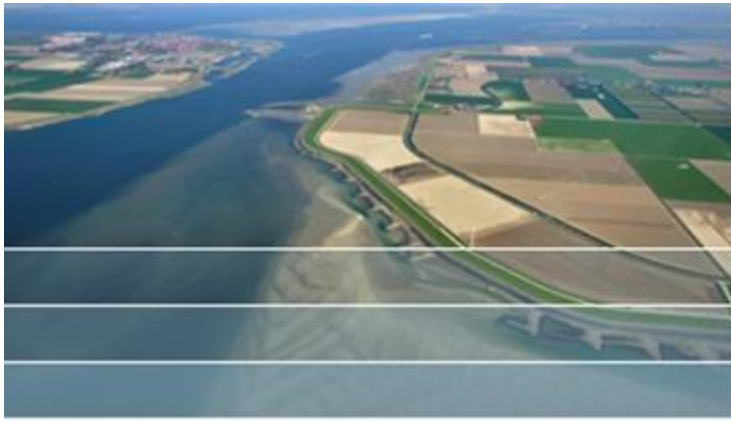




EVALUATIE VAN DE VOOROEVERSUPPLETIE BIJ HEEMSKERK (2011-2012)

EINDVERSLAG, BACHELOR EINDOPDRACHT, CIVIELE TECHNIEK, UNIVERSITEIT TWENTE

Daan Boot

April 2015 – Juni 2015

Evaluatie van de vooroeversuppletie bij Heemskerk (2011-2012)

Auteur: Daan Boot
S1383639
d.b.boot@student.utwente.nl
Bachelor Civiele Techniek
Bachelor Eindopdracht

Begeleider Deltares: Laura Vonhögen-Peeters, MSc

Begeleider Universiteit Twente: Ir. Lianne van der Weerd

Datum: 07-07-2015

SAMENVATTING

In 2011 en 2012 is er bij Heemskerk een gedifferentieerde onderwatersuppletie aangelegd om de kustlijn te onderhouden. Dit is een praktijkproef, want er is niet eerder een suppletie aangelegd met 2 zandlichamen. Tevens is een van de lichamen dieper aangelegd. Er is gekozen voor een praktijkproef, omdat uit onderzoek van Tonnon (2010) is gebleken dat deze aanlegmethode efficiënter zou kunnen zijn. Daarom is het interessant om deze suppletie nader te onderzoeken. Deze suppletie wordt daarom nader onderzocht met de volgende onderzoeksvraag:

Hoe heeft de kustlijn zich ontwikkeld (gebruikmakend van kustindicatoren) ter hoogte van de suppletie te Heemskerk (raaien 4550-5025), en wat is de volumeontwikkeling in het gebied en is hier kustlangse variatie in?

De kustindicatoren die gebruikt zijn, zijn de momentane kustlijn (MKL), de gemiddelde laagwaterlijn (GLW), de gemiddelde hoogwaterlijn (GHW) en de duinvoet (DV).

Voor dit onderzoek wordt er gebruik gemaakt van data verkregen uit de jarkusmetingen van Rijkswaterstaat (1992-2014), de verdichte jarkusmetingen van Rijkswaterstaat (2011-2014), en de extra metingen van SHORE (2012-2014). Om de ontwikkelingen van de kustindicatoren in kaart te brengen is er gebruik gemaakt van de jarkusmetingen. Voor de volumeontwikkeling is er gebruik gemaakt van de verdichte jarkusmetingen en de extra metingen van SHORE.

In de periode 1992-2011 zijn er geregeld BKL overschrijdingen geweest. Deze overschrijdingen zijn na verloop van tijd ook weer opgelost. Dit kan komen door suppleties, netto zandtransport van zuid naar noord en het plaatselijke bankengedrag dat invloed heeft op de MKL berekening. In deze periode zijn er twee strandsuppleties uitgevoerd in 1997 (raaien 4950-5025) en 2005 (raaien 4650-4850). Beide suppleties hebben zeewaartse verplaatsingen van de kustindicatoren veroorzaakt.

Voor de periode na de suppletie (2011-2014) is het gebied onderverdeeld in 5 deelgebieden: raaien rond de noord kop (4550-4625), het noordelijk zandlichaam (4650-4700), rond de opening (4725-4825), het zuidelijk zandlichaam (4850-4925) en raaien rond de zuid kop (4950-5025). De opening vertoont netto bijna alleen maar landwaartse verplaatsingen (alle indicatoren). Voor de overige gebieden zijn er voornamelijk zeewaartse verplaatsingen te zien bij de MKL en GLW. Als het noordelijk gebied met het zuidelijk gebied vergeleken wordt, kan geconcludeerd worden dat het noordelijk deel minder en minder grote zeewaartse verplaatsingen kent, en het zuidelijk deel positiever beïnvloed wordt door de suppletie. Het is echter nog mogelijk dat het noordelijk deel nog meer effecten gaat ondervinden, omdat deze later aangelegd is.

Om de volumeontwikkeling in kaart te brengen is het gebied verdeelt in 10 deelgebieden: kop, suppletie, midden, zeewaarts en landwaarts. Dit gebeurde voor zowel het noordelijk als het zuidelijk gebied. Het noordelijk deel bleek in augustus 2014 een hogere bodemhoogte toename had dan het zuidelijk deel. Dit kan betekenen dat het noordelijk deel qua volume het beter doet. Het kan echter ook komen, omdat het zuidelijk deel er al langer ligt en al langer aan het eroderen is. Netto zandtransport van zuid naar noord zou ook invloed kunnen hebben.

Als deze resultaten gecombineerd worden, kunnen er nog geen echte conclusies getrokken worden over het dieper aanleggen van de suppletie. Bij het zuidelijk deel is er sprake van positievere effecten (meer zeewaartse verplaatsingen), maar in het noordelijk deel zijn er waarschijnlijk nog effecten te verwachten. De verdere ontwikkeling van de suppletie kan helpen om te bepalen of het dieper aanleggen vaker toegepast kan worden.

VOORWOORD

Dit onderzoek is uitgevoerd als bachelor eindopdracht voor de studie Civiele Techniek van de Universiteit Twente. Ik wilde graag een onderzoek doen in het gebied van kustbeheer. Deze mogelijkheid heb ik gekregen bij Deltares. Daarvoor wil ik Martijn Booi bedanken, want vanwege zijn contacten ben ik bij Deltares terecht gekomen.

Binnen Deltares is er contact geweest met Claire van Oeveren die mij geholpen heeft met het opstellen van een opdracht en mij daarna in contact heeft gebracht met Laura Vonhögen. Laura Vonhögen heeft vervolgens de definitieve opdrachtschrijving geschreven en mij begeleid tijdens de onderzoeksperiode. Ik wil haar bedanken dat zij in haar drukke agenda toch tijd heeft gevonden voor deze begeleiding.

Verder wil ik ook Lianne van der Weerd bedanken die mij vanuit de Universiteit Twente begeleid heeft. Zij heeft er voor gezorgd dat ik beter ging nadenken over waar ik binnen de opdracht naar toe wilde en op deze manier heeft zij heel erg geholpen om de opdracht tot een goed einde te brengen. Mijn dank hiervoor.

Ten slotte wil ik ook de werknemers bij Deltares en vrienden/familie bedanken voor de steun die ik gekregen heb tijdens het uitvoeren van de opdracht.

Daan Boot
23-6-2015

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING	2
VOORWOORD	3
1. INLEIDING	6
1.1. AANLEIDING	6
1.2. KADER	6
1.3. DOELSTELLING	6
1.4. ONDERZOEKSVRAGEN	7
1.5. LEESWIJZER	7
2. THEORETISCH KADER	8
2.1. TERMINOLOGIE	8
2.2. BEPALING WAAR TE SUPPLEREN	10
2.3. SUPPLETIE BIJ HEEMSKERK	10
3. METHODIEK	13
3.1. DATA	13
3.2. DE KUST VAN 1992-2011	14
3.3. DE KUST VAN 2011-NU	15
3.4. LEVENSDUUR SUPPLETIE	15
4. DE KUST TOT 2011	17
4.1. OVERSCHRIJDINGEN	17
4.2. EFFECTEN SUPPLETIES	18
4.3. ALGEMEEN (1992-2011 ALLE RAAIEN)	18
4.4. OPVALLENDE RESULTATEN	19
4.5. CONCLUSIE	21
5. DE KUST VAN 2011-NU	22
5.1. OVERSCHRIJDINGEN	22
5.2. ONTWIKKELING KUSTINDICATOREN	22
5.3. VERGELIJKING NOORD-ZUID	24
5.4. CONCLUSIE	25

6.	VOLUMEONTWIKKELING VAN HET GEBIED	26
6.1.	ONTWIKKELING SUPPLETIE	26
6.2.	ONTWIKKELING VAN DE BODEMHOOGTE	27
6.3.	KUSTLANGSE VARIATIE	29
6.5.	CONCLUSIE	31
7.	DISCUSSIE	32
7.1.	DE SELECTIE VAN DE DATA	32
7.2.	DE VERWERKING VAN DE DATA	32
7.3.	ANALYSE VAN DE RESULTATEN	33
8.	CONCLUSIES	34
8.1.	DE KUST VAN 1992-2011	34
8.2.	DE KUST VAN 2011-NU	34
8.3.	VOLUMEONTWIKKELING EN KUSTLANGSE VARIATIE	35
8.4.	DIEPER AANLEGGEN	35
9.	AANBEVELINGEN	36
9.1.	DIT ONDERZOEK	36
9.2.	DE SUPPLETIE BIJ HEEMSKERK	36
	LITERATUURLIJST	37
	BIJLAGEN	38
A.	EFFECTEN SUPPLETIES	38
B.	KUST VAN 1992-2011	40
C.	DE KUST VAN 2011-NU	47
D.	BATHYMETRISCHE KAARTEN	54
E.	ONTWIKKELING VAN DE BODEMHOOGTE	57

1. INLEIDING

1.1. AANLEIDING

Nederland is een land dat leeft met water en dat voor een groot gedeelte onder de zeespiegel ligt. Daarom is het van groot belang dat de Nederlandse kust goed beschermd wordt tegen hoge waterstanden van de Noordzee. Door de wind en zee kalft de kust op sommige plaatsen af, waardoor de bescherming van het achterland kleiner wordt (Noordzee en Kust, z.j.). Daarom is men begonnen om d.m.v. zandsuppleties het kustvolume te vergroten.

Sinds 1990 bestaat het kustbeleid uit het 'dynamisch handhaven' van de kust. Dit betekent dat er ruimte gegeven wordt aan de zee en de wind om sediment te kunnen verplaatsen (Dynamisch Kustbeheer, z.j.). De basiskustlijn (BKL) is speciaal hiervoor vastgesteld, welke in 2001 en 2012 op sommige plaatsen is herzien. Er wordt nu gemiddeld 12 miljoen m³ zand per jaar gesuppleerd om deze BKL in stand te houden en het kustfundament te versterken. In het 4 jaren plan, 2012-2015, zijn er 32 suppleties gepland met een totaal volume van 48 miljoen m³ die inmiddels al uitgevoerd zijn, of waar de uitvoering dit jaar start (Rijkswaterstaat, 2014).

1.2. KADER

Dit onderzoek is onderdeel van het project KPP Beheer en Onderhoud van de Nederlandse kust (B&O Kust). Bij dit project werken Rijkswaterstaat en Deltares samen. Het doel van dit project is tweeledig. Ten eerste worden er onderzoeksvragen over zandsuppleties beantwoord. En ten tweede wordt er binnen dit project gewerkt aan het vergroten en verspreiden van kennis over het kuststelsel. Er wordt gekeken naar het kuststelsel om te bepalen waar ingrepen nodig (gaan) zijn. Uitgevoerde zandsuppleties worden ook geëvalueerd om te kijken of deze efficiënter en duurzamer uitgevoerd (hadden) kunnen worden (Bruens, van der Spek, Elias, & Giardino, 2013). Dit onderzoek sluit hierbij aan.

In de periode 2011-2012 is bij Heemskerk een 'gedifferentieerde onderwatersuppletie' uitgevoerd. Deze suppletie bestaat uit twee zandlichamen (bollen) op verschillende diepte met daartussenin een opening (van Oeveren & Tonnon, 2011). Deze specifieke uitvoering is een praktijkproef, wat een onderzoek naar deze suppletie des te interessanter en belangrijker maakt. Binnen de studie die voor u ligt, wordt er een start gemaakt met de evaluatie van deze gedifferentieerde onderwatersuppletie. De resultaten van deze studie dragen bij aan de totale evaluatie van deze suppletie en kunnen meegenomen worden in het vervolg van het kustbeheer.

1.3. DOELSTELLING

Dit onderzoek heeft als doel om aan de hand van kustindicatoren (deze worden toegelicht in paragraaf 2.2) het effect van de suppletie op de kustlijn in kaart te brengen (raaien 4550-5025). Ook moet er in kaart gebracht worden wat de volumeontwikkeling van het gebied. Daarbij is het interessant om te kijken of hier kustlangse variatie in is, en als dit zo is, wat daar de reden voor is.

Deze doelstelling is ontstaan uit de onderzoeksvragen die volgden uit een modelstudie uitgevoerd door Deltares voorafgaand aan de aanleg van de suppletie. Deze onderzoeksvragen richten zich op de efficiency van de suppletie en de ontwikkeling van de koppen van de zandlichamen. Dit onderzoek draagt bij aan de beantwoording van de onderzoeksvragen.

1.4. ONDERZOEKSVRAGEN

HOOFDVRAAG

Hoe heeft de kustlijn zich ontwikkeld (gebruikmakend van kustindicatoren) ter hoogte van de suppletie te Heemskerk (raaien 4550-5025), en wat is de levensduur van de suppletie (volumeontwikkeling) en is hier kustlangse variatie in?

De kustindicatoren die gebruikt gaan worden bij het schatten van de effecten op de kustlijn zijn de momentane kustlijn (MKL), de gemiddelde laagwaterlijn (GLW), de gemiddelde hoogwaterlijn (GHW) en de duinvoet (DV).

DEELVRAGEN

1. Gebruikmakend van kustindicatoren, hoe ontwikkelde de kustlijn ter hoogte van de suppletie zich voor de suppletie in 2011 (onderzochte tijdsperiode 1992-2011)?
2. Gebruikmakend van kustindicatoren, hoe ontwikkelt de kustlijn ter hoogte van de suppletie zich sinds de suppletie (onderzochte tijdsperiode 2011-nu)?
3. Wat is de volumeontwikkeling in het gebied, en is hier kustlangse variatie in?

1.5. LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 staat het theoretisch kader en in hoofdstuk 3 de methodiek. In de hoofdstukken 4, 5 en 6 worden de deelvragen behandeld. Hoofdstuk 4 behandelt de kust in de periode 1992-2011, hoofdstuk 5 behandelt de kust in de periode 2011-nu en hoofdstuk 6 gaat over de levensduur van de suppletie. In hoofdstuk 7 staat de discussie en in hoofdstuk 8 worden er conclusies getrokken en in hoofdstuk 9 worden er aanbevelingen gedaan. Het verslag wordt afgesloten met een aantal bijlagen (A t/m E).

2. THEORETISCH KADER

In dit hoofdstuk staat het theoretisch kader van dit onderzoek. In de eerste paragraaf staan een aantal termen uitgelegd die in dit onderzoek gebruikt worden. In de tweede paragraaf wordt er in gegaan op de bepaling waar te suppleren. Ten slotte gaat de laatste paragraaf over de suppletie bij Heemskerk.

2.1. TERMINOLOGIE

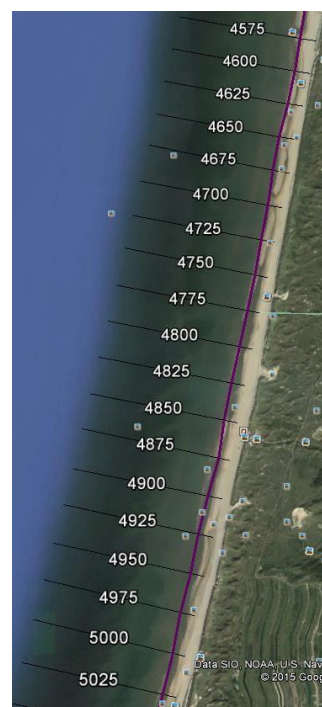
In deze paragraaf zal er in gegaan worden op een aantal begrippen die gebruikt worden binnen dit onderzoek, deze staan schematisch weergegeven in Figuur 2. Deze begrippen hebben afkortingen. Deze afkortingen zullen in het vervolg van het rapport gebruikt worden.

RIJKSSTRANDPALENLIJN (RSP)

Langs de Nederlandse kust ligt de Rijkstrandpalenlijn (RSP). Deze lijn loopt parallel aan de kust en ligt meestal rond de duinvoet. Haaks hier op staan elke 250 meter meetlijnen, de raaien. De RSP is vastgelegd met strandpalen. De RSP speelt een rol bij de toetsing van de kustlijn, want de kustindicatoren worden bepaald t.o.v. deze lijn (Mewe, 2014).

BASISKUSTLIJN (BKL)

In 1990 is er besloten dat de kustlijn niet verder achteruit mag gaan. Hiervoor is de basiskustlijn (BKL) vastgesteld. De BKL is de norm voor de te handhaven kust. In 1993 is de BKL vastgesteld door de minister van Verkeer en Waterstaat. De BKL die vastgesteld is, is de kustlijn zoals deze er in 1990 bij lag. In 2001 en 2012 is deze lijn op sommige plaatsen aangepast. In het onderzoeksgebied is dit in 2001 op 12 van de 20 gedaan. Als de BKL overschreden wordt, betekent dit dat er een ingreep nodig is (Rijkswaterstaat, 2010). De BKL-ligging voor het onderzoeksgebied is te zien in Figuur 1 (de paarse lijn).

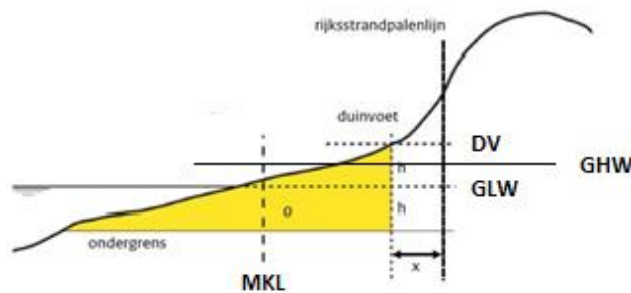


Figuur 1: BKL-ligging (Bron: Rijkswaterstaat, 2012)

MOMENTANE KUSTLIJN (MKL)

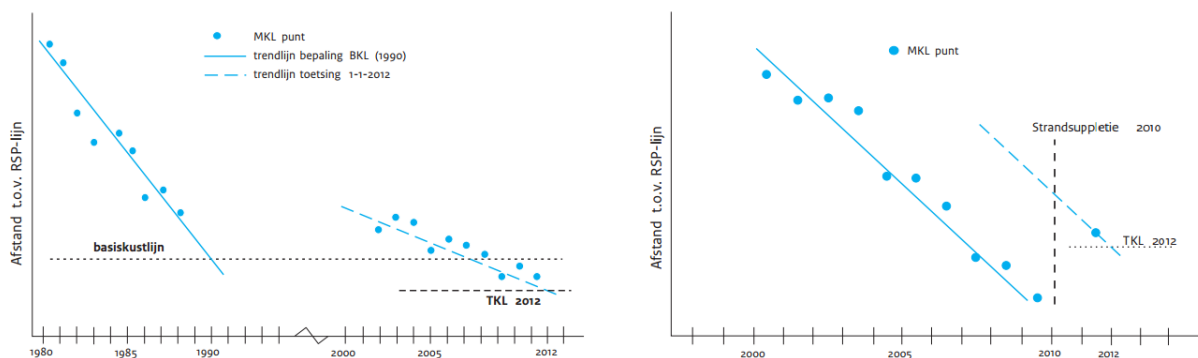
De momentane kustlijn (MKL) is de gemiddelde positie van de kustlijn op een bepaald moment. De MKL punten worden gebruikt om de te toetsen kustlijn (TKL) op te stellen. De MKL wordt berekend zoals te zien is in Figuur 2.

Hierin is O de oppervlakte van het gele gebied in m^2 , h de verticale afstand tussen de duinvoet (+3m NAP) en de gemiddelde laagwaterlijn (GLW) in m , en x is de horizontale afstand tussen de rijkstrandpalenlijn (RSP) en de duinvoet in m . Dit resulteert in een MKL in m ten opzichte van de RSP (Rijkswaterstaat, 2010).



$$MKL = \frac{0}{2h} + x$$

Figuur 2: MKL-berekening en locatie van kustindicatoren binnen het profiel (Bron: Rijkswaterstaat, 2010)



Figuur 3: Bepaling TKL in een normale situatie en een jaar na een strandsuppletie (Bron: Rijkswaterstaat, 2011)

TE TOETSEN KUSTLIJN (TKL)

De te toetsen kustlijn (TKL) wordt gebruikt om te bepalen of aan de norm voldaan wordt. Dit gebeurt door de TKL te vergelijken met de BKL. De eenheid van de TKL is meters t.o.v. de Rijkstrandpalenlijn (RSP). De TKL wordt bepaald door over de laatste jaren een lineaire trend in de kustlijnligging te bepalen (Figuur 3). Uit deze trend kan de ligging van de TKL afgeleid worden (Rijkswaterstaat, 2010). De TKL is per definitie niet gelijk aan de MKL.

GEMIDDELDE LAAGWATERLIJN (GLW) EN GEMIDDELDE HOOGWATERLIJN (GHW)

De gemiddelde laagwaterlijn (GLW) is de lijn waar gemiddeld gezien het water komt met laag water (Aquo lex, 2014). De gemiddelde hoogwaterlijn (GHW) is de lijn waar gemiddeld gezien het water komt met hoog water (Aquo lex, 2014). Vanwege het getij zijn er fluctuaties, daarom ligt dit punt niet elke dag op dezelfde plek en daarom wordt er met gemiddelde waarde gewerkt. De GLW ligging is als volgt: bij raai 4575 ligt deze (verticaal gezien) op -0,78 m+NAP, bij raaien 4600-4825 op -0,77 m+NAP, en bij raaien 4850-5025 op -0,76 m+NAP. De GHW ligging is als volgt: bij raai 4575 ligt deze op 0,85 m+NAP, bij raaien 4600-4825 op 0,86 m+NAP, en bij raaien 4850-5025 op 0,87 m+NAP. Als er meerdere plekken in het profiel zijn met deze hoogte, dan wordt de meest zeewaartse plek gekozen. Dit kan leiden tot uitschieters van de ligging van de kustindicator.

DUINVOET (DV)

Er zijn twee definities voor de duinvoet mogelijk. De eerste definitie is het snijpunt tussen het steile talud van het duinfront en van het droge strand. Dit theoretische punt ligt meestal onder het zand (Verhagen, 1990). Een andere definitie (deze is ook gebruikt in Figuur 2) legt de duinvoet vast op een bepaalde hoogtelijn. In dit geval is er gekozen voor +3m NAP (Rijkswaterstaat, 2010). Deze definitie wordt in dit onderzoek gebruikt.

2.2. BEPALING WAAR TE SUPPLEREN

Er zijn twee soorten suppleties: een suppletie om de BKL te onderhouden, of om het kustfundament te versterken. De BKL heeft een hogere prioriteit en dit soort suppleties worden gepland als:

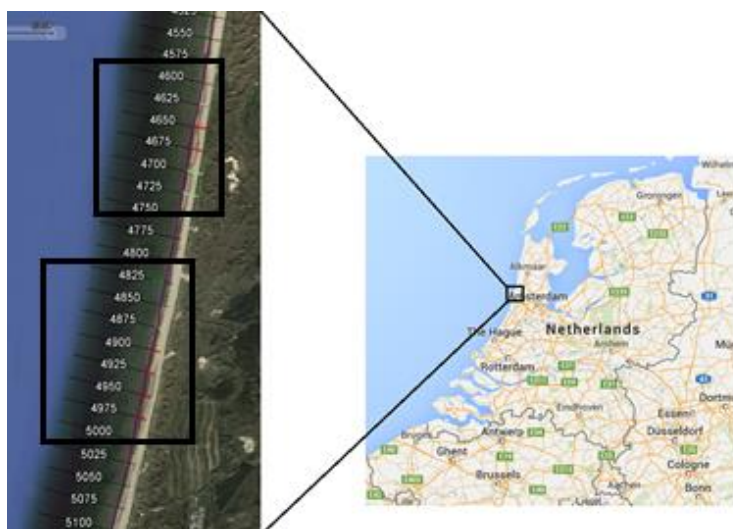
- In de komende jaren (de periode van het programma + 2 jaar) de BKL overschreden wordt.
- Er sprake is van structurele erosie.
- Er functies in het geding komen door deze erosie en deze functies ook baat hebben bij de suppletie, bijv. recreatie.
- De suppletie economisch gezien efficiënt uitvoerbaar is (kleine suppleties hebben hogere kosten per m³, als deze met grotere suppleties gecombineerd kunnen worden, dan is de suppletie economisch gezien efficiënter uit te voeren).

De eerste twee zijn de belangrijkste, officiële redenen voor het uitvoeren van de suppleties. De laatste twee punten zijn aanvullende redenen (Rijkswaterstaat, 2014).

Als de suppleties voor het onderhoud van de BKL gepland zijn, kunnen de suppleties ter versterking van het kustfundament gepland worden. Per jaar wordt er gemiddeld 8 miljoen m³ aan BKL-suppleties uitgevoerd en gemiddeld 4 miljoen m³ aan kustfundament suppleties. Een kustfundament suppletie plant men alleen in daar waar de zandbehoefte het grootst is; bij voorkeur in de Delta of ten noorden van Camperduin. Daarnaast wil men graag dat de kustfundament suppleties meerdere functies dienen dan alleen het toevoegen van zand aan het kustsysteem (Rijkswaterstaat, 2014).

2.3. SUPPLETIE BIJ HEEMSKERK

Vanwege (TKL-)overschrijdingen van de BKL op de raaien 4650-4700 en 4875-4975 in 2011, en een landwaartse trend van de kust, is er besloten om bij Heemskerk een suppletie t.b.v. de BKL aan te leggen. De overschrijdingen zijn door de jaren heen meerdere keren voorgekomen. Daarom zijn er in 1997 (raaien 4975-5050) en in 2005 (raaien 4650-4850) al twee strandsuppleties uitgevoerd. De kustindicatoren in dit gebied vertonen, vergeleken met andere delen van de Hollandse kust, geen bijzonder grote verplaatsingen (tussen 1965 en 2010). Daarom is er gekozen om in dit gebied een praktijk proef uit te voeren. Uit onderzoek van Tonnon (2010) kwam dat door gebruik te maken van innovatieve methoden, suppleties 25% efficiënter uitgevoerd zouden kunnen worden. Bij Heemskerk is er geëxperimenteerd met zo'n methode, er is gekozen om een gedifferentieerde onderwatersuppletie te plaatsen.

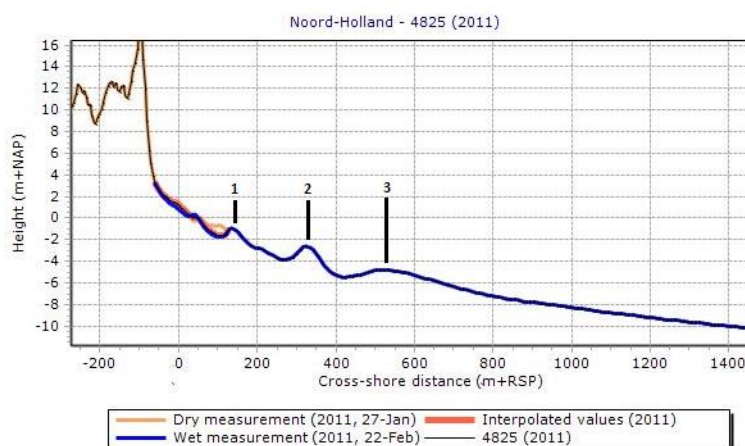


Figuur 4: Locatie suppletie (Blokken geven de raaien van de lichamen aan) (bronnen: Vonhögen, 2014; Google Maps, 2015)

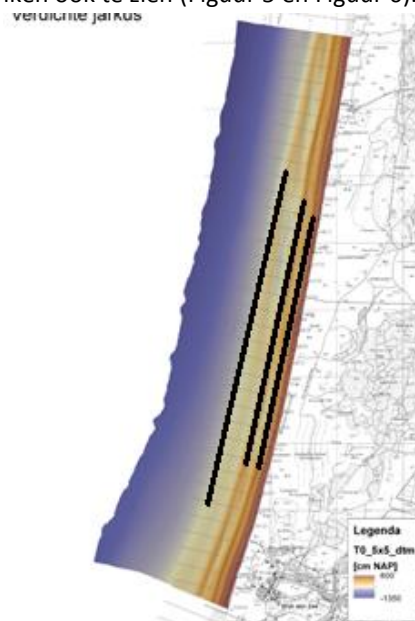
LOCATIE

De suppletie bij Heemskerk is uitgevoerd tussen de raaien 4575 t/m 5000 (Figuur 4). Ten zuiden van het gebied ligt IJmuiden, en dus de noordelijke havendam, welke een effect heeft (gehad) op de kustontwikkeling. Er is sprake van grote zeewaartse verplaatsingen van de indicatoren vlakbij de havendam. Het strand bij Heemskerk wordt gebruikt voor recreatie en in het duinengebied ligt een waterwingebied. Deze functies zijn extra drijfveren om te zorgen dat de kustlijn gehandhaafd blijft (Tonnon, 2010).

Langs de kust liggen er een aantal lange, zandbanken die parallel aan de kust lopen. Deze verplaatsen zich zeewaarts waarna zij uiteindelijk uitdempen op enige afstand van de kust. Als een bank uitdempt, ontstaan er bij de waterlijn nieuwe banken die de oude bank vervangt. Hierdoor zijn er altijd ongeveer 2 of 3 banken in het systeem aanwezig. Tussen het ontstaan en het uitdempen van een bank zit ongeveer 15 jaar. (Wijnberg & Terwindt, 1995; Elias & Bruens, 2012). In februari 2011, voor de aanleg van de suppletie, waren deze banken ook te zien (Figuur 5 en Figuur 6).



Figuur 5: Profiel van Raai 4825 in 2011 met 3 brekerbanken



Figuur 6: Bathymetrische kaart uit 2011 met 3 brekerbanken aangegeven

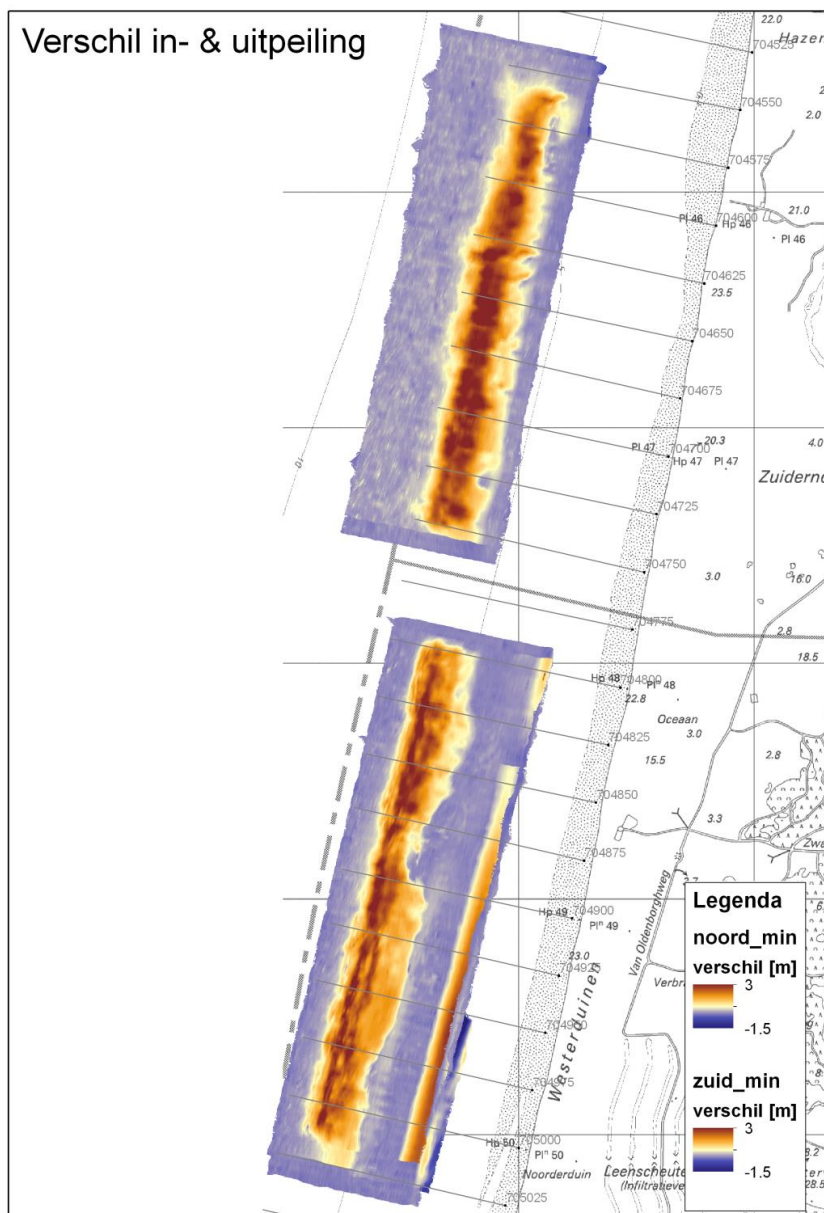
ONTWERP

Het ontwerp bestaat uit twee verschillende lichamen van in totaal 1,6Mm³ zand (Tabel 1; Figuur 7).

Tabel 1: Informatie suppletie (Bron: Van Oeveren & Tonnon, 2011)

Zandlichaam	Raaien	Lengte	Aanleghoogte	Volume [m ³ /m]	Totale volume [m ³]
Noord	4575-4750	1750 m	-6 m NAP	425	743.750
Zuid	4800-5000	2000 m	-5 m NAP	425	850.000

Tussen de twee lichamen is een opening van 500 meter. Er wordt bij dit ontwerp met twee aspecten geëxperimenteerd. Het is de eerste keer dat er twee lichamen geplaatst worden, en er wordt geëxperimenteerd met de aanleghoogte van het noordelijke lichaam. Normaal worden vooroeversuppleties namelijk tegen de buitenste bank aangelegd, en dit is meestal rond -5m NAP. Dit zorgt er voor dat de effecten van de specifieke maatregelen bij de evaluatie moeilijk in te schatten zijn.



Figuur 7: Verschil in en uitpeiling van de aanleg vna de suppletie (Bron: Vonhögen, 2014)

De uitvoering is begonnen op 20 juli 2011. Het zuidelijke zandlichaam is op 22 augustus 2012 afgerond, en het noordelijke lichaam op 6 november 2012. Dit betekent dat het deel dat als eerste gelegd is al onder invloed heeft gestaan van de stromingen en golven voordat de aanleg van de suppletie volledig afgerond was.

3. METHODIEK

Binnen de methodiek is er onderscheid gemaakt tussen de beschikbare data en wat er met deze data gedaan is en waarom.

3.1. DATA

Bij het uitvoeren van dit onderzoek wordt er gebruik gemaakt van data. Vandaar dat er gekeken wordt naar welke data beschikbaar is, en wat er uit gehaald kan worden. Het gaat hier over data over het gebied tussen de raaien 4550-5025. Dit gebied is zo gekozen, omdat de suppletie uitgevoerd is tussen 4575 en 5000, en er zo ten noorden en ten zuiden nog een extra raai erbij gepakt wordt om goed te kunnen beoordelen wat de effecten op de koppen zijn.

De MKL: de gegevens voor de MKL komen uit het programma MorphAn. In MorphAn zijn alle jarkus (jaarlijkse kust) metingen van Rijkswaterstaat ingeladen. In deze metingen staat voor elke raai het kustprofiel voor een jaar. De metingen uit 2002 bestaan alleen uit natte metingen, en bevatten te weinig informatie voor de MKL-berekening. Door gebruik te maken van de methode beschreven in paragraaf 2.1 berekent MorphAn de MKL per raai per jaar. Deze jarkusmetingen zijn niet altijd in dezelfde maand gedaan (Tabel 2).

Tabel 2: Per jaar de Maand waarin de jarkusmeting uitgevoerd is

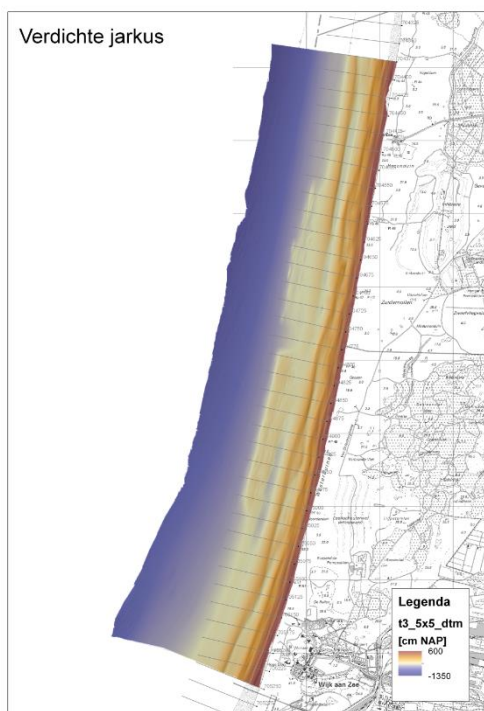
Jaar	Maand	Jaar	Maand	Jaar	Maand	Jaar	Maand
1992	April	1998	Juli	2004	Maart	2010	April
1993	Maart	1999	April	2005	April	2011	Januari
1994	April	2000	November	2006	Mei	2012	Januari
1995	Maart	2001	Maart	2007	April	2013	Januari
1996	April	2002	Juni	2008	April	2014	Januari
1997	Mei	2003	Maart	2009	Maart		

De GLW, GHW en DV: de gegevens voor deze indicatoren zijn afgeleid uit de jarkusmetingen en zijn verwerkt tot een dataset waar voor alle raaien voor de jaren 1965-2014 de ligging gegeven is.

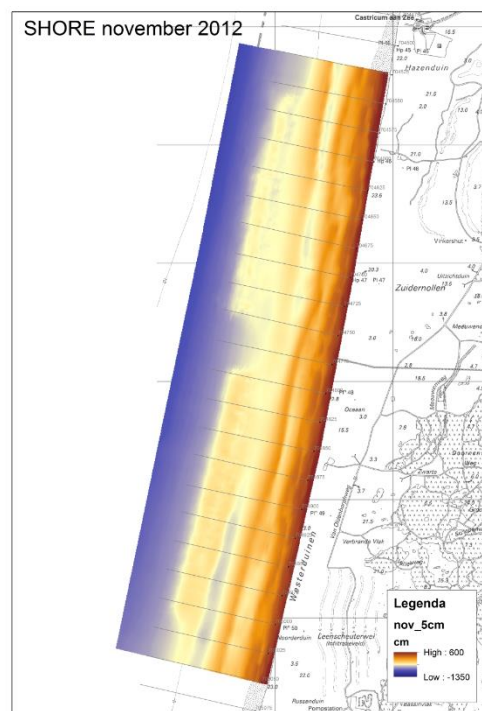
Verdichte Jarkusmetingen van Rijkswaterstaat: Rijkswaterstaat heeft 7 metingen (T0-T6) uitgevoerd (Tabel 3). Deze metingen zijn verwerkt naar 5x5 (m) grids. De grid bij T5 is niet volledig. De metingen tussen het strand en de buitenste brekerbank ontbreken. Uit deze data wordt informatie gehaald over de bodemhoogte in het gebied. Op deze manier kan de ontwikkeling van de suppletie per meting gevolgd worden.

Aanvullende metingen van SHORE: SHORE heeft 5 aanvullende metingen uitgevoerd (Tabel 3). Deze metingen zijn in xyz vorm beschikbaar, maar ook in 5x5 (m) grids. Hieruit wordt dezelfde informatie gehaald als uit de verdichte Jarkusmetingen en zij kunnen ook met elkaar vergeleken worden.

De gebieden waar de metingen uitgevoerd zijn, komen niet direct overeen. De metingen van Rijkswaterstaat beslaan een groter gebied. Hier dient rekening mee gehouden te worden bij het bekijken van de kaarten (Figuur 8 en Figuur 9).



Figuur 8: T3 (verdichte jarkus meting RWS) (10-2012)



Figuur 9: nov (meting SHORE) (11-2012)

Nr.	Datum	Nr.	Datum	Nr.	Datum	Nr.	Datum
T0	02-2011	sept	09-2012	jan	01-2013	T5	12-2013
T1	09-2011	T3	10-2012	T4	01-2013	T6	04-2014
T2	02-2012	nov	11-2012	juli	07-2013	aug	08-2014

Tabel 3: Metingen van RWS en SHORE

3.2. DE KUST VAN 1992-2011

Als eerste wordt de periode voor de suppletie in beeld gebracht (1992 - 2011). Deze periode dient als referentie voor de periode na de suppletie. Om deze periode in beeld te kunnen brengen, wordt er gebruik gemaakt van data van de indicatoren MKL, GLW, GHW en DV. Er is gekozen voor deze periode, omdat er tussen het ontstaan en uitdempen van een bank ongeveer 15 jaar zit. (Wijnberg & Terwindt, 1995). Vandaar dat er een periode van 20 jaar gekozen is, want op deze manier wordt er ongeveer 1 cyclus (qua ontstaan en uitdempen van banken) bestudeerd. Tevens zijn er in deze periode twee strandsuppleties (1997 en 2005) uitgevoerd, en kan er gekeken worden hoe de kust daarop gereageerd heeft.

Allereerst wordt er gekeken naar de BKL overschrijdingen binnen de onderzoeksperiode. Dit wordt zo weergegeven dat de overschrijdingen in de tijd goed te volgen zijn en zo een beeld geven over de problemen in het gebied.

In de onderzoeksperiode zijn 2 strandsuppleties uitgevoerd. De invloed die deze suppleties hebben gehad op de ontwikkeling van de kust zijn hierbij interessant. Voor elke suppletie wordt een analyse uitgevoerd om te bepalen op welke raaien er effecten te zien zijn op de kustindicatoren. De effecten waar naar gekeken wordt hebben te maken met de verplaatsing van de kustindicatoren. Het gaat hierbij om het moment van de verplaatsing (welk jaar rond de suppletie), de richting (landwaarts of zeewaarts), de grootte van de verplaatsing en hoe lang de verplaatsing aanhoudt. Dit wordt gedaan voor de kustindicatoren MKL, GLW, GHW en DV. Een

laatste aandachtspunt is de kustlangse uniformiteit van de verplaatsingen. Gekeken wordt of eventuele uitschieters verklaard kunnen worden.

Daarna volgt er een analyse van alle raaien over de gehele periode. Per raai worden de ontwikkelingen van de kustindicatoren voor de onderzoeksperiode in kaart gebracht. De trends in de ligging van de kustindicator staan hierbij centraal. Het gaat hier om de trends over de gehele periode en over de laatste jaren. Over de gehele periode wordt er gekeken naar de netto verplaatsing. Over de laatste jaren wordt er gekeken naar de richting van de verplaatsing (zeewaarts of landwaarts) tussen 2010 en 2011, maar ook de jaren daarvoor. Op deze manier kan er een beeld geschetst worden of er op de lange termijn sprake is van een landwaartse of zeewaartse verplaatsing, maar ook hoe de kust zich ontwikkelde vlak voor de suppletie. Ook hier is de kustlangse uniformiteit van de verplaatsingen een aandachtspunt. Als er opvallende verplaatsingen tussen zitten, wordt er gekeken of deze verklaard kunnen worden. Vervolgens worden er conclusies getrokken die later in het onderzoek gebruikt kunnen worden.

3.3. DE KUST VAN 2011-NU

Ten tweede worden de effecten van de suppletie uit 2011-2012 op de kustindicatoren in beeld gebracht. Er wordt gebruik gemaakt van data van de indicatoren MKL, GLW, GHW en DV, maar ook van de resultaten van de vorige deelvraag. Er is gekozen om het gebied in te delen in 5 verschillende deelgebieden: raaien rond de noord kop (raaien 4550-4625), midden van het noordelijk zandlichaam (raaien 4650-4700), raaien rond de opening (raaien 4725-4825), het midden van het zuidelijk zandlichaam (raaien 4850-4925) en raaien rond de zuid kop (raaien 4950-5025). Deze indeling is gekozen om de hoeveelheid data overzichtelijk te kunnen weergeven. Dit is zo gedaan dat het noordelijk deel en het zuidelijk deel gescheiden blijven en dat de opening en de koppen goed onderzocht kunnen worden. Verder is er ook gekozen om voor de verplaatsing per indicator 7 klassen te maken om elke indicator met elkaar te kunnen vergelijken. Deze klassen zijn zelf bedacht en worden toegepast in paragraaf 5.2.

De verplaatsing van de ligging van de kustindicatoren wordt in kaart gebracht. De eigenschappen van de verplaatsing die onderzocht worden zijn: richting (landwaarts of zeewaarts), de grootte, de totale verplaatsing en het moment van verplaatsen. Hierbij worden de twee zandlichamen ook met elkaar vergeleken. Verder wordt er ook gekeken of er patronen te vinden zijn, maar ook naar bijzondere of vreemde verplaatsingen. Voor deze verplaatsingen wordt er gekeken of deze verklaard kunnen worden. Door de resultaten van deelvraag 1 er bij te pakken, wordt er geprobeerd de effecten van de suppletie in kaart te brengen.

3.4. LEVENSDUUR SUPLETIE

Ten slotte wordt er gekeken naar de volumeontwikkeling van het gebied. Hierbij wordt er ook gekeken of er sprake is van kustlangse variatie. Er wordt gebruik gemaakt van de metingen gedaan door Rijkswaterstaat en SHORE en de Jarkusmetingen ingeladen in MorphAn. Rijkswaterstaat heeft 7 metingen gedaan (T0-T6) en SHORE 5 (sept, nov, jan, juli, aug) (Tabel 3).

Allereerst wordt de ontwikkeling van de suppletie in kaart gebracht. Dit wordt gedaan met behulp van bathymetrische kaarten van de metingen van Rijkswaterstaat en SHORE. Er wordt gekeken naar de ontwikkelingen van de zandlichamen zelf, de ontwikkelingen aan de koppen, de ontwikkelingen bij de opening en ten slotte wordt er gekeken naar de ontwikkelingen in het gebied landwaarts van de suppletie. Er wordt hierbij gelet op de ontwikkeling van banken en geulen.

Ten tweede wordt er gekeken naar de volumeontwikkeling van het gebied. Hiervoor wordt het gebied onderverdeeld in 10 verschillende gebieden: zeewaarts, noordwaarts, kop, suppletie en midden. Dit gebeurt

voor het noordelijke en zuidelijke gedeelte (Figuur 10). Er wordt per gebied tussen de metingen gekeken naar wat de verschillen zijn qua bodemhoogte. Op deze manier ontstaat er een beeld van de volumeontwikkeling. Er wordt ook gekeken hoe de metingen verschillen met T0 (de 'onaangetaste' situatie). Op deze manier wordt er een totaalbeeld geschetst. Daarna wordt het noordelijk deel vergeleken met het zuidelijk deel van de suppletie.

Vervolgens moet er onderzocht worden of er sprake is van kustlangse variatie. Dit wordt gedaan door gebruik te maken van het 'Volume Development' model in MorphAn. Hier kan per raai in de jaren 2011, 2012, 2013 en 2014 gekeken worden naar de ontwikkeling van het volume van kustgebied. Dit wordt gedaan tussen twee grenzen die opgenomen zijn in het programma. Deze grenzen zijn niet voor alle raaien hetzelfde, zeewaarts liggen deze tussen 1000 en 1200 m+RSP, en landwaarts liggen deze tussen -75 en -110 m+RSP. Daarom is er gekozen om met een relatieve waarde voor de volumeontwikkeling te werken. Zo kunnen de verschillende raaien met elkaar vergeleken worden. De ontwikkeling wordt in kaart gebracht relatief aan de waarde van 2011, de waarde '0' komt overeen met het volume in 2011. Zo kan er gekeken worden of bepaalde raaien meer eroderen dan andere raaien, en of er dus sprake zou kunnen zijn van kustlangse variatie in de levensduur. Als er sprake is van kustlangse variatie, wordt er gekeken of er oorzaken aan te wijzen voor deze variatie.



Figuur 10: Indeling deelgebieden (Bron: Vonhögen, 2014)

4. DE KUST TOT 2011

In dit hoofdstuk staat de analyse van de ontwikkeling van de kust van 1992 tot en met 2011. Dit is gedaan met behulp van de kustindicatoren MKL (en BKL), GLW, GHW en DV. In paragraaf 4.1 staan de overschrijdingen die plaatsgevonden hebben. Paragraaf 4.2 wijdt uit over de effecten van de suppleties van 1997 en 2005 op de kustindicatoren. Dit deel staat verder uitgewerkt in bijlage A. Paragraaf 4.3 bespreekt de gehele onderzoeksperiode. In paragraaf 4.4 worden vervolgens opvallende resultaten besproken. Bij de analyse is er gebruik gemaakt van grafieken te zien in bijlage B.

4.1. OVERSCHRIJDINGEN

In de onderzoeksperiode is de BKL bij een aantal raaien overschreden (Tabel 4). In 2001 is de BKL aangepast op de raaien 4650-4800, 4850 en 4950-5025. Ook zijn er 2 suppleties uitgevoerd (aangekruist in Tabel 4).

Noord		92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
	4550																				
	4575																				
	4600																				
	4625																				
	4650																				
	4675																				
	4700																				
	4725																				
	4750																				
	4775																				
	4800																				
	4825																				
	4850																				
	4875																				
	4900																				
	4925																				
	4950																				
	4975																				
	5000																				
Zuid	5025																				

Tabel 4: Overschrijdingen (in rood) BKL 1992-2011; Suppleties aangekruisd

Door de jaren heen hebben er geregeld overschrijdingen plaatsgevonden. Het is te zien dat de overschrijdingen na verloop van tijd weer weggaan. Het weggaan van de overschrijdingen zou kunnen komen door het eroderen van zuidelijke raaien, waarna het geërodeerde zand bij de noordelijke raaien terecht komt. Dit zou verklaren waarom de overschrijdingen weggaan. Dit is tevens waarschijnlijk, omdat het bekend is dat er langs de Hollandse kust netto zand van zuid naar noord wordt getransporteerd (Rijkswaterstaat, 2012). Daarnaast gaan de overschrijdingen weg vanwege de aanleg van de suppleties, door het plaatselijke bankengedrag dat invloed heeft op de MKL-berekening, en door het aanpassen van de BKL. Er zijn op 12 van de 20 raaien aanpassingen geweest, waarvan er 9 meer landwaarts neergelegd zijn.

4.2. EFFECTEN SUPPLETIES

In het gebied zijn strandsuppleties uitgevoerd in 1997 en 2005. De suppletie van 1997 vond plaats op de raaien 4975-5050, en de suppletie van 2005 op de raaien 4650-4850. In deze paragraaf wordt er gekeken wat de invloed van deze suppleties waren op de ligging van de MKL, de GLW, de GHW en de DV. Omdat het strandsuppleties zijn, is de verwachting dat de effecten op de MKL, GLW en GHW direct te zien zijn. De hoofdlijnen van dit onderzoek zijn in deze paragraaf te vinden. Het totale onderzoek is te zien in Bijlage A.

4.2.1. SUPPLETIE 1997 (RAAI 4975-5050)

Van deze suppletie liggen er drie raaien in het te onderzoeken gebied: 4975, 5000, 5025. Voor alle kustindicatoren is er op alle raaien (4975-5025) in 1997 een zeewaartse verplaatsing te zien. Na 1997 is er echter ook sprake van een landwaartse verplaatsing, waardoor de levensduur van deze suppletie ongeveer 3 jaar was (MKL 1,5 jaar, GLW 3 jaar, GHW 1,5 jaar en DV 2 jaar). Op de raaien ten noorden van het suppletie gebied zijn er ook ontwikkelingen te zien die het effect van de suppletie kunnen zijn. Voor de MKL en GLW vertonen raaien 4925 en 4950 nog effecten, voor de GHW de raaien 4900 en 4925, en voor de DV de raaien 4900-4950.

4.2.2. STRANDSUPPLETIE 2005 (RAAI 4650-4850)

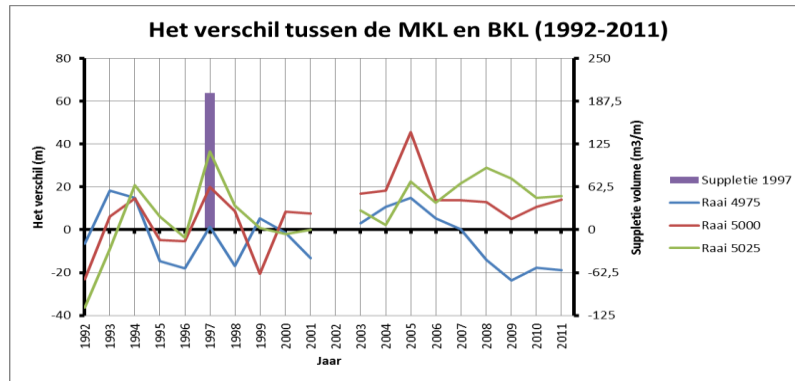
Van deze suppletie liggen alle raaien in het te onderzoeken gebied. Er zijn twee gebieden te onderscheiden die ongeveer hetzelfde gedrag vertonen: 4675-4750 en 4775-4825. De randraaien zijn hier niet bij opgenomen, omdat deze afwijkend gedrag vertonen. In het gebied 4675-4750 vertonen de MKL en GLW een directe grote zeewaartse verplaatsing na de aanleg. In het gebied 4775-4825 is deze verplaatsing meer geleidelijk. Voor de GHW en de DV is de grote verplaatsing over ongeveer gelijktijdig. De randraaien (4650 en 4850) vertonen afwijkend gedrag voor de MKL en GLW. De verplaatsing is kleiner en duurt minder lang. Deze suppletie heeft ook effect gehad op naburige raaien, in zowel de noordelijke als de zuidelijke richting.

4.3. ALGEMEEN (1992-2011 ALLE RAAIEN)

Nu wordt er gekeken naar alle raaien over de gehele periode. De suppleties hebben natuurlijk invloed gehad nadat zij aangelegd zijn, maar er wordt hier niet extra op ingegaan.

4.3.1. MKL

Tussen 2010 en 2011 hadden de volgende raaien een zeewaartse verplaatsing: 4575, 4600, 4675, 4700, 4825, 4850, 4875, 4950, 5000 en 5025. Over de gehele periode genomen, vertonen er een redelijk aantal raaien een netto landwaartse verplaatsing. Raai 4575 vertoont een licht zeewaartse trend, 4625 een licht landwaartse trend en raai 4600 zit daar ongeveer tussen in. De raaien 4650-4750 vertoonden zowel voor als na de suppletie een duidelijke landwaartse trend. Tussen de raaien 4775-4850 is er geen duidelijke trend te zien, maar daar blijft de MKL over een langere periode redelijk constant. Raaien 4875-4950 vertonen over de gehele periode een landwaartse trend. Raai 4975 lijkt een landwaartse trend te hebben, maar het effect van de suppletie (1997) maakt dat moeilijker om te herkennen. Raaien 5000 en 5025 lijken redelijk constant te blijven, maar ook bij deze raaien zijn er effecten van de suppletie (1997)(Figuur 11).



Figuur 11: Het verschil tussen de MKL en BKL bij raaien 4975-5025

4.3.2. GLW

De GLW vertoont op alle raaien, inclusief de raaien waar suppleties uitgevoerd zijn, een grote variabiliteit. De trends in 2011 verschillen per raai. Sommige raaien hebben een zeewaartse trend (raaien 4550-4700, 4775, 4825, 4875, 4900, 4925, 4975, 5025), en de andere raaien hebben een landwaartse trend. Ook de grootte van de trend verschilt per jaar en per raai.

4.3.3. GHW

De GHW is minder variabel dan de GLW, maar op het oog is er geen duidelijk patroon. Alleen op de raaien 4575 en 4700 is er in 2011 een zeewaartse trend te zien. Over de gehele periode is bij sommige raaien een landwaartse trend te zien, en bij sommige een zeewaartse.

4.3.4. DV

De DV blijft over alle raaien redelijk constant, behalve als er suppleties uitgevoerd zijn. De raaien 4625, 4650, 4725 en 4900 vertonen in 2011 een landwaartse trend. Tussen de raaien 4800 en 4950 de DV over de gehele periode een (lichte) landwaartse trend. Bij de andere raaien is er een (lichte) zeewaartse trend te onderscheiden.

4.4. OPVALLENDE RESULTATEN

Er zijn een aantal opvallende resultaten die hierbij besproken worden. Voor een aantal van deze opvallende resultaten hoort (ongeveer) dezelfde verklaring.

4.4.1. ONVOLLEDIG PROFIEL

Bij een aantal raaien is bij een aantal jaar niet het volledige profiel beschikbaar. Daarom moet er een deel van het profiel geïnterpoleerd worden. Dit wordt gedaan door een rechte lijn tussen de twee naastliggende, bekende punten te trekken. Dit zorgt er voor dat de bepaling van de kustindicator onnauwkeurig is.

4.4.2. KLEINE VERSCHILLEN IN HET PROFIEL

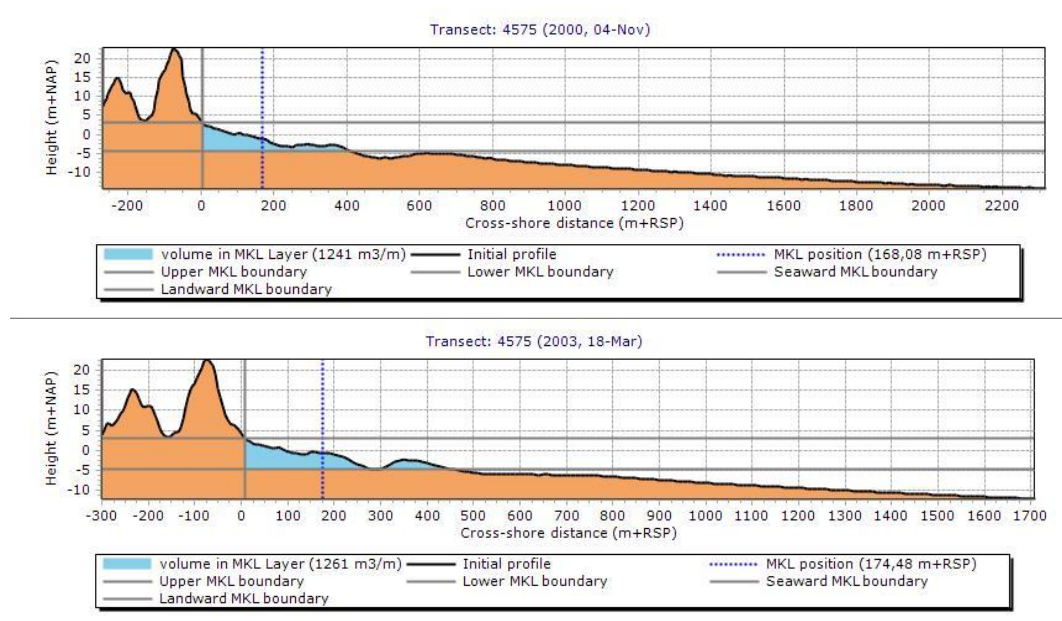
Bij een aantal resultaten zijn er grote verschillen te zien in een tijdsperiode van 3 jaar. Er is eerst sprake van een grote zeewaartse verplaatsing, gevolgd door een grote landwaartse verplaatsing. Dit heeft waarschijnlijk te maken met kleine verschillen in het profiel, waardoor er meerdere plekken in het profiel zijn ter hoogte van de kustlijn. Als de meest zeewaartse gekozen wordt, kan dit betekenen dat de ligging van de indicator onnauwkeurig is. Een voorbeeld hiervan is de GLW van raai 5025 in 2008.

4.4.3. OVERIGE

Er zijn ook nog opvallende resultaten die niet door deze twee verklaard kunnen worden:

De MKL van raai 4575 van 2003-2008:

Er is tussen 2003 en 2008 sprake van een grote landwaartse beweging, gevolgd door een grote zeewaartse verplaatsing. De zuidelijkere raaien vertonen deze bewegingen niet. De oorzaak van deze bewegingen zouden verklaard kunnen worden door het plaatselijke bankengedrag (het ontstaan en uitdempen van banken) voor de kust waardoor de MKL berekening andere resultaten kan krijgen. In 2000 is er bijvoorbeeld nog geen duidelijke bank te onderscheiden, maar in 2003 is deze al beter te zien (Figuur 12), en in de daaropvolgende jaren nog beter.



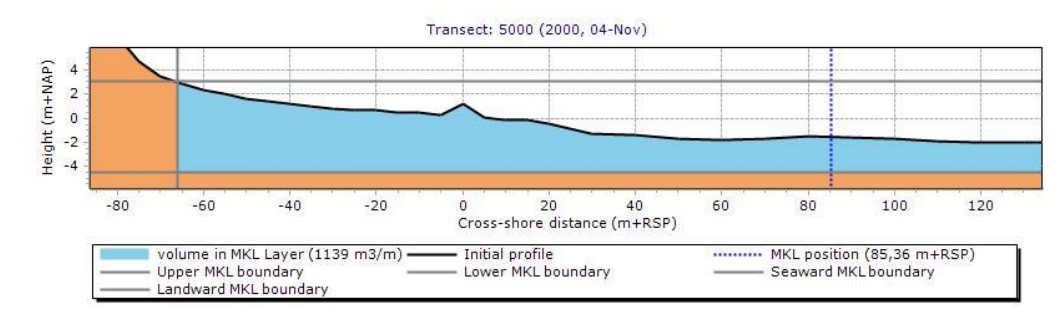
Figuur 12: Raai 4575 boven in 2000 (geen duidelijke bank) en onder in 2003 (bank tussen 300 tot 400 m+RSP)

De GLW van raai 4775 in 2002:

Er is sprake van een grote landwaartse verplaatsing, terwijl naburige raaien deze verplaatsing niet hebben. Het is moeilijk in te schatten waardoor deze ligging opeens zo ver landwaarts is, maar het zou kunnen komen door een vervlakking van het profiel, waardoor de lijn niet bij een bank ligt, maar direct op het strand. Het zou echter ook kunnen komen door bijzonder grote erosie specifiek bij deze raai.

De GHW van raai 5000 in 2000:

Er is sprake van een grote zeewaartse verplaatsing, terwijl naburige raaien deze niet hebben. Er zit opeens een heuvel in het profiel van ongeveer 10 meter lang en iets meer dan 1 meter hoog (Figuur 13). De hellingen zijn gelijkmatig aan beide zijden van de heuvel. Het ziet er niet erg natuurlijk uit, maar in 1999 en 2000 is er hier geen suppletie uitgevoerd. Hier is waarschijnlijk sprake van een meetfout.



Figuur 13: Raai 5000 in 2000 (heuvel tussen -5 en 5 m+RSP)

4.5. CONCLUSIE

De suppletie van 1997 heeft een positief effect gehad op de kustindicatoren van de raaien (4975-5025) waar deze is uitgevoerd, want de kustindicatoren verplaatsten zich zeewaarts. Het effect van de suppletie was 1,5-3 jaar zichtbaar. De suppletie heeft op de noordelijkere raaien ook invloed gehad. Het is niet duidelijk of dit voor alle indicatoren geldt.

De suppletie van 2005 heeft voor alle raaien tot een zeewaartse verplaatsing van de DV geleid. Voor de overige indicatoren zijn er 3 verschillende gebieden aan te wijzen: de randraaien (4650 en 4850), de noordelijke raaien (4675-4725) en de zuidelijke raaien (4750-4825). Bij de noordelijke raaien is er direct in 2005 een grote zeewaartse verplaatsing te zien. Bij de zuidelijke raaien gebeurt dit meer geleidelijk. De randraaien vertonen afwijkend gedrag. Zowel ten noorden als ten zuiden van de suppletie zijn er zeewaartse verplaatsingen te zien die waarschijnlijk het gevolg zijn van de suppletie.

Over de periode 1992-2011 vertoont de MKL-ligging bij de meeste raaien een netto landwaartse verplaatsing. Tussen 2010 en 2011 was er bij 11 van de 20 raaien sprake van een zeewaartse verplaatsing. De GLW vertoont over de dezelfde periode bij veel raaien een grote variabiliteit. Tussen 2010 en 2011 is er sprake van een zeewaartse verplaatsing bij 14 van de 20 raaien. De GHW is minder variabel dan de GLW, maar er is geen duidelijk patroon te zien. Tussen 2010 en 2011 hebben slechts 2 raaien een zeewaartse verplaatsing. De DV blijft over de gehele periode redelijk constant. Tussen de raaien 4800 en 4950 is er over de gehele periode (1992-2011) een netto zeewaartse verplaatsing van de DV. 16 raaien vertonen tussen 2010 en 2011 een zeewaartse verplaatsing.

Er waren ook een aantal resultaten die opvielen. Dit kwam o.a. door ontbrekende metingen waardoor er geen nauwkeurige bepaling gedaan kon worden, maar ook kleine verschillen in het profiel die voornamelijk de GLW en GHW sterk kunnen doen veranderen. Ook is er gebleken dat de MKL berekening beïnvloed wordt door het wel of niet aanwezig zijn van banken in de rekenschijf.

5. DE KUST VAN 2011-NU

In dit hoofdstuk staat de analyse van de ontwikkeling van de kust van 2011 tot en met nu (raaien 4550-5025). Dit is gedaan met behulp van de kustindicatoren MKL (en BKL), GLW, GHW en DV. In paragraaf 5.1 staan de overschrijdingen die plaatsgevonden hebben. Paragraaf 5.2 wijdt uit over de ontwikkelingen binnen de ligging van de kustindicatoren en het effect van de suppletie. En paragraaf 5.3 vergelijkt het dieper aangelegde noordelijk deel (-6m+NAP) met het zuidelijk deel (-5m+NAP). Bij de analyse is er gebruik gemaakt van grafieken te zien in bijlageC.

5.1. OVERSCHRIJDINGEN

In de onderzoeksperiode is de BKL bij een 7 raaien in totaal 12 keer overschreden (Tabel 5).

Noord		92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
	4550																							
	4575																							
	4600																							
	4625																							
	4650																							
	4675																							
	4700																							
	4725																							
	4750																							
	4775																							
	4800																							
	4825																							
	4850																							
	4875																							
	4900																							
	4925																							
	4950																							
	4975																							
	5000																							
Zuid	5025																							

Tabel 5: Overschrijdingen van raaien (in rood) BKL 1992-2014; suppleties aangekruisd

Na 2012 nemen de overschrijdingen af. Dit is waarschijnlijk toe te schrijven aan de suppletie. Dat het aantal overschrijdingen in 2012 nog toeneemt, kan worden verklaard, want het grootste gedeelte van de suppletie is na de metingen van 2012 aangelegd, maar ook omdat de suppletie nog niet 'werkt'. Kijkend naar de afname in het aantal overschrijdingen lijkt de suppletie een positief effect te hebben. De overschrijdingen lijken zuidwaarts te verplaatsen.

5.2. ONTWIKKELING KUSTINDICATOREN

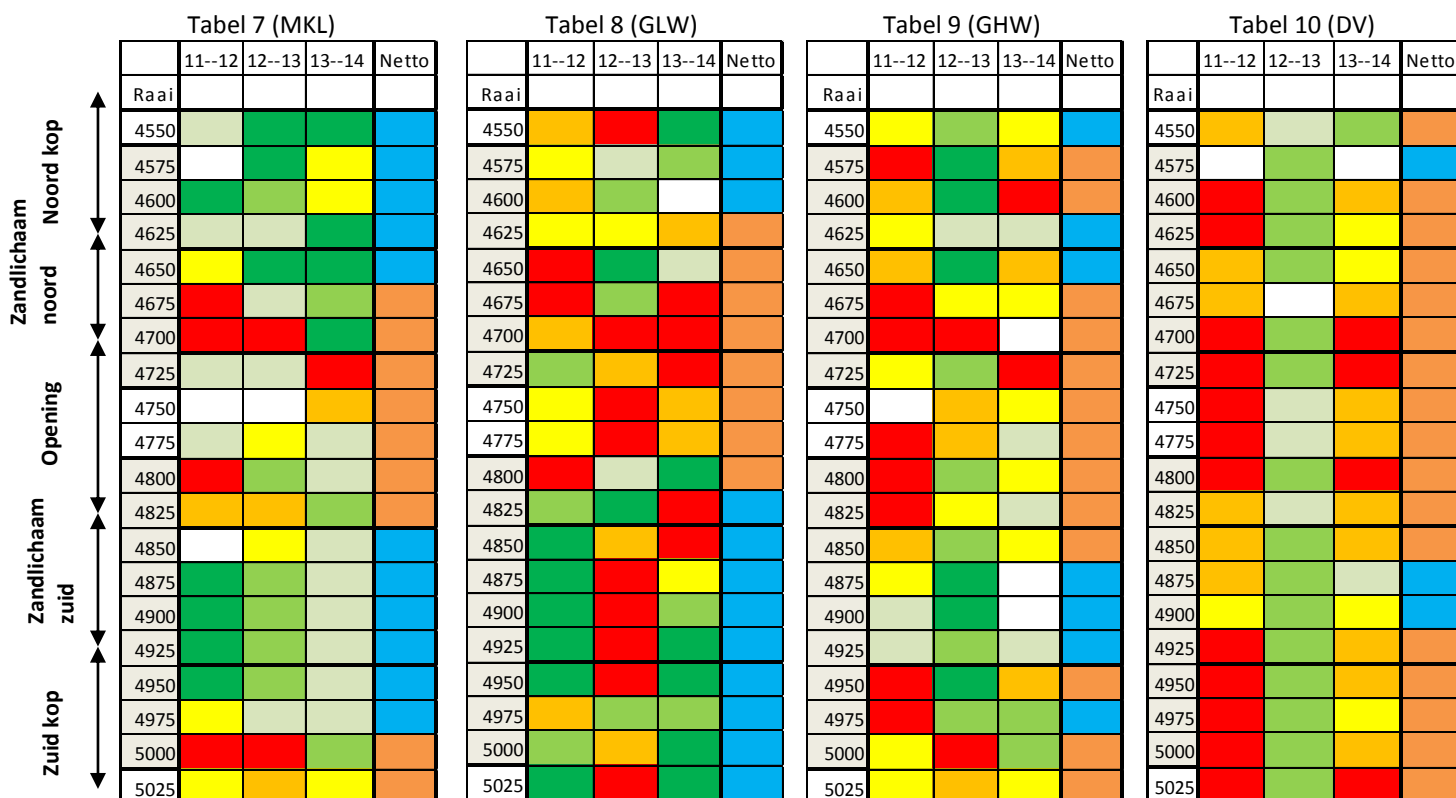
Nu wordt er gekeken hoe de kustindicatoren zich in deze periode ontwikkeld hebben. Het is hierbij interessant om onderscheid te maken tussen verschillende gebieden. De raaien rond de opening (raaien 4725-4825), de koppen van de lichamen (noord: raaien 4550-4625, zuid: raaien 4950-5025) zijn interessant, en ten slotte is het belangrijk om te kijken of de twee zandlichamen zich anders gedragen. (noord: raaien 4650-4700, zuid: raaien 4850-4925). Er wordt direct gekeken of de ontwikkelingen toe te schrijven zijn aan de suppletie uit 2011-2012.

Om de verplaatsingen van de kustindicatoren te presenteren zijn er zeven klassen verplaatsingen opgesteld: sterk landwaarts (SL), landwaarts (L), licht landwaarts (LL), gelijk (G), licht zeewaarts (LZ), zeewaarts (Z) en sterk

zeewaarts (SZ). Per indicator zijn verschillende groottes qua verplaatsing gekoppeld aan de klasse (Tabel 6). De grootte van de klassen heb ik zelf bepaald, en deze zijn zodanig bepaald dat er genoeg contrast ontstaat in de tabellen 7-10. De kleurcodering wordt gebruikt in Tabellen 7-10. De netto verplaatsingen worden ook gegeven, blauw staat voor een netto zeewaartse verplaatsing, oranje voor een netto landwaartse verplaatsing. Deze klassenindeling is gebruikt, om de indicatoren makkelijker met elkaar te kunnen vergelijken.

Indicator	SL	L	LL	G	LZ	Z	SZ
MKL	<-10	-5 t/m -10	-1 t/m -5	-1 t/m 1	1 t/m 5	5 t/m 10	>10
GLW	<-20	-7.5 t/m -20	-1 t/m -7.5	-1 t/m 1	1 t/m 7.5	7.5 t/m 20	>20
GHW	<-10	-5 t/m -10	-1 t/m -5	-1 t/m 1	1 t/m 5	5 t/m 10	>10
DV	<-7.5	-2.5 t/m -7.5	-0.5 t/m -2.5	-0.5 t/m 0.5	0.5 t/m 2.5	2.5 t/m 7.5	>7.5

Tabel 6: Klassenindeling voor de kustindicatoren (verplaatsing tussen jaren in meters [positief is zeewaarts, negatief is landwaarts])



Tabellen 7-10: Verplaatsingen van de kustindicatoren (MKL: 7, GLW: 8, GHW: 9, DV:10) tussen 2011 en 2012, 2012 en 2013, 2013 en 2014, en 2011 en 2014 (netto); Grijs blokken in de kolom 'raai' geeft de locatie van de suppletie aan; In de kolom 'netto' staat blauw voor zeewaarts, en oranje voor landwaarts

5.2.1. RAAIEN ROND DE NOORD KOP (RAAIEN 4550-4625)

De MKL doet het in dit gebied erg goed en heeft op alle raaien netto een zeewaartse verplaatsing. Dit is waarschijnlijk het resultaat van de suppletie, want voor 2011 verplaatsten deze raaien zich landwaarts. De GLW verplaatst zich vanaf 2012 bij de meeste raaien zeewaarts en netto gezien leidt dit tot een netto zeewaartse verplaatsing bij 3/4 raaien. Dit is niet per se het resultaat van de suppletie, want voor 2011 verplaatste de GLW zich al zeewaarts. Deze verplaatsing zou ook het effect van natuurlijke processen kunnen zijn (bijv. het plaatselijke bankengedrag). De GHW en DV verplaatsen zich voornamelijk tussen 2012 en 2013 zeewaarts. Dit is een tijdelijke piek, en deze is daarom waarschijnlijk toe te schrijven aan de suppletie.

5.2.2. NOORDELIJK ZANDLICHAAM (RAAIEN 4650-4700)

De MKL heeft alleen bij raai 4650 een netto zeewaartse verplaatsing, maar tussen 2013 en 2014 is er wel sprake van zeewaartse verplaatsingen bij alle raaien. Dit kan er op duiden dat er nog effecten van de suppletie te verwachten zijn. Deze zeewaartse verplaatsingen zijn waarschijnlijk het effect van de suppletie. De GLW vertoont bijna alleen maar landwaartse verplaatsingen, en er zijn dus (nog) geen effecten van de suppletie te zien. Ditzelfde geldt voor de GHW. De DV heeft tussen 2012 en 2013 een zeewaartse verplaatsing bij 4650 en 4700. Bij raai 4675 blijft de ligging ongeveer gelijk. Dit zou het effect van de suppletie kunnen zijn, want het is een korte, specifieke piek.

5.2.3. RAAIEN ROND DE OPENING (RAAIEN 4725-4825)

Bij de opening is het niet duidelijk of er effecten zijn van de suppletie. Per jaar en per raai zit er veel verschil tussen de verplaatsingen. Wel is, op de GLW van raai 4825 na, de netto verplaatsing overal landwaarts. Een positief teken is dat de MKL zich tussen 2013 en 2014 tussen de raaien 4775 en 4825 zeewaarts verplaatst. Dit zou kunnen komen door zandtransport van zuid naar noord. Het zou hier gaan om zand vanuit het zuidelijk deel van de suppletie dat door transport ook invloed heeft op het deel waar geen suppletie is aangelegd.

5.2.4. ZUIDELIJK ZANDLICHAAM (RAAIEN 4850-4925)

Voor de MKL verplaatsen alle raaien zich netto zeewaarts. Alle raaien verplaatsen zich tussen 2013 en 2014 nog zeewaarts, maar de verplaatsing is kleiner dan de jaren daar voor. De netto zeewaartse verplaatsing is waarschijnlijk toe te schrijven aan de suppletie. Voor de GLW verplaatsen alle raaien zich ook netto zeewaarts. Wat hier opvalt, is dat er tussen 2011 en 2012 een grote zeewaartse verplaatsing plaatsvindt en het jaar erna een grote landwaartse. Tussen 2013 en 2014 verplaatsen raaien 4850 en 4875 zich landwaarts, de andere twee verplaatsen zich zeewaarts. Door de grote variatie is het niet mogelijk om deze effecten toe te schrijven aan de suppletie. Het kan hier ook gaan om effecten van natuurlijke processen als het plaatselijke bankengedrag. Bij de GHW verplaatst alleen raai 4850 zich netto landwaarts. Tussen 2013 en 2014 zijn de verplaatsingen klein. Dit komt waarschijnlijk door de suppletie. Voor de DV verplaatsen de raaien 4875 en 4900 zich netto zeewaarts. Raai 4875 is de enige raai in het onderzoeksgebied waar de DV zich tussen 2013 en 2014 zeewaarts verplaatst. Hier is ook een korte, specifieke zeewaartse verplaatsing tussen 2012 en 2013 die toe geschreven kan worden aan de suppletie.

5.2.5. RAAIEN ROND DE ZUID KOP (RAAIEN 4950-5025)

De raaien 4950 en 4975 vertonen bij de MKL een netto zeewaartse verplaatsing. Alleen raai 5025 vertoont tussen 2013 en 2014 een landwaartse verplaatsing. Hier is duidelijk te zien dat de noordelijke raaien (4950 en 4975) het beter doen dan de zuidelijkere raaien (5000 en 5025). Dit zou kunnen komen door het zandtransport parallel aan de kust, maar ook omdat de raaien 5000 en 5025 aan de rand van de suppletie liggen en daarom meer erosie ondervinden. Voor de GLW vertonen alle raaien een netto zeewaartse verplaatsing. Het is niet te zeggen of dit door de suppletie komt of door natuurlijke processen. Voor de GHW heeft alleen raai 4975 een netto zeewaartse verplaatsing. Over het algemeen is er sprake van een landwaartse verplaatsing. Hier is het effect van de suppletie niet te herkennen. Voor de DV geldt hier hetzelfde als bij het zuidelijk zandlichaam.

5.3. VERGELIJKING NOORD-ZUID

Nu wordt het noordelijk deel van de suppletie vergeleken met het zuidelijke deel om te kijken of het gedrag van beide delen overeenkomt of verschilt.

5.3.1. NOORD KOP VS. ZUID KOP

Als de noord kop met de zuid kop vergeleken wordt, dan verschillen de netto effecten niet heel erg. Wat opvalt, is dat er tussen 2013 en 2014 bij de zuid kop er nog sprake is van een zeewaartse verplaatsing, terwijl dit bij de noord kop er in veel mindere mate is. Dit is opvallend, aangezien het zuidelijk deel van de suppletie eerder afgerond was, en het dus te verwachten was dat de effecten van de suppletie daar eerder zouden afnemen. De zuid kop lijkt in 2014 dus meer positieve effecten van de suppletie te hebben dan de noord kop. Dit zou te maken kunnen hebben met het dieper aanleggen van het noordelijk deel van de suppletie.

5.3.2. NOORDELIJK ZANDLICHAAAM VS. ZUIDELIJK ZANDLICHAAAM

De effecten op de kustindicatoren van de suppletie lijken in het zuidelijk deel positiever dan in het noordelijke deel. Waar in het noordelijk deel alleen raai 4650 voor 2 indicatoren een zeewaartse verplaatsing heeft, heeft in het zuidelijk deel elke raai voor minstens 2 indicatoren een zeewaartse verplaatsing. In het noordelijk deel is er in 2014 echter nog wel een grote zeewaartse verplaatsing van de MKL waar te nemen, terwijl deze in het zuidelijk deel bijna weg is. Voor de MKL is het dus nog niet met zekerheid te zeggen dat het zuidelijk deel zich in beter ontwikkeld heeft.

5.4. CONCLUSIE

Na de start van de aanleg van de suppletie nam het aantal overschrijdingen nog toe tot 2012. Hierna namen de overschrijdingen af. Om de ontwikkeling in te schatten werd het gebied verdeeld in 5 deelgebieden. De noord kop had voor de MKL op alle raaien een netto zeewaartse verplaatsing. Voor de andere indicatoren waren de effecten minder eenduidig. De effecten van de suppletie vonden voornamelijk plaats tussen 2012 en 2013.

Het noordelijk zandlichaam vertoont voor de meeste raaien en de meeste indicatoren een netto landwaartse verplaatsing. De effecten van de suppletie zijn voornamelijk waar te nemen tussen 2012 en 2013. Tussen 2013 en 2014 verplaatst de MKL zich echter ook nog zeewaarts.

De opening heeft netto bijna alleen maar landwaartse verplaatsingen. De effecten van de suppletie zijn niet duidelijk aan te geven. Tussen 2013 en 2014 vertoont de MKL op raaien 4775-4825 wel een zeewaartse trend.

Het zuidelijk zandlichaam heeft netto veel zeewaartse verplaatsingen. Voor de MKL en GLW zijn de effecten van de suppletie te zien tussen 2011 en 2012, voor de GHW en DV is dit voornamelijk te zien tussen 2012 en 2013.

De zuid kop heeft voor de MKL en GLW voornamelijk netto zeewaartse verplaatsingen, en voor de GHW en DV netto landwaartse verplaatsingen. De effecten van de verplaatsingen zijn voornamelijk te zien tussen 2012 en 2013 en 2014. Tussen 2013 en 2014 zijn er nog veel zeewaartse verplaatsingen te zien.

Als het noordelijk deel van de suppletie met het zuidelijk deel van de suppletie vergeleken worden, dan lijkt het zuidelijk deel positievere effecten te hebben (meer zeewaartse verplaatsingen). Dit is voornamelijk te zien in de gebieden in het midden van de zandlichamen. De noord kop laat over de gehele periode net als de zuid kop een zeewaartse verplaatsing zien. Maar tussen 2013 en 2014 is er bij de zuid kop nog sprake van zeewaartse verplaatsingen, en als dit door zet, dan zijn de effecten op de zuid kop positiever dan die op de noord kop. Het noordelijk zandlichaam vertoont duidelijk minder zeewaartse verplaatsingen dan het zuidelijk lichaam. Dit is te zien aan de netto verplaatsingen, maar ook aan de verplaatsingen tussen 2013 en 2014. Het lijkt er dus op dat de kustindicatoren in het noordelijke deel minder en minder grote zeewaartse verplaatsingen kent dan het zuidelijk deel. Daarom lijkt het noordelijke deel minder positieve effecten te ondervinden dan het zuidelijke deel. Dit heeft er waarschijnlijk mee te maken dat het noordelijk deel dieper is aangelegd.

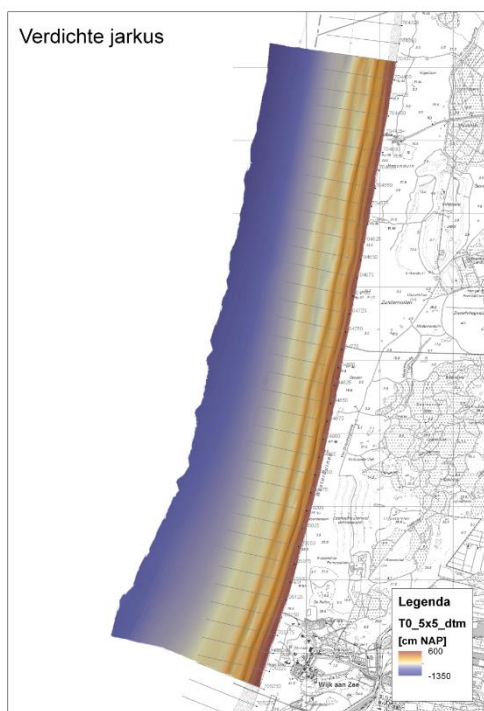
6. VOLUMEONTWIKKELING VAN HET GEBIED

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar volumeontwikkeling binnen het gebied. In paragraaf 6.1 staat de ontwikkeling van de suppletie beschreven. Paragraaf 6.2 gaat over de ontwikkeling van de bodemhoogte in het gebied, en paragraaf 6.3 onderzoekt of er sprake is van kustlangse variatie.

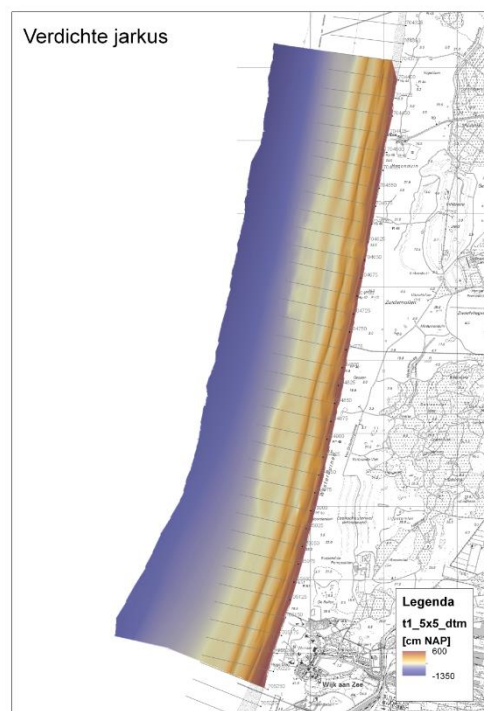
6.1. ONTWIKKELING SUPPLETIE

De bathymetrische kaarten die gebruikt zijn, zijn te vinden in bijlage D. In totaal zijn er 12 metingen, maar T5 (12-2013) was niet helemaal bruikbaar, omdat er een deel van de meting ontbrak.

In 02-2011 is de meting gedaan waar er nog niets gebeurd is (Figuur 14), er is nog sprake van het 'onaangetaste' systeem. Er zijn drie banken te onderscheiden voor de kust. In 09-2011(T1) is het zuidelijke lichaam waar te nemen, het noordelijke lichaam is al te herkennen (Figuur 15). In 02-2012(T2) is er een duidelijk verschil in het kustprofiel te zien. Het zuidelijke lichaam is duidelijker te zien en aan de landzijde heeft zich een trog gevormd voor de suppletie van raai 4900 tot raai 5050. Het noordelijk lichaam is ook beter te zien, en vanaf raai 4750 naar het noorden loopt ook een trog.



Figuur 14: T0 (verdichte jarkus meting RWS) (02-2011)



Figuur 15: T1 (verdichte jarkus meting RWS) (09-2011)

In 09-2012 (sept) is het zuidelijk lichaam afgerond en duidelijk zichtbaar. In het lichaam zelf zijn er enkele hoogteverschillen te zien. Het noordelijke lichaam is niet veel veranderd. Een maand later (T3) is hetzelfde beeld te zien. Bij 11-2012 (nov) blijft het zuidelijk lichaam hetzelfde en het noordelijk lichaam is nu ook afgerond en vertoont ook hoogteverschillen in het lichaam. Er ontstaan in het noordelijk deel verhogingen op de eerste bank.

Bij de SHORE meting uit 01-2013 (jan) is te zien dat er gaten zijn ontstaan in het zuidelijke lichaam (rond raaien 4850 en 4875). Dit zou ontstaan kunnen zijn doordat fijn materiaal is gebruikt (Vönhögen, 2014). De hoogteverschillen in het lichaam zijn minder en vormen nu een lange strook over de hele breedte van het lichaam. Deze strook ligt aan de zeezijde van de suppletie. Ditzelfde geldt voor het noordelijk lichaam. De Rijkswaterstaat meting uit dezelfde maand (T4) vertoont hetzelfde beeld. Tot juli 2013 (juli) lijkt het zuidelijk lichaam zich landwaarts te verspreiden. De gaten rond raaien 4850 en 4875 worden minder diep en ze worden gescheiden van elkaar. De bank tussen de suppletie en de kust lijken hoger en steiler te worden en op sommige plaatsen is er een landwaartse beweging te zien. De trog in het noorden zand dicht en loopt nu nog maar vanaf raai 4700 i.p.v. 4750.

Van T5 zijn niet alle metingen beschikbaar, dus is het moeilijk om wat over de ontwikkeling van de suppletie te zeggen. Tot april 2014 (T6) is er niet veel bijzonders te melden over de ontwikkeling van de suppletie. In augustus 2014 (aug) echter wel. De lichamen zijn duidelijk lager geworden en er zit minder variatie in de hoogte van de lichamen. Bij het zuidelijke lichaam zitten er diepere gaten in de geul voor het lichaam langs. De lichamen zijn tevens ook meer richting het land verplaatst.

6.2. ONTWIKKELING VAN DE BODEMHOOGTE

Het gebied wordt ingedeeld in 10 deelgebieden (Figuur 16). Deze indeling wordt gebruikt bij het in kaart brengen van de hoogteverschillen van de bodem en dat zegt direct wat over de volumeveranderingen. Figuur 17 is gebruikt bij deze analyse, overige grafieken staan in Bijlage E.

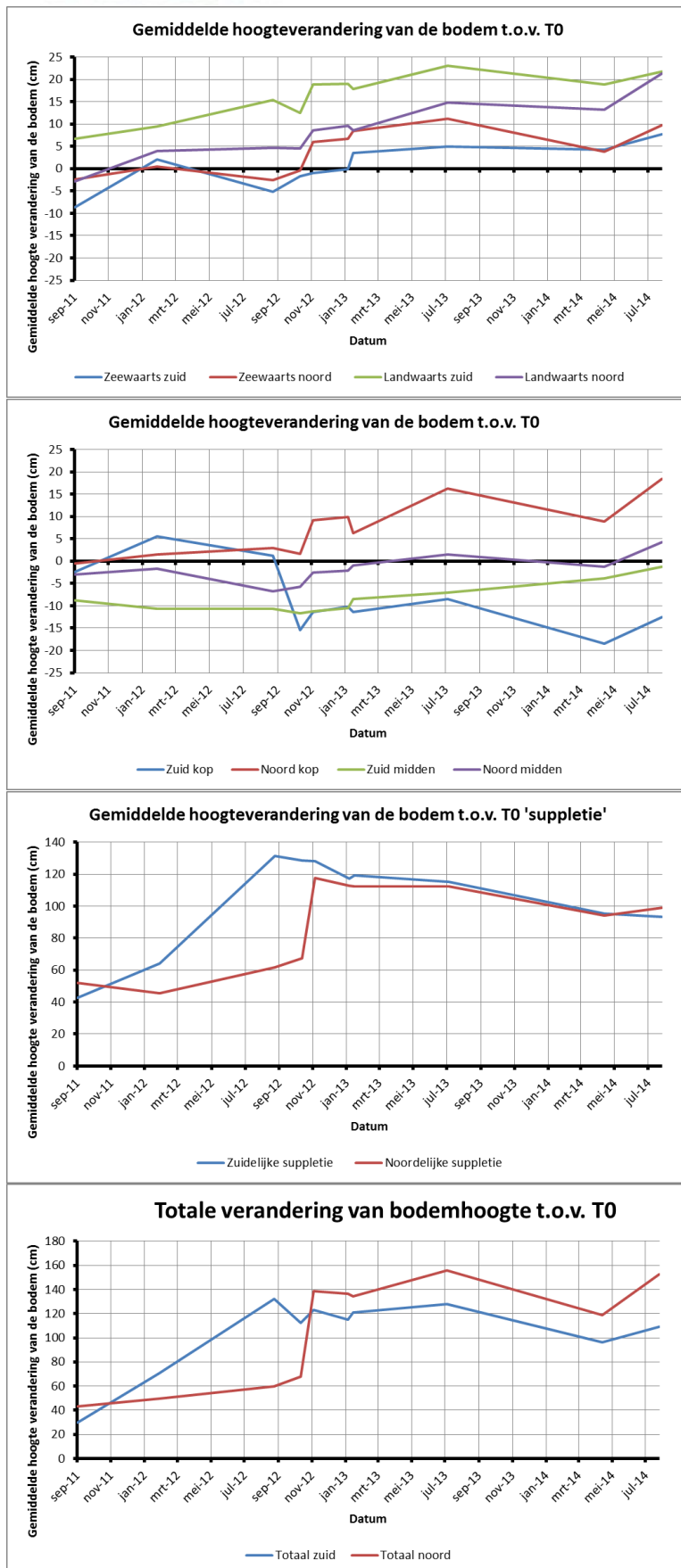
6.2.1. DE DEELGEBIEDEN

Over de gehele periode is er in beide landwaartse en beide zeewaartse gebieden een verhoging in de bodem waar te nemen. Bij de twee landwaartse gebieden is deze gemiddelde verhoging ongeveer even groot (+21 cm). Bij de zeewaartse gebieden heeft het noordelijk deel een gemiddelde verhoging van 10cm en het zuidelijk deel heeft een gemiddelde verhoging van 8cm. Na juli 2013 is er bij alle 4 de deelgebieden sprake van afname, maar na april 2014 is er weer sprake van een verhoging van de bodem (Figuur 17A).

In beide midden deelgebieden was er in het begin sprake van een verlaging van de bodem, maar na oktober 2012 is er sprake van bodemverhoging. Dit betekent waarschijnlijk dat het zand van de zandlichamen ook het middengebied ingaat. In het zuidelijk deel was er in augustus 2014 nog wel sprake van een bodemverlaging (1cm), in het noordelijk deel was er een verhoging van 4cm (Figuur 17B).

De koppen vertonen verschillend gedrag vergeleken met elkaar. Tot en met september 2012 is er bij beide deelgebieden sprake van een verhoging. Het zuidelijk deel neemt daarna echter sterk af (verlaging), terwijl het noordelijk deel toeneemt (verhoging). Dit heeft geresulteerd in een verlaging van 13cm in het zuidelijk deel en een verhoging van 18cm in het noordelijk deel (Figuur 17B). In het zuidelijk deel vond er een grote afname plaats vlak na de afronding van het lichaam. Het is daarom onwaarschijnlijk dat dit komt door het netto transport van zuid naar noord, want dat is uitgespreid over een langere periode. Dat dit door een storm komt is ook onwaarschijnlijk, omdat andere deelgebieden deze afname niet kennen. Het is voor mij niet mogelijk om deze grote afname te verklaren.

Beide delen van de suppletie vertonen, zoals verwacht, een grote toename (Figuur 17C). Het zuidelijk deel kent een verhoging van 93cm, en het noordelijk deel van 99cm. Nadat een lichaam afgerond was, is zoals verwacht een afname te zien. Dit betekent dat het zand uit de suppletie zich verspreid. Het zuidelijk deel is al langer aan het eroderen. Daarom kan hieruit niet geconcludeerd worden wel deelgebied (noord of zuid) positievere effecten heeft.



Figuur 17A, B, C en D: Gemiddelde hoogteverandering van de bodem t.o.v. T0 voor de verschillende gebieden (A, B, C) en Totaal (D)



Figuur 16: Indeling deelgebieden (Bron: Vonhögen, 2014)

6.2.6. OPVALLENDE RESULTATEN

Er zijn twee opvallende processen waar te nemen: een grote afname tussen juli en T6, en toenames na het afronden van de suppletie (tussen T4 en juli, en tussen T6 en aug)(Figuur 17D). De grote afname na juli komt waarschijnlijk door 3 stormen die tussen de metingen plaatsgevonden hebben. Daardoor kan er veel erosie plaatsgevonden hebben.

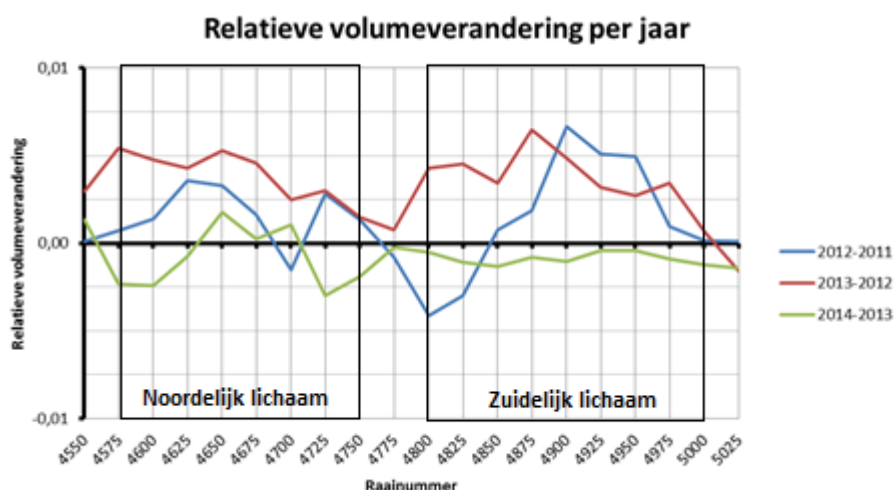
De toenames na het afronden van de suppletie zijn moeilijker te verklaren, want in elk gebied is er sprake van een toename (behalve een kleine afname in het zuidelijk zandlichaam, maar dit verklaart niet de gehele toename). Dit betekent dat het extra volume waarschijnlijk van buiten dit gebied komt. Dit kan dan komen vanuit het zeewaartse gebied, of vanuit andere raaien buiten het gebied. Het gaat hier dan waarschijnlijk om zuidelijkere raaien.

6.2.7. NOORDELIJK DEEL VERGELEKEN MET HET ZUIDELIJK DEEL

Als het noordelijk deel met het zuidelijk deel vergeleken wordt, kan worden gesteld dat als aug vergeleken wordt T0 het noordelijk deel meer volume erbij krijgt dan het zuidelijk deel. In alle deelgebieden (behalve landwaarts) doet de noordelijke variant het beter. Dit kan meerdere oorzaken hebben. Allereerst kan het komen, omdat de zuidelijke variant er al langer ligt, en dus ook al langer aan erosie onderhevig is geweest. Ten tweede kan het komen door kust parallel transport van zuid naar noord, waardoor het noordelijk deel ook profiteert van het zuidelijk deel. Ten slotte kan het ook komen door het lager aanleggen van het noordelijk deel van de suppletie, waardoor er minder erosie plaatsvindt.

6.3. KUSTLANGSE VARIATIE

Door gebruik te maken van de volumes verkregen uit MorphAn wordt er gekeken of er kustlangse variatie is in de volumeontwikkeling. Beide suppleties liggen binnen het rekenvlak. Er wordt per jaar gekeken naar de relatieve volumeverandering per raai (Figuur 18). En vervolgens wordt ook het totaal plaatje erbij gepakt (Figuur 19). De relatieve volumeverandering is bepaald ten opzichte van het volume van een raai in 2011. De waarde 0 staat voor het volume in 2011. De waarde 0,005 staat bijv. voor 1,005 keer zoveel volume als in 2011 (toename) en de waarde -0,005 staat voor 0,995 keer zoveel volume als in 2011 (afname).



Figuur 18: Relatieve volume verandering per jaar per raai

6.3.1. 2012-2011 (KLEIN DEEL AANGELEGD)

Tussen 2011 en 2012 is er bij de raaien 4700, 4775, 4800 en 4825 sprake van afname. De overige raaien hebben allemaal een toename qua volume. De grootste pieken zijn bij raaien 4625, 4725 en 4900. De zuidelijke suppletie is duidelijk terug te zien, de noordelijke minder. Deze resultaten zijn niet verrassend, want de raaien waar er sprake is van afname, liggen dicht bij de opening. En dat het noordelijke deel minder zichtbaar is, is ook logisch, want de aanleg van dat deel was minder ver dan het zuidelijk deel ten tijde van de metingen (01-2012).

6.3.2. 2013-2012 (BEIDE LICHAMEN AFGEROND)

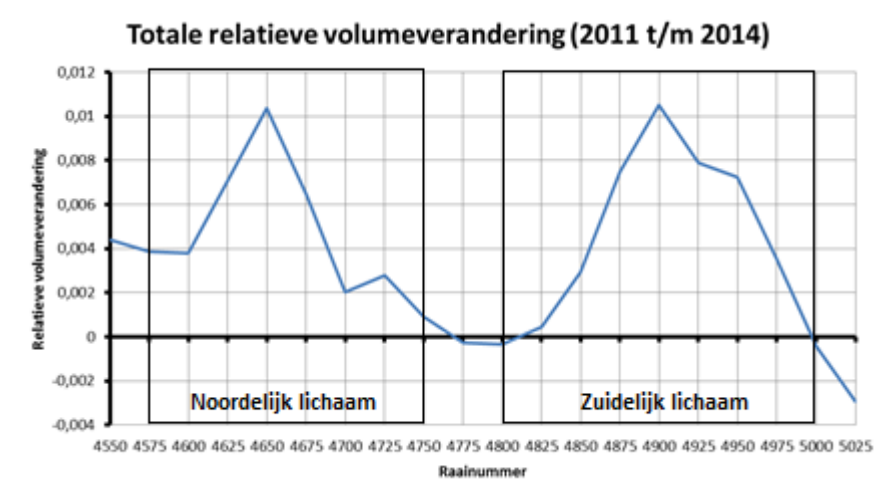
Tussen 2012 en 2013 gaat er alleen bij raai 5025 volume af, de andere raaien krijgen er allemaal extra volume bij. Bij raaien 4775 en 5000 is de toename het kleinst, de grootste pieken liggen bij de raaien 4575, 4650 en 4875. De opening tussen de twee lichamen is terug te zien. Dit is voornamelijk aan de noordkant van de opening. Hier is een minder grote toename te zien (raaien 4700-4775). Dat raai 5025 niet toeneemt is niet vreemd, want deze raai valt buiten de suppletie.

6.3.3. 2014-2013

Tussen 2013 en 2014 komt er alleen bij de raaien 4550 en 4650-4700 nog extra volume bij. De raaien 4575, 4600 en 4725 vertonen relatief gezien de grootste afname. Rond raai 4775 is de afname relatief erg klein. Bij de zuidelijke suppletie is er sprake van afname die bij raai 4850 het grootst is. Maar relatief gezien, is het verschil niet erg groot. De afname van het zuidelijk deel van de suppletie is geleidelijk. Dat is logisch, want het extra volume zand dat toegevoegd is, is zich aan het verspreiden. Opvallende resultaten zijn de toenames tussen raaien 4650-4700 en de toename bij raai 4550. Deze toenames zouden het gevolg kunnen zijn van kustlangstransport. Dit zou tevens de grotere afnames bij de raaien 4575, 4600 en 4725 kunnen verklaren.

6.3.4. 2014-2011 (TOTAAL)

In totaal zijn er twee duidelijke toename pieken te zien (Figuur 19). Dit is bij de raaien 4650 en 4900. Dit is halverwege beide lichamen. Bij raaien 4775 en 4800 is er in totaal sprake van volume afname. Dit heeft te maken met de opening tussen de zandlichamen. Ook de raaien 5000 en 5025 vertonen in totaal een afname. Dit komt waarschijnlijk omdat deze raaien aan de zijkant liggen van de suppletie.



Figuur 19: de totale relatieve volumeverandering in de periode 2011-2014 per raai

6.5. CONCLUSIE

Als er gekeken wordt naar de ontwikkeling van de suppletie d.m.v. bathymetrische kaarten, is te zien dat de suppletie effect heeft op het gebied tussen de zandlichamen en de kustlijn. Ook is te zien dat naarmate de tijd vordert de zandlichamen minder hoogteverschillen kennen en lager worden. Dit betekent dat de suppletie aan het eroderen is en dus het zand ergens anders terecht komt.

Als er gekeken wordt naar de ontwikkeling van het volume in 10 verschillende deelgebieden dan kan er geconcludeerd worden dat het noordelijk deel grotere bodemhoogte toenames kent als augustus 2014 vergeleken wordt met februari 2011 (voor de aanleg). Dit kan drie redenen hebben. Allereerst kan het komen, omdat de zuidelijke variant er al langer ligt, en dus ook al langer aan erosie onderhevig is geweest. Ten tweede kan het komen door kust parallel transport van zuid naar noord, waardoor het noordelijk deel ook profiteert van het zuidelijk deel. Ten slotte kan het ook komen door het lager aanleggen van het noordelijk deel van de suppletie, waardoor er minder erosie plaatsvindt. Het zou ook door een combinatie van deze drie kunnen komen.

Als er gekeken wordt per raai naar de relatieve volumeverandering dan zijn er twee pieken te zien rond het midden van beide lichamen. De opening is ook goed waar te nemen, en de noord kop lijkt meer volume er bij te krijgen dan de zuid kop. Dit zou te maken kunnen hebben met het feit dat het netto zandtransport langs de kust van zuid naar noord loopt.

7. DISCUSSIE

Het doel van dit onderzoek was om de effecten van de suppletie uit 2011 en 2012 op de kust bij Heemskerk (raaien 4550-5025) in kaart te brengen en om de volumeontwikkeling binnen dit gebied in kaart te brengen. Voor dit onderzoek is er gebruik gemaakt van data. In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar zaken die invloed hebben op het resultaat van het onderzoek. Er wordt gekeken naar de selectie van data (7.1), de verwerking van de data (7.2) en de analyse van de resultaten (7.3).

7.1. DE SELECTIE VAN DE DATA

Voor dit onderzoek was er erg veel data beschikbaar. Er was data over de kustindicatoren in de periode 1965-2014. De tijdsperiode voor de analyse had uitgebreid kunnen worden. Er is hier niet voor gekozen i.v.m. de overzichtelijkheid. Het is echter mogelijk dat als alle data gebruikt zou zijn, dat er andere conclusies getrokken zouden zijn. Dit valt echter waarschijnlijk wel mee. De keuze voor de periode vanaf 1992 was weloverwogen, maar het had ook met meer data uitgevoerd kunnen worden.

SHORE en RWS hebben bij elkaar 12 metingen gedaan met bathymetrische gegevens. Deze gegevens zijn alleen gebruikt voor hoofdstuk 6 (Levensduur suppletie). Deze gegevens bevatten echter ook data die gebruikt hadden kunnen worden voor hoofdstuk 5 (De kust van 2011-nu). Deze gegevens zijn niet gebruikt, omdat zij niet (goed) in MorphAn geladen konden worden. Als de gegevens uit deze datasets ook gebruikt worden voor informatie over de kustindicatoren, kan er een completer beeld ontstaan over de kust in de periode na de suppletie.

7.2. DE VERWERKING VAN DE DATA

De data die gebruikt is, komt uit metingen die gedaan zijn door o.a. SHORE en RWS. De metingen waren vaak al bewerkt voordat er in dit onderzoek mee gewerkt werd. Tijdens het onderzoek is er verondersteld dat deze metingen correct zijn uitgevoerd en verwerkt. Deze aanname is waarschijnlijk goed. Het is echter mogelijk dat er meet- en verwerkingsfouten zijn gemaakt. Dit zou betekenen dat de resultaten onnauwkeurig of zelf onjuist zijn. Er is tijdens het analyseren gelet op onverwachte en bijzondere resultaten en waar nodig naar een verklaring opgesteld. Dit houdt echter niet in dat er verder geen meetfouten gemaakt zijn (die niet opgemerkt zijn).

De metingen die gebruikt zijn tijdens dit onderzoek waren qua locatie (x, y en z) gegeven nauwkeurig tot in millimeters. Voor de x en y richting is dit erg nauwkeurig. Als er sprake was van meetfouten heeft dit in ieder geval invloed gehad op de volumebepaling die gebruikt wordt in H6, maar eventueel ook bij de berekening van de MKL. Op deze manier heeft zo'n meetfout invloed op de resultaten. Maar omdat er veel meetpunten waren in een profiel, is het effect niet erg groot. Er zijn gevallen waar een meetfout een groot effect heeft op de gegeven (niet de daadwerkelijke) ligging van een kustindicator. Een voorbeeld hiervan is de GHW van raai 5000 in 2000 (paragraaf 4.4). Dit zijn echter zeer opvallende metingen die makkelijker te ontdekken zijn.

Verder is er ook gebruik gemaakt van MorphAn, software ontwikkeld door Deltares en RWS. MorphAn is gebruikt om MKL berekeningen en volume berekeningen te maken. Tijdens het uitvoeren van het onderzoek is er vanuit gegaan dat deze modellen goed uitgevoerd worden. Als er echter fouten zitten in deze berekeningen, dan kan het zijn dat de resultaten niet kloppen. Het is echter ook mogelijk dat er in de toekomst andere (betere) berekeningen ontwikkeld worden die tot andere resultaten zouden kunnen leiden.

7.3. ANALYSE VAN DE RESULTATEN

De analyse van de resultaten zijn gedaan door het interpreteren van grafieken en bathymetrische kaarten. Er is geen statistische methode gebruikt om trends te ontdekken, maar er is een eerste interpretatieslag gedaan. Het is daarom mogelijk dat er andere conclusies getrokken hadden kunnen worden. Verder is er nog niet genoeg bekend over de processen rond een vooroeversuppletie om harde conclusies te trekken. Daarom zijn er hypothesen opgesteld over wat ik het meest aannemelijk vind. Dit onderzoek helpt echter wel om de processen rond een suppletie nog scherper te stellen.

8. CONCLUSIES

In onderzoek is er gekeken naar de suppletie bij Heemskerk (raaien 4550-5025) uit 2011 en 2012. Er is eerst gekeken naar de ontwikkeling van de kustindicatoren MKL, GLW, GHW en DV in de periode 1992-2011 (paragraaf 8.1). Daarna is de ontwikkeling van dezelfde kustindicatoren in de periode 2011-2014 in kaart gebracht (paragraaf 8.2). Daarna is er gekeken naar de volumeontwikkeling in het gebied (paragraaf 8.3). Er is specifiek aandacht uitgegaan naar de verschillen tussen het dieper aangelegde noordelijke deel, en het zuidelijk deel van de suppletie (paragraaf 8.4).

8.1. DE KUST VAN 1992-2011

In deze periode zijn er strandsuppleties uitgevoerd in 1997 (raaien 4975-5025) en 2005 (raaien 4650-4850). Beide suppleties zorgden voor zeewaartse verplaatsingen van de kustindicatoren in het gebied waar zij aangelegd zijn. De suppletie van 1997 heeft waarschijnlijk ook effecten veroorzaakt op noordelijkere raaien, waar er geen zand gestort is. Voor de suppletie uit 2005 geldt dit voor zowel noordelijkere als de zuidelijkere raaien.

Over de periode 1992-2011 vertoont de MKL-ligging bij de meeste raaien een netto landwaartse verplaatsing. Tussen 2010 en 2011 was er bij 11 van de 20 raaien sprake van een zeewaartse verplaatsing. De GLW vertoont over de dezelfde periode bij veel raaien een grote variabiliteit. Tussen 2010 en 2011 is er sprake van een zeewaartse verplaatsing bij 14 van de 20 raaien. De GHW is minder variabel dan de GLW, maar er is geen duidelijk patroon te zien. Tussen 2010 en 2011 hebben slechts 2 raaien een zeewaartse verplaatsing. De DV blijft over de gehele periode redelijk constant. Tussen de raaien 4800 en 4950 is er over de gehele periode (1992-2011) een netto zeewaartse verplaatsing van de DV. 16 raaien vertonen tussen 2010 en 2011 een zeewaartse verplaatsing.

8.2. DE KUST VAN 2011-NU

Na de start van de aanleg van de suppletie nam het aantal overschrijdingen nog toe tot 2012. Hierna namen de overschrijdingen af.

De noord kop (raaien 4550-4625) had voor de MKL op alle raaien een netto zeewaartse verplaatsing. Voor de andere indicatoren waren de effecten minder eenduidig. De effecten van de suppletie vonden voornamelijk plaats tussen 2012 en 2013. Het noordelijk zandlichaam (raaien 4650-4700) vertoont voor de meeste raaien en de meeste indicatoren een netto landwaartse verplaatsing. De effecten van de suppletie zijn voornamelijk waar te nemen tussen 2012 en 2013. Tussen 2013 en 2014 verplaatst de MKL zich echter ook nog zeewaarts. De opening (raaien 4725-4825) heeft netto bijna alleen maar landwaartse verplaatsingen. De effecten van de suppletie zijn niet duidelijk aan te geven. Tussen 2013 en 2014 vertoont de MKL op raaien 4775-4825 wel een zeewaartse trend. Het zuidelijk zandlichaam (raaien 4850-4925) heeft netto veel zeewaartse verplaatsingen. Voor de MKL en GLW zijn de effecten van de suppletie te zien tussen 2011 en 2012, voor de GHW en DV is dit voornamelijk te zien tussen 2012 en 2013. De zuid kop (raaien 4950-5025) heeft voor de MKL en GLW voornamelijk netto zeewaartse verplaatsingen, en voor de GHW en DV netto landwaartse verplaatsingen. De effecten van de verplaatsingen zijn voornamelijk te zien tussen 2012 en 2013 en 2014. Tussen 2013 en 2014 zijn er nog veel zeewaartse verplaatsingen te zien.

Als het noordelijk deel van de suppletie met het zuidelijk deel van de suppletie vergeleken worden, dan lijkt het zuidelijk deel positievere effecten te hebben (meer zeewaartse verplaatsingen). Dit is voornamelijk te zien in de gebieden in het midden van de zandlichamen. De noord kop laat over de gehele periode net als de zuid kop een

zeewaartse verplaatsing zien. Maar tussen 2013 en 2014 is er bij de zuid kop nog sprake van zeewaartse verplaatsingen, en als dit door zet, dan zijn de effecten op de zuid kop positiever dan die op de noord kop. Het noordelijk zandlichaam vertoont duidelijk minder zeewaartse verplaatsingen dan het zuidelijk lichaam. Dit is te zien aan de netto verplaatsingen, maar ook aan de verplaatsingen tussen 2013 en 2014. Het lijkt er dus op dat de kustindicatoren in het noordelijke deel minder en minder grote zeewaartse verplaatsingen kent dan het zuidelijk deel. Daarom lijkt het noordelijke deel minder positieve effecten te ondervinden dan het zuidelijke deel. Dit heeft er waarschijnlijk mee te maken dat het noordelijk deel dieper is aangelegd.

8.3. VOLUMEONTWIKKELING EN KUSTLANGSE VARIATIE

Als er gekeken wordt naar de ontwikkeling van het volume in 10 verschillende deelgebieden dan kan er geconcludeerd worden dat het noordelijk deel grotere bodemhoogte toenames kent als augustus 2014 vergeleken wordt met februari 2011 (voor de aanleg). Dit kan drie redenen hebben. Allereerst kan het komen, omdat de zuidelijke variant er al langer ligt, en dus ook al langer aan erosie onderhevig is geweest. Ten tweede kan het komen door kust parallel transport van zuid naar noord, waardoor het noordelijk deel ook profiteert van het zuidelijk deel. Ten slotte kan het ook komen door het lager aanleggen van het noordelijk deel van de suppletie, waardoor er minder erosie plaatsvindt. Het zou ook door een combinatie van deze drie kunnen komen.

Als er gekeken wordt per raai naar de relatieve volumeverandering dan zijn er twee pieken te zien rond het midden van beide lichamen. De opening is ook goed waar te nemen, en de noord kop lijkt meer volume er bij te krijgen dan de zuid kop. Dit zou te maken kunnen hebben met het feit dat het netto zandtransport langs de kust van zuid naar noord loopt.

8.4. DIEPER AANLEGGEN

Deze suppletie was een praktijkproef. Er is geëxperimenteerd met de aanleg hoogte van het noordelijk zandlichaam. In dit onderzoek is er specifiek gekeken naar de verschillen tussen de effecten van deze twee lichamen.

Uit hoofdstuk 5 is gebleken dat de effecten op de kustindicatoren in het zuidelijk deel meer zeewaarts waren dan in het noordelijk deel. Dit kan betekenen dat het 'normaal' aanleggen beter is. Maar het noordelijk deel is later aangelegd, het is daarom mogelijk dat dit lichaam nog steeds effect heeft. Uit hoofdstuk 6 is gebleken dat het noordelijk gedeelte het beter doet qua volumeontwikkeling. Er ligt hier in augustus 2014 meer volume dan in het zuidelijke deel. Een mogelijkheid zou kunnen zijn dat dit komt door het lager aanleggen van het lichaam. Het zou echter ook kunnen komen doordat het zuidelijk deel al langer aan het eroderen is, maar ook door netto transport van zuid naar noord.

Als deze resultaten gecombineerd worden, kunnen er nog geen echte conclusies getrokken worden over deze kwestie. Bij het zuidelijk deel is er sprake van positievere effecten, maar in het noordelijk deel zijn er nog effecten te verwachten. De verdere ontwikkeling van de suppletie moet dat uitwijzen.

9. AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk staan er aanbevelingen voor vervolgonderzoeken die aansluiten op het doel van dit onderzoek (9.1), het grotere doel van het onderzoek naar de suppletie van Heemskerk (9.2) en het doel van het project KPP B&O de kust (9.3).

9.1. DIT ONDERZOEK

Het doel van dit onderzoek was om de effecten van de suppletie in kaart te brengen en om de volumeontwikkeling binnen dit gebied te bepalen. Ik kan aanbevelen om het gebied voorlopig te blijven monitoren om zo tot meer kennis te komen over deze suppletie. Deze suppletie was een praktijkproef, het is daarom interessant en belangrijk om de effecten van de suppletie bij te houden. Op deze manier kan er gekeken worden naar de effectiviteit van deze suppletie, en de effectiviteit van deze methode van aanleggen.

9.2. DE SUPPLETIE BIJ HEEMSKERK

De doelstelling voor dit onderzoek is ontstaan uit de onderzoeksvragen die gekomen zijn uit een modelstudie uitgevoerd door Deltares voorafgaand aan de aanleg van de suppletie. Deze onderzoeksvragen richten zich op de efficiency van de suppletie en de ontwikkeling van de koppen van de zandlichamen. Dit onderzoek heeft bijgedragen aan het in kaart brengen van effecten van de suppletie, maar dit betekent niet dat alle onderzoeksvragen rond deze suppletie beantwoord zijn.

Allereerst kan er begonnen worden om de resultaten van mijn onderzoek te interpreteren en te linken aan processen. Op deze manier kan er meer kennis verzameld worden over dit kustgebied, maar het helpt ook bij de verdere evaluatie van de suppletie. Dit onderzoek kan tevens als basis dienen om een onderzoek te doen naar de levensduur van de suppletie.

In dit onderzoek is er voornamelijk gekeken naar het verschil tussen de twee lichamen, en niet heel specifiek naar het effect van een suppletie met twee lichamen. Ik kan specifiek aanbevelen om hier ook een aanvullend onderzoek naar te doen. Op deze manier kunnen de effecten van de twee proeven (twee lichamen en een lichaam verdiept aanleggen) die uitgevoerd zijn beter gescheiden worden.

Ten slotte kan ik aanraden om een kosten-baten analyse uit te voeren om te kijken of de financiële winsten die behaald worden door het lager aanleggen van de suppletie opwegen tegen de eventueel minder positieve effecten van deze manier van aanleggen. Om dit op een goede manier te doen, moeten er meer onderzoeken gedaan zijn naar deze suppletie. Zo is de levensduur van de suppletie belangrijk bij het opstellen van een goede analyse.

LITERATUURLIJST

- Aquo lex. (2014). *Aquo lex*. Opgeroepen op mei 26, 2015, van <http://www.aquolex.nl/html5/?id=26367&type=term>
- Aquo lex. (2014). *Aquo lex*. Opgeroepen op mei 26, 2015, van <http://www.aquolex.nl/html5/?id=30276&type=term>
- Bearman, G., & Brown, J. (1999). *Waves, Tides and Shallow Water Processes*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Bruens, A., van der Spek, A., Elias, E., & Giardino, A. (2013). *Projectplan KPP 2013*. Deltares.
- Deltares. (2013). Blank.
- Dynamisch Kustbeheer. (sd). *Wat is dynamisch kustbeheer?* Opgeroepen op juli 2, 2015, van Dynamisch Kustbeheer.
- Elias, E., & Bruens, A. (2012). *Beheerbibliotheek Noord-Holland*. Deltares.
- Google. (2015). Opgeroepen op juni 2, 2015, van Google Maps.
- Mewe, A. (2014). *Anne der plaetjes en praetjes*. Opgeroepen op mei 7, 2015, van Strandpalen: <http://www.plaetjes.nl/paetjes/kwade-hoek/strandpalen/>
- Noordzee en Kust. (z.j.). Opgeroepen op Maart 26, 2014, van Rijkswaterstaat: http://www.rijkswaterstaat.nl/water/plannen_en_projecten/bprw/noordzee_en_kust/
- Rijkswaterstaat. (2010). *Kustlijnkaarten 2011*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2011). *Kustlijnkaarten 2012*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2012). *Deltaprogramma 2013*.
- Rijkswaterstaat. (2014). *Programma Kustlijnzorg 2012 - 2015*.
- Tonnon, P. K. (2010). *Advisering innovatieve suppletie Heemskerkversie 1*.
- van Oeveren, C., & Tonnon, P. K. (2011). *Gedifferentieerde vooroeversuppletie bij Heemskerk*. Deltares.
- Verhagen, H. (1990). *Definitie van waterkering en kustlijn "De basiskustlijn"*. Rijkswaterstaat.
- Vonhögen, L. (2014). *Heemskerk*. PowerPoint slides.
- Wijnberg, K. M., & Terwindt, J. H. (1995). Extracting decadal morphological behaviour from high-resolution, long-term bathymetric surveys along the Holland coast using eigenfunction analysis. *Marine Geology*, 301-330. doi:10.1016/0025-3227(95)00084-C

BIJLAGEN

Er zijn in totaal 5 bijlagen (A t/m E) opgenomen. Bijlage A gaat over de effecten van de strandsuppleties uit 1997 en 2005. Bijlage B bevat grafieken van de ontwikkeling van de kustindicatoren in de periode 1992-2011. Bijlage A en B horen bij hoofdstuk 4. Bijlage C bevat grafieken van de ontwikkeling van de kustindicatoren in de periode 2011-2014 en hoort bij hoofdstuk 5. Bijlage D bevat bathymetrische kaarten van de verdichte jarkusmetingen van Rijkswaterstaat en van de extra metingen uitgevoerd door SHORE. Bijlage E bevat grafieken over de ontwikkeling van de bodemhoogte in het gebied. Bijlage D en E horen bij hoofdstuk 6.

A. EFFECTEN SUPPLETIES

In dit deel zijn de effecten van de suppletie volledig uitgewerkt. Dit deel hoort bij hoofdstuk 4.

A.1. STRANDSUPPLETIE 1997 (RAAI 4975-5050)

Van deze suppletie liggen er drie raaien in het te onderzoeken gebied: 4975, 5000, 5025. Voor alle kustindicatoren is er op alle raaien (4975-5025) in 1997 een zeewaartse verplaatsing te zien. Na 1997 is er echter ook sprake van een landwaartse verplaatsing, waardoor het netto effect van de suppletie niet groot lijkt te zijn, en de levensduur van deze suppletie maximaal 3 jaar was (MKL 1,5 jaar, GLW 3 jaar, GHW 1,5 jaar en DV 2 jaar).

Voor de noordelijkere raaien 4925 en 4950 wordt de zeewaartse verplaatsing van de MKL en de GLW groter. Deze groter wordende verplaatsing vond voornamelijk plaats tussen 1997 en 1998 en zou het effect van de suppletie kunnen zijn, vanwege het transport van zuid naar noord. Het zou echter ook kunnen dat zonder de suppletie deze verplaatsing min of meer op eenzelfde manier plaatsgevonden zou hebben, omdat er al sprake was van een zeewaartse verplaatsing voor de suppletie (zie Bijlage A voor de figuren).

De GHW voor de raaien 4900 en 4925 vertonen in 1999 een grote zeewaartse verplaatsing. Dit zou het effect kunnen zijn van de suppletie, maar raai 4950 heeft geen bijzonder grote zeewaartse verplaatsing. Maar als er gekeken wordt naar de hoeveelheid volume in de MKL-rekenschijf dan is bij alle drie de raaien (4900-4950) een grote toename te zien in 1999. Dit zou er op kunnen duiden dat door de suppletie bij raaien 4975-5050 er extra volume bijgekomen is, maar dat dit bij raai 4950 anders verspreid is, zodat het geen effect heeft gehad op de GHW.

De DV van de raaien 4900-4950 vertonen na 1999 een zeewaartse trend. Dit zou eventueel kunnen komen door de suppletie. De verplaatsing is niet erg groot en zou ook andere oorzaken kunnen hebben.

A.2. STRANDSUPPLETIE 2005 (RAAI 4650-4850)

Van deze suppletie liggen alle raaien in het te onderzoeken gebied. De effecten van deze suppletie zijn langer te zien dan van de suppletie uit 1997. De rand raaien 4650 en 4850 vertonen ander gedrag dan de raaien die in het midden van de suppletie liggen. Dit heeft er waarschijnlijk mee te maken dat zij aan de rand van de suppletie liggen.

MKL

De noordelijke raaien 4675-4750 vertonen tussen de jaren 2004 en 2007 een grote zeewaartse verplaatsing. Na 2007 ontstaat er een landwaartse verplaatsing. De zuidelijke raaien 4775-4825 vertonen tussen de jaren 2005 en 2008 een zeewaartse verplaatsing en blijft daarna ongeveer gelijk. Als met de aanleg bij de noordelijke raaien begonnen is, zou dit kunnen verklaren waarom de zuidelijke raaien 1 jaar 'achter lopen' op de noordelijke raaien.

Ten noorden van de suppletie vertoont raai 4575 na 2005 ongeveer hetzelfde patroon als de raaien waar de suppletie is uitgevoerd, raai 4600 vertoont echter niets bijzonders. Raai 4625 vertoont een zeewaartse

verplaatsing in 2004, net zoals raai 4650. Dit kan komen doordat ze al voor de metingen een deel van de suppletie hadden aangelegd. Ten zuiden vertoont raai 4875 na 2005 een grote zeewaartse verplaatsing. Deze verplaatsing is bij de raaien 4900 en 4925 ook aanwezig, maar dan kleiner.

GLW

Bij de raaien 4675-4725 is er een duidelijke zeewaartse verplaatsing te zien vanaf 2004. Bij de raaien 4750-4825 is de verplaatsing meer geleidelijk.

Ten noorden vertonen raaien 4575 en 4600 na 2005 een zeewaartse trend, deze trend is waarschijnlijk beïnvloed door de suppletie. Raai 4625 vertoont, net als bij de MKL, een zeewaartse verplaatsing in 2004. Ten zuiden vertonen 4875 en 4900 na 2005 ook een grote zeewaartse verplaatsing. De verplaatsing bij 4900 is kleiner dan die bij 4875.

GHW

De raaien 4650 en 4725-4825 hebben een grote zeewaartse verplaatsing in 2005. Na 2005 ontstaat er een landwaartse verplaatsing, bij de meeste raaien is deze verplaatsing groot. Bij de raaien 4725 en 4750 is de landwaartse verplaatsing meer geleidelijk. De raaien 4675 en 4700 bereiken hun verste zeewaartse ligging in 2006 en vertonen daarna een landwaartse verplaatsing.

De raai 4575 heeft in 2004 een zeewaartse verplaatsing, de raaien 4600 en 4625 in 2005. Het zou kunnen dat de verplaatsing bij de raaien 4600 en 4625 is ontstaan door de suppletie. De verplaatsing van raai 4575 is waarschijnlijk niet ontstaan door de suppletie, want de raaien 4600 en 4625 vertonen geen grote verplaatsing in 2004, en deze raaien liggen tussen de suppletie en raai 4575 in. Raai 4875 vertoont in 2006 een zeewaartse verplaatsing, deze zou wel door de suppletie veroorzaakt kunnen zijn.

DV

Alle raaien (4650-4850) vertonen in 2006 een zeewaartse verplaatsing gevolgd door een landwaartse verplaatsing.

Raaien 4600 en 4625 hebben in 2005 en 2006 een kleine zeewaartse verplaatsing die veroorzaakt zou kunnen zijn door de suppletie. Ten zuiden is er tot en met raai 5000 een zeewaartse verplaatsing rond 2005 en 2006. Het is de vraag of de suppletie tot zo ver zuidelijk effect zou kunnen hebben.

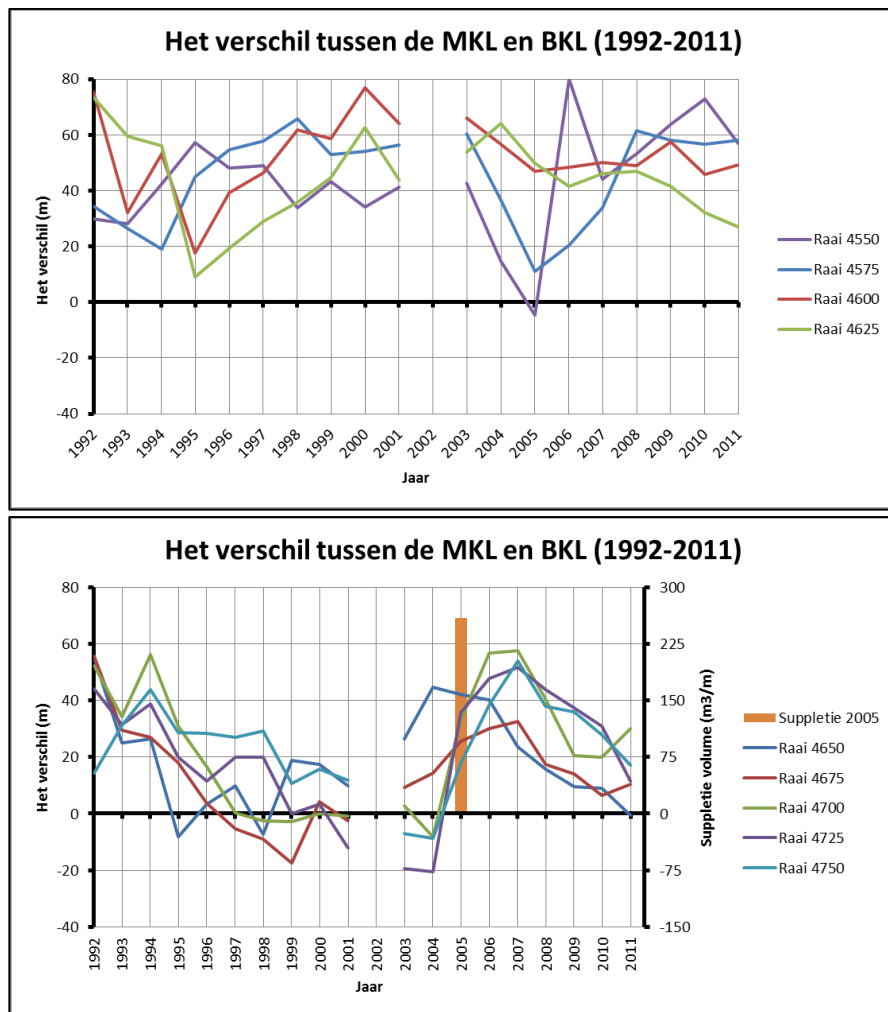
A.3. RAAIEN 4650 EN 4850

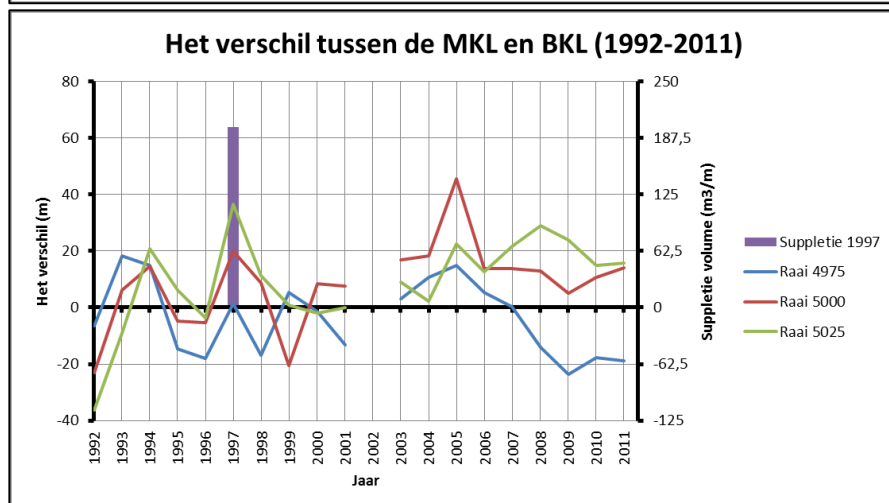
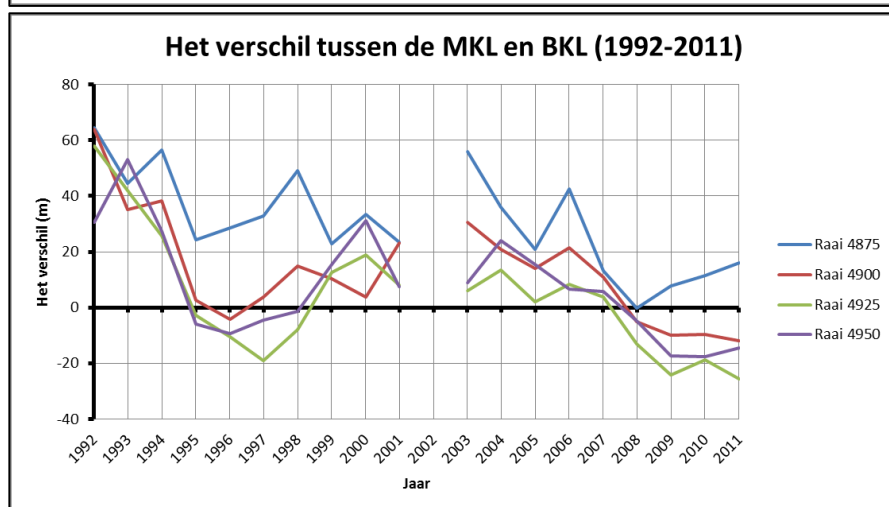
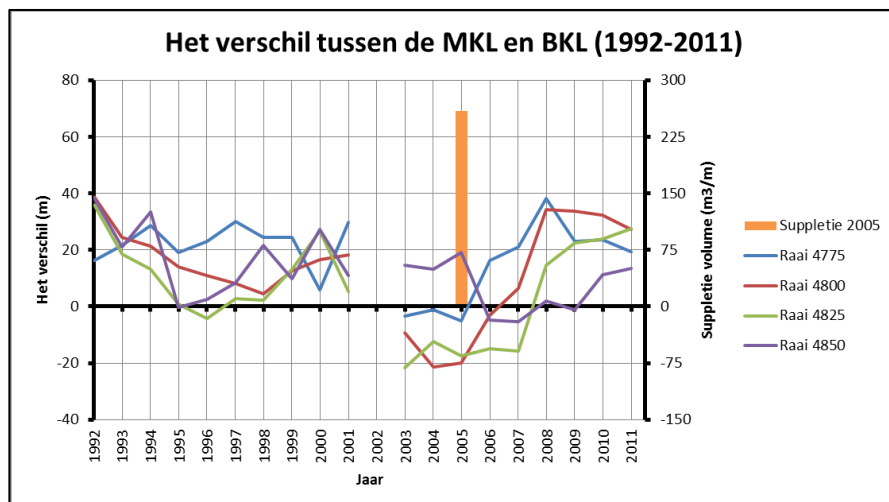
De randraaien 4650 en 4850 vertonen ander gedrag dan de raaien die middenin de suppletie liggen. Dit is voornamelijk te zien bij de MKL en de GLW. Bij de GHW en de DV zijn de effecten van de suppletie ongeveer gelijk. De effecten van de suppletie op de MKL zijn duidelijk kleiner en duren ook minder lang. Ditzelfde geldt in mindere mate voor de GLW.

B. KUST VAN 1992-2011

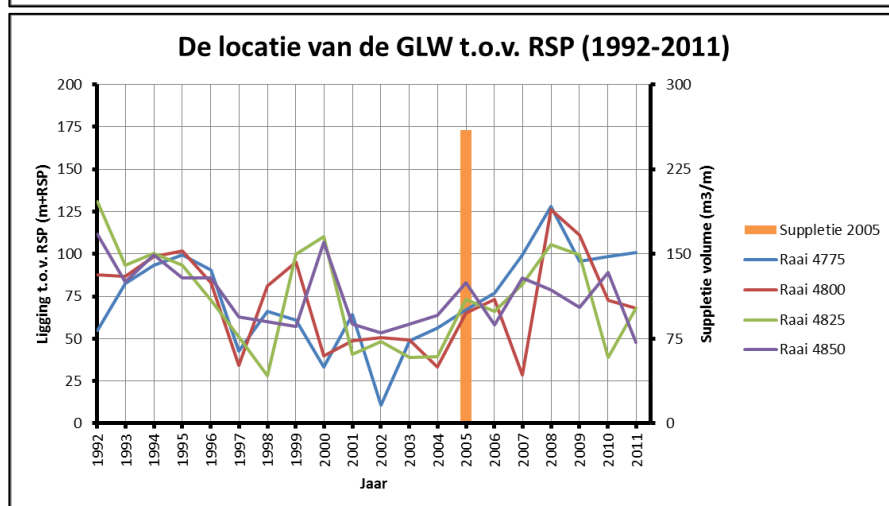
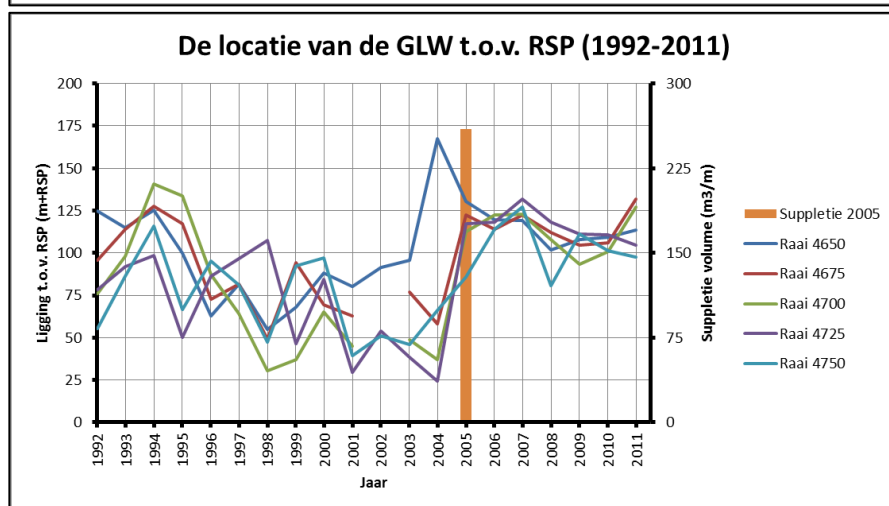
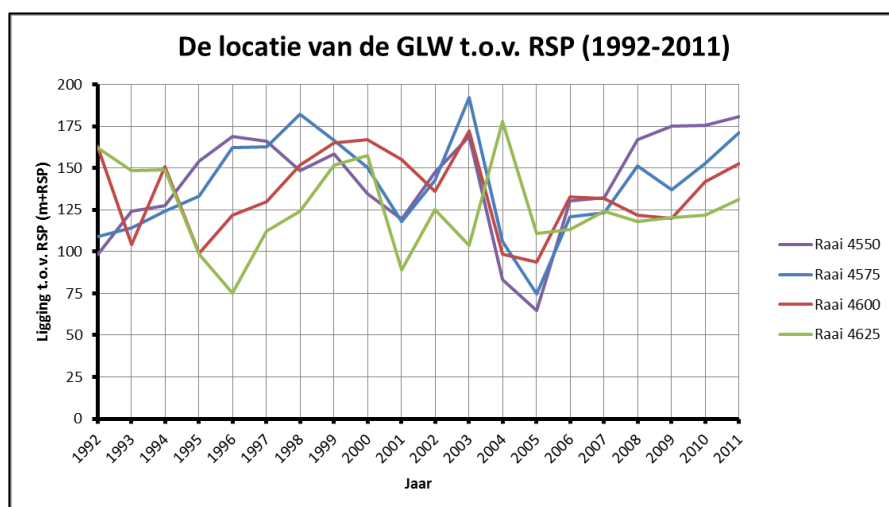
Deze bijlage bevat grafieken van de ontwikkeling van de kustindicatoren in de periode 1992-2011 en hoort bij hoofdstuk 4. Voor B.1 (Het verschil tussen MKL en BKL) geldt dat een negatieve waarde een BKL overschrijding aangeeft. Voor B.2 t/m B.4 geeft een negatieve waarde een landwaartse ligging t.o.v. de RSP aan, en een positieve waarde een zeewaartse ligging t.o.v. de RSP aan.

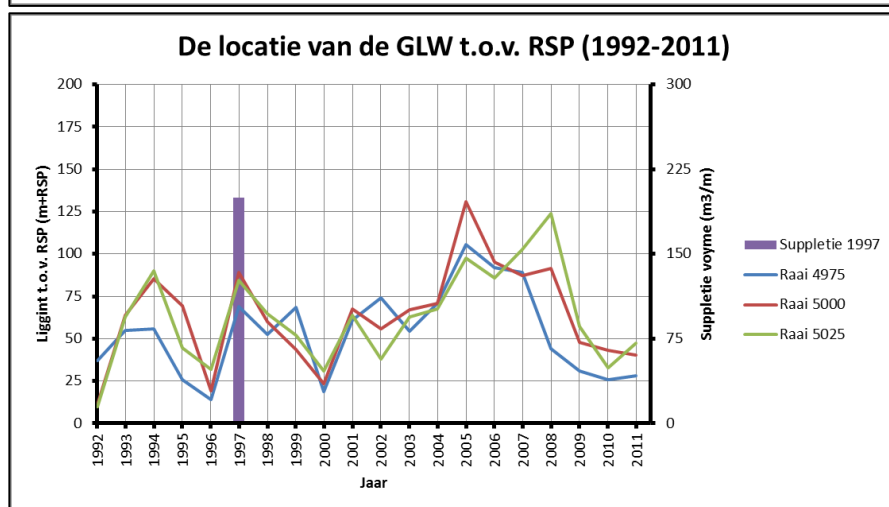
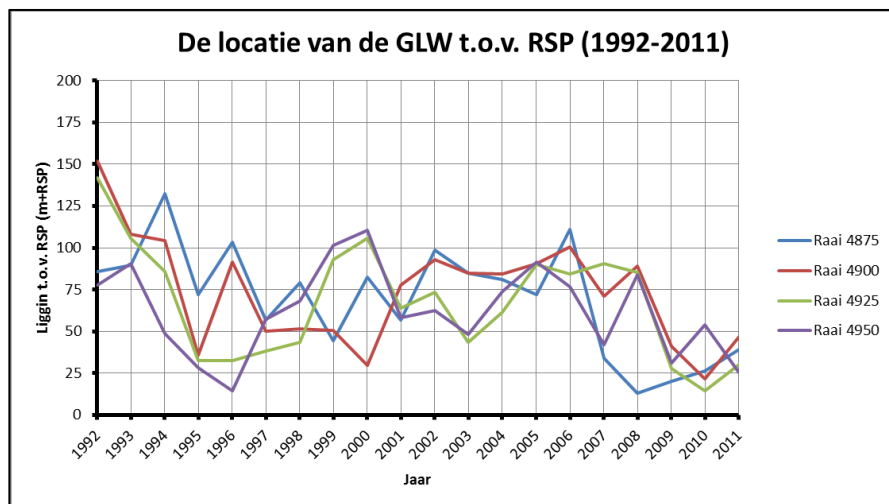
B.1. HET VERSCHIL TUSSEN MKL EN BKL



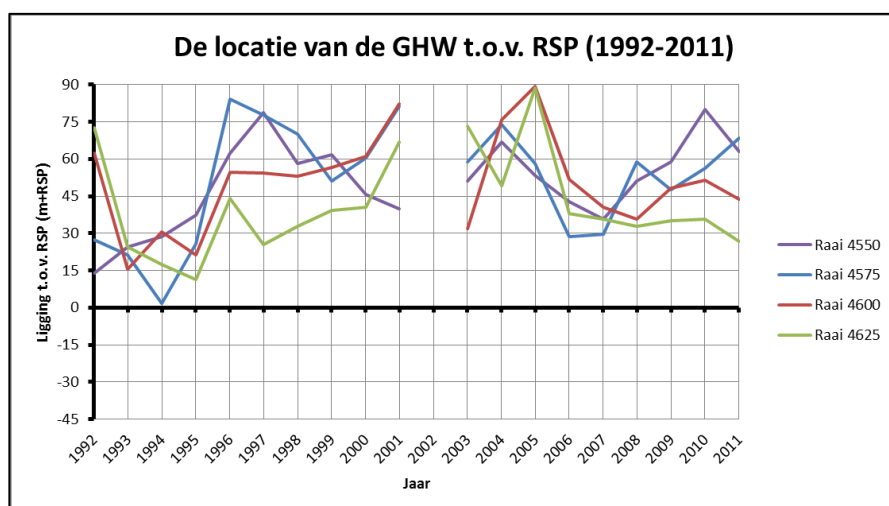


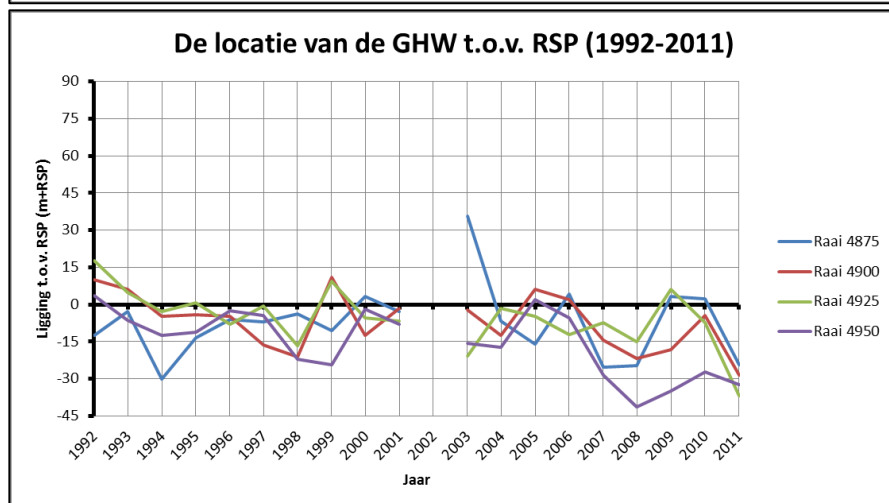
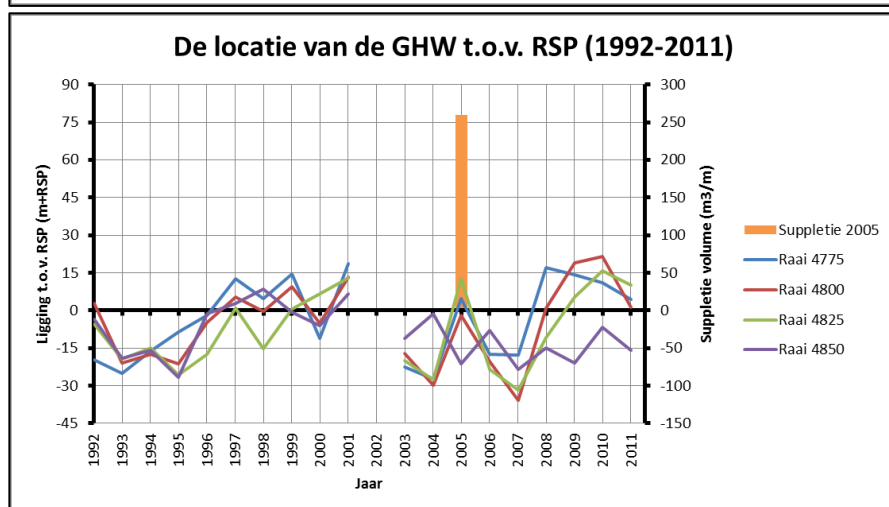
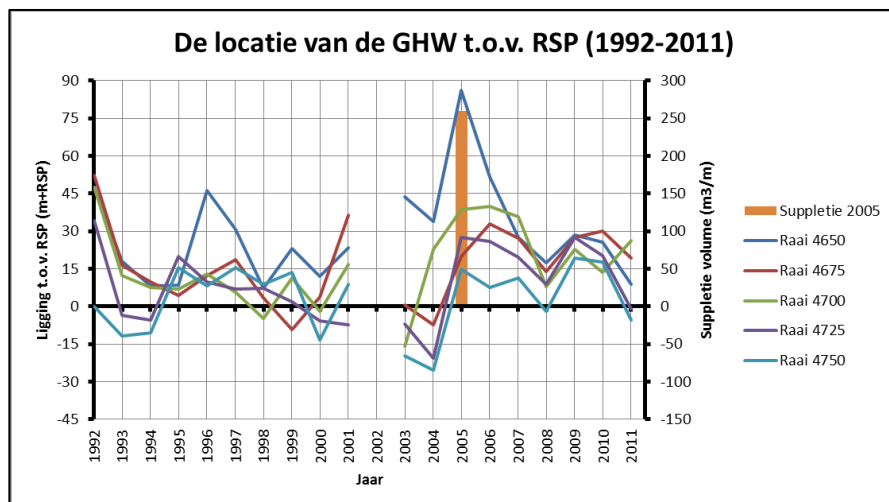
B.2. GLW

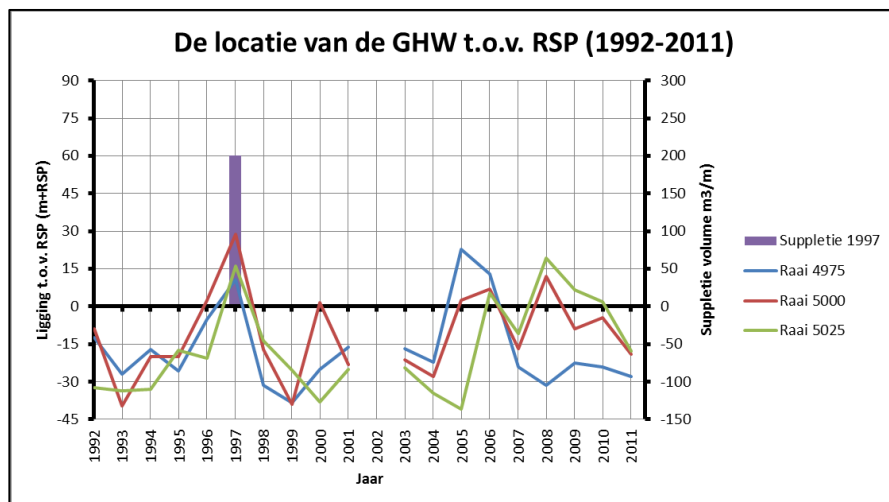




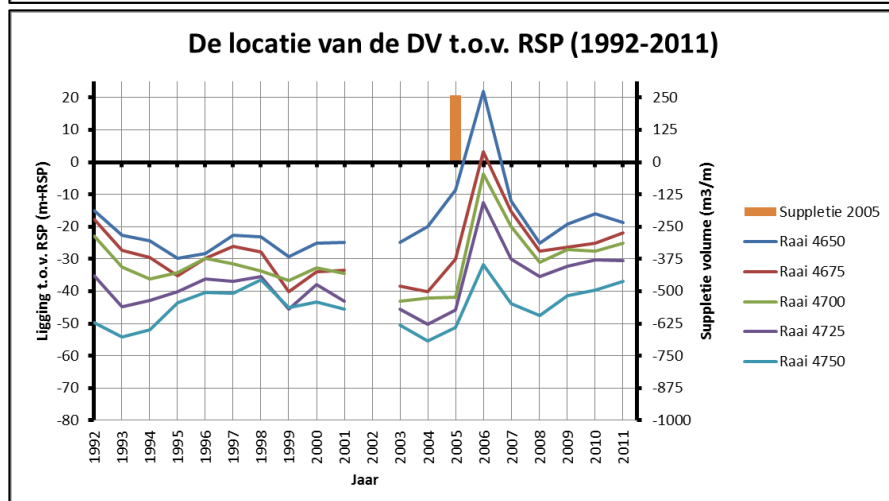
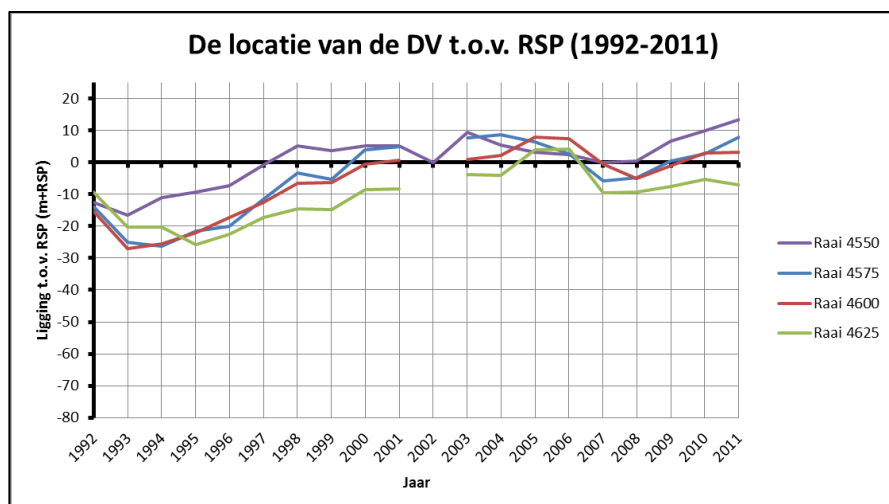
B.3. GHW

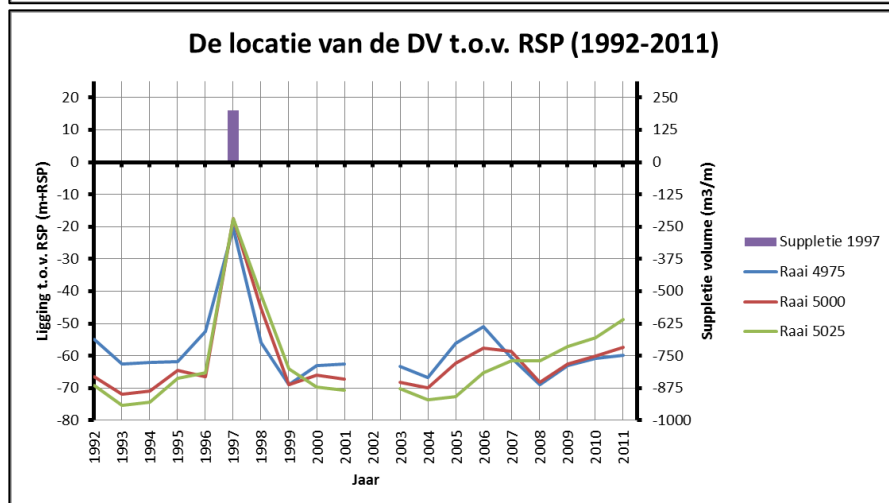
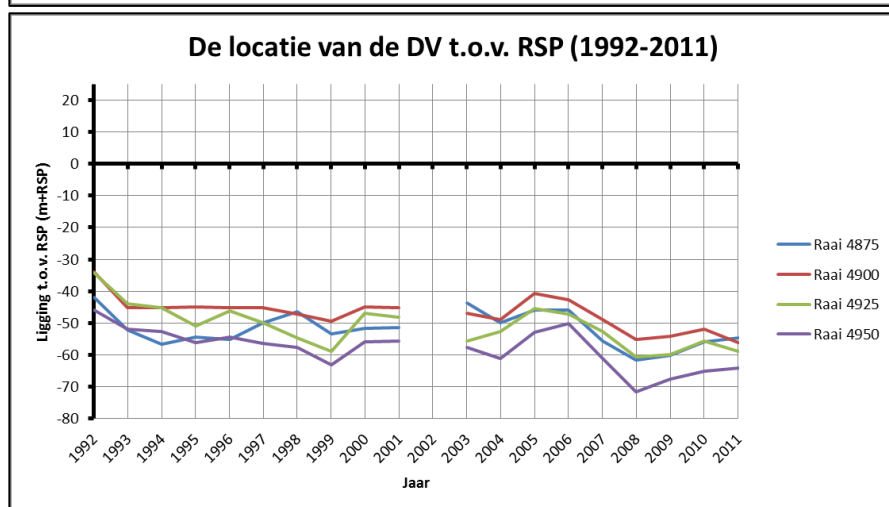
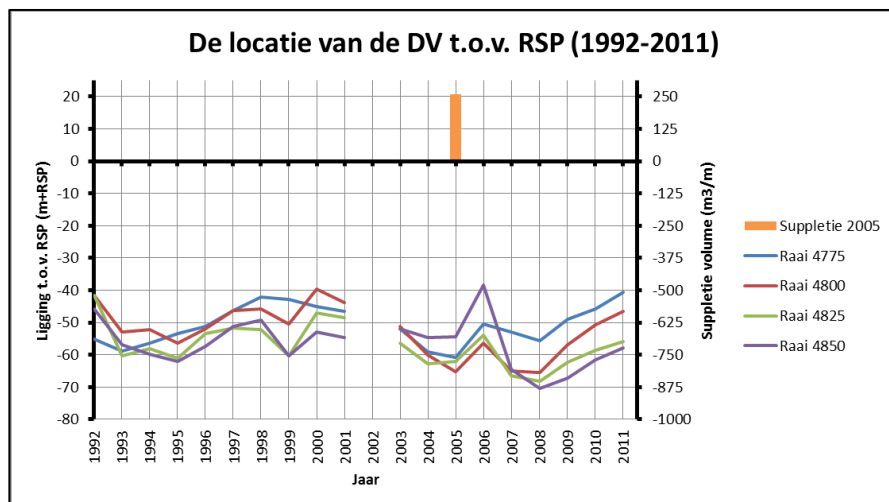






B.4. DV

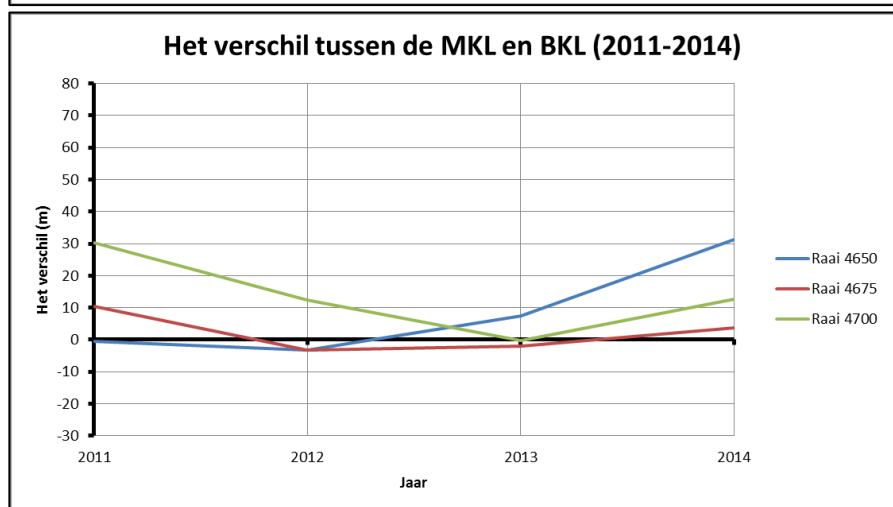
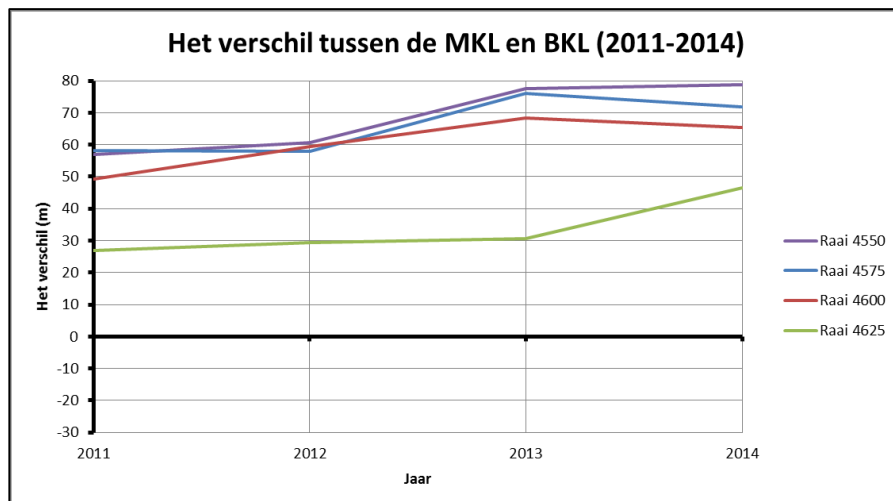


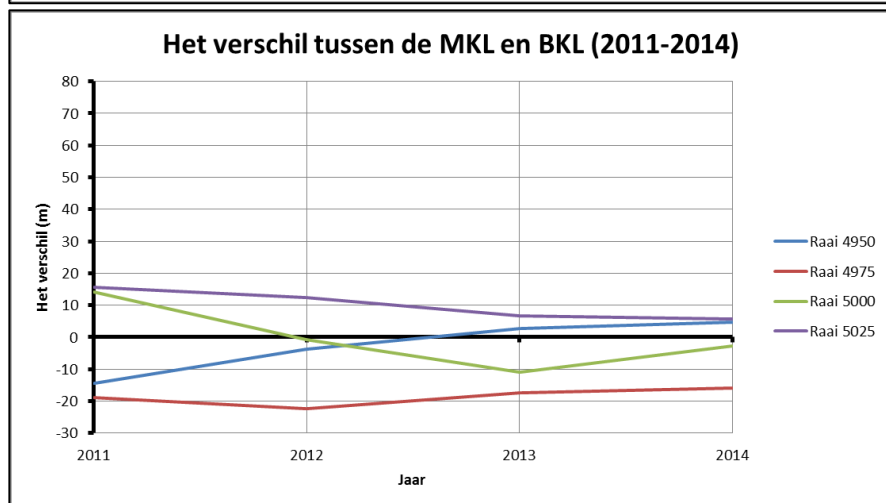
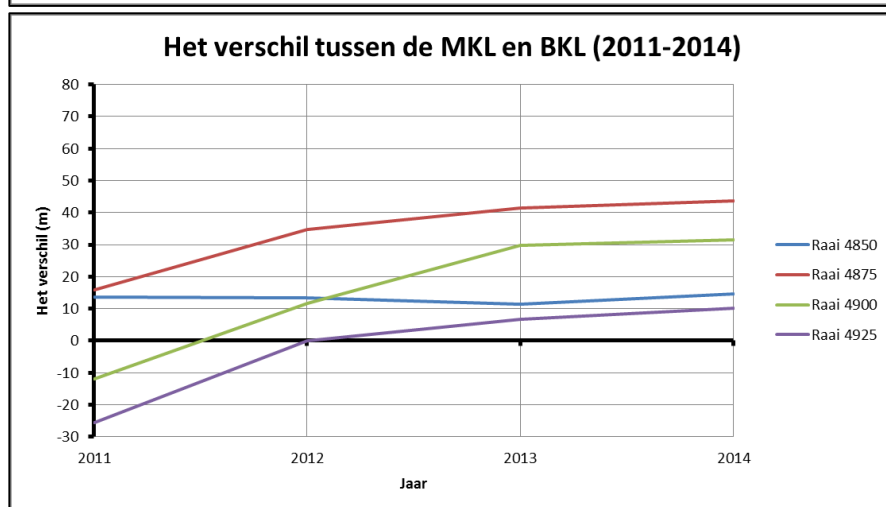
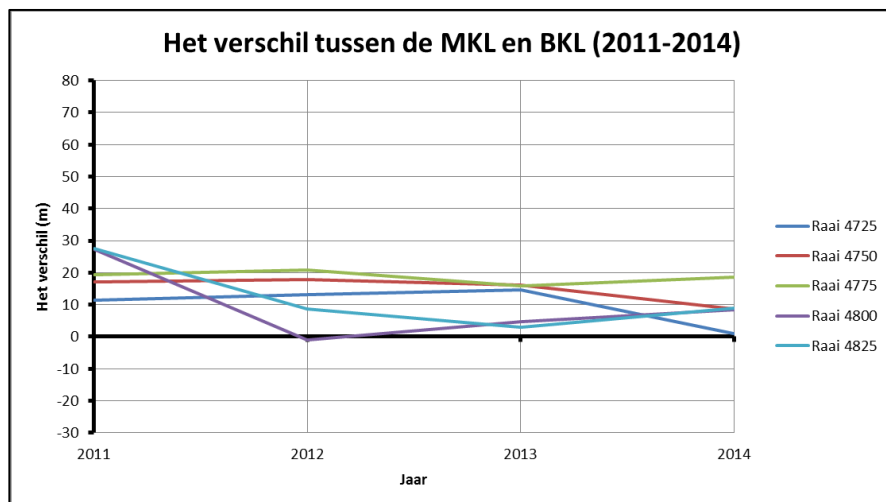


C. DE KUST VAN 2011-NU

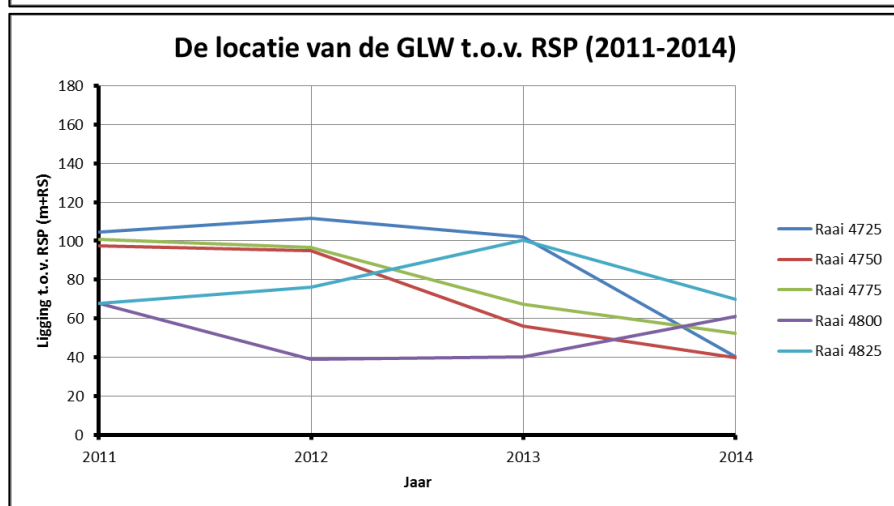
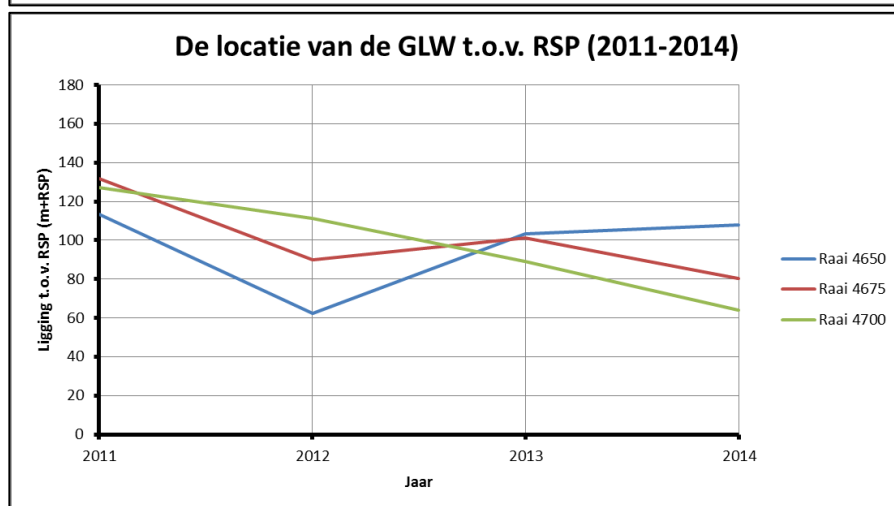
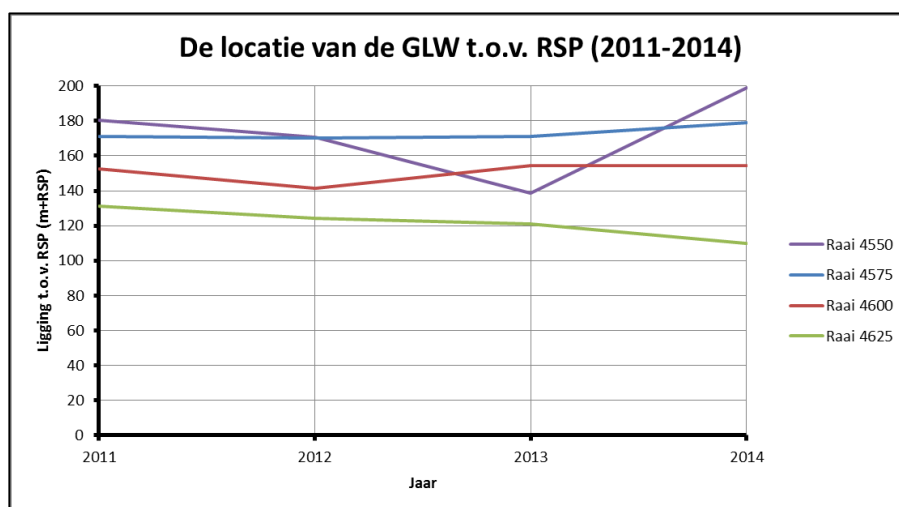
Deze bijlage bevat grafieken van de ontwikkeling van de kustindicatoren in de periode 2011-2014 en hoort bij hoofdstuk 5. Voor C.1 (Het verschil tussen MKL en BKL) geldt dat een negatieve waarde een BKL overschrijding aangeeft. Voor C.2 t/m C.4 geeft een negatieve waarde een landwaartse ligging t.o.v. de RSP aan, en een positieve waarde een zeewaartse ligging t.o.v. de RSP aan.

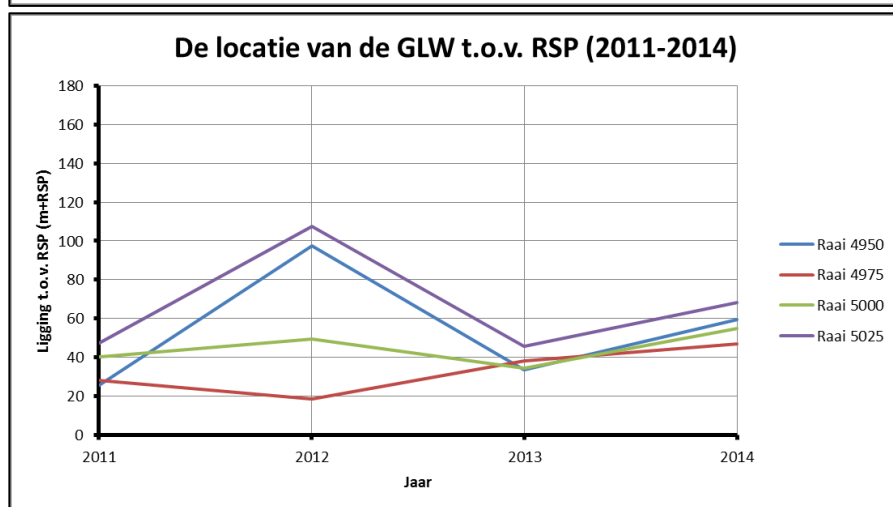
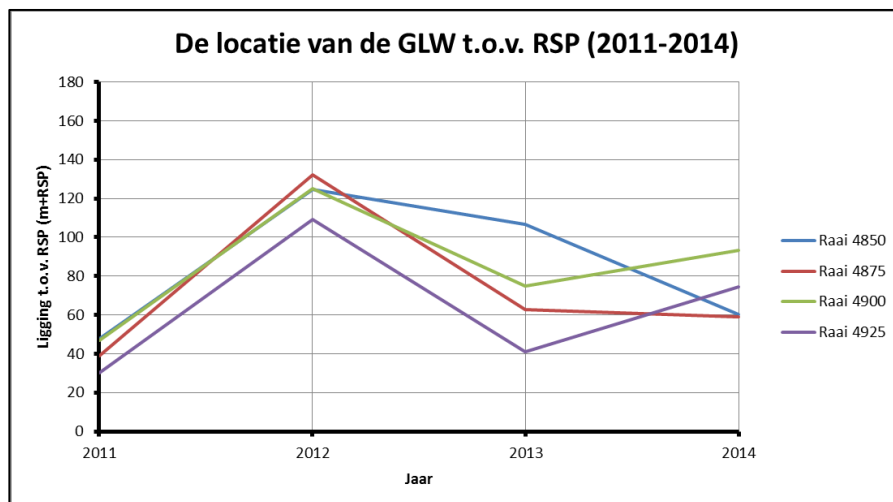
C.1. HET VERSCHIL TUSSEN MKL EN BKL



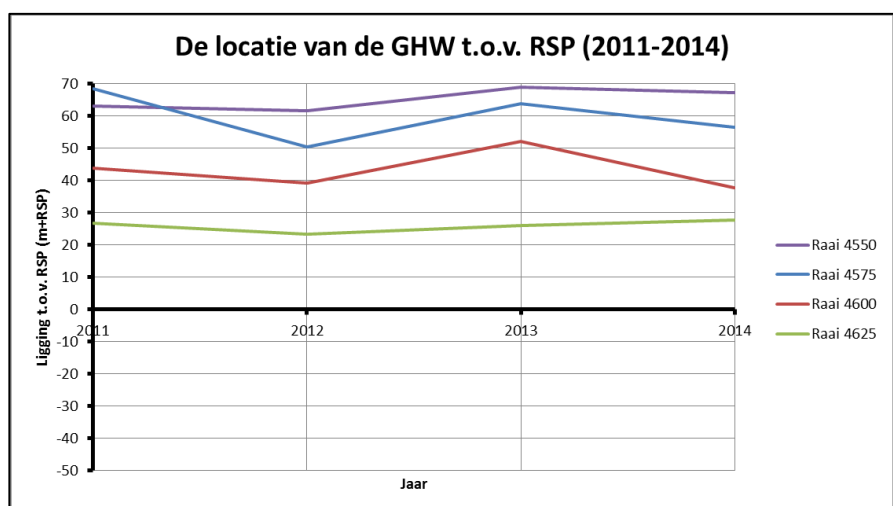


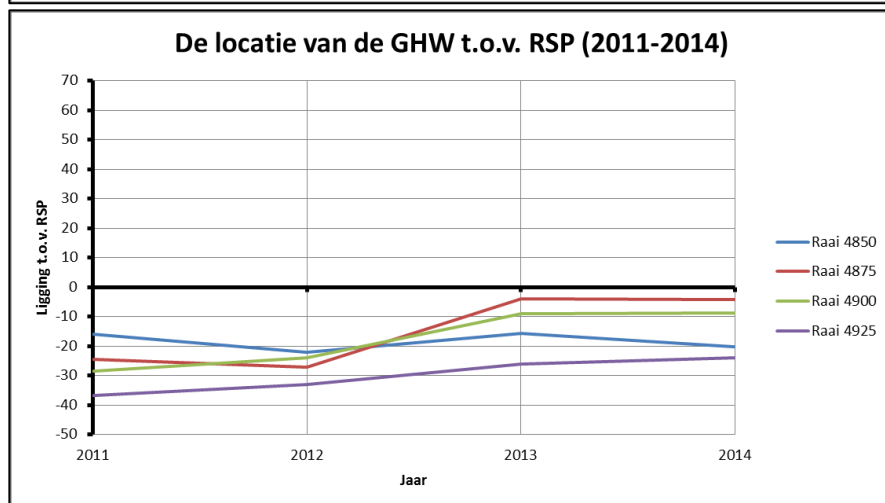
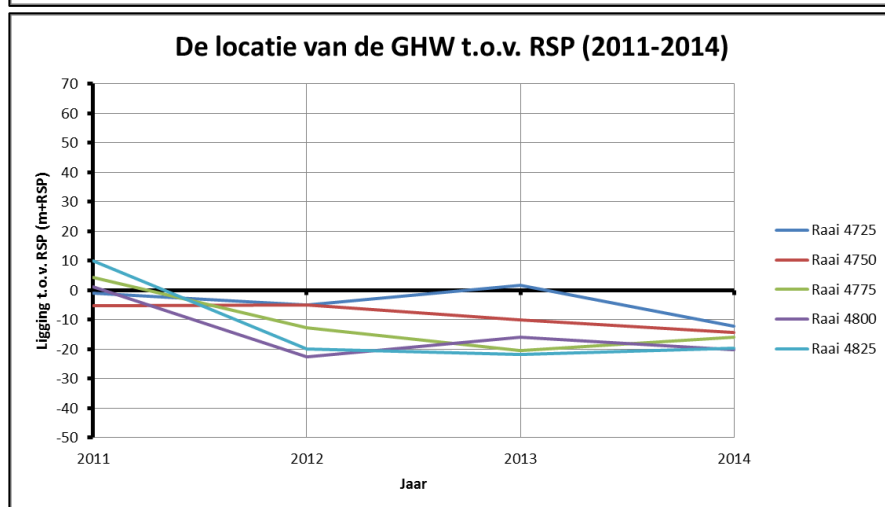
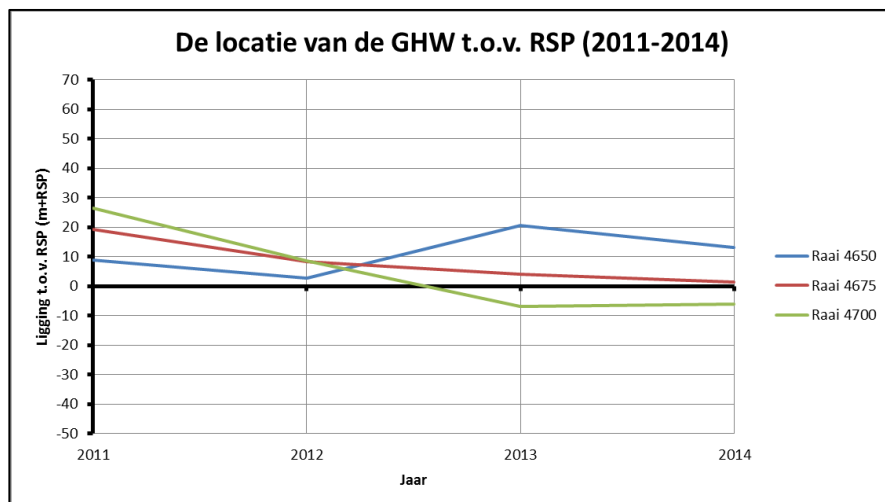
C.2. GLW

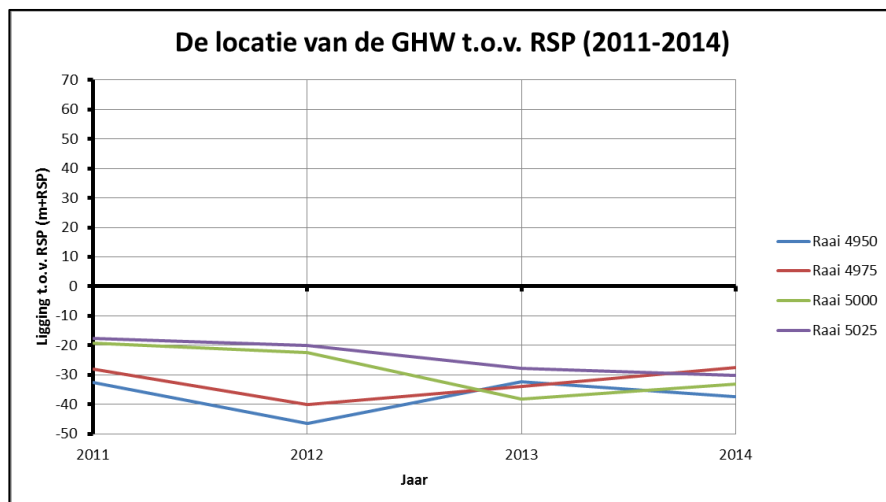




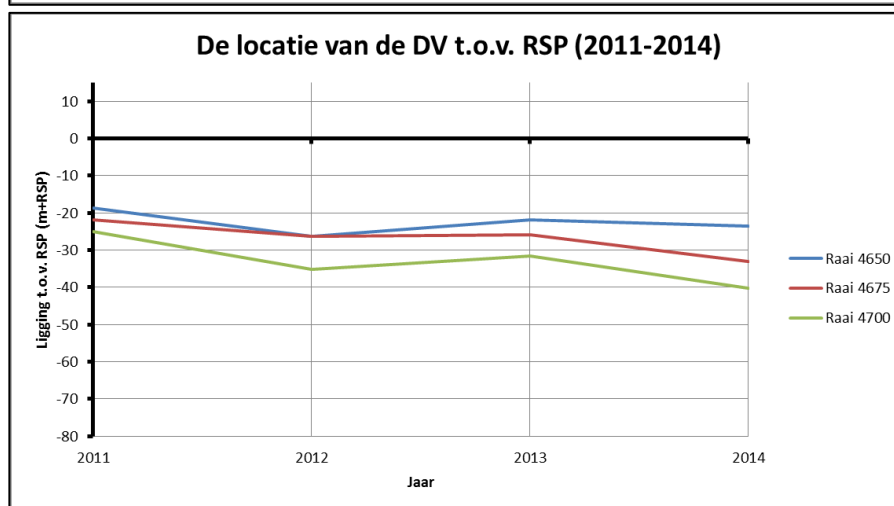
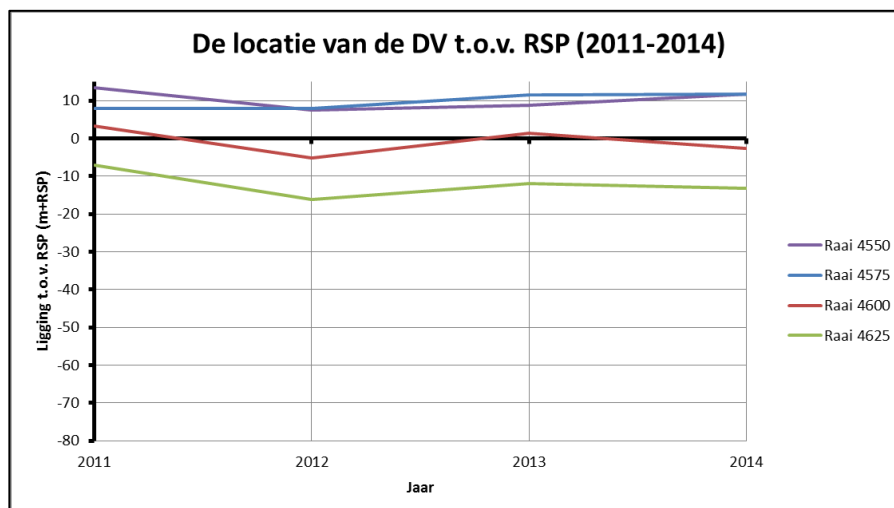
C.3. GHW

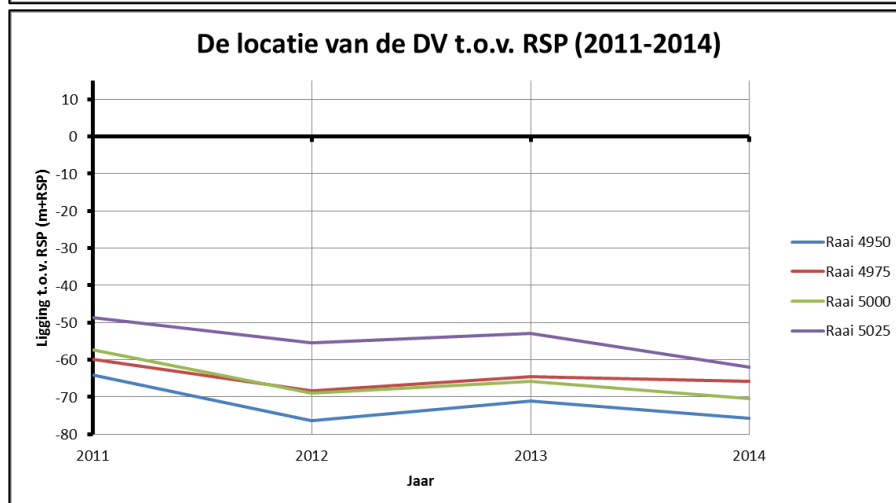
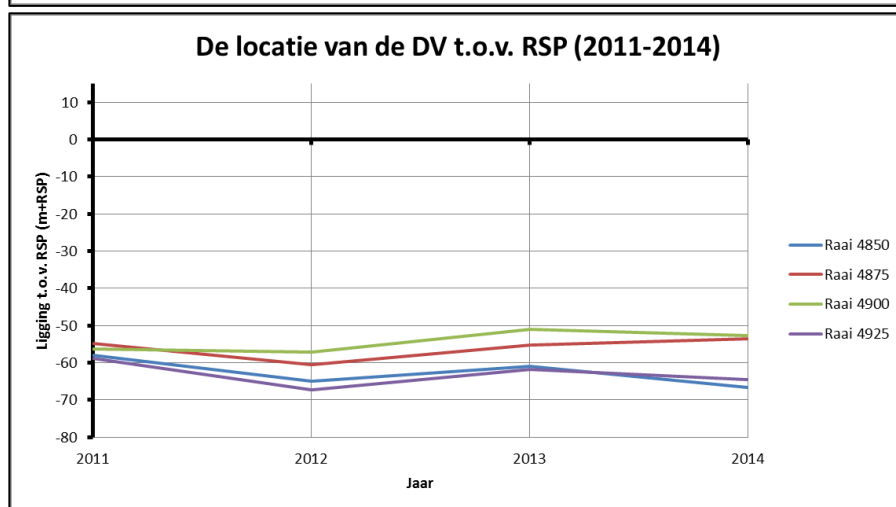
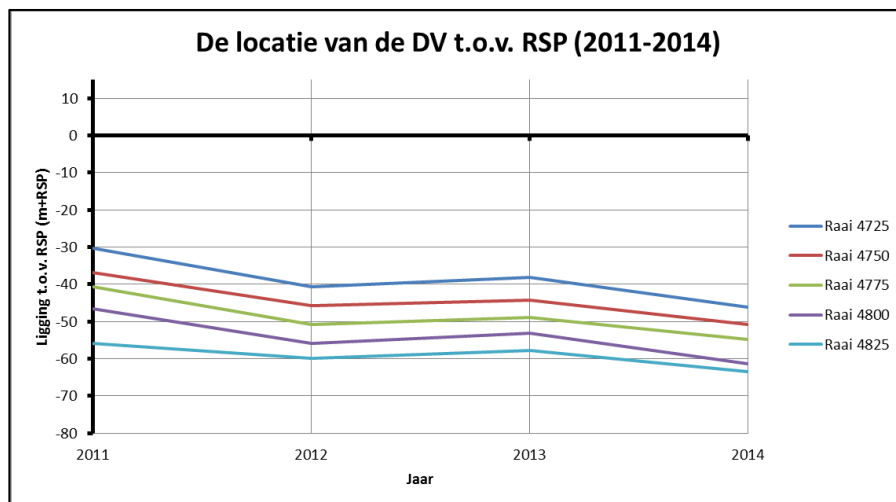






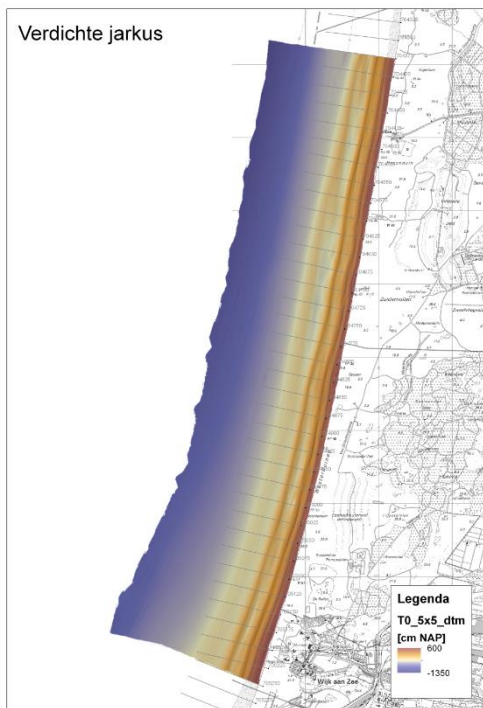
C.4. DV



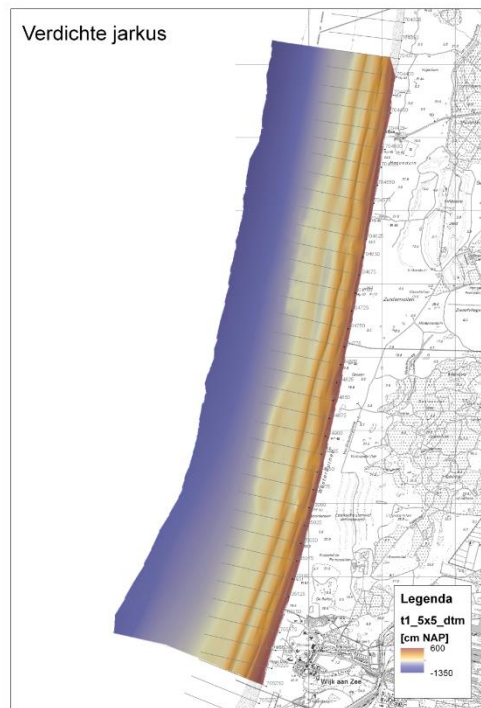


D. BATHYMETRISCHE KAARTEN

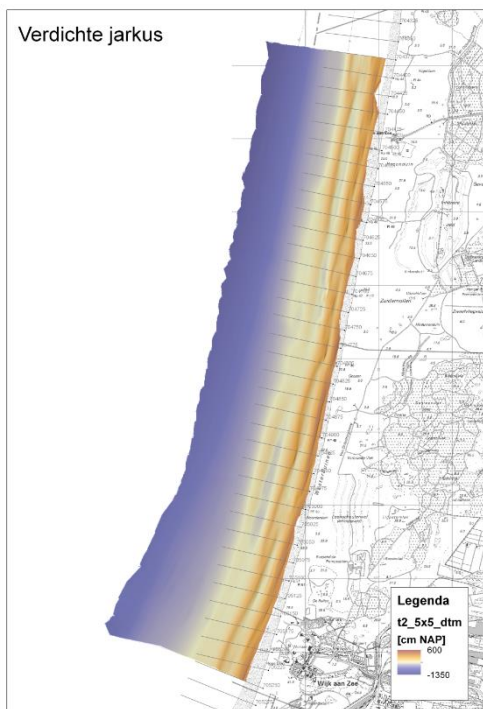
Deze bijlage bevat bathymetrische kaarten van het onderzoeksgebied. De kaarten van de verdichte jarkusmetingen van Rijkswaterstaat beslaan een groter gebied dan de aanvullende metingen van SHORE. Deze bijlage hoort bij hoofdstuk 6.



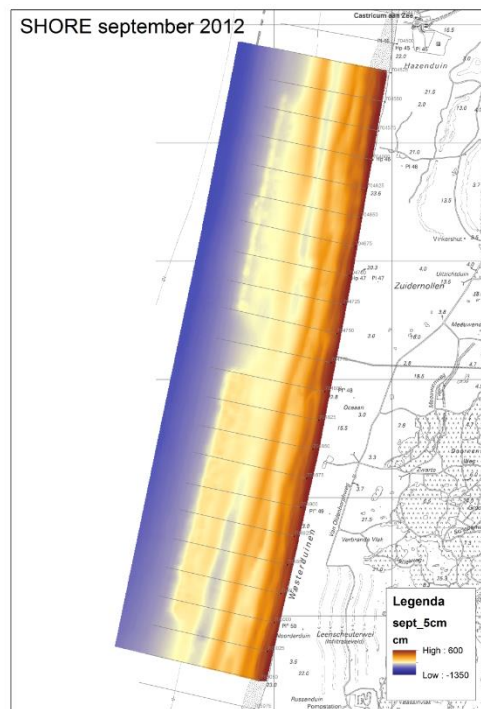
T0 (verdichte jarkus meting RWS) (02-2011)



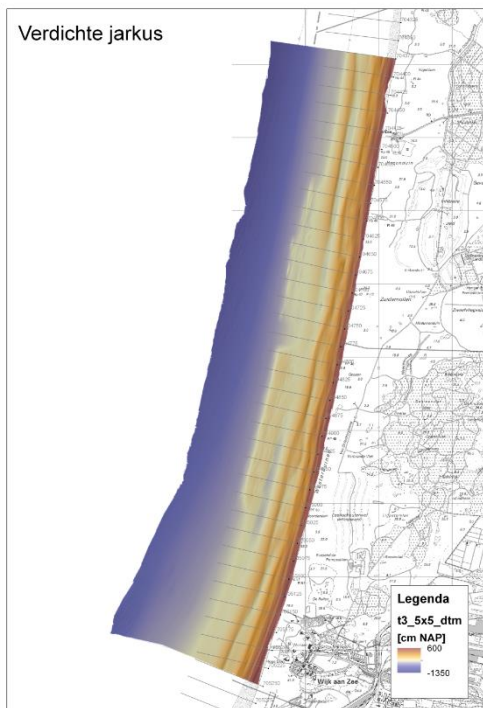
T1 (verdichte jarkus meting RWS) (09-2011)



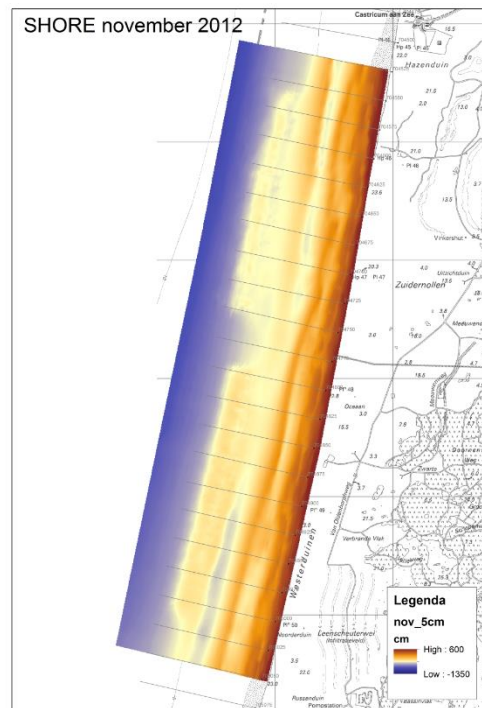
T2 (verdichte jarkus meting RWS) (02-2012)



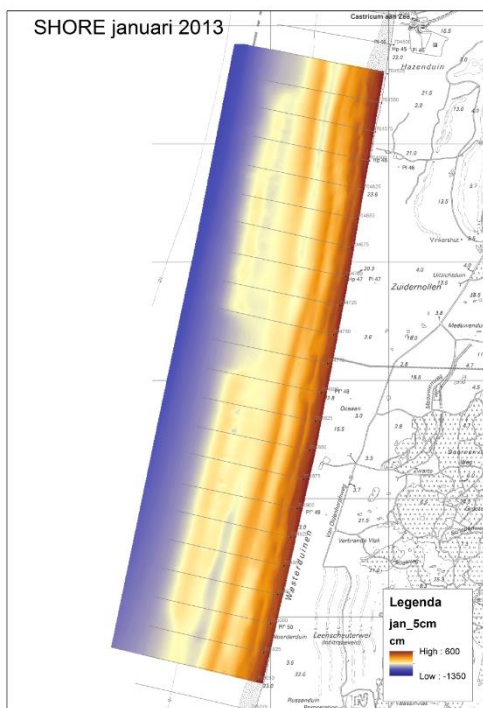
sept (meting SHORE) (09-2012)



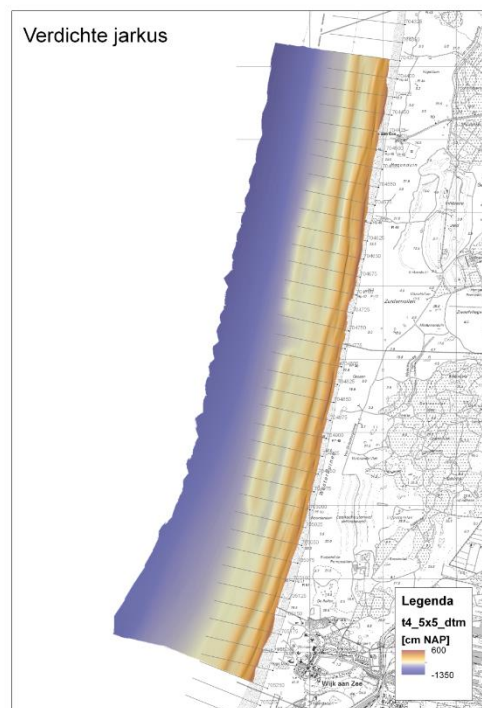
T3 (verdichte jarkus meting RWS) (10-2012)



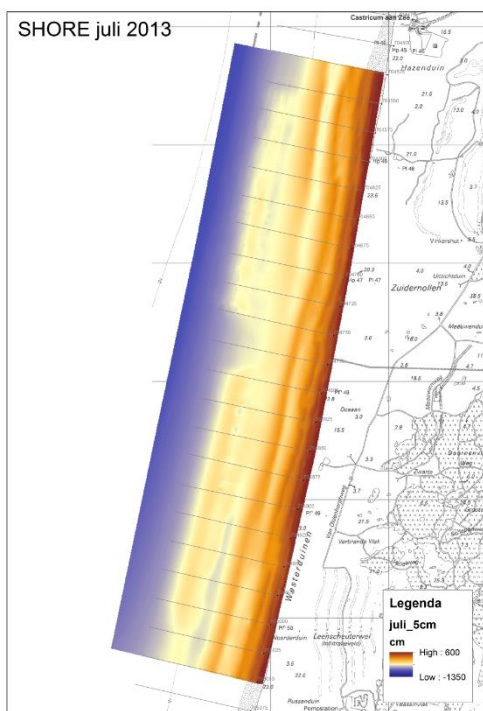
nov (meting SHORE) (11-2012)



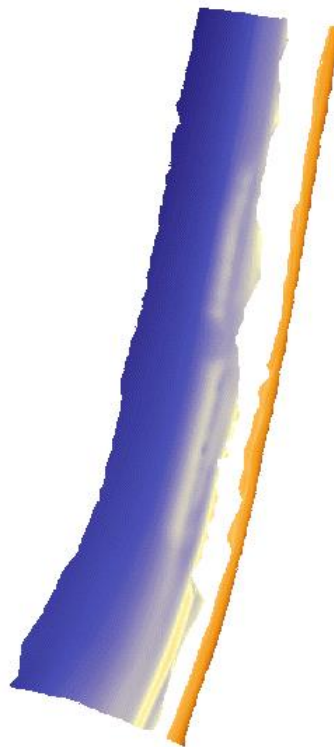
jan (meting SHORE) (01-2013)



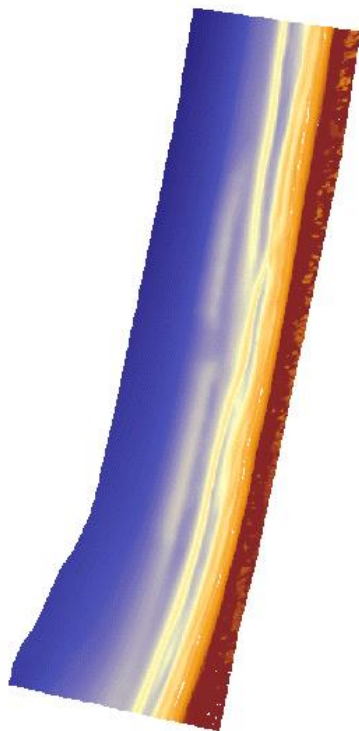
T4 (verdichte Jarkus meting RWS) (01-2013)



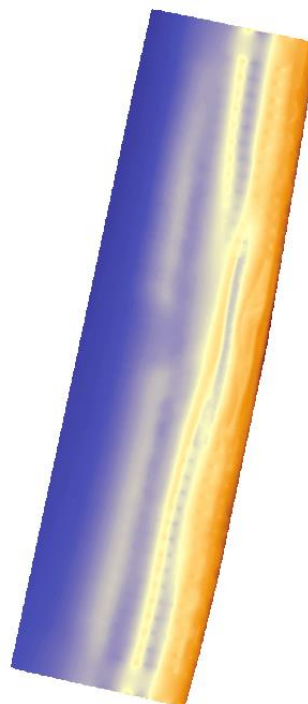
juli (meting SHORE) (07-2013)



T5 (verdichte jarkus meting RWS; legenda zoals bij juli [meting SHORE]) (12-2013)



T6 (verdichte jarkus meting RWS; legenda zoals bij T1) (04-2014)

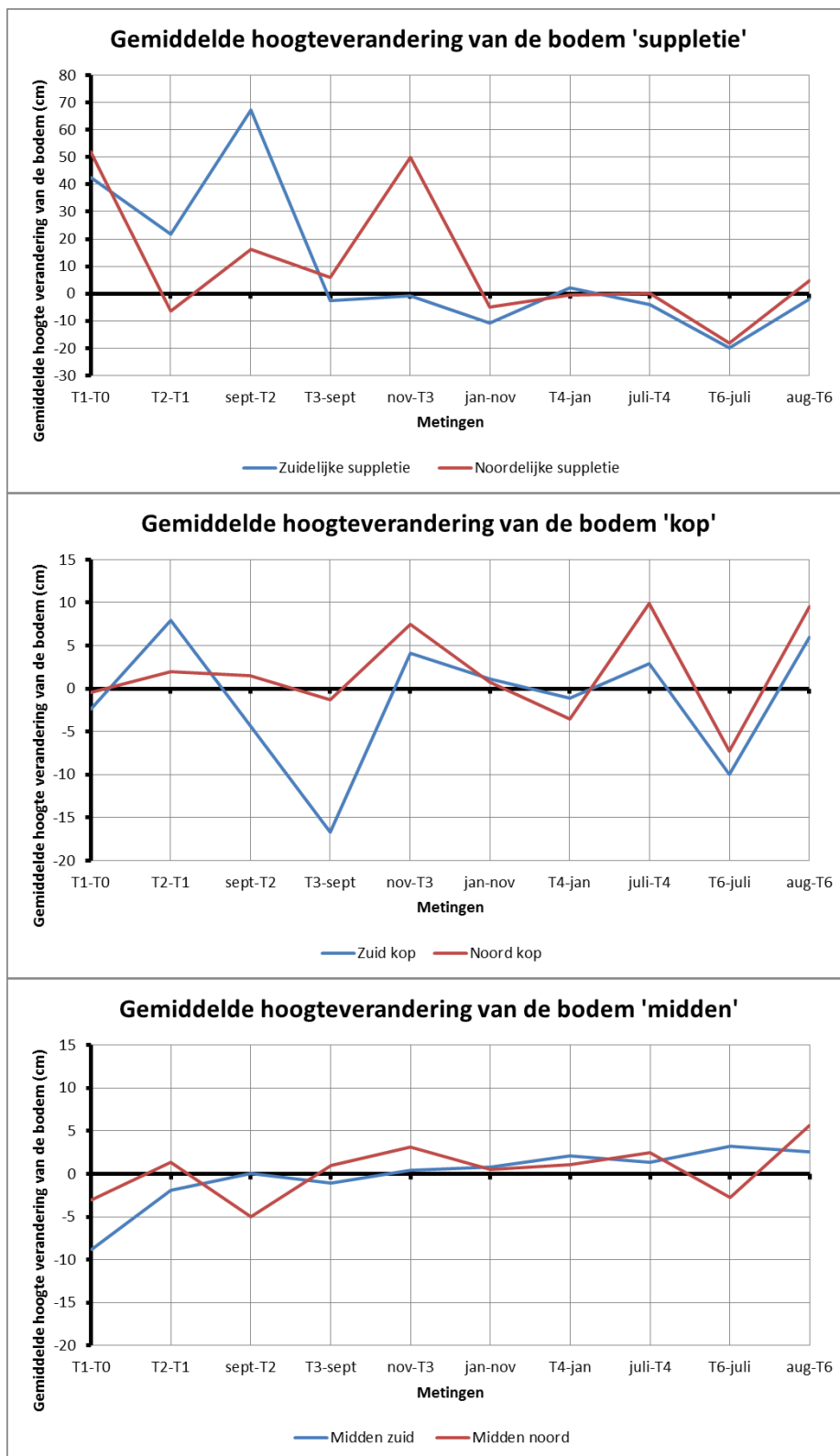


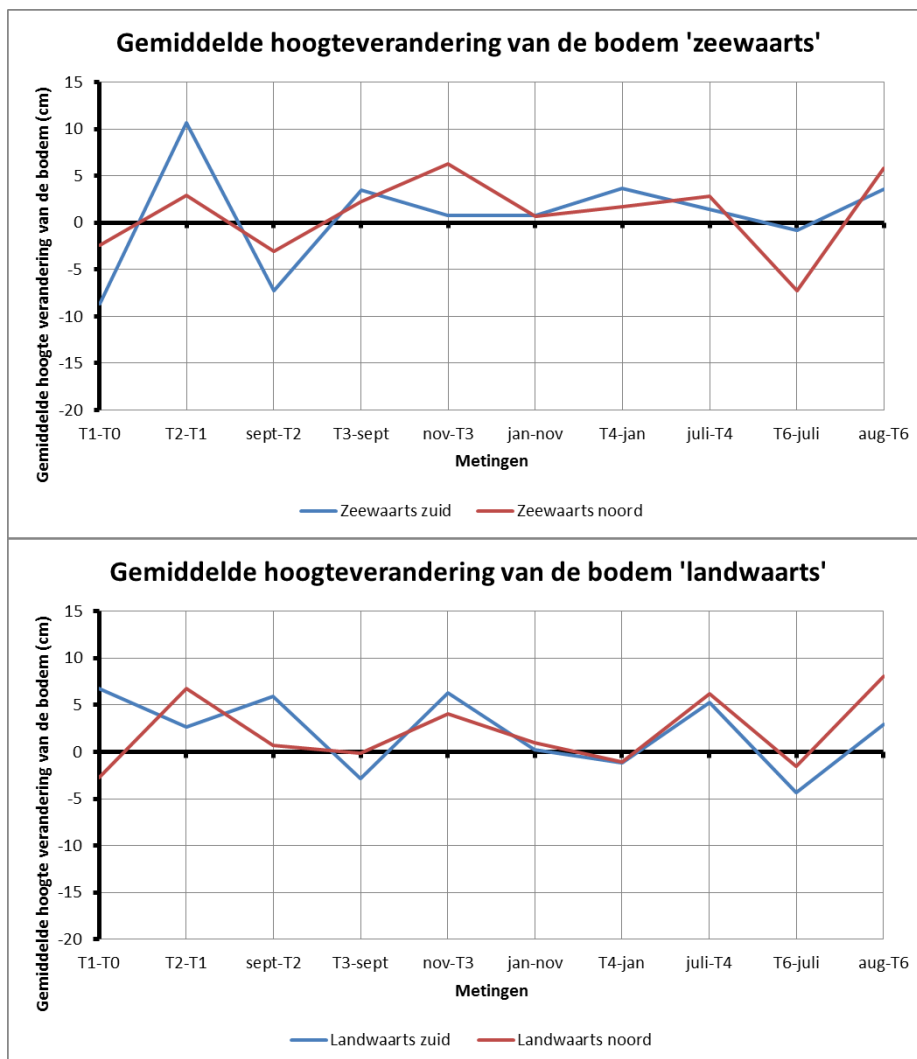
aug (meting SHORE; legenda zoals bij T1) (08-2014)

E. ONTWIKKELING VAN DE BODEMHOOGTE

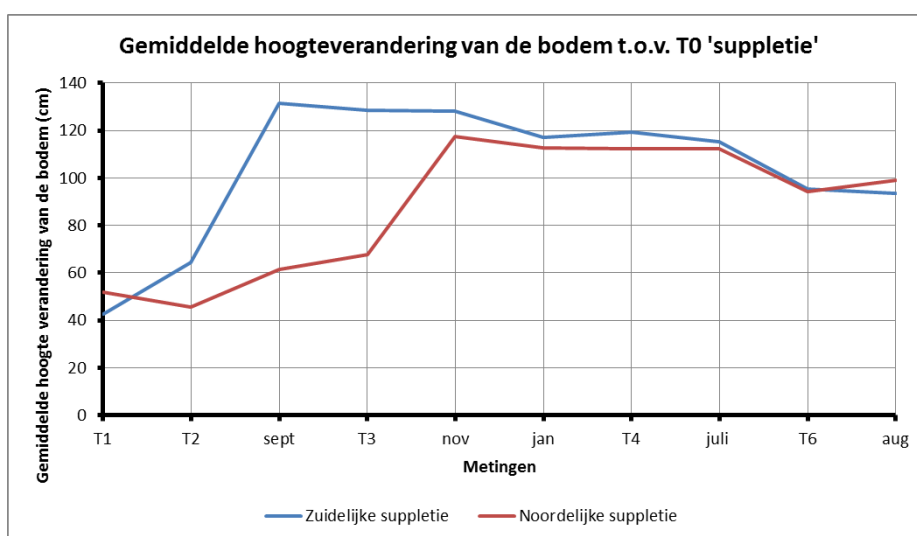
Deze bijlage bevat grafieken over de ontwikkeling van de bodemhoogte en hoort bij hoofdstuk 6.

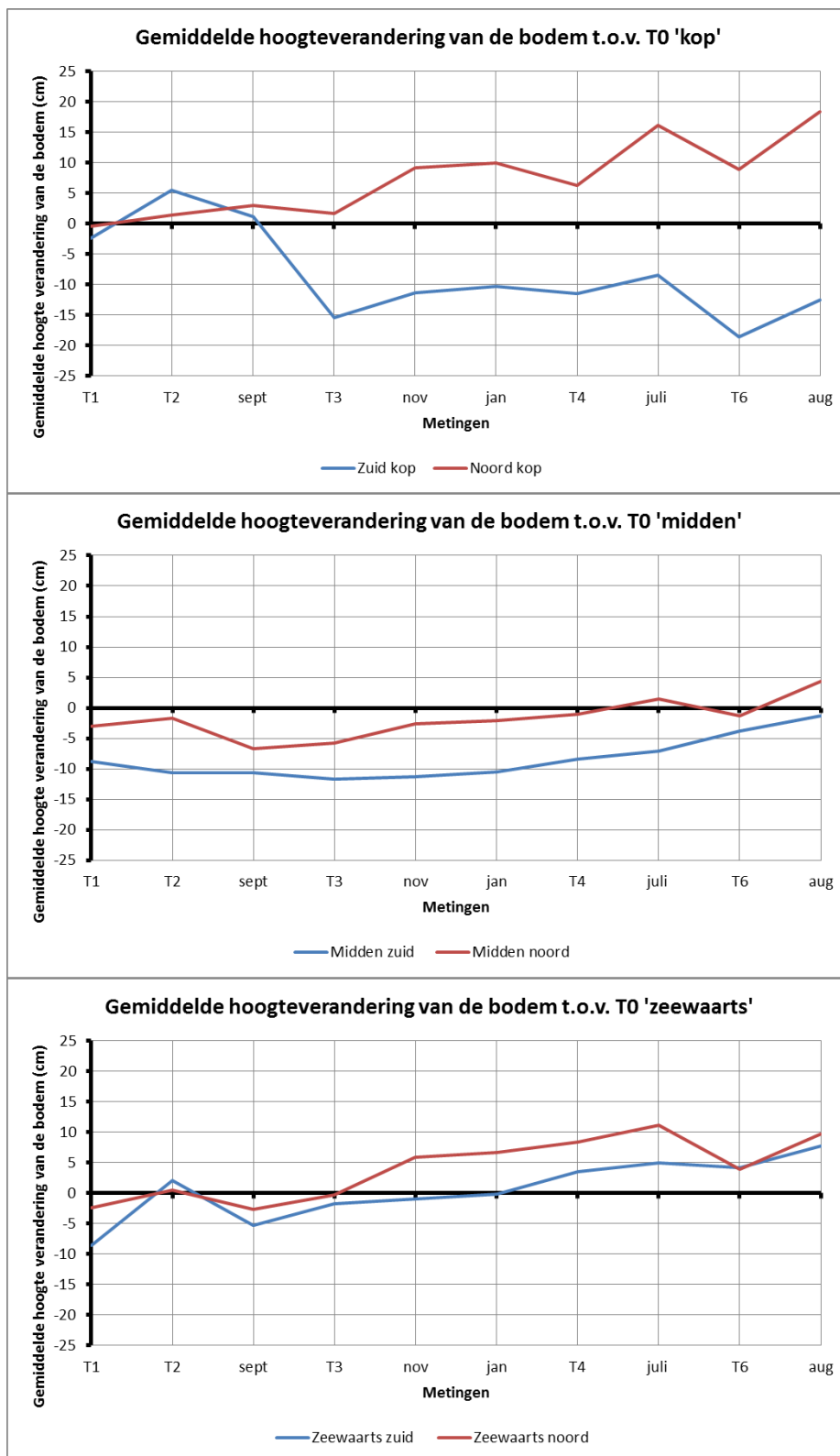
E.1. BODEMHOOGTE VERANDERING TUSSEN METINGEN

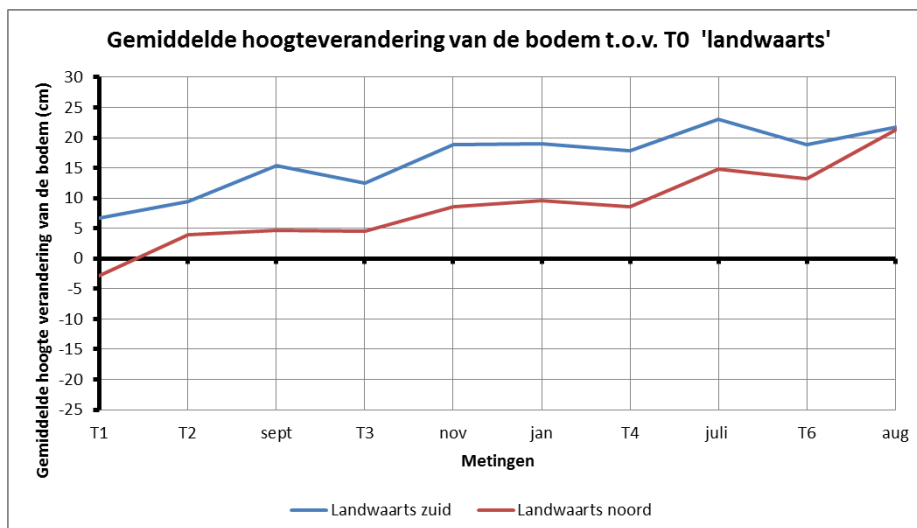




E.2. CUMULATIEVE BODEMHOOGTE VERANDERING







E.3. OVERIGE GRAFIEKEN

