

UITWERKING LODINGGEGEVENS RWS 1985-2002 (3 CYCLI) TBV RAPPORTERING MONITORING GASWINNING 2008

INHOUD

	Inleiding
1	Hoogtekaarten
1.1	Lodingen
1.2	Beschrijving verwerking lodinggegevens
2	Hoogteverschilkaarten
3	Hypsometrische krommen en oppervlakte hoogteklassen
3.1	Hypsometrische krommen
3.2	Oppervlakte hoogteklassen
4	Berekeningen hoogteligging en oppervlakte
4.1	Waddenzee
4.2	Komberging
4.3	Droogvallend wad (tussen 1,5 en +1,5 m NAP)
4.3.1	Hoogteligging
4.3.2	Oppervlakte
5	Luchtfoto verificatie
6	Conclusies

INLEIDING

In het Monitoringprogramma 2007-2012 (NAM EP200701201533) rond de winningen van het waddengas vanaf de locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen, is aangegeven dat de geomorfologische dynamiek in de Waddenzee nader zal worden onderzocht aan de hand van de lodinggegevens van RWS. De lodinggegevens van de Nederlandse Waddenzee worden door RWS continu verzameld in cycli van 5 á 6 jaar. In de monitoring ligt het accent op ontwikkelingen in monitoringparameters in zowel tijd (trends) als ruimte (referentiegebieden). Daarom zijn voor de monitoring vooral de gegevens van die lodingcycli van belang waarin alle kombergingen zijn gelood. Het gaat daarbij om de lodinggegevens vanaf 1985 die deels (tot 2003) ook gebruikt zijn in de Bodemdalingstudie 2004 van RWS/RIKZ.

RWS heeft op verzoek van de NAM de basisgegevens van de laatste vier lodingcycli beschikbaar gesteld. Deze lodinggegevens zijn door de NAM bewerkt en geanalyseerd voor rapportering aan de overheid medio 2009. Nadat de rapportage was ingediend, is gebleken dat de gegevens van de laatste lodingcyclus op een andere manier zijn verzameld en verwerkt, waardoor ze niet met de eerdere lodingcycli kunnen worden vergeleken (Lekkerkerk e.a., 2006). In cyclus 4 is voor de plaats- en hoogtebepaling van de meetboot gebruik gemaakt van een kinematisch GPS. Verder is het ondiepere gedeelte niet meer gelood maar middels Laser Altimetrie (LIDAR) ingemeten. Afwijkingen in de metingen zijn zowel systematisch (bij voorbeeld geoïde model / ellipsoidische vs. orthometrische hoogten) als ook stochastisch (hogere meetprecisie van LIDAR).

Vanwege de grote afwijking in de metingen met de nieuwe methode (gemiddeld -10 cm), is na overleg met ministerie EZ en LNV besloten om de analyse van de lodinggegevens te beperken tot de eerste drie cycli en het ingediende rapport aan te passen. Het voorliggende rapport is het resultaat van deze aanpassing en beperkt zich tot de drie lodingcycli die zijn uitgevoerd in de periode 1985 - 2002. Hierdoor is de totale oppervlakte die is gebruikt voor de analyses toegenomen wat de kwaliteit van de analyses ten goede komt. Echter door het wegvallen van de 4^{de} cyclus is de zeggingskracht van de rapportage (sterk) afgenomen, gelet op het feit dat een kwart van de periode en gegevens aan de hand waarvan de analyses zijn uitgevoerd, zijn afgefallen. De gegevens van de laatste lodingcyclus kunnen mogelijk in een later stadium nog worden ingezet voor de monitoring als een omrekeningsmethode beschikbaar komt waarmee de oude en nieuwe lodinggegevens aan elkaar kunnen worden gekoppeld.

In dit rapport wordt af en toe nog wel gebruikt gemaakt van of verwezen naar gegevens uit de 4^{de} lodingcyclus. Dit is gedaan om een zo goed mogelijk beeld te krijgen van de dynamiek van het wad; daarbij is altijd aangegeven dat het om afwijkende gegevens gaat en dat de gegevens met enige reserve moeten worden bekeken.

1 HOOGTEKAARTEN

Aan de hand van de lodinggegevens van RWS van vier lodingcycli zijn een viertal hoogtekarten samengesteld. Het betreft de lodingcycli 1985-1990; 1991-1996; 1997-2002 en 2003-2008. De hoogtekarte van de 4^{de} cyclus kan niet zondermeer worden vergeleken met die van de andere cycli omdat de lodinggegevens op een andere manier zijn verzameld en bewerkt (Lekkerkerk e.a., 2006). Het verschil in gemeten hoogte/diepte bedraagt gemiddeld -10 cm, wat inhoudt dat de metingen met de nieuwe methode gemiddeld een 10 cm lager hoogteligging registreren dan de metingen met de oude methode. De gemiddelde daling in de 4^{de} lodingcyclus van 2,5 cm voor de hele Waddenzee en 3 cm voor het droogvallende wad zoals eerder gerapporteerd, is daarmee hoogstwaarschijnlijk niet aan de orde en waarschijnlijk is er eerder sprake van een (voortgezette) ophoging.

De periode tussen twee opeenvolgende lodingen van een bepaalde komberging bedraagt ca 5 jaar en tussen de lodingen van de eerste en vierde cyclus ca 20 jaar.

Om de kaarten zo vlakdekkend mogelijk te maken zijn gebieden waarin geen metingen zijn uitgevoerd of waar metingen ontbreken, opgevuld met metingen uit nabij gelegen perioden. NB: Dat is alleen gedaan voor het maken van de hoogtekarten en niet voor de bewerkingen en berekeningen die met de lodinggegevens zijn uitgevoerd.

1.1 Lodingen

Lodingen zijn in feite echolodingen waarmee de hoogteligging van de zee/wadbodem wordt vastgelegd in raaien om de 200 m tot een diepte van -6 m NAP. De dieptemetingen zijn omgezet naar dieptecijfers in een rechthoekig rooster met cellen van 20 bij 20 m (standaardverwerking RWS). Zoals hierboven al is aangegeven is ten behoeve van de vergelijking van gegevens van verschillende cycli, steeds gerekend met alleen die cellen waarvan in alle cycli dieptegegevens beschikbaar zijn. Gebieden met geen of ontbrekende data (zie witte vlekken in hoogteverschilkaarten) in een van de lodingjaren zijn dus uitgesloten van de berekening. Dit kan tot enige, waarschijnlijk geringe, onnauwkeurigheid leiden.

Er is geen rekening gehouden met verschuivingen in de grenzen van de kombergingen, zodat voorzichtig met de cijfers per komberging moet worden omgegaan. De gebruikte lodinggegevens zijn met enige onzekerheid omgeven. De fout c.q. standaardafwijking in de gemeten gemiddelde diepte kan 3 tot 10 cm zijn. Hoe groter het gebied dat wordt beschouwd des te kleiner is deze fout (RIKZ 2004). Rekening moet worden gehouden met een fout van 5 cm voor de gehele Waddenzee; voor kombergingen ligt die fout hoger. Het betreft naar alle waarschijnlijkheid een combinatie van een (toevallige en lokaal/temporeel variabele tweezijdig) systematische en toevallige fout die voor elke cyclus geldt met uitzondering van cyclus 4 (zie Lekkerkerk e.a. 2006) waarin een andere methodiek is toegepast. Alleen als het eenzijdig stationaire systematische fouten betreft, leidt middelen over een groter gebied niet tot een afname in de standaardafwijking. Bij het bepalen van de natuurlijke variatie in parameters moet er rekening mee worden gehouden dat de meetfout niet van de natuurlijke variatie kan worden onderscheiden.

1.2 Beschrijving verwerking gegevens

Lodinggegevens

De "ruwe" lodingdata die voor deze rapportage zijn gebruikt, zijn door Rijkswaterstaat ter beschikking gesteld in de vorm van dieptecijfers in een rechthoekig rooster. Deze dieptecijfers zijn door de NAM in ArcGIS bewerkt tot een Waddenzeewijd rooster met dieptecijfers voor iedere afzonderlijke lodingcyclus. Het gaat daarbij om de volgende vier lodingcycli: 1985-1990, 1991-1996, 1997-2002 en 2003-2008. Voor de verdere verwerking van de lodinggegevens is zoveel mogelijk aansluiting gezocht bij de werkwijze van het RIKZ in het kader van de "Bodemdalingstudie Waddenzee 2004 (RIKZ, 2004)". In dit onderzoek zijn de gegevens van de lodingen van 1985 t/m 2002 gebruikt. Hiervoor zijn de lodinggegevens uit die periode door RWS bewerkt en gecontroleerd.

Binnen de datasets van RWS wordt onderscheid gemaakt tussen gebieden met “missing data” en “no data”. Deze gebieden worden op verschillende manieren meegenomen in de berekeningen.

Gebieden met No data zijn relatief kleine gebieden (zie Kaart 1.1) die niet zijn gelood en waarvan dus geen gegevens beschikbaar zijn. Deze gebieden zijn ‘doorgedrukt’ in de andere cycli om de datasets onderling vergelijkbaar te houden. No data gebieden in een bepaalde cyclus worden dus ook in de andere cycli als no data gebieden aangemerkt en dus niet meegenomen in de berekeningen.

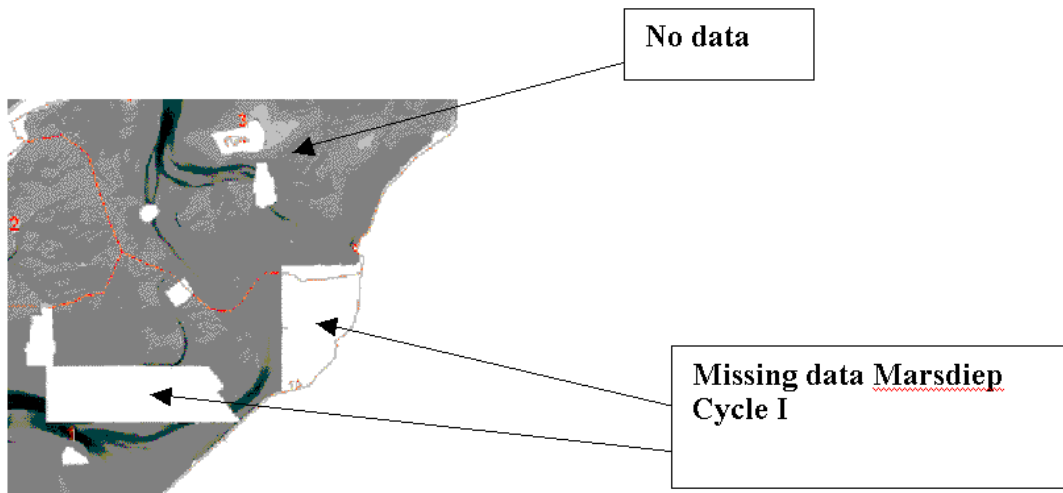
Gebieden met Missing data zijn wat grotere gebieden (zie Kaart 1.1) die wel zijn gelood maar waarvan de data niet beschikbaar waren. Deze gebieden zijn niet altijd ‘doorgedrukt’ omdat daarmee (te) veel informatie verloren zou gaan. In de verschillende bewerkingen van de gegevens is in de begeleidende tekst aangegeven of de gebieden wel of niet zijn doorgedrukt. Daar waar vergelijkingen tussen kombergingen of cycli zijn gemaakt op basis van een verschillende datasets zijn de gegevens van afwijkende datasets grijs gemarkeerd.

Het belangrijkste gebied met missing data liggen in het Marsdiep in de eerste ladingcyclus (zie H2; hoogteverschilkaarten).

Voor het (droogvallende) wad tussen > -150 cm en < 150 cm NAP is een aparte GIS layer aangemaakt om het ‘gedrag’ van het droogvallend wad nader te kunnen bestuderen. Voor dit doel zijn binnen deze layer een 14-tal hoogteklassen onderscheiden waarvan de veranderingen in de loop van de tijd/cycli kunnen worden bestudeerd.

In de bewerkingen en berekeningen is gebruik gemaakt van een gemiddelde laagwaterstand (GLW) voor de verschillende kombergingen. Deze gemiddelde laagwaterstand is berekend aan de hand van de GLW's van de meetstations in de Waddenzee zoals die te vinden zijn op de website www.watermarkt.nl. Via een geostatistische interpolatie (kriging) is voor iedere komberging afzonderlijk een GLW bepaald.

Kaart 1.1



In Tabel 1.1 staat een overzicht van de (relatieve) oppervlaktes met no- en missing data in de kombergingen per cyclus. Het percentage ontbrekende data is structureel het grootst voor de kombergingen Borndiep, Pinkegat, Zoutkamperlaag en Lauwers (10 á 15%). Het gaat daarbij voornamelijk om no data van gebieden die min of meer structureel niet in de lodingen meegenomen (kunnen) worden vanwege hun relatief hoge ligging. Alleen het Marsdiep kent in cyclus 1 een hoger percentage ontbrekende data wat samenhangt met het incidenteel niet meenemen van een areaal wad in de lodingen. Het percentage ontbrekende data ligt gemiddeld in de orde van grootte van 7 á 9%. Door het niet meenemen van de 4^{de} ladingcyclus in de analyses is de totale oppervlakte van het gebied met ontbrekende data (sterk) afgenomen.

Tabel 1.1: Overzicht (relatieve) oppervlakte met no en missing data in de kombergingen per cyclus.
Cyclus 1.

Kombergingen	Oppervlakte	% No data	% Missing data	% Totaal
Marsdiep	685.7	7.4%	13.2%	20.6%
Eierlandse Gat	166.3	6.4%	0.0%	6.4%
Vlie	686.7	7.5%	0.8%	8.3%
Borndiep	305.9	5.9%	0.0%	5.9%
Pinkegat	61.3	13.3%	0.0%	13.3%
Zoutkamperlaag	148.0	13.1%	0.0%	13.1%
Eilanderbalg	39.5	3.7%	0.0%	3.7%
Lauwers	143.3	11.9%	0.0%	11.9%
Schild	30.6	0.0%	0.0%	0.0%
Eems-Dollard	114.1	6.2%	0.0%	6.2%
	Gemiddeld	7.5%	1.4%	8.9%

Cyclus 2.

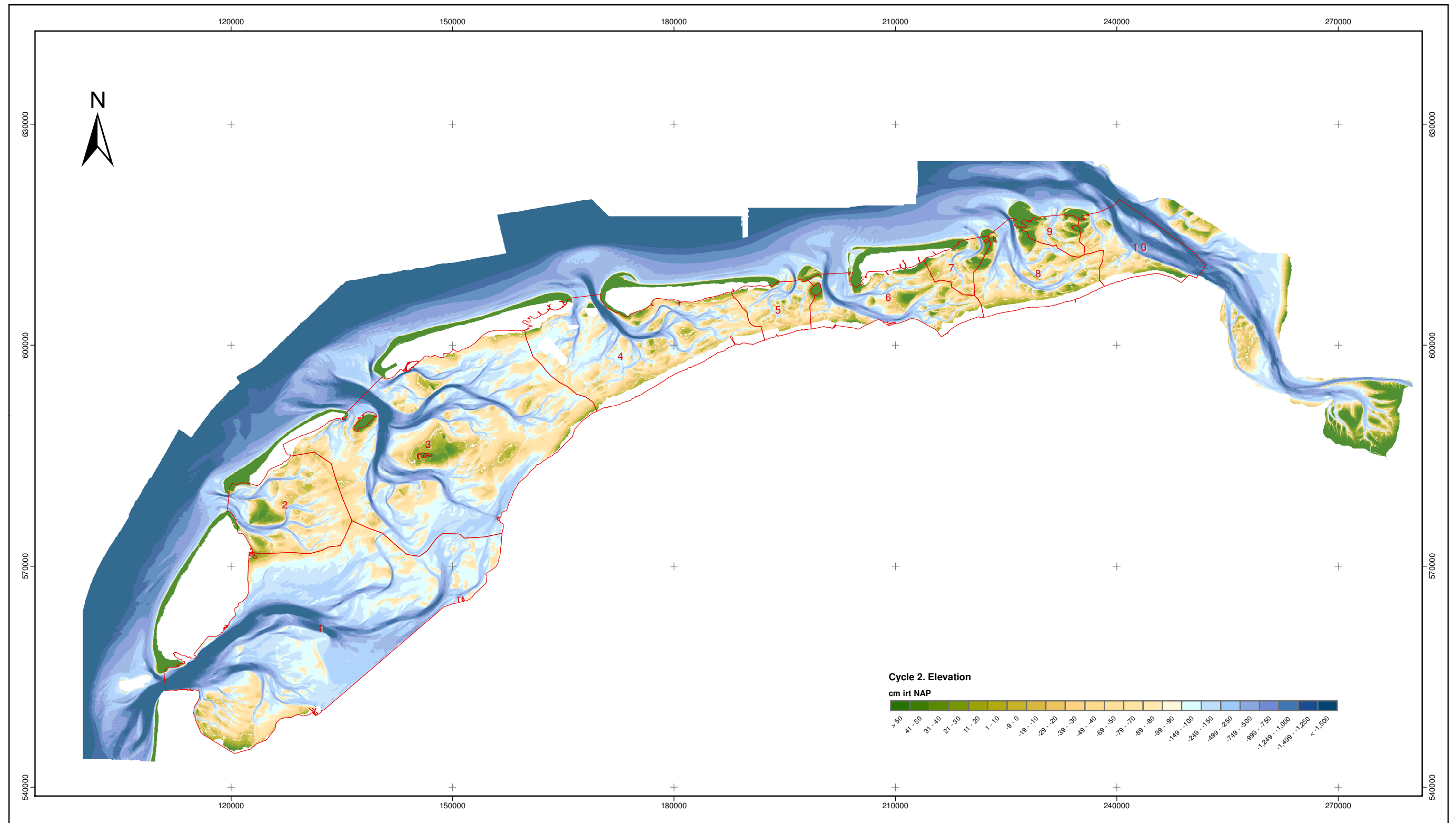
Kombergingen	Oppervlakte	% No data	% Missing data	% Totaal
Marsdiep	685.7	1.5%	0.0%	1.5%
Eierlandse Gat	166.3	1.5%	0.0%	1.5%
Vlie	686.7	2.2%	0.0%	2.2%
Borndiep	305.9	14.2%	0.0%	14.2%
Pinkegat	61.3	11.2%	0.0%	11.2%
Zoutkamperlaag	148.0	11.5%	0.0%	11.5%
Eilanderbalg	39.5	2.8%	0.0%	2.8%
Lauwers	143.3	12.1%	1.2%	13.3%
Schild	30.6	0.0%	4.6%	4.6%
Eems-Dollard	114.1	6.6%	1.5%	8.1%
	Gemiddeld	6.4%	0.7%	7.1%

Cyclus 3.

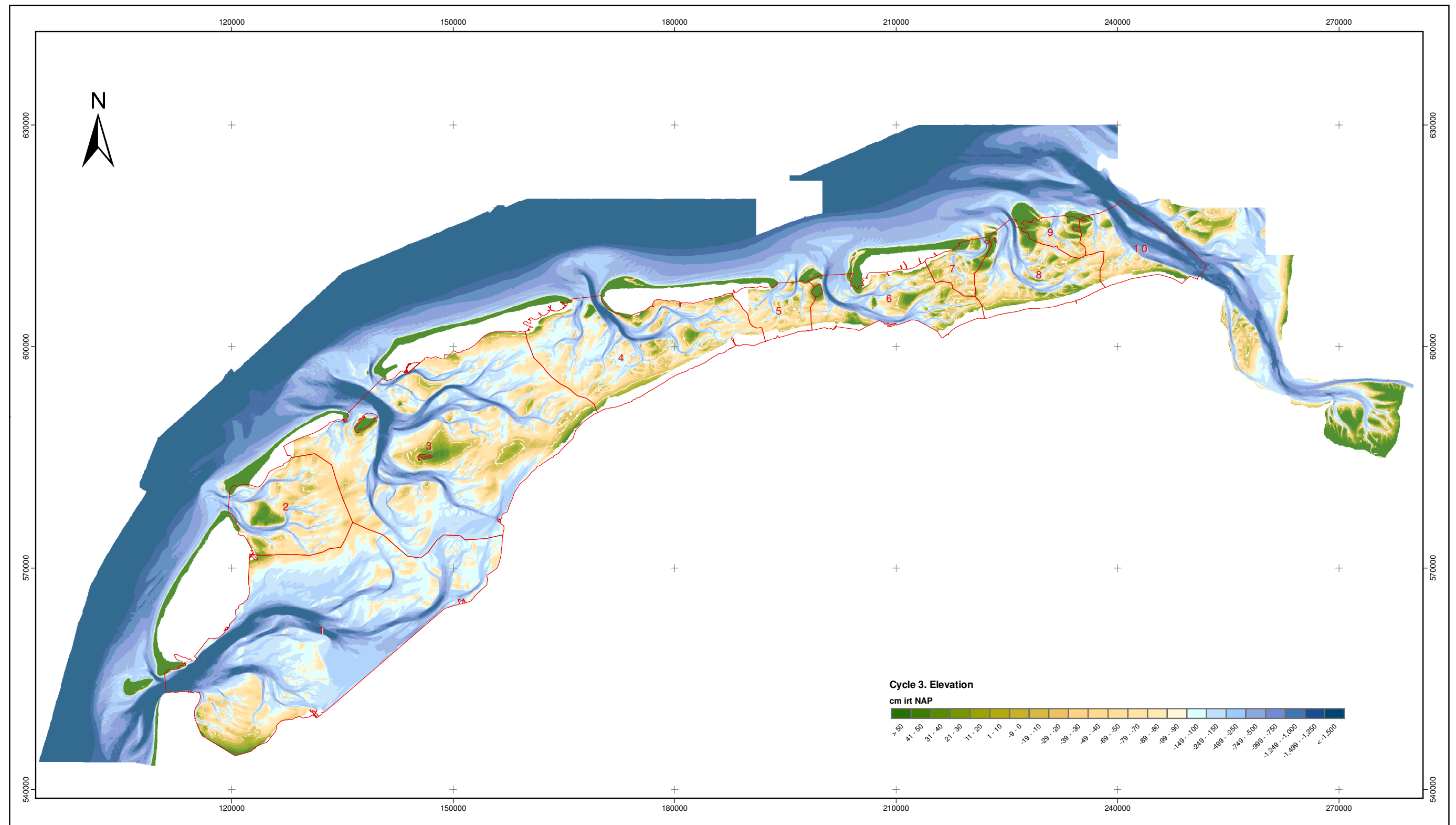
Kombergingen	Oppervlakte	% No data	% Missing data	% Totaal
Marsdiep	685.7	1.1%	0.0%	1.1%
Eierlandse Gat	166.3	1.8%	0.0%	1.8%
Vlie	686.7	1.8%	0.0%	1.8%
Borndiep	305.9	10.7%	0.0%	10.7%
Pinkegat	61.3	17.1%	0.0%	17.1%
Zoutkamperlaag	148.0	11.3%	0.0%	11.3%
Eilanderbalg	39.5	4.0%	0.0%	4.0%
Lauwers	143.3	11.9%	0.0%	11.9%
Schild	30.6	0.0%	0.0%	0.0%
Eems-Dollard	114.1	6.6%	0.0%	6.6%
	Gemiddeld	6.6%	0.0%	6.6%



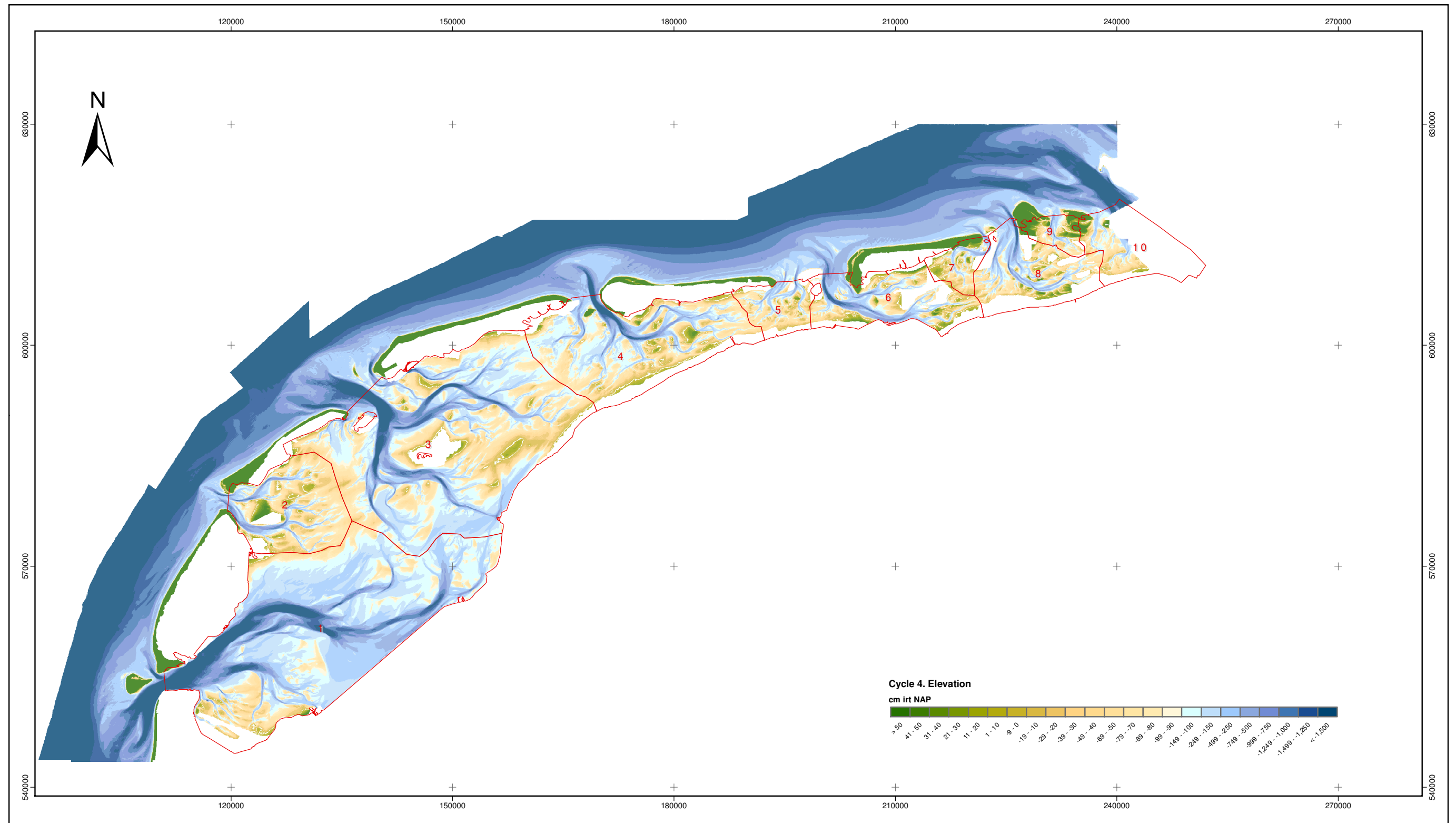
CYCLUS 2: 1991-1996



CYCLUS 3: 1997-2002



CYCLUS 4: 2003-2008



NB: De hoogteliggingkaart van de 4^{de} cyclus is gebaseerd op lodinggegevens die op een andere wijze zijn verzameld dan in de eerste drie lodingcycli. Hierdoor is de hoogteligging gemiddeld 10 cm lager dan in de andere cycli en is de (Lekkerkerk e.a, 2006).

2 HOOGTEVERSCHILKAARTEN

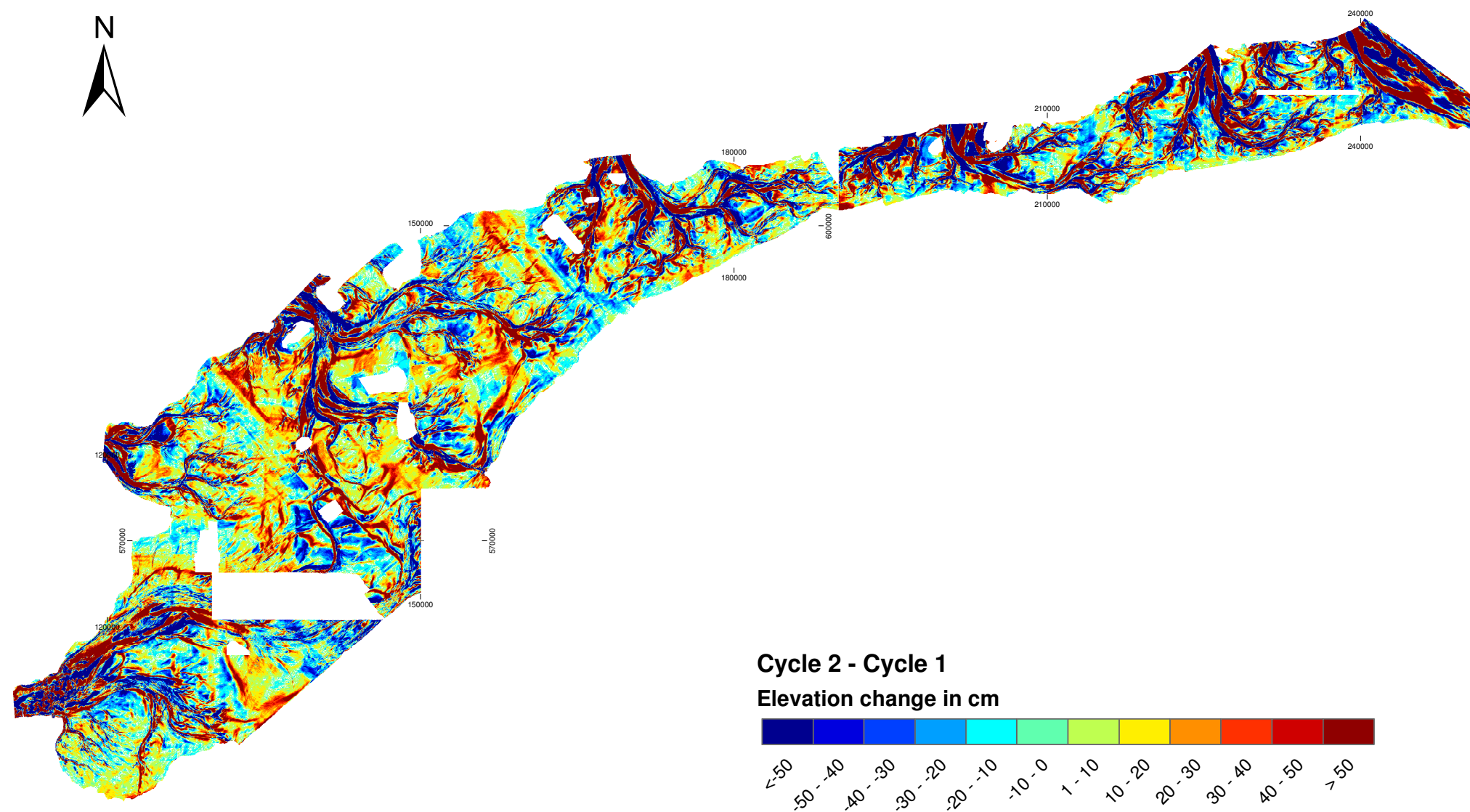
Door de hoogtekarten van verschillende cycli van elkaar af te trekken ontstaan hoogteverschilkaarten waarop de veranderingen in hoogteligging van het wad tussen de cycli zichtbaar worden. Dit is gedaan voor de opeenvolgende cycli (2-1 en 3-2) en de eerste en laatste cyclus (3-1). De eerste verschilkaarten geven de meer geleidelijke veranderingen in de hoogteligging van het wad weer; de laatste verschilkaart de (totale) verandering in hoogteligging over een periode van ca 15 jaar. Gelet op de dynamiek in de geomorfologie van het wad is vooral het beeld van de veranderingen op de lange termijn van belang (zie kaart en opmerkingen bij cyclus 3 - 1).

In de verschilkaarten zijn itt de hoogtekarten de gebieden met ontbrekende data buiten beschouwing gelaten. Dit is zichtbaar is aan de witte vlekken in de verschilkaarten die in de hoogtekarten zijn opgevuld met data uit aangrenzende gebieden en perioden

In Tabel 2.1 zijn de verschillen in gemiddelde hoogteligging (dH in cm) van het droogvallende wad (– 1,5 m á +1,5 m NAP) tussen de opeenvolgende cycli en eerste en laatste cyclus weergegeven. Aan de hand van de oppervlakten van de verschilklassen voor cyclus 3 – cyclus 1, kan het areaal wad worden achterhaald dat in de loop van 15 jaar een bepaalde hoogteverandering heeft ondergaan (Tabel 2.2). De gegevens en informatie uit de tabel zijn meegenomen in de opmerkingen bij de hoogteverschilkaarten en de bewerkingen en bespreking in H4.

Tabel 2.1: Verschillen in gemiddelde hoogteligging (dH in cm) van het droogvallende wad (–1,5 m NAP tot +1,5 m NAP) in de kombergingen tussen de opeenvolgende cycli en eerste en laatste cyclus.

		c2-1	c3-2	c3-1	
NAAM	nr	dH in cm	dH in cm	dH in cm	Opp.vl.
Marsdiep	1	0.26	-1.31	-1.05	172.85
Eierlandse Gat	2	4.94	-4.93	0.01	113.62
Vlie	3	7.01	1.02	8.03	350.81
Borndiep	4	2.89	2.46	5.35	163.99
Pinkegat	5	0.84	-3.14	-2.30	32.50
Zoutkamperlaag	6	-0.15	2.29	2.14	74.28
Eilanderbalg	7	5.98	4.02	10.00	26.30
Lauwers	8	-1.95	9.25	7.30	78.49
Schild	9	4.81	2.92	7.73	22.29
Eems-Dollard	10	-4.20	3.29	-0.91	37.09

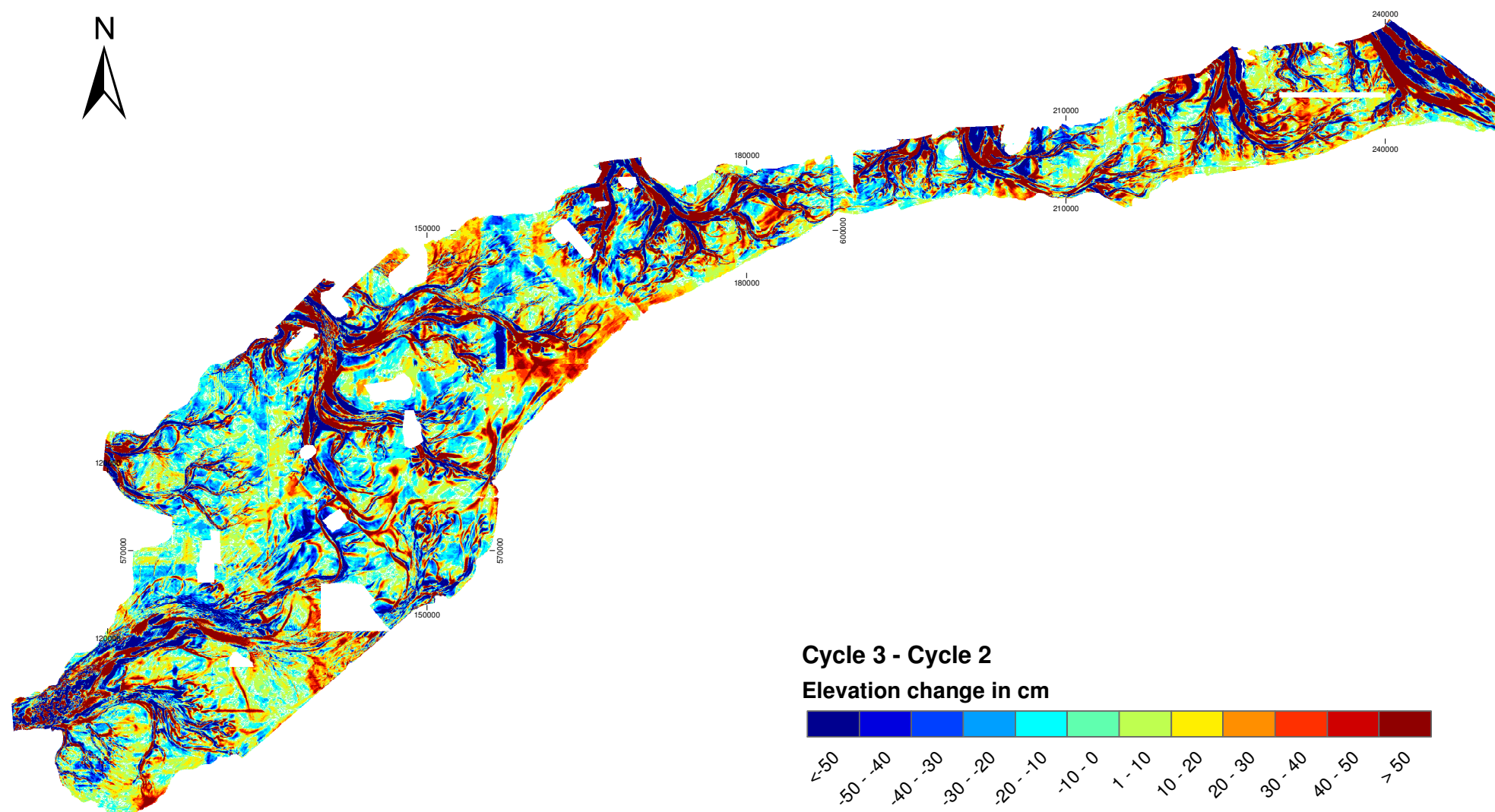


Opmerkingen bij cyclus 2-1 (1991/1996 – 1985/1990):

- Grootste sedimentdynamiek in zeegaten en grote geulen: enkele decimeters tot meer dan een 0,5 meter in 5 jaar
- In kleinere wadgeulen minder sedimentdynamiek: tot enkele decimeters in 5 jaar
- Op droogvallende wadplaten relatief weinig sedimentdynamiek: één á twee decimeter in 5 jaar. Komt overeen met een verandering van 2 á 4 cm/j.
- Langs vastelandskust en achter eilanden minste dynamiek: tot één decimeter in 5 jaar ofwel 2 cm/j

Informatie uit berekeningen (zie Tabel 4.2, 4.5 en 4.8)

- Ophoging wad gehele Waddenzee: 4,3 cm in 5 jaar = ca 8,6 mm/j
- Ophoging droogvallend wad gehele Waddenzee: 3,3 cm in 5 jaar = ca 6,5 mm/j
- Ophoging droogvallend wad (tussen -1,5 m en +1,5 m NAP) in meeste kombergingen variërend van 0,3 tot 7,0 cm
- Verlagings droogvallend wad in kombergingen Zoutkamperlaag (0,2 cm; geen bodemdaling), Lauwers (2,0 cm; wel bodemdaling) en Eems-Dollard (4,2 cm; wel bodemdaling)

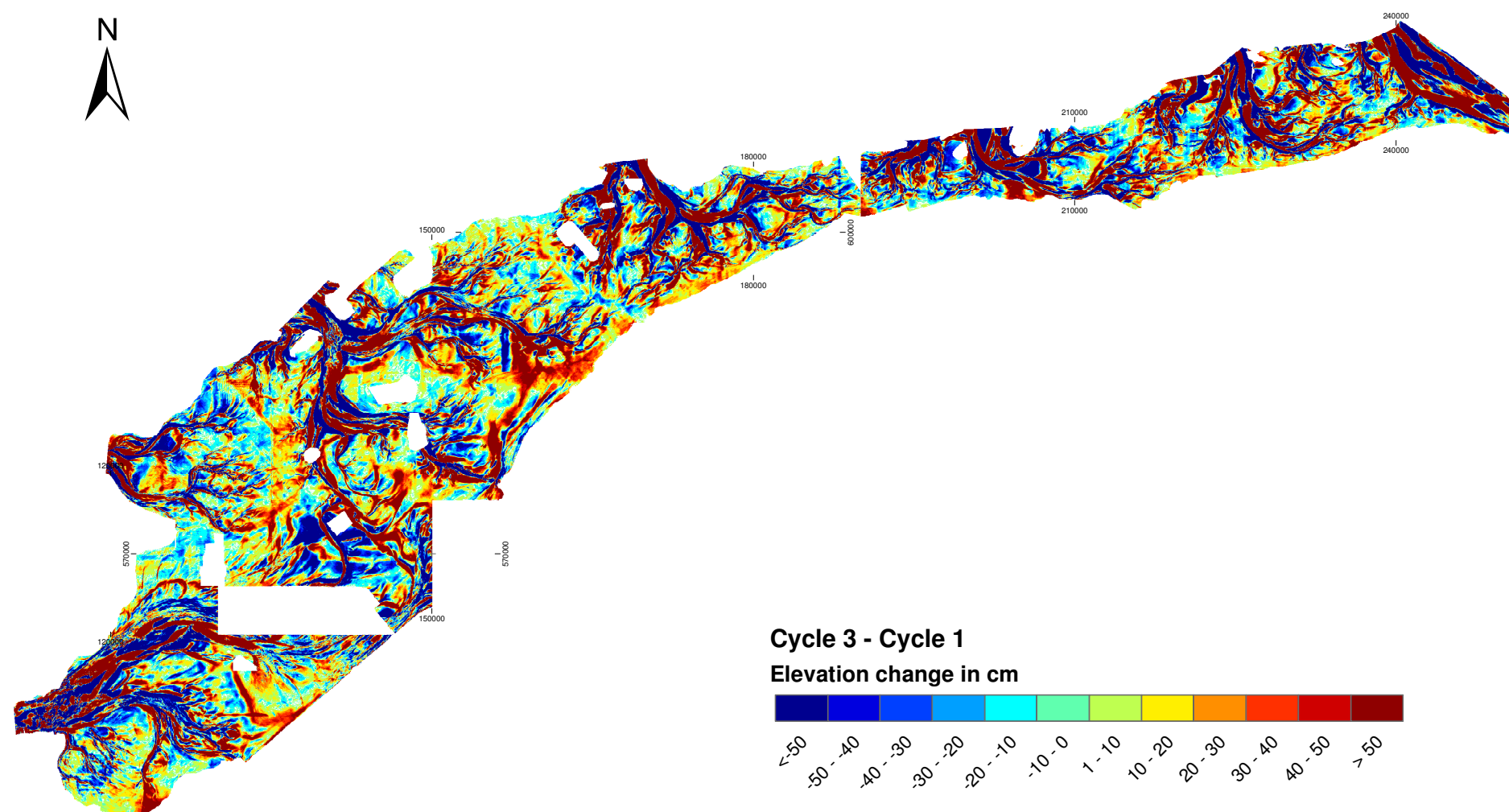


Opmerkingen bij cyclus 3-2 (1997/2002 - 1991/1996):

- Grootste sedimentdynamiek in zeegaten en grote geulen: enkele decimeters tot meer dan een halve meter in 5 jaar
- In kleinere wadgeulen minder sedimentdynamiek: tot enkele decimeters in 5 jaar
- Op droogvallende wadplaten relatief weinig sedimentdynamiek: één á twee decimeter in 5 jaar. Komt overeen met een verandering van 2 á 4 cm/j.
- Langs vastelandskust en achter eilanden minste dynamiek: tot één decimeter in 5 jaar ofwel 2 cm/j

Informatie uit berekeningen (zie Tabel 4.2, 4.5 en 4.8)

- Ophoging wad gehele Waddenzee: 3,1 cm in 5 jaar = ca 6,2 mm/j
- Ophoging droogvallend wad gehele Waddenzee: 1,0 cm in 5 jaar = ca 2 mm/j
- Ophoging droogvallend wad (tussen -1,5 m en +1,5 m NAP) in meeste kombergingen variërend van 1,0 tot 9,3 cm
- Alleen verlaging droogvallend wad in kombergingen Marsdiep (1,3 cm; geen bodemdaling), Eierlandse Gat (4,9 cm; geen bodemdaling) en Pinkegat (3,1 cm; wel bodemdaling)



Opmerkingen bij cyclus 3-1 (1997/2002 - 1985/1990); zie Tabel 2.2:

- Areaal van wijzigingen > +/- 50 cm sterk uitgebreid terwijl het areaal wijzigingen < 10 cm sterk is afgenomen.
- Een wijziging van > 50 cm in 15 jaar houdt een wijziging in van 3,3 cm/j
- Merendeel van het wad (>80%) is in 15 jaar meer dan 10 cm in hoogte veranderd, hetzij negatief of positief wat overeenkomt met een verandering van >0,7 cm/jaar

Informatie uit berekeningen (zie Tabel 4.2, 4.5 en 4.8)

- Ophoging wad gehele Waddenzee: 7,4 cm in 15 jaar = ca 5 mm/j
- Ophoging droogvallend wad gehele Waddenzee: 4,3 cm in 15 jaar = ca 3 mm/j
- Ophoging droogvallend wad (tussen -1,5 m en +1,5 m NAP) in 7 van de 10 kombergingen variërend van 0,0 tot 10,0 cm; waaronder 4 kombergingen met bodemdaling
- Verlaging droogvallend wad (tussen -1,5 m en +1,5 m NAP) in 3 van de 10 kombergingen variërend van 0,9 tot 2,3 cm; waaronder 2 kombergingen met bodemdaling

In Tabel 2.2 staan de absolute en relatieve oppervlakten van de onderscheiden verschillklassen voor cyclus 3 – Cyclus 1. In kolom 1 geven de negatieve verschillklassen erosie aan en de positieve verschillklassen sedimentatie.

Uit de tabel blijkt dat:

- het areaal ophoging groter (ca 6,4% ofwel ca 129 km²) is dan het areaal verlaging
- ca 77,6% van het wad een hoogteverandering heeft gekend van > 10cm wat overeenkomt met minimaal 0,5 cm /jaar
- ca 60% van het wad een hoogteverandering heeft gekend van > 20cm wat overeenkomt met minimaal 1 cm /jaar
- ca 47,5% van het wad een hoogteverandering heeft gekend van > 30cm wat overeenkomt met minimaal 1,5 cm /jaar

Tabel 2.2: Absolute en percentuele oppervlakte van de onderscheiden verschillklassen voor Cyclus 3 – Cyclus 1.

Verschilklasse (cm)	km²	%	Absolute verschilklasse (cm)	%
< - 50	297.97	14.5%	>50 cm	32.8%
- 50 á - 40	55.96	2.7%	40 a 50	6.1%
- 40 á - 30	81.08	3.9%	30 a 40	8.6%
- 30 á - 20	119.75	5.8%	20 a 30	12.4%
- 20 á - 10	178.30	8.7%	10 a 20	17.7%
- 10 á 0	230.10	11.2%	0 a 10	22.4%
0 á +10	229.64	11.2%		
+10 á +20	185.63	9.0%		
+20 á +30	134.71	6.6%		
+30 á +40	96.58	4.7%		
+40 á +50	69.52	3.4%		
> +50	376.34	18.3%		
Som totaal	2055.57	100.0%		
Som neg.	963.16	46.80%		
Som pos.	1092.42	53.20%		

3 HYPSONOMETRISCHE KROMMEN EN OPPERVLAKTE HOOGTEKLASSEN

3.1 Inleiding

Aan de hand van de lodinggegevens van RWS van drie lodingcycli zijn hypsonometrische krommen samengesteld. Het betreft de lodingcycli 1985-1990; 1991-1996 en 1997-2002. De periode tussen twee opeenvolgende lodingen van een bepaalde komberging bedraagt ca 5 jaar en tussen de lodingen van de eerste en derde cyclus ca 15 jaar.

Gebieden waarin geen metingen zijn uitgevoerd of waarvan metingen ontbreken, zijn niet ingevuld met gegevens uit andere lodingen. Hierdoor hebben sommige krommen een duidelijk afwijkende vorm (zie Mardiep). De oppervlakte van het gelode gebied binnen de kombergingen is altijd kleiner dan de totale oppervlakte van de komberging omdat de hoogst gelegen delen van de kombergingen vaak niet meegenomen (kunnen) worden in de lodingen. Verschillen in de oppervlakte onder de kromme van een komberging in dit rapport en het RIKZ rapport (2004) hangen hoogstwaarschijnlijk samen met verschillen in gebruikte databestanden. Niet bekend is waaruit die verschillen precies bestaan maar uit een vergelijking van de krommen blijken de verschillen niet tot wezenlijk andere resultaten te leiden.

In een hypsonometrische kromme wordt de hoogte van het wad (t.o.v. NAP) weergegeven versus de oppervlakte van het wad. Gekozen is voor de wadhoogte tussen -1,5 m en +1,5 m NAP omdat deze zone ecologisch het meest interessant is. Op de x-as staat de oppervlakte.

Opmerkingen tav het interpreteren van de hypsonometrische krommen:

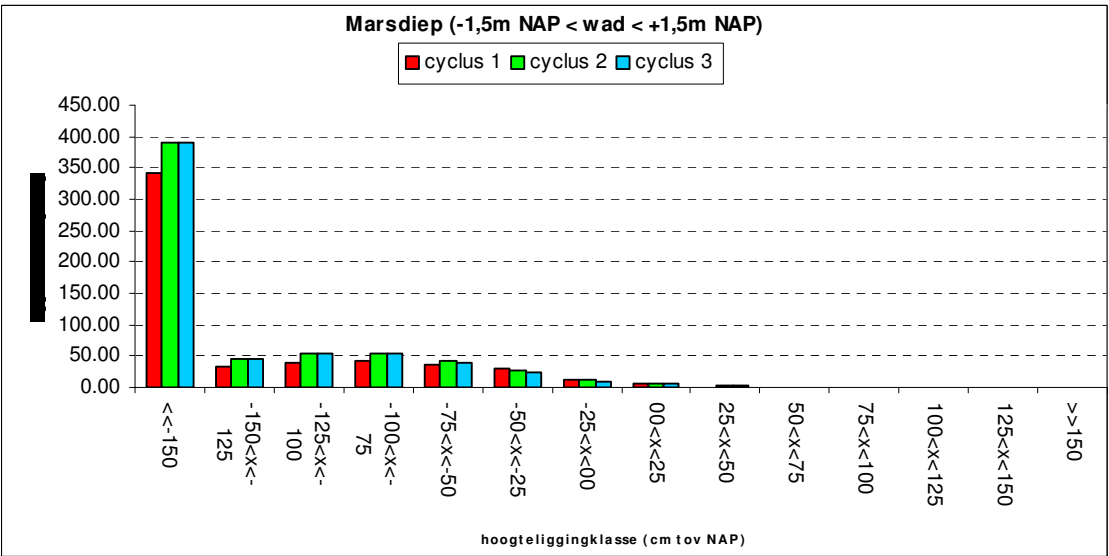
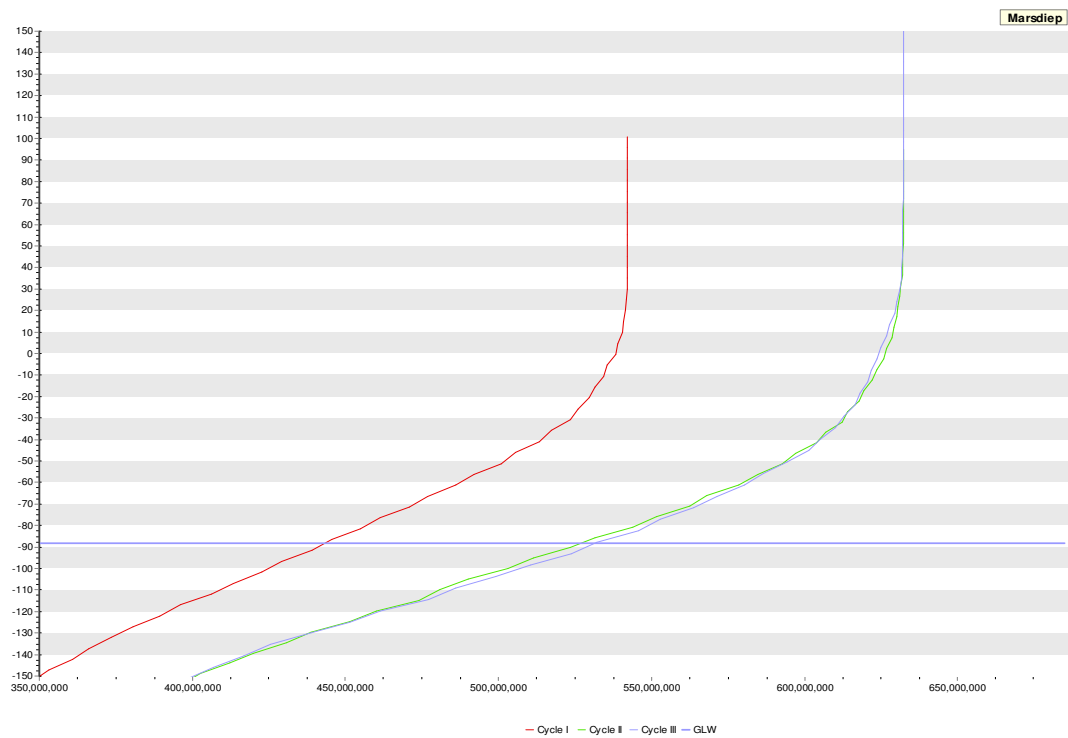
- Daar waar de kromme de x-as snijdt begint het areaal wad tussen -1,5 m en +1,5 m NAP en de waarde op dat snijpunt geeft de grens en oppervlak aan van het areaal wad dieper dan -1,5 m NAP.
- Daar waar de kromme een verticaal verloop krijgt, neemt het areaal wad tussen -1,5 m en +1,5 m NAP niet meer toe. De hoogte die correspondeert met het begin van het verticale verloop, geeft de grens van de lodinghoogte en het gelode areaal binnen de komberging aan.
- Daar waar de kromme de bovenste hoogtegrens snijdt, begint het areaal wad >+1,5 m NAP. Als de kromme dan nog niet verticaal verloopt, ligt het resterende deel boven +1,5 m NAP.
- Als alle krommen bij hetzelfde cumulatieve oppervlak een verticaal verloop hebben, is in iedere cyclus een vergelijkbaar areaal wad gelood. Is een deel van een komberging in een loding niet meegenomen dan zal de kromme eerder een verticaal verloop krijgen (zie Marsdiep, Schild en Eems-Dollard).
- Hoe vlakker de kromme des te groter is het oppervlak van de bijbehorende hoogteklassen en omgekeerd
- Als een kromme in zijn geheel boven een andere kromme ligt maar verder eenzelfde verloop kent, dan hebben de laaggelegen hoogteklassen van de bovenste kromme een relatief klein oppervlak. Als de krommen elkaar verderop naderen of kruisen, is het omgekeerde aan de orde.

Aan de hand van de krommen kan dus een indruk worden verkregen van de verschuivingen in de hoogteligging van het wad in de jaren tussen de lodingen. In onderstaande figuren zijn steeds per komberging 3 krommen weergegeven voor het wad tussen -1,5 m en +1,5 m NAP. Er is geen correctie voor zeespiegelstijging toegepast (deze is ca. 2,7 cm over de beschouwde periode op basis van 18 cm/eeuw).

3.2 Oppervlakte hoogteklassen

Om de hypsonometrische krommen en de morfologische veranderingen in de kombergingen beter in beeld te brengen, zijn de lodinggegevens verdeeld in hoogteklassen. Van de onderscheiden hoogteklassen is per kombergingen het verloop in oppervlakte over de cycli weergegeven in histogrammen. Een toename in het oppervlak van een hoogteklasse kan een ophoging of verlaging betekenen van een aangrenzende hoogteklasse en hangt samen met sedimenttransport tussen de klassen. De veranderingen in oppervlakte van de klassen moeten dan ook in samenhang worden bekeken. Daarnaast wordt het oppervlak van de klassen beïnvloedt door de invoer van sediment uit de 'omgeving' van de komberging; zijnde de bijbehorende delta en Noordzeekustzone.

MARSDIEP

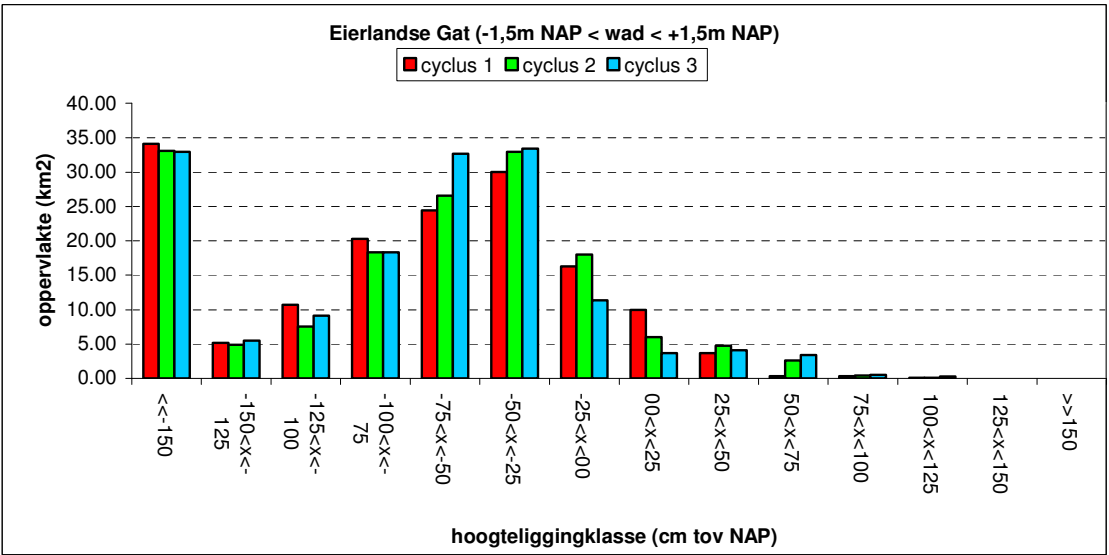
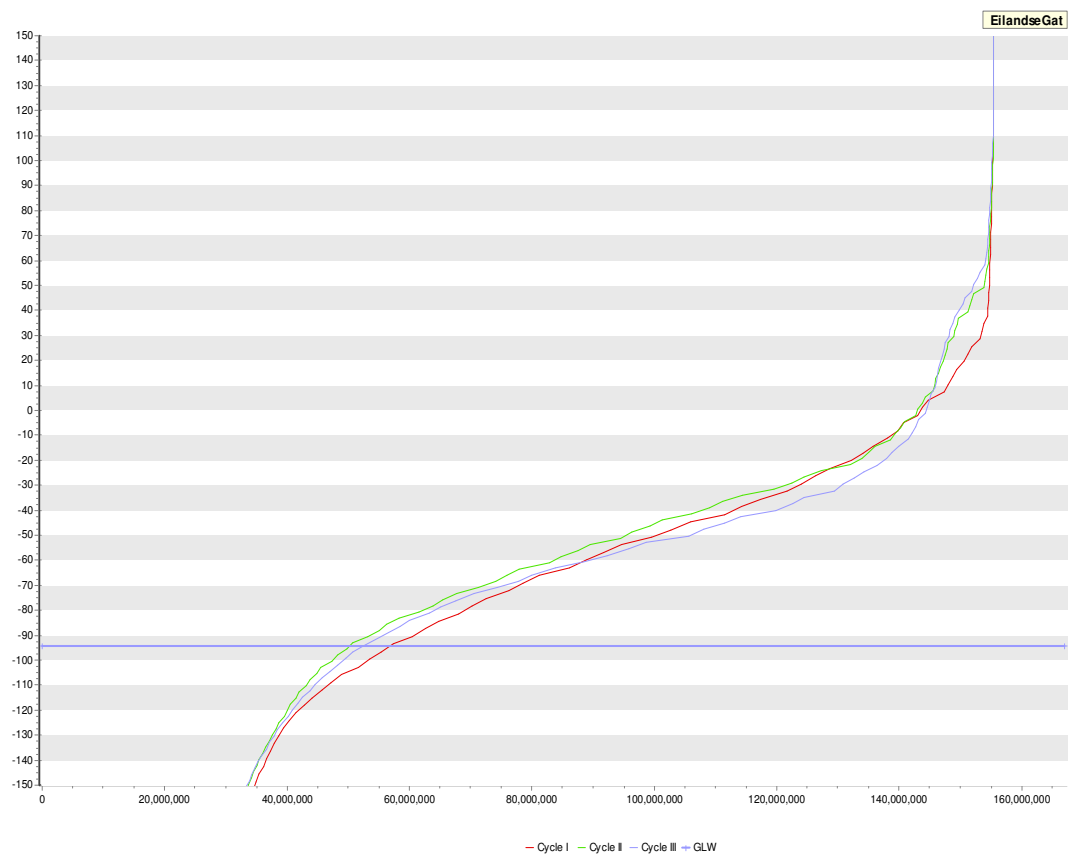


- Opmerkingen:
- eerste cyclus negeren vanwege ontbreken gegevens van een groot oppervlak en een afwijkend verloop van de kromme
 - gelijkblijvende oppervlakte geul en nat wad tot -75 cm NAP (juist boven GLW)
 - afname oppervlakte droogvallend wad vanaf -75 cm tot 0 cm NAP
 - gelijkblijvende oppervlakte droogvallend wad > 0 cm NAP
 - nauwelijks metingen op van wad > +25 cm NAP

Revisie 1, nov 2009

- geen duidelijke verandering in hoogteligging van het wad in de laatste 2 cycli; wel verschuivingen rond GLW

EIERLANDSE GAT

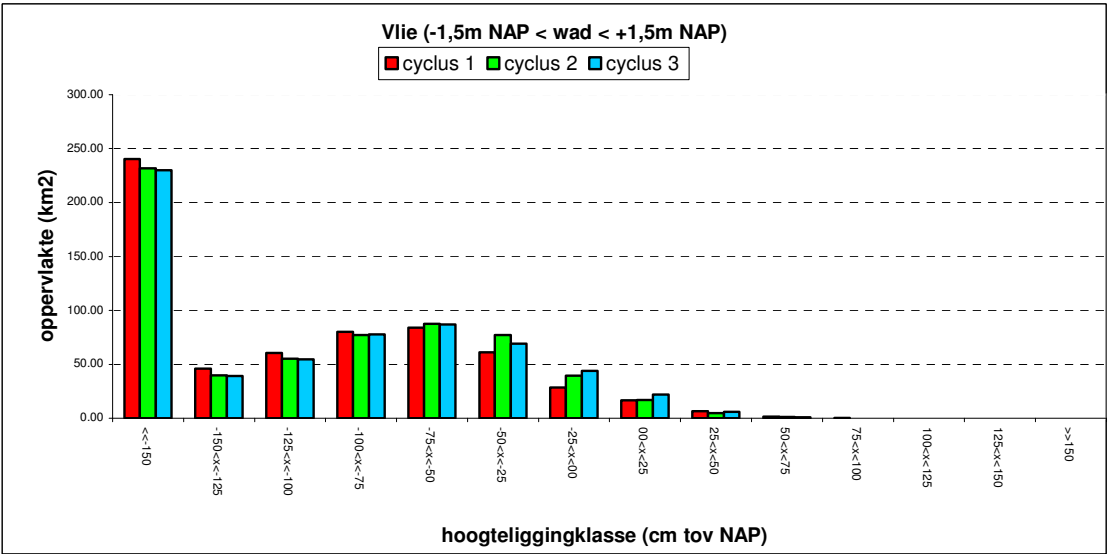
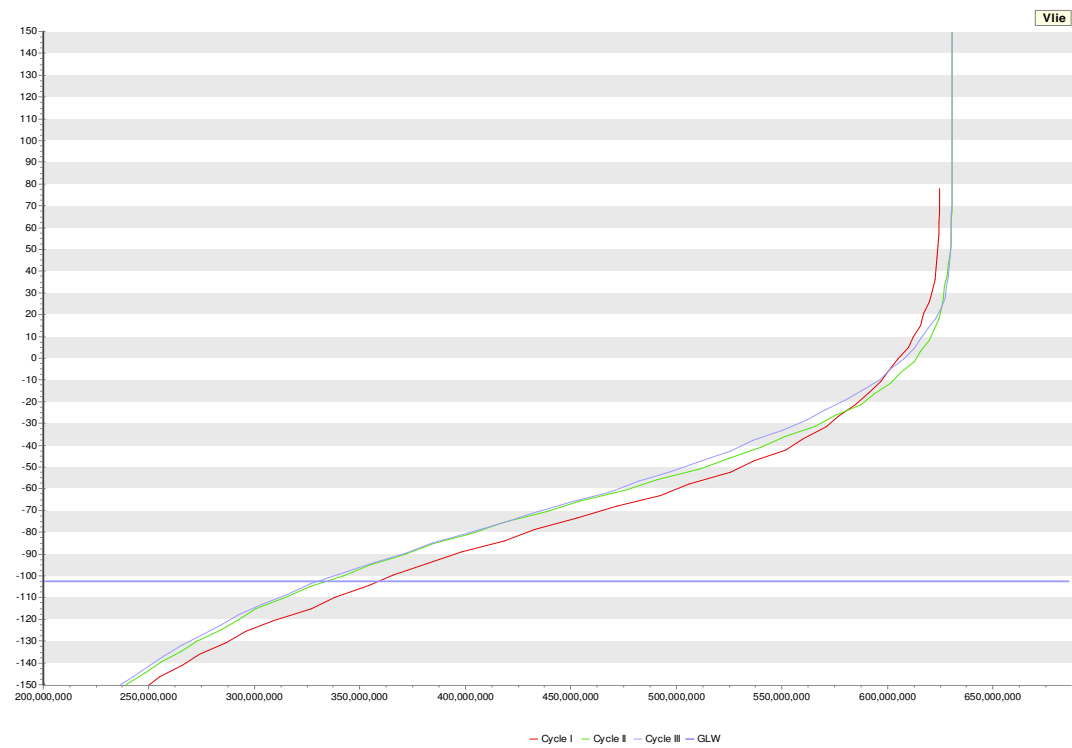


- Opmerkingen:
- geleidelijk afname oppervlakte geul en nat wad tot -100 cm NAP (ca GLW)
 - geleidelijk toename en afname van oppervlakte droogvallend wad vanaf -75 cm NAP tot 50 cm NAP
 - geleidelijke toename areaal hoog droogvallend wad vanaf +50 cm NAP
 - schommelingen en interne verschuivingen typerend voor kleine komberging nabij een zeegat

Revisie 1, nov 2009

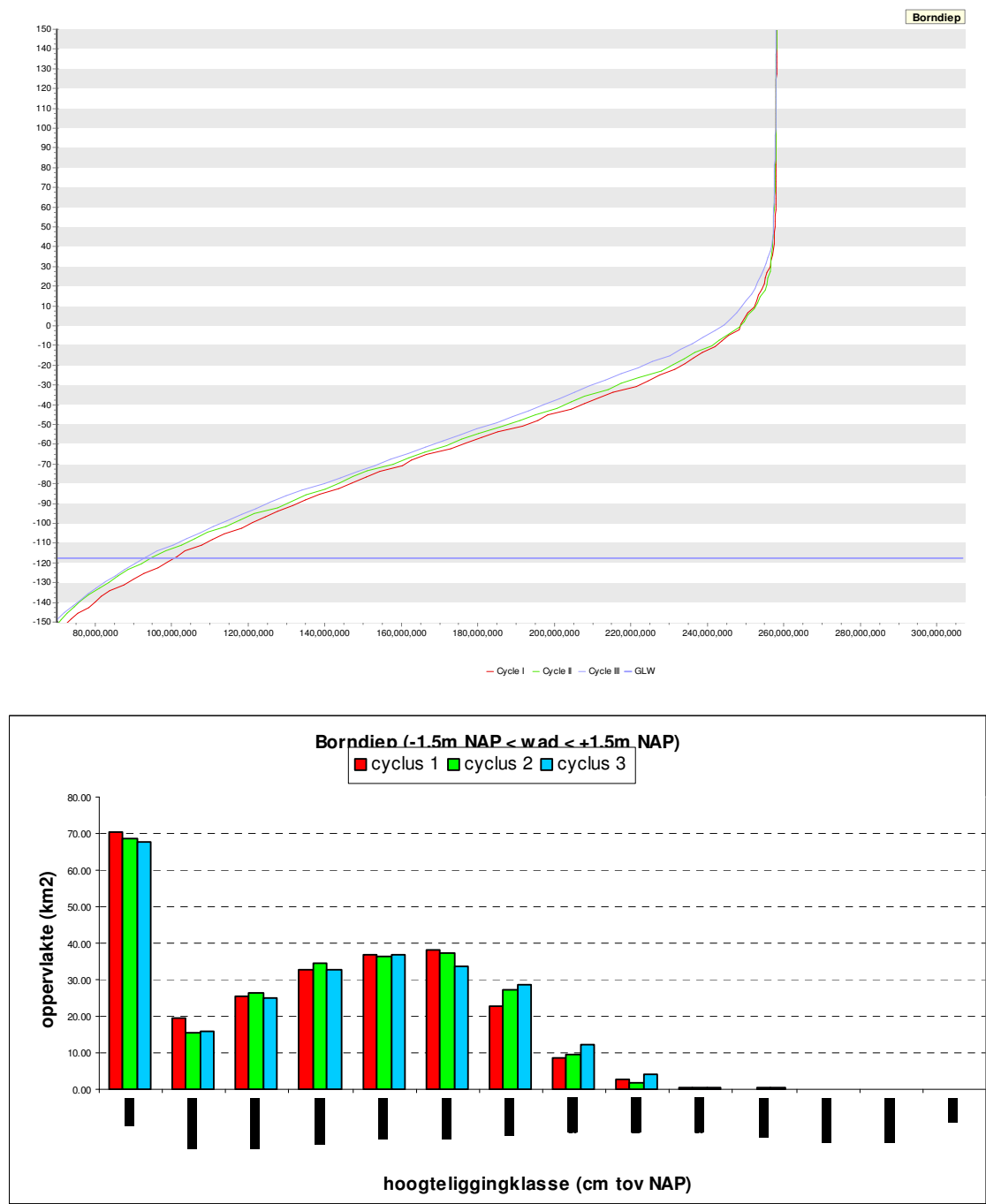
- over geheel genomen geen duidelijke verandering in hoogteligging van het wad (+2,6 cm)

Vlie



- Opmerkingen:
- geleidelijke afname oppervlakte geul en nat wad tot -75 cm NAP (ca GLW)
 - geleidelijke toename oppervlakte droogvallend wad tussen -75 tot +25 cm NAP
 - geleidelijke verhoging van het laagliggende wad en verlaging van het hoogliggende wad
 - over geheel genomen geleidelijke verhoging (ca 12,2 cm)
 - komberging onder invloed gaswinning Zuidwal

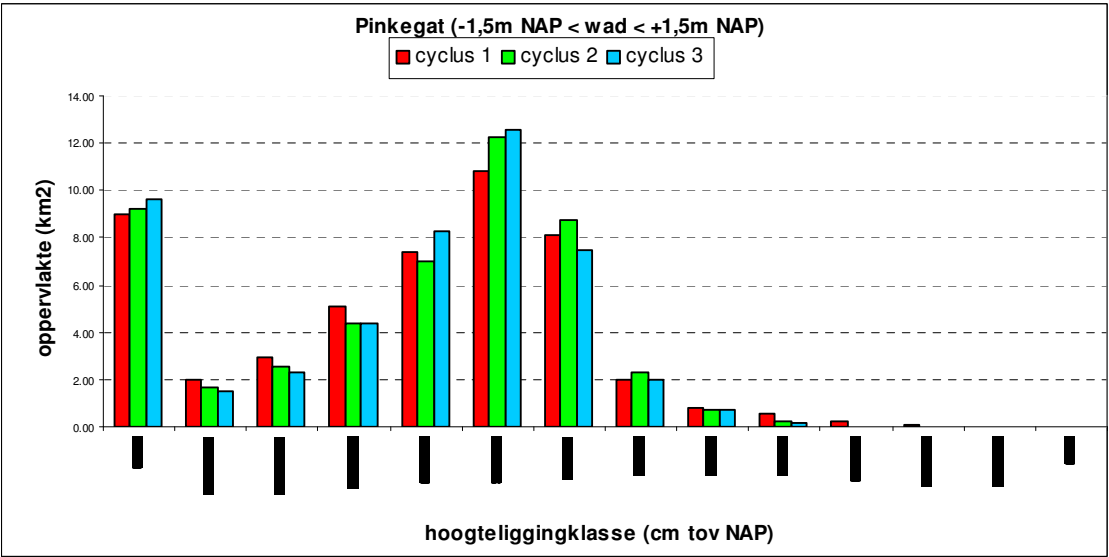
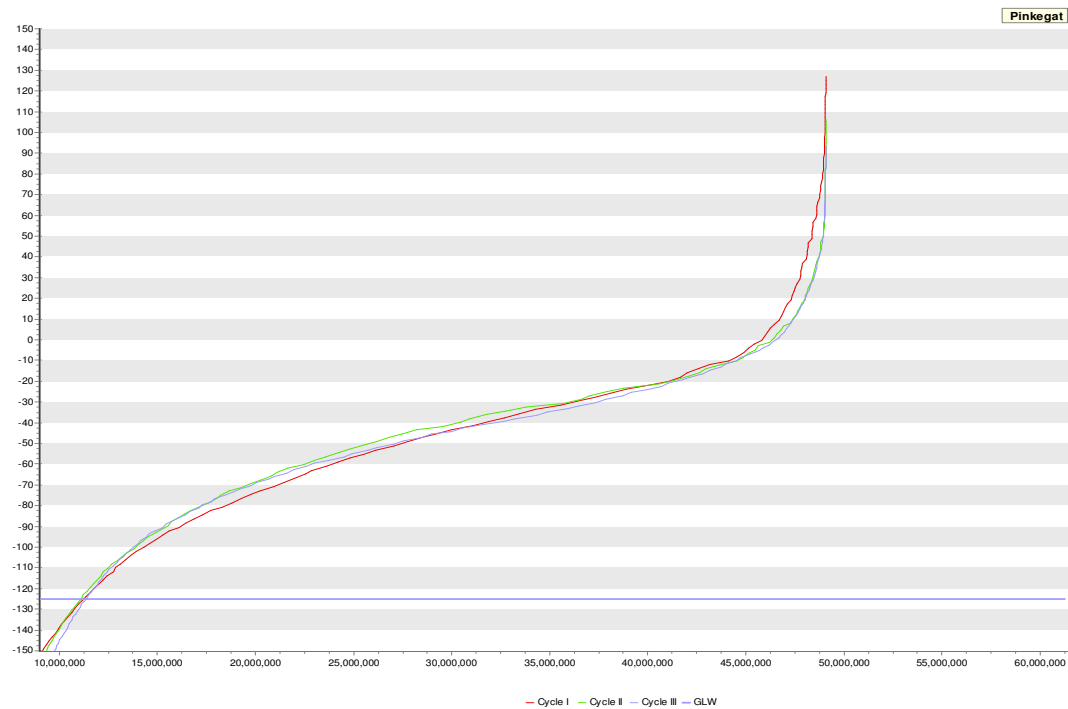
BORNDIEP



- Opmerkingen:
- geleidelijk afname oppervlakte geul (tot -125 cm NAP)
 - schommelingen rond gemiddeld oppervlak tussen -125 cm en -50 cm NAP
 - afname oppervlakte droogvallend wad in klasse -50 en -25 cm NAP
 - geleidelijke toename droogvallend wad tussen -25 en +25 cm NAP
 - sediment uitwisseling (interne verschuivingen) tussen bovenvermelde hoogteklassen
 - over geheel genomen geleidelijke verhoging (10,7 cm; relatief hoge ligging van kromme cyclus 2 en 3)

- komberging onder beperkte invloed gaswinning Ameland (-0,3 cm in cyclus 1-3)

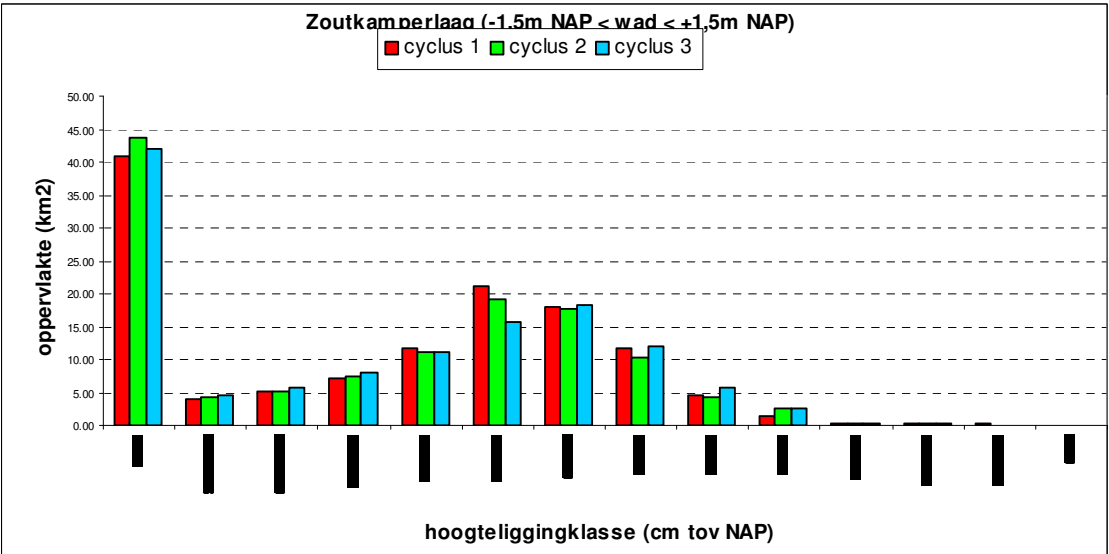
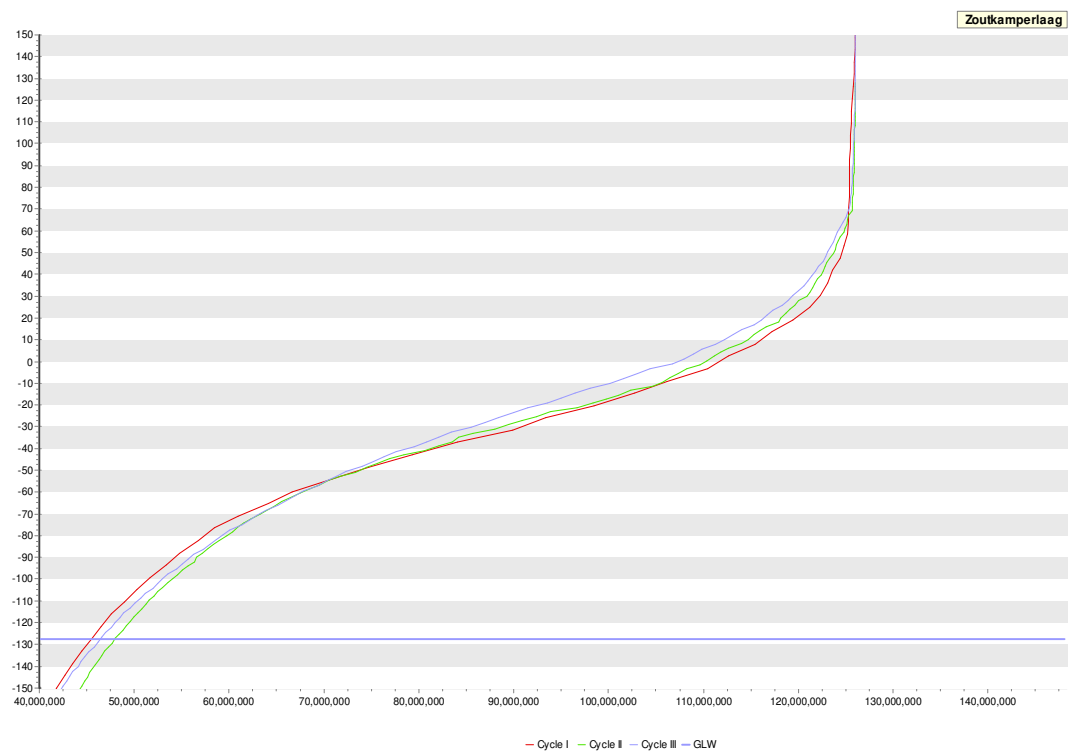
- PINKEGAT



Opmerkingen:

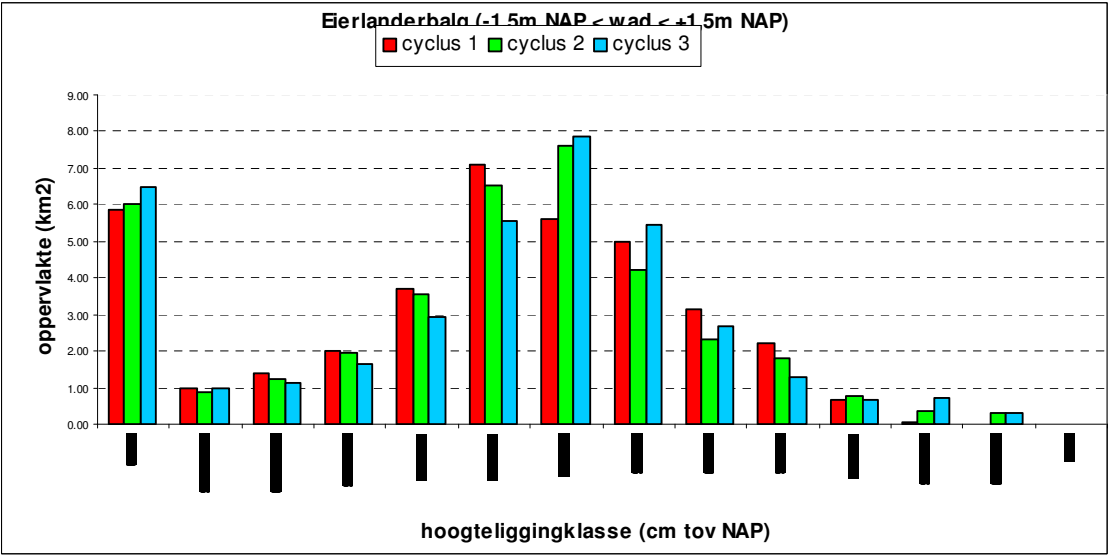
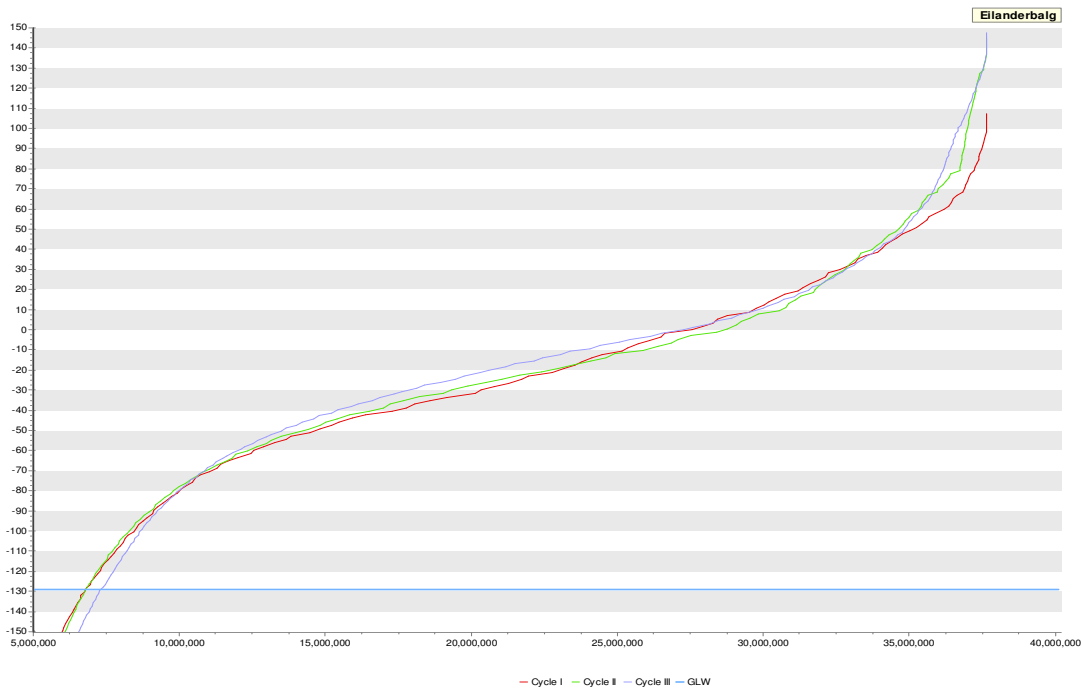
- geleidelijke toename oppervlakte geul
- geleidelijke afname én toename oppervlak natte wad tot -25 cm NAP
- schommeling rond gemiddeld oppervlak tussen -25 en +25 cm NAP
- afname oppervlakte droogvallend wad >25 cm NAP
- schommelingen en interne verschuivingen typerend voor kleine komberging nabij zeegat
- over geheel genomen geleidelijke verlaging (-4,0 cm)
- komberging onder invloed gaswinning Ameland en nieuwe winningen (4,4 cm in cyclus 1-3)

ZOUTKAMPERLAAG



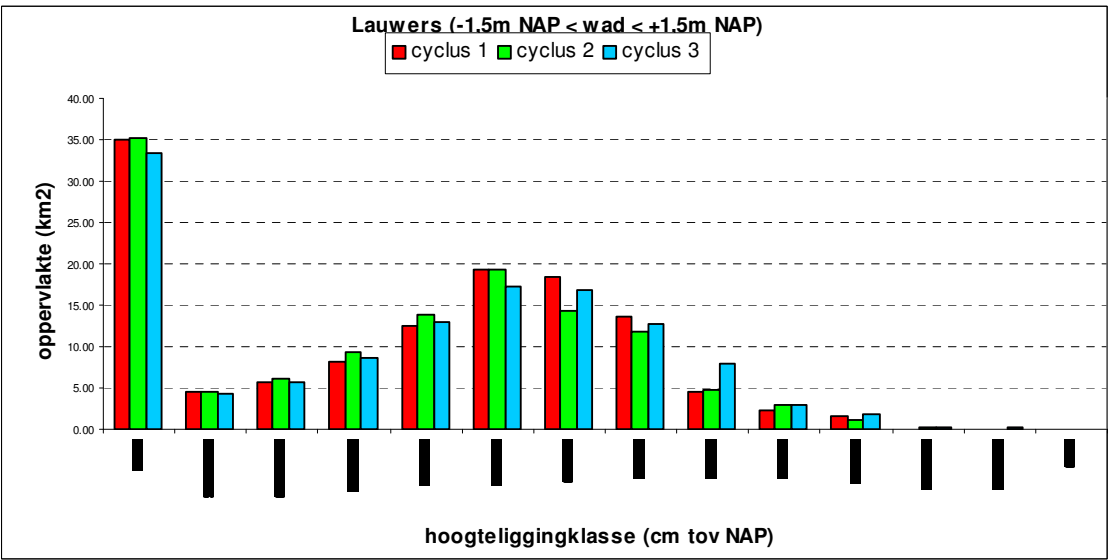
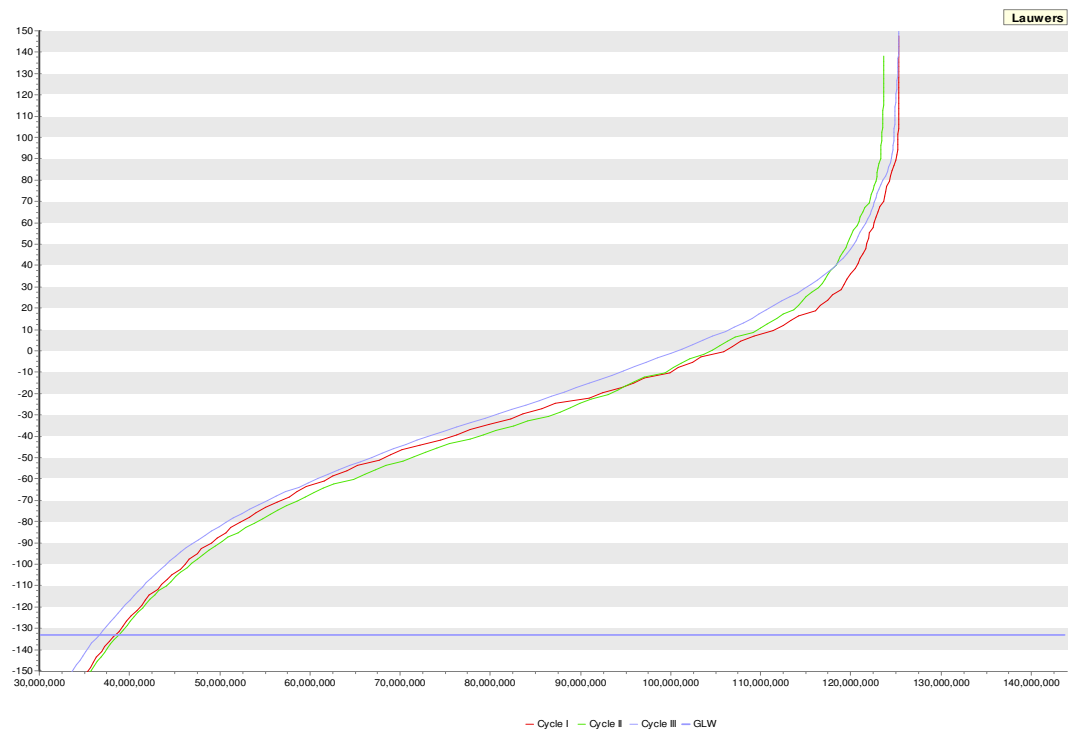
- Opmerkingen:
- zeer geleidelijke toename oppervlakte natte wad tot -75 cm NAP
 - geleidelijke afname en schommelingen rond gemiddeld oppervlakte van droogvallende wad tussen -75 tot +25 cm NAP
 - geleidelijke toename droogvallende wad > +25 cm NAP
 - geleidelijke verhoging laagliggende wad (tot -75 cm NAP) en verlaging hoogliggend wad (tot -25 cm NAP en >+25 cm NAP)
 - over geheel genomen geleidelijke verhoging (8,4 cm)
 - komberging onder beperkte invloed gaswinning Ameland (0,1 cm in cyclus 1-3)

EILANDERBALG



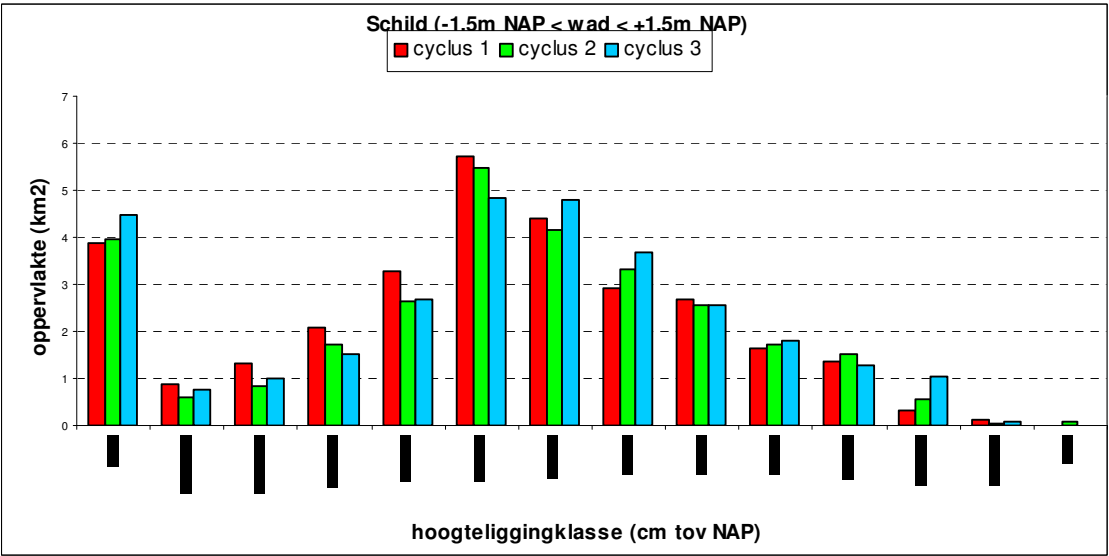
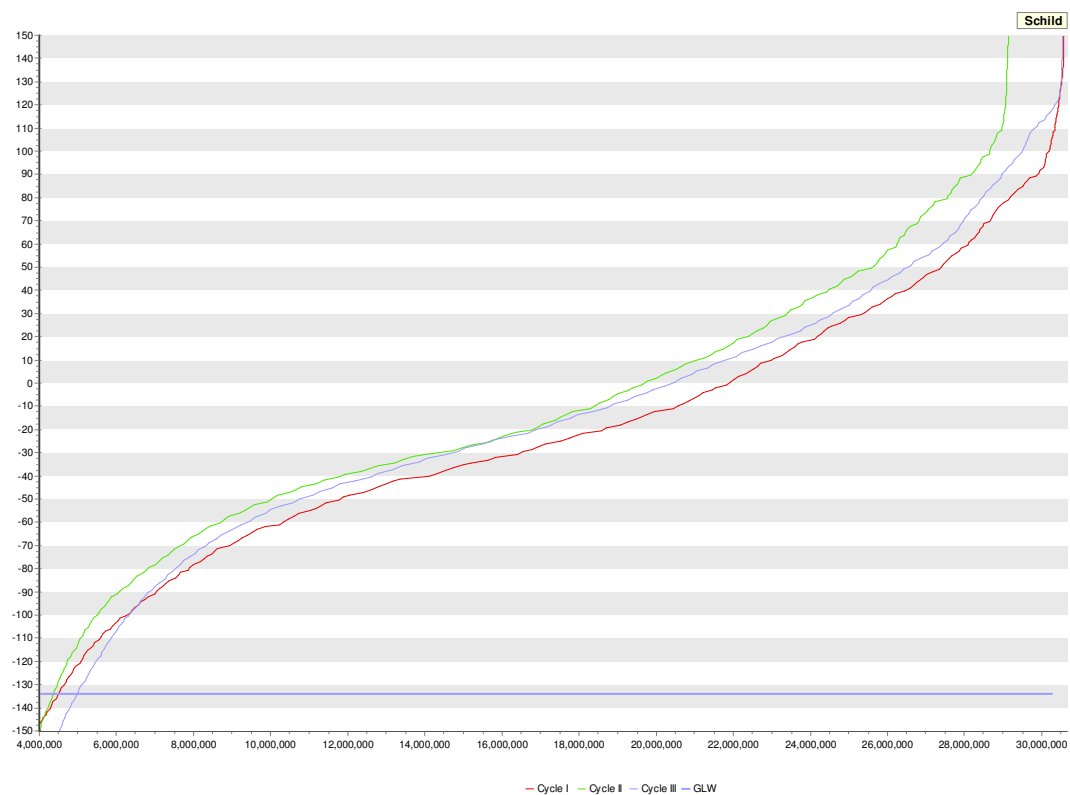
- Opmerkingen:
- sterke toename oppervlakte geul
 - geleidelijke afname oppervlakte nat wad tot -25 cm NAP
 - geleidelijke toename oppervlakte droogvallende wad tussen -25 en +25 cm NAP
 - geleidelijke afname oppervlakte hoog wad tussen +25 en +75 cm NAP
 - toename oppervlakte hoog wad >+100 cm NAP
 - schommelingen en interne verschuivingen typerend voor kleine komberging nabij zeegat
 - over geheel genomen nauwelijks verandering in hoogteligging (-0,4 cm)
 - komberging onder nauwelijks tot geen invloed gaswinning (0,02 cm in cyclus 1-3)

LAUWERS



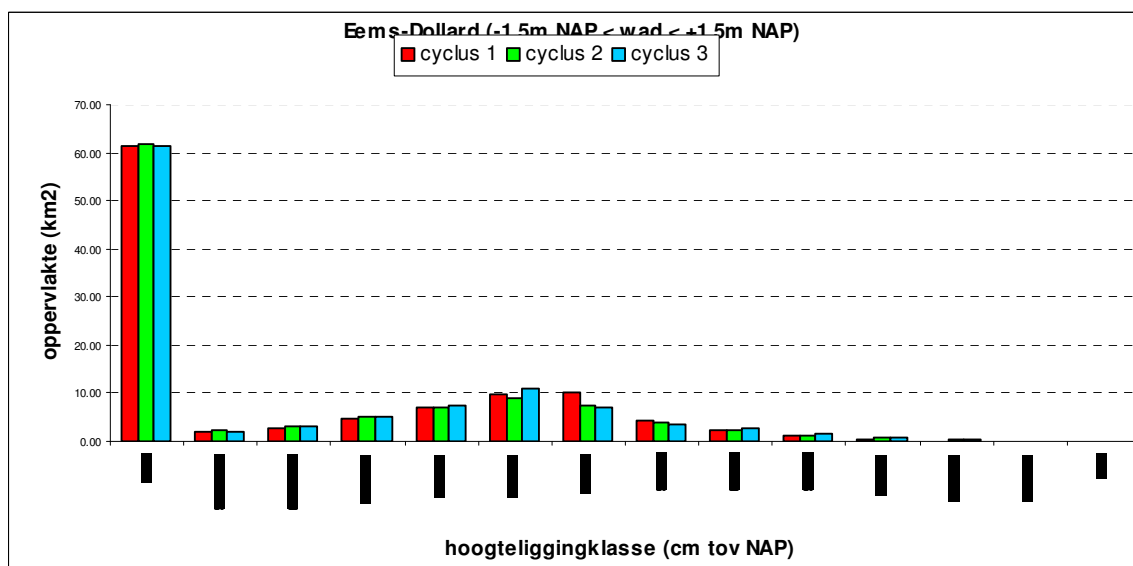
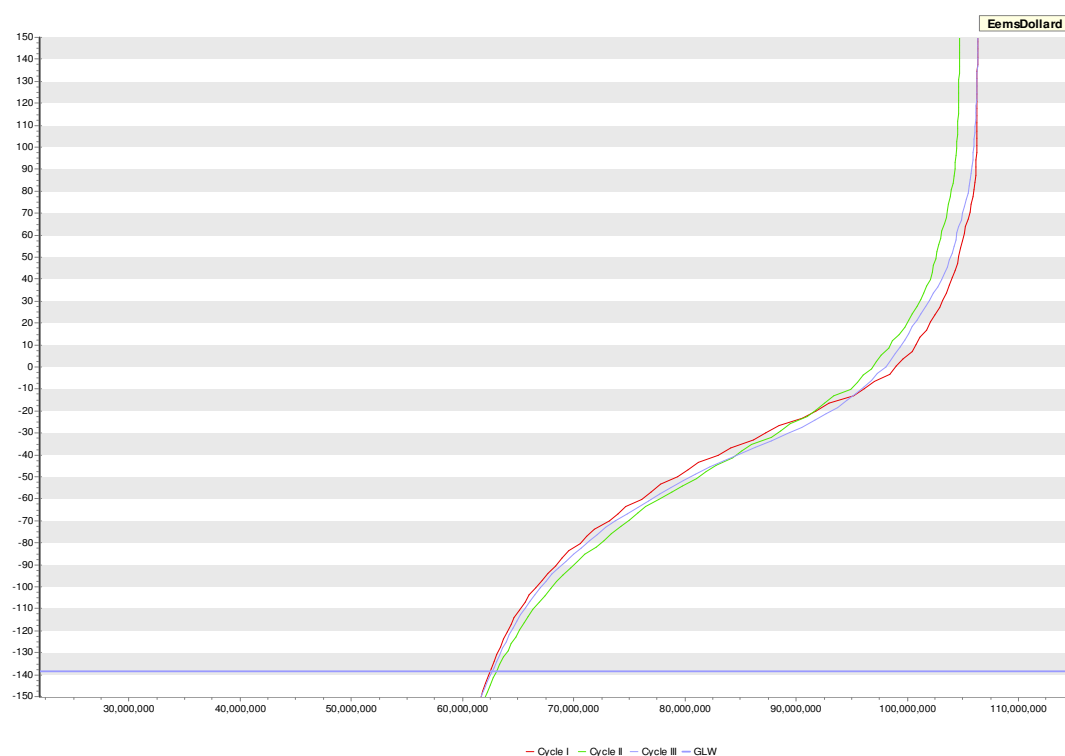
- Opmerkingen:
- schommelingen rond gemiddeld oppervlak tot -50 cm NAP
 - geleidelijk afname oppervlakte droogvallend wad tussen -50 en +25 cm NAP
 - geleidelijke toename oppervlakte hoog wad tussen +25 en +100 cm NAP
 - toename oppervlakte hoog wad ten koste van laag droogvallend wad?
 - over geheel genomen geleidelijke ophoging (11,1 cm)
 - komberging onder invloed gaswinning Groningen (1,3 cm in cyclus 1-3)

SCHILD



- Opmerkingen:
- toename oppervlakte geul
 - afname oppervlakte nat wad tussen -150 en -25 cm NAP
 - toename oppervlakte droogvallend wad tussen -25 en +25 cm NAP
 - toename en schommelingen in oppervlakte hoog wad >+50 cm NAP
 - schommelingen en interne verschuivingen typerend voor kleine komberging nabij zeegat
 - over geheel genomen geleidelijke verlaging (5,3 cm)
 - komberging onder beperkte invloed gaswinning Groningen (0,6 cm in cyclus 1-3)

EEMS-DOLLARD



Opmerkingen:

- beperkt areaal komberging meegenomen (alleen westelijke deel)
- min of meer stabiele oppervlakte geul en nat wad tot -50 cm NAP
- geleidelijke toename en afname oppervlakte droogvallend wad tussen -50 en +25 cm NAP
- lichte toename oppervlakte hoog wad tussen +25 en +125 cm NAP
- over geheel genomen geleidelijke verhoging (12,9 cm)
- komberging onder invloed gaswinning Groningen (1,7 cm in cyclus 1-3) en frequente baggerwerkzaamheden

4 BEREKENINGEN HOOGTELIKKING EN OPPERVLAKTE

4.1 WADDENZEE

Aan de hand van zoveel mogelijk beschikbare lodinggegevens is voor de gehele Waddenzee de gemiddelde hoogteligging berekend (Tabel 4.1). Omdat in alle cycli niet dezelfde oppervlaktes zijn gelood, is het aantal metingen waarover het gemiddelde is berekend niet constant. Vooral in het Marsdiep in cyclus 1 is een relatief groot oppervlak wad niet gelood (zie hypsometrische kromme; H3). Hierdoor zijn de gemiddelde hoogteliggingen onderling niet goed vergelijkbaar. Om een goed inzicht te krijgen in de veranderingen in gemiddelde hoogteligging van de gehele Waddenzee over de 4 lodingcycli, is de gemiddelde hoogteligging berekend aan de hand van een zo groot mogelijke oppervlakte dat voor alle cycli constant en hetzelfde is gehouden (Tabel 4.2). De oppervlaktes waarvan de gemiddelde hoogteligging is bepaald, zijn ca 5 á 100 km² kleiner dan de oppervlaktes gebruikt in Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Gemiddelde hoogteligging van de gehele Waddenzee en de maximale oppervlakte waarover het gemiddelde kon worden berekend.

Lodingen	Gem. hoogteligging (in cm tov NAP)	Oppervlakte (km ²)
Cyclus 1	-290.3	2055.57
Cyclus 2	-287.4	2146.75
Cyclus 3	-284.1	2151.55

Tabel 4.2: Gemiddelde hoogteligging van de gehele Waddenzee en de beperkte maar constante oppervlakte waarover het gemiddelde is bepaald.

Lodingen	Gem. hoogteligging (in cm tov NAP)	Oppervlakte (km ²)
Cyclus 1	-290.7	2050.77
Cyclus 2	-286.4	2050.77
Cyclus 3	-283.3	2050.77

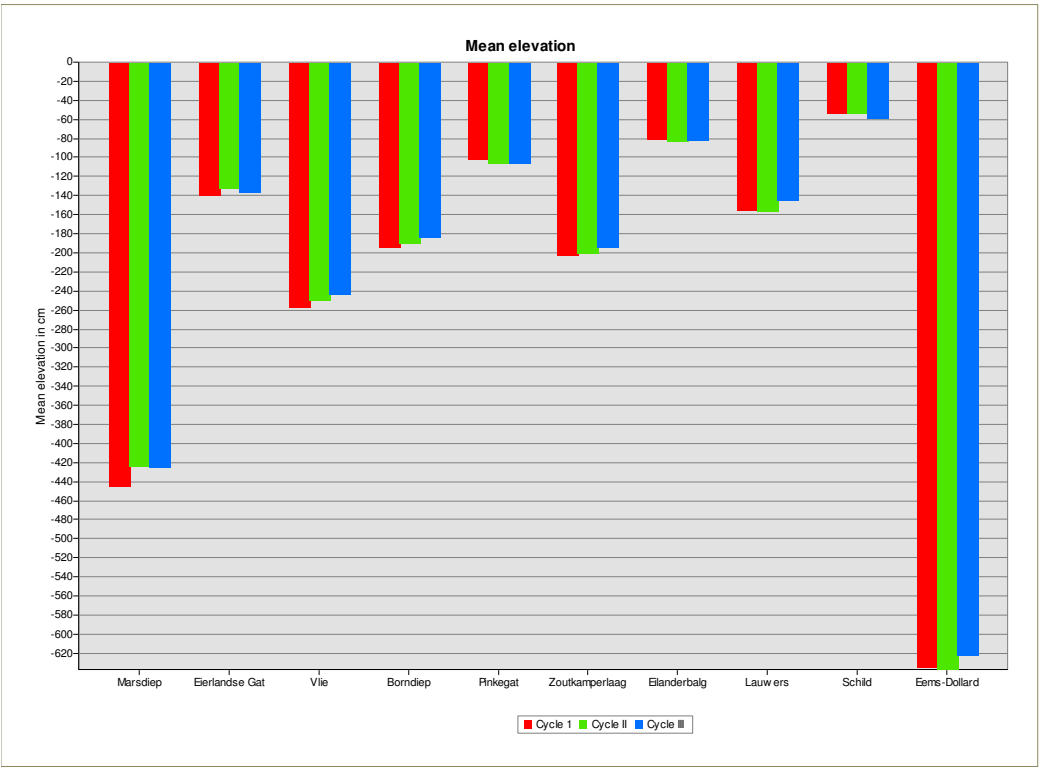
Uit de Tabel 4.2 blijkt dat de gemiddelde hoogteligging van het wad in de drie lodingcycli (1985 t/m 2002) is toegenomen met 7,4 cm. Dit komt goed overeen met de bevindingen van de Bodemdalingstudie 2004 (RIKZ 2004) waarin melding wordt gemaakt van een gemiddelde ophoging van wadbodem met ca 7 cm (Mulder 2004). In een eerdere rapportage aan de overheid waarin ook de afwijkende lodinggegevens van cyclus 4 zijn meegenomen, was in cyclus 5 nog sprake van een afname van de gemiddelde hoogteligging van de gehele Waddenzee met 2,5 cm. Uitgaande van een gemiddeld 10 cm te laag ingemeten Waddenzee (Lekkerkerk e.a 2006) is in de 4^{de} lodingcyclus eerder sprake geweest van een toename in gemiddelde hoogteligging dan een afname.

4.2 KOMBERGING

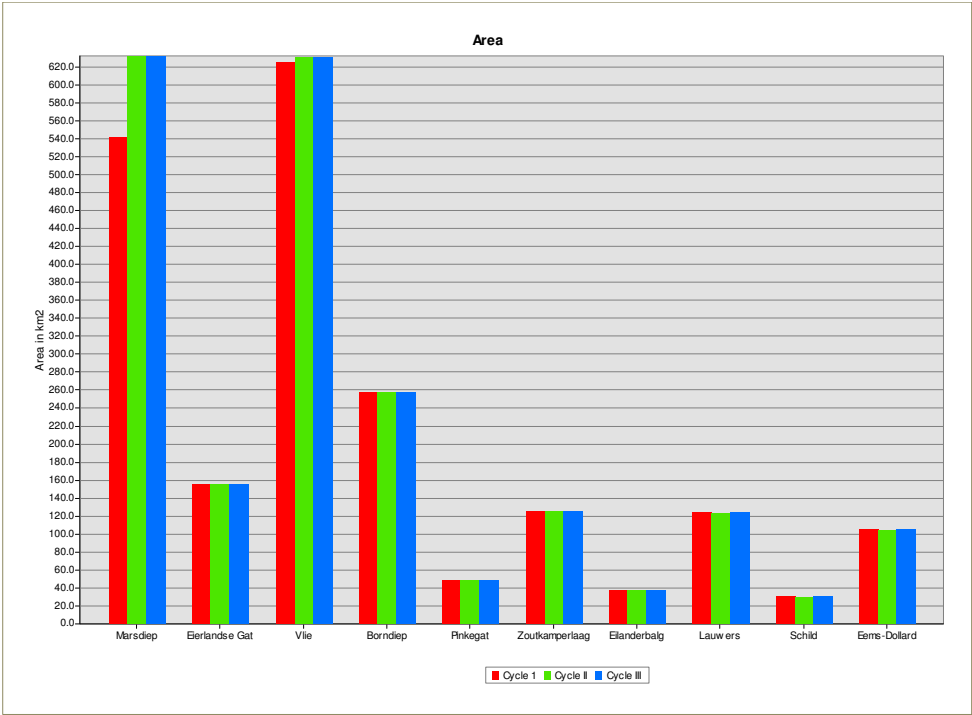
Ook voor de kombergingen afzonderlijk is per cyclus aan de hand van zoveel mogelijk beschikbare lodinggegevens de gemiddelde hoogteligging berekend (Figuur 4.1).

De oppervlaktes waarover de hoogteliggingen zijn berekend, zijn weergegeven in Figuur 4.2. Het effect van verschillende oppervlaktes voor het berekenen van de hoogteliggingen is het duidelijkste zichtbaar in het Marsdiep cyclus. De gemiddelde hoogteligging in het Marsdiep in cyclus 1 is relatief laag. Voor het overige zijn de verschillen in lodingoppervlakten van de kombergingen over de cycli niet groot zodat de bijbehorende gemiddelde hoogteliggingen onderling goed vergelijkbaar zijn. De kombergingen met gaswinning laten verschillende ontwikkelingen zien. Zo nemen Borndiep, Zoutkamperlaag, Lauwers en Eems-Dollard in hoogte toe terwijl Pinkegat en Schild lager zijn komen te liggen. In Tabel 4.3 en Tabel 4.4 wordt in meer detail op deze ontwikkelingen in gegaan.

Figuur 4.1: Gemiddelde hoogteligging van de kombergingen per ladingcyclus berekend aan de hand van zoveel mogelijk ladinggegevens per komberging



Figuur 4.2: Oppervlakten in de kombergingen waarover de gemiddelde hoogteligging (Figuur 4.1) is berekend.



Correlaties

Aan de hand van de berekende gemiddelde hoogteligging, oppervlakte en bodemdaling per komberging én lodingcyclus zijn correlatieberekeningen uitgevoerd. Daarbij is als uitgangspunt genomen dat er een lineair verband bestaat tussen de gemeten bodembeweging (verandering in hoogteligging uit lodingen) en de geprognosticeerde bodemdaling door gaswinning ($y = m \cdot x + b$). Met correlatieberekeningen is de sterkte van de gepostuleerde lineaire relatie tussen deze variabelen bepaald. Berekend is de determinatie coëfficiënt (r^2) die aangeeft hoeveel van de variatie in de gemeten bodembeweging (de y-waarden) kan worden verklaard door bodemdaling door gaswinning (de x-waarden). De waarde van r^2 wordt uitgedrukt in een schaal van 0 tot 1 of in percentages (NB: de waarde van de coëfficiënt wordt niet alleen beïnvloed door de lineaire afhankelijkheid van de gemeten parameters maar ook door de ruis en/of niet lineaire relaties tussen de variabelen).

Nadat de sterkte van de relatie tussen de variabelen is bepaald, is de significantie van de relaties getoetst met een F-toets. De nulhypothese (H_0) is dat de helling (m) en constante (b) uit de vergelijking gelijk zijn aan 0 ($H_0: m=b=0$); wat inhoudt dat er geen significante samenhang bestaat tussen de gemeten bodembeweging en de bodemdaling door gaswinning. De alternatieve hypothese (H_1) is dat m of b niet gelijk zijn aan 0 ($H_1: m \neq 0$ of $b \neq 0$). De resultaten van de toets geven aan of de nulhypothese moet worden gehandhaafd of verworpen bij een bepaald significantieniveau (hier 5%).

In Tabel 4.3 staan de gegevens over de hoogteligging van de kombergingen op basis van de lodingen. In de tabel is ook de gemiddelde bodemdaling van de kombergingen door gaswinning in de periode 1987-2002 opgenomen. Voor de kombergingen met bodemdaling door gaswinning is de correlatie tussen de verandering in hoogteligging over de 3 lodingcycli (c3-c1) en de bodemdaling berekend: $R^2=0,11$.

Tabel 4.3: Gemiddelde hoogteligging (cm tov NAP) van de kombergingen van de Waddenzee in de 3 lodingcycli (c1 t/m c3) en het verschil in gemiddelde hoogteligging tussen de laatste en eerst loding (c3-c1).

* gearceerde cellen niet meegenomen in berekening

NAAM	Gem. c 1	Gem. c 2	Gem. c 3	Totaal gem*	Sd*	Max- min*	c3-c1*	Daling gaswinning
Marsdiep	-445.6	-424.7	-425.2	-425,0	0.4	0.5	-0.5	0,0
Eierlandse Gat	-139.6	-132.0	-137.0	-136.2	2.7	7.6	2.6	0,0
Vlie	-257.1	-249.5	-244.9	-250.5	3.0	12.2	12.2	?
Borndiep	-194.7	-190.6	-184.0	-189.8	3.6	10.7	10.7	0.30
Pinkegat	-102.8	-107.3	-106.8	-105.6	0.9	4.5	-4.0	4.39
Zoutkamperlaag	-203.2	-200.8	-194.8	-199.6	3.2	8.4	8.4	0.12
Eilanderbalg	-81.8	-84.1	-82.2	-82.7	1.0	2.3	-0.4	0.02
Lauwers	-156.0	-156.7	-144.9	-152.5	5.9	11.8	11.1	1.33
Schild	-53.8	-54.0	-59.1	-55.6	2.6	5.3	-5.3	0.56
Eems-Dollard	-635.4	-637.3	-622.5	-631.7	7.4	14.8	12.9	1.67
Correlatie c3-c1 en bodemdaling								$R^2=0,11$
F-toets: kritische waarde								5,59
toetswaarde								0,86

Conclusies:

- de variatie in gemiddelde hoogteligging over de cycli verschilt sterk voor de verschillende kombergingen (zie kolom sd) en bedraagt 1,0 tot 7,4 cm wat als maat kan worden genomen voor de natuurlijke variatie in hoogteligging. (NB: voor een nadere analyse van deze gegevens van kombergingen met of zonder gaswinning zie tekst bij Tabel 4.4 en H 4.3)
- de maximale variatie in gemiddelde hoogteligging varieert in de periode van de 3 cycli van ca 15 jaar van 0,5 tot 14,8 cm
- het verschil in gemiddelde hoogteligging tussen cyclus 3 en cyclus 1 (over een periode van ca 15 jaar) varieert van -5,3 tot +12,9cm
- in 6kombergingen is sprake van verhoging van de gemiddelde hoogteligging; in de 4anderen van verlaging
- de verhogingen variëren van 2,6 tot 12,9 cm; de verlagingen van 0,4 tot 5,3 cm

- 5 van de 8 kombergingen met gaswinning laten een ophoging zien; de 3 andere een verlaging
- de verhouding tussen de meetnauwkeurigheid (waargenomen hoogteverschil) en het signaal (bodemdaling door gaswinning) is groot wat het registreren van het signaal bemoeilijkt
- de correlatie laat zien dat 11% van de variatie zou kunnen worden verklaard door de bodemdaling door gaswinning. Er is echter geen significant verband tussen de gemeten bodembeweging en de bodemdaling door gaswinning in de periode 1985 – 2002.

In Tabel 4.4 staat het verschil tussen de totaal gemiddelde hoogteligging van een komberging over 3 cycli (Tgem) en de gemiddelde hoogteligging in een bepaalde cyclus (gem c1 t/m c3). Uit de tabel blijkt dat kombergingen wisselende verschillen laten zien variërend van ca -9 tot +7 cm t.o.v. het totaal gemiddelde. Een positieve waarde houdt in dat de hoogteligging in de betreffende cyclus lager is dan de totaal gemiddelde hoogteligging en de komberging in die periode dus relatief laag ligt. Aan de hand van deze verschillen kan een waarde voor de natuurlijke variatie/dynamiek in de gemiddelde hoogteligging van de kombergingen worden berekend. Een dergelijke berekening moet worden uitgevoerd aan de hand van dezelfde oppervlakte binnen de kombergingen over de cycli (zie H 4.3).

Tabel 4.4: Verschil tussen de totaal gemiddelde hoogteligging van een komberging en de gemiddelde hoogteligging in een lodingcyclus (Tabel 4.3).

* gearceerde cellen niet meegenomen in berekening

NAAM	nr	Tgem – gem c1	Tgem –gem c2	Tgem –gem c3
Marsdiep	1		-0.3	0.3
Eierlandse Gat	2	3.4	-4.2	0.8
Vlie	3	6.6	-1.0	-5.6
Borndiep	4	4.9	0.8	-5.8
Pinkegat	5	-2.9	1.7	1.2
Zoutkamperlaag	6	3.6	1.2	-4.8
Eilanderbalg	7	-0.9	1.4	-0.5
Lauwers	8	3.5	4.1	-7.6
Schild	9	-1.8	-1.6	3.4
Eems-Dollard	10	3.7	5.5	-9.2

4.3 DROOGVALLEND WAD TUSSEN -1,5 EN +1,5 M NAP

Binnen de monitoring zijn de hoogteligging en het oppervlak van het droogvallende wad (areaal habitat) aangemerkt als relevante abiotische variabelen voor het biotische systeem en de biologische monitoringvariabelen. Daarom zijn de lodinggegevens van het droogvallende wad tussen –1,5 en +1,5 m NAP in meer detail bekeken.

4.3.1 Hoogteligging

Om inzicht te krijgen in de ontwikkelingen in de hoogteligging van het droogvallende wad zijn vergelijkbare berekeningen uitgevoerd voor het wad tussen –1,5 m NAP en +1,5 m NAP als voor de gehele Waddenzee en de kombergingen (H 4.2). Hier zijn echter de oppervlaktes van de kombergingen voor alle cycli constant en hetzelfde gehouden zodat de gegevens onderling beter kunnen worden vergeleken en aanvullende analyses kunnen worden uitgevoerd.

In Tabel 4.5 staat de gemiddelde hoogteligging van het droogvallende wad in de Waddenzee berekend over een oppervlak van 1072,23 km² (versus de ca 2050,77 km² van Tabel 4.2). Uit de tabel kan worden opgemaakt dat het droogvallende wad in een periode van 15 jaar ca 4,3 cm hoger is komen te liggen. Dit komt op hoofdlijnen overeen met de ontwikkelingen in de hoogteligging van de gehele Waddenzee: een ophoging van ca 7,4 cm (Tabel 4.2). Het droogvallende wad is gemiddeld genomen minder sterk in hoogte toegenomen dan de geulen (<-1,5 m NAP) en/of het hoge wad (>+1,5 m NAP; zie ook H3).

Tabel 4.5: Gemiddelde hoogteligging van het droogvallende wad van de gehele Waddenzee (oppervlak constant over de cycli)

cyclus	Gem. hoogte ligging (cm tov NAP)	Oppervlakte (km ²)
cyclus 1	-56.21	1072.23
cyclus 2	-52.93	1072.23
cyclus 3	-51.94	1072.23

In Tabel 4.6 staan de gegevens over de hoogteligging van het droogvallende wad in de kombergingen op basis van de lodingen. In de tabel is ook de gemiddelde bodemdaling per komberging door gaswinning in de periode 1987-2002 opgenomen. Voor de kombergingen met bodemdaling door gaswinning is de correlatie tussen de verandering in hoogteligging over de 4 lodingcycli (c3-c1) en de bodemdaling berekend: $R^2=0,18$.

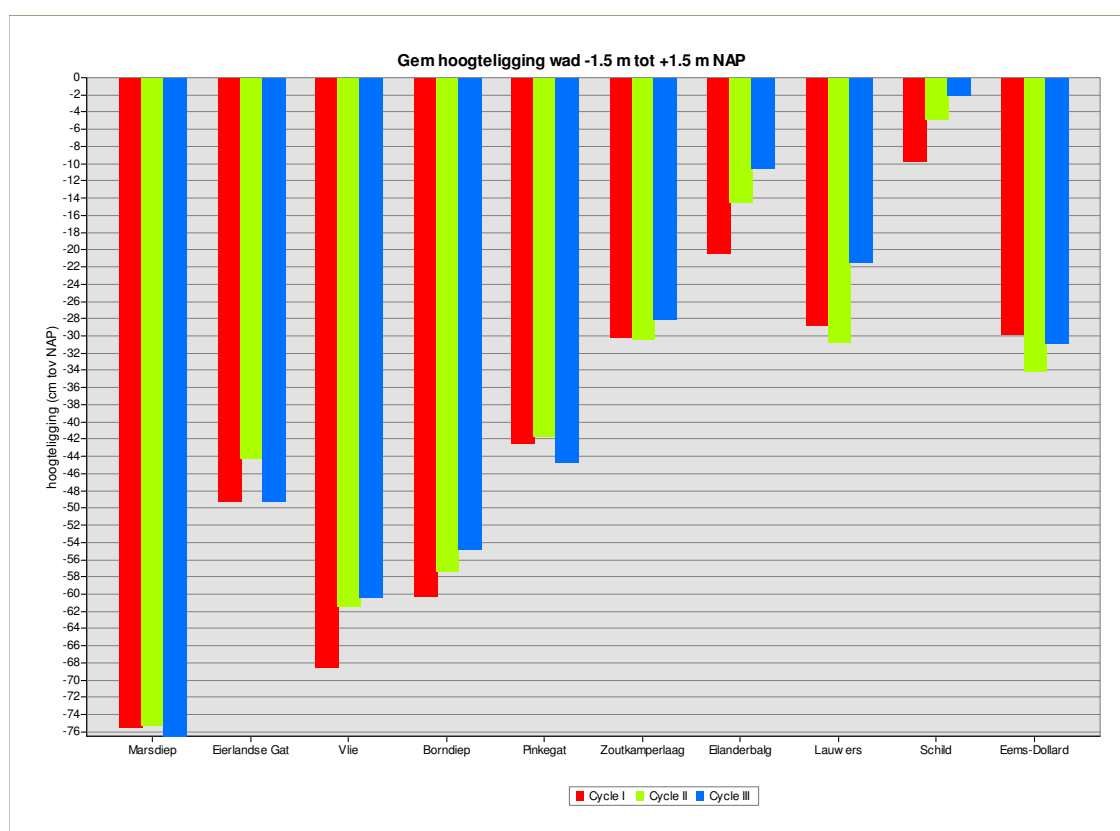
Tabel 4.6: Gemiddelde hoogteligging (cm tov NAP) van het droogvallende wad in de kombergingen van de Waddenzee in de 3 lodingcycli (c1 t/m c3).

NAAM	Gem. c 1	Gem. c 2	Gem. c 3	Totaal gem	Sd	max- min	c3-c1	Daling gaswinning
Marsdiep	-75,5	-75,2	-76,5	-75,7	0,7	1,3	-1,0	0,0
Eierlandse Gat	-49,1	-44,2	-49,1	-47,5	2,8	4,9	0,0	0,0
Vlie	-68,5	-61,5	-60,4	-63,5	4,4	8,1	8,0	?
Borndiep	-60,2	-57,3	-54,8	-57,5	2,7	5,4	5,4	0,30
Pinkegat	-42,5	-41,6	-44,8	-43,0	1,6	3,2	-2,3	4,39
Zoutkamperlaag	-30,2	-30,3	-28,0	-29,5	1,3	2,3	2,1	0,12
Eilanderbalg	-20,5	-14,5	-10,5	-15,2	5,0	10,0	10,0	0,02
Lauwers	-28,8	-30,7	-21,5	-27,0	4,9	9,2	7,3	1,33
Schild	-9,7	-4,9	-2,0	-5,5	3,9	7,7	7,7	0,56
Eems-Dollard	-29,9	-34,1	-30,8	-31,6	2,2	3,3	-0,9	1,67
Correlatie c3-c1 en bodemdaling								$R^2=0,18$
F-toets: toetswaarde								5,59
berekende waarde								1,53

Conclusies:

- de variatie in gemiddelde hoogteligging over de cycli verschilt sterk voor de verschillende kombergingen (zie kolom sd) en bedraagt 0,7 tot 5,0 cm wat als maat kan worden genomen voor de natuurlijke variatie in hoogteligging
- de maximale variatie in gemiddelde hoogteligging in de periode van de 3 cycli varieert van 1,3 tot 10,0 cm
- het verschil in hoogteligging tussen cyclus 3 en cyclus 1 (over een periode van ca 15 jaar) varieert van -2,3 tot +10,0 cm
- in 7 kombergingen is sprake van verhoging van de gemiddelde hoogteligging; in de 3 anderen van verlaging
- de verhogingen variëren van 2,1 tot 10,0 cm; de verlagingen van 0,9 tot 2,3 cm
- 6 van de 8 kombergingen met gaswinning laten een ophoging zien; de 2 andere een verlaging.
- de correlatie laat zien dat 18% van de variatie zou kunnen worden verklaard door de bodemdaling door gaswinning. Er is echter geen significant verband tussen de gemeten bodembeweging en de bodemdaling door gaswinning in de periode 1985 – 2002.
- opvallend is dat de grootste afname in de hoogteligging (Pinkegat en Eems-Dollard) correspondeert met de grootste bodemdaling door gaswinning.

In Figuur 4.3 is de gemiddelde hoogteligging van het wad tussen –1,5 m NAP en +1,5 m NAP in de kombergingen in de drie ladingcycli grafisch weergegeven. Uit de figuur blijkt dat alleen het Pinkegat een verlaging van de hoogteligging laat zien vanaf de 1990 (cyclus 2 en 3). Bij de overige kombergingen met gaswinning is de verhoging binnen Vlie (Zuidwal), Borndiep, Lauwers en Schild opvallend gelet op de bodemdaling door gaswinning.



Figuur 4.3: Gemiddelde hoogteligging van het droogvallende wad per kombergings in de drie ladingcycli.

In Tabel 4.7 staat het verschil tussen het totaal gemiddelde van het droogvallende wad in een kombergings (Tgem) en de gemiddelde hoogteligging in een cyclus (gem c1t/m3). Aan de hand van deze verschillen is een waarde voor de natuurlijke variatie/dynamiek in de gemiddelde hoogteligging van de kombergingen berekend:

Formule (gemiddelde standaard afwijking van de gemiddelde hoogteligging in een cyclus):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i \in \text{kombergingen}} \sum_{j \in \text{cycli}} (\hat{h}_i - h_{ij})^2}{n - u}}$$

$\hat{h}_i$: gemiddelde hoogteligging kombergings i over alle cycli

h_{ij} : gemiddelde hoogteligging kombergings i en cyclus j

n : #kombergingen · #cycli

u : #kombergingen

Met behulp van deze gemiddelde standaardafwijking kan worden achterhaald of de gemiddelde hoogteligging van een komberg in een cyclus significant afwijkt van de gemiddelde hoogteligging over alle cycli. Er wordt een t-toets voor een significantieniveau van 95% ('2-sigma') toegepast. Gemiddelde hoogteliggingen die minder dan deze toetswaarde afwijken van het totaal gemiddelde (Tgem) vallen binnen de natuurlijke dynamiek van het waddensysteem.

Verder kan door aparte berekening van de gemiddelde standaard afwijking voor de kombergingen met/zonder gaswinning worden achterhaald of de gaswinning tot een afwijkende variatie leidt van de gemiddelde hoogteligging in de tijd. Voor de vergelijking van de verschillende standaardafwijkingen worden hun betrouwbaarheidsintervallen met behulp van de Chi-kwadraatverdeling berekend. Als er overlap is tussen de intervallen dan is er geen significant verschil tussen de standaardafwijkingen van de gebieden met of zonder gaswinning.

Tabel 4.7: Verschil tussen de totaal gemiddelde hoogteligging van het droogvallende wad in een komberg en de gemiddelde hoogteligging in een lodingcyclus (Tabel 4.6).

NAAM	nr	Tgem – gem c1	Tgem – gem c2	Tgem – gem c3				
Marsdiep	1	-0.3	-0.5	0.8				
Eierlandse Gat	2	1.6	-3.3	1.6				
Vlie	3	5.0	-2.0	-3.0				
Borndiep	4	2.7	-0.1	-2.6				
Pinkegat	5	-0.5	-1.3	1.8				
Zoutkamperlaag	6	0.7	0.8	-1.5				
Eilanderbalg	7	5.3	-0.7	-4.7	Standaard- afwijkingen	Waarde t-test p=0,05	Chi-kwadraat intervallen	
Lauwers	8	1.8	3.7	-5.5				
Schild	9	4.2	-0.6	-3.5		T (95%)	X> 95%	X<95%
Eems-Dollard	10	-1.7	2.5	-0.8				
Alle kombergingen					3.28	6.85	2.51	4.74
Kombergingen zonder gaswinning					2.61	5.69	1.87	4.31
Kombergingen met gaswinning					2.73	5.73	2.06	4.03

Conclusies:

- kombergingen laten wisselende afwijkingen van het totaal gemiddelde zien variërend van -5,5 tot +5,3 cm.
- de berekende gemiddelde standaardafwijkingen voor alle kombergingen en kombergingen met en zonder gaswinning vallen binnen de chi-kwadraat intervallen wat inhoudt dat er geen significant verschil is in de variatie in hoogteligging tussen de kombergingen.
- de natuurlijke variatie in hoogteligging voor alle kombergingen samen bedraagt 3,3 cm
- alle verschilwaarden zijn kleiner dan de berekende t-waarde (p=0,05) en vallen binnen de natuurlijke dynamiek van het waddensysteem

Naar analogie van de correlatieberekeningen uitgevoerd voor de hoogteverschillen en bodemdalingen over een periode van 15 jaar in Tabel 4.3 en 4.6 is in Tabel 4.8 de correlatie berekend voor opeenvolgende cycli. Van de komberg het Vlie zijn geen bodemdalinggegevens voorhanden en deze komberg is dan ook niet in de berekeningen meegenomen. Er is geen significant verband gevonden tussen de gemeten bodembeweging (dH) en de bodemdaling door gaswinning in de verschillende lodingperioden. De correlatie laat zien dat maximaal 18% van de variatie zou kunnen worden verklaard door de bodemdaling door gaswinning.

Tabel 4.8: Verschil in de gemiddelde hoogteligging (dH) van kombergingen en de bodemdaling (bd) door gaswinning in de periode van de betreffende cycli.

	c2-1		c3-1		c3-2	
	dH	bd	dH	bd	dH	bd
Komberging						
Marsdiep	0.26	0,00	-1.05	0,0	-1.31	0,00
Eierlandse Gat	4.94	0,00	0.01	0,0	-4.93	0,00
Vlie	7.01		8.03	?	1.02	
Borndiep	2.89	0,15	5.35	0.30	2.46	0,16
Pinkegat	0.84	2,16	-2.30	4.39	-3.14	2,23
Zoutkamperlaag	-0.15	0,00	2.14	0.12	2.29	0,11
Eilanderbalg	5.98	0,01	10.00	0.02	4.02	0,01
Lauwers	-1.95	0,71	7.30	1.33	9.25	0,62
Schild	4.81	0,30	7.73	0.56	2.92	0,26
Eems-Dollard	-4.20	0,81	-0.91	1.67	3.29	0,86
Correlatie dH-bd	R ² =	0,14	R ² =	0,18	R ² =	0,03
F-toetswaarde		5.59		5,59		5,59
Berekende waarde		1,11		1,50		0,19

4.3.2 Oppervlaktes

Aan de hand van de beschikbare lodinggegevens is voor het droogvallende wad tussen –1,5 m en +1,5 m de variatie in oppervlakte (areaal) bestudeerd (Tabel 4.9). Daarvoor is zoveel mogelijk een beperkt maar constant oppervlak binnen de kombergingen gebruikt. Voor de komberging Marsdiep en Vlie in cyclus 1 is dat niet mogelijk gebleken (zie ook 4.1). De gegevens van deze kombergingen moeten dan ook met enige reserve worden bekeken.

Tabel 4.9: Oppervlakte (km²) van het droogvallend wad in de kombergingen van de Waddenzee in de 3 lodingcycli (c1 t/m c3).

* gearceerde cellen niet meegenomen in berekening

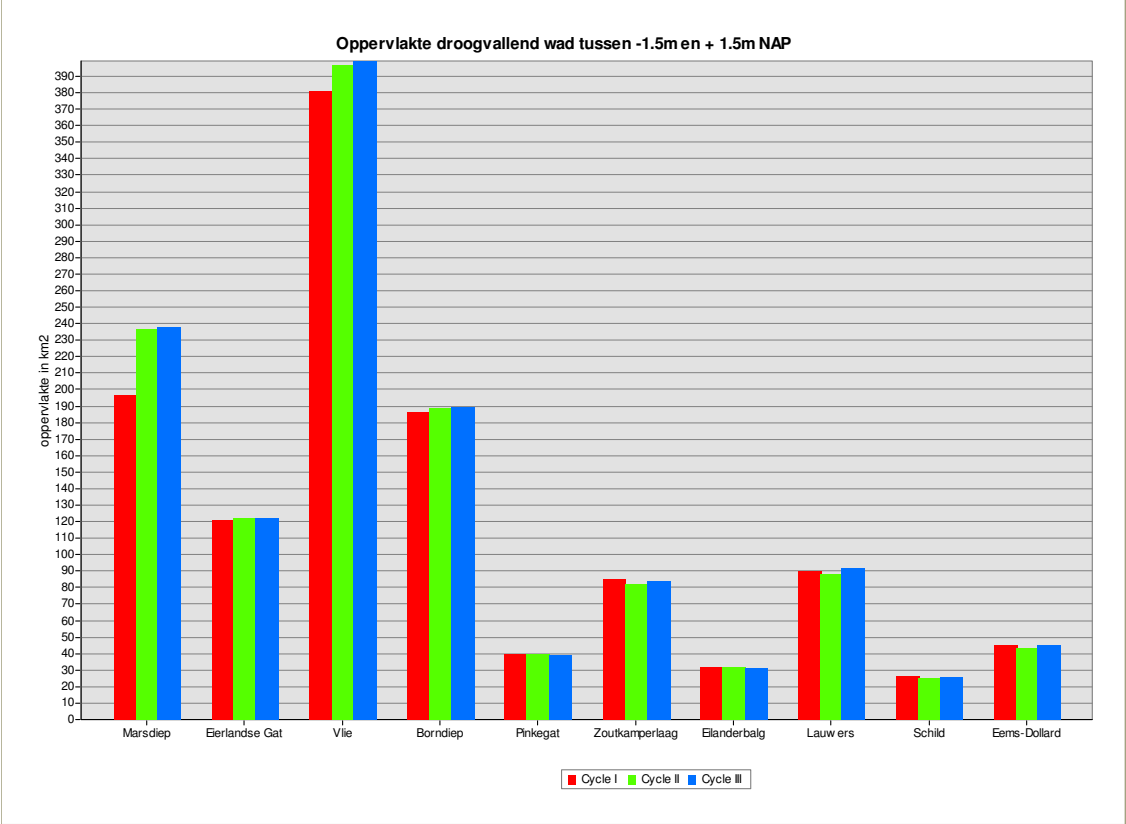
NAAM	c 1	c 2	c 3	gem*	Sd*	max - min*	c3-c1*		Daling gaswinning
							Opp.vl.	%	
Marsdiep	196.85	236.95	238.43	237.69	1.05	1.48	1.48	0.6	0,0
Eierlandse Gat	120.96	121.95	122.15	121.69	0.64	1.19	1.19	1.0	0,0
Vlie	380.80	396.85	399.29	398.07	1.73	2.44	2.44	0.6	?
Borndiep	186.47	188.84	189.81	188.38	1.72	3.34	3.34	1.8	0.30
Pinkegat	40.00	39.81	39.39	39.74	0.31	0.61	-0.61	1.5	4.39
Zoutkamperlaag	84.88	82.01	83.97	83.62	1.46	2.87	-0.90	1.1	0.12
Eilanderbalg	31.73	31.64	31.17	31.51	0.30	0.56	-0.56	1.8	0.02
Lauwers	90.15	88.17	91.83	90.05	1.83	3.66	1.68	1.9	1.33
Schild	26.64	25.17	26.05	25.95	0.74	1.47	-0.59	2.3	0.56
Eems-Dollard	44.81	42.88	44.80	44.17	1.11	1.93	-0.01	0.0	1.67
Total (minus kom 1 en 3)	625.64	620.47	629.17	625.09	4.38	8,7	3.53	0,6	
Correlatie areaalverschil (c3-c1) en bodemdaling F-toets: toetswaarde berekende waarde									R ² = 0,08 5,59 0,58

Conclusies:

- de variatie in oppervlakte over de cycli verschilt voor de verschillende kombergingen en bedraagt enkele km² (zie kolom sd) wat als maat kan worden genomen voor de natuurlijke variatie in oppervlakte
- de variatie bedraagt 0,56 tot 1,83 km²
- de maximale variatie in oppervlakte varieert van 0,56 tot 3,66 km²
- het verschil in oppervlak tussen cyclus 3 en cyclus 1 varieert van -0,90 tot +3,34 km² (maximaal 2,3%)

- in 5 kombergingen is sprake van afname van de oppervlakte; in de 5 anderen van toename
- de afname varieert van 0,01 tot 0,90 km²; de toename van 1,19 tot 3,34 km²
- 5 van de 8 kombergingen met gaswinning laten een afname zien; de 3 andere een toename
- grote kombergingen kennen een relatief grote absolute afname
- de percentuele verandering in oppervlakte van kombergingen over een periode van ca 15 jaar varieert van 0 tot 2,3% waarbij kleine kombergingen een relatief grote verandering laten zien
- het totale oppervlak van de kombergingen (minus Marsdiep en Vlie) laat afwisselend een afname en toename over de cycli zien met een toename in oppervlakte over ca 15 jaar van 3,53 km² ofwel 0,6 %
- De correlatie laat zien dat 8% van de variatie zou kunnen worden verklaard door de bodemdaling door gaswinning. Er is echter geen significant verband tussen de veranderingen in oppervlakte en de bodemdaling door gaswinning in de periode 1985 – 2002.

In Figuur 4.4 is de (variatie in) oppervlakte van het droogvallende wad per komberging over de ladingcycli weergegeven. In de figuur vallen de afwijkende resultaten voor Marsdiep en Vlie op door de ontbrekende data in cyclus 1. De variatie in oppervlakte voor de overige kombergingen is beperkt: 1,0 tot 2,3% voor de kleine kombergingen en 0,6 % voor de grootste kombergingen en het totaal (Tabel 4.9).



Figuur 4.4: Oppervlakte droogvallend wad per komberging in de drie ladingcycli

In Tabel 4.10 staat het verschil tussen het gemiddelde oppervlak van het droogvallende wad in een komberging over de cycli (gemO) en de oppervlakte in een bepaalde cyclus (Oc1 t/m 3). De variatie in het oppervlak droogvallend wad binnen de kombergingen is sterk afhankelijk van de grootte en ligging (dichter of verder van het zeegat) van de kombergingen. Evenals bij de hoogteligging in vorige paragraaf zijn de verschillen nader onderzocht op afwijkingen of afwijkende ontwikkelingen (zie test bij Tabel 4.7).

Tabel 4.10: Verschil tussen het gemiddelde oppervlak van het droogvallende wad (tussen -1,5 en +1,5 m NAP) in een komberging over de cycli en de oppervlakte in een bepaalde ladingcyclus.
* gearceerde cellen niet meegenomen in berekening

NAAM	nr	gemO - Oc1	gemO - Oc2	gemO - Oc3			
Marsdiep	1	27.23	0.75	-0.75			
Eierlandse Gat	2	0.73	-0.27	-0.46			
Vlie	3	11.51	-1.22	1.22			
Borndiep	4	1.90	-0.47	-1.44			
Pinkegat	5	-0.27	-0.08	0.34			
Zoutkamperlaag	6	-1.26	1.61	-0.35			
Eilanderbalg	7	-0.21	-0.13	0.34			
Lauwers	8	-0.10	1.88	-1.78	Standaard- afwijkingen	Waarde t-test p=0,05	Chi - kwadraat intervallen
Schild	9	-0.69	0.79	-0.10			
Eems-Dollard	10	-0.65	1.28	-0.63			
Alle kombergingen					T (95%)	X> 95%	X<95%
Kombergingen zonder gaswinning					1,20	2,51	0,95
Kombergingen met gaswinning					0,85	1,88	0,63
					1,02	2,16	0,79

Conclusies:

- De berekende gemiddelde standaardafwijkingen voor alle kombergingen en voor die met en zonder gaswinning vallen binnen de chi-kwadraat intervallen wat inhoudt dat er geen significant verschil is in de variatie in oppervlakte tussen de kombergingen
- alle verschilwaarden zijn kleiner dan de berekend t-waarde (p=0,05) en vallen binnen de natuurlijke dynamiek van het waddensysteem

In Tabel 4.11 staan de oppervlaktes van het wad boven Gemiddeld LaagWater (GLW) in de kombergingen van de Waddenzee in de 3 ladingcycli (c1 t/m c3). Het oppervlak is van belang voor bodemdieren en vogels. NB: het GLW is niet voor alle kombergingen gelijk (zie H3; hypsometrische krommen).

Tabel 4.11: Oppervlakte (km²) van het wad boven GLW in de kombergingen van de Waddenzee in de 4 ladingcycli (c1 t/m c3).

* gearceerde cellen niet meegenomen in berekening

	Oppvl c 1	Oppvl c 2	Oppvl c 3	Tot. gem	sd
Marsdiep	107.23	118.87	116.43	117.65	1.73
Eierlandse Gat	100.77	106.85	104.86	104.16	3.10
Vlie	281.51	309.28	312.00	310.64	1.92
Borndiep	158.19	163.98	165.82	162.66	3.98
Pinkegat	38.10	38.27	37.99	38.12	0.14
Zoutkamperlaag	81.47	78.34	79.99	79.93	1.57
Eilanderbalg	31.02	31.04	30.47	30.84	0.32
Lauwers	87.24	85.06	88.85	87.05	1.90
Schild	26.15	24.84	25.68	25.56	0.66
Eems-Dollard	44.02	41.67	43.81	43.17	1.30
Totaal (minus kom 1 en 3)	566.97	570.05	577.45	571.49	5,39

Conclusies:

- De grootste variatie kennen de vier meest westelijke kombergingen (1,92 tot 3,98 km²) waaronder zowel grote als kleine kombergingen
- Kleine kombergingen in de oostelijke Waddenzee laten een kleinere variatie zien (<1,9 km²).
- De variatie in het gemiddelde oppervlak boven GLW van 8 van de 10 kombergingen tezamen bedraagt 5,39 km².

- De toename in oppervlakte van 8 van de 10 kombergingen over de cycli bedraagt 10,48 km²

5 LUCHTFOTO VERIFICATIE

Aan de hand van luchtfoto's is het areaal droogvallend wad bepaald voor zowel de westelijke Waddenzee (>-80 cm NAP) als oostelijke Waddenzee (>-100 cm NAP). Om te achterhalen of en in hoeverre deze resultaten overeenkomen met de resultaten uit de lodingen, zijn de kaarten over elkaar heen gelegd (Kaart 5.1 t/m 5.3). In de kaarten is de rode lijn de contour bepaald aan de hand van de lodingen en zijn de arealen land en water bepaald aan de hand van de luchtfoto's.

De verschillen in het noordelijke deel van de westelijke Waddenzee hangen samen met de afwijkende tijd waarop de luchtfoto's zijn genomen (Arcadis 2008). Mede hierdoor zijn de verschillen groot, vooral rond het wantij van Vlieland en Terschelling. In de oostelijke Waddenzee is de overeenkomst groter maar ook hier zijn rond het wantij van Terschelling en Ameland grote verschillen zichtbaar. Door de problemen rond het afstemmen van de fotovluchten op de zeewaterstand en het verloop van het getij binnen de Waddenzee én rond de bewerkingen en interpretatie van de gegevens (segmentatie en classificatie), wordt met lodingen makkelijker en waarschijnlijk ook nauwkeuriger een beeld verkregen van het areaal droogvallend wad bij een bepaalde waterstand dan met luchtfoto's. Daarmee zijn luchtfoto's niet echt geschikt om ontwikkelingen in het areaal droogvallend wad te volgen. Luchtfoto's laten echter wel zien hoe de waterverdeling werkelijk is binnen een komberging op een bepaald tijdstip in het getij terwijl een laagwatercontourlijn uit lodingen niet de werkelijke droogvalsituatie weergeeft. Bovendien geven lodingen niet frequent inzage in de ontwikkelingen van het areaal water en droogvallend wad.

In Tabel 4.12: is een overzicht opgenomen van de oppervlakte (km²) van kombergingen en het droogvallende wad zoals dat bepaald is a.d.h.v. lodingen en fotovluchten (Eems-Dollard gedeeltelijk meegenomen). Daarbij is alleen de oppervlakte gebruikt die zowel is gelood als gefotografeerd en zijn de no data en missing data uit lodingen 'doorgedrukt' (Kolom 2 in de tabel) zodat de oppervlaktes kunnen worden vergeleken.

Uit de tabel blijkt dat de verschillen in oppervlakte hoog kunnen oplopen voor kombergingen met een relatief klein areaal droogvallend wad (Marsdiep en Vlie). Voor de overige kombergingen ligt het verschil tussen lodingen en foto's en foto's tussen de 0 en 16%. Gemiddeld bedraagt het verschil tussen lodingen en luchtfoto's uit 2007 en 2008 resp. 7 en 5 % en tussen de foto's onderling 7%. De berekeningen a.d.h.v. de luchtfoto's uit 2007 zijn gecorrigeerd (zie verslaglegging 2007) zodat de resultaten met enige reserve moeten worden bekeken.

Een verschilpercentage van 5% is relatief hoog vergeleken met de dynamiek in het areaal droogvallend wad bepaald aan de hand van lodingen over een periode van ca 15 jaar die in de orde van grootte van enkele procenten ligt (Tabel 4.9). Daarmee lijkt in eerste instantie de methode van luchtfoto's niet optimaal geschikt voor het volgen van de ontwikkelingen in arealen habitats op de korte termijn. Als echter de problemen rond het uitvoeren van fotovluchten kunnen worden opgelost en het uitwerken van de gegevens goed kan worden gestandaardiseerd, kunnen aan de hand van luchtfoto's (sterk) afwijkende ontwikkelingen in de habitatarealen worden achterhaald. De nauwkeurigheid waarmee de habitatarealen kunnen worden bepaald sluit dan redelijk goed aan bij de natuurlijke dynamiek in de arealen.

NB: Het corrigeren van 'fouten' in luchtfoto's die samenhangen met een afwijkende waterstand tijdens de opnames door het inzetten van hydrologische modellen voor kombergingen, is geen zinvolle optie gebleken (mond. med. Deltares).

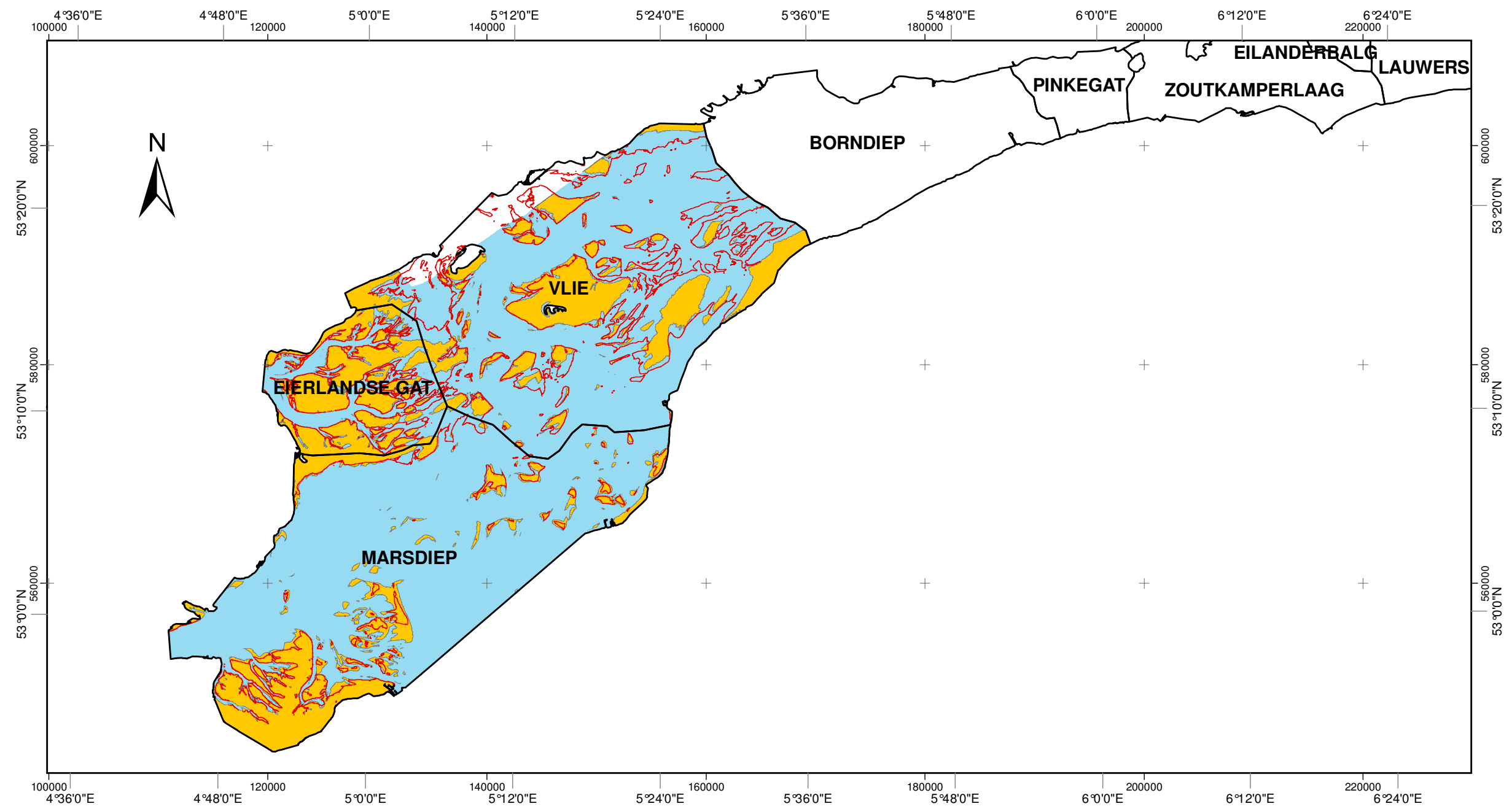
Tabel 4.12: Overzicht van de oppervlakte (km²) van kombergingen* en het droogvallende wad uit lodingen (cyclus 4) en fotovluchten (Eems-Dollard gedeeltelijk meegenomen).

Komberging	Totaal (cyclus 4)	Lodingen	Foto's 2007 Voorjaar**	Foto's 2008 voorjaar	Percentage droogvallend wad		
		Droogvallend wad	Droogvallend wad	Droogvallend wad	Lodingen	Foto's 2007	Foto's 2008
Marsdiep	652.1	80.0	147.3	126.5	12%	23%	19%
Eierlandse Gat	156.0	99.8	100.2	91.1	64%	64%	58%
Vlie	645.1	215.9	225.5	119.5*	33%	35%	19%
Borndiep	264.6	146.1	172.3	131.1	55%	65%	50%
Pinkegat	50.8	35.1	38.4	36.5	69%	76%	72%
Zoutkamperlaag	112.1	61.4	73.8	67.9	55%	66%	61%
Eilanderbalg	34.6	25.3	28.0	25.8	73%	81%	74%
Lauwers	99.7	55.2	66.8	60.2	55%	67%	60%
Schild	28.3	21.4	23.2	22.7	76%	82%	80%
Eems-Dollard	43.5	29.1	32.4	28.6	67%	74%	66%
					Loding/f oto 2007		

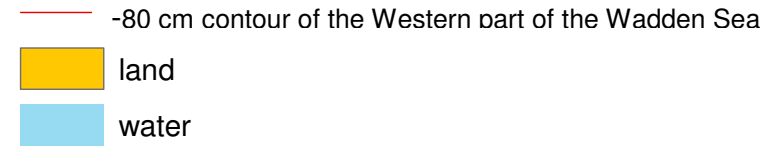
* zie tekst

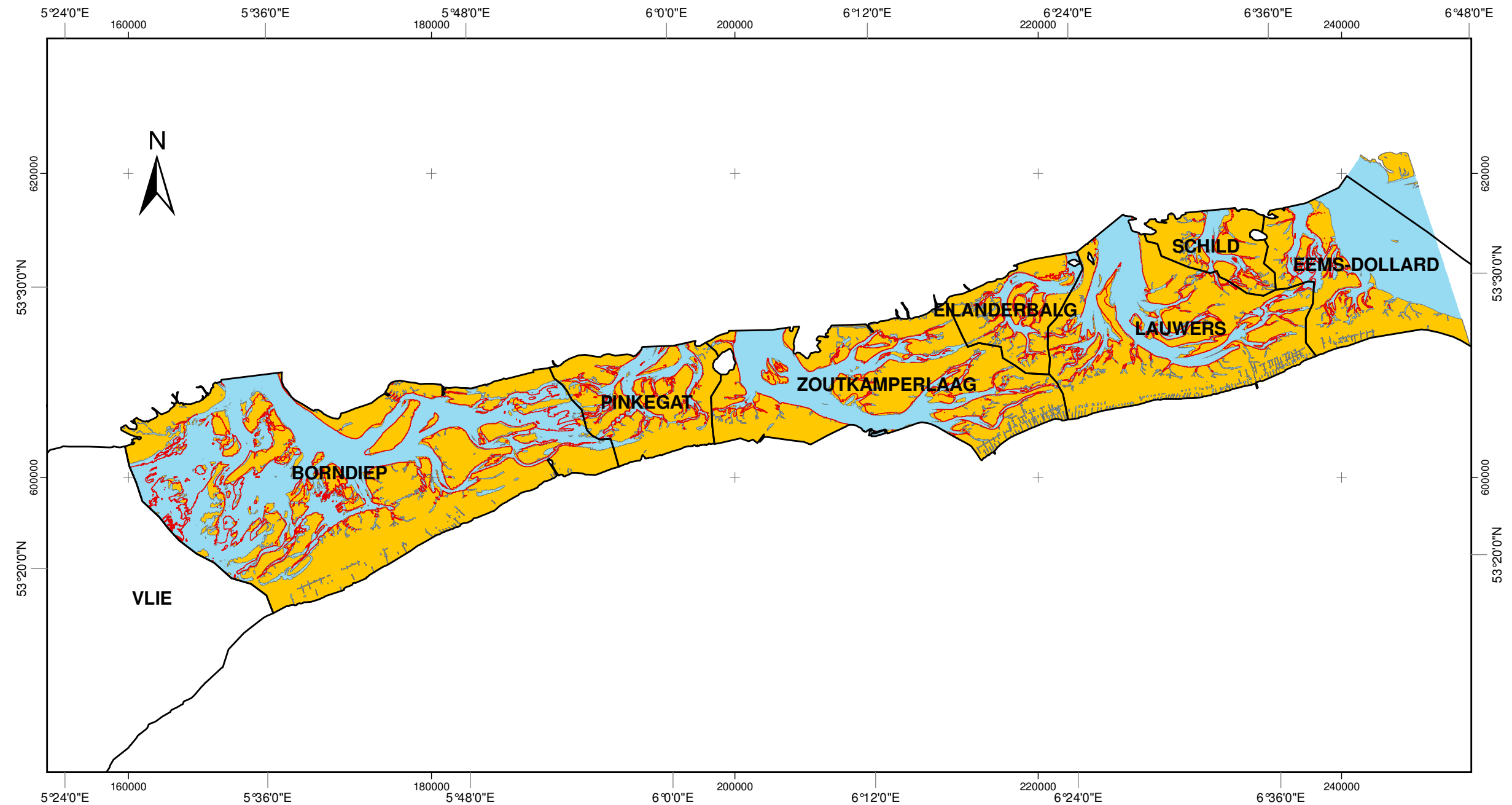
** Gecorrigeerde waarde (NAM 2008)

-80 en -100 opmerking



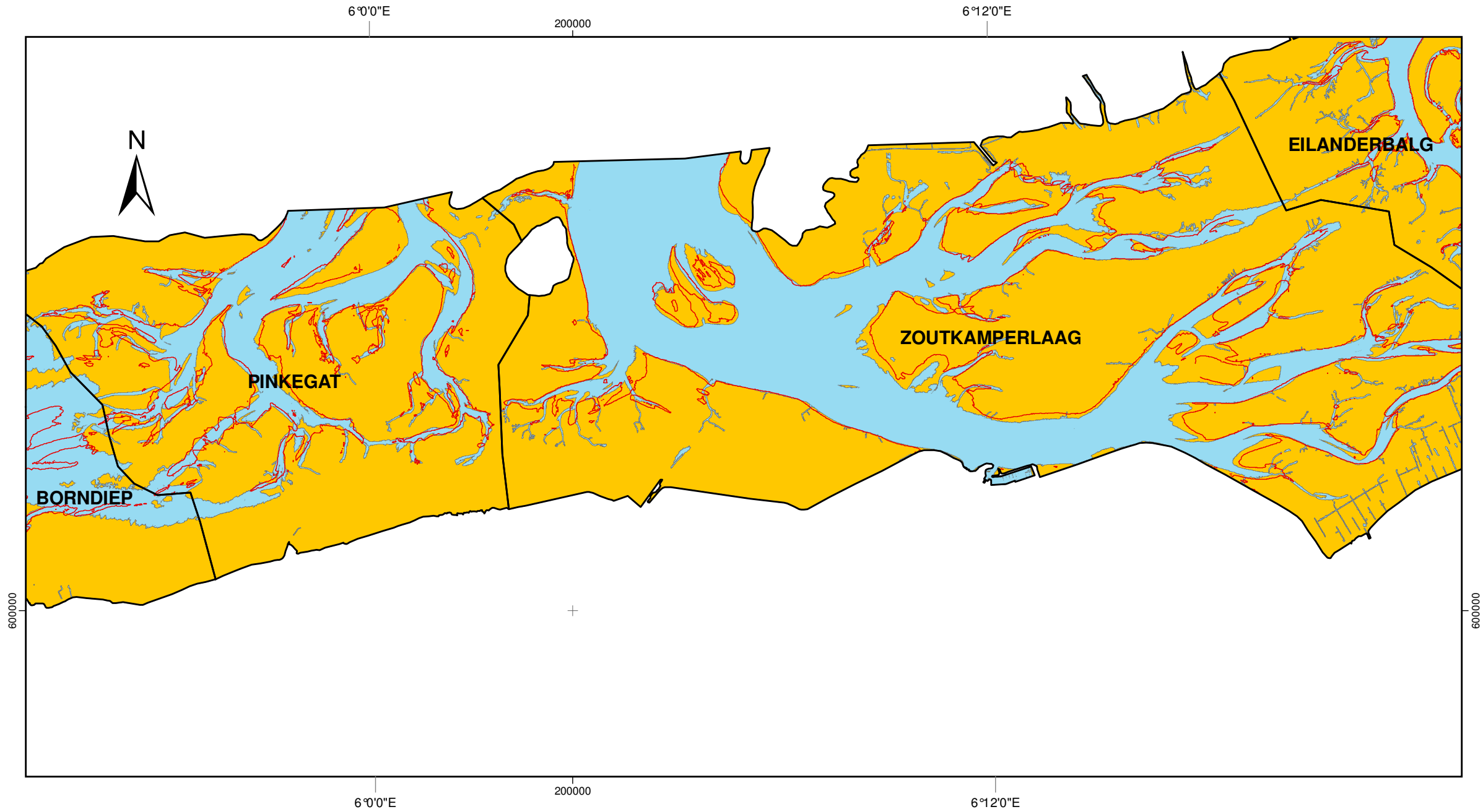
-80 cm contour of the Western part of the Waddensea i.r.t 2008 aerial photograph data





-100 cm contour of the Eastern part of the Waddensea i.r.t. 2008 aerial photograph data

- -100 cm contour of the Eastern part of the Wadden Sea
- land
- water



-100 cm contour of the Eastern part of the Waddensea i.r.t. 2008 aerial photograph data
DETAIL: Pinkegat and Zoutkamperlaag

- 100 cm contour of the Eastern part of the Wadden Sea
- land
- water

6 Conclusies

Hoogteverschilkaarten:

Uit de hoogteverschilkaarten van opeenvolgende ladingcycli blijkt het volgende:

- In zeegaten en grote geulen grootste sedimentdynamiek: enkele decimeters tot meer dan een 0,5 meter in 5 jaar wat overeenkomt met een hoogteverandering van minimaal 10 cm/j.
- In kleinere wadgeulen minder sedimentdynamiek: tot enkele decimeters in 5 jaar wat overeenkomt met een verandering van tot 4 á 8 cm/j.
- Op droogvallende wadplaten relatief weinig sedimentdynamiek: één á twee decimeter in 5 jaar wat overeenkomt met een hoogteverandering van 2 á 4 cm/j.
- Langs vastelandskust en achter eilanden minste dynamiek: tot één decimeter in 5 jaar ofwel 2 cm/j

Uit de hoogteverschilkaart Cyclus 3 -1 blijkt dat:

- het areaal ophoging groter (ca 6,4% ofwel ca 129 km²) is dan het areaal verlaging
- ca 77,6% van het wad een hoogteverandering heeft gekend van > 10cm wat overeenkomt met minimaal 0,5 cm /jaar
- ca 60% van het wad een hoogteverandering heeft gekend van > 20cm wat overeenkomt met minimaal 1 cm /jaar
- ca 47,5% van het wad een hoogteverandering heeft gekend van > 30cm wat overeenkomt met minimaal 1,5 cm /jaar

Hypsometrie:

- Individuele kombergingen laten als geheel in de tijd geen duidelijke trendontwikkelingen in hoogteligging en arealen zien maar wel interne verschuivingen en schommelingen.
- Kleine kombergingen laten relatief sterke schommelingen in hoogteligging en oppervlakten zien die waarschijnlijk samenhangen met de ligging nabij het zeegat oiv de Noordzee (getij en golfenergie).

Hoogteligging:

- De gehele Waddenzee laat over een periode van 15 jaar een ophoging zien van 7,4 cm. Hetzelfde maar in iets mindere mate geldt voor het droogvallende wad met een ophoging van 4,3 cm.
- De natuurlijke variatie in de gemiddelde hoogteligging van een komberging bedraagt 0,4 tot 7,4 cm (standaard afwijking) en kan voor individuele kombergingen oplopen tot ca 14,8cm (maximale variatie) ; voor het droogvallende wad is dat resp. 0,7 tot 5,0 cm en ca 10 cm
- De verhouding meetnauwkeurigheid (gemeten hoogteverschil) en signaal (bodemdaling) is groot wat het registreren van het signaal bemoeilijkt.
- Er is geen aantoonbaar significant verband tussen de veranderingen in hoogteligging van kombergingen en de bodemdaling door gaswinning op de korte (1 cyclus) en lange termijn (3 cycli).
- Er is geen aantoonbaar significant verschil in de variatie in hoogteligging van het droogvallende wad tussen alle kombergingen én de kombergingen met of zonder gaswinning.
- De variaties in gemiddelde hoogteligging van het droogvallende wad in kombergingen vallen binnen de natuurlijke geomorfologische dynamiek van het waddensysteem

Oppervlakte:

- Het oppervlak droogvallende wad (-1,5 tot +1,5 m NAP) berekend aan de hand van 8 kombergingen, laat over een periode van 15 jaar een toename zien van 3,53 km² (0,6%)
- Het oppervlak droogvallend wad boven Gemiddelde Laag Water berekend aan de hand van 8 kombergingen, laat een toename van 10,48 km² zien.

- De natuurlijke variatie in oppervlakte droogvallend wad van kombergingen bedraagt 0,31 tot 1,83 km² (standaard afwijking) en kan voor individuele kombergingen oplopen tot ca 3,66 km² (maximale variatie)
- Over een periode van ca 15 jaar varieert de oppervlakte droogvallend wad binnen de kombergingen tot 2,3%.
- De totale oppervlakte van het droogvallende wad, berekend over 8 kombergingen, varieert weinig (enkele km²) over de cycli en laat afwisselend een toe- en afname zien; over een periode van 15 jaar verandert het totale oppervlak ca 0,6%
- Er is geen aantoonbaar significant verband tussen de veranderingen in oppervlakte droogvallend wad binnen de kombergingen en de bodemdaling door gaswinning op de lange termijn (3 cycli).
- Er is geen aantoonbaar significant verschil in de variatie in oppervlakte van het droogvallende wad binnen alle kombergingen én de kombergingen met of zonder gaswinning.
- De variaties in de oppervlakte van het droogvallende wad in kombergingen vallen binnen de natuurlijke geomorfologische dynamiek van het waddensysteem

Referenties

Lekkerkerk, H.J. & C. van Tooren, B. van Mierlo, E. van der Meulen, 2006, Gevolgen en omvang van verschillen LRK en waterstandgecorrigeerde dieptemetingen. Periplus Consultancy BV, Amsterdam. Rapport 2006.005.

RIKZ 2004: Bodemdalingstudie Waddenzee 2004. Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd. Rapport RIKZ/2004.025. Mn van V&W, DG RWS.