

Vegetatie en opslibbing in de Peazemerlannen en het referentiegebied west-Groningen: Jaarrapportage 2009

W.E. van Duin, K.S. Dijkema & P.-W. van Leeuwen



Rapportnummer: C008/10
Publicatiedatum: februari 2010

IMARES Wageningen UR

(IMARES - institute for Marine Resources & Ecosystem Studies)

IMARES is:

- een onafhankelijk, objectief en gezaghebbend instituut dat kennis levert die noodzakelijk is voor integrale duurzame bescherming, exploitatie en ruimtelijk gebruik van de zee en kustzones;
- een kennispartner voor overheden, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties;
- een belangrijke, proactieve speler in nationale en internationale mariene onderzoeksnetwerken (zoals ICES en EFARO).

© 2010 IMARES Wageningen UR

IMARES is onderdeel van Stichting DLO, geregistreerd in het Handelsregister nr. 09098104, IMARES BTW nr. NL 8113.83.696.B16	De Directie van IMARES is niet aansprakelijk voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van IMARES; opdrachtgever vrijwaart IMARES van aanspraken van derden in verband met deze toepassing. Niets van dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd, gefotokopieerd of op enige andere manier vermenigvuldigd worden zonder schriftelijke toestemming.
A_4_3_1-V9.1	

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
1 Inleiding	6
1.1. Achtergrond.....	6
1.2. Keuze referentiegebied.....	6
1.3. Metingen door derden.....	8
2 Aanpak	9
2.1. Globale werkwijze.....	9
2.2. Methodes	9
2.2.1 Peazemerlannen.....	9
2.2.2 Monitoring referentiegebied west-Groningen	11
2.3. Ervaring op basis van bodemdaling Ameland	13
3 Resultaten.....	14
3.1. Opslibbing (SEB).....	14
3.2. Bepaling maaiveldhoogte (m+NAP) bij SEB-meetpunten	18
3.3. Vegetatie (pq's)	18
3.4. Kliferosie	23
3.5. Langjarige opslibbing en vegetatie meetvakken in west-Groningen.....	24
3.6. Jaargemiddeld hoogwater	26
3.7. Geplande statistiek in 2012.....	27
Literatuur	31
Bijlage 1 VEGWOK-programma vegetatiekarteringen kwelders RWS.....	33
Bijlage 2 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling in de Peazemerlannen bij pq 4-30.....	34
Bijlage 3 Vegetatieontwikkeling Peazemerlannen pq 31-48.....	38
Bijlage 4 Opslibbing afzonderlijke pq's Peazemerlannen	40
Bijlage 5 Vegetatie pq's referentiegebied Groningen	42
Bijlage 6 Opslibbing afzonderlijke pq's referentiegebied west-Groningen	44
Verantwoording.....	46

Samenvatting

Deze derde jaarrapportage over de monitoring in het kader van de bodemdaling onder de kwelder de Peazemerlannen bevat een overzicht t/m 2009 van de activiteiten en meetresultaten in de kwelder en zomerpolder van de Peazemerlannen en in het referentiegebied in de kwelderwerken in west-Groningen. De meeste gegevens worden weergegeven vanaf 2007, het startjaar van de gaswinning. Oudere data worden waar nuttig ook weergegeven en in andere gevallen wordt verwezen naar eerdere rapporten. In elk jaarrapport wordt de rapportage van 2007 als basis gebruikt, maar aangevuld met de gegevens tot en met het meest recente gepasseerde jaar, zodat voor een overzicht van de beschikbare informatie alleen het laatste jaarrapport nodig is.

Een uitgebreide analyse van de gegevens over 5 jaar zal plaatsvinden in 2012, omdat dan op zijn vroegst voldoende gegevens verzameld zijn om eventuele trends in de ontwikkeling te ontdekken. De daartoe beoogde statistiek wordt in het laatste hoofdstuk toegelicht en is dezelfde als voor de bodemdaling Ameland is toegepast.

Vaste meetpunten IMARES in de Peazemerlannen en het referentiegebied

In 2007 zijn in de Peazemerlannen 18 nieuwe meetpunten aangelegd naast 30 reeds bestaande. Door de autonome ontwikkeling (opslibbing en vegetatiesuccessie) in de voorafgaande 12 jaar zijn in de laatstgenoemde groep vooral de meetpunten in de meer kwetsbare lagergelegen vegetatiezones ondervertegenwoordigd. Er is voor gekozen alle reeds vanaf 1995 bestaande meetpunten ook te blijven volgen, hoewel het aantal punten in de middenkwelder daardoor nu wat oververtegenwoordigd is. Door de bekende historie van deze punten kan echter ook beter een eventueel optredende trendbreuk in opslibbing of vegetatieontwikkeling na 2007 ontdekt worden.

Verder zijn in 2007 in de west-Groninger kwelderwerken referentiemeetpunten uitgezet. In vijf meetvakken van Rijkswaterstaat (RWS) zijn, verdeeld over zes raaien van dijk naar wad, 29 vaste meetpunten gemaakt in de verschillende vegetatiezones, zoals in de Peazemerlannen.

Van alle meetpunten wordt in voor- en najaar de opslibbing en daardoor de maaiveldhoogte bepaald met de Sedimentatie-Erosie-Balk (SEB). In de nazomer wordt de vegetatie opgenomen in permanent kwadranten bij de meetpunten (pq). Van alle meetpunten is de maaiveldhoogte t.o.v. NAP bekend.

Aanvullende data RWS referentiegebied

De kwelderwerken van west-Groningen zijn de dichtstbijzijnde kwelders zonder bodemdaling en hebben de best vergelijkbare opslibbing met de Peazemerlannen. Daarnaast is van dit gebied een meetreeks betreffende opslibbing en vegetatieontwikkeling beschikbaar van 1960 tot heden. Hierdoor zijn naast de door IMARES uitgevoerde puntmetingen van de opslibbing en hoogte ook metingen van de dwarsraaien (elke honderd meter van dijk tot wad) beschikbaar.

Uit de bovengenoemde meetreeks van RWS blijkt dat de gemiddelde opslibbing over de periode 1992-2007 in het kwelderdeel van de 5 referentiemeetvakken 14 mm/j bedroeg en in de pionierzone 4 mm/j. De vegetatieontwikkeling in de kwelder laat in die periode over het geheel genomen een successie zien van een gevarieerde (lage) kwelder naar het climaxstadium met Zeekweek. Deze autonome ontwikkeling hangt samen met de door opslibbing toenemende hoogte van het maaiveld en het ontbreken van beweiding in de meeste vakken.

Resultaten 2007-2009

Weer

Er zijn in de periode augustus 2008 tot augustus 2009 geen stormen met een grote aanvoer van sediment geweest. Verder was het weer in het groeiseizoen van 2009 tegengesteld aan dat in het jaar ervoor: een vrij nat voorjaar en een droge zomer. Deze omstandigheden hebben relatief veel effect gehad op de maaiveldontwikkeling (weinig opslibbing en veel inklink) en enig effect op de vegetatieontwikkeling (verdroging van vooral Kweldergras). De afgelopen meetjaren hebben duidelijk laten zien dat de weersomstandigheden grote jaar-op-jaar schommelingen in opslibbing en vegetatie kunnen veroorzaken.

Opslibbing Peazemerlannen

In de Peazemerlannen was de gemiddelde jaarlijkse netto opslibbing (bepaald over twee meetjaren) in de verschillende vegetatiezones in de kwelder ca. 9 mm/j. In de zomerpolder is in de lage delen aan de oostkant gemiddeld een positief resultaat van ca. 3 mm/j gemeten, maar in de kortbegraste hogergelegen delen aan de westkant is na de droge zomer een inklink van ca. 2 mm/j opgetreden. Op het kale wad en in de pre-pionierzone is een gemiddelde toename in hoogte gemeten van ca. 6 mm/j. Tussen meetpunten in eenzelfde zone waren soms grote verschillen, vooral in de dynamische pre-pionierzone die laag ligt en weinig is begroeid.

Opslibbing referentiegebied

In het referentiegebied, de meetvakken in west-Groningen, lag de gemiddelde jaarlijkse opslibbing na twee jaar lager dan in de Peazemerlannen met ca. 3 mm/j in de kwelder en 7 mm/j in de pionierzone. Het kale wad en de pre-pionierzone vertoonden een erosie van ca. 5 mm/j. Tussen meetpunten in eenzelfde zone waren ook in het referentiegebied soms grote verschillen, vooral in de dynamische laaggelegen weinig begroeide pre-pionierzone. In meetvak 324 heeft in 2009 voor het eerst beweiding met paarden plaatsgevonden. Hierdoor is lokaal flinke vertrapping veroorzaakt, ook bij meetpunten. De effecten hiervan zijn terug te vinden in de "erosie" van het maaiveld (en daardoor een lagere gemiddelde opslibbing) en achteruitgang in vegetatiebedekking.

Bij de opslibbing geldt, net zoals bij de vegetatie, dat pas na metingen gedurende minimaal 5 jaar een betrouwbare trend zichtbaar kan worden.

Vegetatie Peazemerlannen en referentiegebied

Over het geheel genomen was de vegetatie in de meeste pq's in de Peazemerlannen en het referentiegebied stabiel ten opzichte van het beginjaar 2007 en zijn er geen opmerkelijke verschuivingen tussen zones waargenomen. Het natte voorjaar en de droge zomer (het groeiseizoen) van 2009 hebben in beide gebieden wel enige invloed gehad op de vegetatie van een aantal pq's. Door de droge zomer van 2009 was de vegetatiebedekking van de pq's die aan de rand van een poeltje liggen hoger dan in de natte zomer van 2008, toen stagnerend water voor afsterven van een deel van de vegetatie zorgde. Kweldergras heeft op veel plaatsen juist geleden onder de droogte en was daardoor vergeleken met vorig jaar vaak verdroogd en in een lagere bedekking aanwezig. Zeeaster was lang niet zo uitbundig aanwezig als in 2008, toen er veel en hoge planten waren, maar er waren wel zeer veel kiemplanten. De uitbreiding van Zoutmelde heeft zich in 2009 voortgezet. Dit zijn ontwikkelingen die vergelijkbaar zijn met de vegetatie van de kwelders op Ameland-oost.

Harde uitspraken over eventuele trends/verschuivingen kunnen overigens op zijn vroegst na ongeveer 5 jaar worden gedaan (vandaar dat in 2012 de eerste evaluatie plaatsvindt). Nu kan hooguit iets gezegd worden over jaar-op-jaar schommelingen en de ervaringen in andere kwelders. Zo is op Ameland gebleken dat regressie door een slechte ontwatering meestal van tijdelijke aard is. Zodra de ontwatering weer op gang komt treedt herstel op en vaak een snelle vegetatiesuccessie.

1 Inleiding

1.1. Achtergrond

Midden jaren 90 heeft de NAM door middel van proefboringen bij Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen gas ontdekt in zeven velden waaronder Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. Deze gasvelden maken deel uit van de vigerende winningvergunningen en liggen geheel of gedeeltelijk onder de Waddenzee net ten noorden van het Lauwersmeer, in het noordoosten van Friesland en het noordwesten van Groningen. Moddergat is aangeboord vanaf de locatie Moddergat, de drie Lauwersoog-velden vanaf de locatie Lauwersoog en de velden Vierhuizen-Oost en -West vanaf de locatie Vierhuizen. Na de proefboringen zijn de exploratieputten, in afwachting van de productieplannen, veiliggesteld.

In overeenstemming met het advies van de Adviesgroep Waddenzeebeleid heeft de overheid geconcludeerd dat er geen ecologische gronden zijn voor het afzien van winning gebonden aan strikte natuurgrenzen. In dit kader wordt gesproken over het principe van 'hand aan de kraan'. Dit houdt in dat de winning van gas wordt afgestemd op de draagkracht van de min of meer zelfstandige ecologische eenheden binnen het waddensysteem (i.e. de kombergingsgebieden). In de praktijk betekent dit dat in een kombergingsgebied de bodemdalingssnelheid door gaswinning niet groter mag worden dan de sedimentatiesnelheid, rekening houdend met de zeespiegelstijging en de natuurlijke bodemdaling alsmede het aanbod van sediment.

Begin 2007 heeft de NAM het genoemde gasveld op de landlocatie Moddergat in productie genomen. In dit deel van Friesland bevinden zich ook de Peazemerlannen, een natuurgebied bestaande uit een zomerpolder en een kwelder. De beschikbare meetgegevens van de opslibbing en vegetatie van dit gebied tot en met 2006 zijn vastgelegd in een rapport met de uitgangssituatie (Van Duin *et al.*, 2007). Om eventuele veranderingen in opslibbing en vegetatieontwikkeling in de Peazemerlannen te kunnen waarnemen worden tijdens de gaswinningperiode jaarlijks metingen gedaan in het gebied zelf en in een nabijgelegen referentiegebied (zie §1.2). Doel is eventuele effecten van bodemdaling door gaswinning waar te nemen zodat, indien noodzakelijk, passende maatregelen genomen kunnen worden. De kweldermonitoring levert daarmee een bijdrage aan het veel bredere monitoringprogramma dat wordt uitgevoerd in het kader van de gaswinning bij Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen.

1.2. Keuze referentiegebied

Na aanbevelingen van 2 audits betreffende het bodemdalingonderzoek Ameland bleek een 0-referentie zonder bodemdaling wenselijk. IMARES had voor NO-Friesland al een 0-metserie met SEB- en pq-metingen van 1995-2006 in de Peazemerlannen zelf. Een tweede Peazemerlannen als 0-referentie is er niet. De (westelijke) meetvakken van Rijkswaterstaat (RWS) in de kwelderwerken van Groningen zijn echter geschikt als referentie vanwege de lange reeks gegevens (1960-2008) en vanwege de goede overeenkomsten in opslibbing en vegetatie met NO-Friesland. De kwelderwerken in Friesland zijn bewust niet als referentie gekozen, omdat de opslibbing daar veel hoger is dan in de Peazemerlannen.



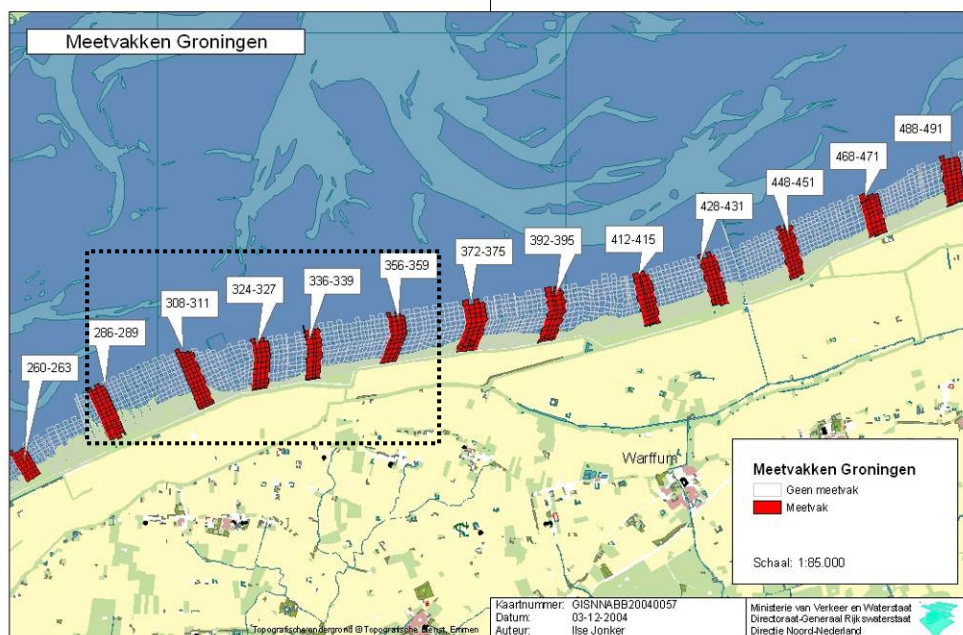
Foto 1.1 Ligging van de Peazemerlannen en de meetvakken in de Groninger kwelderwerken die als referentiegebied dienst doen.

In de Groninger kwelderwerken liggen 13 meetvakken en in de Friese kwelderwerken 12. Elk RWS-meetvak bestaat uit één reeks bezinkvelden van de dijk naar het wad. De grootte per meetvak is ca. 50 ha en is representatief voor een kustgedeelte van ca. twee kilometer. Vanaf ca. 1960 tot heden is door het RWS Waterdistrict Waddenzee hetzelfde monitoringsysteem toegepast: gedetailleerde metingen aan hoogte en vegetatie per meetvak, aangevuld met gegevens over beweiding, ontwatering en het beheer. Vanaf 1982 vindt de monitoring in samenwerking met IMARES plaats. Een 6-jaarlijkse vegetatiekaart van RWS-DID (Data-ICT-Dienst, voorheen Adviesdienst Geo-Informatie) dient voor een vlakdekkende controle van de meetvakkenmethode en voor het vaststellen van de kwaliteit van de vegetatie op het niveau van vegetatietypen. Daarnaast bieden vegetatiekaarten de mogelijkheid te vergelijken met alle andere kwelders en schorren in Nederland.

De gegevens van de meetvakken zijn ondergebracht in het **WOK-databestand**. De vegetatiekaarten van RWS-DID en het WOK-databestand van het RWS Waterdistrict Waddenzee worden in samenwerking met IMARES als volgt gebruikt:

- Het rapporteren van de toestand van de kwelderwerken aan de beheerder Rijkswaterstaat en aan de gebruikers in de Stuurgroep Kwelderwerken.
- Trendanalyses over de autonome ontwikkeling en over de effecten van bestaand beheer en van nieuw beheer.
- Inbreng in de trilaterale (Deens-Duits-Nederlandse) Waddenzee-monitoring (TMAP) voor Wadden Sea Quality Status Reports.
- Studies naar de effecten van nieuwe gaswinning, waaronder de bodemdalingstudie van 1993 en de Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee van 1998.

Dit WOK-databestand heeft een belangrijke rol gespeeld in een studie (Hoeksema *et al.*, 2004) in opdracht van het kabinet naar de effecten van het Groningen veld (= "Slochteren").



Figuur 1.1 Nummering meetvakken Groninger kwelderwerken (:.....: = meetvakken die als referentie dienst doen).

1.3. Metingen door derden

Sommige metingen die van belang zijn voor het projectresultaat worden niet door IMARES zelf verricht:

- Berekeningen van de hoogte van de SEB-palen en de vaste punten t.o.v. NAP en van de bodemdaling worden per vijf jaar aangeleverd door de NAM. In geval van een verstoring zou een meting vervroegd kunnen worden. Belangrijk is om elke meting met dezelfde meettechniek en apparatuur uit te voeren. In de (na)zomer van 2008 is de bepaling van de hoogte van de SEB-palen in opdracht van de NAM uitgevoerd door Fugro-Inpark in samenwerking met IMARES. De hoogtes van de ijkpunten waaraan deze metingen worden gekoppeld zijn in 2009 door RWS aan de NAM geleverd.
- Van de getijhoogtes levert RWS Waterdistrict Waddenzee jaarlijks de basisgegevens aan, zodat IMARES de overstromingsfrequenties kan bepalen. Deze gegevens komen meestal in de loop van januari van het opvolgende jaar beschikbaar. Aangezien de jaarrapportages eind december of begin januari verschijnen worden deze gegevens meestal pas in het volgende jaarrapport opgenomen.
- De vegetatie van de pionierzone (jaarlijks) en de hoogtemetingen van de meetvakken (vierjaarlijks) worden door RWS Waterdistrict Waddenzee aangeleverd en de vegetatiekaarten ca. zesjaarlijks door de RWS-DID (zie Bijlage I voor het tijdschema).
- Met betrekking tot de jaarlijkse neerslag en verdamping zal gebruik worden gemaakt van de gegevens, die door Deltares voor het monitoringonderzoek bodemdaling Ameland worden geleverd aan IMARES.

2 Aanpak

2.1. Globale werkwijze

Jaarlijks worden door IMARES twee SEB- metingen uitgevoerd (eind maart en in augustus/september) en worden vegetatieopnames gemaakt (pq's) bij de kwelder SEB-meetpunten in de Peazemerlannen en het referentiegebied. Met het oog op eventuele erosie wordt in de Peazemerlannen tevens de locatie van de kwelderrand en de grens van de pioniervegetatie bepaald in het centrale deel van het gebied waar de zomerkade ontbreekt. Aan het eind van het jaar worden de verzamelde gegevens uitgewerkt en verwerkt tot een jaarverslag. Een aantal basiszaken worden elk jaar herhaald en er wordt naar gestreefd om het jaarrapport van 2007 steeds verder uit te breiden met de gegevens van het meest recente gepasseerde jaar, zodat voor een overzicht van de beschikbare informatie steeds alleen het laatste jaarrapport nodig is.

Om de vergelijking tussen bodemdalinggebied en referentiegebied te vergemakkelijken worden de gegevens meestal vanaf 2007 weergegeven, het startjaar van de gaswinning. Dit geldt ook voor de reeds langer bestaande meetpunten in de Peazemerlannen. Waar van belang worden oudere data ook weergegeven en in andere gevallen wordt verwezen naar van Duin *et al.*, 1997 en 2007.

2.2. Methodes

Voor het monitoringonderzoek in de Peazemerlannen en het referentiegebied wordt gebruik gemaakt van beproefde methodes.

2.2.1 Peazemerlannen

Het kwelderonderzoek bestaat uit het periodiek opnemen van opslibbing en vegetatie op **twee schaalniveaus**:

1. Puntmetingen (opslibbing en vegetatie)

- De 30 pq's (3 in zomerpolder en 27 in kwelder) zijn uitgebreid naar 48 pq's (Figuur 2.2), zodat er nu 6 in de zomerpolder liggen en 42 in de kwelder en pionierzone. Deze uitbreiding was noodzakelijk om replica's te hebben op potentieel voor bodemdaling gevoelige plaatsen (langs de klifrand en in de kommen) en om onderbelichte zones beter te vertegenwoordigen. Door de autonome ontwikkeling de afgelopen 12 jaar (opslibbing en vegetatiesuccessie) waren vooral de meetpunten in deze meer kwetsbare lagergelegen vegetatiezones ondervertegenwoordigd geraakt. Er is voor gekozen alle reeds bestaande meetpunten ook te blijven volgen hoewel het aantal punten in de middenkwelder daardoor nu misschien wat oververtegenwoordigd is. Een reden voor deze keuze is dat de meerjarige ontwikkeling van deze meetpunten bekend is en daardoor een eventueel optredende trendbreuk in opslibbing of vegetatieontwikkeling na 2007 eerder ontdekt kan worden. Ook in de (pre) pionierzone, die gevoelig zou kunnen zijn voor bodemdaling, zijn enkele meetpunten gelegd. Aangezien de zomerpolder mogelijk op niet al te lange termijn wordt uitgedijkt is daarmee bij de uitbreiding van het aantal pq's/SEB meetpunten vast rekening gehouden, zodat de zomerpolder bij deze 48 meetpunten ook goed vertegenwoordigd is. Van alle 48 pq's worden twee maal per jaar (in maart en augustus/september) metingen van de opslibbing/inklink¹ uitgevoerd met de SEB-methode.

¹ Het bepalen van de balans tussen opslibbing, bodemdaling en veranderingen in GHW is een beproefde methode in de lopende monitoringsprogramma's in de Groninger en Friese kwelderwerken (beheermetingen, RWS) en op Ameland (monitoring effecten van bodemdaling door gaswinning, IMARES). De methode wordt o.a. aanbevolen door de Raad voor de Natuur in haar advies over bodemdaling door gaswinning. De methode is gebaseerd op opslibbing/inklinkmetingen gekoppeld aan de pq's. Het SEB-

Dergelijke SEB-metingen in de Peazemerlannen zijn al vanaf 1995 onderdeel van het SEB-meetnet van IMARES in de Waddenzee. De opnamefrequentie van minimaal twee maal per jaar is noodzakelijk voor een inzicht in de processen achter de opslibbing ('events' in de opslibbing in de winter en klink en krimp van de bodem in de zomer). **Resultaat:** SEB-grafiek met 2 punten per jaar, per pq en per zone (zie § 3.1).

- Op de kwelder (dus niet in de zomerpolder) zijn in 1995 en 1996 en daarna vanaf 2000 elk jaar vegetatieopnamen² volgens de schaal Londo gemaakt in de proefvakken (pq's van 2x2 m). De jaarlijkse frequentie en vegetatieopnamen in pq's volgens de gedetailleerde schaal van Londo zijn noodzakelijk om de effecten van bodemdaling en natuurlijke veranderingen van elkaar te kunnen scheiden. Door uitbreiding van het aantal SEB-meetpunten (zie eerste aandachtspunt) wordt automatisch het aantal vegetatie pq's uitgebreid. Van de nieuwe pq's zullen in ieder geval de kwelder-pq's worden geïnventariseerd en de zomerpolder-pq's alleen indien beweiding en vegetatie dat toelaat. **Resultaat:** vegetatietype volgens SALT97, plaatjes met de opslibbingsbalans en plaatjes met het procentuele aandeel van soortengroepen per 2 jaar (zie o.a. Dijkema *et al.*, 2005). Statistische bewerking met Canoco t.b.v. de rapportage volgt in 2012 (zie ook § 3.7).



Foto 2.1 Overzicht Peazemerlannen met ligging van de 48 meetpunten. (Foto: Google Earth)

meetnet van IMARES in o.a. de Peazemerlannen, in verschillende delen van de kwelderwerken en op Ameland is een betrouwbare basis voor interpretatie van de waargenomen processen op één bepaalde locatie.

² De successierichting van de vegetatie is een belangrijk gegeven om zowel positieve als negatieve effecten van natuurlijke veranderingen, van beheersmaatregelen en van bodemdaling door gaswinning te kunnen beoordelen. In vaste proefvakken (pq's) wordt de bedekking van de afzonderlijke plantensoorten elk jaar of elke paar jaar opgenomen. De pq-methode wordt toegepast in b.v. de monitoring-programma's in de kwelderwerken (meetvakken t.b.v. het beheer) en op Ameland (pq's voor de bodemdaling). De gegevens van de pq's worden verwerkt tot op het niveau van soortengroepen, en beoordeeld op successie/regressie en/of veroudering/verjonging (Eysink *et al.*, 2000). Bij de verwerking wordt tevens aandacht besteed aan de cumulatieve effecten van beheersmaatregelen (waaronder beweiding), bodemdaling en natuurlijke veranderingen, zoals weersomstandigheden en het jaargemiddelde hoogwaterpeil.

2. Vlakdekkend (structuurkartering en vegetatiekartering)

- Eventuele **erosie van de pionierzone**³ achter de verdwenen zomerdijk wordt eens per jaar vastgesteld d.m.v. inlopen met GPS van de grenzen van de pionierzone (Zeekraal-/Engels slijkgras-grens) en de lage kwelderzone (Kweldergras-grens die vrijwel gelijk is aan de klifrand). Hiermee worden horizontale veranderingen vastgelegd. Dit is een activiteit die jaarlijks in het najaar vanaf 2007 wordt gedaan. De verticale veranderingen worden met de extra SEB-meetpunten vastgelegd (zie boven). **Resultaat:** GIS-kaart met zonegrenzen en tabel met oppervlakteveranderingen
- Vergelijken van de 6-jaarlijkse **vegetatiekarteringen** van de RWS-DID, om het areaal van de verschillende kwelderzones te bewaken. De drie meest recente kaarten zijn gebaseerd op luchtfoto's uit 1992, 1996 en 2002. In 2010 verschijnt de nieuwste vegetatiekaart gebaseerd op luchtfoto's 2008 en veldwerk 2009. **Resultaat:** zoneringskaarten en oppervlaktes van de zones (zie o.a. van Duin *et al.*, 2007).

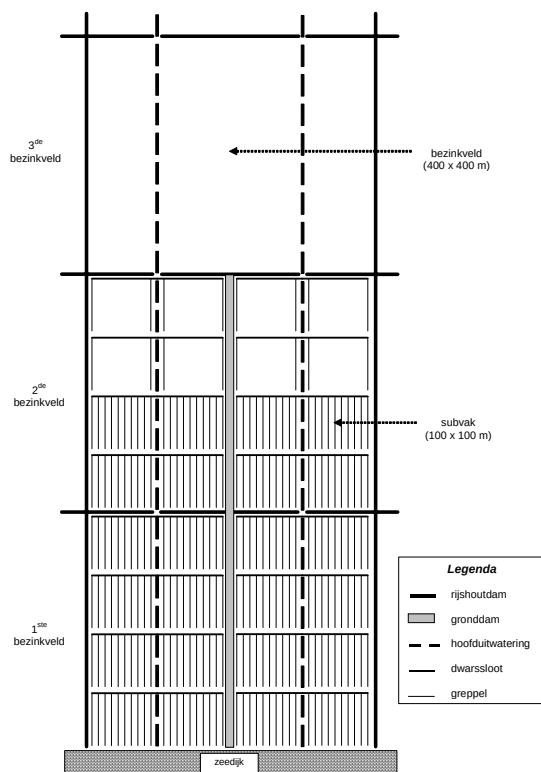
2.2.2 Monitoring referentiegebied west-Groningen

RWS heeft in de kwelderwerken langs de Groningen noordkust 13 meetvakken met "pq-achtige" data van de periode 1960-2008. RWS Waterdistrict Waddenzee doet het veldwerk (de laatste jaren in samenwerking met IMARES) en het bestandbeheer. IMARES doet de uitwerking en de verslaglegging aan de Stuurgroep Kwelderwerken. Deze zeldzaam lange reeks met WOK-gegevens (=Werkgroep Onderzoek Kwelderwerken) heeft in de bodemdalingstudies 1993, 1999 en 2004 een grote rol voor de NAM gespeeld.

Per meetvak liggen in 4 replica **vegetatie-transecten** totaal ca. 50 subvakjes van 1 ha (Figuur 2.1):

- A. Daarvan ca. de helft subvakjes aan de **zeekant** (pionierzone + kweldergrens). De opname van deze vakjes is een jaarlijkse RWS-taak om het areaal kwelderwerken te kunnen vaststellen.
- B. De jaarlijkse opname van de vegetatie in de subvakjes aan de **dijkzijde** is in 2005 gestopt, omdat het geen RWS taak is (kwaliteit van de vegetatie = samenstelling kweldervegetatie, vergelijkbaar met pq's op Ameland). Om de WOK-opnamen in te zetten als een 0-referentie voor de Peazemerlannen zijn opnames van de volledige vegetatiesamenstelling van de subvakjes van wad tot dijk noodzakelijk. Vanwege de grote jaar-op-jaar variatie in met name de eenjarige planten is een jaarlijkse frequentie aan te raden. Daarom is er sinds 2007 een jaarlijkse opname opgenomen in het door de NAM gefinancierde monitoringprogramma dat door IMARES wordt uitgevoerd. Het betreft alleen de opname van de twee buitenste replica transecten (west- en oostzijde per meetvak), in elk van de 5 meetvakken die dienst doen als referentie (zie Figuur 1.2).

³ Uit het WOK-databestand blijkt dat kwelders door de combinatie van een natuurlijke opslibbing en de plantengroei in staat zijn een eventuele versnelde zeespiegelstijging of bodemdaling te volgen. In publicaties is daarvoor 50 cm per eeuw (0,5 cm per jaar) voor de Waddeneilanden en 100 cm per eeuw (1 cm per jaar) voor de vastelandkust genoemd (Dijkema, 1997; Dijkema *et al.*, 1990). In de pionierzone kunnen echter problemen ontstaan, ook zonder zeespiegelstijging en bodemdaling. Door een geringe vegetatiebedekking en voornamelijk eenjarige planten is er in de pionierzone een geringe bescherming van het afgezette sediment, en daardoor netto meestal minder opslibbing. Uiteindelijk kan dat verschil in opslibbing tussen de pionierzone en de kwelder tot kliferosie van de kwelder leiden, d.w.z. de kwelder blijft in hoogte wel groeien, maar het areaal wordt vanaf de zeezijde door laterale erosie aangetast.



In een RWS-meetvak liggen 4 replica-transecten van dijk naar wad. Een transect bestaat uit een reeks aaneengesloten subvakjes van elk 1 ha.

De opname-methoden zijn:

- **Vegetatie:** Jaarlijks zijn per subvakje van 1 ha in de periode 1960-2004 de bedekkingspercentages van alle afzonderlijke plantensoorten door het RWS Waterdistrict Waddenzee opgenomen. **Deze methode is vanaf 2005 in het monitoringprogramma van RWS beperkt tot het vaststellen van het areaal van de pionierzones en de kwelderzones.**
- **Hoogte:** Per 4 jaar worden in de meetvakken vaste meetlijnen evenwijdig aan de kust door het RWS Waterdistrict Waddenzee gewaterpast.

Figuur 2.1 Schematische voorstelling van de opbouw van een meetvak.

Daarnaast laat RWS per subvak eens per 4 jaar zeer gedetailleerde **hoogtemetingen** (waterpassingen met 100 punten per ha) uitvoeren, vanaf 2004 met RTK-GPS.

Samengevat houdt de monitoring van de 0-referentie in de meetvakken van de Groninger kwelderwerken in:

1. **Hoogtemetingen** op meetlijnen door **alle subvakjes**, meetcyclus voor alle meetvakken **4 jaar**. In 2004 van waterpassen naar RTK-GPS methode. Bestaand onderdeel van WOK-monitoring door RWS Waterdistrict Waddenzee; voor de komende jaren in principe uitvoering door RWS, maar geen garantie op voortzetting tot en met 2012.
2. **SEB-opslibbingsmetingen** door IMARES t.b.v. vergelijking met de methode Ameland en Peazemerlannen. **In 5 meetvakken, 2x per jaar.**
3. **Vegetatie pionierzone** (zie A), jaarlijks, teruglopende tijdbesteding. Bestaand onderdeel van WOK-monitoring door RWS Waterdistrict Waddenzee, voor de komende jaren in principe uitvoering door RWS, maar geen garantie op voortzetting tot en met 2012.
4. **Vegetatie kwelderzone** (zie B), jaarlijks, door IMARES in 5 meetvakken aan de westkant van de Groninger kwelderwerken. Door RWS na 2005 gestopt, maar op grond van de audits Ameland waarin een **0-meetgebied** voor de Peazemerlannen noodzakelijk werd geacht hervat in 2007 voor de NAM.
5. **Vegetatiekaarten** om de 6 jaar dienen voor een vlakdekkende controle van de meetvakkenmethode en voor de mogelijkheid de vegetatie te vergelijken met alle andere kwelders en schorren in Nederland. De recentste vegetatiekaart van de vastelandkwelders in Groningen en Friesland (incl. Peazemerlannen) is van 2003; de volgende vegetatiekaart wordt gemaakt in 2009, oplevering 2010. Bestaande structureel vastgelegde monitoringactiviteit door RWS-DID.

6. **WOK-bestandbeheer** van de punten 1, 3-4, jaarlijks, teruglopende tijdbesteding. Bestaand onderdeel van WOK-monitoring RWS Waterdistrict Waddenzee, voor de komende jaren in principe uitvoering door RWS, maar geen garantie op voortzetting tot en met 2012.

De puntmetingen liggen zoals op Ameland en in de Peazemerlannen: hoogte + vegetatie-pq's gecombineerd in transecten.

2.3. Ervaring op basis van bodemdaling Ameland

In de Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee (Oost *et al.*, 1998), uitgevoerd in het kader van de gaswinning onder Ameland, zijn de volgende uitgangspunten geformuleerd om de effecten van zeespiegelstijging en/of bodemdaling op kwelders te kunnen voorspellen (zie ook Meesters *et al.*, 2006):

- Er treden geen veranderingen van de vegetatie op indien de opslibbing in balans is met de som van de bodemdaling en de zeespiegelstijging. Reden hiervoor is dat de kweldervegetatie in nauwkeurig vastgelegde zones ten opzichte van GHW groeit (Dijkema, 1997). De vegetatiezones zullen uiteindelijk parallel aan de trend in de waterstand opschuiven (afgezien van eventuele opslibbing).
- Er treden geen effecten op van een tijdelijk en gering tekort in de opslibbingsbalans van 5 cm (= grenswaarde). Op Ameland blijkt tot nu toe dat deze redenering te voorzichtig is gesteld (Dijkema *et al.*, 2005).

Op grond van de monitoring van de bodemdaling op Ameland (Dijkema *et al.* 2005) zijn enkele **nieuwe** uitgangspunten toegevoegd:

- De afstand tot het wad of tot krekens (de bronnen van het sediment) blijkt minstens zo belangrijk te zijn voor de snelheid van opslibbing als de hoogteligging.
- De ontwatering blijkt voor de kwelderzonering op Ameland, binnen onbekende marges, meer en in ieder geval sneller tot veranderingen in vegetatie te leiden dan de maaiveldhoogte.
- Bodemdaling lijkt de veroudering van kwelders op Ameland te remmen. Mogelijk zou zonder bodemdaling op de kwelders van Ameland-Oost meer successie (= verandering van de vegetatie van lagere naar hogere kwelderzones) zijn opgetreden.

Bij de monitoring in de Peazemerlannen zullen deze uitgangspunten ook gebruikt worden.

3 Resultaten

3.1. Opslibbing (SEB)

In maart en augustus/september 2009 is de opslibbing gemeten bij alle 48 punten in de Peazemerlannen en de 29 punten in het referentiegebied. Het jaar kenmerkte zich door een winter zonder stormtijden met een grote aanvoer van sediment, een nat voorjaar en een zeer droge zomer met veel inklink. De waterpasmeting van de SEB-palen om de NAP-hoogte van de (nieuwe) meetpunten vast te stellen heeft in 2008 plaatsgevonden. Door het bekend worden van de nieuw ingemeten hoogtes van de ijkpunten door RWS heeft de koppeling tussen deze ijkpunten en de meetpunten plaatsgevonden. Hierdoor is de hoogteligging van het maaiveld t.o.v. NAP van elk meetpunt nu ook bekend.

In de Peazemerlannen en het referentiegebied zijn de pq's verdeeld over de volgende zones:

Vegetatiezone volgens SALT97	Aantal pq's Peazemerlannen	Aantal pq's referentiegebied
Kaal wad	2	4
11: pre-pionierzone	3	2
12: pionierzone	-	4
22: lage kwelder met pioniersoorten	6	-
21: lage kwelder (bij gat en/of in kom)	16 (6+10)	10
32: midden kwelder	15	8
Zomerpolder hoog/Boerenkwelder	3	1
Zomerpolder laag (12: pionierzone en 22: lage kwelder met pioniersoorten)	3	-
Totaal	48	29

De keuze voor deze verdeling is ingegeven door diverse argumenten. Per zone zal eerst kort worden ingegaan op de belangrijkste karakteristieken en hun kwetsbaarheid en/of het belang om zones op te nemen in de monitoring. Daarna zal op de aantallen pq's per zone worden ingegaan.

- **Kaal wad en pre-pionierzone** vormen de opmaat voor de (pre) pionierzone. De vegetatiebedekking is nul of laag (<5% Zeekraal). Bij een te steile hellingshoek, te lage ligging t.o.v. NAP of te grote golfenergie is er geen kans voor de vegetatie om zich te vestigen en/of uit te breiden (bij verder gunstige omstandigheden) en daarmee door te groeien naar de pionierzone. In deze dynamische zones met relatief hoge stroomsnelheden leiden bovengrondse obstakels vaak tot uitspoeling van de omringende grond. Daarom worden in deze zones de opslibbingsmetingen via "spijkermetingen" verricht door Natuurcentrum Ameland. Om een indicatie te krijgen van de vegetatieontwikkeling en omdat er nauwelijks pionierzone is in de Peazemerlannen (zie hieronder) zijn er toch pq's uitgezet, zij het slechts een beperkt aantal, met daaraan gekoppelde SEB-metingen.
- De **pionierzone** is de meest dynamische en daardoor ook de meest kwetsbare begroeide zone, zowel wat vegetatiebedekking als sedimentatie/erosie betreft. Er staat o.a. eenjarige vegetatie (Zeekraal) die grote jaar-op-jaar schommelingen kan vertonen wat bedekking betreft, Engels slijkgras en ook kweldergras kan in een lage bedekking (<5%) aanwezig zijn. Bij verdwijnen van de pionierzone nemen de kansen voor horizontale uitgroeiing van de lage kwelder af en bestaat de kans op klifvorming en regressie van de lage kwelder. In de Peazemerlannen is de pionierzone nauwelijks aanwezig, wat te maken heeft met de historie van het gebied.
- **Lage kwelder**: de zone waar de overblijvende vegetatie, waaronder kweldergras, voor stabiliteit en vastlegging van het sediment zorgt en de biodiversiteit maximaal wordt. In het bodemdalingsonderzoek op Ameland bleek de lage kwelder geen echt kwetsbare zone. Zelfs na daling van het maaiveld onder de zonegrens bleek de zone niet meteen over te gaan in

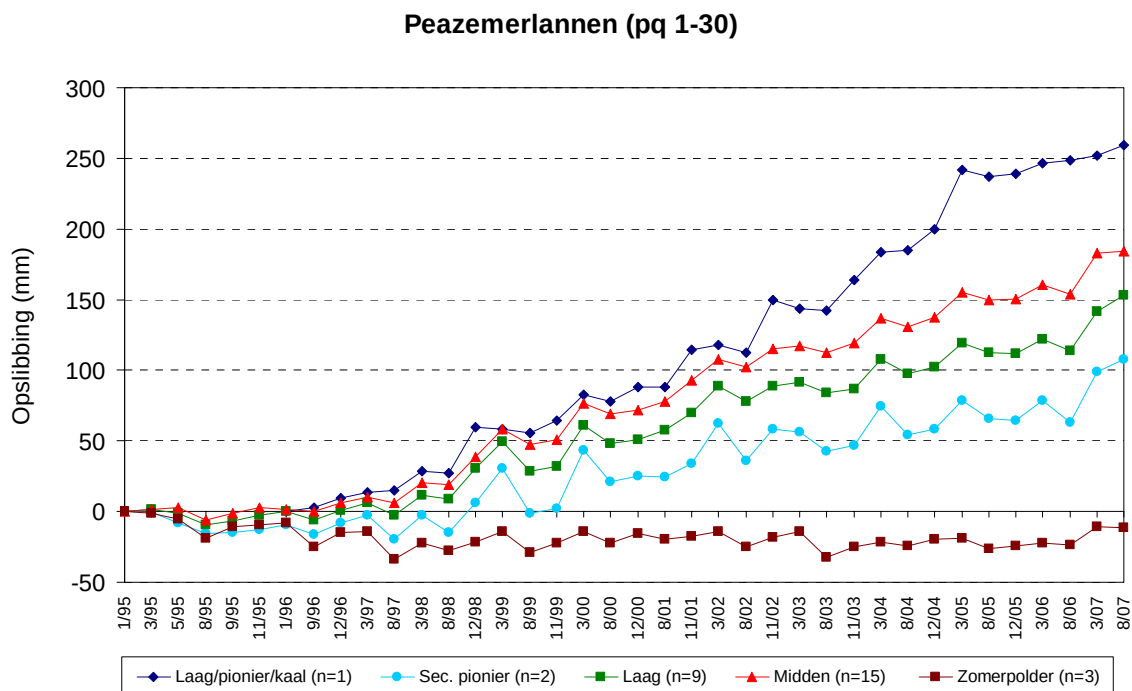
pionierzone. Echter, aangezien het onwenselijk is dat de stabiele lage kwelder door regressie wel overgaat in onstabiele pionierzone is het van groot belang deze zone optimaal aandacht krijgt in de monitoring. Om deze reden liggen de meeste pq's ook in de lage kwelder. Potentieel voor bodemdaling extra gevoelige plaatsen (langs de klifrand en in de kommen) hebben hierbij extra aandacht gekregen.

- **Midden kwelder:** hooggelegen zone waarin de biodiversiteit steeds verder terugloopt tot een climaxstadium met vrijwel uitsluitend Zeekweek. Hoewel deze zone niet gevoelig is voor zeespiegelstijging of bodemdaling liggen er toch veel pq's. Door de autonome ontwikkeling sinds de metingen in 1995 van start gingen zijn veel van deze pq's door opslibbing en vegetatiesuccessie echter van de lage kwelder in middenkwelder pq's ontwikkeld. Er is voor gekozen deze reeds bestaande meetpunten ook vanaf 2007 te blijven volgen hoewel het aantal punten in de middenkwelder daardoor nu misschien wat oververtegenwoordigd is. Een reden voor deze keuze is dat de meerjarige ontwikkeling van deze meetpunten bekend is en daardoor een eventueel optredende trendbreuk in opslibbing of vegetatieontwikkeling na 2007 eerder ontdekt kan worden.
- **Zomerpolder/boerenkwelder:** Door zomerkade beschermde of zeer hooggelegen zone met incidentele overvloedingen, waardoor inklink de opslibbing meestal overtreft. Door een negatieve opslibbingsbalans kan het verschil in maaiveldhoogte met de voorliggende, wel opslibbende, kwelder toenemen. Zeespiegelstijging of bodemdaling zou dit verschil mogelijk kunnen vergroten. In de vegetatie hebben brakke soorten de overhand, soms in combinatie met "zoete soorten" (glycofyten). De vreemde soortencombinaties zorgen er voor dat er vaak geen vegetatietype benoemd kan worden m.b.v. het classificatieprogramma SALT97. In het Groninger referentiegebied zijn geen zomerpolders, maar wel boerenkwelders, die door hun hoge ligging de zomerpoldersituatie het meest benaderen. Aangezien de kans bestaat dat (het oostelijke deel van) de zomerpolder in de Peazemerlannen op termijn wordt uitgedijkt is daar bij het uitzetten van de pq's/SEB-meetpunten vast rekening mee gehouden. De zomerpolder is daardoor ook vertegenwoordigd, zij het met een beperkt aantal meetpunten.

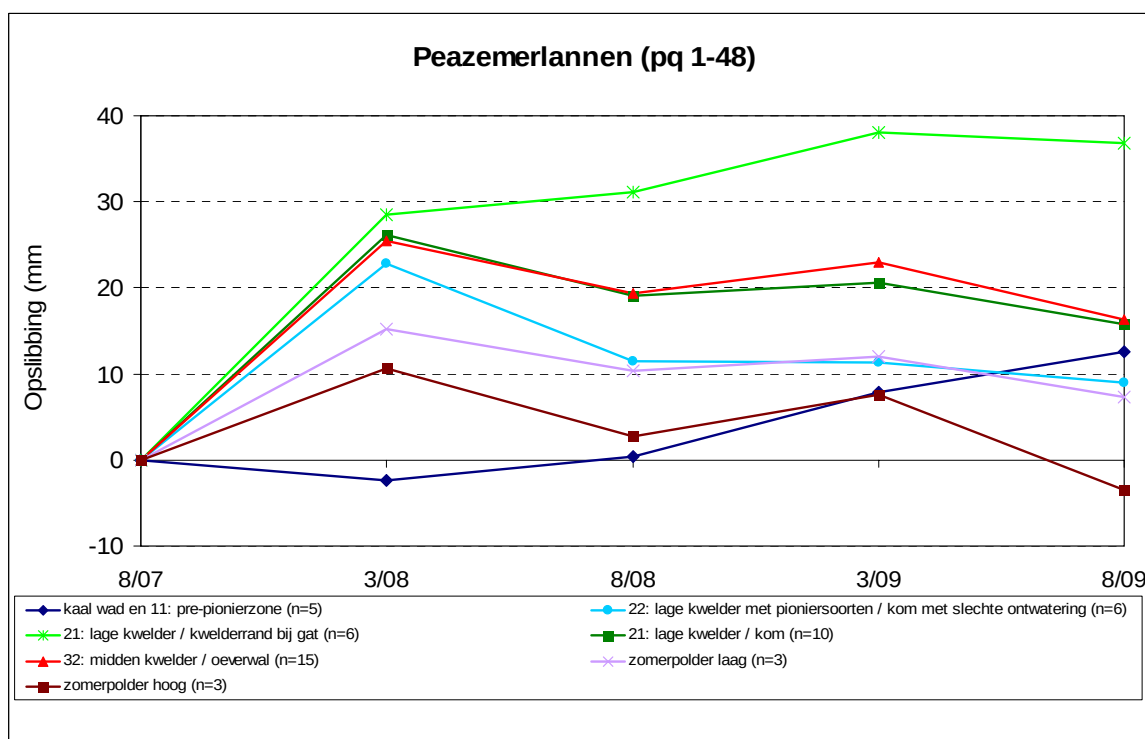
De meetpunten in de Peazemerlannen waren tot 2007 verdeeld over 5 groepen gebaseerd op de belangrijkste vegetatiezones (Figuur 3.1). Na de uitbreiding van de meetpunten was binnen twee van deze zones (de zomerpolder en de lage kwelder) een duidelijk verschil tussen groepen punten aan te geven. Bij de zomerpolder worden daarom de hooggelegen westelijke punten en laaggelegen oostelijke punten apart weergegeven, ook omdat ze sterk in vegetatie verschillen. Bij de lage kwelder worden drie groepen onderscheiden: de "gewone" lage kwelder, de lage kwelder punten die in kommen liggen met een slechte ontwatering en lage kwelderpunten die langs de klifrand liggen. De keus om deze drie groepen te onderscheiden is van tevoren gemaakt op basis van de ligging en omdat door deze opsplitsing de meetgevoeligheid naar alle waarschijnlijkheid vergroot wordt en de oorzaak van veranderingen beter te achterhalen is (zie bijv. Foto 3.1).

Verder is er voor gekozen de metingen uit te zetten vanaf de nazomer-meting en ook de gemiddelden over de jaren steeds te berekenen vanaf dit tijdstip, omdat vers sediment, dat tijdens de winterstormen afgezet kan zijn, dan de tijd heeft gehad in te klinken waardoor de schatting van de gemiddelde jaarlijkse opslibbing nauwkeuriger wordt (door minder kans op overschatting).

In de Peazemerlannen lag de gemiddelde jaarlijkse netto opslibbing na twee meetjaren in de verschillende vegetatiezones van pionierzone en kwelder gemiddeld tussen ca. 5-18 mm/j. In de zomerpolder is gemiddeld een positief resultaat van ca. 3 mm/j in de lage delen aan de oostkant, maar in de kortbegaasde hogergelegen delen aan de westkant is na de droge zomer een inklink van ca. 2 mm/j gemeten. Op het kale wad en in de pre-pionierzone is een gemiddelde toename in hoogte gemeten van ca. 6 mm/j (Figuur 3.2). Tussen meetpunten in eenzelfde zone waren soms wel grote verschillen, vooral in de dynamische laaggelegen weinig begroeide pre-pionierzone (zie ook Tabel 3.1). De opslibbing van alle afzonderlijke meetpunten is weergegeven in Bijlage 4.



Figuur 3.1 Maaiveldhoogteontwikkeling (mm) bij de 30 oorspronkelijke meetpunten in de pionierzone, lage en midden kwelder en zomerpolder van 1995-2007.



Figuur 3.2 Maaiveldhoogteontwikkeling (mm+NAP) bij de oorspronkelijke en nieuwe meetpunten in de diverse kwelderzones (met SALT97 code) en zomerpolder van de Peazemerlannen van augustus 2007-augustus 2009.

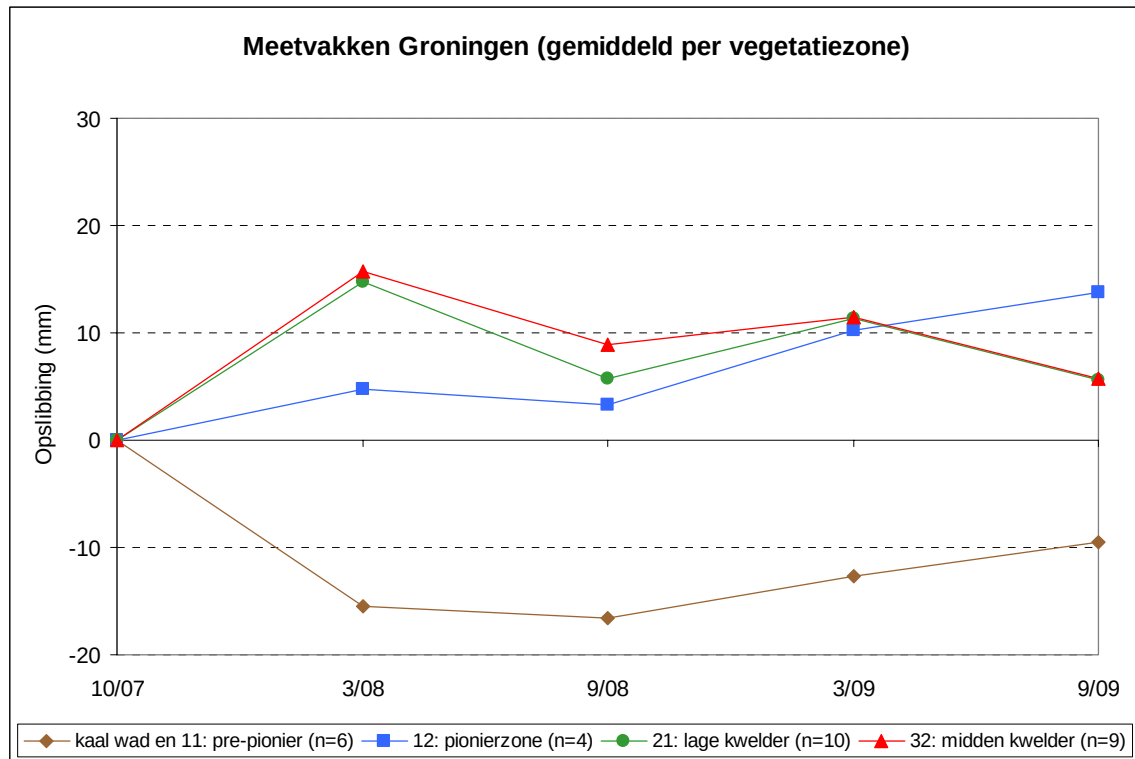
Doordat in de zomerpolder de meeste kleppen in de duikers verdwenen zijn lijkt er een evenwicht tussen inklink en zwel en/of opslibbing. Onder invloed van waterverlies en waterabsorptie kunnen oude (=gerijpte) kleiige bodems door krimp en swelling een variatie in bodemhoogte vertonen van 3-4 cm (Veenstra, 1965; De Glopper, 1973). De mate van fluctuatie hangt sterk samen met de hoeveelheid neerslag en dus het vochtgehalte van de bodem.

Voor de kwelder van de Peazemerlannen wordt in Meesters *et al.* (2006; Figuren 4.2-4.5) de verwachting uitgesproken dat de opslibbingsbalans nauwelijks door de voorspelde bodemdaling zal worden beïnvloed. Er is hierbij ook rekening gehouden met een zeespiegelstijging van 2 mm/j. Zowel in de primaire pionierzone achter de stormdoorbraak, de kommen, de lage kwelder als op de oeverwallen zou de opslibbingsbalans positief blijven. Een bodemdaling van 12 cm in 32 jaar (Meesters *et al.*, 2006) betekent bij de huidige gemeten opslibbing (zie ook Tabel 3.1) namelijk dat de relatieve ophoging van de kwelder verder gaat, en daarmee ook de vegetatiesuccessie. De tijdelijke verlaging van de opslibbing door bodemdaling vertraagt de veroudering van de kweldervegetatie hooguit. Dat kan gezien worden als een positief neveneffect van gaswinning, maar de bodemdaling is niet groot genoeg om het verouderingsprobleem langdurig op te lossen.

De primaire pionierzone achter de doorbraak in de bitumen zomerkade werd in de bodemdalingstudies van 1993 en 1998 nog als een probleem gezien. Op grond van de recente SEB-metingen is dat niet meer het geval.

In het referentiegebied, de meetvakken in west-Groningen, lag de gemiddelde jaarlijkse opslibbing na twee jaar lager dan in de Peazemerlannen en was ca. 3 mm/j in de kwelder en de 7 mm/j in de pionierzone (Fig. 3.3). Het kale wad en de pre-pionierzone vertoonden een erosie van ca. 5 mm/j. Tussen meetpunten in eenzelfde zone waren ook in het referentiegebied soms grote verschillen, vooral in de dynamische laaggelegen weinig begroeide pre-pionierzone (zie ook Tabel 3.2). In meetvak 324 heeft in 2009 voor het eerst beweiding met paarden plaatsgevonden. Hierdoor is lokaal flinke vertrapping veroorzaakt, ook bij meetpunten. De effecten hiervan zijn terug te vinden in de "erosie" van het maaiveld en achteruitgang in vegetatiebedekking. De opslibbing van alle afzonderlijke meetpunten is weergegeven in Bijlage 6.

Bij de opslibbing geldt, net zoals bij de vegetatie, dat pas na metingen gedurende minimaal 5 jaar een betrouwbare trend zichtbaar wordt (zie ook § 3.4, Tabel 3.4).



Figuur 3.3 Maaiveldhoogteontwikkeling (mm+NAP) bij de meetpunten in de onderscheiden kwelderzones (met SALT97 code) in het referentiegebied west-Groningen vanaf 2007.

3.2. Bepaling maaiveldhoogte (m+NAP) bij SEB-meetpunten

In de zomer van 2008 zijn in opdracht van de NAM door Fugro-Inpark in samenwerking met IMARES de hoogtes van alle SEB-palen in de Peazemerlannen en het referentiegebied bepaald t.o.v. referentiepunten. In 2009 zijn de NAP-hoogtes van de ijkpunten beschikbaar gekomen die in 2008 door RWS zijn bepaald. Door koppeling van die ijkpunten aan de referentiepunten en de eerste SEB-meting is de maaiveldhoogte van alle meetpunten bepaald berekend (zie Tabel 3.1 en 3.2).

3.3. Vegetatie (pq's)

Van alle kwelder-pq's staat de ontwikkeling van de vegetatie berekend volgens SALT97 weergegeven in de bijlagen (Peazemerlannen in Bijlage 2 en 3 en referentiegebied Bijlage 5). Door de hoge ligging bestaat de vegetatie in de pq's in de zomerpolder en boerenkwelder vaak uit een soortencombinatie die niet door SALT97 herkend wordt.

In Tabel 3.1 wordt een samenvatting gegeven van de resultaten voor de Peazemerlannen en in Tabel 3.2 voor het referentiegebied. Voor alle meetpunten wordt de uitgangssituatie vermeld en de ontwikkeling van 2007 naar 2009.

Tabel 3.1 Vegetatiekarakterisering bij start gaswinning in 2007 en samenvatting van de gemiddelde jaarlijkse opslibbing of erosie en vegetatieontwikkeling van de meetpunten in de Peazemerlannen van 2007-2009.

PQ	Vegetatie-type 2007	Vegetatiezone 2007 (SALT97)	Maaiveld 2007 (m+NAP)	Gem. opslibbing 2007-2009 mm/j	Ontwikkeling vegetatie 2007->2009	Bijzonderheden
37	kaal wad	kaal wad	1,04	27,6	Qq0: 11 pre-pionierzone; lage bedekking, stabiel	
38	kaal wad	kaal wad	0,97	6,8	Kaal: stabiel	
32	Qq0	11: pre-pionierzone	0,83	-19,2	Ss0: 11 pre-pionierzone; lage bedekking, stabiel	
44	Ss0	11: pre-pionierzone	0,96	7,6	Qq0: 11 pre-pionierzone; lage bedekking, stabiel	
45	Qq0	11: pre-pionierzone	0,88	8,4	Qq0: lage bedekking, stabiel	
47	Qq3	12: pionierzone	1,17	3,8	Qu: 22: lage kwelder met pioniersoorten; lichte successie, vooral toenemende bedekking met Schorrenkruid	Zomerpolder, beweiding divers
4	Qu	22: lage kwelder met pioniersoorten	1,39	3,8	Qu: stabiel Schorrenkruid	Beweiding schapen; slechte ontwatering
5	Qu	22: lage kwelder met pioniersoorten	1,38	8,3	Qu: stabiel Schorrenkruid	Beweiding schapen; slechte ontwatering
6	Qu	22: lage kwelder met pioniersoorten	1,36	6,3	Qu: stabiel Schorrenkruid	Beweiding schapen; slechte ontwatering
8	Qu	22: lage kwelder met pioniersoorten	1,36	7,5	Qu: stabiel Schorrenkruid	Beweiding schapen; slechte ontwatering
12	Qu	22: lage kwelder met pioniersoorten	1,34	6,8	Pp: 21: lage kwelder; successie van Schorrenkruid naar Kweldergras	Matige ontwatering
46	Qu	22: lage kwelder met pioniersoorten	1,18	5,1	Qu: stabiel Schorrenkruid	Zomerpolder, beweiding divers
48	Qu	22: lage kwelder met pioniersoorten	1,16	1,9	Qu: stabiel Schorrenkruid	Zomerpolder, beweiding divers
14	Pp	21: lage kwelder	1,33	5,3	Ppu: stabiel Kweldergras	
17	kaal	(oorspr. lage kwelder)	1,40	- 5,7	Qq0: 11 pre-pionierzone; lage bedekking, stabiel	Grenzend aan poel; bij regen of hoog water kans op stagnant water
19	Pp	21: lage kwelder	1,58	17,6	Xy3: 32 midden kwelder; successie van Kweldergras naar Rood zwenkgras en Zeekweek	
21	Ph3	21: lage kwelder	1,45	4,4	Ph3: stabiel Kweldergras en Zoutmelde	
24	Pp	21: lage kwelder	1,36	14,3	Pp: stabiel Kweldergras	
25	Pp	21: lage kwelder	1,48	10,5	Ppa: stabiel Engels slijkgras bij Kweldergras	Slechte ontwatering
29	Pp-b	21: lage kwelder	1,54	13,8	Ppab: stabiel Kweldergras	Slechte ontwatering
31	Pp-u	21: lage kwelder	1,32	4,6	Pp: stabiel Kweldergras	
33	Pp	21: lage kwelder	1,44	3,4	Pp: stabiel Kweldergras	
34	Pp	21: lage kwelder	1,35	33,6	Ppa: stabiel Kweldergras	
35	Pp	21: lage kwelder	1,42	12,2	Ppu: stabiel Kweldergras	
36	Pp	21: lage kwelder	1,34	28,1	Pp: stabiel Kweldergras	
39	P	21: lage kwelder	1,22	17,3	Ppa: stabiel Kweldergras, met toenemende bedekking	
40	P	21: lage kwelder	1,13	-0,5	Pp: stabiel Kweldergras, met toenemende bedekking	
41	Pp	21: lage kwelder	1,53	6,4	Pp: stabiel Kweldergras	
42	Pp	21: lage kwelder	1,51	6,9	Ppu: regressie -> ijlere begroeiing	Grenzend aan poel; bij regen of hoog

<i>PQ</i>	<i>Vegetatie- type 2007</i>	<i>Vegetatiezone 2007 (SALT97)</i>	<i>Maaiveld 2007 (m+NAP)</i>	<i>Gem. opslibbing 2007-2009 mm/j</i>	<i>Ontwikkeling vegetatie 2007->2009</i>	<i>Bijzonderheden</i>
						water kans op stagnant water
43	Ppa	21: lage kwelder	1,52	11,6	Ppa: stabiel Kweldergras/Zeeaster	
7	Xy5	32: midden kwelder	1,49	9,3	Xy5: stabiel Zeekweek	Beweiding schapen
9	Xy5	32: midden kwelder	1,50	8,0	Xy5: stabiel Zeekweek	Beweiding schapen
10	Xy5	32: midden kwelder	1,67	10,3	Xy5: stabiel Zeekweek	
11	Xy5	32: midden kwelder	1,53	11,2	Xy5: stabiel Zeekweek	
13	Xy5	32: midden kwelder	1,40	7,7	Xy5: stabiel Zeekweek	
15	Xx5	32: midden kwelder	1,46	9,9	Xy5: stabiel Zeekweek	
16	Xy5	32: midden kwelder	1,46	8,0	Xy5: stabiel Zeekweek	
18	Xy5	32: midden kwelder	1,47	9,7	Xy5: stabiel Zeekweek	
20	Xy5	32: midden kwelder	1,63	7,0	Xy5: stabiel Zeekweek	
22	Xy5	32: midden kwelder	1,63	3,9	Xy5: stabiel Zeekweek	
23	Xy5	32: midden kwelder	1,63	9,7	Xy5: stabiel Zeekweek	
26	Xy5	32: midden kwelder	1,67	3,9	Xy5: stabiel Zeekweek	
27	Xy5	32: midden kwelder	1,59	6,1	Xy5: stabiel Zeekweek	
28	Xy5	32: midden kwelder	1,58	13,1	Xy5: stabiel Zeekweek	
30	Xy5	32: midden kwelder	1,61	4,8	Xy5: stabiel Zeekweek	
1			1,50	- 2,7		Zomerpolder, beweiding divers
2			1,51	0,6		Zomerpolder, beweiding divers
3			1,48	- 3,1		Zomerpolder, beweiding divers

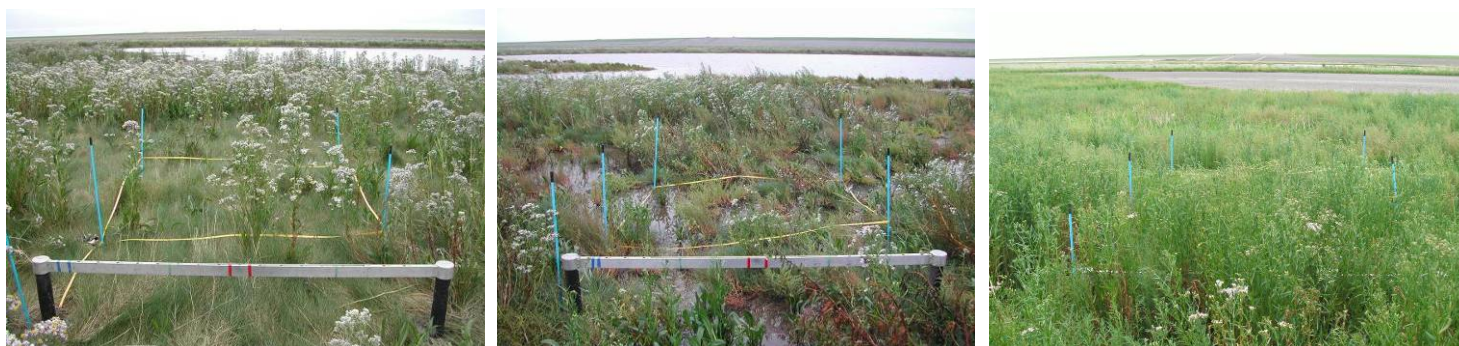


Foto 3.1 Effect stagnant water: links volledig begroeide pq 42 in de droge zomer van 2007, midden 2008 toen 85% van de vegetatie was verdwenen door de natte zomer en het stagnerende water in de kom en rechts de situatie in 2009 waar de droge zomer een gedeeltelijke regeneratie van de vegetatie mogelijk heeft gemaakt.

Tabel 3.2 Vegetatiekarakterisering uitgangssituatie in 2007 en samenvatting van de gemiddelde jaarlijkse opslibbing of erosie en vegetatieontwikkeling van de meetpunten in het referentiegebied van 2007-2009.

PQ	Vegetatie- type 2007	Vegetatiezone 2007 (SALT97)	Maaiveld 2007 (m+NAP)	Gem. opslibbing 2007-2009 mm/j	Ontwikkeling vegetatie 2007->2009	Bijzonderheden
286K	Kaal	-	0,83	4,8	Kaal: stabiel	
311N	Kaal	-	0,87	- 7,3	Qq0: stabiel	
324K	Kaal	-	0,96	2,1	Qqo: stabiel	
359I	Kaal	-	0,87	- 18,9	Qq0: stabiel	
339K	Sso	11: pre-pionierzone	0,98	0,4	Qq0 *	
356I	Qqo	11: pre-pionierzone	0,86	- 9,5	Kaal *	
339I	Ss3	12: pionierzone	1,40	2,4	P: lichte regressie	Beweid 4 paarden, enige vertrapping
356F	Ss5	12: pionierzone	1,38	4,4	Ph3: successie Engels slijkgras->Zoutmelde	
356H	Ss5	12: pionierzone	1,35	10,3	Ss5: stabiel Engels slijkgras	
359H	Ss3	12: pionierzone	1,11	10,6	Ss5: stabiel Engels slijkgras	
286C	Ppa	21: lage kwelder	1,46	2,6	Pp: stabiel Kweldergras, afname Zeeaster	Kweldergras dor en open
286I	Ph5	21: lage kwelder	1,42	5,6	Ph5: stabiel Zoutmelde	
311L	Ph5	21: lage kwelder	1,46	6,9	Ph5: stabiel Zoutmelde	Kweldergras deels dor
311M	Ph3	21: lage kwelder	1,40	5,6	Ph3: stabiel Kweldergras/Zoutmelde	
324H	Pp	21: lage kwelder	1,41	-14,3	P: lichte successie Kweldergras->Zoutmelde	Beweid 17 paarden, zware vertrapping in pq
324I	Pps	21: lage kwelder	1,43	-3,0	Ph3: lichte successie Kweldergras/Engels slijkgras ->Zoutmelde	Beweid 17 paarden, vertrapping in pq
339F	Ph3	21: lage kwelder	1,40	3,7	Ph3: stabiel Kweldergras/Zoutmelde	Beweid 4 paarden, geen vertrapping
339H	Pp	21: lage kwelder	1,48	8,8	Pp: stabiel Kweldergras	Beweid 4 paarden, geen vertrapping
356G	Pp/Ph3	21: lage kwelder	1,47	4,0	Ph3: lichte successie Zoutmelde	Kweldergras dor
359G	Ph5	21: lage kwelder	1,44	7,9	Ph5: stabiel Zoutmelde	Kweldergras dor
286D	Xy5	32: midden kwelder	1,55	1,4	Xy5: stabiel Zeekweek	
286F	Xy5	32: midden kwelder	1,48	5,4	Xy5: stabiel Zeekweek	
286H	Xy5	32: midden kwelder	1,51	5,8	Xy5: stabiel Zeekweek	
311G	Xy5	32: midden kwelder	1,50	0,1	Xy5: stabiel Zeekweek	
311I	Xx5	32: midden kwelder	1,56	4,4	Xy5: stabiel Zeekweek	
311K	Xy5	32: midden kwelder	1,61	2,0	Xy5: stabiel Zeekweek	
324G	Xy5	32: midden kwelder	1,48	2,2	Xy3: stabiel Zeekweek	Beweid 17 paarden, zware vertrapping in pq
359F	Xy5	32: midden kwelder	1,49	3,0	Xy5: stabiel Zeekweek	
339D	—	Soortensamenstelling niet in SALT97; zie tekst	2,03	1,4		Boerenkwelder, beweid 4 paarden, geen vertrapping, wel zeer kort afgegrasd

* Van onbegroeid naar een enkele Zeekraal.

Uitspraken over eventuele trends/verschuivingen kunnen op zijn vroegst na ongeveer 5 jaar worden gedaan (vandaar dat in 2012 de eerste evaluatie plaatsvindt). Nu kan hooguit iets gezegd worden over jaar-op-jaar schommelingen en de ervaringen in andere kwelders. Zo is op Ameland gebleken dat regressie door een slechte ontwatering meestal van tijdelijke aard is. Zodra de ontwatering weer op gang komt treedt gewoonlijk herstel op en een snelle vegetatiesuccessie.

Het natte voorjaar en de droge zomer (het groeiseizoen) van 2009 hebben voor de gebieden als geheel voor een aantal verschijnselen gezorgd die soms ook van invloed waren op de vegetatieopnames bij de pq's. Door de droge zomer in 2009 is de vegetatiebedekking van de pq's die aan de rand van een poeltje liggen veel hoger dan in de natte zomer van 2008 toen stagnerend water voor afsterven van een deel van de vegetatie zorgde (zie ook Foto 3.1). Kweldergras heeft op veel plaatsen geleden onder de droogte en was vaak verdroogd. Zeeaster was lang niet zo uitbundig (veel en hoge planten) aanwezig als in 2008, maar er waren wel zeer veel kiemplanten. De uitbreiding van Zoutmelde heeft zich voortgezet in 2009. Zoutmelde kan worden gezien als het "climaxstadium" van de lage onbeweide kwelder (Dijkema, 1983; Westhoff *et al.*, 1998). De vegetatie in de meeste pq's in de Peazemerlannen en het referentiegebied was stabiel en er waren geen opmerkelijke zone-overschrijdende verschuivingen.

De beweiding door schapen in het westelijke deel van de Peazemerlannen is eigenlijk niet de bedoeling, maar vindt elk jaar toch plaats, omdat de schapen onder het prikkeldraad doorkruipen. De beweiding van de zomerpolder met schapen en/of koeien en soms jongvee is wel zo bedoeld. In het referentiegebied heeft nieuwe beweiding door paarden voor flinke vertrapping gezorgd waardoor kale plekken zijn ontstaan.

PQ 339D ligt in de hoge boerenkwelder en is zeer kort afgegraasd. De vegetatie bleek door de soortensamenstelling niet met SALT97 te benoemen. In 2007 werd de bedekking geschat op 65% grassen en 20% kruiden. In 2008 en 2009 waren Gewoon struisgras en Rood zwenkgras met ca. 60% en Zilver schoon met ca. 40% bedekking de hoofdsoorten.

De successierichting van de vegetatie is een belangrijk gegeven om zowel positieve als negatieve effecten van natuurlijke veranderingen, van beheersmaatregelen en van bodemdaling door gaswinning te kunnen beoordelen. Het onderzoek aan de vegetatie in de Peazemerlannen en op Ameland in het verleden heeft het volgende geleerd:

Uit een vergelijking van de theoretische ondergrenzen van de vegetatiezones (Tabel 3.3) met de gemeten gemiddelde ondergrenzen in de Peazemerlannen in 2007 blijkt dat de vegetatie >30 cm boven de betreffende ondergrens groeit. De uitkomsten van de kweldermonitoring op Ameland hebben de vraag opgeroepen of de huidige theorie over de sterke rol van de maaiveldhoogte in de kwelderzonering houdbaar is. De mate van ontwatering en de beweiding zijn eveneens van belang; binnen marges zijn de effecten daarvan misschien wel groter. Voor de Peazemerlannen is dit van duidelijk belang voor de kommen. De vegetatie groeit daar ruim boven de ondergrens, maar toch is daar bij diverse pq's regressie opgetreden (zie bijv. Foto 3.1). De bepalende factor voor het type vegetatie in de kommen is de ontwatering en niet de hoogteligging. Door terugschrijdende erosie in kleine kreekjes vindt in de kommen natuurlijke kreekvorming plaats. Zodra een kom daardoor ontwaterd wordt, zal echter weer zeer snel successie van de pionierzone naar de lage kwelderzone plaatsvinden. Een voorbeeld is de plas van 2,4 ha op de westzijde van De Hon in het hart van de bodemdaling Ameland, die na kreekvorming in enkele jaren vrijwel volledig is begroeid (Dijkema *et al.*, 2005).

Tabel 3.3 Theoretische ondergrens vegetatiezones in een aantal Waddenzeekwelders ($m+NAP$) gecorrigeerd voor de GHW-trend en de gemiddelde gemeten hoogteligging van de 27 kwelder-pq's in 2007.
Puc=Puccinellia (Gewoon kweldergras); Sal = Salicornia (Zeekraal)

Vegetatiezone	Bedekking	Ameland ¹	Friesland midden ²	Groningen west ²	Peazemerlannen ³	Peazemerlannen meting 2007
Midden kwelder		1,46 (beweid) 1,36 (onbeweid)	1,35	1,36	1,29	1,62 (n=15)
Lage kwelder	Puc > 5%	1,21	1,22	1,14	1,16	1,48 (n=9)
Pre-laag	Puc < 5%	1,12	1,12	1,04	1,06	
Pionierzone	Sal > 5%	0,86	0,90	0,80	0,84	1,41 (n=3)
Pre-pionier	Sal < 5%	0,82	0,64	0,59	0,58	

¹⁾ Tabel 5.3 in Eysink *et al.* (1995)

²⁾ Tabel 4.6 en 4.7 in Dijkema *et al.* (1991)

³⁾ Berekend uit 2) en gecorrigeerd voor 6 cm lager GHW

3.4. Kliferosie

Bij het inmeten van de klifrand op de grens van pionierzone en kwelder bij het "grote gat" in de buitenste zomerkade in het midden van het gebied is onderscheid gemaakt tussen de buitenste rand met pionierbegroeiing en de klifrand. Door de aanwezigheid van zeer veel poeltjes (onbegroeid en vaak in ieder geval deel van het jaar gevuld met water) in dit grensgebied (zie Foto 3.2) is er niet altijd één duidelijke klifrand aanwezig. De daar aanwezige poeltjes groter dan 1x1m zijn ook met de GPS vastgelegd om te voorkomen dat in de toekomst de klifrand erg verschoven lijkt te zijn, terwijl dit veroorzaakt is door het doorbreken van de rand die een poeltje omringt. In 2009 was het opvallend dat veel poeltjes van de vorige jaren deels of vrijwel geheel begroeid waren met Engels slijkgras waardoor de kwalificatie poeltje verviel.

Met gebruik van een GPS (Garmin 76Cx) zijn 3 tracks gelopen:

1. De klifgrens - deze komt ongeveer overeen met de Kweldergras-grens. Gehanteerde voorwaarden: er moet $\geq 50\%$ bedekking zijn met vegetatie, er moet een klifje zijn van ca. 10 cm en losse plukken van $< 1 \times 1 \text{ m}$ worden niet meegenomen. Tracksnelheid is 2 sec.
2. De pioniervegetatiegrens - deze komt ongeveer overeen met de Zeekraal-grens in het oosten en midden en met de Engels slijkgras-grens aan westkant. Gehanteerde voorwaarden: Aan de westkant met voornamelijk Engels slijkgras is ook de " $\geq 1 \text{ m}^2$ regel" toegepast (kleinere pollen worden niet meegenomen); ook geulen smaller dan 1 m worden niet ingelopen; de grond moet ook zichtbaar stevig zijn en dat komt eigenlijk altijd overeen met een iets hoger ruggetje. Tracksnelheid is 2 sec.
3. De plasjes/poeltjes ($\geq 1 \text{ m}^2$) tussen de klifrand en kwelder. Vanaf 2010 zullen bij elk poeltje ook 2 waypoints gemaakt worden (bij start en na rondlopen) om poeltjes herkenbaarder te maken in de track. Tracksnelheid op 1 sec.

De tracks voor het vaststellen van de klif/Kweldergras- en pioniergrens lopen van de oostzijde tegenover het muurtje op de kop van de bitumen zomerkade tot langs de geul bij pq 20 (zie Foto 3.3). De poeltjes bevinden zich voornamelijk in het middelste deel van het gebied.



Foto 3.2 Poeltjes in grensgebied pionierzone en lage kwelder.



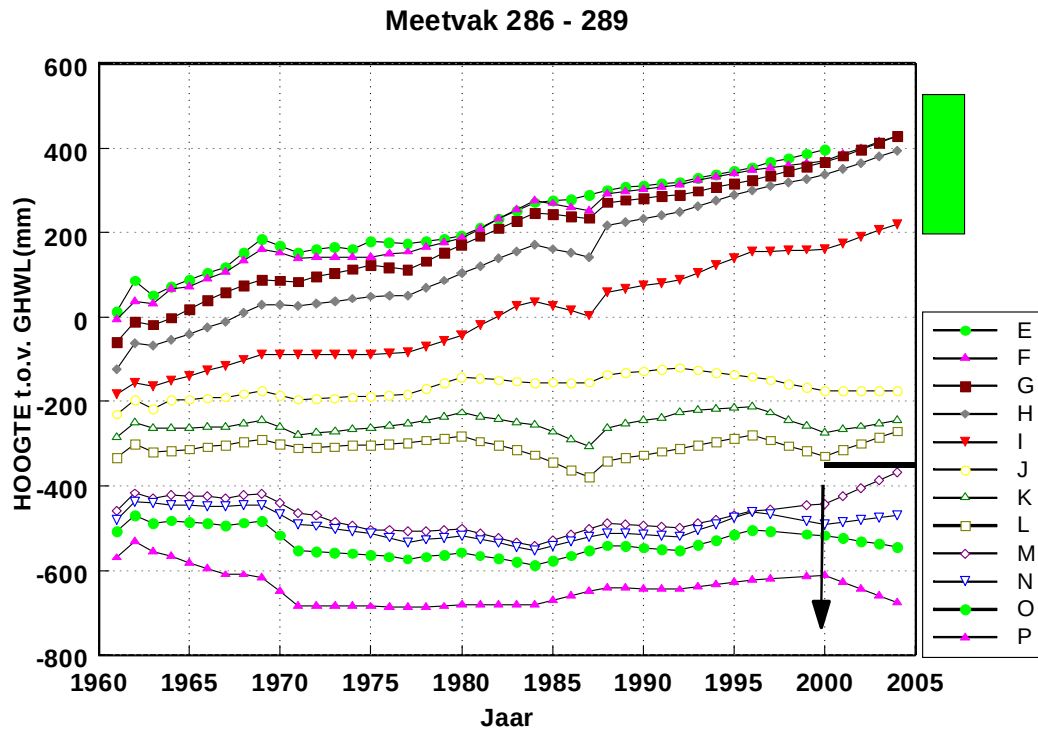
Foto 3.3 Start en eindpunt GPS-tracks klif en pioniervegetatie. (Luchtfoto Google Earth)

3.5. Langjarige opslibbing en vegetatie meetvakken in west-Groningen

Van de historische dataset van RWS met opslibbing en vegetatieontwikkeling in de meetvakken worden in deze jaarrapportage slechts enkele voorbeelden gegeven ter illustratie. Voor uitgebreide informatie wordt verwezen naar Dijkema *et al.* 2001 en 2009.

Opslibbing

In Figuur 3.4 staat de gemiddelde hoogteontwikkeling vanaf 1960 vanaf de dijk (subvak E) tot aan het kale wad (subvak P) in meetvak 286-289. De kweldervakken E t/m I laten een duidelijk stijgende lijn zien. Vanaf 2000 wordt, na een beleidskeuze, de buitenste dwarsdam (=evenwijdig aan de kust) niet meer onderhouden. De gevolgen hiervan zijn terug te vinden in de erosie van de buitenste subvakken. De nieuwe dwarsdam tussen de subvakken L en M uit 2000 heeft direct een toename van de opslibbing tot gevolg. Beide ingrepen laten zien hoe beheermaatregelen een snel en direct effect op de hoogteontwikkeling kunnen hebben.



Figuur 3.4 Voorbeeld van data betreffende hoogteontwikkeling in een van de meetvakken behorend tot het referentiegebied west-Groningen. De groene balk rechtsboven geeft de kweldervakken aan. De pijl geeft aan dat in 2000 het onderhoud aan de buitenste dwarsdam is gestopt. De horizontale vette balk geeft aan dat in 2000 een nieuwe dwarsdam is aangelegd tussen vak L en M.

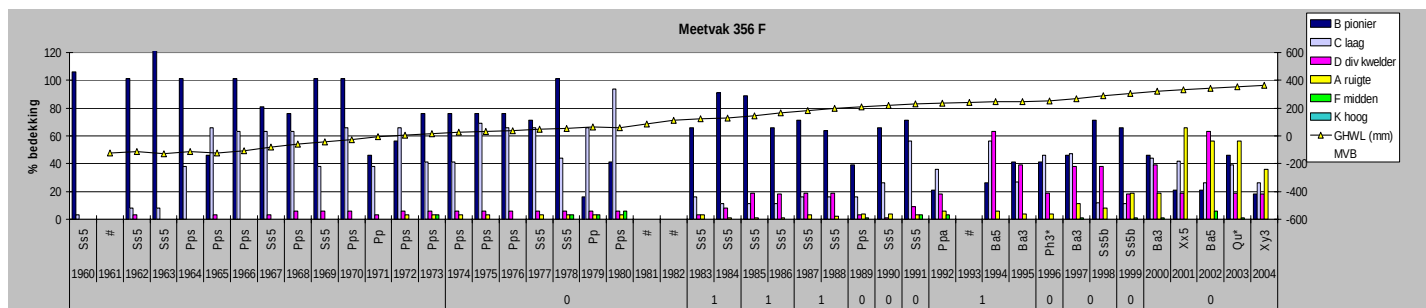
De gemiddelde opslibbing over de afgelopen 15 jaar in alle 5 referentie-meetvakken per (vegetatie)zone staat vermeld in Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Gemiddelde opslibbing in de 5 westelijke Groninger referentie-meetvakken over de periode 1992-2007.

	3 ^e bezinkveld onbegroeid	2 ^e bezinkveld onbegroeid	2 ^e bezinkveld pionierzone	1 ^e bezinkveld kwelderzone
5 Referentie-meetvakken Groningen gemiddeld 1992-2007	- 4 mm/j	3 mm/j	4 mm/j	14 mm/j

Vegetatie

In Figuur 3.5 staat de vegetatie- en hoogteontwikkeling van 1960 tot 2004 in één van de 100x100 m subvakjes uit referentie-meetvak 356. In principe is van elk van de subvakken een vergelijkbare figuur te maken, als de gegevens beschikbaar zijn. In de laatste jaren is duidelijk de toenemende successie/veroudering van de vegetatie te zien. Uiteindelijk leidt een toenemende hoogte van het maaiveld vrijwel altijd tot een soortenarme climaxvegetatie waarin Zeekweek en Spiesmelde domineren. Alleen beweiding en/of een slechte ontwatering kunnen deze ontwikkeling tegengaan of vertragen. In Tabel 3.5 is de vegetatieontwikkeling samengevat voor de 5 referentie-meetvakken.



Figuur 3.5 Voorbeeld van vegetatieontwikkeling en hoogteligging van 1960-2004 in een van de meetvakken behorend tot het referentiegebied west-Groningen.

Tabel 3.5 Samenvatting vegetatieontwikkeling in de 5 referentie-meetvakken.

Meetvak	1960-1970	1970-1980	1980-1985	1985-1990	1990-1995	1995-2000	2000-2007
286-289							
308-311							
324-327							
336-338							
356-359							

Salt97 soortengroepen:

Pionierplanten

Zeekraal
Engels slijkgras

Lage kwelderplanten

Gewoon kweldergras
Gewone zoutmelde

Diverse zones (= Asteretea)

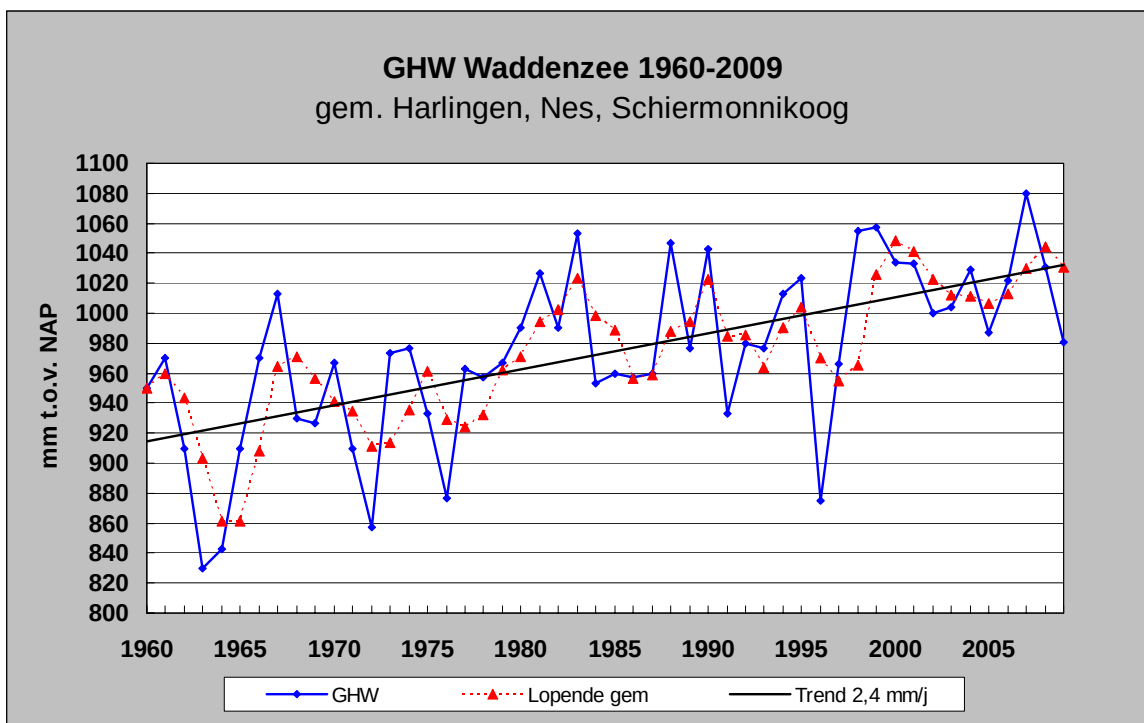
Zeeaster
Gerande schijnspurrie
Lamsoor
Zeeweegebree

Climaxplanten (= "voedselrijk")

Zeekweek
Spiesmelde
Strandmelde

3.6. Jaargemiddeld hoogwater

Het jaargemiddelde hoogwater van 2009 was met NAP + 981 mm een laag jaar. De jaargemiddelde GHW-lijn voor de Waddenzee wordt grotendeels bepaald door de windrichting, windkracht en barometerstand (Bossinade *et al.*, 1993). De gegevens over 2009 zijn nog niet definitief, maar zijn toch opgenomen omdat ze alvast een indicatie geven.



Figuur 3.6 Jaargemiddelde hoogwaters voor de kwelderwerken van 1960-2009. (Op basis van RWS-data)

3.7. Geplande statistiek in 2012

Voor de statistiek, zoals die voorzien is voor de eerste evaluatie in 2012, wordt verwezen naar de methode die zich reeds bewezen heeft bij de monitoring van de effecten van bodemdaling sinds 1986 op Ameland. De beschrijving van de daar gebruikte methode is in de box hieronder integraal overgenomen uit Dijkema *et al.*, 2005 (§§ 6.1 en 6.2: p. 51-54). Mocht in de toekomst blijken dat er een nog betere methode bestaat of ontwikkeld is, zou die toegepast kunnen worden.

6. Statistische analyse van de kwelder pq's Ameland

6.1. Inleiding

De statistische analyse van de kwelder pq's heeft betrekking op (1) de relatie tussen de vegetatie en abiotische variabelen, (2) de verandering van de vegetatie in de loop van de tijd, en (3) de mogelijke oorzaken van deze verandering. Evenals in Van Dobben & Slim (2005) is de analyse grotendeels gebaseerd op multivariate technieken; de reden hiervoor is vooral dat een analyse per soort ondoenlijk is door het grote aantal soorten. Er zijn vijf indicatoren gebruikt voor de toestand van de vegetatie: de 'sample scores' langs de eerste drie assen van een DCA (Jongman *et al.* 1995), de 'natuurbewaarde' NBW (in Van Dobben & Slim (2005) aangeduid als 'CCV'), en het aantal soorten per plot. De NBW kan gezien worden als een schatting van de kans op het aantreffen van Rode Lijst soorten (Wamelink *et al.* 2003).

Een deel van de bewerkingen is uitgevoerd voor de vier zones die ook elders in deze studie zijn gebruikt (tabel 3.2). In een aantal gevallen heeft de bewerking plaatsgevonden voor het Nieuwlandsrijd en De Hon apart. Omdat op de kwelders grondwaterstand waarschijnlijk geen belangrijke rol speelt, is die hier niet als abiotische variabele gebruikt. Ook zijn geen bodemanalyses verricht. Wel is het belang van opslibbing voor de vegetatie nagegaan, en wel op twee wijzen: (1) als bron van nutriënten, deze is voor elk opnamejaar geschat als de opslibbing per jaar in de voorafgaande periode, en (2) als

compensatie voor bodemdaling, deze is geschat als totale opslibbing sinds het begin van de monitoring. Verder is de overvloedingsfrequentie als abiotische variabele gebruikt. Het effect van deze abiotische variabelen op de vegetatie is globaal vastgesteld met behulp van multivariate statistiek.

Het effect van bodemdaling is vastgesteld middels een multiële regressie van de indicatoren voor de toestand van de vegetatie op (1) de hoogte in 1986, (2) de bodemdaling, (3) de opslibbing en (4) de overvloedingsfrequentie. Zoals beschreven in Van Dobben & Slim (2005) bestaat hierbij het risico dat iedere monotone trend ten onrechte aan bodemdaling (en in dit geval mogelijk ook aan opslibbing) wordt toegeschreven. Daarom is een controle uitgevoerd op de grootte van de regressiecoëfficiënten. Dit is gedaan door na te gaan of de temporele verandering in de vegetatie consistent is met (a) de verandering in hoogteligging en (b) het ruimtelijk patroon van vegetatie en hoogteligging in 1986. Of, in andere woorden, de hypothese is getoetst dat als in een pq de hoogteligging verandert van Z_0 in 1986 naar Z_t in jaar t , de vegetatie verandert in die van een ander pq dat in 1986 als op hoogte Z_t lag. In de praktijk kan alleen het omgekeerde van deze hypothese getoetst worden. Dit betekent dat uit de verandering van de vegetatie sinds het begin van de monitoring, de bodemdaling en opslibbing zijn berekend die nodig waren om deze verandering te bewerkstelligen, gegeven het verband tussen vegetatie en hoogteligging zoals dat in 1986 was. Hierbij is rekening gehouden met veranderingen in zeespiegelregime. Vervolgens zijn de 'berekende' en de 'werkelijke' bodemdaling en opslibbing met elkaar vergeleken. Wanneer deze niet met elkaar in overeenstemming waren is geconcludeerd dat de verandering in de vegetatie niet of niet uitsluitend door bodemdaling veroorzaakt kan zijn. Hierbij is ervan uitgegaan dat het effect van een verandering in hoogteligging op de vegetatie zonder tijdsvertraging tot stand komt. In werkelijkheid treedt deze tijdsvertraging waarschijnlijk wel op, voor methoden om deze op te sporen (hier niet gebruikt) en de consequenties daarvan wordt verwezen naar Van Dobben & Slim (2005).

6.2. Materiaal en methode

6.2.1. Data

De **hoogteligging** is bepaald uit de gemeten hoogte in 1986, en de bodemdaling en opslibbing die sindsdien hebben plaatsgevonden:

$$Z_t = Z_0 + dZ_t + S_t \quad [1]$$

met: Z : hoogteligging (in m +NAP), dZ : bodemdaling sinds 1986, S : opslibbing sinds 1986; subscript: jaar (0 = 1986) (let er op dat dZ altijd een negatief getal is).

De **overvloedingsfrequentie** (FF) is voor elk opnamejaar t bepaald als de som van het aantal overvloedingen over de jaren $t-2$ tot en met t (dit in tegenstelling tot Van Dobben & Slim (2005) waar de overvloedingsfrequentie is bepaald als som over $t-2$ tot en met $t-1$). Het aantal overvloedingen is voor elk jaar en elke hoogteligging direct bepaald uit overvloedingskrommen voor de haven van Nes. Het 'zeespiegelregime' is voor elk jaar gekarakteriseerd als de overvloedingsfrequentie op 1,2 m +NAP voor dat jaar (aangeduid als FF12).

Ontwatering en beweidingintensiteit zijn elk geschat in vier klassen (0 = geen, 3 = hoogste intensiteit).

De **opslibbing** is per opnametijdstip berekend als

$$dS_{t2} = (S_{t2} - S_{t1}) / (t_2 - t_1) \quad [2]$$

met: t_2 : opnamejaar, t_1 = jaar van de vorige opname.

Een aantal pq's is om verschillende redenen beschouwd als verstoord. Deze pq's zijn bij de analyse buiten beschouwing gelaten.

6.2.2. Multivariate methoden

Evenals in Van Dobben & Slim (2005) is voor het karakteriseren van de vegetatie gebruik gemaakt van de sample scores langs de eerste drie assen van een DCA op alle data (dat wil zeggen alle pq / jaar combinaties), waarbij de verstoorde pq's passief gemaakt zijn, dat wil zeggen zij hebben geen invloed op de ordening van de soorten. Voor het vaststellen van het relatieve belang van de abiotische variabelen is gebruik gemaakt van voorwaartse selectie en permutatie in CCA; voor details over deze techniek wordt verwezen naar Ter Braak & Smilauer (2002) en Jongman et al. (1995). Een globaal beeld van de relatie door de tijd tussen pq's, soorten, abiotische variabelen, NBW en aantal soorten is verkregen door het projecteren van al deze variabelen op de eerste drie DCA assen. Hiervan zijn plots gemaakt voor de eerste tegen de tweede, en de eerste tegen de derde as. Getracht is de DCA assen te interpreteren met behulp van de ecologie van de soorten (cf. Heukels, Weeda ecoflora) en van Ellenberg's (1991) ecologische indicatiewaarden. Hiertoe is de correlatie

bepaald van de sample scores op elke as met de (ongewogen) gemiddelde Ellenbergwaarden per opname. Voor de interpretatie van de plots wordt verwezen naar Ter Braak & Smilauer (2002) en Jongman et al. (1995); globaal is deze als volgt:

Alle plots kunnen in gelijke schaling op elkaar geprojecteerd worden. Zij hebben in dit geval een 'afstand interpretatie': hoe dichter twee soorten bij elkaar staan, hoe meer ze samen voorkomen (diagonaal tegenover elkaar staande soorten sluiten elkaar uit). Dit geldt ook voor de opnames ('samples'): hoe dichter ze bij elkaar staan, hoe meer ze op elkaar lijken (let er op dat elk 'sample' in dit geval één opname van een pq vertegenwoordigt). Wanneer het sample plot en het soorten plot over elkaar geprojecteerd worden, is de afstand tussen elke soort en elke opname een maat voor de waarschijnlijkheid om die soort in die opname aan te treffen.

Let er op dat de weergave van het soortenplot wat minder nauwkeurig kan zijn; in principe is het midden van elke soortnaam de positie van die soort, maar de soortnamen zijn soms wat verschoven omdat anders over elkaar vallende namen het plot onleesbaar zouden maken.

De weergave van de abiotische variabelen kan op twee manieren gebeuren. De **kwantitatieve** variabelen zijn als pijlen weergegeven, deze geven de richting van variatie aan. De projectie van een opname op zo'n pijl geeft een schatting van de verwachtingswaarde van die abiotische variabele in die opname (met basis van de pijl = gemiddelde over alle opnamen, punt van de pijl = gemiddelde plus één standaarddeviatie, punt van de pijl gespiegeld ten opzichte van de oorsprong = gemiddelde min één standaarddeviatie). De projectie van een soort op zo'n pijl geeft op dezelfde wijze de verwachtingswaarde van het optimum van die soort ten opzichte van die abiotische variabele. De **kwalitatieve** variabelen (klassen) zijn weergegeven als het centroid (gemiddelde op elke as) van alle samples die tot deze klasse behoren (de zones en de transecten [Nieuwlandsrijd en De Hon] zijn op dezelfde wijze weergegeven, in sommige gevallen per opnamejaar). De isolijnen plots voor NBW en aantal soorten geven de verwachtingswaarde van deze twee grootheden voor ieder punt van het plot, berekend door middel van lineaire regressie op de sample scores (tweede-orde polynoom).

6.2.3. Univariate methoden

De **veranderingen** in de tijd zijn geanalyseerd met behulp van univariate ANOVA en lineaire regressie op de sample scores op de eerste drie assen, de NBW en het aantal soorten. De bepaling van de significantie van de temporele effecten heeft op twee manieren plaatsgevonden: met ANOVA is bepaald of er überhaupt significante verschillen tussen de jaren zijn, en met lineaire regressie is bepaald of er een significante temporele trend is. De veranderingen in de tijd zijn zichtbaar gemaakt door de gemiddelde sample scores per zone per opnametijdstip in het DCA plot te projecteren. Hierbij is elk pq toegekend aan de zone waartoe het in 1986 behoorde (dit is ook gebeurd bij het bepalen van de significantie van de verschillen tussen de zones).

De bepaling van het **effect van bodemdaling** heeft als volgt plaatsgevonden:

de hypothese is getoetst dat veranderingen in de vegetatie uitsluitend het gevolg zijn van veranderingen in overvloedingsfrequentie, die op hun beurt het gevolg zijn van veranderingen in hoogteligging en in zeespiegelregime. Daartoe is elke vegetatiekarakteristiek Y gemodelleerd als functie van overvloedingsfrequentie:

$$Y = a_0 + a_1 FF + \text{fout} \quad [3]$$

met: Y: sample score op de eerste, tweede of derde as, NBW of aantal soorten, FF: overvloedingsfrequentie.

De overvloedingsfrequentie is gemodelleerd als functie van hoogteligging en zeespiegelregime:

$$FF = b_0 + b_1 Z + b_2 FF_{12} + \text{fout} \quad [4]$$

met: FF: overvloedingsfrequentie, Z: hoogteligging, FF_{12} : overvloedingsfrequentie op 1.2 m +NAP.

Deze lineaire vergelijking is gevalideerd op de met behulp van overvloedingskrommen geschatte overvloedingsfrequenties. De hoogteligging is gemodelleerd als som van de hoogteligging in 1986, de bodemdaling en de opslibbing (vergelijking [1]).

Vervolgens is de bodemdaling gemodelleerd als een lineaire functie van het jaartal en de afstand tot het diepste punt van de bodemdalingsschotel (dit model is identiek aan dat gebruikt door Slim & Van Dobben (2005), maar de parametrisatie is opnieuw uitgevoerd). Hierbij is er vanuit gegaan dat de bodemdalingsschotel de vorm heeft van een omgekeerde kegel, waarvan de diepte elk jaar evenveel toeneemt. Dit model is gevalideerd op de met het NAM model gesimuleerde bodemdaling. Eerst werd de straal van de bodemdalingsschotel geschat door middel van extrapolatie op grond van de data uit 2003:

$$Z_{2003} - Z_{1986} = d_0 + d_1 D + \text{fout} \quad [5]$$

met: Zt: hoogteligging in jaar t, D: afstand tot het diepste punt van de bodemdalingsschotel.

Uit vergelijking [5] volgt dat

$$D_0 \approx -d_0 / d_1 \quad [6]$$

met: D_0 : straal van de bodemdalingschotel.

Nu kan de bodemdaling lineair gemodelleerd worden:

$$dZ_t = v(J_t - J_0)(D_0 - D) + \text{fout} \quad [7]$$

met: Z_t : hoogteligging in jaar t (0, in 1986; 1, in 1987; etc), J_t : jaartal ($J_0 = 1986$), D : afstand tot het diepste punt van de bodemdalingschotel (D_0 = straal van de bodemdalingschotel), v : bodemdaling per jaar per meter afstand tot de rand van de bodemdalingschotel.

Vergelijkingen [1], [3], [4] en [7] kunnen worden gecombineerd tot:

$$Y = a_0 + a_1b_0 + b_1Z_0 + b_1v(J - J_0)(D_0 - D) + b_1S + a_1b_2FF12 + \text{fout} \quad [8]$$

Deze vergelijking kan gefit worden met behulp van multiële regressie:

$$Y = c_0 + c_1Z_0 + c_2(J - J_0)(D_0 - D) + c_3S + c_4FF12 \quad [9]$$

met:

$$c_0 = a_0 + a_1b_0$$

$$c_1 = b_1$$

$$c_2 = b_1v$$

$$c_3 = b_1$$

$$c_4 = a_1b_2$$

Dit levert twee toetsbare hypothesen:

$$c_2 = c_1v \text{ of } c_2 / c_1 = v \text{ of } (c_2 / c_1) / v = 1 \quad [10]$$

(want vergelijking [9] en vergelijking [7] leveren twee onafhankelijke schattingen van v)
en

$$c_3 = c_1 \text{ of } c_3 / c_1 = 1 \quad [11]$$

Om deze hypothesen te toetsen is het noodzakelijk de onzekerheid in de quotiënten van de regressiecoëfficiënten te kennen; deze is bepaald met de stelling van Fieller (cf. Finney 1971 p. 78). Hiermee is het 99% betrouwbaarheidsinterval van de quotiënten c_2/c_1 en c_3/c_1 bepaald, en vervolgens is gekeken of de 'werkelijke' waarde van deze quotiënten (in het eerste geval v bepaald uit vergelijking [7], in het tweede geval gelijk aan 1) zich in dit interval bevindt. Alle multivariate berekeningen zijn uitgevoerd met de programma's CANOCO en CanoDraw (Ter Braak & Smilauer 2002), de univariate met het programma GENSTAT version 7.2 (Payne et al. 2003). Alle data zijn ongetransformeerd gebruikt, behalve de overvloedingsfrequenties en de abundanties van de soorten, die gelogarithmiseerd zijn.

Literatuur

- Ellenberg, H, Weber, H E, Düll, R, Wirth, V, Werner, W, Pauliszen D. 1991. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18:1-248.
- Finney, D.J. 1971. *Probit Analysis* (third edition). Cambridge University Press, Cambridge.
- Jongman, R H G, Ter Braak, C J F, Van Tongeren, O F R. 1995. *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge University Press.
- Payne, R, Murray, D, Harding, S, Baird, D, Soutar D, Lane P. 2003. *GenStat for Windows™ (7th Edition) Introduction*. Lawes Agricultural Trust, Rothamsted.
- Ter Braak, C J F, Smilauer, P. 2002. *CANOCO reference manual and Canodraw for windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5)*. Microcomputer Power, Ithaca USA, 500 p.
- Van Dobben, H F, Slim, P A. 2005. *Evaluation of changes in permanent plots in the dunes and upper salt marsh at Ameland East: Ecological effects of gas extraction*. In: Begeleidingscommissie Monitoring Ameland, Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 18 jaar gaswinning.. CD (met alle deelrapporten) en samenvatting. 96 p.
- Wamelink, G W W, Ter Braak, C J F, Van Dobben, H F. 2003. *Changes in large-scale patterns of plant biodiversity predicted from environmental economic scenarios*. *Landscape Ecology* 18: 513-527.

Literatuur

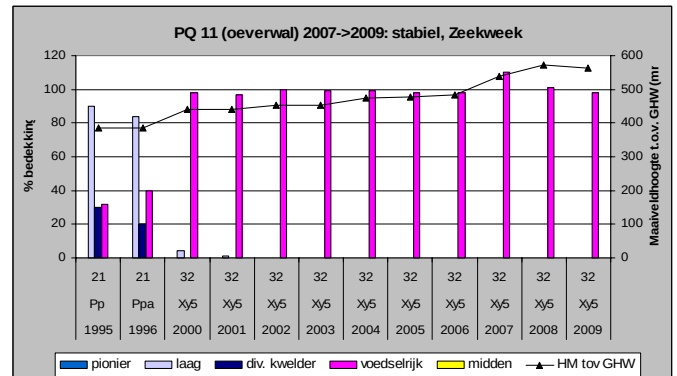
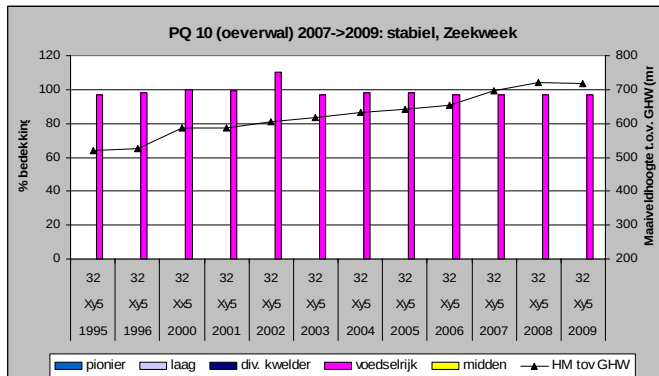
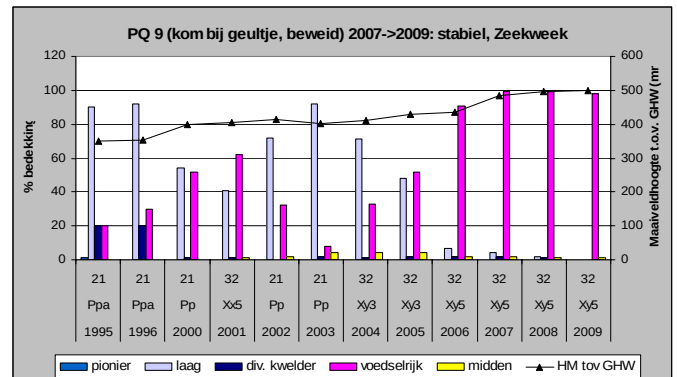
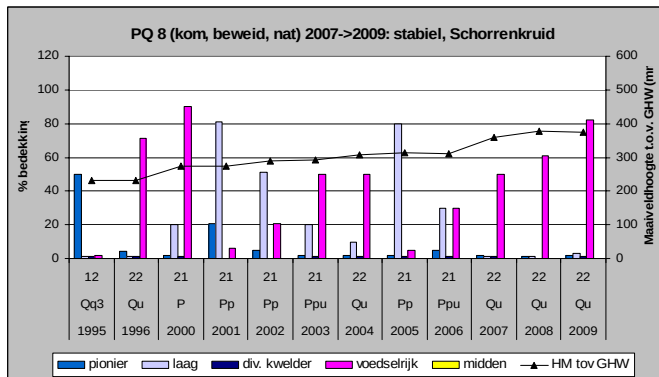
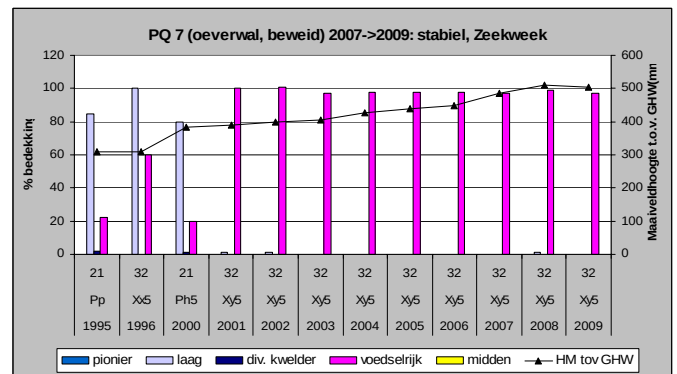
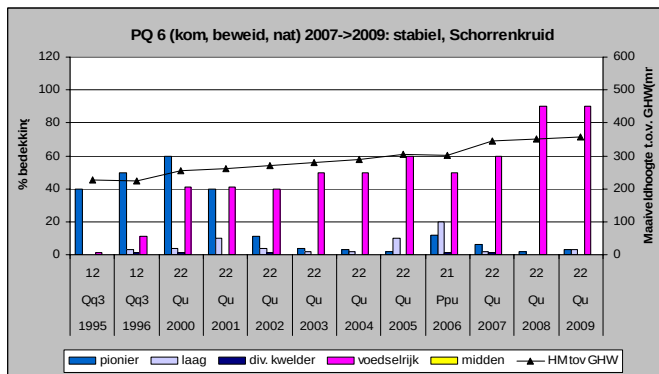
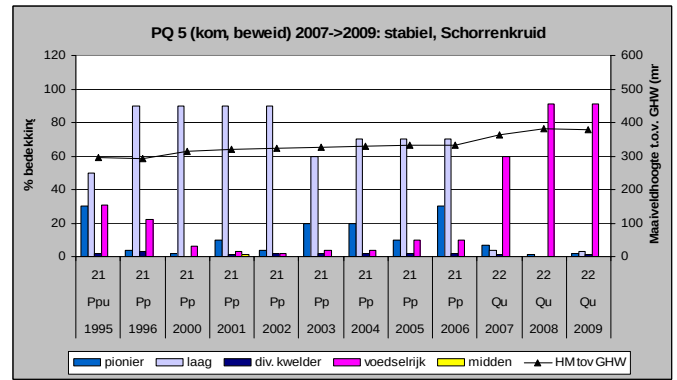
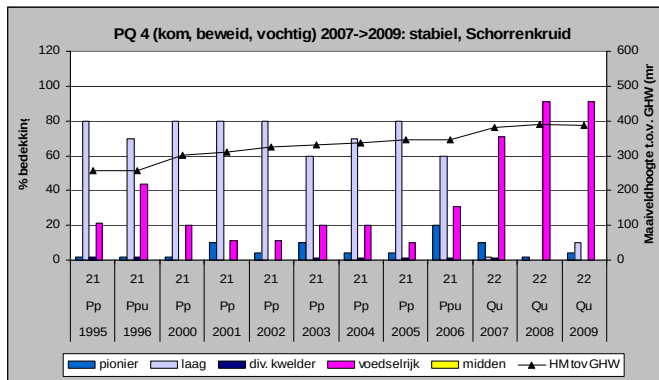
- Bossinade, J.H., van den Bergs, J. & Dijkema, K.S., 1993. De invloed van de wind op het jaargemiddelde hoogwater langs de Friese en Groninger waddenkust. Rijkswaterstaat Directie Groningen/DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Texel. 22 p.
- De Glopper, R.J., 1973. Subsidence after drainage of the deposits in the former Zuyder Zee and in the brackish and marine forelands in The Netherlands. Van Zee tot Land 50, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, 's-Gravenhage. 205 p.
- Dijkema, K.S., 1983. The salt-marsh vegetation of the mainland coast, estuaries and Halligen. In: K.S. Dijkema & W.J. Wolff (eds), Flora and vegetation of the Wadden Sea island and coastal areas. Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek, Leiden: 185-220.
- Dijkema, K.S., 1997. Impact prognosis for salt marshes from subsidence by gas extraction in the Wadden Sea. Journal of Coastal Research 13 (4): 1294-1304.
- Dijkema, K.S., J.H. Bossinade, P. Bouwsema & R.J. de Glopper 1990. Salt marshes in the Netherlands Wadden Sea: rising high tide levels and accretion enhancement. In: J.J. Beukema, W.J. Wolff & J.J.W.M. Brouns (eds), Expected effects of climatic change on marine coastal ecosystems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht; 173-188.
- Dijkema, K.S., A. Nicolai, J. de Vlas, C.J. Smit, H. Jongerius & H. Nauta, 2001. Van landaanwinning naar kwelderwerken. Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland, Leeuwarden en Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Texel. 68 p.
- Dijkema, K.S., W.E. van Duin & H.F. van Dobben, 2005. Kweldervegetatie op Ameland: effecten van veranderingen in de maaiveldhoogte van Nieuwlandsrijd en De Hon. In: Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 18 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Ameland. 97 p.
- Dijkema, K.S., W.E. van Duin, A. Nicolai, H. Jongerius, H. Keegstra, L. Van Egmond & H. Venema, 2009. Monitoring en beheer van de kwelderwerken in Friesland en Groningen 1960-2008. Werkgroep Onderzoek Kwelderwerken (WOK), Jaarverslag voor de Stuurgroep Kwelderwerken augustus 2008-juli 2009. IMARES-TEXEL; Rijkswaterstaat, Leeuwarden/Buitenpost. 63 p.
- Esselink, P., 2000. Nature management of coastal salt marshes. Interactions between anthropogenic influences and natural dynamics. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen. 256 p.
- Eysink, W.D., K.S. Dijkema & W.E. van Duin, 2000. Effecten van bodemdaling door gaswinning op de Peazemerlannen. WL/Delft Hydraulics en Alterra. 35 p. + bijlagen.
- Hoeksema, H.J., H.P.J. Mulder, M.C. Rommel, J.G. de Ronde & J. de Vlas, 2004. Bodemdalingstudie Waddenzee 2004, Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd, Rapport RIKZ 2004-025.
- Janssen, J. A. M., 2001. Monitoring of salt-marsh vegetation by sequential mapping. Proefschrift, Universiteit Amsterdam.
- Meesters, H.W.G., K.S. Dijkema, W.E. van Duin, C.J. Smit, N. Dankers, P.J.H. Reijnders, R.K.H. Kats & M.L. de Jong, 2006. Natuurwaarden in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag en mogelijke effecten van bodemdaling door gaswinning. Alterra-rapport 1310, Alterra-TEXEL. 191 p.
- Oost, A.P., B.J. Ens, A.G. Brinkman, K.S. Dijkema, W.D. Eysink, J.J. Beukema, H.J. Gussinklo, B.M.J. Verboom & J.J. Verburgh, 1998. Integratie Bodemdalingstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen. 372 p.
- Storm, K., 1999. Slinkend Onland. Over de omvang van zeeuwse schorren; ontwikkelingen, oorzaken en mogelijke beheersmaatregelen. Rijkswaterstaat Directie Zeeland. Nota AX-99.007. 68 p.
- van Duin, W.E., K.S. Dijkema & J. Zegers, 1997. Veranderingen in bodemhoogte (opslibbing, erosie en inklink) in de Peazemerlannen. IBN-rapport 326. 104 p.
- Veenstra, K., 1965. De invloed van het vochtgehalte van de grond op de hoogte van het maaiveld bij een zware vaste kleigrond. Intern rapport Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Baflo.
- Westhoff, V., J.H.J. Schaminee & K.S. Dijkema, 1998. 26. Asteretea tripolii. In: J.H.J. Schaminee, E.J. Weeda & V. Westhoff (eds). De vegetatie van Nederland. Deel 4. Plantengemeenschappen van de kust en van binnenlandse pioniermilieus. Opulus Press, Uppsala, Leiden. 89-130.

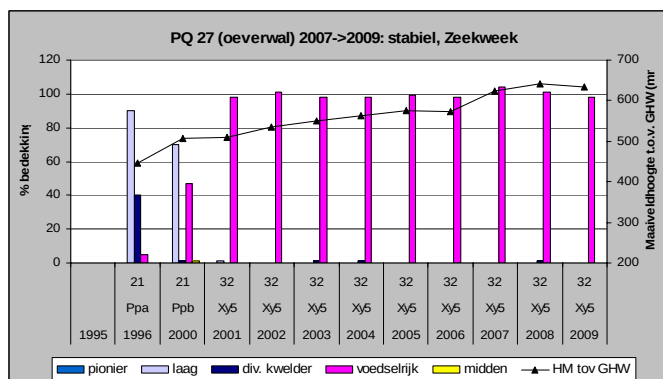
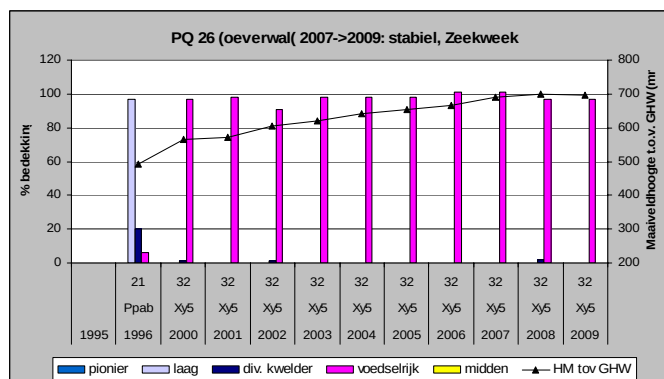
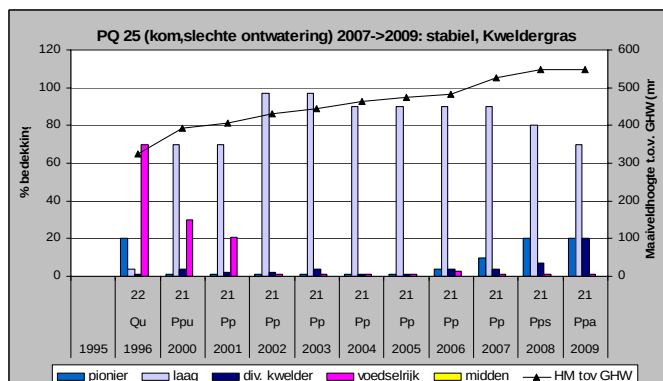
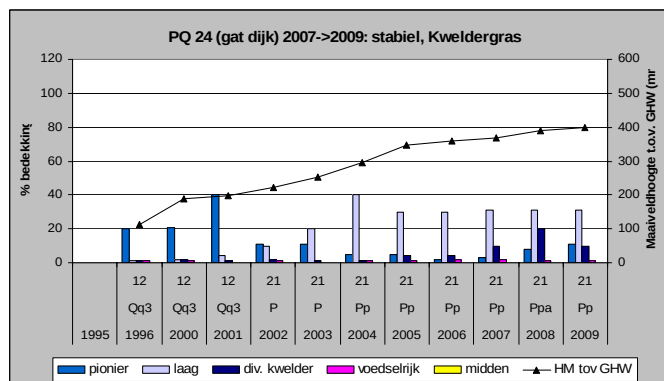
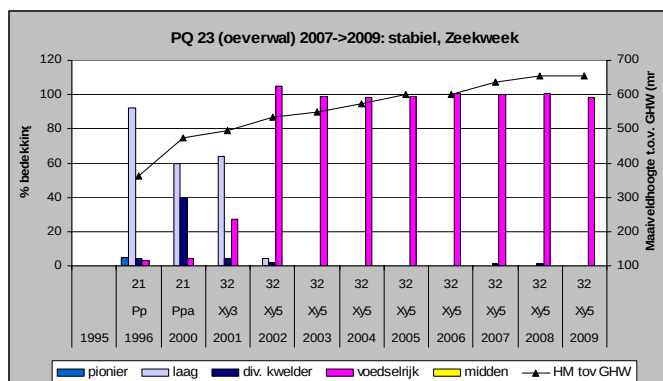
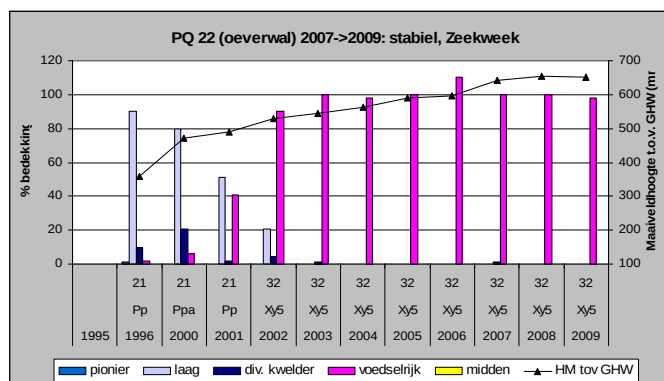
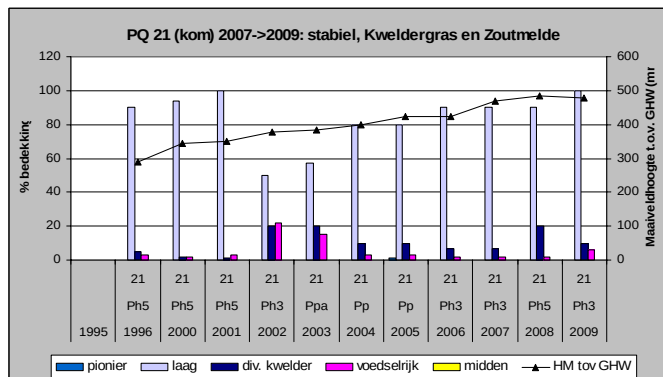
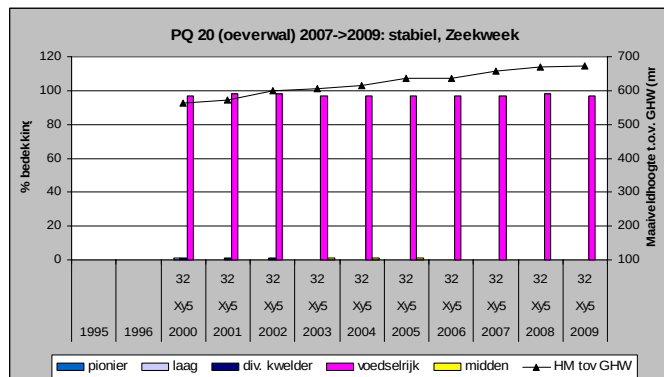
BIJLAGEN

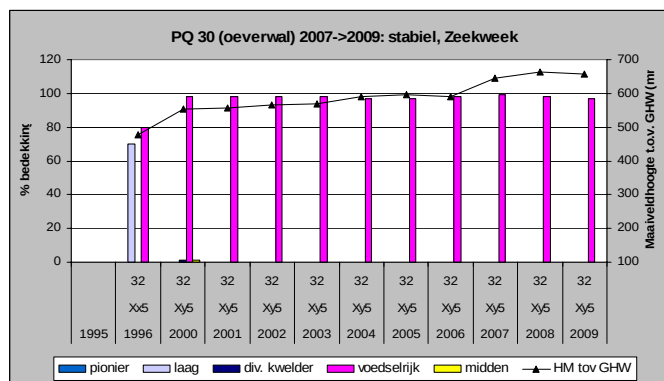
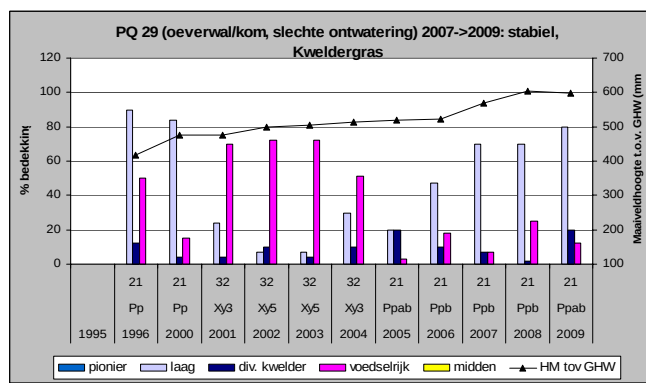
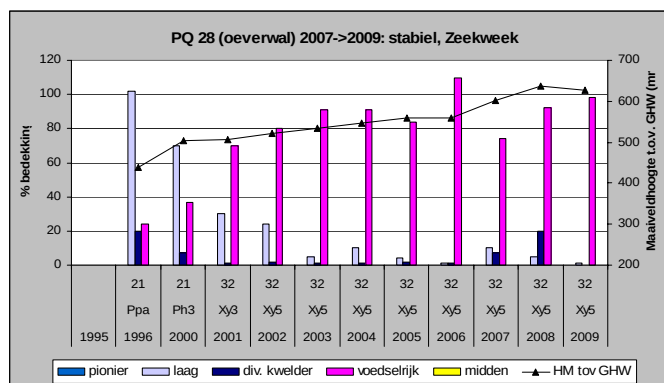
Bijlage 1 VEGWOK-programma vegetatiekarteringen kwelders RWS

Karteringen:	recentste fotovlucht	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Kwelders Noord-Holland	2005	fotovlucht	uitwerking	afronding				fotovlucht	uitwerking	afronding
Kwelders Texel	2005	fotovlucht	uitwerking	afronding				fotovlucht	uitwerking	afronding
Slufter Texel	2005	fotovlucht	uitwerking	afronding				fotovlucht	uitwerking	afronding
Boschplaat Terschelling	1999		fotovlucht	uitwerking	afronding				fotovlucht	uitwerking
Dollard	1999		fotovlucht	uitwerking	afronding				fotovlucht	uitwerking
Griend	1999		fotovlucht	uitwerking	afronding				fotovlucht	uitwerking
Kroonspolders (+Westerveld) Vlieland	2003	afronding				fotovlucht	uitwerking	afronding		
Noordvaarder + Groene Strand Terschelling	2003	afronding				fotovlucht	uitwerking	afronding		
Oosterschelde	2001			fotovlucht	uitwerking					fotovlucht
Westerschelde-mond	2001			fotovlucht	uitwerking	afronding				fotovlucht
Kwelders Groningen/Friesland	2002				fotovlucht	uitwerking	afronding			
Ameland	2002				fotovlucht	uitwerking	afronding			
Schiernmonnikoog	2004	uitwerking	afronding				fotovlucht	uitwerking	afronding	
Rottum	2004	uitwerking	afronding				fotovlucht	uitwerking	afronding	
Westerschelde	2004	uitwerking	afronding				fotovlucht	uitwerking	afronding	
Haringvliet-monding	2000		fotovlucht	uitwerking	afronding				fotovlucht	uitwerking

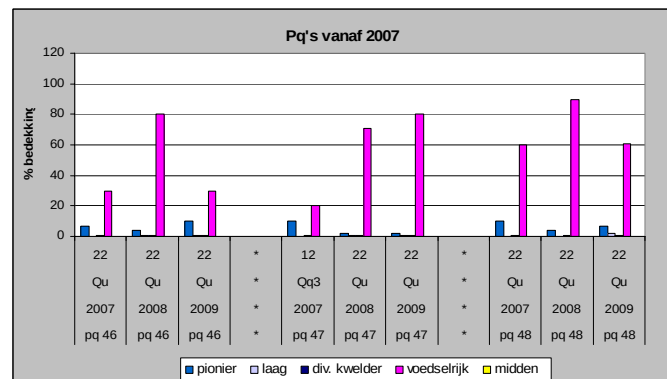
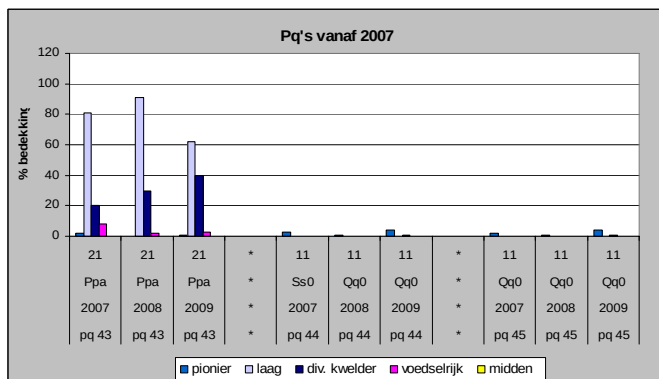
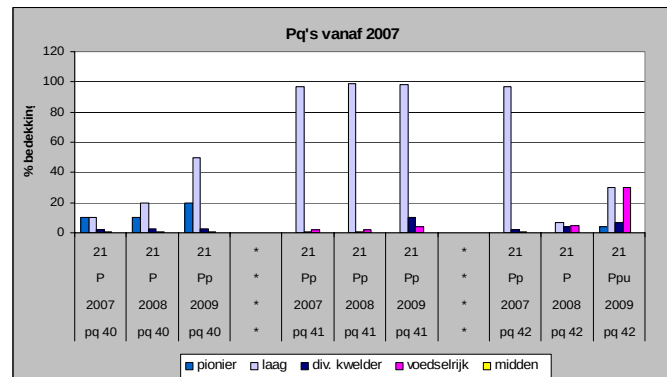
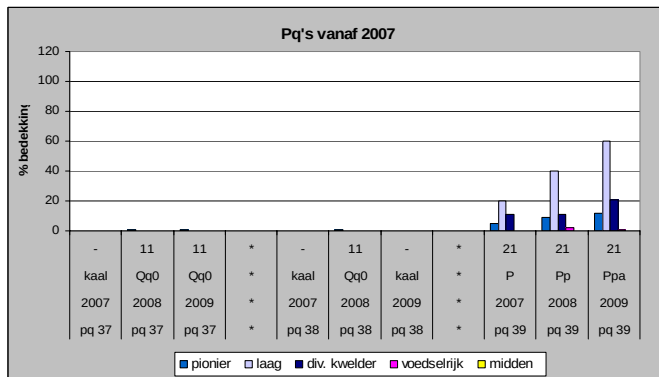
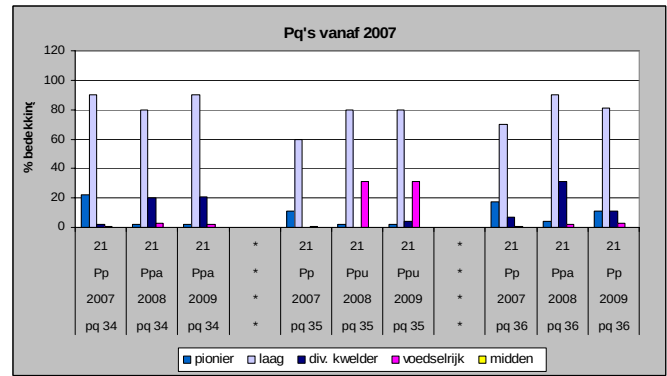
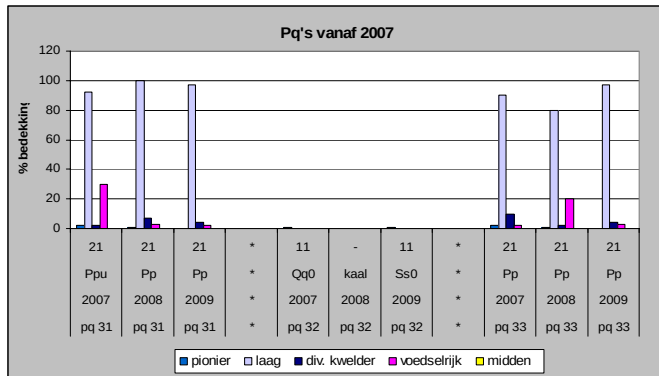
Bijlage 2 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling in de Peazemerlannen bij pq 4-30





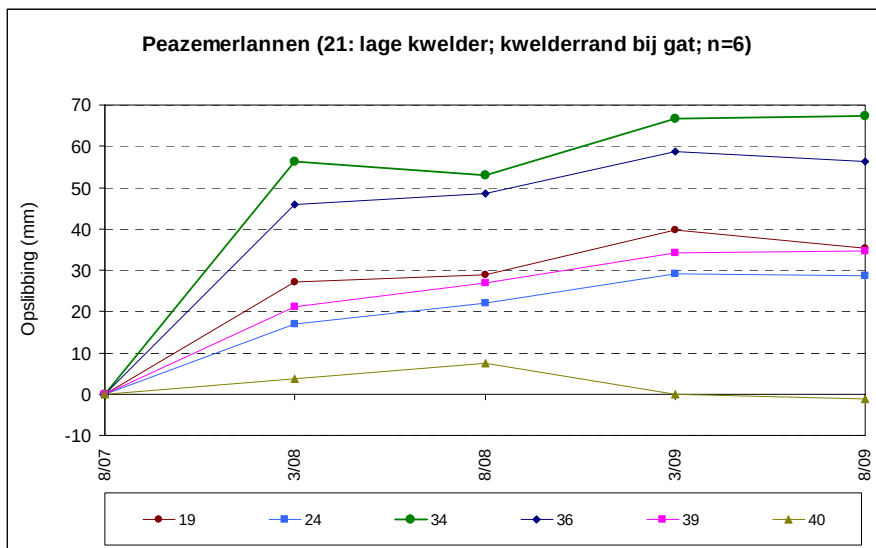
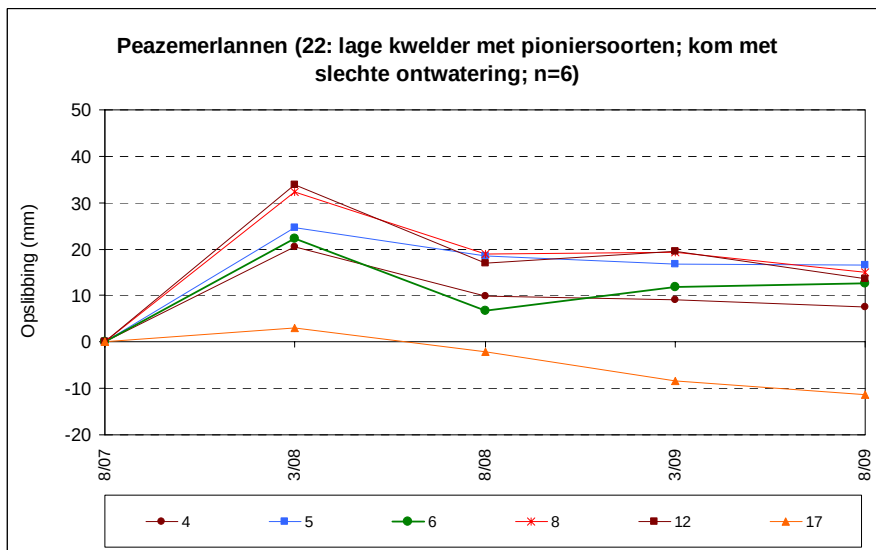
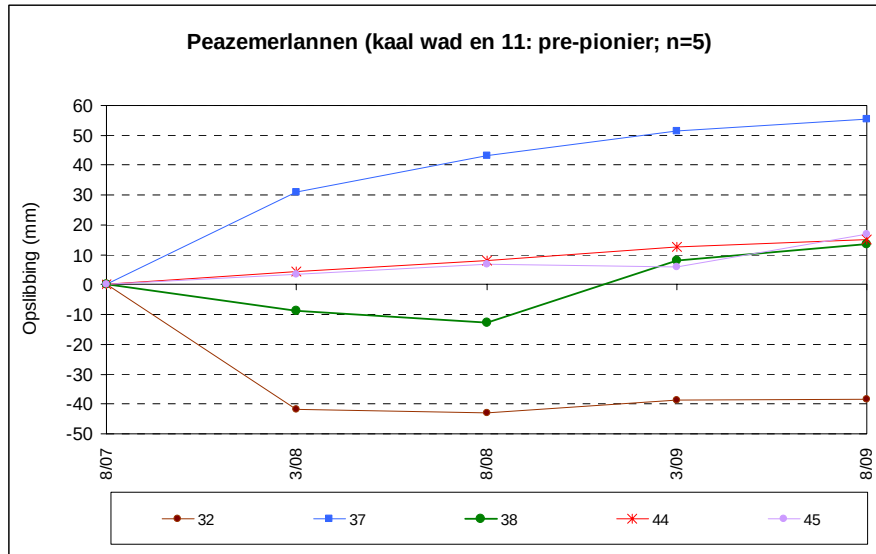


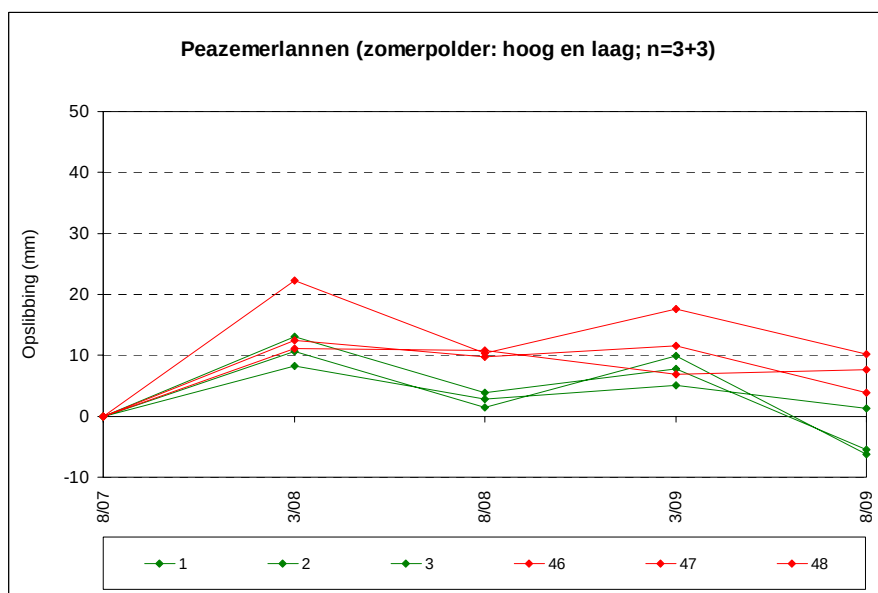
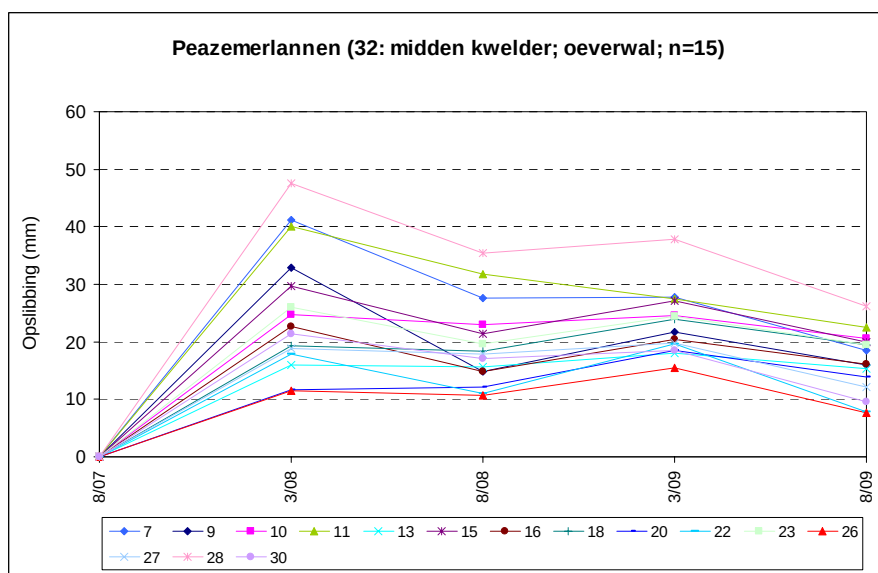
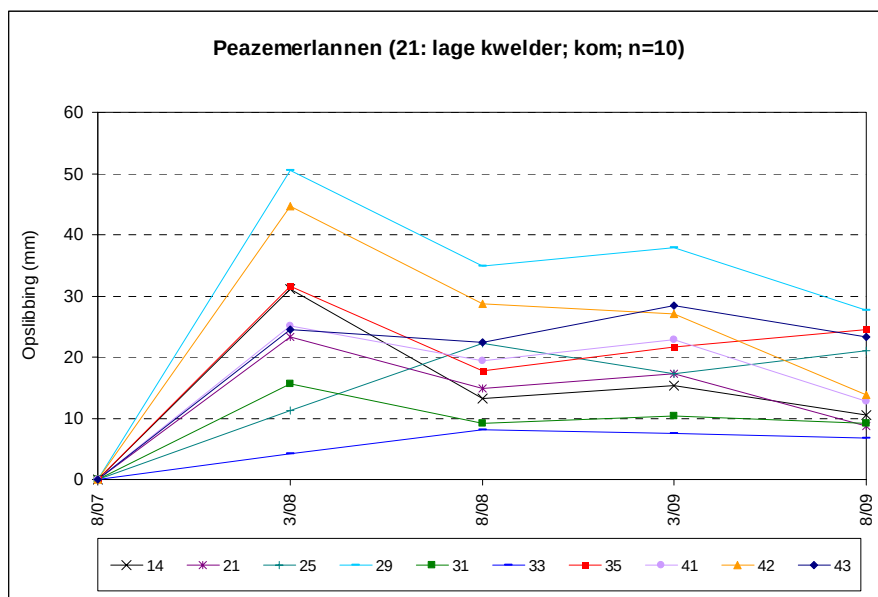
Bijlage 3 Vegetatieontwikkeling Peazemerlannen pq 31-48



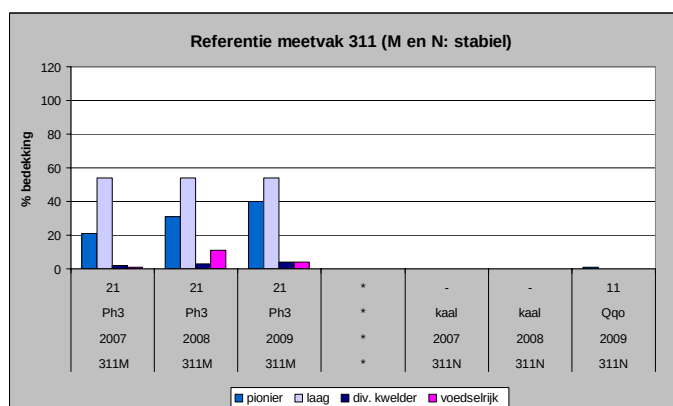
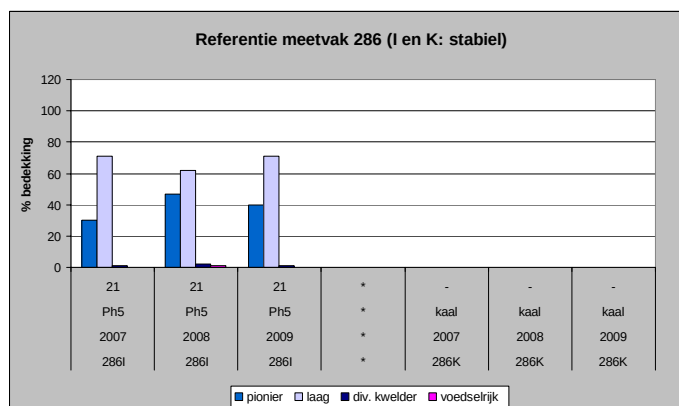
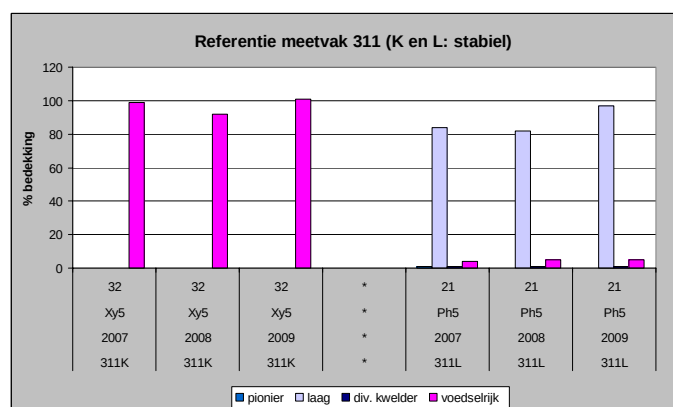
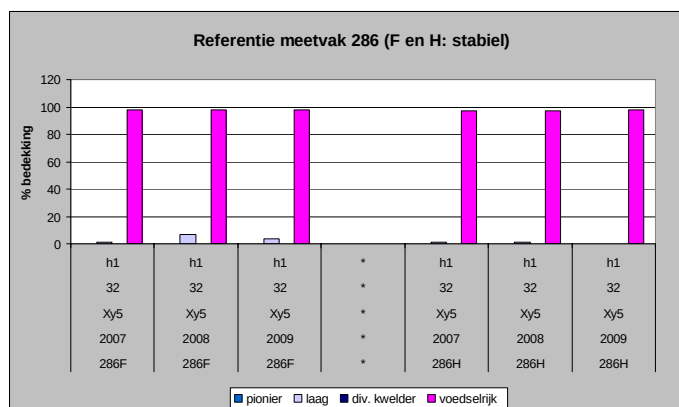
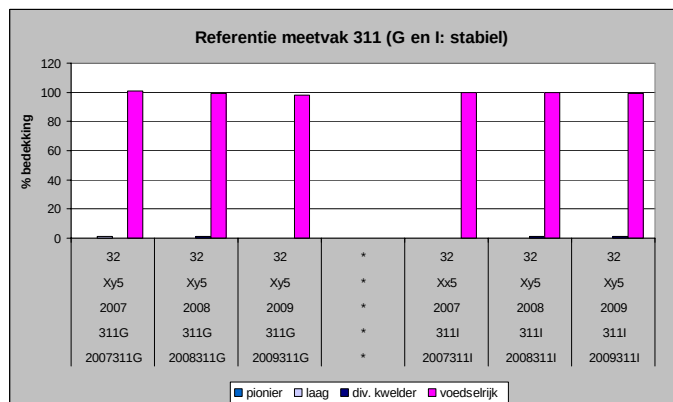
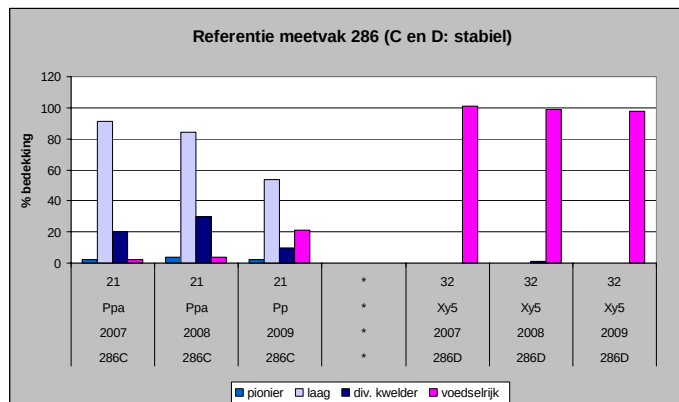
De maaiveldhoogte t.o.v. GHW van de pq's wordt in het jaarrapport over 2010 verwerkt en is hier nog niet in de figuren weergegeven. Voor de opslibbing zie Bijlage 4.

Bijlage 4 Opslibbing afzonderlijke pq's Peazemerlannen

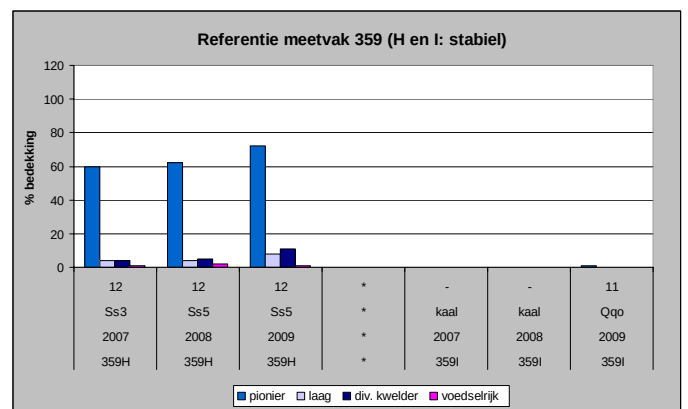
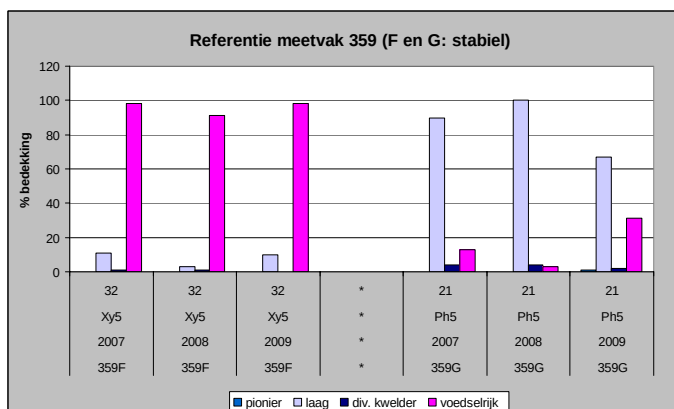
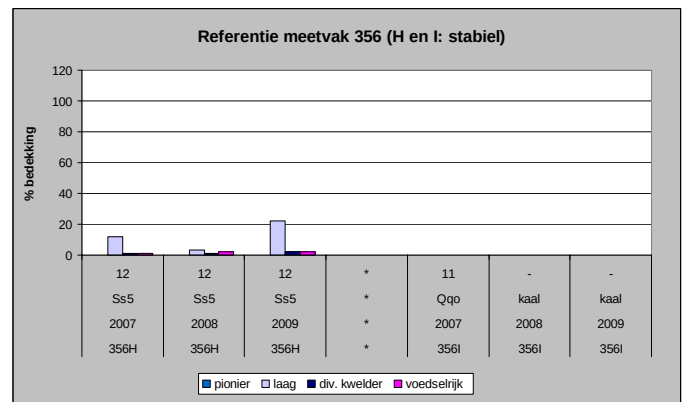
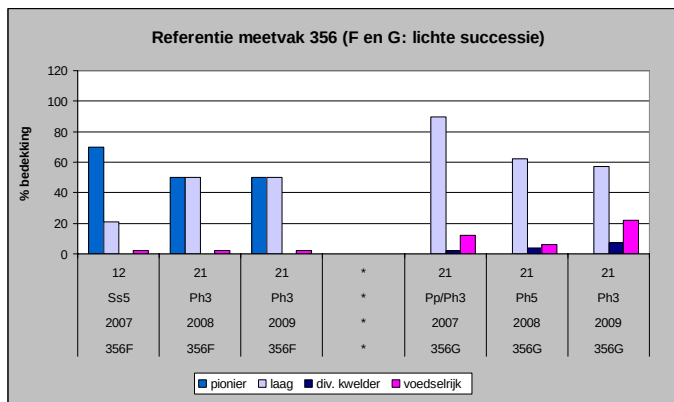
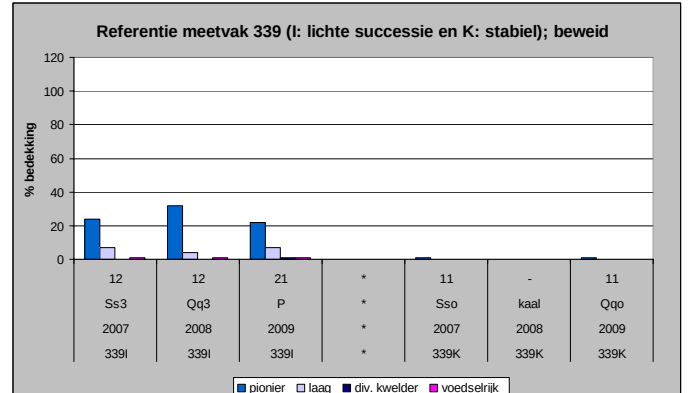
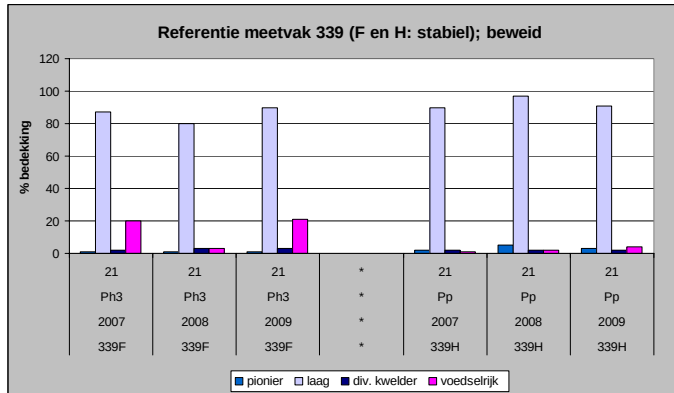
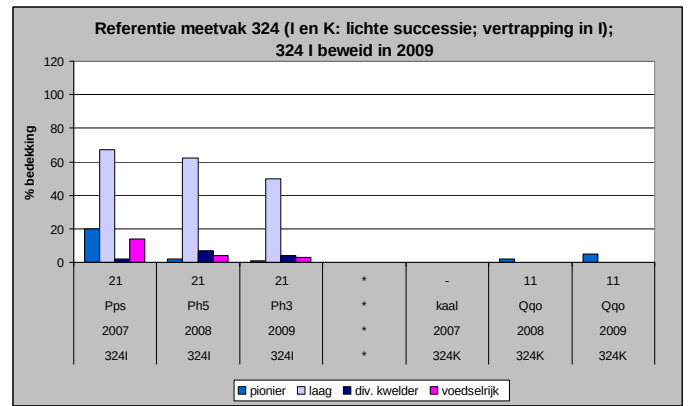
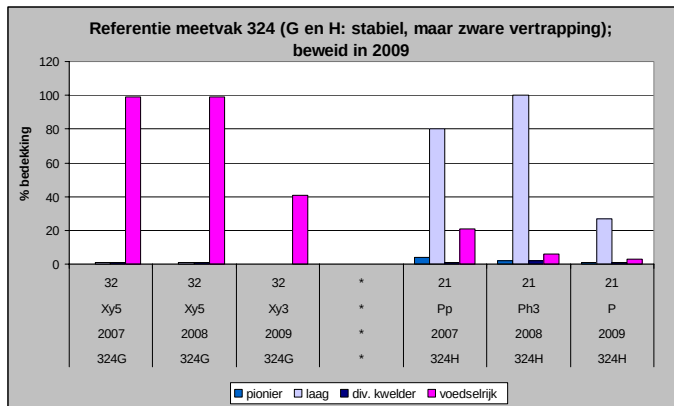




Bijlage 5 Vegetatie pq's referentiegebied Groningen

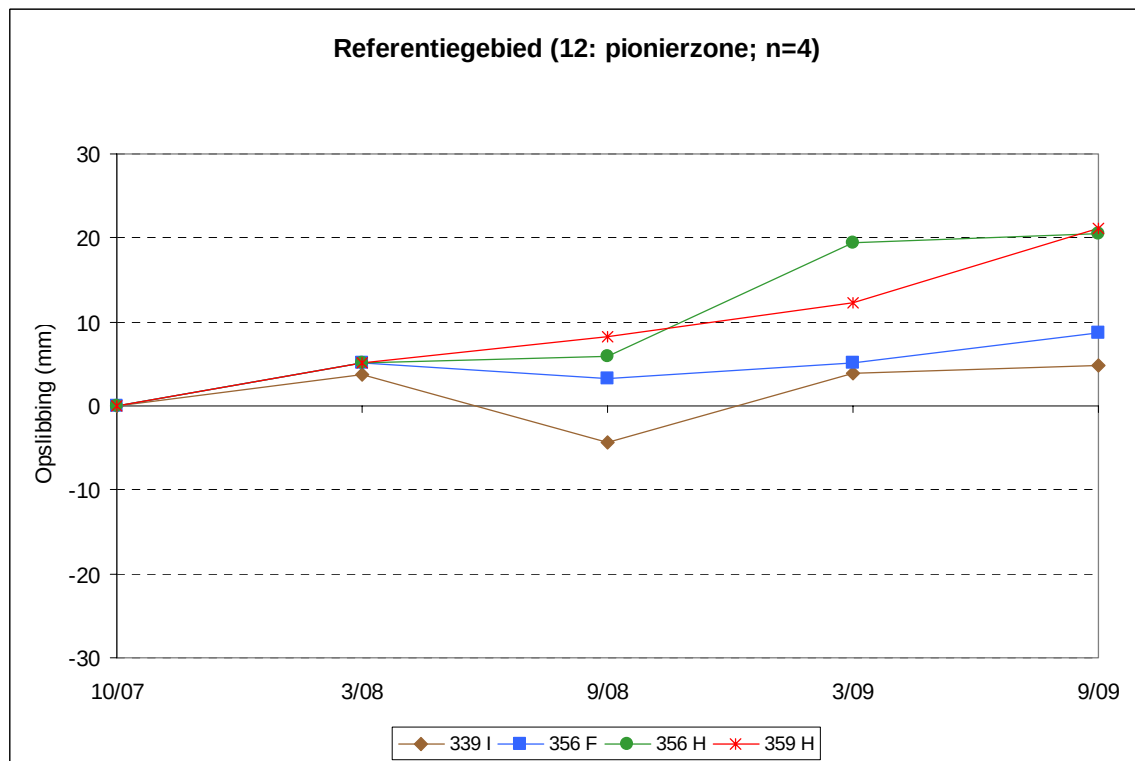
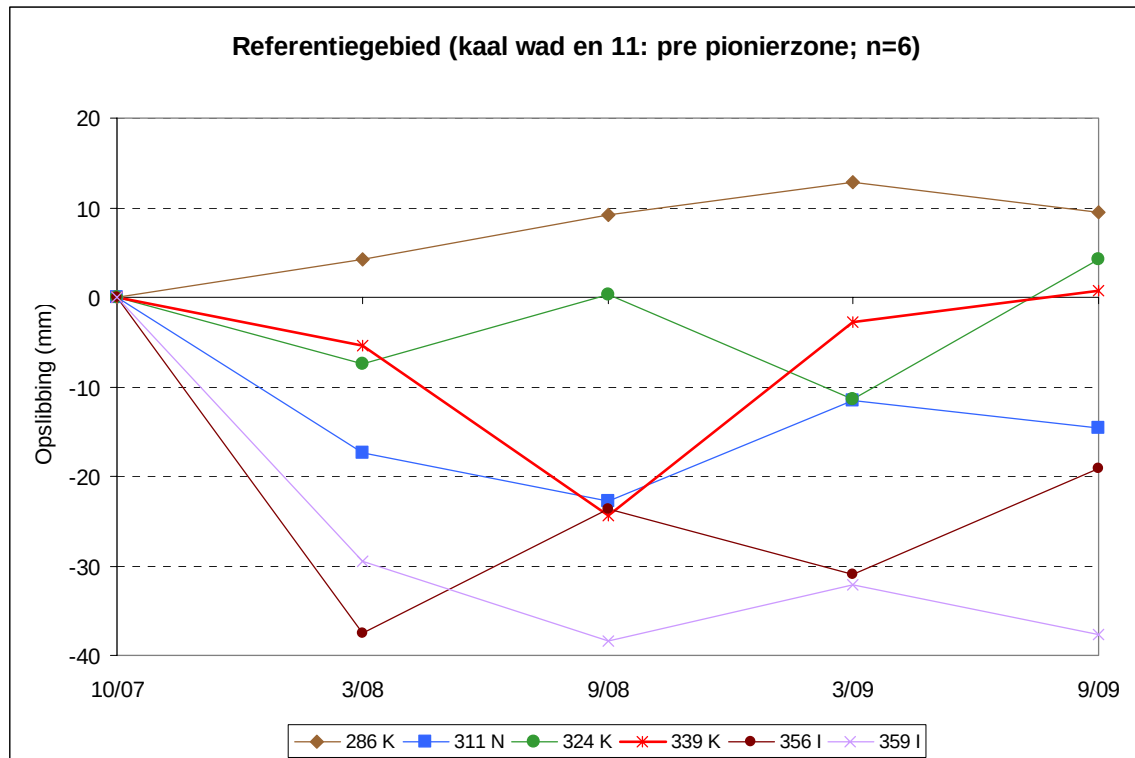


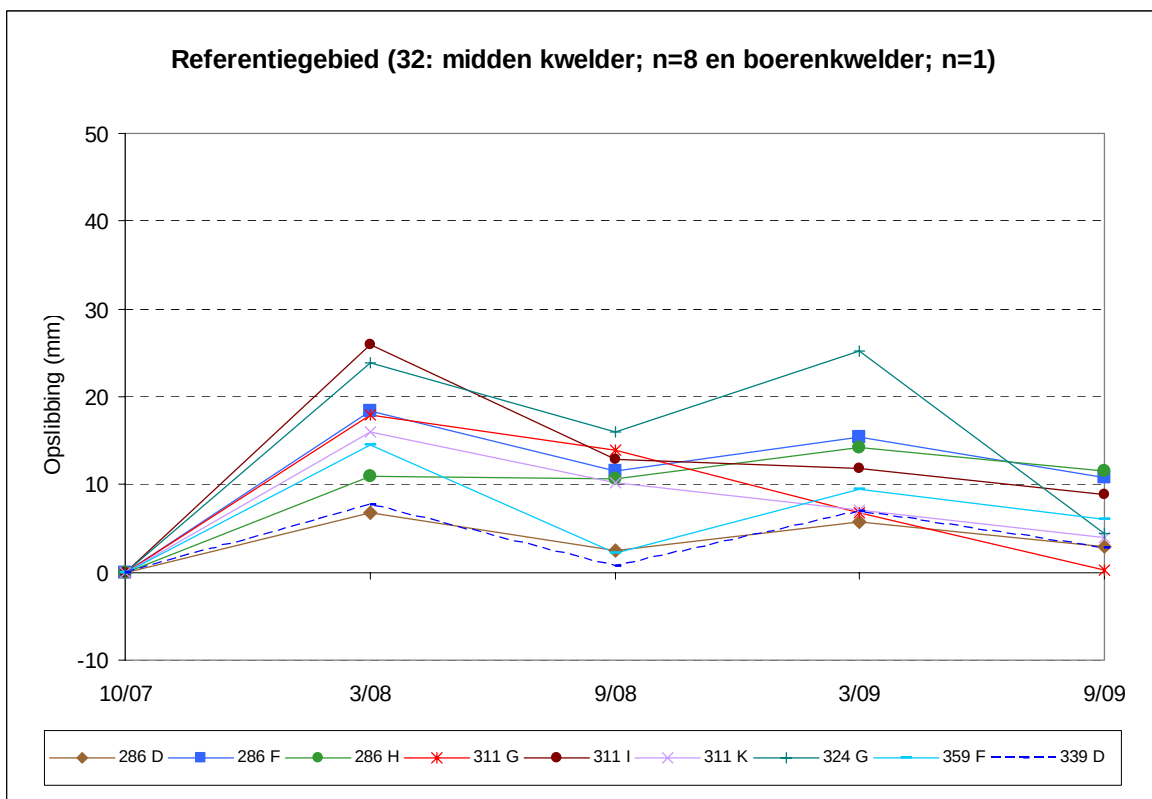
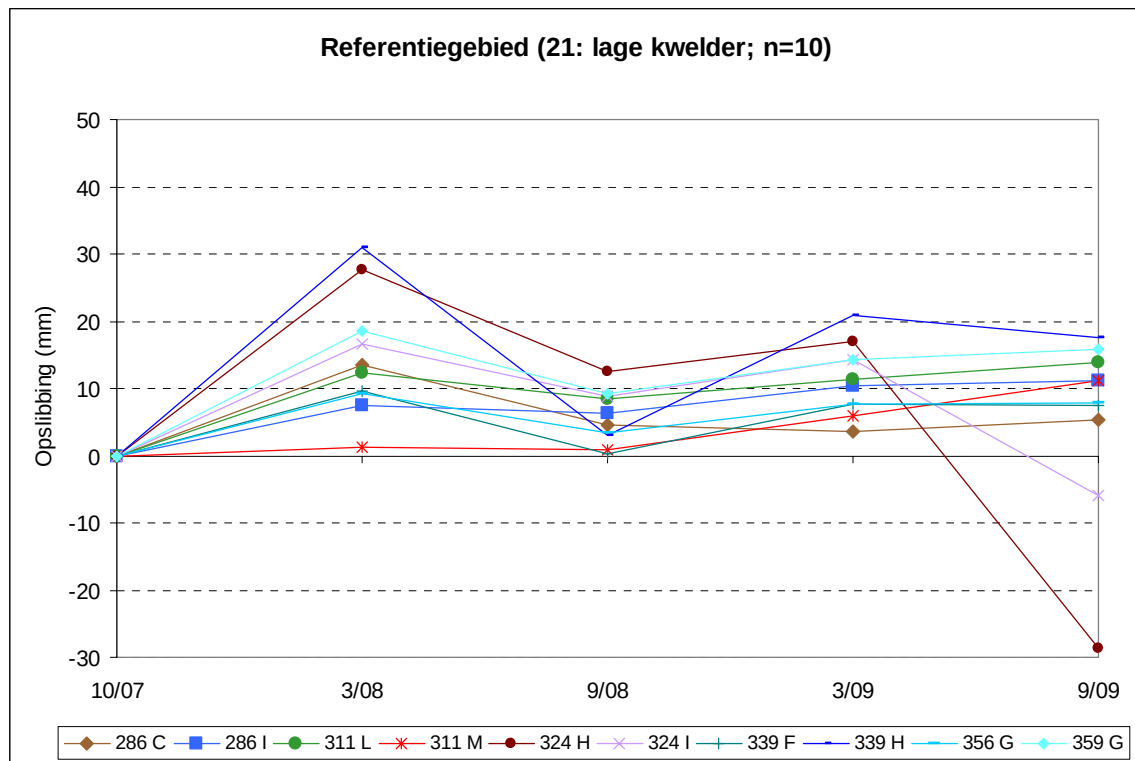
De maaiveldhoogte t.o.v. GHW van de pq's wordt in het jaarrapport over 2010 verwerkt en is hier nog niet in de figuren weergegeven. Voor de opslibbing zie Bijlage 6.



De maaiveldhoogte t.o.v. GHW van de pq's wordt in het jaarrapport over 2010 verwerkt en is hier nog niet in de figuren weergegeven. Voor de opslibbing zie Bijlage 6.

Bijlage 6 Opslibbing afzonderlijke pq's referentiegebied west-Groningen





Verantwoording

Rapportnummer: C008/10
Projectnummer: 439.61087-03
Opdrachtgever: Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.
Postbus 28000
9400 HH Assen

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en beoordeeld door het afdelingshoofd Ecosystemen van IMARES.

Akkoord: Dr. N.M.J.A. Dankers
Senior onderzoeker

Handtekening:



Datum: 10 februari 2010

Akkoord: Drs. F.C. Groenendijk
Afdelingshoofd Ecosystemen

Handtekening:



Datum: 11 februari 2010

Aantal exemplaren: alleen als digitaal bestand
Aantal pagina's: 45
Aantal tabellen: 5
Aantal figuren: 8
Aantal foto's: 5
Aantal bijlagen: 6