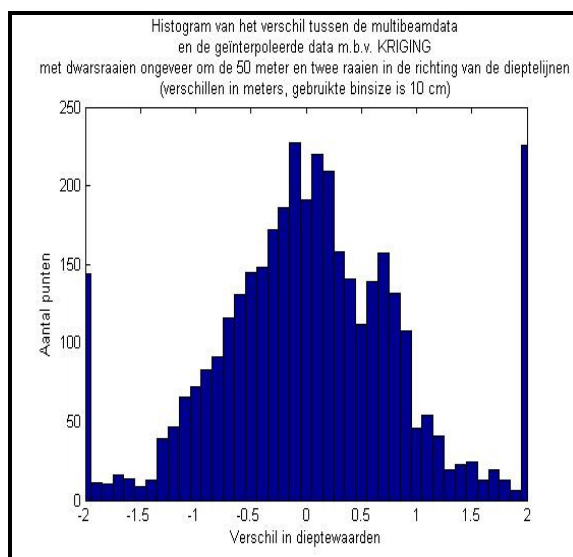
Wanneer deze resultaten worden vergeleken met die uit paragraaf 5.2.1 waar er geen lengterraaien zijn gebruikt bij de interpolatie, dan blijkt dat bij zowel DIGIPOL als SURFIS er in het vergelijkingsgebied geen verschillen te zien zijn tussen de verschillende histogrammen. Bij de interpolatie met KRIGING zijn er wel enkele kleine verschillen tussen de twee histogrammen aan te wijzen, maar aan de verdeling van de verschillen verandert nauwelijks iets. Zo zien de vier staven die de piek vormen er iets anders uit, het aantal punten dat in het verschil-interval van -0.1 tot $+0.1$ vallen is in figuur B.102 een beetje lager dan in paragraaf 5.2.1 en de twee staven die hiernaast liggen zijn qua het aantal punten dat erbinnen valt omgewisseld. Bovendien is er nog een kleiner aantal punten in het interval van $+0.5$ tot $+0.6$ zichtbaar dan in paragraaf 5.2.1 het geval was.



Figuur B.100: Histogram van de verschillen tussen multibeam en DIGIPOL in het vergelijkingsgebied



Figuur B.101: Histogram van de verschillen tussen multibeam en SURFIS in het vergelijkingsgebied



Figuur B.102: Histogram van de verschillen tussen multibeam en KRIGING in het vergelijkingsgebied

Uit de bovenstaande figuren blijkt dat de standaardafwijking van de verschillen tussen de multibeamdata en de interpolatie met KRIGING net als in paragraaf 5.2.1 vele malen groter is dan die van de interpolaties met DIGIPOL en SURFIS. Dit wordt onderbouwd door de waarden van deze standaardafwijkingen in tabel B.3.

		DIGIPOL	SURFIS	KRIGING
Totale fout	(m)	106.81	68.884	467.64
Gemiddelde fout	(m)	0.028175	0.018170	0.12335
RMSE	(m)	0.13985	0.17350	1.3401
Variantie	(m ²)	0.018766	0.029771	1.7806
Standaardafwijking	(m)	0.13699	0.17254	1.3344

Tabel B.3: Statistische eigenschappen van de vergelijkingsgebieden

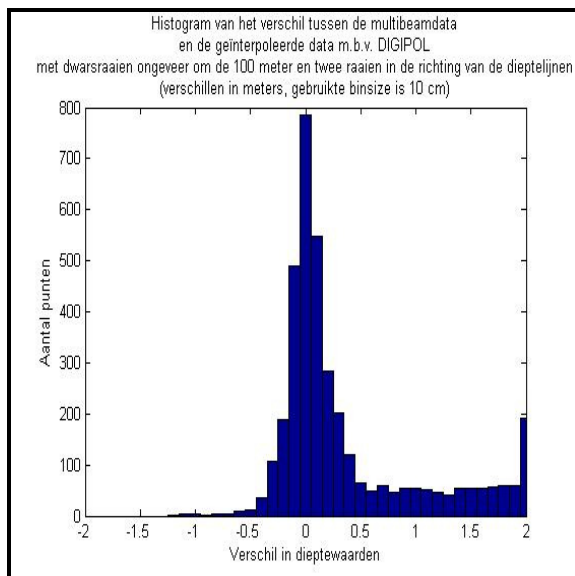
Maar niet alleen de standaardafwijking is van KRIGING groter dan die van DIGIPOL en SURFIS, alle berekende fouten zijn ook nog eens vele malen groter. Net als in paragraaf 5.2.1 is geeft dus ook hier de interpolatie met KRIGING het slechtste resultaat. Bovendien blijkt uit tabel B.3 dat ook de totale en gemiddelde fout van SURFIS lager zijn dan die van DIGIPOL, terwijl de Root Mean Square Error en de variantie juist iets groter zijn. Ook dit komt overeen met het resultaat van paragraaf 5.2.1.

Wanneer de totale en gemiddelde fout uit tabel B.3 worden vergeleken met die uit tabel 5.1, dan blijkt dat deze in tabel B.3 voor zowel DIGIPOL als SURFIS en ook KRIGING een beetje hoger zijn dan in paragraaf 5.2.1. De RMSE en de variantie zijn echter juist voor alledrie de interpolatiemethodes in tabel B.3 juist een klein beetje lager dan in tabel 5.1. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de fouten allemaal iets dichterbij elkaar liggen, maar dat er dus ook iets meer positieve dan negatieve fouten zijn en dat dus uit de waarde van de RMSE blijkt dat deze interpolaties allemaal een heel klein beetje beter zijn dan de interpolaties uit paragraaf 5.2.1.

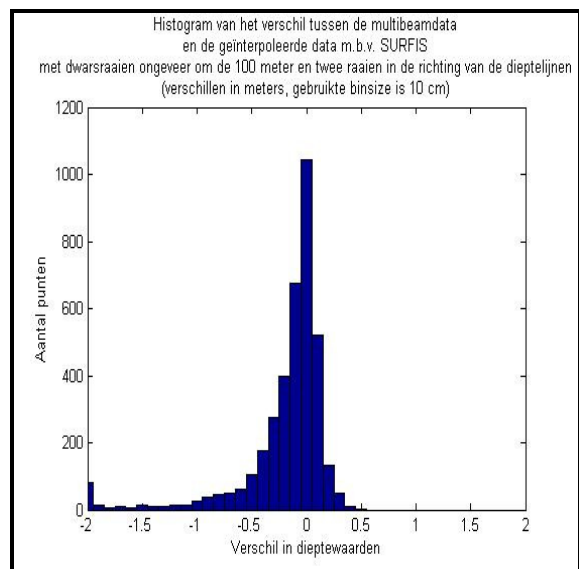
Kwaliteit dwarsraaien om de 100m met twee lengteraaien

Wanneer de histogrammen van de verschillen in het vergelijkingsgebied tussen de multibeamdata en de interpolaties uit paragraaf 5.1.4 nader worden bekeken (zie de figuren B.103 t/m B.105) dan blijken wederom de interpolaties met DIGIPOL en SURFIS een betere verdeling van de verschillen te geven dan de interpolatie met KRIGING. Verder wordt uit de figuren B.103 en B.104 duidelijk dat de interpolatie met DIGIPOL vooral positieve verschillen geeft (en dus op meer plaatsen lager interpoleert dan de multibeamdata), terwijl SURFIS juist veel negatieve verschillen geeft. Bij KRIGING zijn er wederom heel veel grote verschillen met de multibeamdata.

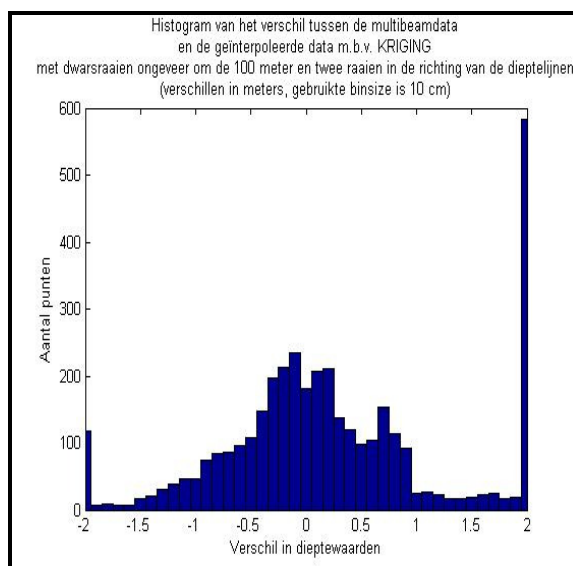
Wanneer deze resultaten worden vergeleken met die uit paragraaf 5.2.2, dan blijken de bovengenoemde kenmerken ook hier terug te komen. Er zijn echter ook grote verschillen te zien, en dan met name bij de interpolatie met DIGIPOL. In figuur B.103 blijkt dat de meeste verschillen nu wel in de buurt van de 0 liggen, terwijl dit in paragraaf 5.2.2 niet het geval was en de meeste verschillen juist rond de +2 meter lagen. Hier is in figuur B.103 nog steeds wel een piek te zien, maar deze is beduidend kleiner dan in paragraaf 5.2.2. Tussen de twee histogrammen van SURFIS zijn minder grote verschillen zichtbaar, maar ook hier geldt dat in figuur B.104 de verschillen dichter bij 0 liggen dan de berekende verschillen uit paragraaf 5.2.2 en dat dus ook hier de standaardafwijking kleiner is geworden. Ten slotte is ook bij KRIGING een verschil te zien tussen deze twee histogrammen, waar het aantal verschillen rond de +2 meter ongeveer gehalveerd is. Deze verschillen zijn kleiner en dus liggen ze dichter bij 0.



Figuur B.103: Histogram van de verschillen tussen multibeam en DIGIPOL in het vergelijkingsgebied



Figuur B.104: Histogram van de verschillen tussen multibeam en SURFIS in het vergelijkingsgebied



Figuur B.105: Histogram van de verschillen tussen multibeam en KRIGING in het vergelijkingsgebied

Wanneer de berekende standaardafwijkingen in tabel B.4 worden vergeleken met de waarden uit tabel 5.2 blijkt inderdaad dat de standaardafwijking van DIGIPOL bij deze interpolatie bijna is gehalveerd ten opzichte van de interpolatie van paragraaf 5.2.2. De standaardafwijking van SURFIS is ook wel kleiner geworden, maar dit is slechts minimaal. Ook bij KRIGING is de standaardafwijking een stuk kleiner geworden.

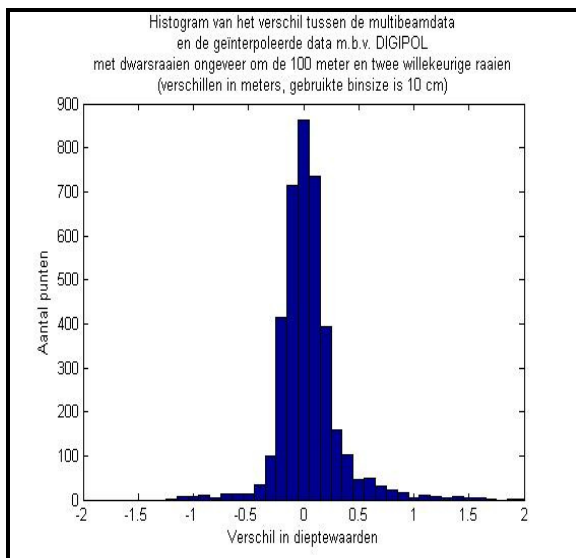
	DIGIPOL	SURFIS	KRIGING
Totale fout (m)	1451.1	-784.20	2304.0
Gemiddelde fout (m)	0.38276	-0.20686	0.60777
RMSE (m)	0.79584	0.53407	2.0433
Variantie (m ²)	0.48686	0.24244	3.8058
Standaardafwijking (m)	0.69775	0.49238	1.9508

Tabel B.4: Statistische eigenschappen van de vergelijkingsgebieden

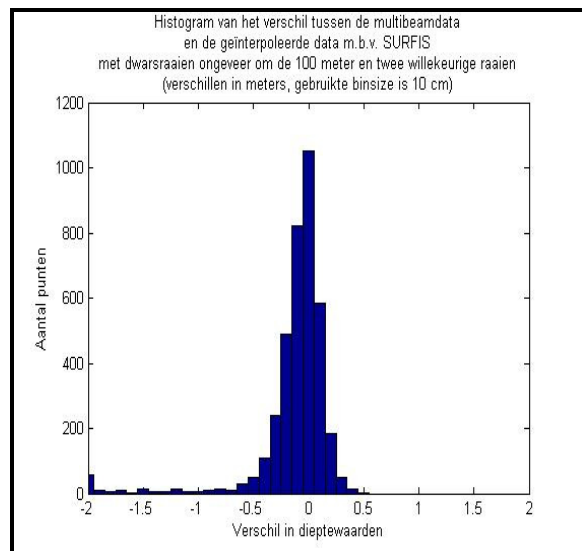
Wanneer bovendien wordt gekeken naar de totale en de gemiddelde fout zijn ook deze bij allemaal een stuk kleiner zijn geworden, evenals de waarden voor de RMSE en de variantie. Hieruit blijkt dat wanneer de interpolatie met de dwarsraaien om de 100 meter wordt aangevoegd met twee raaien in de lengterichting er bij alledrie de interpolatieprogramma's een beter eindresultaat wordt verkregen dan wanneer dit niet het geval zou zijn.

Kwaliteit dwarsraaien om de 100m en twee willekeurige raaien

De histogrammen van de verschillen tussen de multibeamdata en de interpolaties met de dwarsraaien om de 100 meter gecombineerd met twee willekeurige raaien staan weergegeven in de figuren B.106 t/m B.108. Hierin is te zien dat de verschillen tussen de multibeamdata en DIGIPOL veel beter een normale verdeling weergeven en dat er dus ongeveer evenveel negatieve als positieve verschillen zijn. Bij SURFIS is dit duidelijk nog een beetje minder het geval, hier zijn er nog wat meer negatieve verschillen zichtbaar.

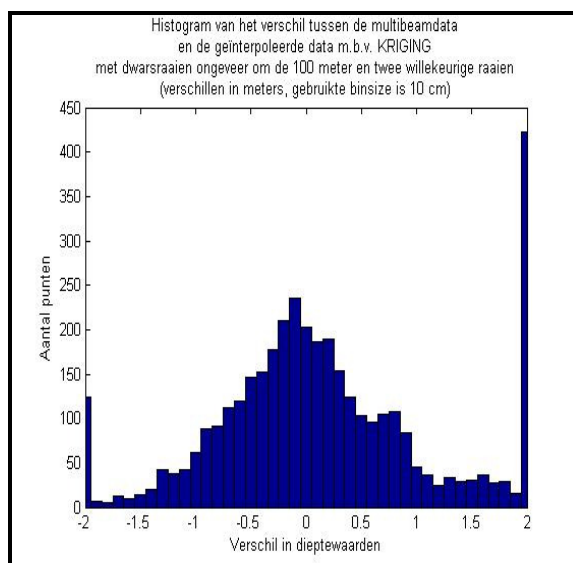


Figuur B.106: Histogram van de verschillen tussen multibeam en DIGIPOL in het vergelijkingsgebied



Figuur B.107: Histogram van de verschillen tussen multibeam en SURFIS in het vergelijkingsgebied

Wanneer deze histogrammen worden vergeleken met die uit paragraaf 5.2.2, dan blijkt dat naast de hierboven genoemde verandering bij het histogram van de verschillen tussen de multibeamdata en de interpolatieresultaten van DIGIPOL, ook het histogram van de KRIGING-interpolatie nog beter een normale verdeling beschrijft. Het aantal grote (positieve) verschillen is veel kleiner geworden en ook de standaardafwijking is kleiner dan in paragraaf 5.2.2. Dit blijkt ook wanneer de waarden uit tabel B.5 worden vergeleken met die uit tabel 5.2. Bovendien zijn ook de standaardafwijkingen van de verschillen tussen de multibeamdata en zowel DIGIPOL als SURFIS een stuk kleiner geworden dan in paragraaf 5.2.2 het geval was.



Figuur B.108: Histogram van de verschillen tussen multibeam en KRIGING in het vergelijkingsgebied

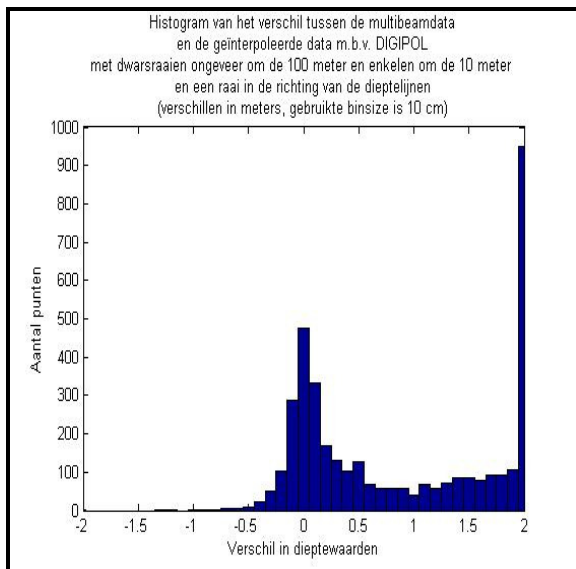
Verder blijkt uit tabel B.5 dat de totale en de gemiddelde fouten bij DIGIPOL het kleinst zijn, evenals de variantie en de RMSE-waarde. De interpolatie met DIGIPOL geeft bij deze raai-configuratie dus het resultaat dat het beste de multibeamdata benadert. Wanneer tabel B.5 wordt vergeleken met tabel 5.2, dan blijkt dat alle genoemde waarden in tabel B.5 kleiner zijn dan die in tabel 5.2. Opvallend is dat vooral de varianties van DIGIPOL en KRIGING ongeveer een factor 3 kleiner zijn. De RMSE-waarde is bij DIGIPOL bijna een factor 7 kleiner geworden en ook de RMSE-waarde bij KRIGING is ongeveer gehalveerd. Bij SURFIS was deze waarde in tabel 5.2 al vrij klein en is nu ongeveer nog een tiende kleiner geworden.

	DIGIPOL	SURFIS	KRIGING
Totale fout (m)	143.82	-503.74	1420.9
Gemiddelde fout (m)	0.037937	-0.13288	0.37481
RMSE (m)	0.26958	0.41793	1.7189
Variantie (m ²)	0.071236	0.15701	2.8140
Standaardafwijking (m)	0.26690	0.39624	1.6775

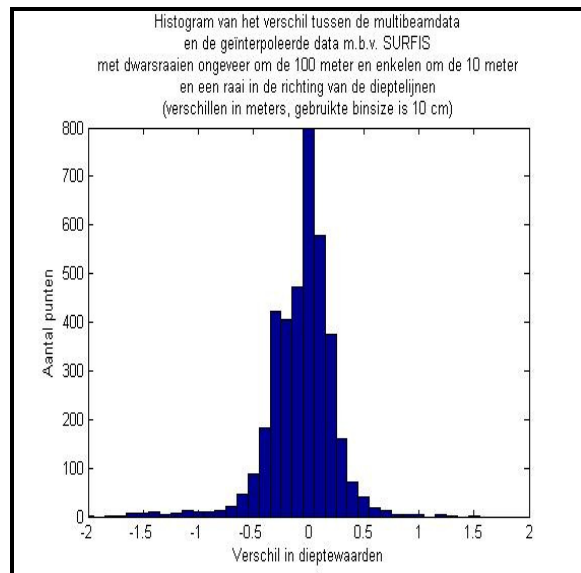
Tabel B.5: Statistische eigenschappen van de vergelijkingsgebieden

Kwaliteit dwarsraaien om de 100m en enkele om de 10m

In de figuren B.109 t/m B.111 zijn de histogrammen weergegeven van de verschillen tussen de multibeamdata en de interpolaties met DIGIPOL, SURFIS en KRIGING waarbij er gebruik is gemaakt van dwarsraaien met een onderlinge afstand van 100 meter en een aantal dwarsraaien dat zeer dicht op elkaar ligt. Wanneer deze histogrammen vergeleken worden met die uit paragraaf 5.2.2, dan is bij de interpolatie met DIGIPOL duidelijk te zien dat er meer verschillen zijn die heel dicht bij 0 liggen (deze liggen op de plaats waar de dwarsraaien zeer dicht op elkaar liggen) maar dat er ook meer verschillen van +2 meter of groter in het interpolatieresultaat aanwezig zijn. Hieruit kan geconcludeerd worden dat dit interpolatieresultaat nauwelijks een verbetering geeft ten opzichte van het resultaat uit paragraaf 5.2.2.

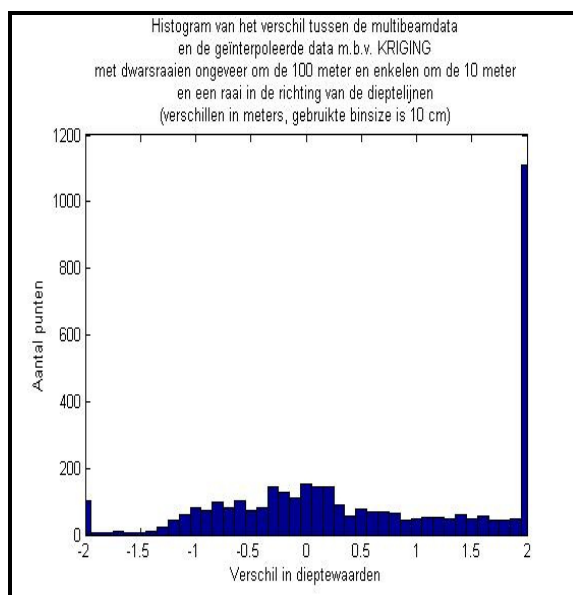


Figuur B.109: Histogram van de verschillen tussen multibeam en DIGIPOL in het vergelijkingsgebied



Figuur B.110: Histogram van de verschillen tussen multibeam en SURFIS in het vergelijkingsgebied

Bij de interpolatie met SURFIS zijn er wel enkele positieve veranderingen te zien wanneer het histogram uit paragraaf 5.2.2 vergeleken wordt met dat van figuur B.110. Zo is de piek bij de verschillen van -2 meter van paragraaf 5.2.2 in figuur B.110 helemaal verdwenen. Ook zijn de aantallen verschillen van -0.5 tot -1 meter in figuur B.110 aanzienlijk gereduceerd. Bij KRIGING is juist de piek van verschillen van +2 meter in figuur B.111 aanzienlijk groter geworden dan in paragraaf 5.2.2 het geval was. Ook is het aantal verschillen dat rond de 0 ligt bij deze interpolatie kleiner geworden. In figuur B.111 is dan ook nauwelijks nog een normale verdeling te zien.



Figuur B.111: Histogram van de verschillen tussen multibeam en KRIGING in het vergelijkingsgebied

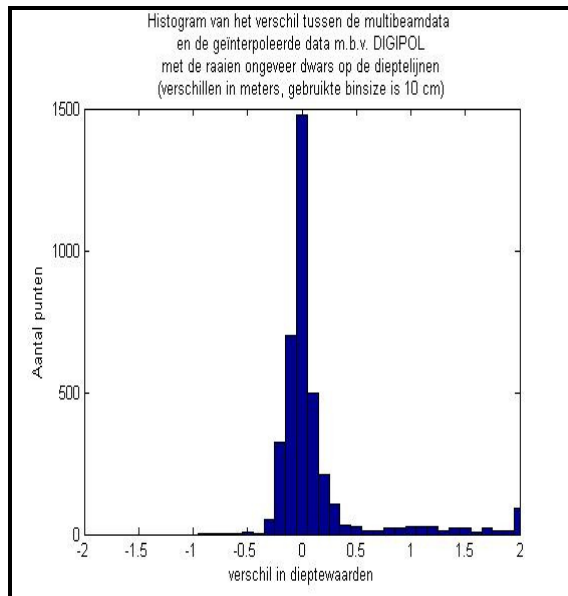
Wanneer de gegevens uit tabel B.6 worden vergeleken met die uit tabel 5.2, dan blijkt ook dat bij KRIGING de totale en de gemiddelde fout bij deze interpolatie groter zijn geworden. Dit is ook bij DIGIPOL en bij SURFIS het geval (bij de laatstgenoemde zijn de negatieve waarden kleiner geworden en liggen ze dicht bij 0, ook hier zijn de waarden dus in de positieve richting gegroeid). Verder zijn zowel de RMSE-waarde als de variantie van SURFIS net als in paragraaf 5.2.2 vele malen kleiner dan die van DIGIPOL en KRIGING en geeft deze dus ook het beste resultaat.

	DIGIPOL	SURFIS	KRIGING
Totale fout (m)	3909.8	-247.16	5289.1
Gemiddelde fout (m)	1.0313	-0.065198	1.3952
RMSE (m)	1.5053	0.30267	2.8550
Variantie (m ²)	1.2024	0.087358	6.2047
Standaardafwijking (m)	1.0965	0.29556	2.4909

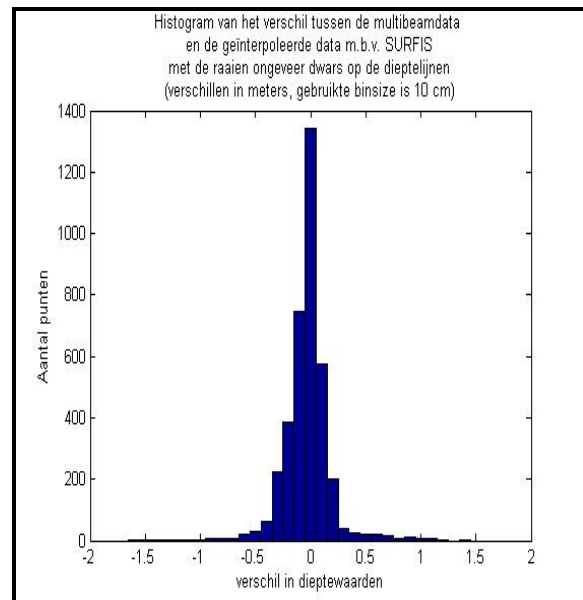
Tabel B.6: Statistische eigenschappen van de vergelijkingsgebieden

Kwaliteit raaien ongeveer dwars op de lengterichting

Ook van deze interpolatie zijn er weer histogrammen gemaakt, zie de figuren B.112 t/m B.114. Wanneer deze worden vergeleken met die uit paragraaf 5.2.1 (de verwachting was dat deze histogrammen veel op elkaar zouden lijken, zie paragraaf 5.1.3), blijken er toch wel enkele verschillen merkbaar. Zo heeft het histogram van de interpolatie met DIGIPOL in figuur B.112 veel meer grote positieve verschillen dan het histogram uit paragraaf 5.2.1. Wel is het aantal verschillen dat binnen de marges van -0.1 en $+0.1$ valt in figuur B.112 juist groter. Verder is het opmerkelijk dat de twee naburige staven juist een veel kleiner aantal punten bevatten en dat er in figuur B.112 hier juist meer negatieve dan positieve verschillen zijn dan in paragraaf 5.2.1 het geval was.

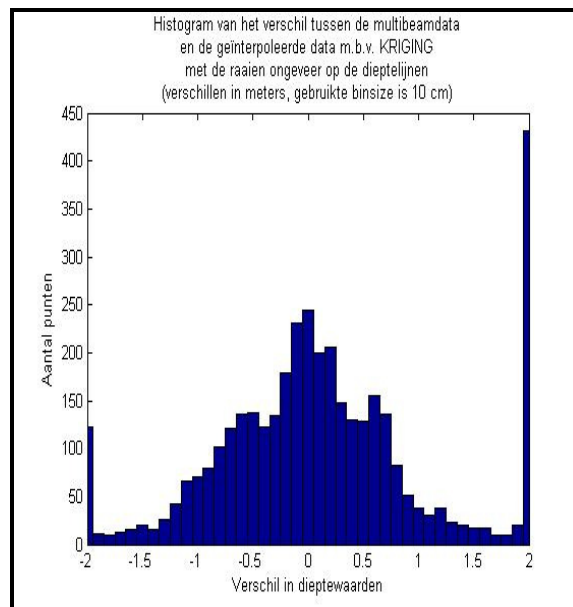


Figuur B.112: Histogram van de verschillen tussen multibeam en DIGIPOL in het vergelijkingsgebied



Figuur B.113: Histogram van de verschillen tussen multibeam en SURFIS in het vergelijkingsgebied

Bij SURFIS blijkt dat er juist nauwelijks verschillen te zien zijn tussen de histogrammen in figuur B.113 en in figuur 5.51. bij KRIGING zijn er wel weer enkele verschillen te zien. Zo is allereerst het aantal punten met een verschil van meer dan -2 meter is in figuur B.114 een beetje afgenomen. Daarentegen is het aantal punten met een verschil van minimaal $+2$ meter meer dan verdubbeld. Wel zijn ook de verschillen die dicht bij 0 liggen iets in aantallen toegenomen, maar vooral de toename van het aantal grote verschillen is niet gewenst.



Figuur B.114: Histogram van de verschillen tussen multibeam en KRIGING in het vergelijkingsgebied

Wanneer bovendien de waarden voor de totale en gemiddelde fout en die voor de RMSE en variantie uit tabel B.7 vergeleken met die uit tabel 5.1, dan blijkt dat de totale en gemiddelde fout bij DIGIPOL en KRIGING fors zijn toegenomen, maar dat hiervoor ook de waarden van SURFIS groter zijn geworden (dit waren in paragraaf 5.2.1 kleine positieve waarden, nu zijn het grotere negatieve waarden). Ook geldt voor DIGIPOL en KRIGING dat ze een RMSE-waarde en een variantie hebben die vele malen groter is dan in paragraaf 5.2.1, maar die wel beduidend kleiner is dan de resultaten uit paragraaf 5.2.2 met de dwarsraaien om de 100 meter. SURFIS heeft wel een grotere variantie en RMSE-waarde, maar deze verschillen niet zoveel met paragraaf 5.2.1.

	DIGIPOL	SURFIS	KRIGING
Totale fout (m)	521.48	-123.13	1287.6
Gemiddelde fout (m)	0.13756	-0.032479	0.33965
RMSE (m)	0.52143	0.22159	1.6856
Variantie (m ²)	0.25296	0.048049	2.7260
Standaardafwijking (m)	0.50295	0.21920	1.6511

Tabel B.7: Statistische eigenschappen van de vergelijkingsgebieden

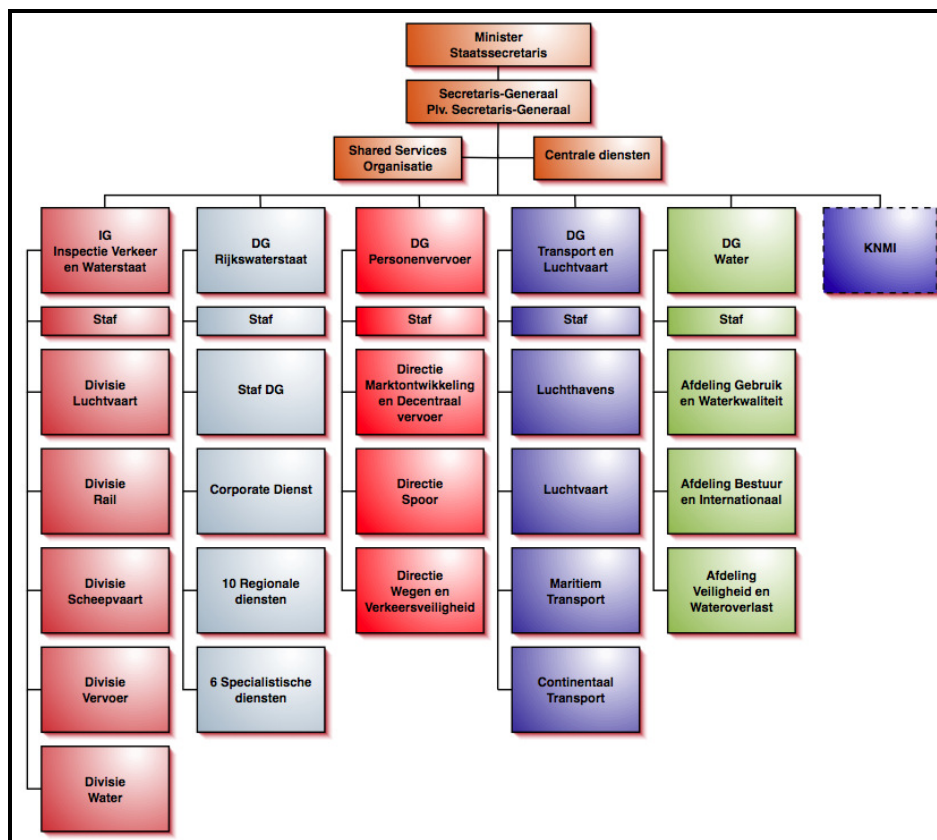
Bijlage 4: Bevindingen van de stage

Deze derdejaarsstage heeft plaatsgevonden bij de Adviesdienst voor Geo-informatie en ICT, welke één van de zes specialistische diensten is van Rijkswaterstaat. In figuur B.115 is schematisch de organisatie van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat aangegeven, waar Rijkswaterstaat deel van uitmaakt. De genoemde 10 regionale diensten van Rijkswaterstaat zijn:

- directie Noordzee
- directie Noord-Nederland
- directie Oost-Nederland
- directie Utrecht
- directie IJsselmeergebied
- directie Noord-Holland
- directie Zuid-Holland
- directie Noord-Brabant
- directie Limburg
- directie Zeeland

De 6 specialistische diensten zijn:

- Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW)
- bouwdienst
- Adviesdienst Geo-informatie en ICT (AGI)
- Adviesdienst Verkeer en Vervoer (AVV)
- RijksInstituut voor Kust en Zee (RIKZ)
- RijksInstituut voor integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA)



Figuur B.115: Organogram van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Doelstelling van de AGI is om dé faciliterende en (ver)bindende dienst van Rijkswaterstaat (RWS) op het gebied van Geo-informatievoorziening en ICT te zijn. Doordat RWS in toenemende mate behoefte heeft aan efficiency en kostenbesparing door schaalvoordelen en marktbenutting, uitwisselbaarheid van gegevens, samenhang en uniformering in werkprocessen en flexibiliteit op corporate niveau, zal de AGI hier op inspelen door als generieke dienstverlener voor RWS de standaardisatie van de geo-informatievoorziening (GIV) en de ICT ter hand te nemen en vanuit deze standaarden de RWS te bedienen met hoogwaardige GIV en ICT-faciliteiten. Vanuit het hoofdkantoor gezien is de AGI daarmee een standaardisatie instituut, vanuit de klantdirecties gezien is de AGI een service organisatie. Samen met de RWS-directies en HKW wordt bepaald welke dienstverlening nodig is om de bedrijfsprocessen optimaal te ondersteunen. Met haar overzicht en expertise op gebied van architectuur, standaardisatie, leveranciersmanagement en technologie zorgt de AGI ervoor dat het geheel van de GIV- en ICT-dienstverlening consistent, kosteneffectief en toekomstvast is.

Het idee van één generieke dienstverlener RWS houdt in dat veel voorkomende werkzaamheden worden gebundeld in één organisatieonderdeel, dat deze werkzaamheden aan het moederbedrijf (in ons geval RWS) ter beschikking stelt in de vorm van zo optimaal mogelijke gestandaardiseerde diensten en producten. Een centrale dienstverlener kan op die manier betere service leveren, kosten en administratie reduceren, financiën en personeel besparen door dubbele functies te saneren en op die manier efficiënter opereren. Bedrijfsmatig werken, klantgerichtheid en efficiency zijn sleutelwoorden voor een generieke dienstverlener.

De zorg voor het productenpakket dat de generieke dienstverlener ‘onder handen’ heeft is een continu aandachtspunt. Zowel wensen en eisen van gebruikers als ontwikkelingen in de markt kunnen leiden tot een verbetering van producten en diensten. Daarbij staan de uitgangspunten zoals hierboven genoemd centraal. Met bovenstaande doelstellingen is de AGI er van overtuigd dat genoemde voordelen het best via de inrichting van één generieke dienstverlener voor GIV en ICT binnen RWS te behalen zijn.

De organisatie binnen de AGI is in figuur B.116 weergegeven. De afdeling waar deze stage plaatsvond is de afdeling GPMP, welke in het kader staat van projectmanagement en een onderdeel is van de afdeling GPM, het productmanagement van de directie geo-informatie.

Voor de korte duur van de stage, 8 weken, vond ik de stageopdracht goed geschikt. Het was goed mogelijk om een volledig onderzoek uit te voeren en de verkregen resultaten te presenteren binnen de gestelde termijn. Ook is het voor de korte termijn van 8 weken goed mogelijk om continu met hetzelfde onderwerp bezig te zijn, ook al is een afwisseling van de werkzaamheden altijd welkom. Het is echter niet prettig om voor een langere periode met één specifiek onderwerp bezig te zijn. De verschillende werknemers hebben dan ook altijd meerdere projecten lopen, waardoor er al wat meer afwisseling in de werkzaamheden ontstaat. Ook wordt onderzoek achter de computer dan afgewisseld met vergaderingen en presentaties en soms nog wat veldwerk, waardoor het werk nog gevarieerder wordt. Natuurlijk is dit alles een stuk moeilijker te realiseren in een stage van maar 8 weken, maar toch had ik verwacht dat dit wel een klein beetje het geval zou zijn.

De werksfeer en de faciliteiten waren goed, de sfeer was wel een stuk informeler dan ik van tevoren had verwacht, maar daarom niet minder gezellig. Ook de faciliteiten waren goed georganiseerd. Natuurlijk kwamen er ook hier wel eens probleempjes met de computerfaciliteiten om de hoek kijken, maar deze werden snel en goed opgelost. Het systeem van de vrije werkplekken, zoals dat binnen de AGI wordt gehanteerd, bleek zowel voordelen als nadelen te hebben: Er zijn minder werkplekken nodig, maar doordat niet iedereen op dezelfde plek te vinden is, is het soms wat zoeken. Ook is er wat meer onrust doordat er meerdere mensen in dezelfde ruimte zitten, vooral bij telefoongesprekken, maar dat zorgt aan de andere hand wel weer voor een gezelligere sfeer en een beter contact tussen de collega's onderling.



Figuur B.116: Organogram van de Adviestdienst voor Geo-informatie en ICT

Over het algemeen gezien vond ik het een leuke stage, waardoor je bovendien een goed beeld kreeg over hoe het dagelijkse leven van een ambtenaar bij Rijkswaterstaat eruit ziet. Ook het in praktijk brengen van je opgedane kennis tijdens de drie jaren studeren was erg leuk, evenals het bezig gaan met echte gegevens en het maken van een rapport dat niet in een donkere kast verdwijnt, maar waar echt naar gekeken gaat worden. Maar voor een goed en volledig beeld over het bedrijfsleven in het algemeen is meer nodig dan een stage van 8 weken!