



BSC-EINDOPDRACHT CIVIELE TECHNIEK, UNIVERSITEIT TWENTE

Suppletiebehoefte van de Nederlandse kust

Een onderzoek naar zandverliezen op dieper water en een vergelijking tussen de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust en gerealiseerde suppletievolumes.

Auteur:	T.H. (Thijs) Schuiling
Studentnummer:	s1729535
Onderwijsinstelling:	Universiteit Twente
Uitgegeven door:	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving afdeling Hoogwaterveiligheid
Rijkswaterstaat begeleider:	Drs. Q.J. (Quirijn) Lodder
UT-begeleider:	Dr.ir. J.J. (Jebbe) van der Werf
Stageperiode:	22 april 2019 – 28 juni 2019
Datum:	9 juli 2019
Status:	Definitief

Voorwoord

Voor u ligt het eindverslag ter afronding van mijn afstudeeronderzoek van de bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit van Twente. Het onderzoek is in de periode vanaf 22 april tot en met 28 juni uitgevoerd bij de afdeling Hoogwaterveiligheid van Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving. Tijdens deze periode ben ik veel te weten gekomen over de Nederlandse kust, JARKUS-data en suppleties. Daarnaast heb ik een kijkje mogen nemen in het functioneren van de afdeling, binnen de grote organisatie die Rijkswaterstaat is. Dit was ik allemaal niet te weten gekomen zonder hulp van de collega's van de afdeling Hoogwaterveiligheid, die ik daarom allemaal wil bedanken voor de leerzame stageperiode.

In het bijzonder wil ik Quirijn Lodder bedanken, die namens Rijkswaterstaat mijn dagelijkse begeleider was. Het wekelijkse evaluatiemoment met Quirijn was altijd een goede bron voor nieuwe ideeën, waarbij we samen hebben gekeken naar oplossingen. Daarnaast wil ik mijn begeleider namens de UT, Jebbe van der Werf, graag bedanken. Dankzij zijn feedback heb ik veel dingen geleerd over het schrijfproces van zowel het vooronderzoek als eindrapport. Bovendien heeft hij ook veel inhoudelijke feedback gegeven. Hierdoor heb ik met een kritische blik naar mijn eigen werk kunnen kijken.

Ik wens u veel leesplezier!

Met vriendelijke groet,
Thijs Schuiling

Samenvatting

Suppleties zijn van groot belang om de Nederlandse kustlijn op zijn plaats te houden. Uit onderzoek is gebleken dat wanneer niet gesuppleerd wordt, de Nederlandse kustlijn zich met één meter per jaar terugtrekt. Om de veiligheid en andere functies van de kust zoals recreatie en natuur te waarborgen, heeft Rijkswaterstaat in haar verleden meer dan 300 suppleties gerealiseerd. Voor het ontwerpen en plannen van toekomstige suppleties, is het van belang om inzichten te hebben in de suppletiebehoefte van het Nederlandse kuststelsel. In dit onderzoek is op twee manieren getracht meer inzichten te krijgen in de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust.

Het bepalen van suppletielocaties wordt onder andere met behulp van Jaarlijkse Kustmetingen (JARKUS) gedaan. Sinds de introductie van de metingen in 1965 is het bereik van de metingen steeds groter geworden. Uit de meest recente JARKUS-data valt op, dat er op meerdere plekken in het Nederlandse kuststelsel een structurele verdieping van de diepe vooroever lijkt voor te komen. Deze structurele verdieping zou gevolgen kunnen hebben voor de suppletiebehoefte. Echter kan op basis van de huidige JARKUS-data, nog geen conclusie worden getrokken over de verdieping van de diepe vooroever. Het eerste onderzoeksdoel uit deze studie is daarom als volgt:

Het creëren van inzichten in de meerjarig morfologische ontwikkeling van de Nederlandse diepe vooroever, op basis van JARKUS-data.

Structurele verdieping van diepe vooroever zou dus invloed kunnen hebben op de suppletiebehoefte van het Nederlandse kuststelsel. Deze behoefte wordt bepaald aan de hand van zeespiegelstijging en de oppervlakte van het kuststelsel. Om te bepalen hoeveel gesuppleerd moet worden, dient de suppletiebehoefte makkelijk vergeleken te kunnen worden met gerealiseerde suppletievolumes. Hiervoor is het tweede onderzoeksdoel opgesteld:

Het ontwikkelen van een tool, om verhoudingen tussen de gerealiseerde suppletievolumes en suppletiebehoefte van de Nederlandse kust te bepalen.

Uit de resultaten blijkt dat een verdieping van de diepe vooroever optreedt bij de kustvakken Noord-Holland en Delfland. Deze verdiepingen hebben zandverliezen van de diepe vooroever tot gevolg. Echter brengen de berekende zandverliezen veel onzekerheden met zich mee, waardoor deze alleen als indicatie beschouwd kunnen worden. In vervolgonderzoek kan gekeken worden naar methodes om de onzekerheden in de berekende zandverliezen te verkleinen. Om te kunnen bepalen of de zandverliezen van de diepe vooroever invloed hebben op de suppletiebehoefte, moet uit vervolgonderzoek blijken of de zandverliezen binnen het kuststelsel blijven of dat deze verloren gaan uit het kuststelsel.

Uit de suppletietool is gebleken dat het gesuppleerde zand in een klein oppervlakte wordt gedeponeerd vergeleken met de totale oppervlakte van het Nederlandse kuststelsel. Door morfologische processen verspreidt het zand zich, wat leidt tot zeewaartse uitbouw van strand en vooroever. De combinatie van uitbouw door suppleties en verdieping van de diepe vooroever, heeft tot gevolg dat er versteiling plaatsvindt van het totale kustprofiel. Uit vervolgonderzoek moet blijken wat deze versteiling voor gevolgen kan hebben.

Inhoud

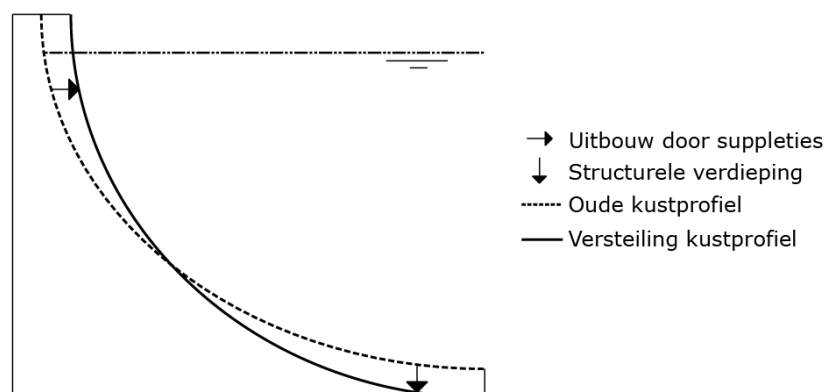
	Voorwoord	2
	Samenvatting	3
1	Introductie	5
1.1	Onderzoeksdoel	6
1.2	Onderzoeksvragen	7
2	Theoretisch kader	8
3	Methodologie	11
3.1	Afleiden representatieve kustprofielen	11
3.1.1	Selectie van raaien op basis van morfologie Nederlandse kust	11
3.1.2	Selectie van raaien op basis van JARKUS-data in MorphAn	13
3.1.3	Terugkoppeling studiegebied	14
3.1.4	Benadering representatieve kustprofielen	15
3.2	Verlengen korte JARKUS-data	16
3.2.1	Extrapoleren en verplaatsen representatieve polynoom	16
3.2.2	Volumeberekeningen verlengde hoogteprofielen	18
3.3	Inventariseren data suppletietool	20
3.3.1	Gerealiseerde suppleties	20
3.3.2	Berekenen suppletiebehoefte	22
3.3.3	Berekening oppervlaktes	22
4	Resultaten	24
4.1	Benadering representatief kustprofiel	24
4.2	Samenvoegen korte en geëxtrapolerde data	26
4.3	Vormgeving tool	32
4.4	Resultaten tool	35
5	Discussie	36
6	Conclusie	38
7	Aanbevelingen	40
	Bibliografie	41
	Bijlage A: Inladen JARKUS-data in Matlab	42
	Bijlage B: Voorbeelden benadering representatief kustprofiel	44
	Bijlage C: Gegevens raaien	48
	Bijlage D: Suppletie database	55
	Bijlage E: Suppletiebehoefte niveaus en oppervlaktes	61

1 Introductie

Rijkswaterstaat heeft een lange geschiedenis in het verdedigen van de Nederlandse kust tegen hoog water. Door onder andere zeespiegelstijging wordt deze opgave steeds moeilijker. Het uitvoeren van zandsuppleties blijkt een effectieve maatregel om terugtrekking van de Nederlandse kust tegen te gaan (Ministerie van V&W, 2000). Rijkswaterstaat heeft in haar geschiedenis al meer dan 300 suppleties uitgevoerd en zal hier in de toekomst mee blijven doorgaan. Binnen het beleid van het uitvoeringsprogramma Kustlijnzorg is opgenomen dat de huidige suppletie strategie wordt voortgezet (Ministerie van I&W, 2018). Uit onderzoek is gebleken dat de kustlijn zich met gemiddeld 1 meter per jaar terugtrekt wanneer er geen suppleties worden uitgevoerd (Dekker, 2015). De suppleties zijn dus van groot belang om de kustlijn op zijn plek te houden en daarmee de veiligheid van de Nederlandse kust te waarborgen. Bovendien worden door de suppleties andere functies van de kust, zoals recreatie en natuur, in stand gehouden (Ministerie van V&W, 2000).

Om toekomstige locaties en volumes van suppleties te bepalen, doet Rijkswaterstaat onderzoek naar de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust. Het beleid van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) is 'dynamisch handhaven', waarbij het doel is om de structurele terugtrekking van de Nederlandse kust tegen te gaan (Ministerie van V&W, 2000). Op de plekken waar de terugtrekking van de kustlijn het grootst is, voert Rijkswaterstaat suppleties uit. Deze plekken worden in kaart gebracht met behulp van de Jaarlijkse Kustmetingen (JARKUS). In 1965 is Rijkswaterstaat gestart met het uitvoeren van de metingen, die destijds tot een afstand van ongeveer 700 meter zeewaarts vanaf de Rijksstrandpalenlijn (RSP) werden uitgevoerd. Door de jaren heen is gebleken dat de metingen een grote kennisproductie met zich meebrengen en veel inzicht geven in het gedrag van de Nederlandse kust. Het bereik van de JARKUS is daarom door de jaren heen verder zeewaarts uitgebreid. In de JARKUS-data is zien dat vanaf 1984 het bereik steeds groter is geworden. Vanaf 1995 tot aan nu zijn de metingen beschikbaar tot een afstand van tenminste 1500m+RSP.

Met de kennis van de JARKUS-data van nu, valt op dat op meerdere plekken in het Nederlandse kuststelsel een structurele verdieping lijkt plaats te vinden van de diepe vooroever. De diepe vooroever wordt hierbij gedefinieerd als het gebied tussen NAP-8m en NAP-20m. Door suppleties worden de duinen, het strand en de vooroever uitgebouwd. Als er een structurele verdieping van de vooroever plaatsvindt, kan dit leiden tot versteiling van het kustprofiel, Figuur 1.



Figuur 1: Schematische weergave versteiling kustprofiel

Wat de gevolgen zijn van een steiler wordend profiel, is onduidelijk (Spadon, 2000). Om meer inzichten te krijgen in de versteiling van de Nederlandse kust is het gewenst om meer te weten te komen over de structurele verdieping van de diepe vooroever.

Bij het plannen van toekomstige suppleties wordt, naast structurele terugtrekking, ook rekening gehouden met de totale suppletiebehoefte van de Nederlandse kust. Op de lange termijn is het doel van de suppleties om mee te groeien met de behoefte van het kuststelsel (Ministerie van I&W, 2019). Op basis van schattingen van de totale suppletiebehoefte van de Nederlandse kust, wordt bepaald of de gerealiseerde suppletiehoeveelheden voldoen aan de suppletiebehoefte. Eén van deze schattingen komt neer op een suppletiebehoefte van 20,4 miljoen kubieke meter per jaar bij een zeespiegelstijging van 20 centimeter per jaar (de Ronde, 2008).

Rijkswaterstaat houdt in een database de volumes en locaties van gerealiseerde suppleties bij. Uit deze database is echter niet eenduidig op te maken hoe de gerealiseerde suppletievolumes zich verhouden tot de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust. Om adviezen te kunnen geven voor het suppletiebeleid, is het gewenst dat de stand van zaken van gerealiseerde suppletievolumes op een makkelijke manier vergeleken kan worden met de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust.

1.1 Onderzoeksdoel

In deze studie wordt door middel van twee onderzoeksdoelen getracht meer inzichten te krijgen in de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust. Het eerste onderzoeksdoel focust zich op de structurele verdieping van de diepe vooroever en is als volgt geformuleerd:

Het creëren van inzichten in de meerjarig morfologische ontwikkeling van de Nederlandse diepe vooroever, op basis van JARKUS-data. (A)

Het tweede onderzoeksdoel focust zich op de verhouding tussen gerealiseerde suppletievolumes en de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust:

Het ontwikkelen van een tool om verhoudingen tussen de gerealiseerde suppletievolumes en suppletiebehoefte van de Nederlandse kust te bepalen. (B)

1.2 Onderzoeksvragen

Om de onderzoeksdoelen te kunnen behalen zijn er onderzoeksvragen opgesteld. In de onderzoeksvragen is hetzelfde onderscheid gemaakt als tussen de onderzoeksdoelen. Voor het creëren van inzichten voor onderzoeksdoel A moet er eerst bepaald worden welke kustprofielen afgeleid kunnen worden. Dit is afhankelijk van de beschikbaarheid van JARKUS-data van de diepe vooroever. De JARKUS-data die een significant deel van de diepe vooroever beslaan, worden vanaf nu beschouwd als lange JARKUS-data. JARKUS-data die niet, of alleen gedeeltelijk de diepe vooroever beslaan, zijn gedefinieerd als korte JARKUS-data. De eerste onderzoeksvraag van onderzoeksdoel A, is als volgt geformuleerd:

Welke representatieve profielvormen van de diepe vooroever, kunnen worden afgeleid uit de lange JARKUS-data? (A1)

Nadat de representatieve profielvormen van de diepe vooroever zijn afgeleid, moet er een methode worden ontwikkeld om de korte JARKUS-data te kunnen verlengen met de representatieve profielvormen. Door het verlengen van de korte JARKUS-data, worden inzichten gecreëerd in de morfologische ontwikkeling van de diepe vooroever over een langere periode. Deze stap resulteert in de volgende onderzoeksvraag:

Welke inzichten in de meerjarig morfologische ontwikkeling van de diepe vooroever worden gecreëerd, door het verlengen van korte JARKUS-data? (A2)

De bovenstaande onderzoeksvragen omvatten onderzoeksdoel A. Om onderzoeksdoel B te behalen moet de tool de verhouding tussen de suppletiebehoefte en gerealiseerde suppleties kunnen berekenen. Daarnaast is het wenselijk om de gebruikerseisen en wensen van Rijkswaterstaat mee te nemen bij het vormgeven van de tool. Dit resulteert in de volgende onderzoeksvraag:

Hoe moet de tool worden vormgegeven, zodat deze gebruikt kan worden door Rijkswaterstaat voor de vergelijking tussen de gerealiseerde suppletievolumes en suppletiebehoefte? (B1)

De verhoudingen leiden tot inzichten tussen gerealiseerde suppletievolumes en de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust. Met deze gegevens kan de volgende onderzoeksvraag beantwoord worden:

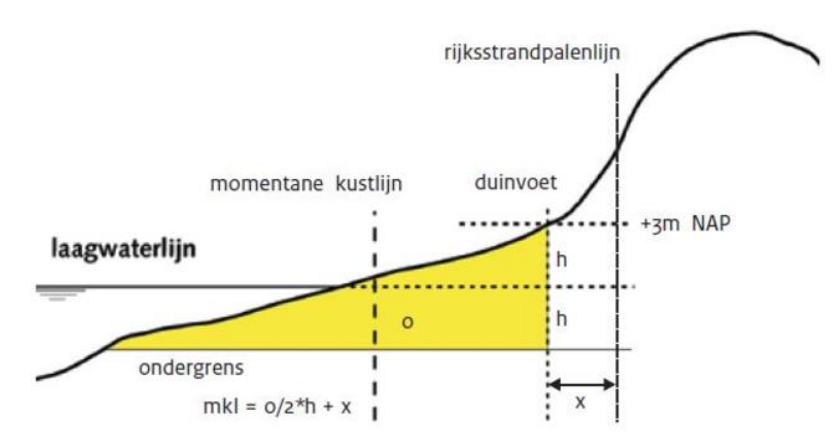
Welke inzichten volgen uit de verhoudingen tussen gerealiseerde suppletievolumes en suppletiebehoefte? (B2)

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen zijn er verschillende methodes toegepast. Na het afbakenen van het theoretische kader in Hoofdstuk 2, wordt de methodologie beschreven in Hoofdstuk 3. In Hoofdstuk 4 worden de resultaten van de toepassing van de methodes gepresenteerd. In Hoofdstuk 5, 6 en 7 worden de resultaten geëvalueerd en bediscussieerd, om uiteindelijk tot een conclusie en aanbevelingen te kunnen komen.

2 Theoretisch kader

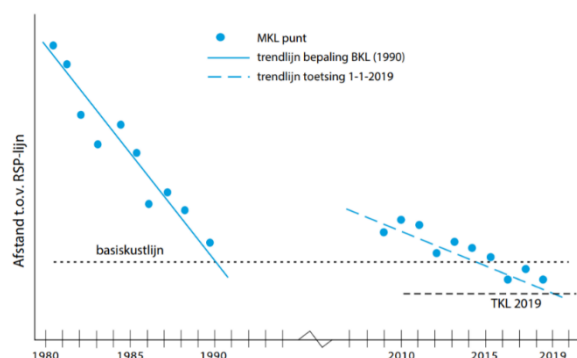
In dit theoretisch kader worden de belangrijkste begrippen en definities toegelicht die veel voorkomen in het vervolg van het onderzoek. De terminologie die is toegepast is hetzelfde als de terminologie die wordt gebruikt in de literatuur van Rijkswaterstaat.

Binnen het beleid van 'dynamisch handhaven' wordt de Basis Kustlijn (BKL) gebruikt als referentie voor het bepalen van de structurele terugtrekking van de Nederlandse kust. Wanneer de BKL bij een bepaalde locatie wordt overschreden, kan ervoor gekozen worden om op die locatie een suppletie te realiseren (Ministerie van I&W, 2017). Elk jaar wordt er bepaald of de BKL wordt overschreden. Dit wordt gedaan aan de hand van een trendberekening over Momentane Kustlijn (MKL) punten van een bepaald aantal jaren. In Figuur 2 is te zien hoe de MKL-punten worden berekend.



Figuur 2: Voorbeeldberekening van MKL-punten (Ministerie van I&W, 2018)

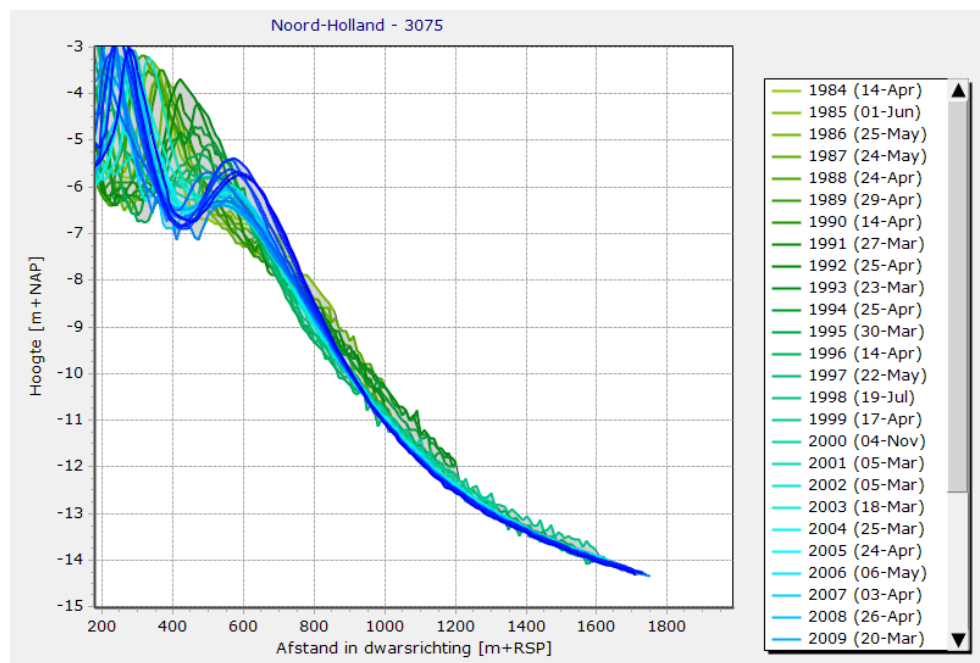
De MKL-punten worden uitgedrukt in afstand ten opzichte van de RSP-lijn. De aangegeven oppervlakte onder het kustprofiel kan worden berekend met behulp van de JARKUS-data van de betreffende raai. Om de overschrijding van de BKL te bepalen, wordt de te Toetsen Kustlijn (TKL) gedefinieerd. De locatie van de TKL in jaar T, wordt bepaald door een trendlijn te plotten door de MKL-punten van de jaren T-10 tot en met T-1 (van der Kleij, et al., 1995). Hiervan is een voorbeeldberekening weergegeven in Figuur 3. In de figuur is te zien dat de BKL overschreden wordt, wat zou kunnen leiden tot de realisatie van een suppletie in dit gebied.



Figuur 3: Voorbeeldberekening van de TKL als referentie voor de BKL (Ministerie van I&W, 2018)

Een suppletie kan als doel hebben om overschrijding van de BKL tegen te gaan. Deze wordt dan gerealiseerd voor de korte termijn (Ministerie van I&W, 2019). Daarnaast kan een suppletie tot doel hebben om het kustfundament te voeden. Deze suppleties worden gerealiseerd voor de lange termijn. Het kustfundament is de afbakening van de kust als één dynamisch systeem (Ministerie VenW, 2007). De zeewaartse grens is de doorgaande NAP-20m lijn. Voor de landwaartse grens van het kustfundament worden de duingebieden en alle daarop gelegen harde zeeweringen beschouwd. Na aanpassingen van het beleid in 2001, worden tegenwoordig de oppervlaktes van de Waddenzee en Westerschelde ook meegerekend voor de bepaling van de suppletiebehoefte (Nederbragt, 2006). Het kustfundament inclusief Waddenzee en Westerschelde is gedefinieerd als het kustsysteem (Mulder J. , 2000). Bij het bepalen van de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust is het dus belangrijk om onderscheid te maken tussen de twee termen.

In dit onderzoek is de term 'representatief kustprofiel' veel voorkomend. Met de term worden de JARKUS hoogteprofielen bedoeld die vanaf NAP-8m zeewaarts lopen. De eerste voorwaarde voor een representatief kustprofiel is dat er geen onregelmatigheden zitten in het kustprofiel van de diepe vooroever. Deze onregelmatigheden kunnen veroorzaakt worden door geografische en morfologische invloeden. Voorbeelden van geografische factoren zijn riviermondingen en zeegaten. Morfologische invloeden zijn bijvoorbeeld zandbanken, geulwanden of een megasuppletie zoals de Zandmotor. Tweede voorwaarde is dat bij een representatief kustprofiel een structurele verdieping van de diepe vooroever zichtbaar is. In Figuur 4 is een voorbeeld van een representatief kustprofiel te zien.



Figuur 4: Voorbeeld representatief kustprofiel bij raai 3075

Dat er representatieve kustprofielen voorkomen op de diepe vooroever kan worden afgeleid uit een studie naar de bodemdynamiek van de diepe vooroever (Vermaas, van Dijk, & Hijma, 2015). In deze studie is de zeewaartse begrenzing van het kustfundament door de NAP-20m dieptelijn nader bekeken. Uit de studie wordt geconcludeerd dat op basis van de bodemdynamiek deze grens op NAP-15m kan worden getrokken. Aangezien Rijkswaterstaat wel nog de NAP-20m lijn beschouwd als zeewaartse grens van het kustfundament, wordt in dit onderzoek de NAP-20m lijn gebruikt. In 2016 is vervolg gegeven aan de studie (Vermaas & van der Spek, 2016), waarbij de zeewaartse grenzen van de diepe vooroever voor zowel de NAP-15m als de NAP-20m uitgedrukt worden in afstanden tot de kust. Deze afstanden worden in dit onderzoek gebruikt voor de bepaling van de zandverliezen van de diepe vooroever.

De landwaartse grens van de diepe vooroever is bepaald op NAP-8m. Vanaf deze diepte is geen dominante invloed van golven (van der Werf, et al., 2017). Daarnaast zijn reeds nog geen suppleties uitgevoerd op deze diepte. Door de bodemdynamiek van de diepe vooroever, kunnen representatieve kustprofielen worden afgeleid.

Het benaderen van kustprofielen met een functie is vaker gedaan. Bijvoorbeeld in een studie van Spadon in 2000. De studie is gebaseerd op een statistische analyse van doorlodingen waarin een representatief kustprofiel te herkennen is. Uit de studie is geconcludeerd dat zandverliezen optreden op de diepe vooroever, met als gevolg versteiling van de diepe vooroever. Echter waren slechts 8 meetperioden van doorlodingen bekend in 2000, waardoor de zekerheidsgraad klein is.

De resultaten en bevindingen van de bovengenoemde studies zijn meegenomen in het verdere verloop van deze studie.

3 Methodologie

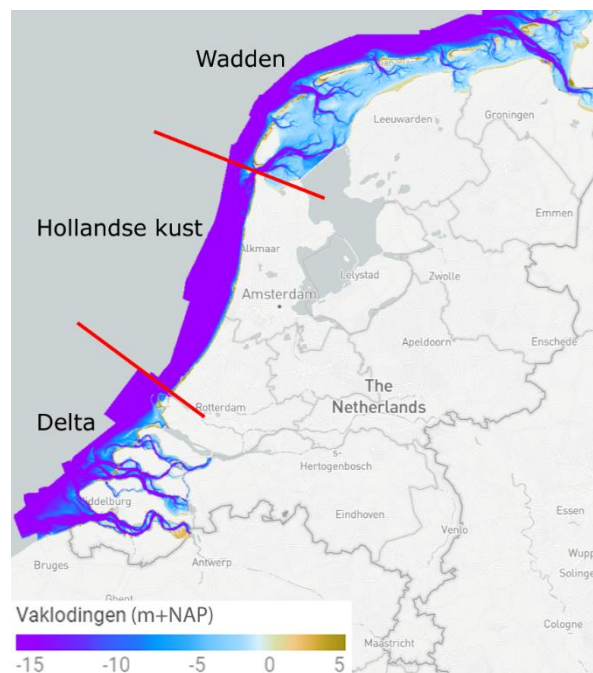
Per onderzoeksvraag is een werkwijze toegepast om tot resultaten te komen die de onderzoeksvragen beantwoorden. Eerst wordt de methode voor het afleiden van de representatieve profielvormen behandeld. Hierbij is eerst een selectie gemaakt van raaien met een representatief kustprofiel. Vervolgens wordt bekeken hoe de geselecteerde kustprofielen met een functie benadert kunnen worden. Daarna wordt de methode voor het verlengen van de korte JARKUS-data toegepast. De methode is in een aantal stappen verdeeld om uiteindelijk te komen tot trendvolumeberekeningen. Tot slot wordt de methode voor het inventariseren van de gegevens de suppletietool beschreven.

3.1 Afleiden representatieve kustprofielen

Aangezien niet alle JARKUS-raaien hoogteproufielen een representatief kustprofiel bevatten, wordt in dit hoofdstuk op basis van de geografie en morfologie van de Nederlandse kust een selectie gemaakt van raaien met een mogelijk representatief kustprofiel. In MorphAn worden de geselecteerde raaien vervolgens één voor één gefilterd op raaien met een representatief kustprofiel. Om een overzicht te creëren is een overzicht gemaakt van de ligging van de geselecteerde raaien.

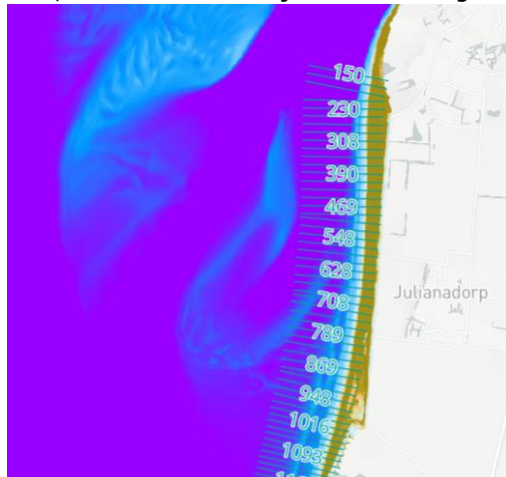
3.1.1 Selectie van raaien op basis van morfologie Nederlandse kust

In Figuur 5 is de Nederlandse kust te zien met ingeladen vaklodingen in Coastviewer. In de afbeelding is te zien dat riviermondingen en zeegaten een grote invloed hebben op de morfologie van respectievelijk het Delta- en Waddengebied. Hierdoor is het de veronderstelling dat weinig representatieve kustprofielen in de raaien van het Delta- en Waddengebied voorkomen. Daarom wordt alleen de Hollandse kust in beschouwing genomen voor de selectie van raaien met een representatief kustprofiel.



Figuur 5: Vaklodingen Nederlandse kust in Coastviewer

De Hollandse kust bestaat uit de kustvakken Noord-Holland, Rijnland en Delfland. De raainummering van deze kustvakken begint in Den Helder bij raainummer 20 en loopt door tot raainummer 11850 bij Hoek van Holland. Voordat de JARKUS profielen raai voor raai worden bekeken om te bepalen welke raaien een representatief kustprofiel hebben, is eerst een selectie gemaakt van raaien waarbij de kans op een representatief kustprofiel klein is vanwege geografische en morfologische factoren. Beginnend bij Den Helder, waar invloeden zijn van het zeegat Marsdiep, Figuur 6.



Figuur 6: Invloeden Marsdiep op de morfologie bij Den Helder in Coastviewer

Door ondieptes in de kust is aangenomen dat vanaf raai 20 tot en met raai 1108 geen representatieve kustprofielen zijn. Vanaf raai 1483 tot en met raai 2629 zijn in de vaklodingen in Coastviewer invloeden zichtbaar van de Hondsbossche en Pettemer Zeewering. Dit is een 5,5km lange dijk die in 2008 is aangewezen als 1 van de 'Zwakke Schakels' van de Nederlandse Kust (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, 2013). Om de zeewering te versterken zijn onder andere meerdere suppleties uitgevoerd. Vanwege deze invloeden worden raaien 1483 tot en 2629 buiten beschouwing gelaten. Ter hoogte van het Noordzeekanaal bij IJmuiden is de grens tussen de kustvakken Noord-Holland en Rijnland. Door de invloeden van het Noordzeekanaal worden raai 5000 tot en met 6150 buiten beschouwing gelaten. In Rijnland mondt de Rijn uit bij Katwijk aan Zee tussen raai 8500 en 8700, welke daarom niet worden meegenomen in de selectie. Bij raai 9750 start kustvak Delfland, vanwege de buitenhaven bij Scheveningen worden raaien 10075 tot en met 10235 niet meegenomen in de selectie. In het kustvak Rijnland is tussen van Kijkduin en Ter-Heijde de Zandmotor aangelegd. In Coastviewer is te zien dat deze megasuppletie invloed heeft op de morfologie tussen raaien 10653 en 11109, welke daarom niet worden meegenomen. Tot slot worden vanwege de invloeden van de Nieuwe Waterweg bij Hoek van Holland, raaien 11510 tot en met 11850 niet meegenomen in de selectie. In Tabel 1 is een overzicht te zien van de raaien die geselecteerd zijn voor verdere analyse in MorphAn, dit betreft de aanwezigheid van representatieve kustprofielen.

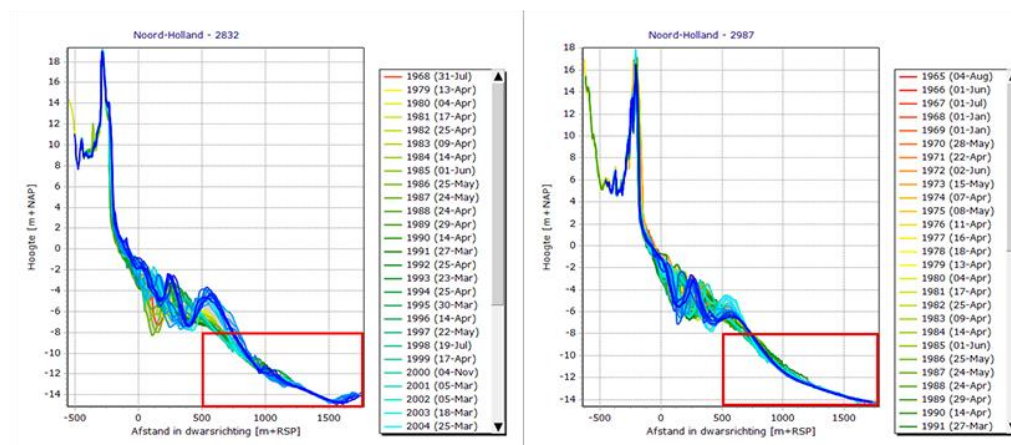
Tabel 1: Selectie raaien voor verdere analyse in MorphAn

Kustvaknummer	Kustvak	Raaien
7	Noord-Holland	1108 - 1483
7	Noord-Holland	2629 - 5000
8	Rijnland	6150 - 8500
8	Rijnland	8700 - 9725
9	Delfland	9750 - 10075
9	Delfland	10235 - 10653
9	Delfland	11147 - 11510

3.1.2

Selectie van raaien op basis van JARKUS-data in MorphAn

Alle geselecteerde raaien uit Tabel 1 zijn in MorphAn nader bekeken om te bepalen of sprake is van een representatief kustprofiel bij de betreffende raai. In Figuur 7 is een vergelijking te zien van JARKUS-data in MorphAn, van raaien 2832 en 2987, kustvak Noord-Holland. Het linker profiel (raai 2832), laat vanaf NAP-8m onregelmatigheden zien in de profielvorm. Bovendien is niet van alle jaren vanaf 1965 een meting bekend. In het rechter profiel (raai 2987) is een voorbeeld van een representatief kustprofiel te zien. Vanaf NAP-8m zijn geen onregelmatigheden in de bodem en is een kleine verdieping te zien over jaren.

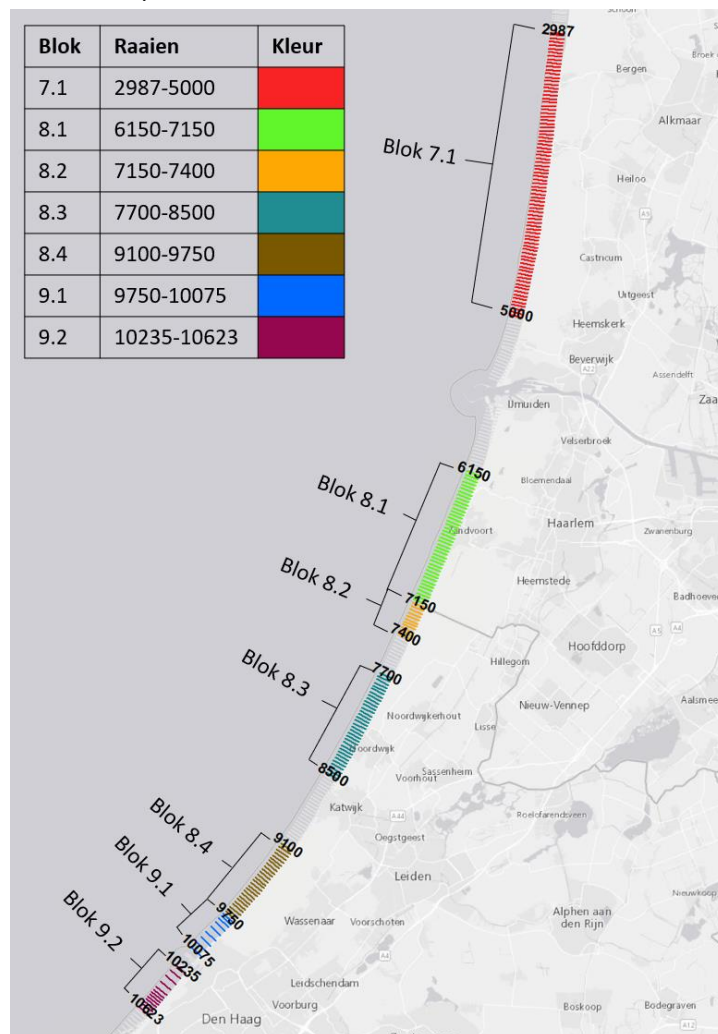


Figuur 7: Vergelijking op basis van de aanwezigheid van een representatief kustprofiel

Het kustprofiel van raai 2987 voldoet dus aan de eisen van een representatief kustprofiel en valt binnen de selectie voor het fitten en extrapoleren van een functie over het representatieve kustprofiel. In Bijlage C is een overzicht te zien van alle raaien die geselecteerd zijn.

3.1.3 Terugkoppeling studiegebied

De selectie van de raaien is aanzienlijk veranderd ten opzichte van alle raaien in het gebied van de Hollandse kust. Om een overzicht te maken van het uiteindelijke studiegebied, is in Figuur 8 een terugkoppeling gemaakt van de geselecteerde raaien naar de ligging in het studiegebied van de Hollandse kust. De raaien zijn opgedeeld in blokken. De blokken zijn genummerd volgens het kustvaknummer en het totaal aantal blokken per kustvak, oplopend van noord naar zuid. De raaien bij blok 8.1 en 8.2 vallen binnen hetzelfde kustvak en zijn doorlopend. Hier is echter een onderscheid in blokken gemaakt op basis van beschikbaarheid van JARKUS-data. In blok 8.1 zijn JARKUS-data beschikbaar vanaf NAP-8m vanaf 1995, voor blok 8.2 zijn deze data beschikbaar vanaf 2009. In de afbeelding is te zien dat de blokken ver van geografische en morfologische invloeden liggen die onregelmatigheden kunnen veroorzaken in het kustprofiel.

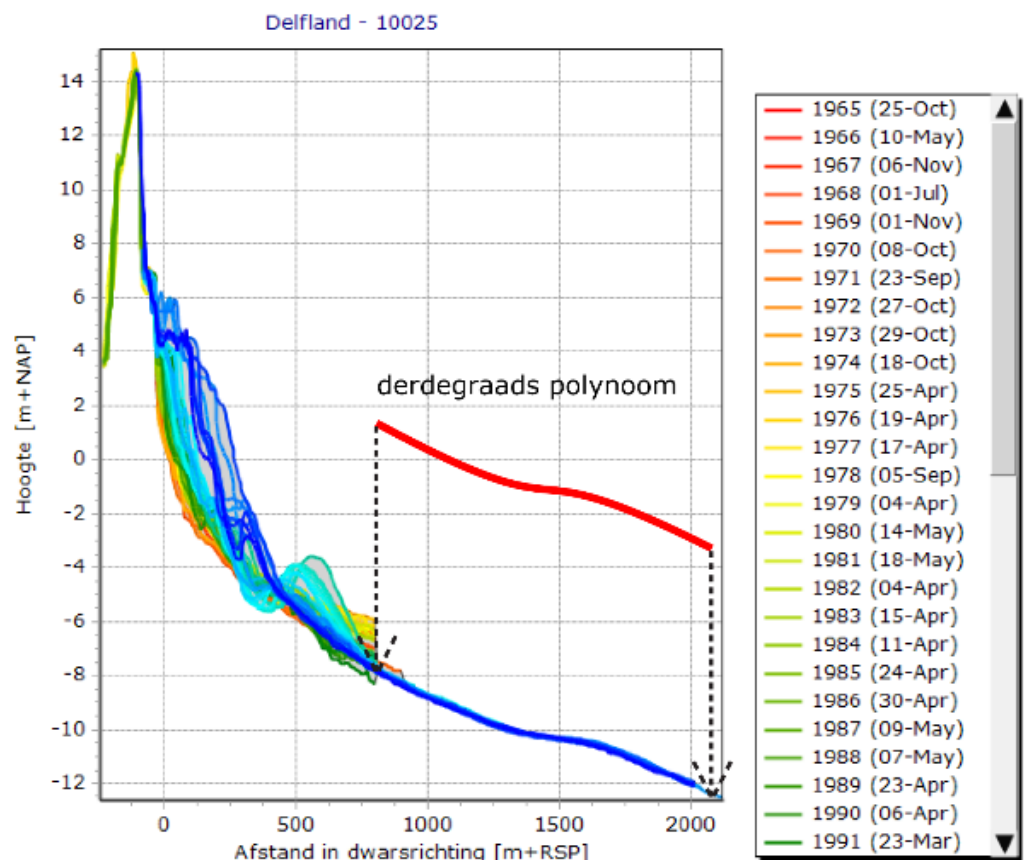


Figuur 8: Terugkoppeling selectie raaien naar studiegebied

3.1.4

Benadering representatieve kustprofielen

Voor de selectie van raaien met een representatief kustprofiel wordt gekeken hoe deze kustprofielen benadert kunnen worden met een functie. Deze functie kan vervolgens geëxtrapoleerd worden om de korte JARKUS-data zeewaarts te verlengen. Bij verschillende kustprofielen is een derdegraads polynomiale functievorm zichtbaar vanaf NAP-8m, waarvan in Figuur 9 een voorbeeld is gegeven. Het kustprofiel (raai 10025) loopt vanaf NAP-8m zeewaarts eerst flauwer en vervolgens steiler af. De verflauwing en versteiling zijn te benaderen met een polynoom met graad 3, wat daarom een goede benadering is voor het kustprofiel van de diepe vooroever. Bovendien zal bij het extrapoleren van de derdegraads polynoom landwaarts, de polynoom naar boven afbuigen en bij extrapolatie zeewaarts, naar onder. Hetzelfde geldt voor het verloop van het kustprofiel. Landwaarts van de diepe vooroever is de kust ondieper en zeewaarts dieper. Een derdegraads polynoom is dus een goede representatie van het kustprofiel van de diepe vooroever en bij extrapolatie een goede benadering voor het vormverloop van het totale kustprofiel. De representatieve kustprofielen worden daarom met tenminste een derdegraads polynoom benadert. Als de benadering geen goede fit oplevert, dan wordt het kustprofiel benadert met een vijfdegraads polynoom. Een vijfdegraads polynoom volgt bij extrapolatie dezelfde profielvorm als een derdegraads polynoom. Wanneer een vijfdegraads polynoom ook geen goede benadering is wordt aangenomen dat het representatieve kustprofiel van de betreffende raai niet benadert kan worden met een polynomiale functie. Deze kustprofielen zijn buiten beschouwing gelaten.



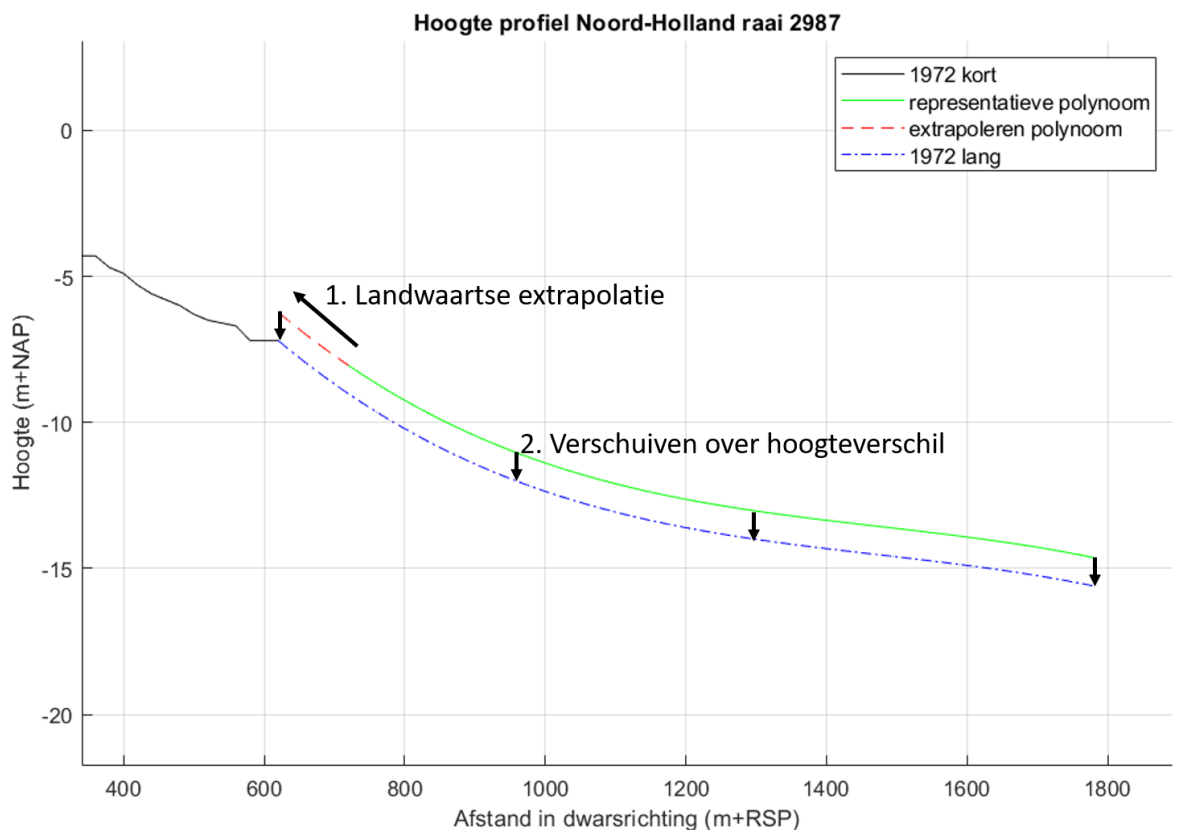
Figuur 9: Benadering representatief kustprofiel met derdegraads polynoom

3.2 Verlengen korte JARKUS-data

Het verlengen van de korte JARKUS-data is gedaan met behulp van het softwareprogramma Matlab. Om te kunnen werken met de *jrk format zijn de JARKUS-data eerst met behulp van een script omgezet naar X en Y data, dit is beschreven in Bijlage A. De functies van representatieve kustprofielen zijn vervolgens landwaarts geëxtrapoleerd en verschoven om zo de korte JARKUS-data te verlengen. Tot slot zijn trendvolumeberekeningen gemaakt van de diepe vooroever om nieuwe inzichten te krijgen in de meerjarige ontwikkeling van de diepe vooroever.

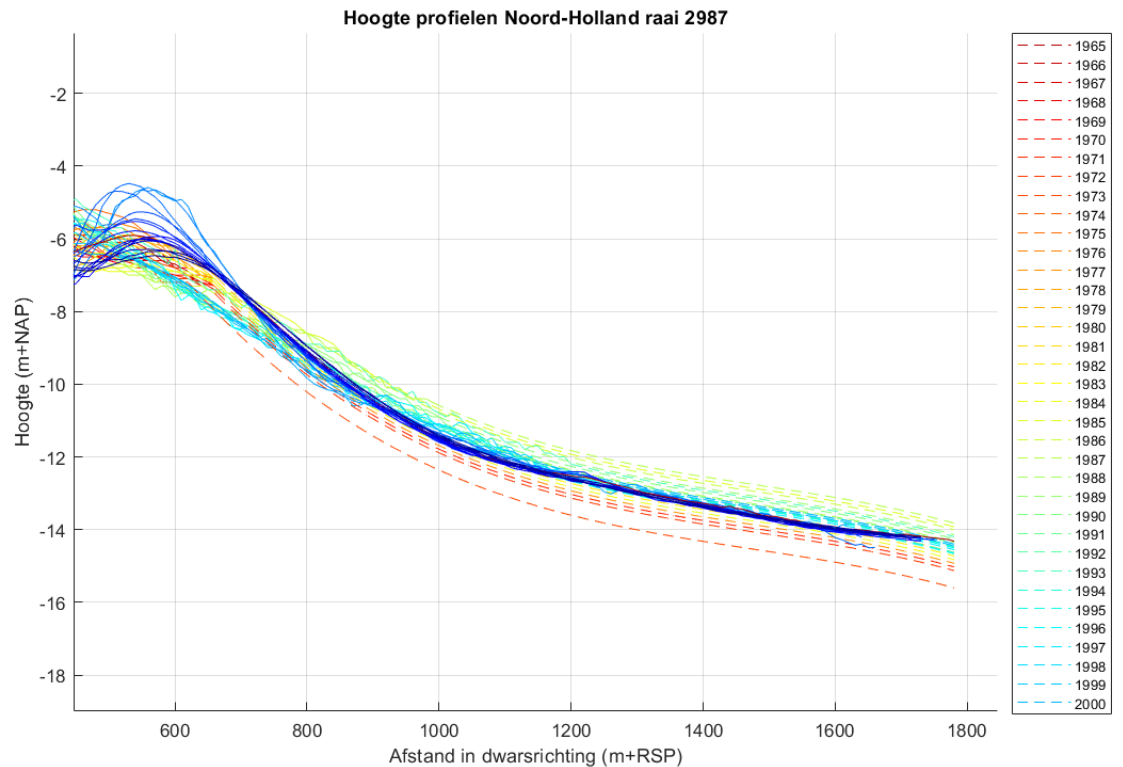
3.2.1 Extrapoleren en verplaatsen representatieve polynoom

Aangezien de representatieve kustprofielen geselecteerd zijn op de voorwaarde dat er geen onregelmatigheden in de profielvorm vanaf NAP-8m zitten, wordt de aanname gemaakt dat de profielvorm over jaren hetzelfde blijft en alleen in hoogte veranderd. Voor het verlengen van de korte JARKUS-data worden daarom de representatieve polynomen landwaarts geëxtrapoleerd tot het eindpunt van de afstand in dwarsrichting van de korte JARKUS-data. Om de representatieve polynoom vervolgens aan te laten sluiten op de korte data, wordt deze verplaatst over het hoogteverschil tussen het eindpunt van de korte data en startpunt van de geëxtrapoleerde polynoom. Dit betekent dat de profielvorm vanaf NAP-8m zeewaarts altijd hetzelfde blijft en alleen in hoogte veranderd. Een voorbeeld van deze methode voor één jaar is weergegeven in Figuur 10.



Figuur 10: Voorbeeld van extrapoleren en verplaatsen representatieve polynoom bij raai 2987

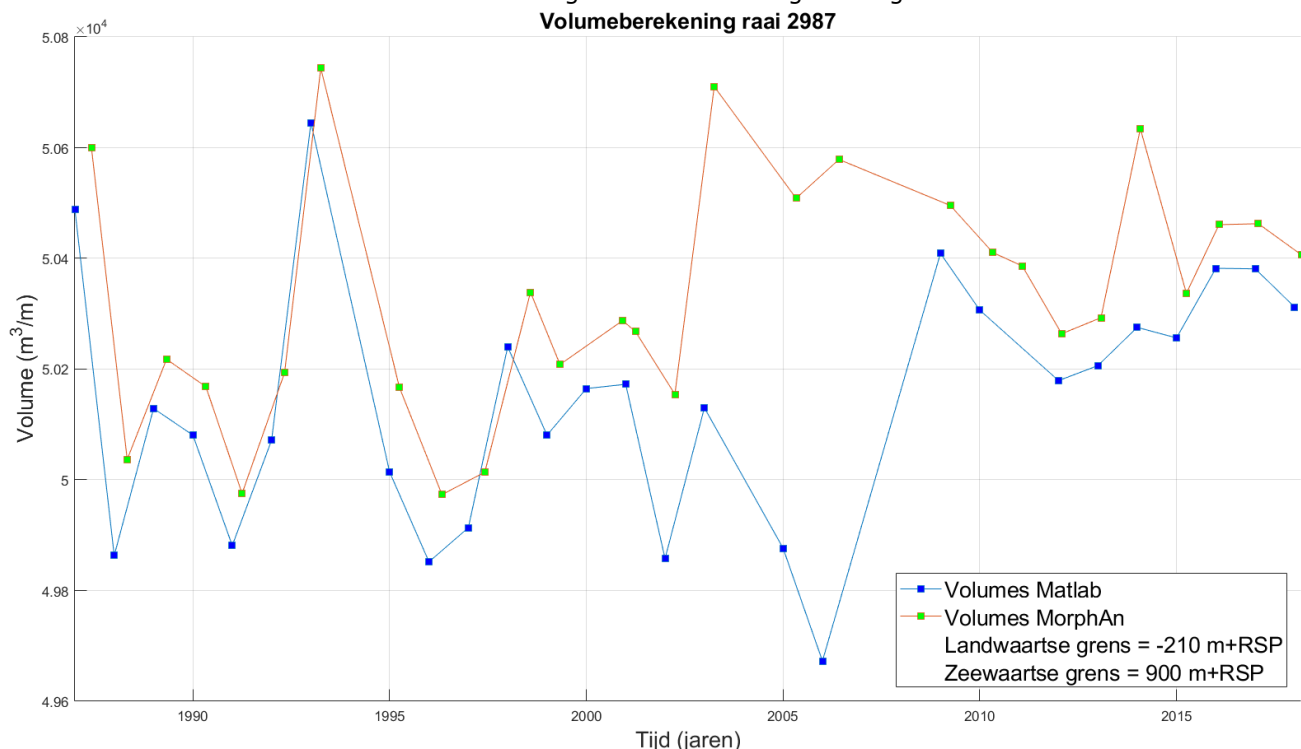
De methode wordt toegepast op alle jaren, zodat de eindpunten van de hoogteprofielen van alle jaren per raai, dezelfde X-waarde hebben, Figuur 11. Dat betekent dat ook de hoogteprofielen van de jaren die zijn gebruikt voor het bepalen van de representatieve polynoom, worden verlengd. Alle hoogteprofielen per raai hebben dus dezelfde afstand in dwarsrichting als eindwaarde. Dit is nodig voor het bepalen van de volumeberekeningen van de raaien, Hoofdstuk 4.2.



Figuur 11: Verlengde hoogteprofielen raai 2987

3.2.2 Volumeberekeningen verlengde hoogteprofielen

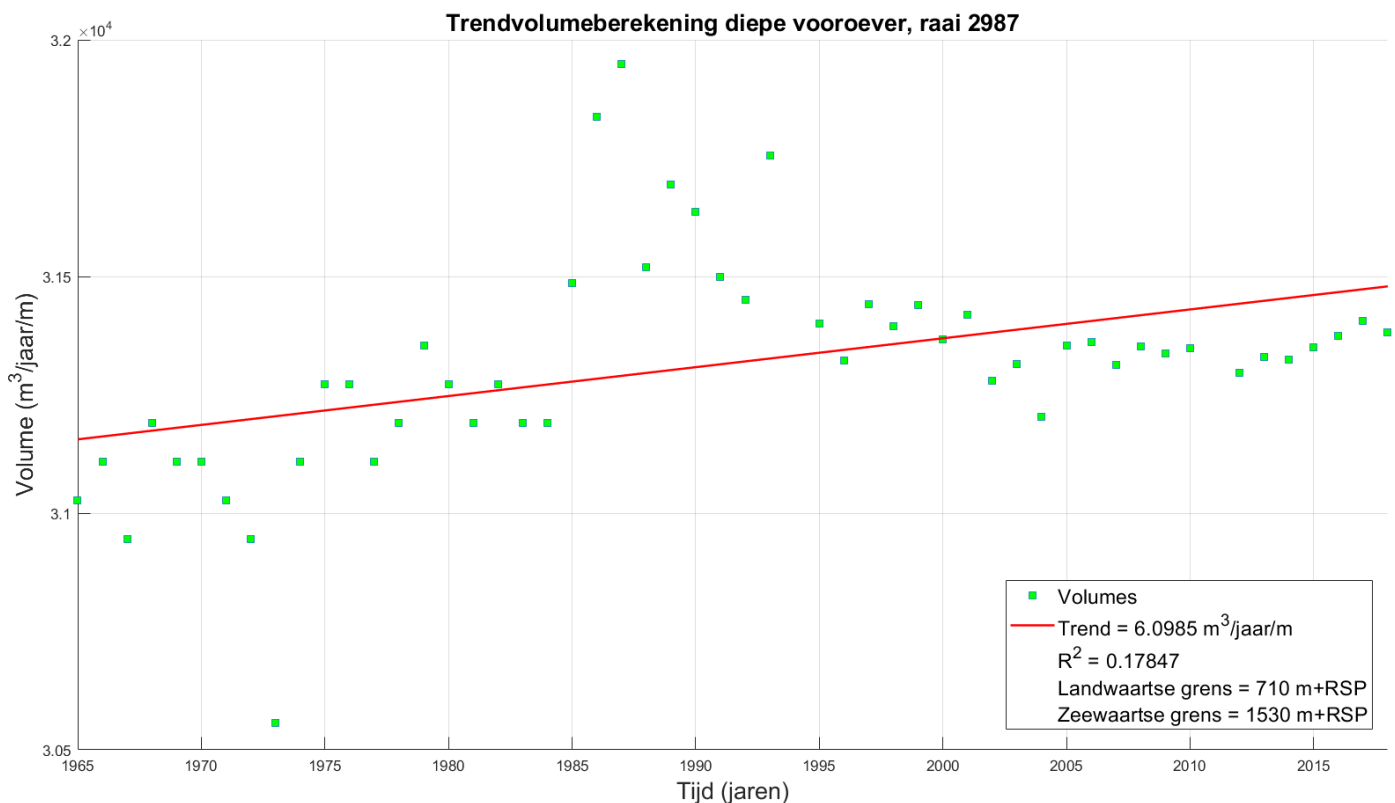
Om inzichten te creëren in de meerjarige ontwikkeling van het kustprofiel van de diepe vooroever worden volumeberekeningen gemaakt waar vervolgens een trend doorheen wordt geplot. Dit is vergelijkbaar met de trendvolumeberekeningen die in MorphAn worden gemaakt. Door een landwaartse grens, zeewaartse grens en ondergrens te definiëren worden de hoogteprofielen ingesloten en kan de oppervlakte onder het hoogteprofiel berekend worden. In Matlab wordt het oppervlak onder de profielen berekend door, om de 5 meter, de gemiddelde hoogte bepalen en vervolgens de hoogte met de breedte te vermenigvuldigen. Een deel van de data waarover de volumeberekeningen worden uitgevoerd zijn de originele JARKUS-data. Aangezien de JARKUS-data een interval van 5 meter hebben, wordt voor de berekeningen ook een interval van 5 meter gebruikt. Door de som te nemen van de oppervlaktes wordt een benadering berekend van het oppervlak onder het hoogteprofiel. Om te valideren of de berekeningen op de juiste manier worden uitgevoerd zijn eerst volumeberekeningen gemaakt met de randvoorwaarden die ook in MorphAn worden gebruikt. Een vergelijking tussen volumeberekeningen in MorphAn en Matlab is weergegeven in Figuur 12. In de afbeelding is te zien dat het volumeverloop van Matlab overeenkomt met het volumeverloop uit MorphAn. Echter zijn de volumes uit Matlab consistent lager dan de volumes uit MorphAn. Daarnaast is opvallend dat rond 2006 een groot verschil zit tussen het volumeverloop van beide berekeningen. De verschillen zijn te verklaren door geïnterpoleerde JARKUS-data. De JARKUS-data gaan per meting over van een droge meting naar natte meting. Deze metingen worden geïnterpoleerd waardoor er voor enkele dwarsrichtingwaarden meerdere hoogtewaarden bekend zijn. De geïnterpoleerde zone bij raai 2987, is in 2006 het grootst, wat dus ook het grootste verschil verklaart. In Matlab wordt de gemiddelde hoogtewaarde van de dubbele metingen genomen. Welke hoogtewaarde van de dubbele metingen in MorphAn in beschouwing wordt genomen is niet duidelijk. Er wordt aangenomen dat voor de volumeberekeningen in MorphAn een hogere waarde van de dubbele metingen in beschouwing wordt genomen dan in Matlab.



Figuur 12: Valideren volumeberekeningen in Matlab met volumeberekeningen in MorphAn, raai 2987

Bij de volumetrendberekeningen van de diepe vooroever valt het overlappende gebied met dubbele waarden altijd buiten het bereik van de volumeberekening. Er wordt daarom aangenomen dat de volumeberekeningen in Matlab vergelijkbaar zijn met de volumeberekeningen uit MorphAn en dus op een juiste manier worden uitgevoerd.

Het onderzoeksdoel is om meer inzichten te krijgen in de meerjarige ontwikkeling van de diepe vooroever. Deze inzichten kunnen, met behulp van een trendlijn, door de volumes worden gecreëerd. Voor het bepalen van het volume van de diepe vooroever zijn de grenzen aangepast. De landwaartse grens wordt bepaald aan de hand van waar de hoogteprofielen NAP-8m kruisen. Om de volumetrends per raai met elkaar te kunnen vergelijken, wordt voor elke berekening dezelfde afstand in dwarsrichting genomen. De minimale afstand tussen de landwaartse grens bij NAP-8m en zeewaartse grens van alle geselecteerde raaien is 820 meter. De zeewaartse grens van de volumeberekeningen ligt dus altijd op 820 meter van de landwaartse grens. De ondergrens blijft hetzelfde als bij de volumeberekeningen van het totale kustprofiel. Door de volumes van de hoogteprofielen van de diepe vooroever kan nu een trendlijn worden geplot. De helling van de trendlijn geeft de volumeverandering per jaar per strekkende meter aan. In Figuur 13 is een voorbeeld te zien van een trendvolumeberekening. De resultaten en bevindingen van de trendvolumeberekeningen worden behandeld in Hoofdstuk 4.2. Een overzicht van de trends en R^2 -waarden van alle raaien is weergegeven in Bijlage C.



Figuur 13: Voorbeeld van trendvolumeberekening diepe vooroever, raai 2987

3.3 Inventariseren data suppletietool

Het doel van de tool is om een vergelijking te maken tussen gerealiseerde suppletievolumes van Rijkswaterstaat en de suppletiebehoefte van het Nederlandse kustsysteem. Als eerste worden de gerealiseerde suppletievolumes gedefinieerd. Hier gelden alleen suppleties die met het doel 'het onderhouden van de suppletiebehoefte van het Nederlandse kustsysteem' zijn gerealiseerd. Dit zijn suppleties die 'vrij' kunnen bewegen in het kustsysteem. Vervolgens wordt de suppletiebehoefte gedefinieerd. Deze wordt bepaald aan de hand van zeespiegelstijging en verschillende oppervlaktes in het Nederlandse kustsysteem. De vormgeving van de tool wordt behandeld in Hoofdstuk 4.3, de eenheid voor vergelijking die gebruikt wordt is Mm^3/jaar , oftewel miljoen kuub zand per jaar.

3.3.1 *Gerealiseerde suppleties*

De eerste inputparameter van de tool is het suppletievolume. Dit is de som van de gerealiseerde suppleties van Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat heeft een database met alle gerealiseerde suppleties. In deze database zijn onder andere suppletievolumes, realisatie data en suppletielocaties opgenomen. De database is echter niet uniform. Door de jaren heen is verschillende terminologie gebruikt en incidenteel missen gegevens over bijvoorbeeld het type suppletie of de doelstelling. Voor enkele suppleties geldt dat het zand niet mag of kan eroderen, zoals bijvoorbeeld bij de Tweede Maasvlakte suppletie. De suppletiedatabase is gefilterd op suppleties die zijn uitgevoerd voor het onderhouden van de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust.

Met ingang van 1991 wordt de kustlijn gehandhaafd volgens het beleid 'dynamisch handhaven' (Rijksinstituut voor Kust en Zee, 1993). In 1990 is de Basiskustlijn (BKL) vastgesteld welke sindsdien in stand wordt gehouden door middel van het programma Kustlijninzorg. Dit beleid wordt tot op heden nog steeds toegepast (Ministerie van I&W, 2019). Wel zijn er enkele herzieningen geweest van de BKL, de meeste recente herziening was in 2017 (Ministerie van I&W, 2017). Aangezien het huidige beleid sinds 1991 wordt toegepast, worden alleen suppleties die vanaf 1991 zijn gerealiseerd als inputparameter gebruikt voor de suppletietool.

Verschillende suppleties zijn uitgevoerd die niet als primair doel hebben om de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust te onderhouden. Een voorbeeld hiervan zijn de suppleties die zijn uitgevoerd binnen het Zwakke-Schakel programma. In 2003 zijn, na onderzoek van Rijkswaterstaat, 10 locaties aangewezen waar de zeewering niet meer voldoet aan de veiligheidsnorm (Ministerie VenW, 2009). Door middel van onder andere strand-duinsuppleties is het strand op meerdere plekken langs de Nederlandse kust verbreed. De verbreding van het strand is een permanente maatregel. Dit betekent dat het gesuppleerde zand niet voor het onderhouden van de suppletiebehoefte dient. De verbreding van het strand moet dus in stand worden gehouden. Daarom dient een deel van het gesuppleerde zand als een soort slijtlaag. Dit deel mag wel eroderen en heeft dus wel als doel het onderhouden van de suppletiebehoefte. De Zwakke-Schakel suppleties bestaan dus uit een deel permanent zand en een deel erosie zand. Exacte verhoudingen tussen permanent en erosie zand zijn niet bekend, wel zijn schattingen gemaakt door Rijkswaterstaat. De schattingen zijn weergegeven in Tabel 2 (Pagina 21). Voor de suppletietool gelden de geschatte erosie volumes.

Tabel 2: Schattingen verhouding erosiezand Zwakke-Schakel suppleties (Rijkswaterstaat, 2019)

Suppletielocatie	Jaar	Totaal volume (m ³)	Erosiezand volume (m ³)
Hondsbossche en Pettemer Zeewering	2014	35.000.000	8.000.000
Kijkduin-Ter Heijde	2009	5.000.000	1.600.000
's Gravenzande	2008	4.500.000	900.000
Kijkduin	2009	3.000.000	600.000
Ter Heijde-'s Gravenzande	2008	3.000.000	1.500.000
Katwijk	2013	2.500.000	400.000
Kijkduin-Scheveningen	2010	2.500.000	500.000
Nieuwvliet Groede	2009	2.448.696	400.000
Voorne	2009	2.400.000	1.000.000
Herdijkte Zwarte Polder	2009	1.514.783	300.000
Noordwijk	2008	1.243.217	400.000
Westkapelse Zeedijk	2008	1.022.609	500.000
Scheveningen	2010	959.130	500.000
Hondsbossche Duinen	2018	854.407	195.200

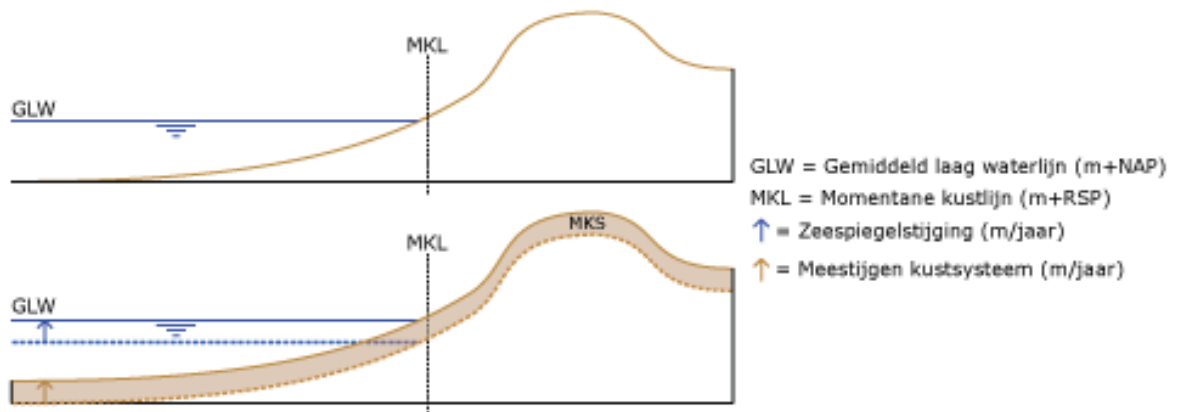
Om verschillende redenen wordt een aantal suppleties in hun totaliteit niet meegenomen in de selectie. De redenen voor het niet meenemen van suppleties zijn hieronder toegelicht:

- Maasvlakte-2 suppletie
Deze suppletie van 170 miljoen kuub is gebruikt voor het uitbouwen van de Nederlandse kust en bestaat dus alleen uit permanent zand. Suppleties die zijn uitgevoerd om erosie van de Maasvlakte-2 tegen te gaan worden wel meegenomen in de tool.
- Landwaartse duinverzwaring
Suppleties met als doel 'landwaartse duinverzwaring' worden achter de duinenrij gedeponeerd. Dit zand zal dus niet snel eroderen en wordt daarom niet meegenomen.
- Recreatie of natuur
Suppleties met als doel 'recreatie' of 'natuur' zijn ten behoeve van de ruimtelijke kwaliteit van het gebied. Rijkswaterstaat beschouwt deze suppleties daarom als permanent zand.
- Suppletiezand afkomstig uit kustsysteem
Normaal gesproken wordt het gesuppleerde zand gewonnen op plekken die buiten het kustsysteem vallen. Echter zijn er enkele suppleties waarbij het zand uit het kustsysteem zelf wordt gewonnen. Deze suppleties worden niet meegenomen aangezien het zand binnen het kustsysteem blijft.
- Missende data
In de database zijn enkele suppleties opgenomen waarvan de gegevens niet volledig zijn. De parameters die nodig zijn voor de tool zijn 'eindjaar van uitvoering', 'beginraai', 'eindraai' en 'suppletievolume'. Wanneer één van deze parameters mist en niet achterhaald kan worden met behulp van literatuur, dan is de suppletie niet meegenomen.

In Bijlage D zijn de gegevens van de suppleties die worden meegenomen in de tool weergegeven.

3.3.2 Berekenen suppletiebehoefte

De relatieve suppletiebehoefte van het Nederlandse kuststelsysteem wordt bepaald door de zeespiegelstijging (ZSS) te vermenigvuldigen met het oppervlak van het kuststelsysteem. Er is sprake van relatieve suppletiebehoefte, aangezien suppletiebehoeftes als gevolg van zandverliezen van het kuststelsysteem niet worden meegenomen. Daarnaast wordt aangenomen dat het gesuppleerde zand evenredig verdeeld wordt in het kuststelsysteem en ook evenredig meestijgt met de zeespiegelstijging. Dit is in Figuur 14 schematisch weergegeven. Te zien is dat met de aanname van het meegroeien van het kuststelsysteem, de MKL op zijn plek blijft en de BKL dus niet overschreden zal worden.



Figuur 14: Schematische weergave meegroeien kuststelsysteem

Om het kuststelsysteem te laten meestijgen met de ZSS, geldt:

$$\text{Meestijgen kuststelsysteem (m/jaar)} = \text{ZSS (m/jaar)} \quad (1)$$

Als wordt aangenomen dat het meestijgen evenredig over de breedte en lengte van het kuststelsysteem gebeurt, dan geldt:

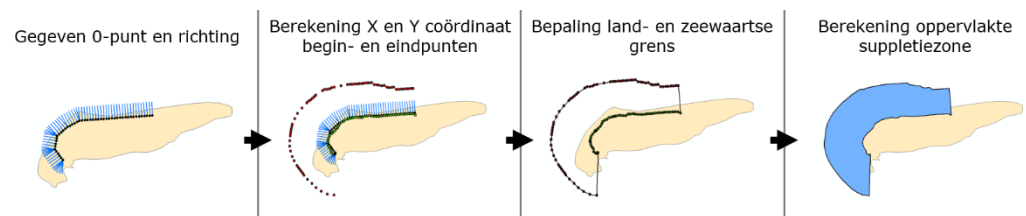
$$\text{ZSS (m/jaar)} * \text{Oppervlakte kuststelsysteem (m}^2\text{)} = \text{Suppletiebehoefte (m}^3\text{/jaar)} \quad (2)$$

3.3.3 Berekening oppervlaktes

In de tool wordt de suppletiebehoefte op verschillende niveaus vergeleken met het gerealiseerde suppletievolume. Deze verschillende niveaus zijn bepaald in overleg met Rijkswaterstaat en bevatten oppervlaktes die deel uitmaken van het kuststelsysteem. Niveau 1 is het overzicht van de Nederlandse kust, waarbij de Wadden en Westerschelde zowel inclusief als exclusief kunnen worden meegerekend. Daarnaast wordt onderscheid gemaakt tussen de Wadden, Hollandse kust en Delta. Van deze drie deelgebieden kan de tool ook de suppletiebehoefte bepalen.

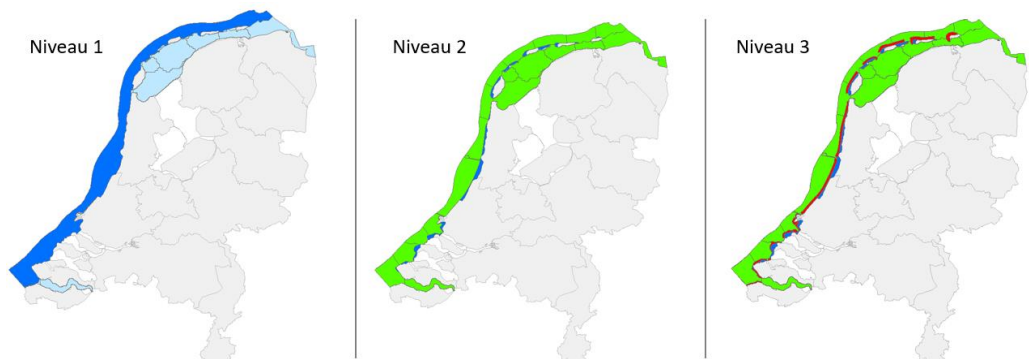
Niveau 2 is de indeling van het kuststelsysteem in deelsystemen. Deze deelsystemen zijn ingedeeld op basis van oppervlaktes waarbinnen in enige tientallen jaren onderling onafhankelijke morfologische samenhang plaatsvindt (Mulder J. , 2000). De oppervlaktesom van de deelsystemen is bijna gelijk aan de oppervlakte van het kuststelsysteem, echter is de landwaartse grens van de deelsystemen tot aan de duinvoet.

Niveau 3 is het bereik van de JARKUS-data per kustvak. Aangezien de locatie van suppleties voornamelijk wordt bepaald op basis van JARKUS-data en alle suppletielocaties binnen het bereik van de JARKUS-data vallen, is het voor Rijkswaterstaat interessant om te weten hoe het gerealiseerde suppletievolume zich verhoudt tot het gebied waarin gesuppleerd wordt. Het bereik van de JARKUS-data is gedefinieerd als de suppletiezone. Per raai verschilt het bereik van de JARKUS-data, waarbij het bereik wordt beschouwd als de afstand vanaf de landwaartse grens tot en met het einde van de meting zeewaarts. Aangezien Rijkswaterstaat geen oppervlaktes heeft van de suppletiezone, zijn deze met behulp van ArcMap berekend. Per kustvak kan de oppervlakte van de suppletiezone berekend worden door een lijn en te trekken door de begin- en eindpunten van het bereik van de raaien. Rijkswaterstaat heeft van elke raai een specifieke X en Y coördinaat als 0-punt welke op de RSP ligt. Daarnaast is de richting, de landwaartse grens en bereik van de raai bekend. Met deze gegevens kunnen de X en Y coördinaat van de begin- en eindpunten van de raaien berekend worden. Een lijn door de beginpunten vormt per kustvak de landwaartse grens van de suppletiezone en een lijn door de eindpunten de zeewaartse. Met behulp van ArcMap is per kustvak de oppervlakte van de suppletiezone berekend, een voorbeeld is te zien in Figuur 15.



Figuur 15: Voorbeeldberekening suppletiezone kustvak Schiermonnikoog

Een overzicht van de verschillende niveaus en hun onderlinge verhoudingen is te zien in Figuur 16. Niveau 2 is bovenop niveau 1 geplaatst, hierdoor is het verschil in landwaartse grens te zien. Niveau 3 is bovenop niveau 2 en 1 geplaatst, wat duidelijk het verschil in oppervlakte tussen het kuststelsel en suppletiezones toont. Een overzicht van de niveaus en alle oppervlaktes is weergegeven in Bijlage E.



Figuur 16: Vergelijkingsniveaus suppletietool

4 Resultaten

Per onderzoeksvraag worden de resultaten behandeld. Eerst worden de resultaten van het benaderen van de representatieve kustprofielen met een polynomiale functie behandeld. Voor elke raai uit de selectie, zoals bepaald in Hoofdstuk 3.1, is een representatieve polynoom berekend. Vervolgens worden de resultaten van het verlengen van de JARKUS-data behandeld. De resultaten van het extrapoleren van de representatieve polynoom heeft geleid tot nieuwe inzichten en een verdere inperking van de selectie van raaien. Daarnaast worden de resultaten van de trendvolumeberekeningen behandeld. Tot slot worden de vormgeving en de resultaten van de suppletietool behandeld in Hoofdstuk 4.3 en 4.4. De vormgeving is gedaan aan de hand van een voorbeeld van Rijkswaterstaat.

4.1 Benadering representatief kustprofiel

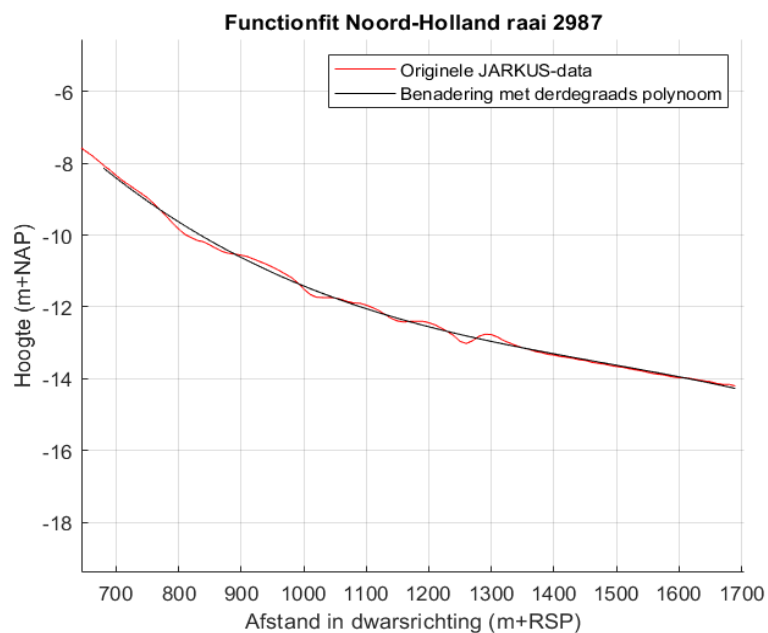
De resultaten van het benaderen van de representatieve kustprofielen met een derde- of vijfdegraads polynoom zijn per blok beschouwd. Binnen een blok zijn alle raaien met enerzijds een derdegraads of anderzijds vijfdegraads polynoom benaderd. Dit is gedaan omdat per blok de raaien in Matlab generiek met een 'loop-functie' benaderd worden. Door één soort functie per blok te gebruiken wordt voorkomen dat er 'sub-blokken' gemaakt moeten worden.

Alle blokken zijn in eerste instantie benaderd met een derdegraads polynoom. Op basis van de vergelijking tussen de representatieve polynoom en het representatieve kustprofiel, is bepaald of de benadering voldoende is, of dat het representatieve kustprofiel benaderd moet worden met een vijfdegraads polynoom. In Tabel 3 is een overzicht te zien van de resultaten van de representatieve polynomen. De minimale en gemiddelde R^2 -waarde van de polynomen per blok zijn weergegeven. Daarnaast is de graad van de representatieve polynoom aangegeven. Het figuur verwijst naar het voorbeeld van de representatieve polynoom met de laagste R^2 -kwadraat waarde uit het blok, de voorbeelden staan in Bijlage B. In Bijlage C staan de R^2 -waarden van alle representatieve polynomen. Daarnaast zijn de P-waarden van alle representatieve polynomen opgenomen in deze bijlage, de P-waarden beschrijven de functie van de polynoom.

Tabel 3: Overzicht gegevens representatieve polynomen per blok

Blok	Graad	Gem. R^2 -waarde	Min. R^2 -waarde	Voorbeeld (Bijlage B)
7.1	3	0,997	0,990	Figuur 31
8.1	5	0,960	0,940	Figuur 33
8.2	3	0,979	0,970	Figuur 34
8.3	3	0,991	0,978	Figuur 35
8.4	3	0,993	0,984	Figuur 36
9.1	3	0,998	0,997	Figuur 38
9.2	3	0,997	0,995	Figuur 37

Opvallend is dat de R^2 -waarden extreem hoog zijn. Dit is te verklaren doordat het representatieve kustprofiel in twee stappen wordt benaderd. In de eerste stap worden alle lange kustprofielen per raai benaderd met een polynoom zodat variatie in het hoogteprofiel, als gevolg van ruis en meetonzekerheden, uit de data gefilterd worden. Echter, na het toepassen van de methode blijkt dat de lange JARKUS-data bijna geen variatie bevatten. De variatie is vooral te zien in de korte, over het algemeen oudere JARKUS-data. In Figuur 17 is een voorbeeld te zien van de benadering van het hoogteprofiel uit 2002 van raai 2987. Het hoogteprofiel uit 2002 is van raai 2987 het oudste jaar dat geldt als lange JARKUS-data. In de afbeelding is te zien dat er weinig variatie zit in het originele kustprofiel waardoor de R^2 -waarde bij deze stap al extreem hoog is (0,9968). In de tweede stap wordt over alle polynomen van de lange JARKUS-data per raai een nieuwe polynoom met dezelfde graad gefit om tot de representatieve polynoom te komen. Dit resulteert logischerwijs dus ook in een hoge R^2 -waarde.



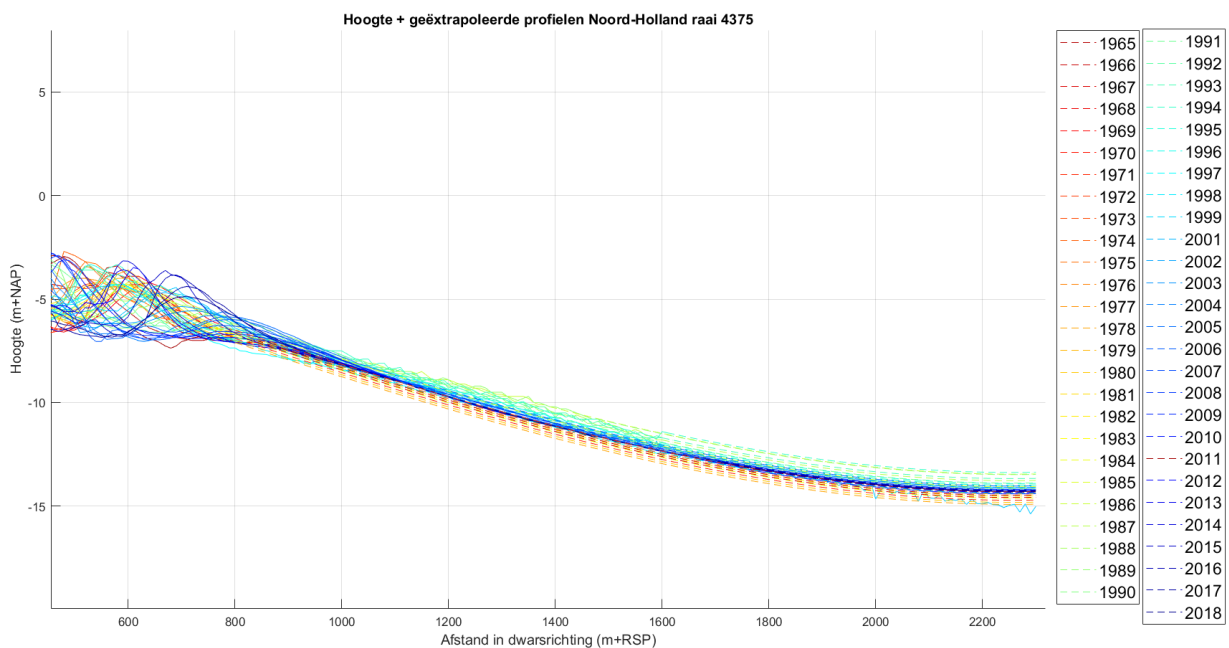
Figuur 17: Benadering hoogteprofiel van raai 2987 uit 2002 met derdegraads polynoom

Bij het vergelijken van de representatieve polynomen met de representatieve kustprofielen is te zien dat de profielvormen, ondanks de extreem hoge R^2 -waarde, in enkele gevallen niet goed overeenkomen. Bij blok 8.1 is ervoor gekozen om het representatieve kustprofiel met een vijfdegraads polynoom te benaderen zodat de profielvorm beter aansluit. Met de benadering van een vijfdegraads polynoom kan voor 5 van de, in totaal 40 raaien geconcludeerd worden dat de representatieve polynoom geen goede benadering is van het representatieve kustprofiel. Dit is een verbetering ten opzichte van de benadering met een derdegraads polynoom waarbij dit bij ongeveer 20 van de 40 raaien het geval was. De 5 raaien waarvoor de polynoom niet representatief is zijn gemarkeerd in Bijlage C en zijn in vervolgstappen buiten beschouwing gelaten.

4.2 Samenvoegen korte en geëxtrapoleerde data

De resultaten van het extrapoleren van de representatieve polynomen worden hieronder per blok beschreven. Ook worden de resultaten van de trendvolumeberekeningen per blok toegelicht.

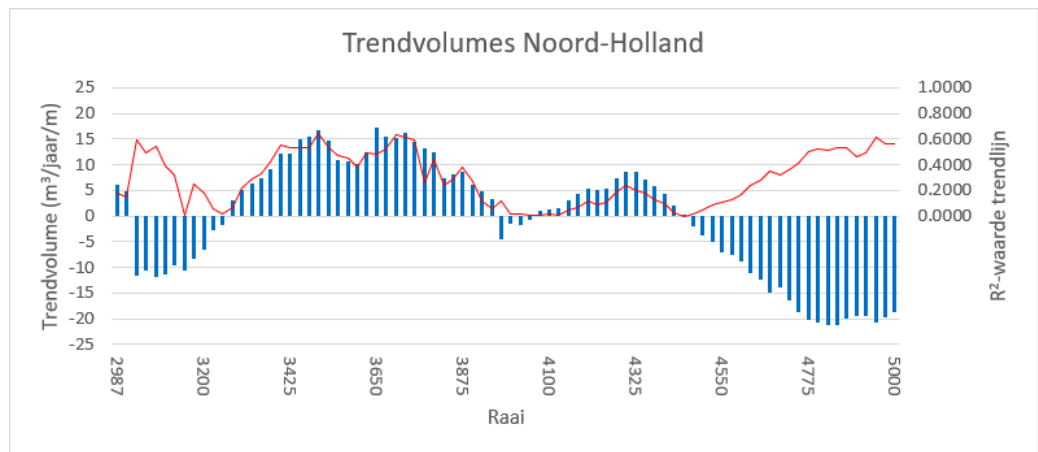
Het extrapoleren en verschuiven van de representatieve polynomen van blok 7.1 levert consistente resultaten op. De polynomen behouden bij landwaartse extrapolatie een profielvorm die vergelijkbaar is met het kustprofiel. In Figuur 18 is een voorbeeld van het resultaat van het verlengen van de JARKUS-data te zien. De gestippelde lijnen geven de verlengde profielen aan. De overige raaien uit blok 7.1 hebben een vergelijkbaar resultaat.



Figuur 18: Resultaat verlengen JARKUS-data, raai 4375

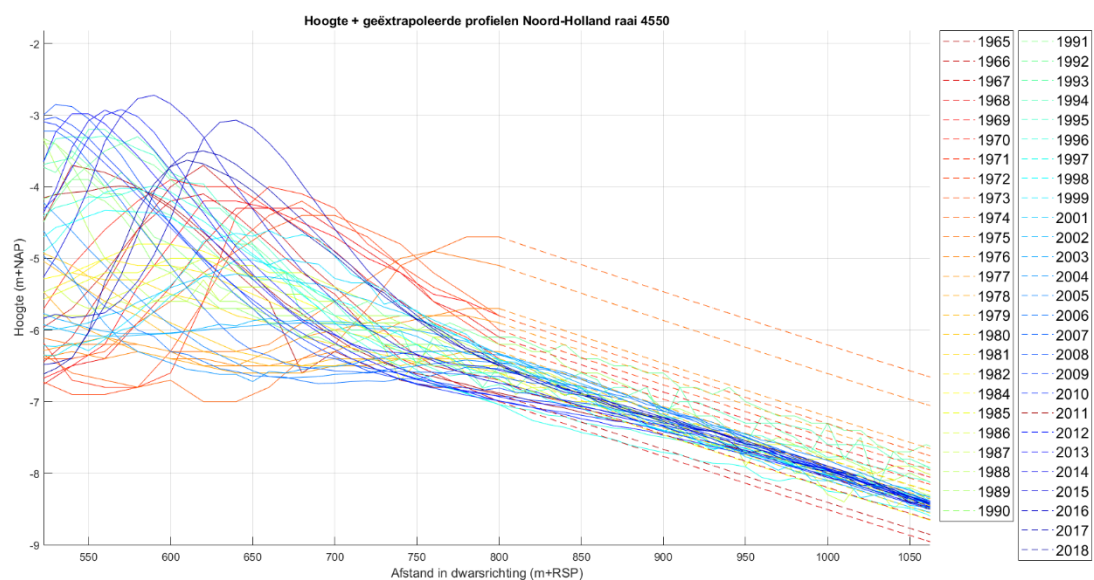
Het gemiddelde trendvolume is $-0,36 \text{ m}^3/\text{jaar}$ per strekkende meter. Dit betekent dat er zandverliezen zijn op de diepe vooroever tussen raai 2987 en 5000 in kustvak Noord-Holland. Wanneer wordt aangenomen dat het gemiddelde trendvolume voor heel de diepe vooroever in kustvak Noord-Holland geldt, dan komt dit neer op een zandverlies van 194.000 m^3 per jaar. De lengte van kustvak Noord-Holland is 54,55 km. De breedte is de gemiddelde kustdwarse afstand tussen NAP-8m en NAP-20m, welke een respectievelijke afstand van 920m+RSP en 9000m+RSP hebben (Vermaas & van der Spek, 2016). De breedte van de diepe vooroever is dus 8080m. Het berekende trendvolume geldt voor een breedte van 820m, het trendvolume van de totale vooroever is dus $-3,55 \text{ m}^3/\text{jaar}$ per strekkende meter.

Een overzicht van alle trendvolumeberekeningen uit blok 7.1 is te zien in Figuur 19. Opvallend is het grote verschil tussen negatieve en positieve trends, welke minimaal $-21,30 \text{ m}^3/\text{jaar/m}$ en maximaal $17,12 \text{ m}^3/\text{jaar/m}$ is. Wel is te zien dat de trends van opeenvolgende raaien op elkaar aansluiten en er geen uitschieters zijn. Dit komt overeen met het kustlangse verloop van de diepe vooroever, waarbij het logisch is dat opeenvolgende raaien een vergelijkbare bathymetrie hebben. Daarnaast is het opvallend dat de R^2 -waarde van de trends hoger is bij een steilere trend, zowel bij positieve als negatieve trends.



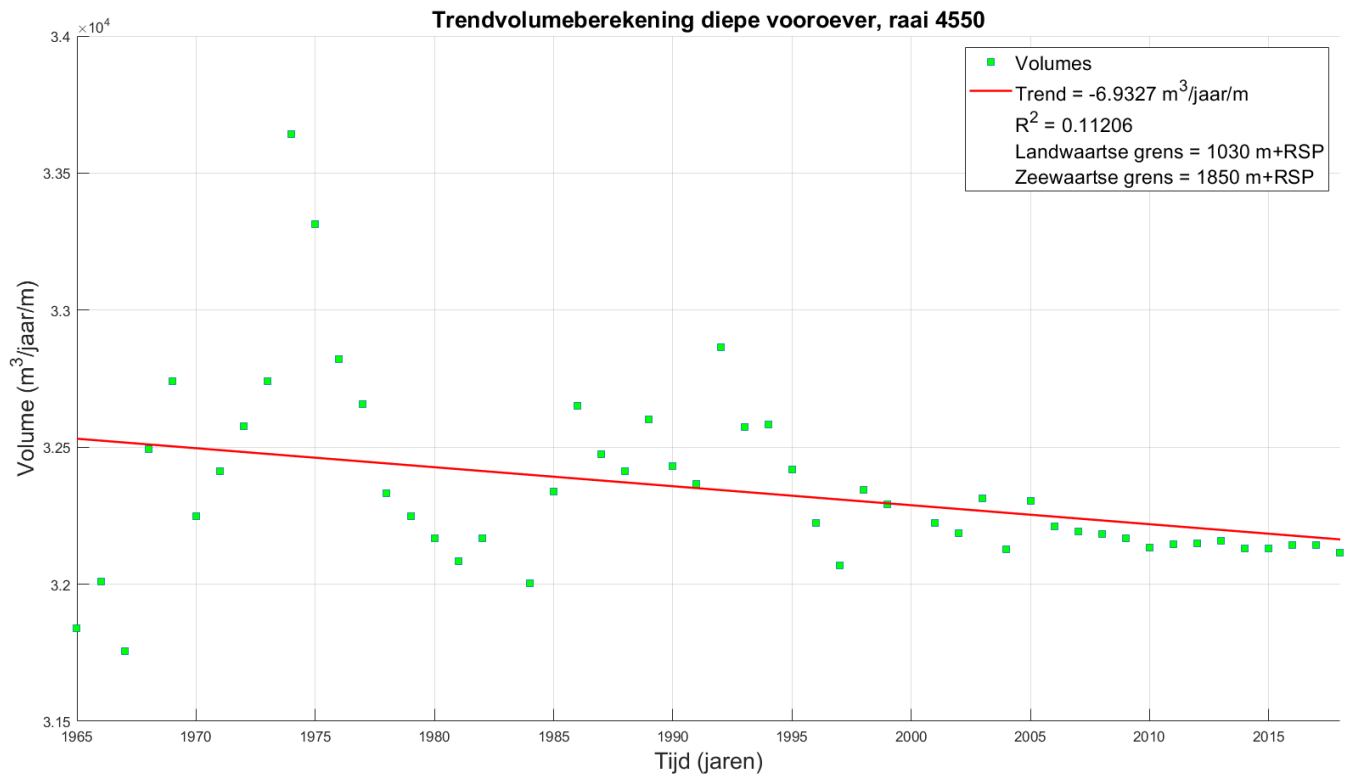
Figuur 19: Trendvolumes Noord-Holland

Het verschil in trendvolumes zou het gevolg kunnen zijn van de methode waarop de geëxtrapoleerde polynoom wordt 'geplakt' aan de korte data. De eindpunten waaraan de polynomen worden geplakt liggen bij blok 7.1 namelijk gedeeltelijk in de onregelmatige zone van het kustprofiel. Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 20. Over het algemeen geldt: hoe ouder de meting, hoe dichter het eindpunt bij de RSP ligt. Dus ook: hoe ouder de meting, hoe gevoeliger de hoogte van het eindpunt is voor onregelmatigheden. De variatie in hoogte van de eindpunten is bepalend voor de trendvolumeberekeningen en is waarschijnlijk de oorzaak van de variatie in trends tussen de raaien.



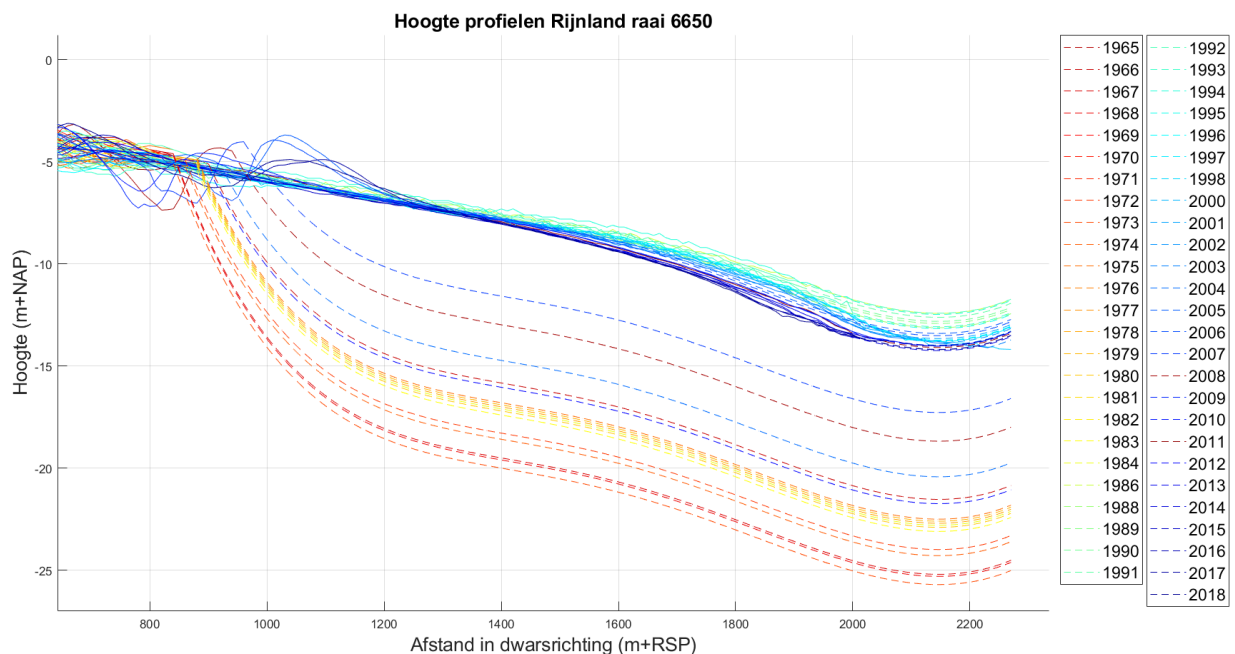
Figuur 20: Variatie in eindpunten historische data, raai 4550

Kijkend naar de trendvolumeberekening van raai 4550 (Figuur 21) wordt dit bevestigd. Vanaf 1985 is de variatie in de volumeberekeningen kleiner. Vanaf dat jaar is het bereik van de JARKUS-data ook groter geworden. Tot 1985 is alle JARKUS-data tot ongeveer 800m+RSP, wat in de onregelmatige zone ligt en dus voor variatie in de eindpunten zorgt.



Figuur 21: Trendvolume berekening diepe vooroever raai 4550

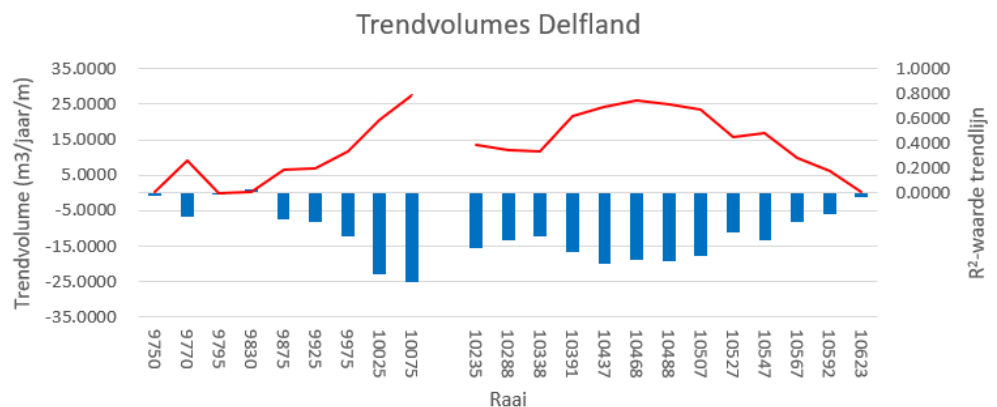
Bij landwaartse extrapolatie van de representatieve polynomen uit blok 8.1 wijkt de profielvorm meteen af van de profielvorm van het kustprofiel, zoals te zien is in Figuur 22. Een aantal aanpassingen aan de methode zijn uitgevoerd om te proberen de polynomen minder af te laten wijken. De eerste manier waarop dit is gedaan is door de grens van het startpunt van de representatieve polynoom te verschuiven naar - NAP-7m. Bij de hoogteprofielen in kustvak Rijnland stopt de onregelmatige zone namelijk rond NAP-7m in plaats van NAP-8m. Hierdoor wordt het bereik van de representatieve polynoom groter en de afstand van extrapolatie kleiner. Helaas blijkt dat na het toepassen van deze verandering de polynoom bij extrapolatie blijft afwijken van de profielvorm van het totale kustprofiel. Bij de tweede poging is de manier van het aansluiten van de representatieve polynoom aangepast. Bij extrapolatie van de polynomen landwaarts, zal de polynoom uiteindelijk óf negatief óf positief in hoogte afbuigen. De polynomen die negatief afbuigen volgen de profielvorm van het totale kustprofiel beter dan de polynomen die positief afbuigen. Om de polynomen die positief in hoogte afbuigen beter aan te laten sluiten op de historische data, zijn deze geëxtrapoleerd tot de hoogte van het eindpunt in plaats van de dwarsrichting van het eindpunt. De geëxtrapoleerde polynomen zijn vervolgens over het verschil in afstand in dwarsrichting verschoven om aan te laten sluiten op de historische data. Helaas heeft ook deze methode niet geleid tot betere resultaten. Hiervoor wijken de polynomen te snel af van de profielvorm van het totale kustprofiel en blijft de afstand van verschuiving te groot. Vanwege de resultaten van het verlengen van de JARKUS-data zullen trendvolumeberekeningen niet tot nieuwe inzichten leiden, deze zijn daarom niet uitgevoerd voor blok 8.1.



Figuur 22: Resultaat verlengen JARKUS-data, raai 6650

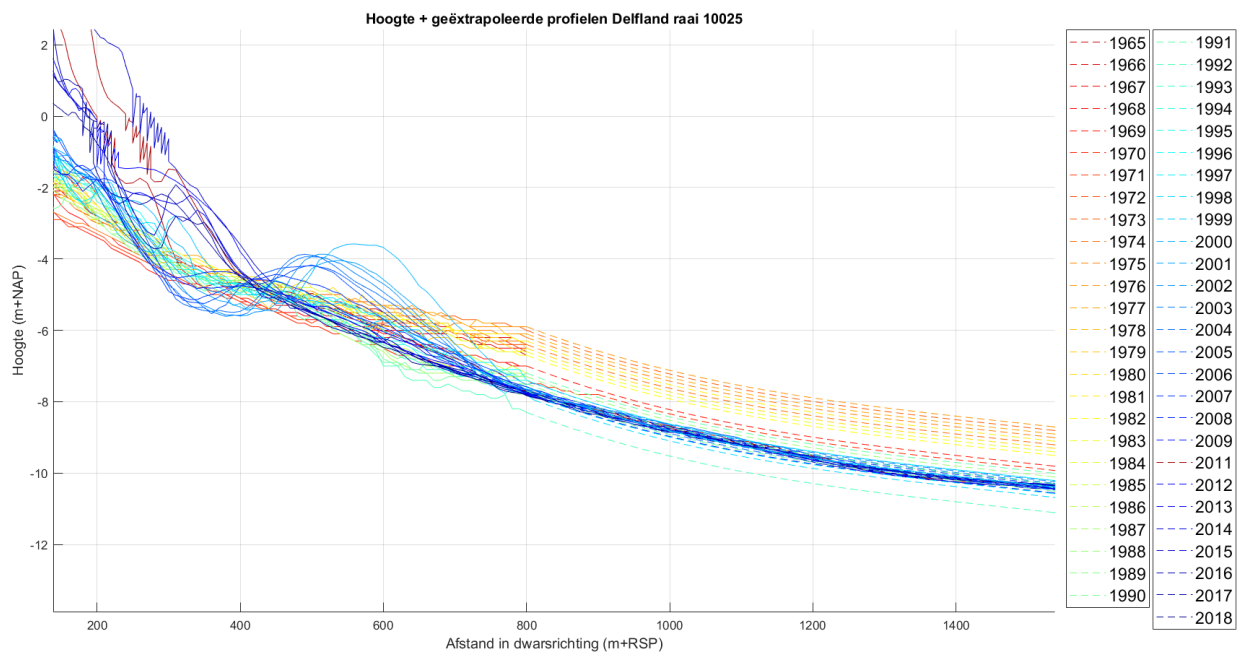
De resultaten van het verlengen van de JARKUS-data van blok 8.2, 8.3 en 8.4 zijn vergelijkbaar met de resultaten van blok 8.1. Ondanks dat de representatieve polynomen uit deze blokken derdegraads zijn, wijken ze bij extrapolatie af van de profielvorm van het kustprofiel. Er wordt geconcludeerd dat de representatieve kustprofielen uit kustvak Rijnland niet met een polynomiale functie benaderd kunnen worden die bij landwaartse extrapolatie de profielvorm van het totale kustprofiel benaderd.

Het verlengen van de JARKUS-data bij blokken 9.1 en 9.2 levert vergelijkbare resultaten op als bij blok 7.1. Opvallend is dat de trendvolumeberekeningen per raai minder variëren dan bij blok 7.1 (Figuur 23). Bij blok 9.1 zijn op één raai na alle trends negatief. Bij blok 9.2 zijn alle trends negatief. Bovendien zijn er minder grote verschillen tussen de trends. De gemiddelde R^2 -waarde van blok 9.1 en 9.2 samen is 0,37 en daarmee hoger dan die van blok 7.1 met 0,29. Het gemiddelde trendvolume van blok 9.1 en 9.2 samen is $-11,56 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$. Dit betekent dat tussen raaien 9750 en 10623 van kustvak Delfland zandverliezen zijn op de diepe vooroever. De zandverliezen zijn aanzienlijk groter dan bij kustvak Noord-Holland. Wanneer wordt aangenomen dat het gemiddelde trendvolume voor heel de diepe vooroever in kustvak Delfland geldt, dan komt dit neer op een zandverlies van $3.307.000 \text{ m}^3$ per jaar. De waarde is op dezelfde manier uitgerekend als bij raai 7.1.



Figuur 23: Trendvolumes Delfland

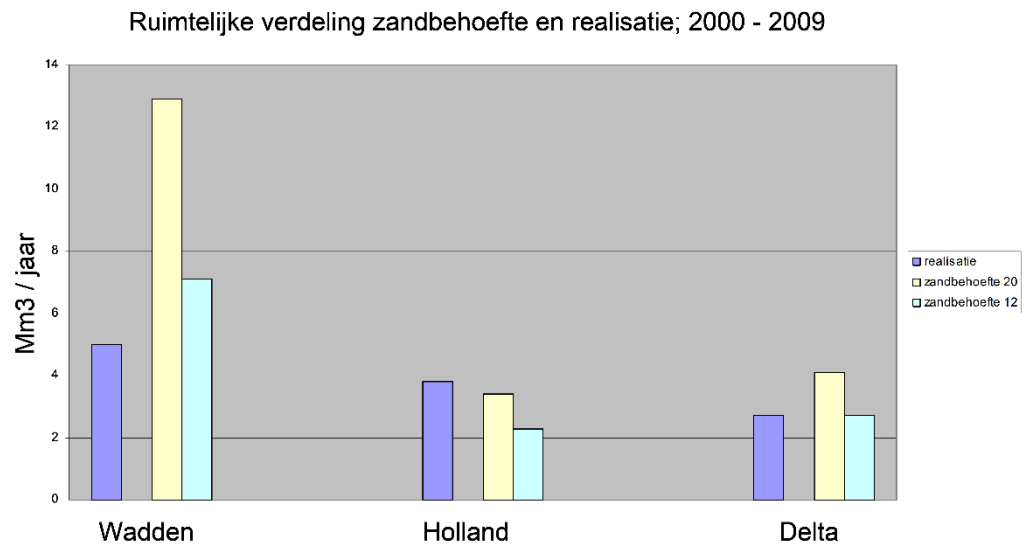
De kleinere variatie is te verklaren doordat de onregelmatige zone van de raaien in blok 9.1 en 9.2 kleiner is dan bij de raaien in blok 7.1. In Figuur 24 is te zien dat de onregelmatigheden tot ongeveer een afstand van 750m+RSP lopen. De eindpunten van de korte hoogteprofielen zijn dus minder gevoelig voor de onregelmatigheden, wat resulteert in consistentere trendvolumeberekeningen en hogere R^2 -waarden. In Hoofdstuk 5 en 5 wordt behandeld of er conclusies kunnen worden getrokken uit de resultaten van het verlengen van de JARKUS-data en de trendvolumeberekeningen.



Figuur 24: Resultaat verlengen JARKUS-data, rai 10025

4.3 Vormgeving tool

In overleg met Rijkswaterstaat is besloten om de tool vorm te geven in Excel. Hierdoor is de tool toegankelijk voor iedereen en kunnen er in de toekomst uitbreidingen worden toegevoegd. De werking van de tool is gebaseerd op de twee datasets die zijn gecreëerd met de methodes uit Hoofdstuk 3.3. Wat betreft de vormgeving heeft Rijkswaterstaat een voorbeeld verstrekt van hoe eerder vergelijkingen zijn gemaakt tussen de suppletiebehoefte en gerealiseerde suppleties in een bepaald gebied. Dit voorbeeld is te zien in Figuur 25.



Figuur 25: Voorbeeldvergelijking tussen suppletiebehoefte en gerealiseerde suppleties (Mulder & Lodder, 2012)

Met de gegevens uit de gecreëerde datasets kan een vergelijkbare grafiek worden gemaakt als in het voorbeeld van Rijkswaterstaat. De gerealiseerde suppletiehoeveelheden per jaar zijn te bepalen door de som te nemen van de suppletievolumes binnen een bepaald gebied en periode, en deze vervolgens te delen door een het aantal jaren van de bepaalde periode, vergelijking (3).

$$\sum \text{Suppletievolumen}_{\text{gebied } X, \text{periode } Y} (m^3) \div \text{Periode } Y (\text{jaren})$$

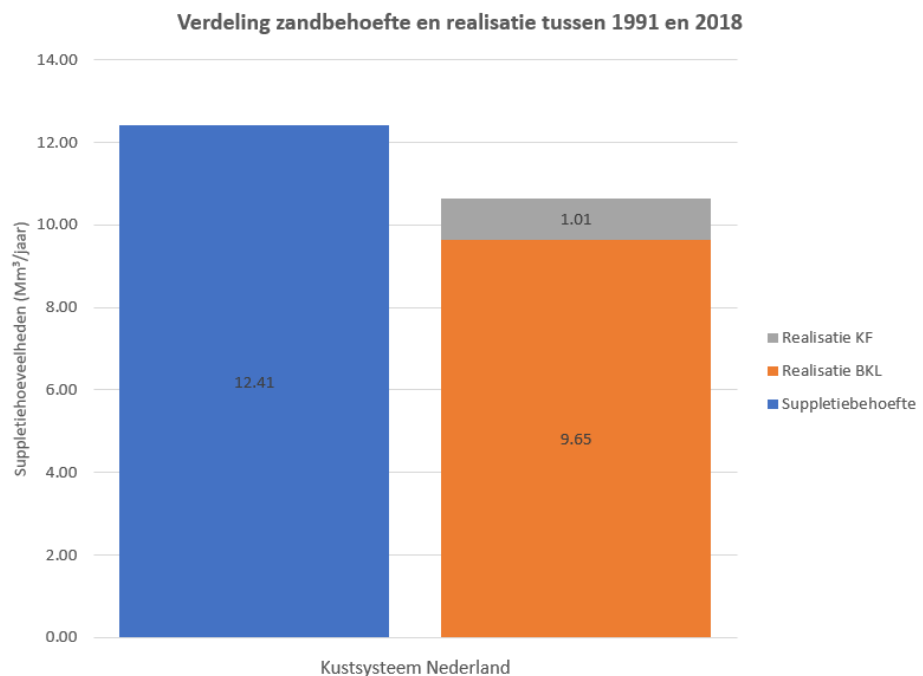
$$= \text{Suppletiehoeveelheid } (m^3/\text{jaar}) \quad (3)$$

De suppletiebehoefte is dus afhankelijk van de zeespiegelstijging en de oppervlakte van een bepaald gebied. Het suppletievolume is afhankelijk van de gerealiseerde suppleties binnen een bepaald gebied en periode. Al deze parameters worden gebruikt als inputvariabelen voor de tool. In Figuur 26 is een voorbeeld te zien van hoe de invoer van de tool eruit ziet.

Invoer	
Zeespiegelstijging (cm/eeuw)	18
Niveau	1
Nummer	1
Start periode = 1 januari	1991
Eind periode = 31 december	2018

Figuur 26: Inputvariabelen suppletietool

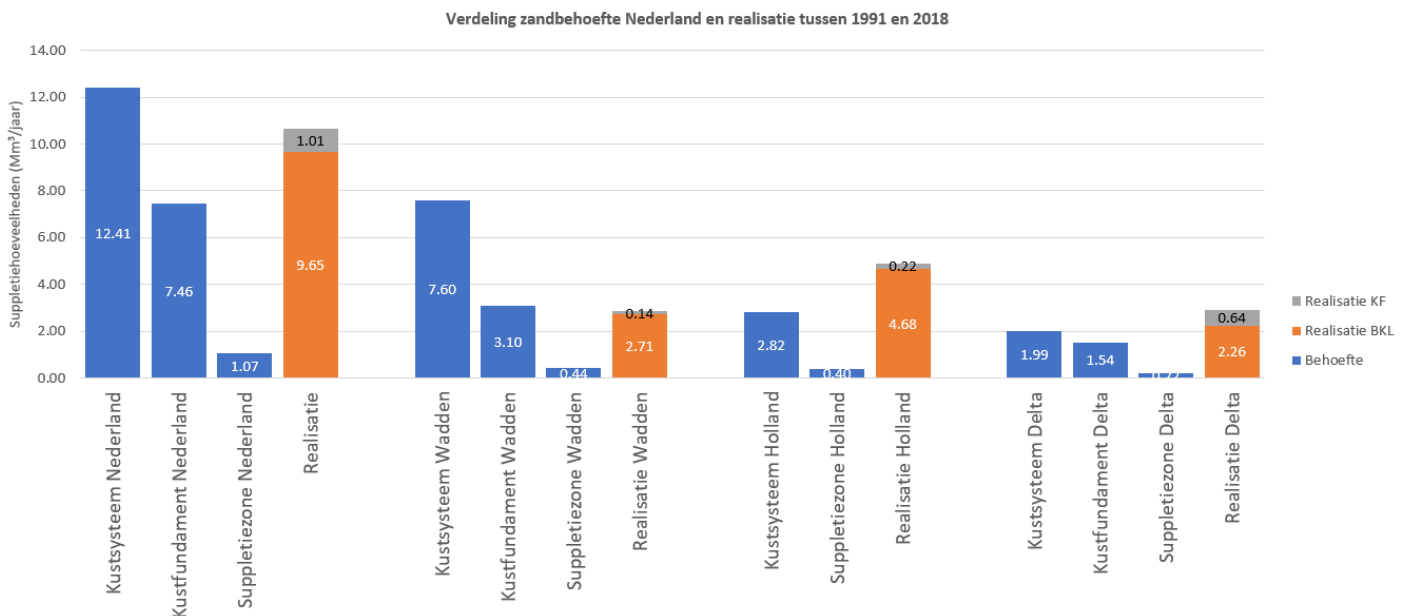
Het niveau en nummer definiëren het gebied dat wordt gebruikt voor de berekeningen. In Hoofdstuk 3.3 zijn de verschillende niveaus toegelicht. In Bijlage E is een overzicht gemaakt van alle gebieden die als input voor de tool gebruikt kunnen worden. In het werkblad van de tool is ook een overzicht van de gebieden toegevoegd zodat de gebruiker weet welk gebied, met een bepaald niveau en nummer, wordt opgevraagd. De uitvoer van de tool is een grafiek die vergelijkbaar is met het voorbeeld in Figuur 25. Een voorbeeld van de uitvoergrafiek is te zien in Figuur 27.



Figuur 27: Voorbeeld van uitvoer van de suppletietool vormgegeven in een grafiek voor één gebied

Onderscheid is gemaakt in de suppleties die uitgevoerd zijn om overschrijding van de BKL tegen te gaan en suppleties die zijn uitgevoerd ten behoeve van het voeden van het kustfundament. Dit is weergegeven als realisatie BKL en realisatie KF. In de suppletiedatabase is niet opgenomen of de suppletie een BKL of KF suppletie is. Daarom is op basis van kennis binnen Rijkswaterstaat dit gegeven per suppletie toegevoegd. Hierbij is aangenomen dat de suppletie volledig ten behoeve is van óf de BKL óf het KF. De praktijk leert echter dat suppleties die worden uitgevoerd ten behoeve van de BKL een overschot kunnen hebben die dient als voeding voor het KF (Rijkswaterstaat, 2018). Wanneer dit het geval is, is het volledige volume van de suppletie gedefinieerd als BKL realisatie.

De uitvoer van de grafiek in Figuur 27 is gedefinieerd voor één gebied. Aangezien Rijkswaterstaat ook vergelijkingen tussen verschillende gebieden wil maken, is een extra werkblad aan de tool toegevoegd waarin de gebieden per niveau vergeleken kunnen worden, voor elk niveau één grafiek. Het voorbeeld van de uitvoergrafiek van niveau 1 is te zien in Figuur 28.



Figuur 28: Uitvoer van de suppletietool vormgegeven in een grafiek voor meerdere gebieden

Door meerdere gebieden naast elkaar weer te geven, kunnen er makkelijker vergelijkingen worden gemaakt tussen gebieden. Dit gaat echter wel ten koste van de overzichtelijkheid grafiek ten opzichte van de grafiek voor één gebied. De uitvoer grafieken van de verschillende werkbladen vullen elkaar dus goed aan.

Wanneer er nieuwe suppleties zijn gerealiseerd kunnen deze worden toegevoegd aan de tabbladen met de suppletiedatabases. Van de suppletie moet het kustvak, eindjaar, beginraai, eindraai, volume en realisatiedoel bekend zijn om toe te kunnen voegen aan de database. Het toevoegen van de suppleties zal voor de grafiek waar de gebieden los berekend worden, meteen werken. Om de toevoeging van de suppletie voor de tool uit het tweede werkblad te laten werken, moet de suppletie op basis van raainummer de goede plek worden gezet.

4.4 Resultaten tool

Uit de vergelijkingen die met de tool gemaakt kunnen worden zijn een paar resultaten die opvallen. Het eerste wat opvalt is het grote verschil in oppervlakte van de suppletiezone vergeleken met oppervlaktes van het kustfundament en kustsysteem. Over heel de Nederlandse kust bekeken, wordt er ongeveer 12 keer zoveel zand gesuppleerd in de suppletiezone dan deze op zichzelf behoeft. Het zand wordt dus alleen in een klein oppervlak gestopt, waarbij wordt aangenomen dat het zand zich verspreid over een oppervlak dat ongeveer 12 keer zo groot is.

Uit onderzoek is gebleken dat het dynamische deel van de kust tot een diepte van NAP-15m ligt (Vermaas, van Dijk, & Hijma, Bodemdynamiek van de diepe, 2015). Hieruit kan worden geconcludeerd dat het zand zich maximaal verspreid tot een diepte NAP-15m, in plaats van NAP-20m. Het beleid van 12 Mm³/jaar (Ministerie van V&W, 2000) is gebaseerd op het oppervlak van het kustsysteem zeewaarts begrensd door de NAP-20m dieptelijn. Wanneer hiervoor de NAP-15m dieptelijn wordt beschouwd, dan is het oppervlak 26% kleiner en de suppletiebehoefte dus circa 9 Mm³/jaar in plaats van 12 Mm³/jaar.

Het meenemen van de Waddenzee in de berekening van de suppletiebehoefte levert ook een groot verschil op. Wanneer de Waddenzee wordt meegenomen in de beschouwing, dan is de suppletiebehoefte van de Wadden 7,60 Mm³/jaar. Als de Wadden exclusief Waddenzee wordt beschouwd, dan is de suppletiebehoefte 3,10 Mm³/jaar. De suppletiehoeveelheid vanaf 1991 tot en met 2018 is voor het Waddengebied 2,85 Mm³/jaar waarbij niet in de Waddenzee wordt gesuppleerd. De gerealiseerde hoeveelheid komt dus in de buurt van de behoefte wanneer de Waddenzee niet wordt meegerekend, maar voldoet niet voor de helft aan de behoefte van het totale Waddengebied. De suppletiebehoefte is dus sterk afhankelijk van welk gebied wordt beschouwd als maatstaaf voor de suppletiebehoefte.

Over de gehele periode vanaf 1995 tot en met 2018 is te zien dat het beleid van een suppletiehoeveelheid van circa 12 Mm³/jaar wordt aangehouden. Waar in 1991 nog een 'achterstand' is met 7,7 Mm³/jaar, is deze over de totale periode vanaf 1991 tot en met 2018 bijna ingehaald met een gemiddelde van 10,7 Mm³/jaar. Vanaf 2001 is bijna elk jaar de door het beleid voorgeschreven hoeveelheid gesuppleerd. Opvallend in het gemiddelde volume over jaren is de megasuppletie van de Zandmotor in 2011. Vanaf 1991 tot en met 2010 is de gemiddelde suppletiehoeveelheid 9,7 Mm³/jaar. Door de Zandmotor wordt deze in één jaar vergroot naar 10,8 Mm³/jaar. In 2011 is er bijna 33 Mm³ zand gesuppleerd, de Zandmotor is hier ongeveer de helft van. Daarnaast is over het verloop van jaren te zien dat steeds vaker KF suppleties worden uitgevoerd. In 2005 is de eerste KF suppletie gerealiseerd waarbij de verhouding circa 15% KF en 85% BKL was. In 2018 is de verhouding 55% KF en 45% BKL, wat betekend dat steeds vaker voor de lange termijn wordt gesuppleerd.

Tot slot is het opvallend dat er in het deelgebied Hollandse kust een stuk meer wordt gesuppleerd dan wat volgens de behoefte nodig is. Voor het deelgebied Wadden geldt het tegenovergestelde. In het deelgebied Delta is de gerealiseerde suppletiehoeveelheid ongeveer gelijk aan de behoefte. Om het kustfundament mee te laten stijgen met de zeespiegelstijging, is het dus niet alleen de vraag of het gesuppleerde zand zich verdeelt over de totale diepte van het kustfundament maar ook of er zandtransport plaatsvindt van de Hollandse Kust naar de Wadden. Wanneer dit niet het geval is, zal meer gesuppleerd moeten worden in het Waddengebied om op lange termijn BKL-overschrijdingen tegen te kunnen gaan.

5 Discussie

Op basis van de resultaten van het verlengen van de JARKUS-data, kan in twijfel worden getrokken of de toegepaste methode effectief is geweest. Van 104 van de 209 geselecteerde raaien is uiteindelijk een trendvolume berekend. Echter zoals is beschreven in Hoofdstuk 4.2, zijn de trendvolumeberekeningen uit blok 7.1 variërend en gevoelig voor onregelmatigheden. Alleen de trendvolumeberekeningen uit kustvak Delfland zouden kunnen worden beschouwd als betrouwbaar, wat betekent dat de methode maar in 22 van de 204 gevallen resultaat heeft opgeleverd. Bovendien zijn bij het doorlopen van de methode steeds verschillende oorzaken aan te wijzen waardoor de methode niet werkt. Wel is opvallend dat bij de raaien waar de trendvolumes het grootst zijn, de R^2 -waarde ook het hoogst is. Op basis van de R^2 -waarden van blokken 9.1 en 9.2 zou geconcludeerd kunnen worden dat deze trendvolumes het meest betrouwbaar zijn. Aangezien het totale zandverlies bij kustvak Delfland het grootst is, lijkt het erop dat de meest significante resultaten ook het meest betrouwbaar zijn.

Het verlengen van de JARKUS-data levert bij kustvak Rijnland inconsistente resultaten op omdat het deel van de representatieve polynoom dat geëxtrapoleerd wordt, meteen afwijkt van de profielvorm van het totale kustprofiel. Hierbij is het vooral de vraag of het extrapoleren van de functie een goede methode is. De benadering van de representatieve kustprofielen met een polynomiale functie levert namelijk in bijna alle gevallen een goede fit op. Bovendien is bij het toepassen van de methode bij kustvak Rijnland op twee manieren geprobeerd om de representatieve polynoom bij extrapolatie beter overeen te laten komen met het totale kustprofiel. Bij beide aanpassingen aan de methode blijft de polynoom bij extrapolatie meteen afwijken.

Een andere optie zou zijn om het extrapoleren van de polynoom over te slaan. Dit kan gedaan worden door de representatieve polynoom meteen te plakken aan de korte JARKUS-data. Een verschuiving over zowel de hoogte als de afstand in dwarsrichting dus. Hierdoor ligt de zeewaartse grens van de verlengde data dichter op de RSP, maar kunnen er geen uitschieters ontstaan als gevolg van extrapolatie. Echter, bij het toepassen van deze methode, betekent dit dat de profielvorm van het representatieve kustprofiel steeds korter op de RSP komt te liggen naarmate de data ouder worden. Dit resulteert in een zeewaartse verschuiving van de dieptelijnen van de diepe vooroever over de tijd. Bij eerdere bevindingen is echter geconcludeerd dat de dieptelijnen juist richting de kust verplaatsen (Spadon, 2000), wat betekent dat deze optie geen goede oplossing is voor het probleem.

De methode van het plakken van de geëxtrapoleerde polynoom aan de korte data lijkt vaak wel te werken. Echter is de verschuiving over de hoogte in m+NAP gevoelig voor onregelmatigheden in de eindpunten van de korte data. Deze verschuiving is ook bepalend voor het trendvolume waardoor de berekening hiervan dus gevoelig is voor onregelmatigheden in de data. Vooral bij blok 7.1 zijn deze onregelmatigheden bepalend voor variatie in de trendvolumes. De resultaten uit blokken 9.1 en 9.2 variëren minder omdat de eindpunten van de korte JARKUS-data buiten de onregelmatige zone liggen.

Voor de vormgeving van de tool is het voorbeeld van Rijkswaterstaat aangehouden. De tool is eenvoudig opgezet in Excel waarbij geen programmeervaardigheden zijn komen kijken. Iedereen die inzichten wil creëren tussen de verhouding van de suppletiebehoefte van een bepaald gebied en de gerealiseerde suppleties binnen het gebied, kan gebruik maken van de tool. Door de mogelijkheid van het toevoegen van nieuwe gerealiseerde suppleties, kan de tool in toekomst ook worden gebruikt. Echter is er wel enige kennis van de werking van de tool nodig om deze aan te kunnen vullen met nieuwe suppleties. De tool is een eerste versie, wat betekent dat er veel ruimte voor verbetering zal zijn. Vooral qua opmaak en gebruiksgemak kan de tool verbeterd worden, bijvoorbeeld door het gebruik van programmeer software in plaats van Excel.

Voor het berekenen van de gerealiseerde suppletievolumes en de suppletiebehoeftes zijn simpele vergelijkingen gebruikt, welke ook door Rijkswaterstaat worden toegepast voor soortgelijke berekeningen. In de resultaten zitten dus geen onzekerheden als gevolg van de werking van de tool. Wel kunnen er onzekerheden zitten in de data die zijn gebruikt voor de tool. Uit de resultaten is naar voren gekomen dat de oppervlakte van het gebied bepalend is voor de suppletiebehoefte. Verschillende definities van de oppervlaktes kunnen leiden tot verandering in het suppletiebeleid van Rijkswaterstaat. Vooral de zeewaartse grens van het kustfundament is een factor van onzekerheid (Vermaas, van Dijk, & Hijma, Bodemdynamiek van de diepe, 2015). Daarnaast kunnen er onzekerheden zitten in de suppletiedatabase die is gebruikt. De slijtlagen van de Zwakke Schakel suppleties zijn bijvoorbeeld geschat wat onzekerheden met zich mee brengt. Bovendien worden de suppletievolumes regelmatig afgerond op duizendtallen wat invloed kan hebben op het totale suppletievolume. De tool heeft echter geen invloed op deze onzekerheden.

6 Conclusie

In dit concluderende hoofdstuk worden de onderzoeksvragen uit Hoofdstuk 1.2 één voor één beantwoord, beginnend met onderzoeksvraag A1:

Welke representatieve profielvormen van de diepe vooroever, kunnen worden afgeleid uit de lange JARKUS-data? (A1)

Uit de resultaten blijkt dat derde- of vijfdegraads polynomiale functies kunnen worden afgeleid uit de representatieve kustprofielen van lange JARKUS-data. De R^2 -waarden van de benaderingen zijn extreem hoog omdat de representatieve polynoom een functie is over eerder bepaalde functies. De R^2 -waarden geven dus een vertekend beeld van de werkelijke correlatie. De bepaling of de representatieve polynoom een goede fit oplevert is daarom voornamelijk gedaan op basis van een visuele vergelijking tussen de representatieve polynoom en oorspronkelijke JARKUS-data. Voor 209 van de 214 raaien levert de benadering met een polynomiale functie een goede fit op. Van deze 209 benaderingen, zijn 174 met een derdegraads polynoom en 35 met een vijfdegraads polynoom.

Met de functies van de representatieve polynomen zijn vervolgens de korte JARKUS-data verlengt om onderzoeksvraag A2 te kunnen beantwoorden:

Welke inzichten in de meerjarig morfologische ontwikkeling van de diepe vooroever worden gecreëerd, door het verlengen van korte JARKUS-data? (A2)

Uit de resultaten van het verlengen van de korte JARKUS-data kan geconcludeerd worden dat zandverliezen optreden op de diepe vooroever van de kustvakken Noord-Holland en Delfland. Deze zandverliezen zijn respectievelijk 194.000 m³ per jaar en 3.307.000 m³ per jaar. Gezien de variaties en onzekerheden in de resultaten van de toegepaste methodes, kunnen deze zandverliezen alleen als indicatie worden beschouwd. Het berekende zandverlies van Delfland geeft een betere indicatie van het werkelijke zandverlies, dan het berekende zandverlies van Noord-Holland.

Het tweede deel van het onderzoek, bestaat uit het vormgeven van de suppletietool. De eerste onderzoeksvraag bij dit onderzoeksdoel is:

Hoe moet de tool worden vormgegeven, zodat deze gebruikt kan worden door Rijkswaterstaat voor de vergelijking tussen de gerealiseerde suppletievolumes en suppletiebehoefte? (B1)

Door de tool vorm te geven in Excel, is deze toegankelijk voor iedereen. Daarnaast is de tool vormgegeven aan de hand van een voorbeeld van Rijkswaterstaat. Alleen vergelijkingen die reeds gebruikt worden door Rijkswaterstaat zijn gebruikt voor het bepalen van de suppletiebehoefte en gerealiseerde suppletievolumes. Voor gedetailleerde vergelijkingen is er een werkblad die één verhouding per gebied weergeeft. Voor een overzicht tussen deelgebieden is er een werkblad met de verhoudingen van alle deelgebieden per niveau. Aangezien het een eerste versie van de tool is, is er veel ruimte voor verbetering. Vooral op het gebied van lay-out en gebruiksvriendelijkheid van het toevoegen van suppleties.

Met de verhoudingen die door de tool gemaakt kunnen worden, kan onderzoeksvraag B2 beantwoord worden:

Welke inzichten volgen uit de verhoudingen tussen gerealiseerde suppletievolumes en suppletiebehoefte? (B2)

Vanaf 1991 tot en met 2018 suppleert Rijkswaterstaat jaarlijks bijna de hoeveelheid zand die door het beleid wordt voorgeschreven, 12 Mm³/jaar. Het gebied waarin de suppleties worden uitgevoerd is ongeveer 12 keer zo klein als het gebied dat wordt gebruikt voor de bepaling van de suppletiebehoefte. Naast dat de suppletievolumes sinds 1991 hoger zijn geworden, is Rijkswaterstaat ook steeds meer gaan suppleren om op lange termijn het kustfundament mee te laten groeien met de zeespiegelstijging. In het deelgebied van de Hollandse kust wordt er significant meer gesuppleerd dan de suppletiebehoefte voorschrijft. Voor het deelgebied Wadden geldt het tegenovergestelde.

Met inachtneming van de onzekerheden, kan worden geconcludeerd dat er versteiling optreedt van kustprofiel zoals weergegeven in Figuur 1. Aangezien alleen in de suppletiezone wordt gesuppleerd is er uitbouw van de kust. Daarnaast tonen de trendvolumeberekeningen aan dat er structurele verdieping van de diepe vooroever plaatsvindt. Deze bevindingen zijn in lijn met de conclusie uit de studie van Spadon, 2000. Wanneer wordt aangenomen dat het berekende zandverlies uit kustvak Delfland werkelijk optreedt en dit zandverlies wordt beschouwd als netto zandverlies uit het kustfundament, dan heeft dit significante invloed op de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust.

7 Aanbevelingen

Vanwege de onzekerheden in de berekende zandverliezen voor de kustvakken van Noord-Holland en Delfland, kunnen geen aanbevelingen worden gegeven op basis van de resultaten. Hiervoor moet eerst een methode worden ontwikkeld die consistentere resultaten oplevert. De methode uit deze studie kan verbeterd worden door een oplossing te vinden voor het dichten van het gat tussen de eindpunten van korte JARKUS-data en startpunten van de representatieve polynomen. Daarnaast moet een methode worden gevonden om de variatie in eindpunten van korte JARKUS-data te mitigeren. Momenteel zijn de volumeberekeningen erg gevoelig voor deze variatie. Wanneer de variatie in eindpunten kleiner is, worden de volumeberekeningen en dus ook de trendvolumes betrouwbaarder.

Wanneer de zandverliezen met meer zekerheid berekend kunnen worden, kan vervolgstudie worden gedaan naar waar deze zandverliezen getransporteerd worden. Het is mogelijk dat de verliezen het gevolg zijn van zandtransporten tussen aanliggende kustvakken, zandtransporten landwaarts of zandtransporten zeewaarts. Mocht er sprake zijn van zandtransporten zeewaarts, dan betekent dit dat het zand verloren gaat uit het kuststelsel. Dit heeft gevolgen voor de suppletiebehoefte van de Nederlandse kust.

De bepaalde zandverliezen kunnen ook worden meegenomen bij het berekenen van de suppletiebehoefte in de tool. Aangezien met de tool alleen de relatieve suppletiebehoefte wordt berekend, kan deze worden aangevuld met de berekende zandverliezen.

Om deze eerste versie van de tool te verbeteren, wordt allereerst aanbevolen om het toevoegen van nieuwe suppleties makkelijker te maken. Voor het toevoegen van een nieuwe suppletie, moeten een aantal gegevens bekend zijn. Het is aanbevolen om alle toekomstige suppleties op dezelfde manier te archiveren waarbij duidelijk is of het suppletiezand permanent is, of mag eroderen. Daarnaast kan de tool verbeterd worden door er een applicatie van te maken en meer aandacht te besteden aan de lay-out.

Bibliografie

- de Ronde, J. (2008). *Toekomstige langjarige suppletiebehoefte*. Deltares.
- Dekker, A. (2015). *De terugtrekking van de Nederlandse Kustlijn*. Enschede: Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving.
- Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. (2013). *Zwakke Schakels Noord-Holland Projectplan*. College van Hoofdingelanden.
- Ministerie van I&W. (2017). *Herziene ligging Basiskustlijn 2017*. Den Haag: Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Ministerie van I&W. (2018). *Kustlijnkaarten 2019*. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Ministerie van I&W. (2018). *Onderbouwing actualisatie suppletieprogramma 2016-2019*. Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Ministerie van I&W. (2019). *Suppletieprogramma Kustlijn; Uitgangspunten totstandkoming programma*. Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.
- Ministerie van V&W. (2000). *3e Kustnota*. Den Haag: Rijkswaterstaat Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Ministerie VenW. (2007). *Voorschriften Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Ministerie VenW. (2009). *Zwakke schakels Nederlandse kust*. Ministerie VenW.
- Mulder, J. (2000). *Zandverliezen in het Nederlandse Kustsysteem*. Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ.
- Mulder, J., & Lodder, Q. (2012). *Verdeling Suppletiezand*. Rijkswaterstaat, Deltares.
- Nederbragt, G. (2006). *Zandvoorraden van het kustsysteem*. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ. .
- Rijksinstituut voor Kust en Zee. (1993). *Drie jaar kustlijn; Dienst Getijdewateren*. Rijkswaterstaat. (2018). *Onderbouwing actualisatie suppletieprogramma 2016-2019*. Nederland: Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2019). *Schattingen slijtlaag verhouding Zwakke-Schakel suppleties*. Lelystad: Rijkswaterstaat.
- Spadon, Y. (2000). *Versteiling van de Hollandse kust nader bekeken*. Delft: TU Delft.
- van der Kleij, W., Verhagen, H., Rakhorst, H., van de Graaff, J., van der Kolff, J., de Looft, A., . . . Steetzel, H. (1995). *Leidraad zandige kust*. Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterverkeer.
- van der Werf, J., Grasmeijer, B., Hendriks, E., van der Spek, A., & Vermaas, T. (2017). *Literature study Dutch lower*. Deltares.
- Vermaas, T., & van der Spek, A. (2016). *Profielen dynamiek kustfundament*. Deltares.
- Vermaas, T., van Dijk, T., & Hijma, M. (2015). *Bodemdynamiek van de diepe*. Deltares.

Bijlage A: Inladen JARKUS-data in Matlab

Een voorbeeld van de JARKUS-data in *.jrk format is te zien in Figuur 29. De data zijn opgedeeld in blokken, elk blok bevat de profielmeting van één meetjaar per raai. De blokken starten met metadata, waarbij de relevante data zijn aangegeven bij 1. Hierbij staat de 8 voor het kustvaknummer, 2012 voor het jaartal en 6250 voor het raainummer. De 0 zegt iets over het soort meting, 2002 en 2405 zijn de data van de respectievelijk droge en natte meting en 296 staat voor het aantal datapunten, deze informatie is echter niet relevant voor het inladen. Bij 2 is een voorbeeld te zien van hoe een meetpunt is opgeslagen, het eerste getal staat voor de afstand in m+RSP. Het tweede getal is de hoogtemeting. Opvallend is dat de hoogtemetingen met een bepaald getal tussen 1 en 5 eindigen. Dit zegt iets over of de meting droog, nat of geïnterpoleerd is. Wanneer het nummer eraf wordt gehaald blijft een hoogte in cm+NAP over.

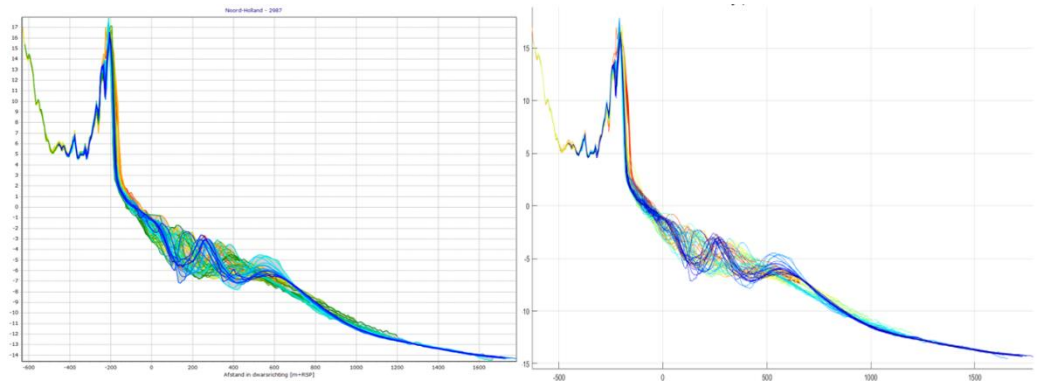
1880.0	-11495	1890.0	-11515	1900.0	-11535	1910.0	-11575	1920.0	-11615		
1930.0	-11655	1940.0	-11695	1950.0	-11715	1960.0	-11735	1970.0	-11785		
1980.0	-11815	1990.0	-11835								
1	8	2012	6250	0	2002	2405	296				3
-250.00	3351	-245.00	3651	-240.00	4901	-235.00	7451	-230.00	10421		
-225.00	10611	-220.00	10641	-215.00	10831	-210.00	11041	-205.00	11221		
-200.00	11301	-195.00	11481	-190.00	11631	-185.00	11751	-180.00	11881		
2	-175.00	11951	-170.00	11971	-165.00	11821	-160.00	11781	-155.00	13121	

Figuur 29: Voorbeeld JARKUS-data in .jrk format

Het inladen van de JARKUS-data in Matlab is gedaan met behulp van een script van Rijkswaterstaat, gemaakt door Ivo Naus. Hierbij worden de metadata gebruikt om de blokken weg te schrijven naar een zogeheten 'struct'. De output is een tabel met de X en Y waarden voor alle raaien per jaar, hierbij zijn de X-waarden de afstand in m+RSP en de Y-waarden de bodemhoogte in m+NAP. De kustvakken Noord-Holland, Rijnland en Delfland hebben allen een eigen struct.

De JARKUS-data bevatten enkele onregelmatigheden waarbij het script niet doorloopt. Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 29 bij nummer 3. Normaal gesproken worden de data per blok afgesloten met negens waardoor de lengte van het aantal getallen per regel altijd 10 is. De negens worden door het script verwijderd, waarna de data worden opgeslagen. Het script stopt echter wanneer de lengte van het aantal getallen in een regel niet 10 is. Om dit te voorkomen zijn de reeksen met minder dan 10 getallen uit de JARKUS-data gehaald.

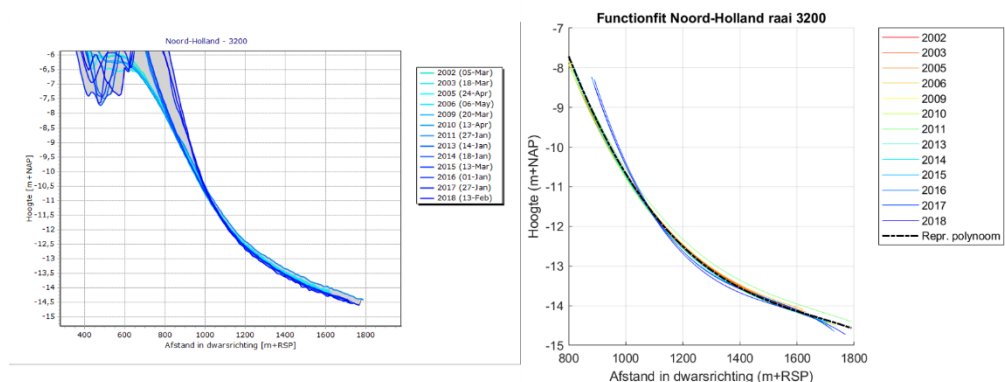
Om te controleren of de JARKUS-data goed zijn ingeladen, zijn de X- en Y-data tegen elkaar uitgezet en vergeleken met de hoogteprofielen in MorphAn. In Figuur 30 is raai 2987 in MorphAn (links) en Matlab (rechts) te zien. De profielvormen van beide raaien komen overeen, wat betekent dat de data goed ingeladen zijn in Matlab. Steekproefsgewijs zijn meerdere raaien vergeleken, welke allemaal met elkaar overeenkomen.



Figuur 30: Vergelijking hoogteprofielen raai 2987 tussen MorphAn en Matlab

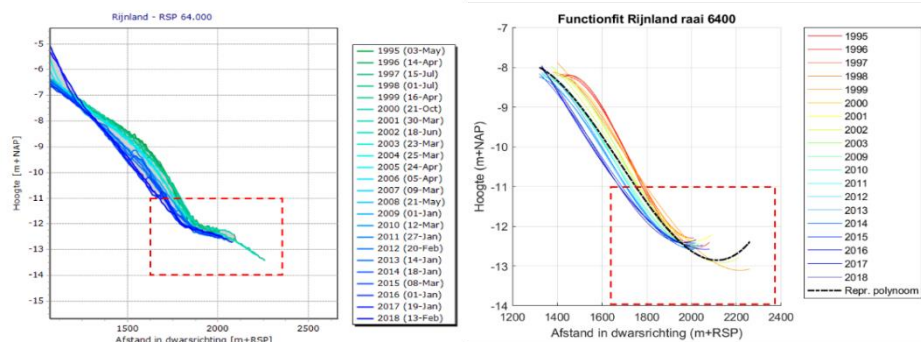
Bijlage B: Voorbeelden benadering representatief kustprofiel

Bij blok 7.1 zijn de R^2 -waarden gemiddeld 0,997. Bij de vergelijking van de profielvormen per raai, is te zien dat de polynomen goede benaderingen zijn van het representatieve kustprofiel. In Figuur 31 is rechts de representatieve polynoom van raai 3200 te zien, deze polynoom heeft met 0,990 de laagste R^2 -waarde van blok 7.1. Ondanks de relatief lage R^2 -waarde is de polynoom een goede benadering van het representatieve kustprofiel. Bij het doorlopen van alle 82 raaien in blok 7.1 kan geconcludeerd worden dat de representatieve polynomen goede benaderingen zijn voor de representatieve kustprofielen.



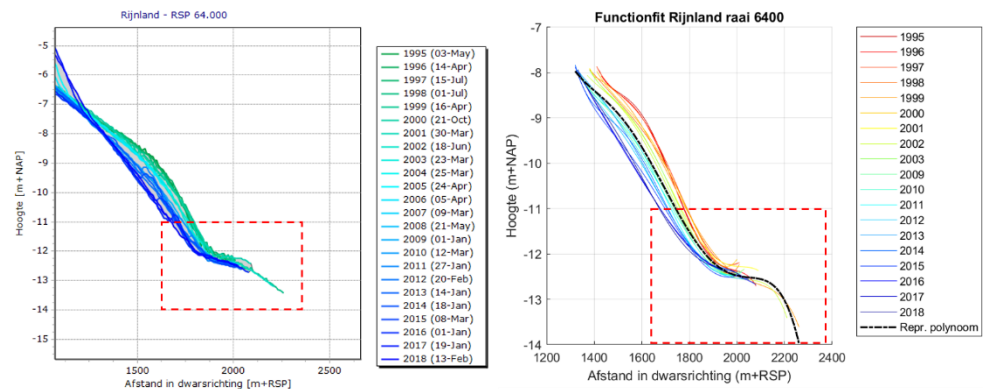
Figuur 31: Vergelijking tussen kustprofielvorm en profielvorm van de representatieve polynoom bij raai 3200, blok 7.1

In blok 8.1 is de gemiddelde R^2 -waarde met 0,965 het laagst van alle blokken, dit is logisch aangezien in blok 8.1 de meeste jaren benaderd kunnen worden met een polynoom over representatieve kustprofiel. Toch komen de polynomen en de representatieve polynoom in veel gevallen niet goed overeen met de profielvorm van het representatieve kustprofiel. In Figuur 32 is rechts de representatieve polynoom te zien van de raai met de laagste R^2 -waarde (0,944). De 'drempel' die vanaf NAP-12m zichtbaar is in het representatieve kustprofiel, zorgt voor uitschieters bij de benaderde polynomen, wat resulteert in een slechte benadering van de representatieve polynoom. De drempel is zichtbaar in de meeste kustprofielen uit blok 8.1, waardoor dus ook de meeste representatieve polynomen een slechte fit opleveren. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de representatieve profielvormen van blok 8.1 niet geschikt zijn om met een derdegraads polynoom te benaderen en daarom met een vijfdegraads polynoom benaderd zullen worden.



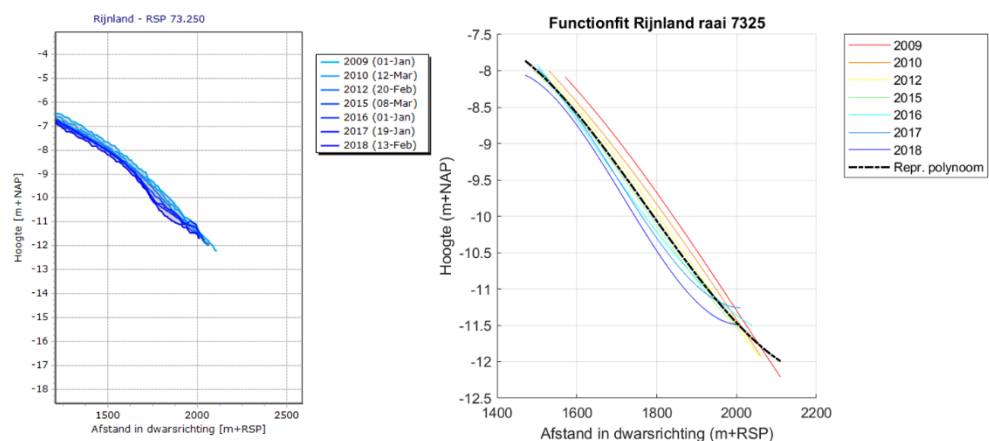
Figuur 32: Vergelijking tussen kustprofielvorm en profielvorm van de representatieve derdegraads polynoom bij raai 6400, blok 8.1

De benadering van de representatieve kustprofielen van blok 8.1 met een vijfdegraads polynoom levert lagere R^2 -waarden op, gemiddeld 0,959 met een minimum van 0,940. Echter komen de profielvormen van de representatieve polynoom en het representatieve kustprofiel beter overeen voor de raaien in blok 8.1. In Figuur 33 is te zien dat de representatieve polynoom met een 5^{de} graad de profielvorm beter benaderd.



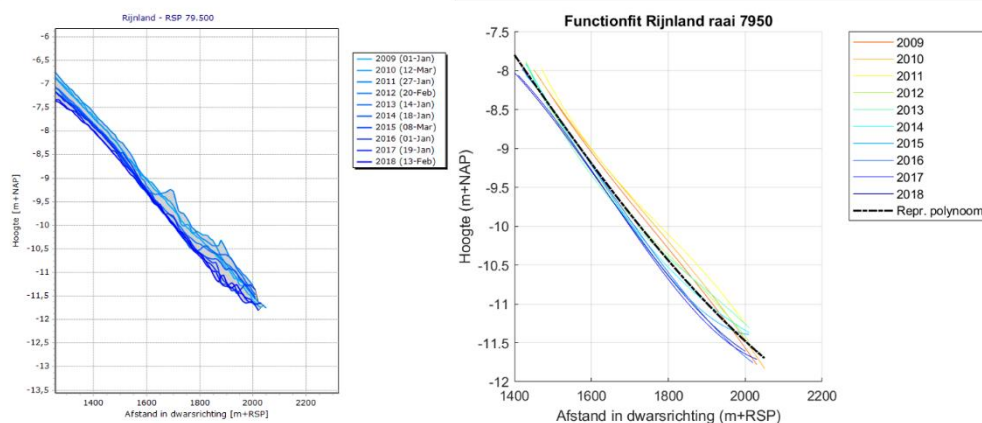
Figuur 33: Vergelijking tussen kustprofielvorm en profielvorm van de representatieve vijfdegraads polynoom bij raai 6400, blok 8.1

De gemiddelde R^2 -waarde van de 11 raaien in blok 8.2 ligt bij de benadering met een derdegraads polynoom op 0,979, daarnaast is de representatieve polynoom in alle 11 gevallen een goede benadering van het kustprofiel. Ondanks dat de raaien van blok 8.1 en blok 8.2 doorlopend zijn, levert blok 8.2 dus betere benaderingen op. Dit is te verklaren doordat de 'drempel' niet aanwezig is in de representatieve kustprofielen van blok 8.2, daarnaast kan over minder jaren een polynoom gefit worden en is de variabiliteit dus lager. Een voorbeeld van de vergelijking van het representatief kustprofiel met de representatieve polynoom waarbij de R^2 -waarde het laagste is van blok 8.2, is te zien in Figuur 34.



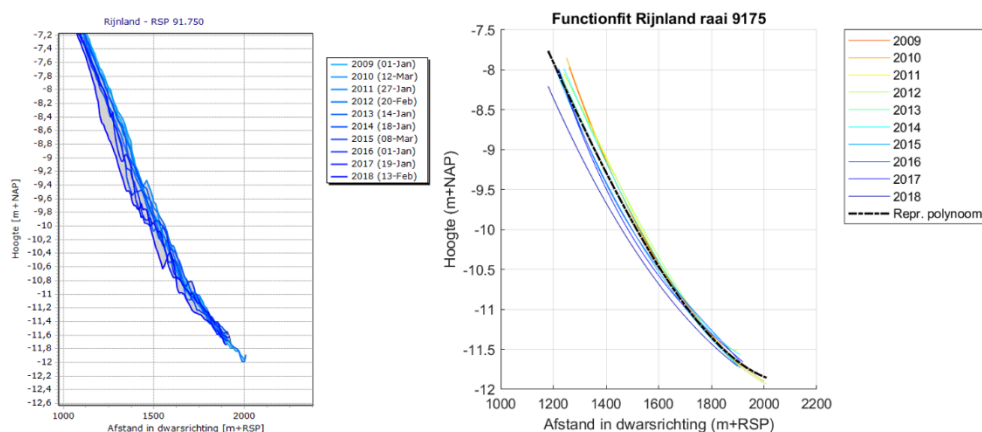
Figuur 34: Vergelijking tussen kustprofielvorm en profielvorm van de representatieve derdegraads polynoom bij raai 7325, blok 8.2

Blok 8.3 bestaat uit 33 raaien waarvan de gemiddelde R^2 -waarde 0,991 is. Net zoals bij blok 7.1 en 8.2 zijn alle representatieve derdegraads polynomen goede benaderingen van de representatieve kustprofielen. In Figuur 35 is te zien dat een lage R^2 -waarde niet per definitie een slechte benadering oplevert. De R^2 -waarde van de polynoom in de figuur is met 0,978 het laagste uit blok 8.2, echter loopt de polynoom goed door het gemiddelde van de jaren en zijn er geen uitschieters. In de figuur is ook goed te zien dat onregelmatigheden in het representatieve kustprofiel goed worden gemitigeerd door eerst een polynoom over alle jaren te fitten.



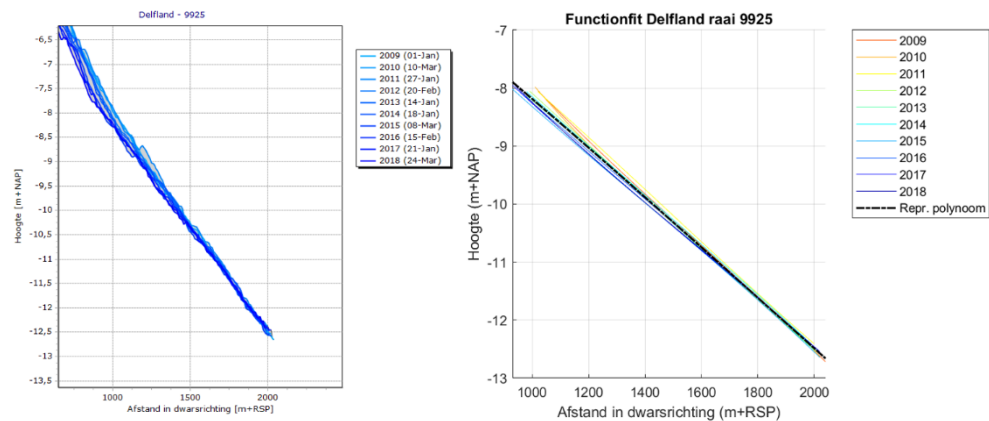
Figuur 35: Vergelijking tussen kustprofielvorm en profielvorm van de representatieve polynoom bij raai 7950, blok 8.3

De bevindingen van blok 8.4 zijn vergelijkbaar met die van blok 8.3. Van alle 26 raaien komt de representatieve polynoom overeen met het kustprofiel, de gemiddelde R^2 -waarde is 0,993. In Figuur 36 is een voorbeeldvergelijking uit blok 8.3 te zien, de R^2 -waarde van de representatieve polynoom is 0,983.

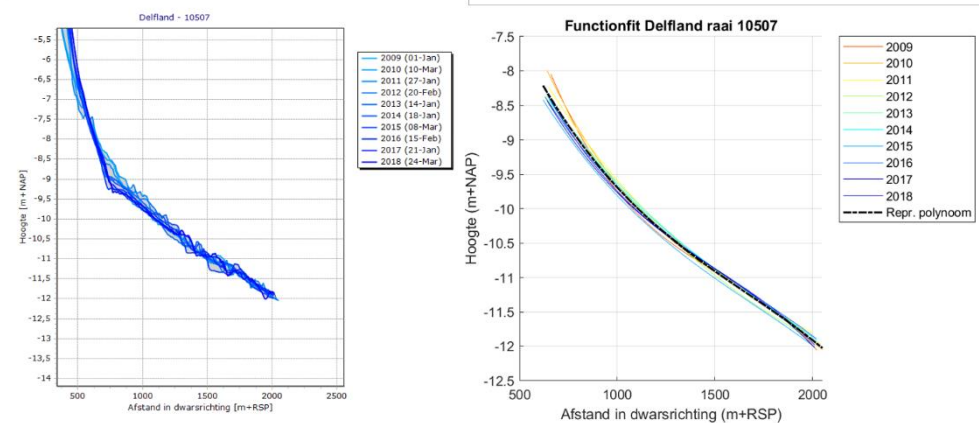


Figuur 36: Vergelijking tussen kustprofielvorm en profielvorm van de representatieve polynoom bij raai 9175, blok 8.4

Blokken 9.1 (9 raaien) en 9.2 (13 raaien) uit kustvak Delfland hebben beiden een hoge gemiddelde R^2 -waarde van respectievelijk 0,998 en 0,997, de waarden zijn vergelijkbaar met die uit blok 7.1. Alle representatieve polynomen zijn een goede benadering van de representatieve kustprofielen van blok 9.1 en 9.2. In Figuur 38 en Figuur 37 zijn de voorbeeldvergelijkingen te zien van de raaien met de laagste R^2 -waarde van respectievelijk blok 9.1 en 9.2.



Figuur 38: Vergelijking tussen kustprofielvorm en profielvorm van de representatieve polynoom bij raai 9925, blok 9.1



Figuur 37: Vergelijking tussen kustprofielvorm en profielvorm van de representatieve polynoom bij raai 10507, blok 9.2

Bijlage C: Gegevens raaien

Bloknummer	Raainummer	R2 representatieve polynoom	P1	P2	P3	P4	P5	P6	R2 trendlijn	Volumetrend (m3/jaar/m)
7.1	2987	0.9961	-7.90E-09	3.50E-05	-0.05442	15.94811			0.1785	6.09852
7.1	3000	0.9964	-6.32E-09	2.94E-05	-0.04806	13.71675			0.1440	4.824436
7.1	3025	0.9942	1.79E-09	-7.32E-07	-0.01220	0.12996			0.5963	-11.7249
7.1	3050	0.9962	1.86E-09	-1.12E-06	-0.01176	0.10142			0.4951	-10.6396
7.1	3075	0.9964	2.15E-09	-2.01E-06	-0.01108	0.07591			0.5457	-11.941
7.1	3100	0.9930	2.27E-09	-2.39E-06	-0.01086	0.16908			0.3953	-11.3406
7.1	3125	0.9937	3.25E-09	-5.09E-06	-0.00903	0.07736			0.3177	-9.47456
7.1	3150	0.9924	3.56E-09	-6.08E-06	-0.00833	0.12280			0.0107	-10.6613
7.1	3175	0.9920	4.07E-09	-7.53E-06	-0.00727	0.09075			0.2525	-8.32578
7.1	3200	0.9909	4.18E-09	-8.06E-06	-0.00676	0.10862			0.1825	-6.49066
7.1	3225	0.9932	4.56E-09	-9.28E-06	-0.00579	0.07722			0.0520	-2.74653
7.1	3250	0.9923	4.71E-09	-9.82E-06	-0.00532	0.08103			0.0189	-1.68281
7.1	3275	0.9944	4.95E-09	-1.06E-05	-0.00466	0.05583			0.0697	3.047236
7.1	3300	0.9960	4.84E-09	-1.06E-05	-0.00449	0.04435			0.2237	5.203213
7.1	3325	0.9954	5.17E-09	-1.15E-05	-0.00385	0.03511			0.2847	6.235423
7.1	3350	0.9943	5.28E-09	-1.18E-05	-0.00365	0.03969			0.3316	7.427535
7.1	3375	0.9937	5.43E-09	-1.22E-05	-0.00345	0.03802			0.4204	9.099559
7.1	3400	0.9948	5.55E-09	-1.25E-05	-0.00325	0.03382			0.5480	12.28797
7.1	3425	0.9950	5.60E-09	-1.26E-05	-0.00308	0.03277			0.5350	12.12028
7.1	3450	0.9947	5.46E-09	-1.23E-05	-0.00320	0.03329			0.5372	14.96199
7.1	3475	0.9949	5.49E-09	-1.25E-05	-0.00301	0.02472			0.5286	15.48464
7.1	3500	0.9947	5.33E-09	-1.21E-05	-0.00322	0.02926			0.6450	16.62789
7.1	3525	0.9958	5.22E-09	-1.20E-05	-0.00312	0.02371			0.5293	14.76149
7.1	3550	0.9952	5.37E-09	-1.27E-05	-0.00251	0.02118			0.4693	10.87284
7.1	3575	0.9959	5.31E-09	-1.27E-05	-0.00229	0.01366			0.4542	10.74312
7.1	3600	0.9954	5.22E-09	-1.26E-05	-0.00217	0.01337			0.3770	10.04446

7.1	3625	0.9958	5.30E-09	-1.30E-05	-0.00171	0.01349			0.4932	12.36735
7.1	3650	0.9962	5.33E-09	-1.33E-05	-0.00128	0.00969			0.4816	17.12525
7.1	3675	0.9959	5.32E-09	-1.35E-05	-0.00100	0.01083			0.5214	15.3954
7.1	3700	0.9962	5.25E-09	-1.34E-05	-0.00087	0.00897			0.6306	15.33459
7.1	3725	0.9963	5.18E-09	-1.33E-05	-0.00089	0.00773			0.6151	16.25363
7.1	3750	0.9959	4.85E-09	-1.24E-05	-0.00149	0.00996			0.5970	14.5727
7.1	3775	0.9960	4.62E-09	-1.18E-05	-0.00196	0.00945			0.2631	13.15246
7.1	3800	0.9962	4.06E-09	-1.03E-05	-0.00291	0.00923			0.4383	12.35381
7.1	3825	0.9961	3.80E-09	-9.53E-06	-0.00338	0.00996			0.2407	7.408518
7.1	3850	0.9965	3.78E-09	-9.53E-06	-0.00329	0.00686			0.2871	8.115409
7.1	3875	0.9977	3.88E-09	-9.91E-06	-0.00292	0.00341			0.3768	8.592345
7.1	3900	0.9974	3.48E-09	-8.86E-06	-0.00357	0.00490			0.2719	6.126317
7.1	3925	0.9969	3.63E-09	-9.11E-06	-0.00350	0.00383			0.1131	4.812504
7.1	3950	0.9971	3.49E-09	-8.72E-06	-0.00374	0.00857			0.0554	3.32591
7.1	3975	0.9932	2.24E-09	-5.17E-06	-0.00615	-0.01879			0.1144	-4.44049
7.1	4000	0.9991	3.12E-09	-7.63E-06	-0.00444	0.00317			0.0119	-1.51419
7.1	4025	0.9993	2.80E-09	-6.77E-06	-0.00496	0.00213			0.0147	-1.80206
7.1	4050	0.9993	2.61E-09	-6.26E-06	-0.00522	0.00193			0.0019	-0.64903
7.1	4075	0.9995	2.43E-09	-5.76E-06	-0.00552	0.00142			0.0044	1.03677
7.1	4100	0.9994	2.19E-09	-5.13E-06	-0.00586	0.00226			0.0114	1.410819
7.1	4125	0.9993	2.10E-09	-4.85E-06	-0.00599	0.00160			0.0109	1.55932
7.1	4150	0.9993	1.89E-09	-4.32E-06	-0.00628	0.00382			0.0425	3.081714
7.1	4175	0.9995	1.88E-09	-4.29E-06	-0.00623	0.00103			0.0692	4.232952
7.1	4200	0.9995	1.80E-09	-4.07E-06	-0.00631	0.00101			0.1130	5.426895
7.1	4225	0.9998	1.73E-09	-3.85E-06	-0.00640	0.00115			0.0921	5.031343
7.1	4250	0.9997	1.59E-09	-3.50E-06	-0.00653	0.00146			0.1064	5.328503
7.1	4275	0.9997	1.52E-09	-3.31E-06	-0.00660	0.00059			0.1889	7.458637
7.1	4300	0.9997	1.35E-09	-2.90E-06	-0.00676	0.00058			0.2420	8.575581
7.1	4325	0.9997	1.31E-09	-2.76E-06	-0.00679	8.03E-05			0.1944	8.737465
7.1	4350	0.9997	1.26E-09	-2.60E-06	-0.00685	0.00040			0.1780	7.15073
7.1	4375	0.9997	1.09E-09	-2.12E-06	-0.00711	0.00047			0.1267	5.9229
7.1	4400	0.9998	1.02E-09	-1.87E-06	-0.00723	0.00049			0.0972	4.403985
7.1	4425	0.9997	8.43E-10	-1.34E-06	-0.00756	0.00054			0.0247	2.050509
7.1	4450	0.9996	8.82E-10	-1.46E-06	-0.00743	-0.00014			0.0005	0.291711

7.1	4475	0.9997	5.53E-10	-5.10E-07	-0.00805	0.00039			0.0175	-1.93027
7.1	4500	0.9999	7.34E-10	-8.99E-07	-0.00780	0.00026			0.0515	-3.74547
7.1	4525	0.9994	5.62E-10	-3.70E-07	-0.00819	0.00041			0.0902	-5.13836
7.1	4550	0.9996	6.65E-10	-5.99E-07	-0.00808	0.00101			0.1121	-6.9327
7.1	4575	0.9995	6.25E-10	-3.54E-07	-0.00834	0.00084			0.1308	-7.61753
7.1	4600	0.9994	6.60E-10	-3.82E-07	-0.00835	0.00087			0.1632	-8.77451
7.1	4625	0.9992	6.04E-10	-9.88E-08	-0.00861	0.00108			0.2426	-11.0998
7.1	4650	0.9992	3.48E-10	7.58E-07	-0.00927	0.00140			0.2784	-12.4946
7.1	4675	0.9992	9.93E-11	1.55E-06	-0.00983	0.00161			0.3543	-14.9228
7.1	4700	0.9994	1.31E-10	1.46E-06	-0.00972	0.00136			0.3185	-13.8612
7.1	4725	0.9995	-1.01E-10	2.25E-06	-0.01032	0.00037			0.3608	-16.3302
7.1	4750	0.9992	-5.62E-10	3.70E-06	-0.01138	0.00518			0.4066	-18.706
7.1	4775	0.9996	-6.07E-10	3.94E-06	-0.01159	0.00103			0.5045	-20.1615
7.1	4800	0.9995	-7.36E-10	4.36E-06	-0.01186	0.00118			0.5190	-20.7128
7.1	4825	0.9995	-7.47E-10	4.49E-06	-0.01197	0.00140			0.5105	-21.2708
7.1	4850	0.9994	-8.00E-10	4.70E-06	-0.01211	0.00211			0.5319	-21.2954
7.1	4875	0.9994	-7.79E-10	4.71E-06	-0.01210	0.00291			0.5347	-19.97
7.1	4900	0.9994	-8.02E-10	4.80E-06	-0.01210	0.00313			0.4660	-19.3769
7.1	4925	0.9995	-9.31E-10	5.20E-06	-0.01234	0.00165			0.4948	-19.3353
7.1	4950	0.9996	-1.13E-09	5.80E-06	-0.01272	0.00255			0.6151	-20.7158
7.1	4975	0.9995	-1.38E-09	6.53E-06	-0.01315	0.00207			0.5616	-19.65
7.1	5000	0.9973	-1.31E-09	6.27E-06	-0.01264	-0.26211			0.5619	-18.5996
8.1	6150	0.9636	-1.90E-14	1.91E-10	-7.45E-07	0.00141	1.30049	464.96361		
8.1	6175	0.9634	-6.13E-15	6.62E-11	-2.68E-07	0.00051	0.46733	159.29822		
8.1	6200	0.9657	2.10E-14	-1.85E-10	6.60E-07	-0.00119	1.07350	-396.42652		
<u>8.1</u>	<u>6225</u>	<u>0.9699</u>	<u>7.04E-15</u>	<u>-6.27E-11</u>	<u>2.24E-07</u>	<u>-0.00040</u>	<u>0.34908</u>	<u>-127.08759</u>		
<u>8.1</u>	<u>6250</u>	<u>0.9737</u>	<u>1.91E-14</u>	<u>-1.71E-10</u>	<u>6.09E-07</u>	<u>-0.00108</u>	<u>0.93914</u>	<u>-330.13252</u>		
<u>8.1</u>	<u>6275</u>	<u>0.9769</u>	<u>2.28E-14</u>	<u>-2.06E-10</u>	<u>7.38E-07</u>	<u>-0.00131</u>	<u>1.15098</u>	<u>-404.77510</u>		
<u>8.1</u>	<u>6300</u>	<u>0.9732</u>	<u>3.04E-14</u>	<u>-2.79E-10</u>	<u>1.02E-06</u>	<u>-0.00183</u>	<u>1.61945</u>	<u>-572.38890</u>		
<u>8.1</u>	<u>6325</u>	<u>0.9484</u>	<u>-6.48E-15</u>	<u>3.55E-11</u>	<u>-4.60E-08</u>	<u>-5.76E-05</u>	<u>0.16198</u>	<u>-97.67269</u>		
8.1	6350	0.9675	-6.58E-15	2.43E-11	3.65E-08	-0.00028	0.41534	-205.25322		
8.1	6375	0.9648	-1.53E-14	9.60E-11	-1.93E-07	8.22E-05	0.14196	-124.34611		
8.1	6400	0.9533	-2.63E-14	1.90E-10	-5.11E-07	0.00061	0.29198	15.81961		
8.1	6425	0.9520	-8.83E-14	7.22E-10	-2.32E-06	0.00367	2.85650	867.63066		

8.1	6450	0.9420	-7.97E-14	6.69E-10	-2.21E-06	0.00359	2.86996	898.54761		
8.1	6475	0.9403	-1.30E-13	1.12E-09	-3.80E-06	0.00637	5.29279	1735.02872		
8.1	6500	0.9438	-1.04E-13	8.97E-10	-3.06E-06	0.00514	4.27422	1399.07453		
8.1	6525	0.9428	-1.37E-13	1.20E-09	-4.15E-06	0.00708	5.97949	1995.20583		
8.1	6550	0.9438	-1.31E-13	1.15E-09	-4.01E-06	0.00690	5.86860	1969.44731		
8.1	6575	0.9520	-1.60E-13	1.43E-09	-5.05E-06	0.00883	7.64790	2620.16098		
8.1	6600	0.9463	-1.36E-13	1.23E-09	-4.40E-06	0.00778	6.81108	2356.70186		
8.1	6625	0.9501	-1.14E-13	1.04E-09	-3.76E-06	0.00672	5.94254	2076.55914		
8.1	6650	0.9522	-9.43E-15	1.13E-10	-4.86E-07	0.00097	0.92471	334.80337		
8.1	6675	0.9522	-5.94E-14	5.61E-10	-2.08E-06	0.00380	3.41486	1206.54064		
8.1	6700	0.9498	-5.84E-14	5.54E-10	-2.07E-06	0.00380	3.44329	1225.84497		
8.1	6725	0.9491	-2.97E-14	3.02E-10	-1.19E-06	0.00228	2.12935	776.03220		
8.1	6750	0.9525	-9.49E-15	1.18E-10	-5.19E-07	0.00106	1.04253	388.34084		
8.1	6775	0.9539	-6.70E-14	6.30E-10	-2.34E-06	0.00427	3.85977	1373.70662		
8.1	6800	0.9554	-1.00E-14	1.19E-10	-5.14E-07	0.00105	1.01866	378.89922		
8.1	6825	0.9569	-5.46E-15	7.30E-11	-3.35E-07	0.00070	0.69661	259.68062		
8.1	6850	0.9681	-8.33E-15	7.91E-11	-2.89E-07	0.00051	0.42855	133.51375		
8.1	6875	0.9652	-2.31E-14	2.08E-10	-7.37E-07	0.00128	1.09711	363.14999		
8.1	6900	0.9668	-2.37E-14	2.17E-10	-7.81E-07	0.00138	1.20749	409.22386		
8.1	6925	0.9616	-2.89E-14	2.63E-10	-9.46E-07	0.00167	1.46158	497.81765		
8.1	6950	0.9637	-3.01E-14	2.68E-10	-9.42E-07	0.00163	1.39860	467.12771		
8.1	6975	0.9639	-2.92E-14	2.54E-10	-8.74E-07	0.00148	1.23335	399.25941		
8.1	7000	0.9684	-2.16E-14	1.90E-10	-6.56E-07	0.00111	0.92461	295.49808		
8.1	7025	0.9721	-1.65E-14	1.42E-10	-4.81E-07	0.00079	0.62614	186.14578		
8.1	7050	0.9716	2.18E-15	-2.71E-11	1.30E-07	-0.00031	0.34650	-158.15503		
8.1	7075	0.9777	-1.21E-14	1.05E-10	-3.57E-07	0.00059	0.46789	137.37517		
8.1	7100	0.9746	-2.02E-14	1.79E-10	-6.26E-07	0.00107	0.89378	286.10802		
8.1	7125	0.9766	-2.89E-14	2.58E-10	-9.08E-07	0.00157	1.34645	447.94643		
8.2	7150	0.9907	7.12E-09	-4.16E-05	0.07267	-47.64814				
8.2	7175	0.9883	7.84E-09	-4.54E-05	0.07935	-51.49608				
8.2	7200	0.9892	5.20E-09	-3.22E-05	0.05751	-39.61050				
8.2	7225	0.9871	3.54E-09	-2.29E-05	0.04040	-29.20506				
8.2	7250	0.9809	4.39E-09	-2.61E-05	0.04385	-29.99953				
8.2	7275	0.9737	1.41E-08	-7.48E-05	0.12518	-74.87285				

8.2	7300	0.9711	1.35E-08	-7.36E-05	0.12547	-76.23086				
8.2	7325	0.9704	1.21E-08	-6.45E-05	0.10662	-63.79639				
8.2	7350	0.9726	1.48E-08	-7.94E-05	0.13397	-80.16107				
8.2	7375	0.9758	2.79E-08	-0.00015	0.25747	152.41340				
8.2	7400	0.9726	2.90E-08	-0.00016	0.27316	163.05543				
8.3	7700	0.9901	1.08E-08	-5.81E-05	0.09639	-58.35731				
8.3	7725	0.9953	3.28E-09	-1.67E-05	0.02152	-13.72433				
8.3	7750	0.9935	2.34E-09	-1.20E-05	0.01418	-10.10611				
8.3	7775	0.9853	-1.14E-08	6.23E-05	-0.11834	67.91904				
8.3	7800	0.9845	9.07E-10	-4.78E-06	0.00253	-4.31254				
8.3	7825	0.9782	3.10E-09	-1.83E-05	0.02988	-22.47463				
8.3	7850	0.9839	-2.79E-09	1.58E-05	-0.03551	18.65904				
8.3	7875	0.9885	5.12E-09	-2.62E-05	0.03821	-24.02658				
8.3	7900	0.9834	6.59E-09	-3.38E-05	0.05103	-31.09332				
8.3	7925	0.9848	2.62E-09	-1.45E-05	0.02039	-15.31898				
8.3	7950	0.9777	1.42E-09	-5.04E-06	-0.00148	0.24205				
8.3	7975	0.9841	4.84E-09	-2.34E-05	0.03124	-19.14411				
8.3	8000	0.9861	2.18E-09	-9.82E-06	0.00842	-6.51174				
8.3	8025	0.9845	-9.41E-10	4.42E-06	-0.01249	3.25059				
8.3	8050	0.9893	2.98E-09	-1.51E-05	0.01951	-14.08573				
8.3	8075	0.9913	3.98E-09	-2.13E-05	0.03188	-22.05164				
8.3	8100	0.9917	3.68E-09	-1.93E-05	0.02783	-19.44784				
8.3	8125	0.9930	-3.47E-10	4.30E-07	-0.00390	-2.76233				
8.3	8150	0.9951	-8.02E-10	3.49E-06	-0.01024	1.30002				
8.3	8175	0.9929	-1.90E-09	9.63E-06	-0.02139	7.93730				
8.3	8200	0.9952	1.65E-09	-7.48E-06	0.00576	-6.30652				
8.3	8225	0.9953	1.08E-09	-4.48E-06	0.00043	-3.17269				
8.3	8250	0.9971	1.20E-09	-5.43E-06	0.00263	-4.72599				
8.3	8275	0.9979	2.71E-09	-1.46E-05	0.02051	-16.06827				
8.3	8300	0.9958	3.72E-10	-3.19E-06	0.00264	-7.02700				
8.3	8325	0.9941	-5.26E-09	2.58E-05	-0.04664	20.44260				
8.3	8350	0.9949	-2.82E-10	2.04E-06	-0.00917	0.95749				
8.3	8375	0.9943	1.21E-09	-4.44E-06	-0.00026	-3.00625				
8.3	8400	0.9910	5.00E-09	-2.30E-05	0.02963	-18.92948				

8.3	8425	0.9940	9.57E-10	-4.53E-06	0.00162	-4.76945				
8.3	8450	0.9939	5.79E-09	-2.60E-05	0.03279	-19.52315				
8.3	8475	0.9960	6.86E-09	-3.31E-05	0.04700	-28.46004				
8.3	8500	0.9953	-1.29E-09	5.41E-06	-0.01280	2.04749				
8.4	9100	0.9889	1.05E-09	-1.81E-06	-0.00701	1.15886				
8.4	9125	0.9931	-2.09E-09	1.33E-05	-0.03105	13.80081				
8.4	9150	0.9862	-2.42E-09	1.54E-05	-0.03523	16.41256				
8.4	9175	0.9835	2.00E-09	-5.94E-06	-0.00161	-0.88300				
8.4	9200	0.9892	3.70E-09	-1.42E-05	0.01128	-7.30541				
8.4	9225	0.9884	5.59E-09	-2.28E-05	0.02456	-14.26355				
8.4	9250	0.9922	2.13E-09	-7.64E-06	0.00289	-4.20759				
8.4	9275	0.9838	-3.44E-09	1.88E-05	-0.03837	16.77481				
8.4	9300	0.9891	1.02E-10	2.28E-06	-0.01284	3.82918				
8.4	9325	0.9954	1.95E-10	1.62E-06	-0.01151	2.94549				
8.4	9350	0.9925	-5.97E-10	5.54E-06	-0.01777	6.18722				
8.4	9375	0.9924	-1.45E-09	9.28E-06	-0.02317	8.75922				
8.4	9400	0.9952	-9.70E-10	6.93E-06	-0.01937	6.79757				
8.4	9425	0.9894	-2.46E-09	1.33E-05	-0.02777	10.22172				
8.4	9450	0.9932	-1.33E-09	7.50E-06	-0.01813	4.97737				
8.4	9475	0.9935	-3.03E-09	1.56E-05	-0.03063	11.21358				
8.4	9500	0.9950	-4.00E-09	1.99E-05	-0.03675	14.07134				
8.4	9525	0.9957	-7.45E-10	4.51E-06	-0.01272	1.65599				
8.4	9550	0.9968	-3.46E-09	1.66E-05	-0.03027	9.81709				
8.4	9575	0.9969	-1.82E-09	9.28E-06	-0.01937	4.40785				
8.4	9600	0.9970	-3.52E-09	1.72E-05	-0.03133	10.21555				
8.4	9625	0.9970	-1.69E-09	9.12E-06	-0.01959	4.52793				
8.4	9650	0.9976	-2.05E-09	1.06E-05	-0.02141	5.12228				
8.4	9675	0.9977	-1.02E-09	6.37E-06	-0.01583	2.70363				
8.4	9700	0.9975	-7.92E-11	2.02E-06	-0.00934	-0.45237				
8.4	9725	0.9977	6.96E-10	-1.84E-06	-0.00317	-3.66814				
9.1	10075	0.9989	5.95E-10	-2.74E-06	0.00030	-7.09633			0.0069	-0.8547
9.1	10025	0.9977	-4.05E-09	1.78E-05	-0.02829	5.71257			0.2645	-6.86723
9.1	9975	0.9977	-1.13E-09	5.40E-06	-0.01217	-0.56695			0.0007	-0.35015
9.1	9875	0.9981	3.79E-10	-1.50E-06	-0.00237	-4.62457			0.0034	0.882142

9.1	9925	0.9969	6.74E-11	-3.98E-07	-0.00357	-4.28242			0.1925	-7.59746
9.1	9770	0.9976	-5.28E-10	3.16E-06	-0.00969	-1.01640			0.2009	-8.24743
9.1	9750	0.9983	-1.23E-10	1.80E-06	-0.00842	-1.26814			0.3333	-12.2056
9.1	9795	0.9972	-1.47E-09	7.36E-06	-0.01573	1.76780			0.5903	-22.8771
9.1	9830	0.9974	-6.54E-10	3.60E-06	-0.01031	-0.68425			0.7844	-25.2742
9.2	10488	0.9970	-1.12E-09	5.09E-06	-0.00971	-3.96380			0.3910	-15.4878
9.2	10391	0.9987	5.50E-10	-1.84E-06	-0.00146	-6.68261			0.3435	-13.2526
9.2	10437	0.9978	-1.26E-09	5.12E-06	-0.00935	-4.16473			0.3356	-12.0579
9.2	10468	0.9960	-2.12E-09	8.95E-06	-0.01457	-1.99080			0.6217	-16.5635
9.2	10507	0.9950	-8.87E-10	4.42E-06	-0.00928	-3.94763			0.6878	-20.0418
9.2	10288	0.9984	-4.87E-10	3.33E-06	-0.00994	-2.29887			0.7409	-19.0336
9.2	10235	0.9989	-6.80E-10	4.25E-06	-0.01147	-1.53940			0.7162	-19.2299
9.2	10547	0.9951	-1.47E-09	6.77E-06	-0.01234	-2.65464			0.6698	-17.7831
9.2	10338	0.9982	9.57E-10	-2.98E-06	-0.00101	-6.27393			0.4464	-11.1098
9.2	10527	0.9955	-5.73E-10	3.36E-06	-0.00832	-4.04936			0.4797	-13.3792
9.2	10567	0.9958	-6.26E-10	3.78E-06	-0.00922	-3.58201			0.2822	-8.10067
9.2	10592	0.9972	-7.89E-10	4.62E-06	-0.01061	-2.90697			0.1751	-5.93087
9.2	10623	0.9971	-1.06E-09	5.71E-06	-0.01218	-2.06504			0.0070	-1.06897

Bijlage D: Suppletie database

Kustvak	Eindjaar	Beginraai	Eindraai	Volume (m3)	BKL/KF
3	2000	1	2.6	401,002	BKL
3	1997	1.2	3	510,804	BKL
3	2015	1.4	4.02	1,300,000	BKL
3	2007	1.95	3.02	1,201,234	BKL
3	2011	2	4	1,888,934	BKL
3	2004	2	3.2	403,636	BKL
3	2007	2	3.2	303,444	BKL
3	1996	7.2	11.2	1,554,514	BKL
3	2003	9.4	13.7	1,432,000	BKL
3	2010	11	14.6	1,941,304	BKL
3	2006	11	16	1,001,372	BKL
3	2011	11.4	16	925,376	BKL
3	1992	11.5	19.6	1,442,000	BKL
3	1992	11.5	12.8	230,000	BKL
3	2006	12	17	1,501,510	BKL
3	2015	12.4	17	2,000,000	BKL
3	2015	12.4	17	1,000,000	BKL
3	1998	13	21	2,030,510	BKL
3	2010	14.8	16.8	1,123,913	BKL
3	2011	16.2	20	909,565	BKL
3	2011	17	20	1,634,783	BKL
3	2018	46.2	48.2	2,500,000	KF
3	1994	48.6	49.6	190,000	BKL
4	1993	13.7	18.1	2,000,000	BKL
5	2001	46	48.8	831,892	BKL
5	2018	46.63	54	1,035,000	BKL
5	2013	46.63	50.05	1,000,000	BKL
5	1997	46.72	48.44	279,621	BKL
5	2009	47	50	1,780,870	BKL
5	2005	48.6	50.2	1,008,032	BKL
5	2001	48.9	50.1	499,579	BKL
5	2018	51.1	53.6	1,467,000	KF
5	1995	53.7	54.4	111,000	BKL
5	1995	53.7	54.4	80,000	BKL
5	2018	54.4	54.8	20,000	BKL
5	2001	54.55	54.85	20,478	BKL
5	2007	54.6	54.85	30,000	BKL
5	2005	54.6	54.85	20,000	BKL
5	2009	54.6	54.85	20,000	BKL
5	2013	54.6	54.8	20,000	BKL
6	2005	8.8	10.63	301,384	BKL
6	2007	9	13.92	2,000,970	BKL
6	2003	9	11.48	972,486	BKL
6	2018	9	11.9	895,000	BKL
6	2012	9	12.1	751,589	BKL
6	2009	9	10.7	400,000	BKL
6	1994	9.3	12.1	761,204	BKL
6	2000	10.01	11.9	357,020	BKL
6	1997	10.38	11.43	340,038	BKL
6	2012	12	13.12	500,000	BKL
6	2016	12.1	21.11	4,004,000	BKL
6	1993	12.1	18.13	2,245,231	BKL
6	2000	12.98	16.44	701,731	BKL
6	2012	13.32	17.78	1,800,000	BKL
6	2005	13.52	16.9	2,263,950	BKL
6	2011	14.1	17.43	713,256	BKL
6	2006	14.4	16.9	1,012,481	BKL
6	2018	14.9	21.31	1,000,000	BKL
6	1996	15.26	18.73	1,490,561	BKL

6	2002	17	23	4,593,493	BKL	7	1996	10.01	14.1	459,000	BKL
6	2006	17	23	1,500,335	BKL	7	1991	11	14	538,404	BKL
6	2000	17.03	18.33	245,223	BKL	7	2001	11.08	14.01	1,499,940	BKL
6	2012	17.93	21.11	1,350,000	BKL	7	2003	11.1	13.75	438,155	BKL
6	1991	18.13	23.4	2,008,898	BKL	7	2004	11.1	13.74	263,972	BKL
6	1997	18.78	20.91	658,846	BKL	7	2017	12.13	14.01	1,000,000	BKL
6	1996	22.11	23.4	493,317	BKL	7	2017	12.13	14.21	400,000	BKL
6	2004	25.2	27.8	2,401,361	BKL	7	1999	13.2	14	144,000	BKL
6	1994	25.4	28.2	1,331,225	BKL	7	2009	15	29.5	5,700,348	BKL
6	2000	25.5	27.8	883,683	BKL	7	1995	16.24	17.6	306,840	BKL
6	2009	26	28.8	1,304,348	BKL	7	2000	16.26	16.88	120,000	BKL
6	1999	26	28.6	1,219,174	BKL	7	1991	18	20.18	371,418	BKL
6	2012	27.8	30.01	700,477	BKL	7	2002	18.27	20.35	500,561	BKL
6	1995	28.2	29.6	810,000	BKL	7	1995	18.8	20.4	361,740	BKL
6	1995	30	30.6	300,000	BKL	7	2015	19.25	27.82	8,000,000	BKL
7	2007	0	2	1,782,263	KF	7	1998	19.25	20.5	228,901	BKL
7	2013	0.2	2.3	3,500,000	KF	7	2013	19.4	20.41	360,000	BKL
7	1993	1	7.5	615,527	BKL	7	2003	19.83	20.58	230,577	BKL
7	2007	1.5	5.9	1,350,448	BKL	7	2004	19.83	20.58	133,783	BKL
7	2003	1.5	5.88	1,305,458	BKL	7	2018	25.15	26.63	195,200	BKL
7	2001	1.5	5.68	1,290,240	BKL	7	2003	25.65	26.41	357,788	BKL
7	2015	1.5	6.28	1,000,000	KF	7	2004	25.65	26.41	219,500	BKL
7	1996	1.5	7.5	400,000	BKL	7	1997	26	30.05	547,000	BKL
7	2007	2	7.1	3,239,103	BKL	7	1992	26.2	38.5	1,472,640	BKL
7	2011	2.89	6.28	652,020	BKL	7	2002	26.5	30	1,972,272	BKL
7	1993	3.28	5.68	280,000	BKL	7	2001	28.32	30	511,127	BKL
7	1999	3.95	6.28	287,480	BKL	7	2016	31	40	2,500,000	BKL
7	2009	7	10	1,301,565	BKL	7	2011	31	34	1,124,348	BKL
7	2003	9.13	9.43	12,243	BKL	7	1997	31.05	33.5	352,000	BKL
7	2003	10	16	2,315,360	BKL	7	2015	31.25	34	605,000	BKL
7	2013	10	14.21	2,000,000	BKL	7	2005	31.5	36.2	1,306,114	BKL
7	2006	10	15.2	1,651,965	BKL	7	2011	31.5	34	500,000	BKL

7	2000	32.25	34.25	994,000	BKL	8	2005	62.75	65.75	1,202,332	BKL
7	2005	32.25	33.75	300,436	BKL	8	1994	65	67.3	334,147	BKL
7	1999	32.5	33.75	205,793	BKL	8	2004	65.75	67.75	1,001,095	BKL
7	1995	32.625	33.625	306,000	BKL	8	1998	66	67.5	253,000	BKL
7	2000	32.75	33.25	225,000	BKL	8	2001	66.25	67.5	248,093	BKL
7	1994	32.9	33.5	100,683	BKL	8	2008	67.75	70.25	509,913	BKL
7	2011	34	39	1,713,913	BKL	8	2002	73	80	2,645,601	BKL
7	1997	34.5	35.75	158,000	BKL	8	2014	80	88.5	2,200,000	BKL
7	2004	36.2	40.2	1,800,699	BKL	8	2008	80	83	400,000	BKL
7	1997	36.25	38.8	314,000	BKL	8	1998	80.5	83.5	1,266,028	BKL
7	1999	36.9	39.1	880,100	BKL	8	2013	80.75	83.25	410,000	BKL
7	2005	37	39.25	486,023	BKL	8	2006	81.5	89	1,055,035	BKL
7	2015	37	39	432,500	BKL	8	2014	85.75	88	400,000	BKL
7	2011	37	39	400,000	BKL	8	1999	87.5	89.5	753,338	BKL
7	1995	37.25	38.75	306,000	BKL	8	2006	89	97	800,400	BKL
7	1999	37.25	38.75	214,515	BKL	8	2002	91	97	2,508,887	BKL
7	1998	37.5	38.75	244,442	BKL	8	1996	91	93.5	500,000	BKL
7	1994	37.85	38.2	106,343	BKL	8	1997	94	96.5	552,800	BKL
7	2000	38	39	207,445	BKL	8	1994	94.25	96.25	700,000	BKL
7	2011	39	40	360,870	BKL	9	1996	97	101	800,000	BKL
7	2005	44.5	45	6,000	BKL	9	1999	97.73	100.5	1,425,780	BKL
7	2017	45.75	50.75	1,000,000	BKL	9	1991	97.81	101.39	1,005,699	BKL
7	2012	45.75	47.5	719,656	BKL	9	2011	99	101.5	500,000	BKL
7	2005	46.5	48.5	519,850	BKL	9	2015	99.25	101.25	700,000	BKL
7	2012	48	50	880,344	BKL	9	2004	99.25	99.65	100,000	BKL
7	1997	49.65	51.2	304,450	BKL	9	2004	99.7	101.1	682,500	BKL
7	1996	50.425	51	180,050	BKL	9	2011	102	105.07	500,000	BKL
8	1994	60.5	63.35	255,076	BKL	9	2010	105.27	106.83	600,000	BKL
8	2016	61	68.5	2,400,000	BKL	9	2011	105.27	107.43	500,000	BKL
8	2008	61	63	1,002,957	BKL	9	1993	106.23	112.21	1,143,000	BKL
8	2001	61.5	64.5	603,630	BKL	9	2010	107.13	112.63	1,600,000	BKL
8	1998	61.5	63.5	193,378	BKL	9	2001	107.4	112.5	2,970,879	BKL

9	1997	107.5	112.5	834,000	BKL	10	2014	6	10.3	310,000	BKL
9	2003	107.73	113.19	1,252,797	BKL	10	2014	6	10.3	300,000	BKL
9	2004	107.73	113.19	1,155,951	BKL	10	2018	6	10.3	100,000	BKL
9	2001	108	112	801,178	BKL	10	2018	6	10.3	45,000	BKL
9	2011	108.07	109.96	17,000,000	BKL	10	2002	6	10.02	1,000,086	BKL
9	2005	108.6	113	882,056	BKL	10	1997	6.5	10.02	2,724,113	BKL
9	2011	111.76	113.94	2,000,000	BKL	10	2000	6.7	10.3	1,031,382	BKL
9	1995	112.21	114.5	300,000	BKL	10	1996	7	10.15	2,045,197	BKL
9	2009	112.82	115.1	1,500,000	BKL	10	1999	7	8.3	1,266,254	BKL
9	2007	113	118	753,277	BKL	10	2005	7.5	10	1,502,696	BKL
9	1997	113.15	114.85	882,605	BKL	10	2001	7.81	10.02	600,190	BKL
9	2013	114	118	1,500,000	BKL	10	1991	9	10.4	100,000	BKL
9	1993	114	118.75	463,000	BKL	10	1992	9.01	10.11	960,000	BKL
9	2009	115.35	117.5	900,000	BKL	11	2010	9.2	13	1,000,000	BKL
9	2007	117.25	118.7	744,124	BKL	11	2005	9.6	16.2	691,403	BKL
9	2004	117.5	118.5	231,323	BKL	11	1993	11.8	13.6	160,000	BKL
9	2003	117.5	118.5	213,606	BKL	11	2010	13.2	16	561,478	BKL
9	2000	117.5	118.5	200,000	BKL	12	1998	9.25	10.75	745,376	BKL
9	1992	117.75	118.75	560,000	BKL	12	2004	10.25	12.75	920,424	BKL
9	1991	117.75	118.75	223,000	BKL	12	1994	10.25	12	505,678	BKL
9	1999	117.75	118.5	200,680	BKL	12	2016	15.25	17.25	500,000	BKL
9	1994	117.75	118.75	200,000	BKL	12	2005	15.5	18.75	1,000,552	BKL
9	1995	117.75	118.75	200,000	BKL	13	1999	0.95	6.415	560,000	BKL
9	1996	117.75	118.75	200,000	BKL	13	2007	1.057	1.968	161,689	BKL
9	1997	117.75	118.75	200,000	BKL	13	2012	1.06	4.69	592,299	BKL
10	2014	6	10.3	760,000	BKL	13	2003	1.16	2.1	61,912	BKL
10	2014	6	10.3	580,000	BKL	13	1994	1.585	1.9	40,000	BKL
10	2018	6	10.3	540,000	BKL	13	1994	2.585	2.925	49,000	BKL
10	2016	6	10.3	460,000	BKL	13	2016	3.19	4.69	246,750	BKL
10	2018	6	10.3	420,000	BKL	13	2003	3.27	4.77	201,847	BKL
10	2016	6	10.3	350,000	BKL	13	1995	3.67	6.43	818,000	BKL
10	2014	6	10.3	350,000	BKL	13	2007	3.765	4.692	169,643	BKL

13	2003	9.94	15.33	870,237	BKL	16	2014	14.69	16.12	350,000	BKL
13	2007	10.241	17.418	994,023	BKL	16	2012	14.89	16.32	250,399	BKL
13	2012	10.44	17.19	1,824,901	BKL	16	2008	16.53	17.35	110,435	BKL
13	2017	10.44	12.28	370,000	BKL	16	1995	16.86	18.89	550,000	BKL
13	1996	11.58	17.32	733,000	BKL	16	2017	17.35	22.15	2,400,000	KF
13	1991	11.84	17.27	2,672,983	BKL	16	2008	17.55	19.7	1,392,722	BKL
13	2017	13.75	17.19	800,000	BKL	16	2015	17.55	19.48	600,000	BKL
13	2003	15.98	17.28	125,220	BKL	16	2008	17.55	19.7	500,000	BKL
13	1999	16.2	17.2	105,000	BKL	16	2010	21.8	25	6,254,000	KF
13	2016	22.4	23.2	500,000	KF	16	2006	21.8	34.7	1,438,693	BKL
15	2004	1.35	4.05	502,353	BKL	16	1991	21.8	25.9	788,000	BKL
15	2008	1.4	4	461,043	BKL	16	1997	21.85	27.065	700,000	BKL
15	2013	1.6	3.4	1,500,000	KF	16	2001	21.9	23.8	393,000	BKL
15	2018	1.6	3.2	250,000	BKL	16	2016	21.95	26.94	805,000	BKL
15	2013	1.8	3.2	360,000	BKL	16	2011	21.95	26.6	701,693	BKL
15	2000	2	3.6	524,470	BKL	16	2002	23.8	25.5	462,000	BKL
15	1996	2.1	3.8	435,000	BKL	16	2005	24.75	26.85	2,410,737	KF
15	1993	2.2	3.65	411,000	BKL	16	2001	25.4	27.1	354,000	BKL
16	1993	4.85	5.5	225,000	BKL	16	1995	25.5	26.02	54,000	BKL
16	2018	7	10.25	1,500,000	KF	16	1992	25.93	27.83	192,000	BKL
16	2004	8.8	10.7	399,164	BKL	16	1993	27.63	31.68	619,000	BKL
16	2008	8.8	10.7	371,217	BKL	16	1998	28.2	33.95	563,550	BKL
16	2000	8.8	10.86	322,529	BKL	16	2002	29.4	34.75	1,130,000	BKL
16	1996	8.9	10.5	464,000	BKL	16	2011	29.5	34.6	653,519	BKL
16	1993	9.35	10.4	287,000	BKL	16	2016	29.5	34.58	650,000	BKL
16	1992	12.8	17.42	637,000	BKL	16	1995	29.825	33.06	463,000	BKL
16	2000	14.06	18.83	886,127	BKL	16	1992	31.6	34.63	169,000	BKL
16	2008	14.06	16.325	369,565	BKL	16	2004	33.15	33.75	67,117	BKL
16	1993	14.3	15.85	318,000	BKL	16	1997	33.93	34.7	125,000	BKL
16	1994	14.33	16.05	453,000	BKL	17	2001	0.17	0.87	197,000	BKL
16	2017	14.48	16.32	800,000	KF	17	2010	0.3	0.71	126,956	BKL
16	2004	14.65	18.85	777,565	BKL	17	2005	0.31	0.77	123,917	BKL

17	2010	1.71	4.21	429,565	BKL	17	2005	10.41	13.4	304,810	BKL
17	1993	2.4	3.12	90,000	BKL	17	2001	10.45	11.3	123,000	BKL
17	2005	2.51	3.6	141,927	BKL	17	1994	10.57	13.46	560,400	BKL
17	2001	2.6	4.2	168,000	BKL	17	2009	10.68	11.12	191,304	BKL
17	2010	2.7	4.61	2,669,565	KF	17	2009	11.36	13.35	526,957	BKL
17	1997	2.9	3.52	185,000	BKL	17	2001	12	13.4	258,000	BKL
17	2014	4.61	8.77	650,000	BKL	17	2015	12.62	13.35	100,000	BKL
17	2009	4.61	8.02	400,000	BKL	17	2009	13.53	14.67	240,000	BKL
17	2001	5.07	5.7	52,000	BKL	17	1997	13.53	14.6	95,000	BKL
17	2005	7.86	9.36	252,416	BKL	17	1992	13.54	14.87	67,000	BKL
17	2001	8	9.2	132,000	BKL	17	2005	13.6	14.67	105,906	BKL
17	2009	8.02	9.04	230,435	BKL	17	2015	13.63	13.81	100,000	BKL
17	1994	8.06	9.18	348,000	BKL	17	1994	13.63	14.17	91,000	BKL
17	2009	9.79	10.46	300,000	BKL	17	2014	13.72	14.67	180,000	BKL
17	2014	9.85	12.82	600,000	BKL	17	2013	14.35	14.7	12,000	BKL
17	1998	10.37	11.775	314,045	BKL						

Bijlage E: Suppletiebehoefte niveaus en oppervlaktes

Gebieden Nederlandse kust								
Niveau 1			Niveau 2			Niveau 3		
Gebied	Nummer	Oppervlak (m2)	Gebied	Nummer	Oppervlak (m)	Gebied	Nummer	Oppervlak (m)
Kustfundament Nederland incl. Waddenzee, WS	1	6,893,784,302	Eems-dollard binnen	1	542,957,414	Schiermonnikoog	2	40,475,012
Kustfundament Nederland excl. Waddenzee, WS	2	4,143,318,525	Eemsdollard	2	253,097,414	Ameland	3	67,009,938
Suppletiezone Nederland	3	594,265,387	Friesche Zeegat binnen	3	181,048,543	Terschelling	4	66,035,640
Kustfundament Wadden incl. Waddenzee	4	4,220,728,564	Friesche Zeegat	4	251,016,617	Vlieland	5	26,035,469
Kustfundament Wadden excl. Waddenzee	5	1,723,360,200	Amelander Zeegat binnen	5	277,343,221	Texel	6	47,621,007
Suppletiezone Wadden	6	247,177,066	Amelander Zeegat	6	263,272,221	Noord-Holland	7	98,559,881
Kustfundament Hollandse kust	7	1,565,289,493	Het Vlie binnen	7	656,262,464	Rijnland	8	80,901,136
Suppletiezone Hollandse kust	8	224,505,396	Vliestroom	8	246,393,335	Delfland	9	45,044,379
Kustfundament Delta incl. WS	9	1,107,766,246	Eierlandse Gat binnen	9	151,058,321	Maasvlakte/Slufterdam	10	24,197,296
Kustfundament Delta excl. WS	10	854,668,832	Eierlandse Gat	10	200,377,780	Voorne	11	12,244,147
Suppletiezone Delta	11	122,582,925	Marsdiep binnen	11	688,698,401	Goeree	12	30,469,975
			Zeegat van Texel	12	360,848,251	Schouwen	13	22,902,535
			Noordholland	13	273,571,604	Noord-Beveland	15	3,526,242
			IJgeul	14	15,232,962	Walcheren	16	38,669,018
			Zuidholland	15	767,800,945	Zeeuws-Vlaaderen	17	14,771,008
			Maasgeul	16	5,507,033			
			Haringvliet delta	17	230,742,222			
			Grevelingen delta	18	202,194,693			
			Oosterschelde delta	19	305,959,864			
			Westerschelde delta	20	416,738,646			
			Westerschelde	21	253,097,414			