

Peazemerlannen 2006: Uitgangssituatie maaiveldhoogte en kweldervegetatie

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



Wageningen IMARES
Postbus 167
1790 AD Den Burg, Texel

Foto omslag: Peazemerlannen 16 oktober 2005 (© J. de Vlas)

Peazemerlanden 2006:
Uitgangssituatie maaiveldhoogte en kweldervegetatie

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

Wageningen IMARES
Postbus 167
1790 AD Den Burg, Texel

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	5
Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Projectdoel en afbakening	11
1.3 Leeswijzer	11
2 Kwelderontwikkeling	13
2.1 Opslibbingsproces	13
2.1.1 Methoden om opslibbing te meten	14
2.2 Oeverwallen en kommen	15
2.3 Klifvorming	15
2.4 Kwelderplasjes (Reents 1995)	16
3 De Peazemerlannen	19
3.1 Gebiedsbeschrijving	19
4 Maaiveldhoogteontwikkeling in de Peazemerlannen	23
4.1 Historische opslibbing en sedimentbudget (van Duin <i>et al.</i> 1997)	23
4.1.1 Hermeting maaiveldhoogte	23
4.1.2 ¹³⁷ Cs-laag	25
4.1.3 Sedimentbeschikbaarheid	25
4.2 Sedimentatie-erosiebalk metingen 1995-2006	26
4.2.1 Methode	26
4.2.2 Resultaten	29
4.3 Conclusies huidige staat en ontwikkeling maaiveldhoogte	32
4.3.1 Pionierzone	32
4.3.2 Kwelder	32
4.3.3 Zomerpolder	33
4.3.4 Buitendijks gebied westkant voor Deltadijk	33
4.3.5 Kweldertje langs strekdam	33
5 Vegetatieontwikkeling in de Peazemerlannen	35
5.1 Basiskaarten/vegetatiekaarten RWS (1992-2006)	35
5.2 Permanente kwadraten bij de SEB-locaties (1995-2006)	38
5.3 Conclusies huidige staat en ontwikkeling vegetatie	71
5.3.1 (Pre-)pionierzone	71
5.3.2 Kwelder	71
6 Opmerkingen m.b.t. beheer en beleid	73
Literatuur	75
Bijlage Verklaring SALT97 codes	79

Samenvatting

Deze studie is verricht in het kader van het bodemdalingsonderzoek door gaswinning in de velden Nes, Moddergat, Lauwersoog-C, Lauwersoog-West, Lauwersoog-Oost en Vierhuizen.

In 2007 is de gaswinning gestart en in dit rapport wordt een overzicht gegeven van de situatie in de vastelandkwelder de Peazemerlanden ten aanzien van de maaiveldhoogteontwikkeling (opslibbing) en vegetatie tot en met 2006. Deze rapportage vormt daardoor een 0-referentie om eventuele effecten van de gaswinning aan te kunnen toetsen.

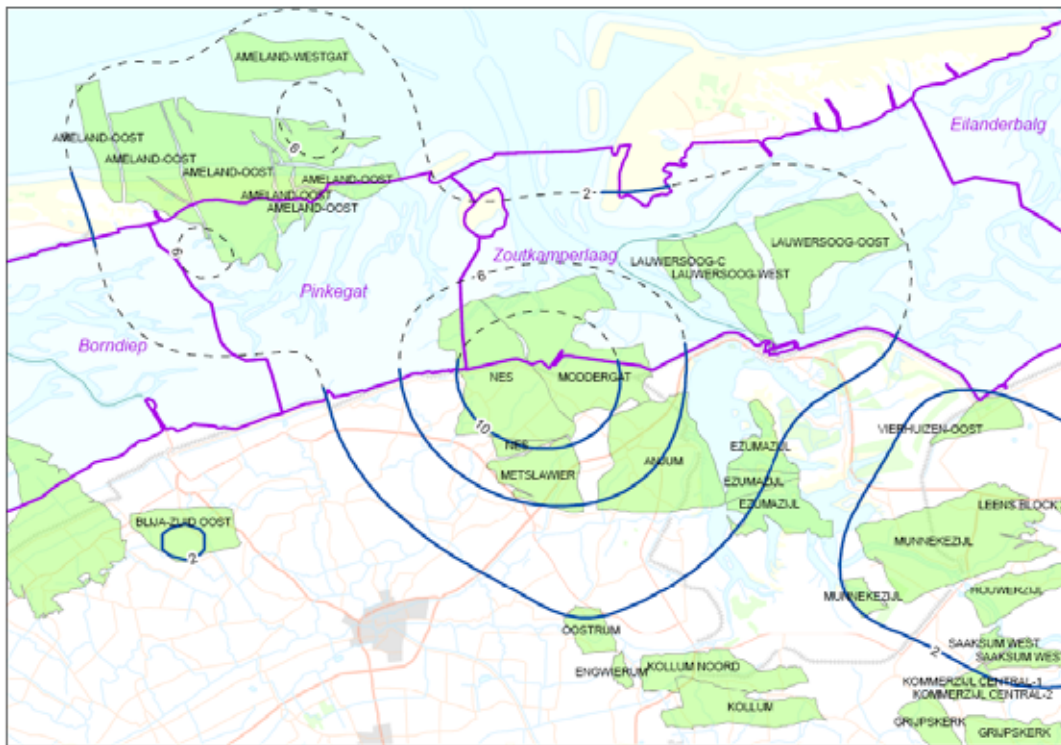
Voor de ontwikkeling van de maaiveldhoogte is gebruik gemaakt van data uit eerder verschenen rapporten die zijn aangevuld met recente data. Daarnaast wordt voor het eerst een overzicht gegeven van de vegetatieontwikkeling in de permanente kwadraten gedurende de afgelopen 10 tot 11 jaar.

Net zo als de overige vastelandskwelders langs de Friese en Groninger kust is de opslibbing ook in de Peazemerlanden ruim voldoende om de gemiddelde zeespiegelstijging bij te houden. Door de toenemende maaiveldhoogte vindt successie van de vegetatie plaats. Deze successie, ook wel veroudering genaamd, treedt een verschuiving in de vegetatiesamenstelling op naar het climaxstadium. Door veroudering neemt de biodiversiteit af tot een stadium waar Zeekweek als vrijwel enige plantensoort aanwezig is. Deze autonome ontwikkeling wordt in de Peazemerlanden slechts vertraagd waar beweiding is of waar de ontwatering achterblijft.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In de tweede helft van de jaren '90 heeft de NAM een aantal proefboringen uitgevoerd naar gasvelden die (deels) onder de Waddenzee liggen. Dat gebeurde vanaf een drietal locaties op het vasteland in Noord-Groningen en Noord-Friesland. De putten werden vanaf land schuin onder de Waddenzee geboord. Daarbij zijn zes gasvelden gevonden die de NAM in productie wil nemen: Nes, Moddergat, Lauwersoog-C, Lauwersoog-West, Lauwersoog-Oost en Vierhuizen-Oost (Figuur 1.1). Na de proefboringen zijn de putten als potentiële productieputten veiliggesteld. De put van de proefboring in Moddergat is inmiddels geschikt gemaakt voor productie (gestart januari 2007).



Figuur 1.1 Verwachte totale bodemdaling (in cm) vanaf 2007 (= start productie vanaf de locatie Moddergat) tot 2040 ten gevolge van de gasproductie uit de nieuwe gasvelden (Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen) in combinatie met naburige reeds producerende velden (Anjumvelden). (Bron: NAM 2006)

In overeenstemming met het advies van de Adviesgroep Waddenzeebeleid (Meijer *et al.* 2004) heeft de overheid geconcludeerd dat er geen ecologische gronden zijn voor het afzien van winning gebonden aan strikte natuurgrenzen (Hoeksema *et al.* 2004). 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 morfologische eenheden binnen het waddensysteem (i.e. de kombergingsgebieden). In de praktijk betekent dit dat per kombergingsgebied de sedimentvraag door zeespiegelstijging plus bodemdaling binnen de ruimte door de natuurlijke aanvoer van sediment blijft.

In de Startnotitie “Milieu Effect Rapportage Aardgaswinning vanaf locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen” (NAM 2005) is het voornemen kenbaar gemaakt de genoemde gasvelden via de landlocaties Moddergat (gemeente Dongeradeel, provincie Fryslân), Lauwersoog en Vierhuizen (beiden gemeente De Marne, provincie Groningen) in productie te willen nemen.

De NAM heeft een bodemdalingsprognose van de Waddenzee gemaakt voor de velden Nes, Moddergat, Lauwersoog-C, Lauwersoog West, Lauwersoog –Oost en Vierhuizen (Figuur 1.1). De voorgenomen gaswinning op de locaties bedraagt meer dan 500.000 m³ per dag per locatie. Ten gevolge van gaswinning zal aan de oppervlakte een gelijkmatige schotelvormige bodemdaling optreden. De effecten van bodemdaling manifesteren zich verschillend in de onderscheiden deelgebieden. Dit is het gevolg van de aan- of afwezigheid van sedimentatieprocessen die een zekere daling kunnen compenseren. Op land is aangetoond dat bodemdaling zich manifesteert in de vorm van een ondiepe schotel. Om bovenstaande redenen is in Figuur 1.1 op het wad de bodemdaling per komberging weergegeven, terwijl op land contourlijnen aangegeven zijn. Op het wad wordt bodemdaling meestal in volume aangegeven, terwijl dat op land (bijv. kwelders) in centimeters gebeurt.

De bodemdaling van de nieuwe velden overlapt met die van Ameland en Anjum. Om het cumulatieve effect te kunnen bepalen dient gebruik gemaakt te worden van afzonderlijke prognoses voor bestaande en nieuwe winning. Op grond van de laatste berekeningen wordt door de NAM de bodemdaling op het land voorspeld zoals getoond in Figuur 1.1 en Tabel 1.1 (NAM 2006).

Tabel 1.1 Voorspelde bodemdalingsnelheid op de kwelders bij Paesens (gegevens NAM 2006).

Periode	Bodemdaling (cm/jaar)
<i>Totaal incl. Waddenzee</i>	
2007 – 2010	1,0
2010 – 2015	0,7
2015 – 2020	0,5
2020 – 2030	0,2
2030 – 2040	0,1
<i>Huidige producerende velden</i>	
2005 – 2007	0,3
2007 – 2010	0,1

Voor een uitgebreide beschrijving van de wijze waarop de bodemdaling wordt berekend zie Oost *et al.* (1998).

Op initiatief van de NAM is eind 1994 een onderzoek gestart om informatie te verzamelen over de opslibbing in de Peazemerlannen (Van Duin *et al.* 1997). Ten behoeve van de MER (NAM 2006) is een overzicht gemaakt van de natuurwaarden in de kombergingsgebieden Pinkegat en Zoutkamperlaag (Meesters *et al.* 2006). Hiervoor is gebruik gemaakt van de beschikbare en uitgewerkte gegevens tot en met 2005. Met het van start gaan van de gaswinning vanuit de landlocatie Moddergat begin 2007 ontstond de noodzaak de nulsituatie in de Peazemerlannen goed vast te leggen waarbij ook nog niet verwerkte vegetatie-data gebruikt zouden worden en data die in 2006 verzameld waren.

1.2 Projectdoel en afbakening

In dit rapport wordt een beschrijving gegeven van de situatie betreffende maaiveldhoogte en vegetatie in de Peazemerlannen in 2006. Daarnaast wordt aan de hand van data die sinds 1995 zijn verzameld een overzicht gegeven van de natuurlijke ontwikkeling in de Peazemerlannen. Het doel van deze rapportage is het vastleggen van de situatie in het gebied tot vlak voor de gaswinning die in 2007 van start is gegaan. Door deze 0-rapportage kunnen eventuele effecten op de Peazemerlannen als gevolg van bodemdaling door de gaswinning in de kombergingsgebieden van de Zoutkamperlaag en het Pinkegat beter geconstateerd worden.

Het rapport is een aanvulling op Meesters *et al.* (2006) wat betreft opslibbing en vegetatieontwikkeling in de Peazemerlannen, maar gaat niet in op andere (a)biotische ontwikkelingen in deze of andere kwelders of kombergingsgebieden.

1.3 Leeswijzer

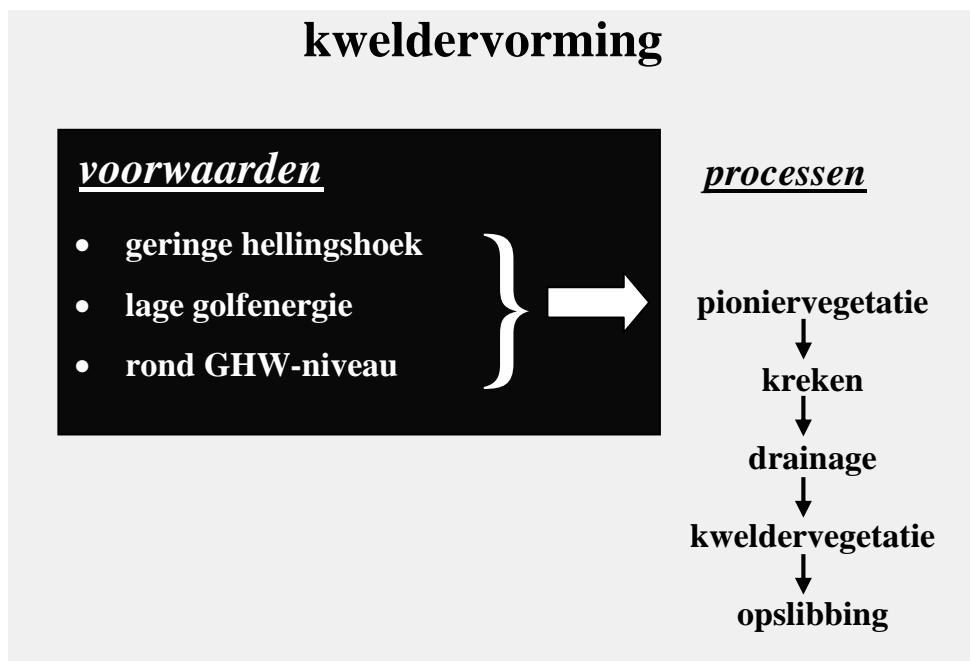
Allereerst worden enkele algemene zaken besproken die van belang zijn voor kwelderontwikkeling. Vervolgens wordt na een korte gebiedsbeschrijving, op basis van bestaande kennis, een overzicht gegeven van de historische ontwikkeling en de huidige status van de maaiveldhoogte en vegetatie in de Peazemerlannen.

2 Kwelderontwikkeling

Volgens Steers (1977) is een belangrijk kenmerk van kwelders dat ze morfologisch niet op elkaar lijken. Daarom is het noodzakelijk de details van iedere kwelder goed te bekijken, zoals het getijdenregime, sedimenttype en sedimentatiesnelheid, de ondergrond waarop de sedimenten liggen, de helling en de oneffenheid van deze ondergrond en het patroon van de vegetatie. Ondanks de vele verschillen vinden bepaalde processen in bijna iedere kwelder toch op min of meer dezelfde manier plaats.

2.1 Opslibbingsproces

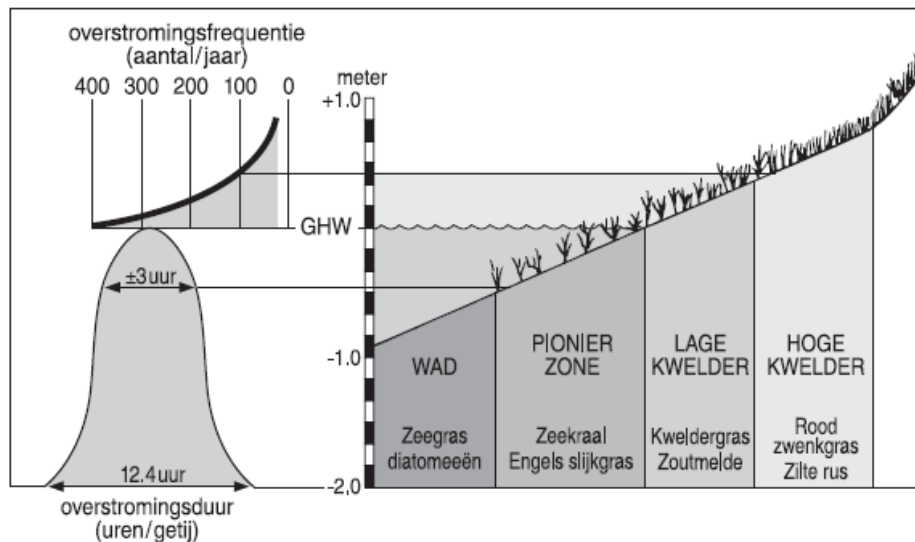
Bij kweldervorming spelen een aantal factoren een bepalende rol (Figuur 2.1): de hoeveelheid sediment die aangevoerd wordt, de hydrodynamische omstandigheden (golfhoogte, stroomsnelheid van het water), de morfologie (overstromingsfrequentie, afstand tot de Waddenzee, afstand tot de kreken, de ligging in het oeverwallen-kommen systeem; Stoddart *et al.* 1989, Van Duin *et al.* 1997, Esselink 2000) en de structuur en biomassa van de vegetatie (Nyman *et al.* 1993). In de Waddenzee is normaal gesproken voldoende sediment aanwezig voor een hoge opslibbing langs de vastelandkust (Kamps 1956, 1962, Van den Bergs *et al.* 1992). In vergelijking met het kale wad wordt op de begroeide kwelder een hogere opslibbing gevonden (Dijkema *et al.* 1990, Dijkema 1997). De belangrijkste bijdrage van de vegetatie is, naast invangen van sediment, het dempen van de golven (Moeller *et al.* 1997).



Figuur 2.1 Voorwaarden en processen bij kweldervorming.

Laaggelegen kwelders worden tijdens hoge hoogwaters (bijvoorbeeld rond springtij) regelmatig overstroomd door het getijdewater (Figuur 2.2). Naarmate de hoogteligging toeneemt, neemt het aantal overstromingen af. Hoge kwelders/kwelderzones worden nog slechts incidenteel

overstroomd. Omdat kwelders in het bereik van het getij liggen kan er sedimentatie en/of erosie plaatsvinden.



Figuur 2.2 Voorbeeld van zonerings- en inundatiefrequentie (naar Erchingen 1985).

Planten spelen een essentiële rol in de kweldervorming (Figuur 2.2). De belangrijkste pionierplant Zeekraal is eenjarige en groeit vanaf enkele decimeters onder gemiddeld hoogwater (GHW). Zeekraal faciliteert de eerste vorming van krekens en de vestiging van Gewoon kweldergras. Rond het niveau van GHW bereikt dit meerjarige kweldergras voldoende bedekking om:

- De opslibbing op te voeren tot de hoogste waarden in de gehele kweldervorming (Wohlenberg 1933, Jakobsen 1954, Andresen *et al.* 1990, Dijkema 1997, Dijkema *et al.* 2001).
- Het krekensysteem verder te ontwikkelen. De betere ontwatering door het krekensysteem is doorslaggevend voor de groei van de meeste kwelderplanten en bevordert de successie naar de opvolgende vegetatietypen in de kwelderontwikkeling (Yapp *et al.* 1917, Grotjahn *et al.* 1983, Dijkema *et al.* 1991 2001, French & Stoddart 1992, Reents 1995).
- Erosie van de jonge kwelder tegen te gaan (Wohlenberg 1953, Kamps 1956 1962, Von Weihe 1979).

De opslibbing en de vastlegging van slib wordt in deze fase van kwelderontwikkeling door de vegetatie gestimuleerd, want eigenlijk zou er door het afnemende aantal overstromingen door de toenemende kwelderhoogte minder slib moeten worden afgezet. Bij het verder toenemen van de kwelderhoogte neemt de opslibingssnelheid uiteindelijk wel af door het geringere aantal overstromingen. Of het omgekeerde het geval is, dus of bodemdaling zorgt voor meer opslibbing op de kwelder, is een belangrijke vraag. De monitoring op Ameland zal daar in de komende jaren wanneer de bodemdaling afneemt een antwoord op geven (Dijkema *et al.* 2005a).

2.1.1 Methoden om opslibbing te meten

Er zijn verschillende methoden om opslibbing te meten. De verticale verdeling van radionucliden (bijv. ^{210}Pb) in de grond en pollen analyses geven een beeld van het verloop van de opslibbing over

periodes van 100 tot 200 jaar (Kearney *et al.* 1994). De activiteit van het radio-isotoop ^{137}Cs kan gebruikt worden om de gemiddelde opslibbingsnelheid gedurende enkele decades te bepalen (Ehlers *et al.* 1993, Milan *et al.* 1995). Het Cesium-137 dat in de grondlagen wordt aangetroffen is voornamelijk afkomstig van bovengrondse kernbomproeven tussen 1955 en 1963. Door het ongeluk met de kerncentrale in Tsjernobyl in 1986 ontstond er een duidelijk dateerbare horizont met een ^{137}Cs -concentratie die veel hoger ligt dan die veroorzaakt door de 'fall-out' afkomstig van vroegere kernbomproeven. Deze methoden kunnen alleen gebruikt worden als de bodem niet erg dynamisch is. Erosie en andere (plaatselijke) grondverplaatsingen, zoals bij bioturbatie, kunnen voor een zodanige verstorend van de bodemlagen zorgen dat deze methodes onbetrouwbaar worden.

Gegevens over recente sedimentatie worden vaak verzameld door gebruik te maken van zand-, houtskool- of gravellagen (de Glopper 1981, Stoddart *et al.* 1989), ingegraven bamboe stokjes (Ranwell 1964) of opslibbingsplaten (Dijkema *et al.* 2005a), of een filtertechniek zoals beschreven door Reed (1989). Deze laatste methode is bij uitstek geschikt om de hoeveelheid sediment te bepalen die gedurende één (storm) tij of enkele tijen wordt aangevoerd. Nadeel van veel van de bovengenoemde methoden is dat ze alleen bruikbaar zijn bij opslibbing. In geval van erosie kan de, al dan niet zelf aangebrachte, referentielaag worden weggespoeld. De '*sedimentation-erosion bar*' (SEB; zie §3.3) of '*sedimentation-erosion table*' (SET) (Boumans & Day 1993) zijn wel geschikt om beide processen te meten. Bovendien kunnen ze zowel op het kale wad als in de begroeide kwelder gebruikt worden zodat het effect van de vegetatie op opslibbing en erosie mede bepaald kan worden.

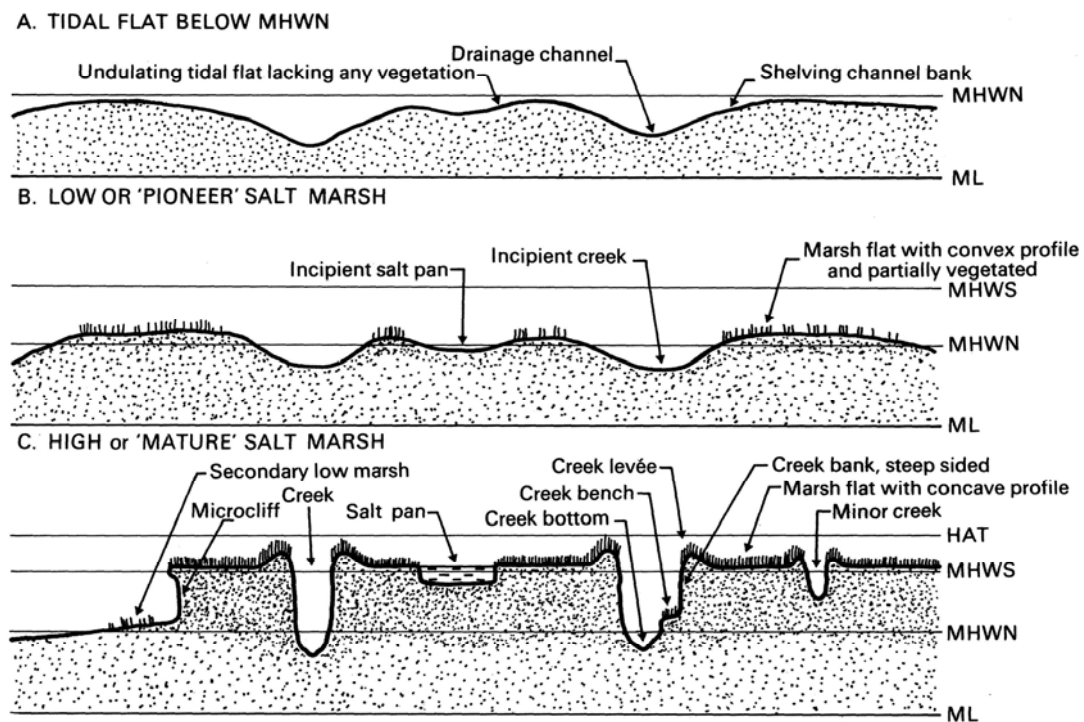
2.2 Oeverwallen en kommen

In de meeste kwelders met een natuurlijk krekensysteem is een reliëf aanwezig, waarvan de oeverwallen en kommen een groot deel uitmaken (Yapp *et al.* 1917; van Straaten 1965; de Glopper 1967; Verhoeven & Akkerman 1967; Steers 1977; Long & Mason 1983; Carter 1988; Adam 1990; Reents 1994). De oeverwallen ontstaan vooral langs de randen van grotere krekken. Het water komt met grote snelheid de krekken binnen. Als het over de kreekranden heen stroomt, verliest het water meteen aan snelheid en daarmee aan transportkracht. De grotere en zwaardere deeltjes van het meegevoerde sediment worden dicht bij de kreekrand afgezet. Het fijnere en lichtere materiaal kan pas bezinken als het water nog meer tot rust komt, verder van de krekken af. Op deze manier wordt het materiaal gesorteerd en ontstaan de oeverwallen uit de grotere en zwaardere deeltjes, terwijl in de kommen het fijnere en lutumrijkere slib afgezet wordt. Het hoogteverschil tussen oeverwallen en kommen wordt later nog versterkt doordat het lutumrijkere sediment een grotere inklinking vertoont (Verhoeven & Akkerman 1967). Langs kleinere krekken zijn geen oeverwallen te vinden. Hier heeft het instromende water niet meer zoveel transportkracht en bovendien voeren deze krekken veel meer water af dan aan (z.g. ebkrekken) (Verhoeven & Akkerman 1967).

2.3 Klifvorming

Zolang kwelders horizontaal groeien is er een geleidelijke overgang in hoogte van pionierzone naar kwelder (Figuur 2.2). Stagneert de aanwas, dan ontstaat op natuurlijke wijze een kwelderklif (Figuur 2.3). Stabiele kwelders bestaan niet, tenzij als gevolg van beheermaatregelen (bezinkvelden of oeververdediging). De oorzaak van klifvorming is de genoemde hoge opslibbing in de kweldervegetatie, terwijl de opslibbing in de aangrenzende eenjarige pionierzone alleen in de

groeifase hoog genoeg is om een geleidelijke overgang in stand te houden. Een eroderende of zelfs een stabiele pionierzone leidt altijd tot een kwelderklif met terugschrijdende erosie van de kwelder. Zeewaarts van een klif ontstaat in een stabiele of in een opslibbende pionierzone soms nieuwe kwelderaanwas. Een dergelijke secundaire kwelder kan na verloop van tijd ook weer een klif vormen (Yapp *et al.* 1917; van de Koppel *et al.* 2005). De pionierzone is daarom een gevoelig gebied voor zeespiegelstijging en bodemdaling (Dijkema *et al.* 1990; Dijkema 1997). Op de Waddeneilanden bepalen natuurlijke morfologische processen wat de opslibbingsbalans in de pionierzone is. De natuurlijke processen van opbouw en afslag mogen op grond van het bestaande beleid ongestoord hun gang gaan, omdat het kwelderareaal op de eilanden veel groter is dan op grond van historische referenties verwacht mag worden (Dijkema 1987; Dijkema *et al.* 2005b). Langs het vasteland wordt de opslibbingsbalans in de pionierzone voor een belangrijk deel bepaald door de beheermaatregelen in de kwelderwerken (Dijkema *et al.* 2001). De processen van opbouw en afslag worden daar door rijshoutdammen gereguleerd, omdat het kwelderareaal veel kleiner is dan de historische referentie voor het kwelderareaal langs het vasteland van de Waddenzee.



Figuur 2.3 Vorming van patronen van krekken, oeverwallen, kommen, plassen en kliffen in een kwelder (Long & Mason 1983).

2.4 Kwelderplasjes (Reents 1995)

Kwelderplassen of poeltjes komen in bijna alle kwelders voor. Er bestaan meerdere typen die door hun ontstaan gekarakteriseerd zijn (Yapp *et al.* 1917; French *et al.* 1990):

- De primaire plasjes ontstaan gelijktijdig met de kwelder. Door de onregelmatige vestiging van vegetatie kunnen open gebleven plekken helemaal door een vegetatiedek worden omsloten, met het gevolg dat het water niet meer aflopen kan (ook Steers 1959; Pestrong 1965; Steers 1977; Long & Mason 1983). Deze poeltjesvorming gebeurt niet overal, volgens Adam (1990) zijn er

pionierplanten (bijv. *Salicornia*) die een gelijkmatige vegetatiebedekking vormen en die door krekten doorbroken kan worden.

- De secundaire plasjes ontstaan eigenlijk op dezelfde manier als de primaire poeltjes, alleen zijn zij bestanddeel van de secundaire kwelder en liggen tegen de kwelderrand aan, waar neerstortende brokken klei een laagte kunnen afsluiten.
- Kreek plasjes ontstaan doordat krekten afgedamd worden door laterale erosie, waarbij de neerstortende brokken de kreek afdammen, of door dichtslibbing van een kreekgedeelte waarbij de ontwatering geblokkeerd wordt. Deze kreek poeltjes hebben meestal een langgerekte vorm en liggen vaak in het verlengde van een kreek.
- Kleinere plasjes kunnen de resten van grotere poeltjes zijn, die op de een of andere manier verbinding met krekten hebben gekregen (bijv. door de terugschrijdende erosie van krekten of door erosie van de poeltjesranden), zodat de afwatering weer hersteld werd.

Ook op oude, min of meer stabiele, kwelders kunnen nieuwe poeltjes ontstaan (Warming 1904, Ranwell 1964 en Pethick 1974, alle in French *et al.* 1990). Door het blijven liggen van aanspoelsel (vooral algen), door de invloed van dieren (vertrapping, kaal eten), door ijs (hogere breedtegraden) of door hoge saliniteit over een lange periode sterft de vegetatie af en er ontstaan kale plekken. Als er gedurende langere tijd water op een kale plek blijft staan, dan wordt de herbegroeiing met vegetatie belet en ontstaat een poeltje. De dichtheid van plasjes neemt met toenemende kwelderhoogte toe en de grootste hoeveelheid poeltjes ligt dicht bij de kwelderrand, waar vaak ook het grootste gedeelte van het aanspoelsel ligt (Pethick 1974 in French *et al.* 1990). Kwelderplasjes blijven in stand doordat er gedurende lange tijd water in blijft staan. Door kleine windgolfjes kunnen de randen van de poeltjes eroderen en groter worden. Als met hoge tijden water de poeltjes binnen stroomt, ontstaan wervels die de kwelderplasjes een afgeronde vorm geven (Yapp *et al.* 1917; Pestrong 1965; Steers 1977). Door ontwatering, het overgroeien van de randen en door de vorming van bulten binnen een poeltje kunnen deze kleiner worden of verdwijnen (Yapp *et al.* 1917). Als een kwelderplasje ontwaterd wordt dan kunnen zich weer planten vestigen en blijft er alleen maar een laagte over (Steers 1959). Kwelderplasjes kunnen dus in grootte toe- of afnemen, hun vorm en positie kan veranderen en uit een verbinding van meerdere kleine plasjes kan een grote poel ontstaan (Yapp *et al.* 1917).

3 De Peazemerlannen

In het bodemdalingsgebied in noordoost-Friesland liggen drie vastelandkwelders: 't Schoor, Wierum en de Peazemerlannen. De laatste is de enige grote kwelder in noordoost-Friesland. Daarover is de meeste kennis beschikbaar en die is in dit rapport bijeengebracht. De abiotiek zal vooral de bestaande kennis over opslibbing in het gebied betreffen en de biotiek zal zich op de vegetatie concentreren. Voor informatie over de vogels en een overzicht van gegevens met betrekking tot andere beschermde organismen die in het gebied voorkomen wordt verwezen naar Meesters *et al.* 2006. Daar is ook de beschikbare informatie over de kwelders 't Schoor en Wierum opgenomen. In dit hoofdstuk zal eerst een korte gebiedsbeschrijving worden gegeven. Vervolgens wordt informatie gegeven over de historische opslibbing en sedimentbudgetmetingen. Dit betreft gegevens die in 1995-1996 verzameld zijn door van Duin *et al.* (1997).

In § 3.3 en 3.4 wordt een overzicht gegeven van resp. de ontwikkeling van maaiveldhoogte en vegetatie tot en met 2006. De in deze twee paragrafen genoemde methoden (abiotiek: sedimentatie-erosie balk meting; vegetatie: vegetatiekaarten RWS en permanente kwadraten) zullen gedurende de gehele gaswinningsperiode worden gebruikt om eventuele effecten van bodemdaling te ontdekken.

3.1 Gebiedsbeschrijving

De Peazemerlannen zijn gelegen in het uiterste noordoosten van Friesland bij de plaatsen Peazens en Moddergat. Het Wetterskip Fryslân is eigenaar van het gebied en It Fryske Gea is de beheerder (kwelder in pacht tot 2014).

In dit gebied is eerst in opdracht van NAM en daarna op eigen initiatief van IMARES vanaf 1994 onderzoek naar de opslibbing en de ontwikkeling van de vegetatie uitgevoerd. Net zoals de overige kwelders en zomerpolders langs de Friese en Groninger kust is het gebied voornamelijk via landaanwinningswerken ontstaan (Dijkema *et al.* 2001). Op kaarten van het gebied uit 1861 is te zien dat er greppels op het wad waren gegraven en een strekdam was gebouwd op de huidige locatie. Op de topografische kaart van 1927-1930 zijn de ontstane kwelderakkers al duidelijk waar te nemen, maar er liggen nog geen zomerkades om het gebied. De hoogtijjaren voor de landaanwinning met een grootschalige aanpak waren van 1954 tot 1964. Vanaf 1970 is de actieve landaanwinning gestopt (De Raad 1993).

De Peazemerlannen liggen grotendeels ingesloten tussen een in 1974-1976 op Deltahoogte gebrachte zeedijk in het zuiden en een gedeeltelijk verwoeste bitumen zomerkade in het noorden (ca. 3,10 m + NAP; aangelegd in 1951). Halverwege de Deltadijk en de noordelijke kade loopt een groene zomerkade die nog intact is (ca. 2,25 m + NAP; aangelegd in 1945). Tijdens een storm in april 1973 is het midden van de bitumen zomerkade van 1951 doorgebroken. Vanaf dat moment vindt er weer uitwisseling van zeewater en sediment plaats tussen de Waddenzee en de noordelijke zomerpolder (Foto 3.1 en 3.2). In het winterseizoen daarop heeft een groot aantal stormvloedten plaatsgevonden waarna de herstelpogingen om financiële redenen werden gestaakt (Dhr. G.J. de Weert, voormalig dijkopzichter waterschap De Contributie Zeedijken van Westdongeradeel en hoofd technische dienst waterschap Eastergoa's Sédiken, pers. comm.). In 1979 is een tweede deel van de bitumen zomerkade (in het westen) weggeslagen. Als gevolg van deze spontane verkweldering kon zich in de noordelijke zomerpolder een dynamische kwelder ontwikkelen met oeverwallen en kommen, met een diverse zilte vegetatie en met een omvangrijke avifauna.



Foto 3.1 De Peazemerlanden (KLM Aerophoto 24 mei 1987)



Foto 3.2 De Peazemerlanden. (GoogleEarth 2006)

In de Peazemerlannen zijn de volgende deelgebieden te onderscheiden:

1. Zomerpolder, 89 ha. Intensief begraasd grasland, voornamelijk schapen. Aan alle zijden door (zomer)dijken omgeven, waardoor de overstromingsfrequentie en daarmee de opslibbing sterk verminderd wordt. Lozing van overtollig zeewater en regenwater vindt plaats door negen (klep)duikers.
2. Buitendijks kweldergebiedje in het westen dat onder te verdelen is in:
 - a. het hooggelegen deel voor de Deltadijk, 15 ha; langs de wadkant voorzien van oeverbescherming in de vorm van palen en stortsteen. Net zoals de zomerpolder intensief begraasd door schapen,
 - b. het laaggelegen deel langs de strekdam, 4 ha. Extensief beweid.
3. Kwelder (de voormalige noordelijke zomerpolder) achter de doorgebroken zomerkade, 100 ha. Onbeweid (behoudens incidenten) en nog onder te verdelen in:
 - a. oeverwallen
 - b. lage kwelder
 - c. kommen/secundaire pionierzone
4. Primaire pionierzone, onder te verdelen in:
 - a. delen achter de gaten in de bitumen zomerkade, 15 ha.
 - b. recente ontwikkeling van pionierzone op het wad buiten de bitumen zomerkade.

De zomerpolder (1) en de kwelder (3 + 4a) zijn qua areaal verreweg de belangrijkste deelgebieden (samen ca. 200 ha). De primaire pionierzone achter de gaten in de bitumen zomerkade (4a) is door Van Duin *et al.* (1997) en door Oost *et al.* (1998) als kwetsbaar gebied voor bodemdaling aangewezen. De deelgebieden worden hierna verder apart behandeld, waarbij moet worden opgemerkt dat over deelgebiedje 2 weinig informatie beschikbaar is.

De Peazemerlannen zijn aangewezen als natuurmonument volgens de Natuurbeschermingswet. In dit kader wordt de huidige afwisseling van kwelder en grasland in de zomerpolder als karakteristiek en waardevol aangemerkt, met name voor de vogels (zie ook: Natura 2000, Ontwerpbesluit Waddenzee op www.minlnv.nl/natuurwetgeving, Habitatypen Pioniervegetaties (1310) en Atlantische schorren (1330)).



Foto 3.3 Vliegerfoto van het westelijke deel van de kwelder van de Peazemerlannen. (© Jaap de Vlas)



Foto 3.4 Vliegerfoto van het midden en oostelijke deel van de Peazemerlannen (links de kwelder, rechts de zomerpolder). (© Jaap de Vlas)

4 Maaiveldhoogteontwikkeling in de Peazemerlannen

Ten aanzien van de opslibbing wordt eerst een samenvatting gegeven van de bevindingen uit van Duin *et al.* (1997). Vervolgens worden de recente opslibbingsmetingen behandeld.

4.1 Historische opslibbing en sedimentbudget (van Duin *et al.* 1997)

Uit vooronderzoek dat in 1993 in opdracht van NAM door Alterra-Texel (nu IMARES-Texel) en de Universiteit Utrecht is uitgevoerd (Oost & Dijkema 1993), bleek dat de Peazemerlannen het meest gevoelige gebied voor bodemdaling waren. Die conclusie was niet op metingen in de kwelder gebaseerd, maar wegens het ontbreken van data op voorzichtige aannames voor de opslibbing. In de periode eind 1994-1996 is daarom door Alterra-Texel (nu IMARES-Texel), wederom in opdracht van de NAM, een onderzoek uitgevoerd naar de (historische) opslibbing en vegetatie in de Peazemerlannen. Het onderzoek is deels uitgevoerd in samenwerking met het Kernfysisch Versneller Instituut (KVI) uit Groningen. De resultaten kunnen beschouwd worden als nulmeting en zijn vastgelegd in Van Duin *et al.* (1997). Dit rapport maakt onderdeel uit van de Integrale Bodemdalingstudie (Oost *et al.* 1998). De opslibbing is toen onderzocht met verschillende methoden:

- hermeting: vergelijking van de maaiveldhoogte in 1996 met gegevens van een uit 1964 stammende hoogtekaart. Dit leverde een opslibbingsgetal op over de periode 1973 (doorbraak zomerkade) -1996,
- Cesium 137-datering. Dit leverde gegevens over de opslibbingsperiodes 1973-1986 en 1986-1996,
- de sedimentatie erosie balk (SEB). Dit leverde gegevens over 1995-1997.

Daarnaast zijn toen metingen aan import en export van sediment gedaan om de processen van opslibbing en erosie te kunnen verklaren.

Gezien het belang van dit onderzoek aan een spontaan verkwelderde zomerpolder zijn de metingen van de opslibbing met behulp van de SEB vanaf 1997 door Alterra-Texel (nu IMARES-Texel) op eigen initiatief voortgezet. De reeks SEB-metingen is nu zo lang en de opslibbingscondities zijn zo divers, dat de SEB-gegevens als beste schatting van de actuele opslibbing in de verschillende zones kunnen worden beschouwd, beter dan de in 1997 gepubliceerde metingen. Mede daarom zal de SEB-methode ruim aandacht krijgen in dit rapport. Voor een uitgebreide beschrijving van de eerdere opslibbingsmethoden en -resultaten wordt verwezen naar Van Duin *et al.* (1997). De belangrijkste resultaten en conclusies uit dat rapport zullen hieronder kort behandeld worden.

4.1.1 Hermeting maaiveldhoogte

Op basis van de gegevens die bekend waren van een hoogtekaart uit 1964 is in 1996 een hermeting gedaan van de maaiveldhoogte. Door de hoogtes uit de twee jaren met elkaar te vergelijken kon een schatting gemaakt worden van de opslibbing die heeft plaatsgevonden vanaf het moment dat de zomerkade doorbrak in 1973.

Op de meetpunten in de zomerpolder (Deelgebied 1, inclusief enkele punten op de groene zomerkade) varieerde de maaiveldhoogte in 1996 van 0,91 tot 2,92 m+NAP (gemiddeld 1,60 m). De hermeting leverde een gemiddelde netto lange termijn daling van het bodemniveau op van 0,3 mm/jaar (o.a. door inklink en betreding).

Het in het westen gelegen buitendijkse deelgebied (2) viel, ook wat verandering in bodemhoogte betreft, duidelijk uiteen in twee delen:

- a. De maaiveldhoogte van de meetpunten voor de Deltadijk varieerde van 1,31 tot 1,91 m+NAP (gemiddeld 1,64) met een gemiddelde lange termijn opslibbing van 0,50 cm/j.
- b. De maaiveldhoogte van de meetpunten langs de strekdam varieerde van 0,80 tot 1,07 m+NAP (gemiddeld 0,92), met een lange termijn erosie van 2,12 cm/j.

In de kwelder (deelgebieden 3 en 4) kwam de gemiddelde netto lange termijn opslibbing voor de 115 meetpunten uit op 16,1 mm/jaar.

Voor de afzonderlijke kwelderzones, ingedeeld op grond van de vegetatie-opnames en de ontwateringstoestand, zijn de volgende gemiddelde opslibbingscijfers gevonden (zie ook Tabel 4.1):

- 3a. Midden kwelder (oeverwallen); hooggelegen met Zeekweek (*Elytrigia atherica*)¹ als dominante soort: 22,5 mm/jaar (47 meetpunten; maaiveldhoogte 1,26 tot 2,14 m +NAP, gemiddeld 1,56 m).
- 3b. Lage kwelder; met Gewoon kweldergras (*Puccinellia maritima*) als dominante soort: 15,6 mm/jaar (29 meetpunten; maaiveldhoogte 1,23 tot 2,02 m +NAP, gemiddeld 1,40 m).
- 3c. Secundaire pionierzone (kommel); met Zeekraal (*Salicornia spec.*) als dominante soort: 10,9 mm/jaar (24 meetpunten; maaiveldhoogte 1,14 tot 2,14 m +NAP, gemiddeld 1,33 m).
- 4a. De primaire pionierzone; gelegen achter de gaten in de zomerkade: 5,4 mm/jaar (15 meetpunten; maaiveldhoogte 0,88 tot 1,35 m +NAP, gemiddeld 1,06 m). Hoewel de vegetatie in deze categorie overeenkomt met die in de kommen is er toch een aparte groep van gemaakt omdat de punten in de primaire pionierzone door een grotere blootstelling aan golfenergie veel gevoeliger zijn voor erosie. Dat is een gevolg van de geringere vegetatiebedekking.

De situatie achter de gaten in de zomerkade wijkt sterk af van het beeld op de rest van de kwelder. Net boven de ondergrens van de vegetatie zijn de hydrodynamische condities erg ongunstig en is de bedekking van *Salicornia* en *Puccinellia* minimaal. Achter het gat was zelfs op een hoogte van 1,23 m + NAP nog maar slechts 50% van het bodemoppervlak begroeid met *Salicornia* als enige soort, terwijl *Puccinellia* op die hoogte normaal gesproken al dominant en bodembedekkend had behoren voor te komen. Daarom is een apart deelgebied (4a) onderscheiden: de primaire pionierzone (achter het gat in de buitenste zomerkade). De planten in deze zone zullen een geringere bijdrage aan optimalere condities voor de sedimentatie kunnen leveren. De pionierzone van vastelandkwelders is als hét probleemgebied bij zeespiegelstijging en/of bodemdaling beschreven (Dijkema *et al.* 1990; Oost & Dijkema 1993; Dijkema 1997; Oost *et al.* 1998).

De aanwezigheid, samenstelling en de bedekking van de vegetatie en de netto opslibbing in de Peazemerlannen bleken niet uitsluitend door de overstromingsfrequentie te worden bepaald, maar ook door het patroon van oeverwallen en kommen. Dezelfde bevindingen zijn gedaan door Esselink *et al.* (1998) in de Dollard.

¹ Nomenclatuur volgens van der Meijden 2005

Tabel 4.1 Gemiddelde netto opslibbing/erosie (mm/jaar) in de Peazemerlannen gemeten tijdens de hermeting, de ¹³⁷Cs-methode en met de sedimentation-erosion balk (SEB) in twee periodes.

Deelgebied	Hermeting 1964-1996	n	¹³⁷ Cs 1973-1986 en 1986-1996	n	SEB jan 1995- mrt 1997	n	SEB jan 1995- mrt 2006	n
<i>Kwelder (gemiddeld)</i>	16,1	115			8,1	25		27
Midden kwelder (oeverwal)	22,5	47			10,8	6	14,6	15
Lage kwelder (kom)	15,6	29	10,0	2	8,1	11	11,1	9
Sec. pionier (kom)	10,9	24			4,1	6	7,2	2
Prim.pionier (gat)	5,4	15			12,3	2	22,4	1
<i>Buitendijks (gemiddeld)</i>		19						
Voor Deltadijk	5,0	15						
Langs strekdam	-21,2	4						
<i>Zomerpolder</i>	-0,3	89			-7,0	3	-2,0	3

4.1.2 ¹³⁷Cs-laag

In 1996 zijn twee bodemkernen van 30 cm gestoken op de lage kwelder bij pq 18. Uit de resultaten van de spectrometrie analyse (Venema 1997) konden duidelijke aanwijzingen over de opslibbing over een langer tijdsbestek verkregen worden. De activiteitsconcentraties vertoonden twee scherpe pieken in het ¹³⁷Cs-profiel: één op 10 cm diepte (te verklaren door cesiumafzetting na het ongeluk bij de kerncentrale in Tsjernobyl in 1986) en één op 22 cm diepte (veroorzaakt door cesiumafzettingen door o.a. bovengrondse kernproeven vóór de dijkdoorbraak in 1973). Van zowel 1973 tot 1986 als van 1986 tot 1996 was de gemiddelde netto opslibbing op de lage kwelder 10 mm/j (Tabel 4.1). Hieruit blijkt dat de opslibbing op dit meetpunt met het toenemen van de hoogte constant is gebleven.

De ¹³⁷Cs-meting is een bruikbare methode gebleken om snel een waarde te krijgen voor de gemiddelde historische opslibbing op een locatie. De locatie mag echter niet te dynamisch zijn (geweest). Hoge golfenergie tijdens afzetting van de Cs-laag, uitzakking van de afgezette laag of bioturbatie, veroorzaakt door bodemdieren, kunnen voor onbetrouwbare resultaten zorgen. Op grote schaal is de methode duurder en bewerklijker dan de SEB-methode.

4.1.3 Sedimentbeschikbaarheid

Door meting van de hoeveelheid sediment die tijdens vloed en tijdens eb een gebied binnenkomt of verlaat, kan de totale import of export van sediment gedurende een tij berekend worden (Dankers *et al.* 1984; Asjes & Dankers 1994). Met de aldus verkregen getallen bij diverse tijen en met de hoogwateroverschrijding is voor de Peazemerlannen in de periode 1994-1996 een globale schatting gemaakt van de jaarlijkse netto sediment toevoer voor de voormalige noordelijke zomerpolder.

De bepalingen van het sedimentbudget gaven geen aanleiding te concluderen dat er een tekort is aan sedimenttoevoer naar het gebied. De (restanten van de) voormalige zomerkade rond de Peazemerlannen lijkt niet voor een reductie van de sedimenttoevoer te zorgen (geen blokkade van het *near-bed* zandtransport, waardoor de netto opslibbing in het gebied beperkt zou kunnen worden). Hoge (storm-) vloed(en) ('*events*') bleken een allesbepalende rol te spelen bij sedimentverplaatsingen

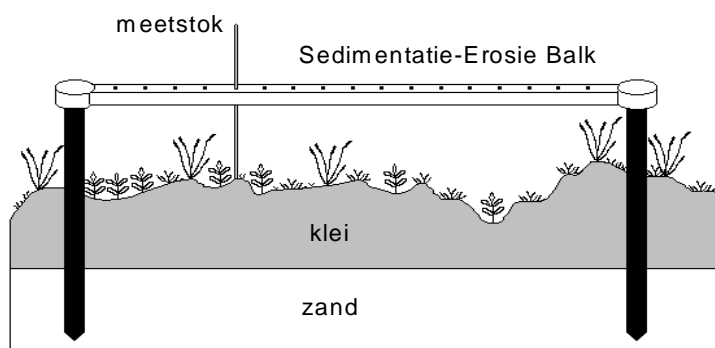
op de kwelder: één zeer hoge vloed bracht net zoveel sediment op de kwelder als 125 'normale' tijden. Een uitspraak over de jaarlijkse opslibbing op grond van deze metingen zou te speculatief zijn, omdat daarvoor nog veel meer metingen onder extreme omstandigheden verricht zouden moeten zijn.

4.2 Sedimentatie-erosiebalk metingen 1995-2006

4.2.1 Methode

Het bepalen van de balans tussen opslibbing, bodemdaling en veranderingen in GHW is in de lopende monitoringsprogramma's in de Groninger en Friese kwelderwerken (beheermetingen RWS; Dijkema *et al.* 2001, 2004) en op Ameland (monitoring effecten van bodemdaling door gaswinning; Eysink *et al.* 2000a; Dijkema *et al.* 2005a) een beproefde methode. 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 pq's voor de vegetatie. Het SEB-meetnet van IMARES in o.a. de Peazemerlanden, in verschillende delen van de kwelderwerken en op Ameland is een betrouwbare referentie voor interpretatie van de waargenomen processen op één bepaalde locatie.

Vanaf 1995 tot heden is door IMARES Texel de opslibbing gemeten m.b.v. de sedimentatie-erosie balk (SEB). Per meetveld zijn twee kunststof palen (Ø 7,5 cm) in de bodem geslagen tot in de zandlaag (op ongeveer 125 cm diepte) en waterpas gesteld. Van de palen is de hoogte ten opzichte van NAP bepaald (deze hoogte wordt jaarlijks gecontroleerd). Op deze palen wordt de SEB geplaatst, een 2 m lange aluminium balk met 17 gaten (Figuur 4.1). Met behulp van een meetstok wordt op deze 17 vaste punten de bodemhoogte bepaald met een nauwkeurigheid van 1 mm. Door verschillende metingen in een jaar te verrichten wordt vastgesteld of in de tussenliggende periode erosie/inklinking dan wel opslibbing heeft plaatsgevonden. In januari 1995 zijn achter het zomerdijkje in het weiland van de zomerpolder 3 SEB-veldjes uitgezet. Aangezien hier geen tot nauwelijks opslibbing plaatsvindt, omdat de zomerpolder vrijwel nooit overvloed wordt, zullen deze SEB-veldjes de inklinking/zwelling van de grond weergeven.



Figuur 4.1 De Sedimentatie Erosie Balk (SEB).

In de kwelder zelf zijn aanvankelijk 17 SEB-velden uitgezet in de dominante vegetatietypes (verdeeld over kommen met Zeekraal (*Salicornia spec.*), lage kwelder met Gewoon kweldergras (*Puccinellia maritima*) en oeverwallen met Zeekweek (*Elytrigia atherica*): twaalf aan de westzijde en vijf in het middendeel van de kwelder. In maart 1996 is het aantal veldjes in de kwelder met tien uitgebreid, allen aan de oostzijde van het gebied, waarmee het totaal op 30 kwam (Tabel 4.2 en Foto 4.1). De metingen vinden drie maal per jaar plaats, in maart, augustus/september en in november/december.

Tabel 4.2 De maaiveldhoogte van de 30 SEB-velden bij start van de SEB-metingen in 1995/1996 en de situatie in augustus 2006.

PQ	Kweldertype	Maaiveldhoogte m + NAP	
		1995/1996	2006
1	zomerpolder	1.54	1,50
2	zomerpolder	1.54	1,52
3	zomerpolder	1.51	1,50
4	kom	1.33	1,40
5	kom	1.35	1,38
6	kom	1.29	1,35
7	oeverwal	1.37	1,50
8	kom	1.30	1,36
9	oeverwal	1.41	1,48
10	oeverwal	1.57	1,70
11	oeverwal	1.45	1,54
12	kom	1.21	1,34
13	kom	1.35	1,42
14	kom	1.26	1,35
15	oeverwal	1.33	1,49
16	oeverwal	1.40	1,48
17	kom	1.31	1,42
18	kom	1.38	1,50
19	kom (gat)	1.39	1,61
20	oeverwal	1.57	1,69
21	kom	1.34	1,47
22	oeverwal	1.41	1,65
23	oeverwal	1.41	1,65
24	kom (gat)	1.16	1,41
25	kom	1.38	1,53
26	oeverwal	1.54	1,71
27	oeverwal	1.50	1,62
28	oeverwal	1.49	1,61
29	oeverwal	1.47	1,57
30	oeverwal	1.53	1,64

Peazemerlannen (Friesland)



Foto 4.1 False color luchtfoto uit 1992 met daarop de ligging van de 30 SEB-velden. (DeltaPhot-Middelburg in opdracht van RWS-DNN)

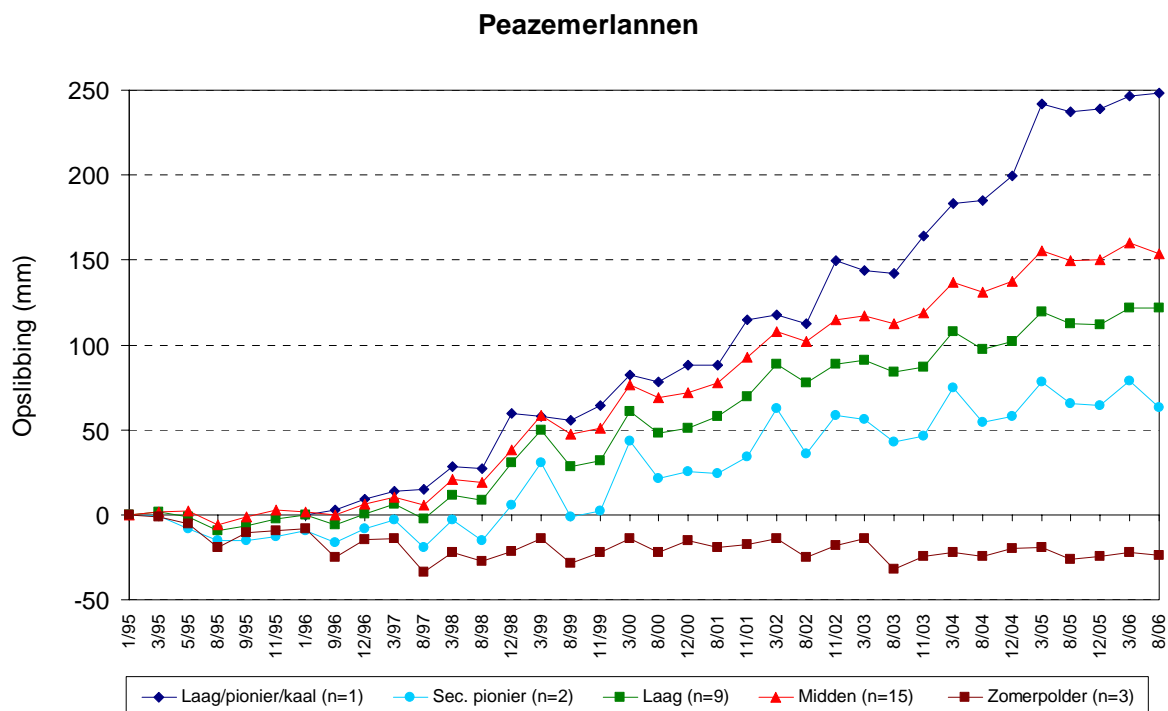
Behalve in de Peazemerlannen worden door IMARES-Texel gedurende langere tijd ook SEB-metingen gedaan op diverse andere kwelders, zodat vergelijkingen mogelijk zijn:

1. Nieuwlandsrijd op Ameland (voor een beschrijving zie Eysink *et al.* 2000a; Dijkema *et al.* 2005a). Van dit gebied is een SEB-meetreeks vanaf mei 1993 (21 SEB-velden in verschillende vegetatietypen: *Salicornia* in de secundaire pionierzone, *Puccinellia* op de lage kwelder, *Puccinellia/Seriphidium* op de midden kwelder en *Elymus/Juncus* op de hoge kwelder).
2. De Hon op Ameland vanaf augustus 1995 (Eysink *et al.* 2000a; Dijkema *et al.* 2005a).
3. Negenboerenpolder en Julianapolder in de Groninger kwelderwerken (voor een beschrijving zie Dijkema *et al.* 2001, 2006). Hier loopt de SEB-meetreeks resp. vanaf juni 1994 (15 SEB-velden - > 5 SEB-velden in drie vegetatietypen: *Salicornia* in de pionierzone, *Spartina* in de pionierzone en *Puccinellia* op de lage kwelder en vanaf maart 1998).
4. Noard-Fryslân Bûtendyks zomerpolder, proefverkweldering en kwelderwerken; meetreeks vanaf december 2000 (Van Duin *et al.* 2007).
5. Holwerd; meetreeks vanaf maart 1998 (Van Duin & Dijkema 2003).

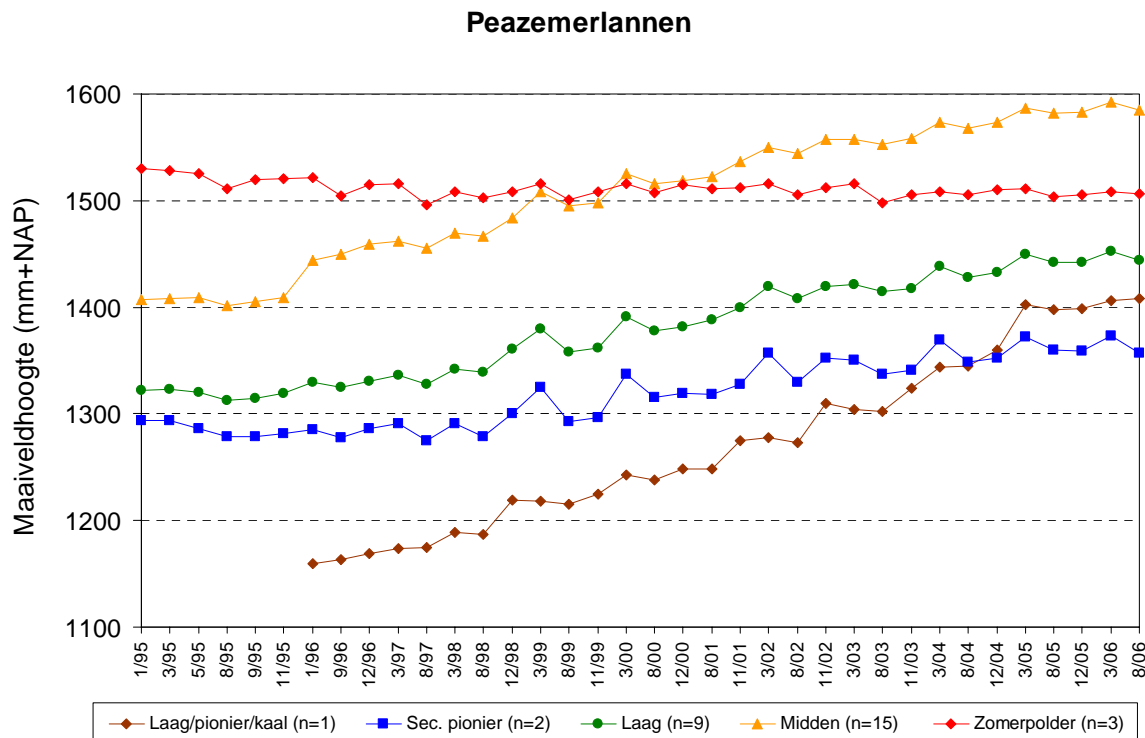
Voor de bodemdalingsstudie in de Peazemerlannen zal het westelijke deel van de Groninger kwelderwerken als referentiegebied dienen, omdat daar geen bodemdaling optreedt en omdat het gebied qua vegetatie en beweiding goed met de Peazemerlannen overeenkomt. De kwelders op Ameland geven inzicht in mogelijke ontwikkelingen in de Peazemerlannen, omdat de bodemdaling daar ca. 20 jaar geleden gestart is.

4.2.2 Resultaten

In de Peazemerlannen waren de weersomstandigheden in het eerste meetjaar 1995 vrij uitzonderlijk: een warme zomer met sterke krimp van de bodem door uitdroging (tot ca. 2 cm). Onder invloed van waterabsorptie en waterverlies kunnen oude, gerijpte bodems 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. Bij een binnendijkse uitgerijpte bodem is de zomerse inklink (vrijwel) geheel reversibel (pers. comm. De Glopper 1997). Dat zomerse inklink van de bodem niet uitsluitend optrad in de Peazemerlannen (Figuur 4.2 en 4.3) blijkt uit SEB-metingen in diverse andere kwelders, zoals de Negenboerenpolder en Julianapolder in de west-Groninger kwelderwerken. In alle zomers is er in mindere of meerdere mate inklink geweest. Herstel treedt meestal vrij snel op na weer nat worden van de bodem door neerslag of overstroming. In de herfst trad dan ook enig herstel op. Echter, de winter van 1995/1996 werd vrijwel net zo uitzonderlijk als de zomer: de Waddenzee was gedurende lange tijd met ijs bedekt en de wind kwam vrijwel uitsluitend uit het oosten waardoor er nauwelijks overstromingen (en zeker geen stormtijden) plaatsvonden. Bovendien was de neerslag zeer gering. Vandaar dat gedurende 1995 in plaats van een verwachte opslibbing een daling van het maaiveld werd gemeten van gemiddeld 5 mm. Uit de SEB-metingen in alle drie de gebieden blijkt dat de winter de essentiële periode is voor maaiveldhoogteveranderingen, zowel opslibbing als werkelijke erosie (dus geen inklink).



Figuur 4.2 Gemiddelde maaiveldhoogteverandering van januari 1995 – augustus 2006 in de vier kwelderzones en de zomerpolder in de Peazemerlannen gemeten met de Sedimentatie-Erosie Balk.



Figuur 4.3 Gemiddelde maaiveldhoogteverandering van januari 1995 – augustus 2006 in de vier kwelderzones en de zomerpolder in de Peazemerlannen gemeten met de Sedimentatie-Erosie Balk.

In de referentiegebieden werd voor de winter 1995/1996 dezelfde trend waargenomen en ook op Schiermonnikoog, waar door de Rijksuniversiteit van Groningen SEB-metingen worden verricht (pers. comm. Prof. Dr. J.P. Bakker). Deze bijzondere weersomstandigheden vormden één van de redenen om naast de SEB-metingen naar alternatieven te zoeken, zoals de waterpassing en de Cs-meting, om een gefundeerde uitspraak te kunnen doen over de gemiddelde jaarlijkse opslibbing over een langere periode in de Peazemerlannen (Van Duin *et al.* 1997). Nu de SEB-metingen echter over een periode van ca. 12 jaar zijn uitgevoerd vormen ze de beste schatting betreffende de opslibbing in het gebied. Ter vergelijking staan in Tabel 4.1 (zie §4.1.1) zowel de SEB-gegevens uit de periode januari 1995/96-maart 1997 als die uit de periode januari 1995/96- maart 2006. De gemiddelde opslibbing, op basis van de SEB-metingen over de periode januari 1995/96-maart 2006, bedroeg ruim 22 mm/j voor de primaire pionierzone (achter het gat in de bitumenkade), ca. 7 mm/j voor de secundaire pionierzone (kommen met Schorrenkruid), ca. 11 mm/j in de lage kwelder (kom met Kweldergras), ruim 14 mm/j op de midden kwelder (oeverwallen met Zeekweek) en - 2 mm/j in de zomerpolder.

Het is aannemelijk dat op een kwelder de overstromingsfrequentie hoofdzakelijk bepalend is voor de mate van opslibbing (Figuur 2.2). Het aangevoerde water is immers bepalend voor het beschikbare sediment (Beeftink 1986, 1987). Dit is o.a. ook te zien op het Nieuwlandsrijd (Ameland) waar de opslibbing afneemt met de hoogte (Dijkema *et al.* 2005a). De gemiddelde opslibbing in het grootste deel van de kwelder van de Peazemerlannen neemt echter toe met de maaiveldhoogte (Tabel 4.3 en Figuur 4.3). Dit is te verklaren als wordt aangenomen dat de opslibbing afhankelijk is van speciale gebeurtenissen ('*events*'; Van Duin *et al.* 1997): bij normale tijen vindt een ophoping van sediment in krekken plaats en pas tijdens extreme tijen wordt dit sediment op de kwelder afgezet. Dit gebeurt dan vooral op de oeverwallen en andere plaatsen die dicht bij krekken liggen waarin zich het sediment heeft kunnen ophopen. Ook Reed *et al.* (1999) en Esselink *et al.* (1998) vonden dat de opslibbing afnam naarmate de afstand tot krekken groter werd.

Voor de drie SEB-velden in de zomerpolder van de Peazemerlannen is er na elf jaar een netto gemiddelde daling van de bodem van ca. 2 mm per jaar. Er is hier vrijwel geen opslibbing mogelijk, omdat er zelden overstromingen plaatsvinden. Als er in een jaar bovendien weinig neerslag valt leidt dit ertoe dat inklink slechter herstelt dan in de kwelder. Alleen lokaal achter de klepduikers in het zomerdijkje tussen kwelder en zomerpolder komen bij hoge tijen zeewater en sediment de zomerpolder binnen.

Tabel 4.3 Gemiddelde netto opslibbing/erosie (mm/j) gemeten met de Sedimentation-Erosion-Balk van januari 1995 tot maart 2006, de gemiddelde maaiveldhoogte in augustus 2006 (mm+NAP) en het aantal SEB-meetpunten per deelgebied in de Peazemerlannen. Zie ook Tabel 5.1, 5.2 en Bijlage voor uitleg SALT97 codes.

Code SALT97	Vegetatiezone	Peazemerlannen 2006		
		Gem. opslibbing mm/jaar	Gem. maaiveldhoogte mm+NAP	n
4	Zomerpolder	-2.0	1506	3
4	Hoge kwelder	-	-	-
3	Midden kwelder	14.6	1584	15
2	Lage kwelder	11.1	1444	9
1	Secundaire pionier zone	7.2	1357	2
1	Primaire pionier zone	22.4	1408	1

4.3 Conclusies huidige staat en ontwikkeling maaiveldhoogte

4.3.1 Pionierzone

De primaire pionierzone achter de gaten in de bitumen zomerkade (deelgebied 4a) is door Van Duin *et al.* (1997) en door Oost *et al.* (1998) als kwetsbaar gebied voor bodemdaling aangewezen. Op grond van de metingen 1995-2006 heeft dit gebied met 22 mm/jaar de hoogste opslibbing en zijn er op dit moment geen problemen met de opslibbingsbalans te verwachten. Extreme meteorologische omstandigheden (met name stormen en harde wind) kunnen de balans in deze zone echter snel doen omslaan.

In de secundaire pionierzone, die vooral in de kommen te vinden is, werd een opslibbing gemeten van 7 mm/jaar. Belangrijk in de kommen is de ontwatering, omdat bij stagnerend water verweking van de bodem en erosie door golfjes, die door de wind worden veroorzaakt, kan optreden.

Conclusie: de primaire pionierzone slijbt momenteel goed op, maar een pionierzone blijft altijd het kwetsbare voorland van een kwelder. In de secundaire pionierzone in de kommen kan verweking van de bodem optreden door stagnerend water, wat nadelige gevolgen voor de maaiveldhoogteontwikkeling en vegetatie kan hebben (zie ook §5). Om deze redenen worden het aantal meetpunten tijdens de monitoring van de bodemdaling in deze zones dan ook uitgebreid.

4.3.2 Kwelder

Zowel uit historische metingen (hermeting van de maaiveldhoogte en de ¹³⁷Cs-meting) als uit recente SEB-metingen (§4.2.2) komt naar voren dat de gemiddelde **opslibbing** voor zowel de midden als lage kwelder in de Peazemerlannen vergelijkbaar is met die langs de rest van de Friese en Groninger kust en >10 mm/jaar bedraagt. De gemiddelde **zeespiegelstijging**, gemeten over de periode 1960-2006, is ongeveer 2,4 mm/jaar. De kwelders langs de Friese en de Groninger kust kunnen deze jaarlijkse stijging van het gemiddeld hoogwater over het algemeen goed bijhouden, omdat de kwelders meer dan voldoende opslibben. Dat komt door de slijpvangende werking van de vegetatie (o.a. Dijkema *et al.* 2001). De snelheid waarmee kwelders opslibben, hangt sterk af van de **overstromingsduur**. Daardoor is een extra herstelmechanisme ingebouwd waardoor kwelders bij een hogere overstromingsfrequentie meer zullen opslibben. Op grond van de gemeten gemiddelde opslibbing in de kwelders langs de vastelandskust zijn er bij een bodemdaling door gaswinning van ca. 1 cm/jaar (in combinatie met de huidige zeespiegelstijging) geen problemen met de sedimentbalans te verwachten.

Uit de verschillende meetmethoden is gebleken dat korte tijdreeksen een vertekend beeld kunnen geven van de opslibbing in een bepaald gebied. Zowel een lage als een hoge opslibbing kunnen veroorzaakt worden door **extreme meteorologische omstandigheden** (weinig neerslag, warme zomer, veel oostenwind in de winter, stormtijden -*events*). Lange termijn metingen geven wat dat betreft een beter beeld, omdat grote fluctuaties uitgemiddeld worden. Toch zijn de frequente jaarlijkse metingen onmisbaar, omdat hierdoor processen zoals de grote effecten van speciale gebeurtenissen (stormen en inklink) aan het licht komen. Bovendien blijken extreme omstandigheden niet alleen een positief effect (bijv. grote sediment import) te kunnen hebben op de opslibbing, maar ook een negatief effect (bijv. inklink, erosie).

De netto opslibbing (en daarmee ook de aanwezigheid, samenstelling en de bedekking door de vegetatie) in de kwelder worden niet uitsluitend door de overstromingsfrequentie bepaald, maar ook door het morfologische **patroon van oeverwallen en kommen** en de **nabijheid van krekens**.

Conclusie: er is een positieve opslibbingsbalans in de kwelder van de Peazemerlannen waardoor de maaiveldhoogte steeds verder toeneemt. Dit zal zo blijven indien de combinatie van zeespiegelstijging en bodemdaling niet de 1 cm/jaar overschrijdt.

4.3.3 Zomerpolder

De gemiddelde jaarlijkse maaiveldverandering in de zomerpolder is nihil, maar wel negatief. Vergelijking van de opslibbing in de verkwelderde zomerpolder (na dijkdoorbraak in 1973) en de huidige zomerpolder leert dat zomerpolders in een tijd van zeespiegelstijging op de lange termijn moeilijk te handhaven zijn, omdat opslibbing achterwege blijft. Bodemdaling zal de negatieve sedimentbalans vermoedelijk verder doen toenemen.

Conclusie: de sedimentbalans in de zomerpolder zal negatiever worden. De ontwatering van laaggelegen delen zal hierdoor mogelijk (tijdelijk) verminderen.

4.3.4 Buitendijks gebied westkant voor Deltadijk

Dit gebied ligt relatief hoog. Er vindt opslibbing plaats, maar deze is lager dan in de aangrenzende kwelder. Een bijzonderheid is dat er oeverbescherming aan de wadkant is. Hierdoor zijn er geen directe aanwijzingen voor een toekomstige achteruitgang (Van Duin *et al.* 1997).

4.3.5 Kweldertje langs strekdam

Dit gebied heeft gezien de geëxponeerde en lage ligging en de gemeten erosie, mogelijk versterkt door golfoverslag over de stenen dam, zowel zonder als met bodemdaling weinig overlevingskansen (Van Duin *et al.* 1997).

5 Vegetatieontwikkeling in de Peazemerlannen

De huidige staat en de ontwikkeling van de vegetatie gedurende de afgelopen jaren zal in deze paragraaf beschreven worden op twee niveaus. Met behulp van de vegetatiekaarten van Rijkswaterstaat kan een vlakdekkend beeld worden gegeven van de veranderingen, een inzichtelijke maar vrij grove methode, omdat ze om de 5-6 jaar worden gemaakt. Door jaarlijks vegetatieopnames te maken in permanente kwadranten zijn puntmetingen verkregen die een gedetailleerd beeld geven van de veranderingen.

5.1 Basiskaarten/vegetatiekaarten RWS (1992-2006)

Door Rijkswaterstaat AGI (voorheen Meetkundige Dienst) zijn in 1992, 1996 en 2002 vegetatiekarteringen verricht van de Friese en Groninger vastelandkust. De kartering is een *'landscape guided vegetation survey'* op basis van *false colour* luchtfoto's (1:5.000). De legenda van de kaarten bestaat uit een matrix. De legenda-eenheden zijn hiërarchisch opgebouwd op basis van landschapskenmerken. Op de kaarten van AGI bestaan de legenda-eenheden uit complexen van vegetatietypen. In een matrix is af te lezen welke vegetatietypen in de legenda-eenheden aanwezig zijn (met het procentuele aandeel van de SALT97-typen uit de Jong *et al.* (1997)). Op verschillende kaarten staan daarom niet dezelfde legenda-eenheden. Dat geeft veel extra informatie, maar maakt het vergelijken van de kaarten lastig. Voor de leesbaarheid is daarom door IMARES-Texel een vertaalslag gemaakt waarbij de dominante SALT97-typen (de Jong *et al.* 1997) zijn omgezet naar de vegetatiezones die in dit rapport worden gehanteerd.

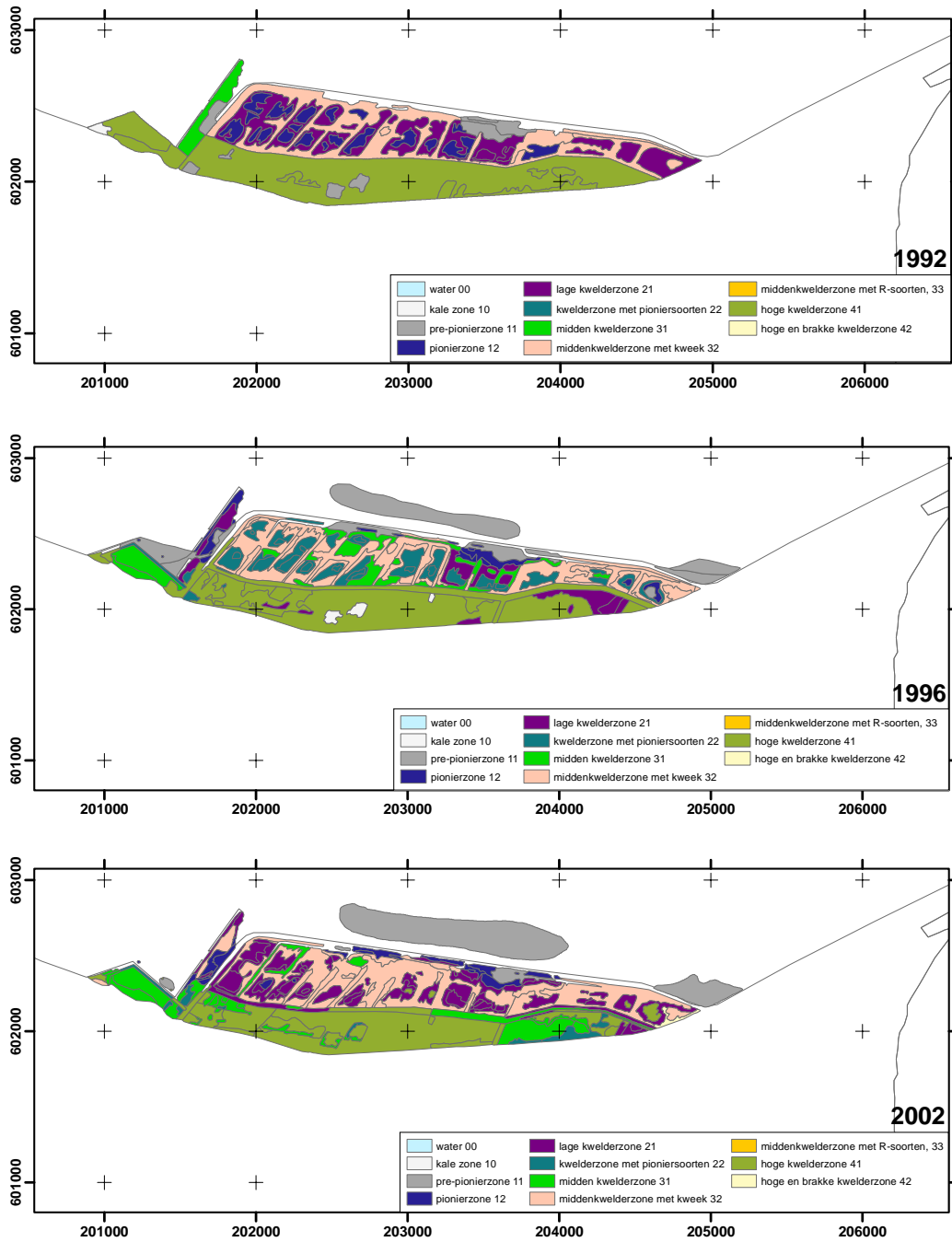
Tabel 5.1 SALT97-typen (De Jong *et al.* 1997) en vertaling naar habitatype.

SALT97 code	SALT97 vegetatiezone	Habitatype ¹
00	Water	
10	Kaal	
11	pre-pionier zone	1310: Eenjarige pioniervegetatie van slik- en zandgebieden met <i>Salicornia</i> ssp. en andere zoutminnende soorten.
12	Pionier zone	
21	lage kwelder zone	
22	idem met pioniersoorten	
31	midden kwelder zone	
32	idem met Zeekweek	1330: Atlantische kwelders (<i>Glauco-Puccinellietalia maritima</i>).
33	idem met hoge kwelder soorten	
41	hoge kwelder zone/zomerpolder	
42	hoge en brakke kwelder en zilte duinvalleien	

Figuur 5.1 geeft de zoneringskaarten voor de jaren 1992, 1996 en 2002 in de Peazemerlannen. De globale hoogtes van deze zones in de internationale Waddenzee staan in Tabel 5.2.

¹ Habitatype 1320 "Schorren met slijkgrasvegetatie (*Spartinion maritimae*)" komt algemeen in de Waddenzee en dus ook in NO Friesland voor. De kenmerkende soort Klein slijkgras heeft een zuidelijk verspreidingsgebied en is niet in de Waddenzee aanwezig. Wel heeft de exoot Engels slijkgras (bijnaam "slikpest") zich in de Waddenzee gevestigd, ten koste van de inheemse zoutplanten in de zones van 1310 en 1330. De exoot valt formeel onder Habitatype 1320 omdat de Associatie van Engels slijkgras onder het Verbond *Spartinion maritimae* valt. Habitatype 1320 is in deze studie behandeld onder de pionierzone Habitatype 1310.

Peazemerlannen



Figuur 3.4 Zoneringskaart van de vegetatie in de Peazemerlannen.

Tabel 5.2 Zone-indeling internationale Waddenzee (Salt97, De Jong et al. 1997).

SALT97 code	Zone	Ondergrens	Bovengrens
1 (10,11,12)	pionier	40-20 cm onder GHW dagelijks overspoeld	lage kwelder
2 (21,22)	lage kwelder	GHW tot GHW+15cm overspoelingsfrequentie/jaar: < 300-150	midden kwelder
3 (31,32,33)	midden kwelder	GHW+30cm - GHW+40 cm overspoelingsfrequentie/jaar: < 100-70	hoge kwelder
4 (41,42)	hoge kwelder (en zomerpolder)	GHW+70cm overspoelingsfrequentie/jaar: < 30-20	opslibbing tot overspoelingsfrequentie/jaar < 5 of geleidelijke overgang naar duinen, duinvalleien of strandvlaktes

Vegetatiekaarten zijn een waardevol hulpmiddel om veranderingen in de kwelder pq's vlakdekkend te toetsen. Op de zoneringskaarten zijn de oppervlaktes van de vegetatiezones voor de verschillende jaren gemeten (Tabel 5.3). Daarvoor is een vast polygoon van de gehele kwelders gebruikt. De noordgrens op het wad loopt om de pre-pionierzone. De zuidgrens ligt vast aan de voet van de Deltadijk. De verklaringen voor de waargenomen veranderingen zijn:

- De wisseling van het totale kwelderareaal kan als gevolg van de gebruikte polygoon op de gekarteerde grens met het wad/pionierzone slaan of op de vorming van secundaire pioniervegetatie binnen de kwelder.
- De pre-pionierzone is door de jaren heen het meest veranderlijk. Deze zone bestaat uit een ijle vegetatie van eenjarige planten die zich elk jaar opnieuw moeten vestigen. De weersomstandigheden in winter en voorjaar spelen daarbij een grote rol. Op het wad voor de Peazemerlannen heeft zich na 1992 een groot areaal ijle pioniervegetatie gevestigd.
- Het meest wezenlijk en goed gekarteerd zijn de veranderingen van de vegetatie in de verkwelderde noordelijke zomerpolder van de Peazemerlannen. Direct zichtbaar is een ruimtelijke structuur van oeverwallen en kommen. Als gevolg van het ontbreken van beweiding vindt er een snelle autonome successie naar een climaxvegetatie plaats. Zeekweek op de oeverwallen dringt steeds verder de kommen binnen, een proces dat we veroudering noemen en dat gepaard gaat met een afname van de biodiversiteit. De pionierzone in de kommen maakt plaats voor de vegetatie van de lage kwelder. De ijle begroeide pioniervegetatie achter de doorbraak in de zomerpolder maakt plaats voor de dichter begroeide pionierzone en lage kwelder. Deze processen hebben tot gevolg dat er een verschuiving optreedt in oppervlaktes zonder dat het totale oppervlak wezenlijk verandert. Dit komt omdat in de Peazemerlannen omgeven worden door harde grenzen in de vorm van zomerkades en er op dit moment weinig groei is buiten deze grenzen.
- In de zuidelijke zomerpolder (valt onder de hoge kwelderzone; SALT97 code 41) is door een vernatting van de kommen een afname in areaal te zien. In deze kommen, met name aan de oost- en westzijde ontwikkelt zich een lage kweldervegetatie, soms in combinatie met pioniersoorten.

De volgende vegetatiekaart van de Peazemerlannen zal door RWS worden gemaakt op basis van een voor 2008 geplande luchtfoto. Verwerking van de data staat voor 2009 gepland, zodat de kaart in 2010 verwacht wordt.

Tabel 5.3 Veranderingen over 10 jaar van de arealen (ha) van de vegetatiezones (Salt97) en van de habitattypen (Janssen & Schaminée 2003) voor de Peazemerlannen.

Gebied	Code	1992	1996	2002
Kale zone	10	1	2	
Pre-pionierzone	11	9	31	37
Pionierzone	12	14	6	8
Totaal Habitatype 1310		23	37	45
Lage kwelderzone	21	33	13	37
Lage kwelderzone met pioniersoorten	22		24	5
Midden kwelderzone	31	5	16	24
Midden kwelderzone met Zeekweek	32	40	45	52
Midden kwelderzone met R-soorten	33			
Hoge kwelderzone / zomerpolder	41	78	67	52
Hoge en brakke kwelderzone	42			1
Totaal Habitatype 1330		156	164	170
Totaal Habitatype 1310 + 1330		179	201	215

5.2 Permanente kwadraten bij de SEB-locaties (1995-2006)

De successierichting van de vegetatie is een belangrijk gegeven om zowel positieve als negatieve effecten van natuurlijke veranderingen, van beheermaatregelen en van bodemdaling door gaswinning te kunnen beoordelen. In vaste proefvakken, ook wel permanente kwadraten of pq's genoemd, wordt de bedekking van de afzonderlijke plantensoorten periodiek opgenomen. De pq-methode wordt toegepast in bijv. de monitoring-programma's in de kwelderwerken (meetvakken van RWS), in het SEB-meetnet van IMARES en op Ameland (pq's voor de NAM door IMARES).

De SEB-palen in de Peazemerlannen markeren tevens één zijde van permanente kwadraten (pq's) van 2x2 m voor opnames van de vegetatie volgens de decimale schaal van Londo (1975). Bij de SEB-velden 1-20 zijn in september 1995 en augustus 1996 en bij de velden 21-30 in augustus 1996 vegetatie-opnames gemaakt. Vanaf 2000 zijn de vegetatie-opnames jaarlijks gemaakt in augustus/september bij alle pq's en zijn ook foto's gemaakt om de ontwikkeling vast te leggen.

Van de verzamelde vegetatiegegevens is ten behoeve van deze 0-rapportage een Cornell-condensed bestand gemaakt. Dit bestand is ingevoerd in het programma SALT97 (de Jong *et al.* 1998) waarin de bedekkingspercentages van de afzonderlijke soorten worden omgezet in soortengroepen en beoordeeld op successie/regressie en/of veroudering/verjonging (Eysink *et al.* 2000a; Dijkema *et al.* 2005a). Een soortengroep wordt gevormd door een combinatie van bepaalde plantensoorten in een bepaalde dichtheid die altijd naast elkaar voorkomen en geeft een samenvatting van de complexe vegetatiesamenstelling. Bij de verwerking kan tevens aandacht worden besteed aan de cumulatieve

met de effecten van beheermaatregelen (waaronder beweiding) en met natuurlijke veranderingen, zoals weersomstandigheden en het jaargemiddelde hoogwaterpeil.

In de Figuren 5.2 t/m 5.28 is de ontwikkeling van de vegetatie via deze soortengroepen in de kwelderppq's 4 - 30 weergegeven. Daarnaast is ook de hoogteontwikkeling van het maaiveld aangegeven. Hiervoor zijn de opslibbingsgegevens gebruikt die met de SEB verzameld zijn.

De ontwikkelingen die te zien zijn in deze figuren zijn samengevat in Tabel 5.5. De ondergrenzen voor de vegetatie in de Peazemerlannen zijn gebaseerd op meerjarige waarden die van de vastelandkwelders van het midden van de Friese kust bekend zijn (Tabel 5.4) en gecorrigeerd voor een (ca. 6 cm) lager GHW in de Peazemerlannen. Ter vergelijking staan in Tabel 5.4 ook de ondergrenzen van de vegetatiezones op Ameland en van de vastelandkwelders van de westzijde van Noord-Groningen.

De theoretische ondergrenzen voor de Peazemerlannen komen vrij goed overeen met de waarden die voor de verschillende zones gemeten zijn tijdens de hermeting van de hoogte. De enige opvallende uitzondering vormt een punt op een oeverwal waar Zeekweek al op 1,26 m+NAP voorkomt en dus eigenlijk groeit onder de theoretische ondergrens van 1,29 m+NAP. Dit duidt er op dat er plaatselijk een zeer goede ontwatering moet zijn.

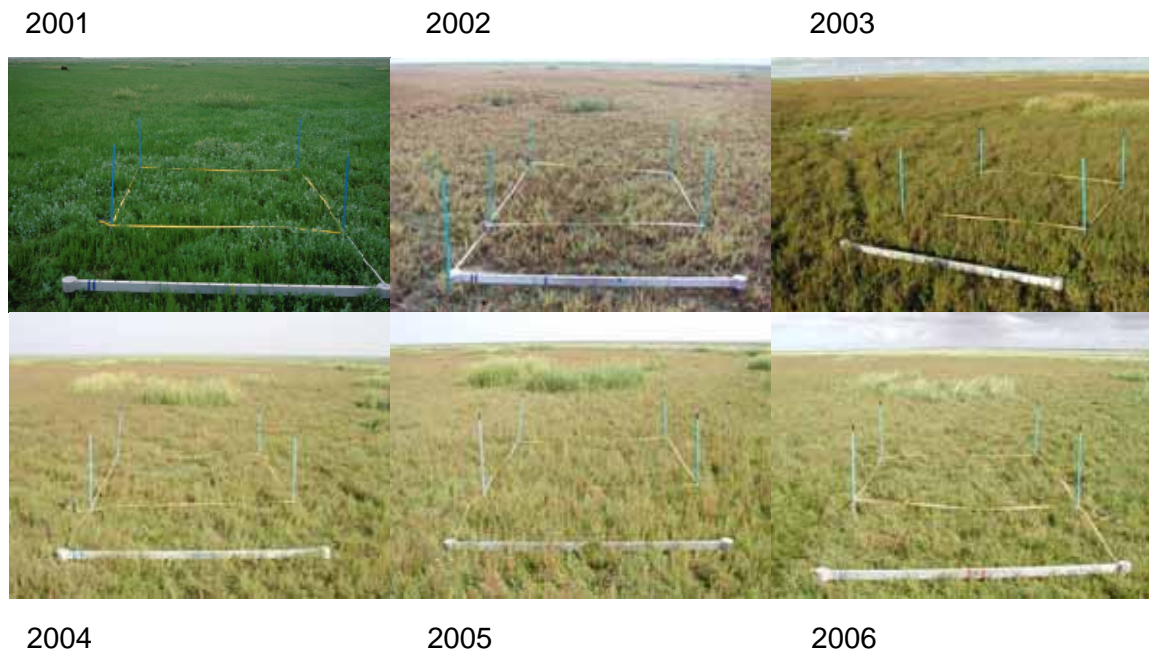
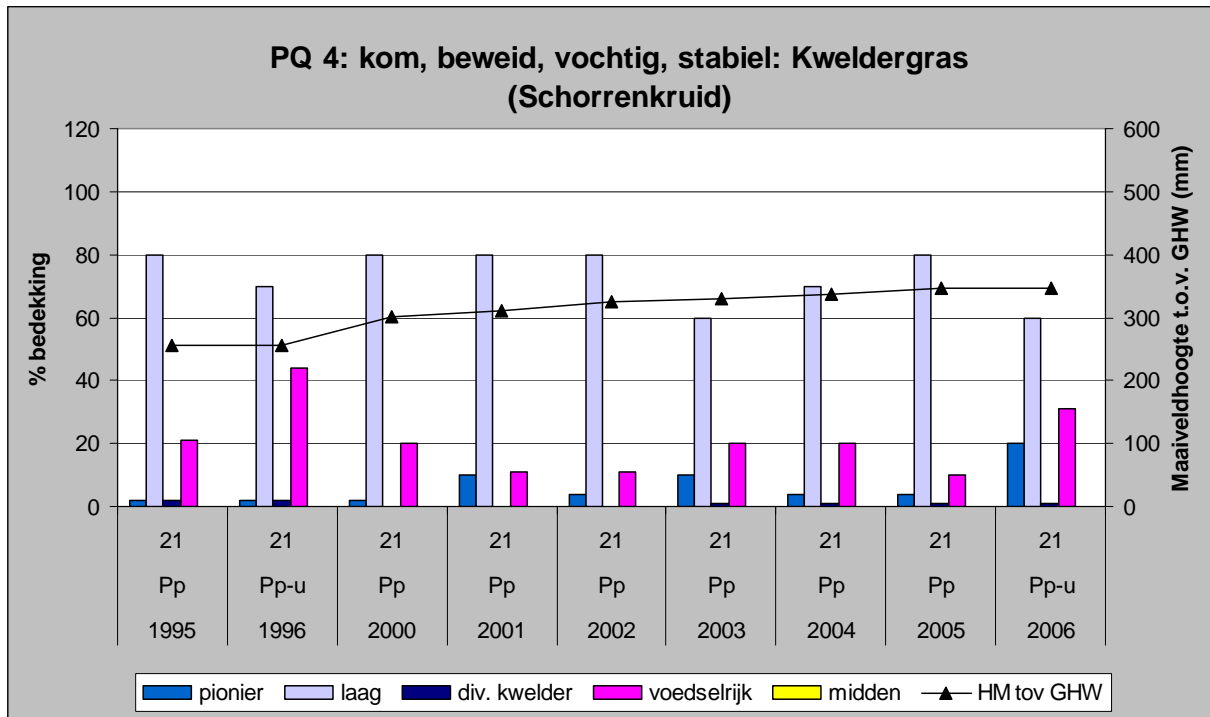
Tabel 5.4 Ondergrens vegetatiezones in een aantal Waddenzeekwelders (m+NAP) gecorrigeerd voor de GHW-trend. Puc=Puccinellia (Gewoon kweldergras); Sal = Salicornia (Zeekraal)

Vegetatiezone	Bedekking	Ameland ¹	Friesland midden ²	Groningen west ²	Peazemerlannen ³
Midden kwelder		146 (beweid) 136 (onbeweid)	135	136	129
Lage kwelder	Puc > 5%	121	122	114	116
Pre-laag	Puc < 5%	112	112	104	106
Pionierzone	Sal > 5%	86	90	80	84
Pre-pionier	Sal < 5%	82	64	59	58

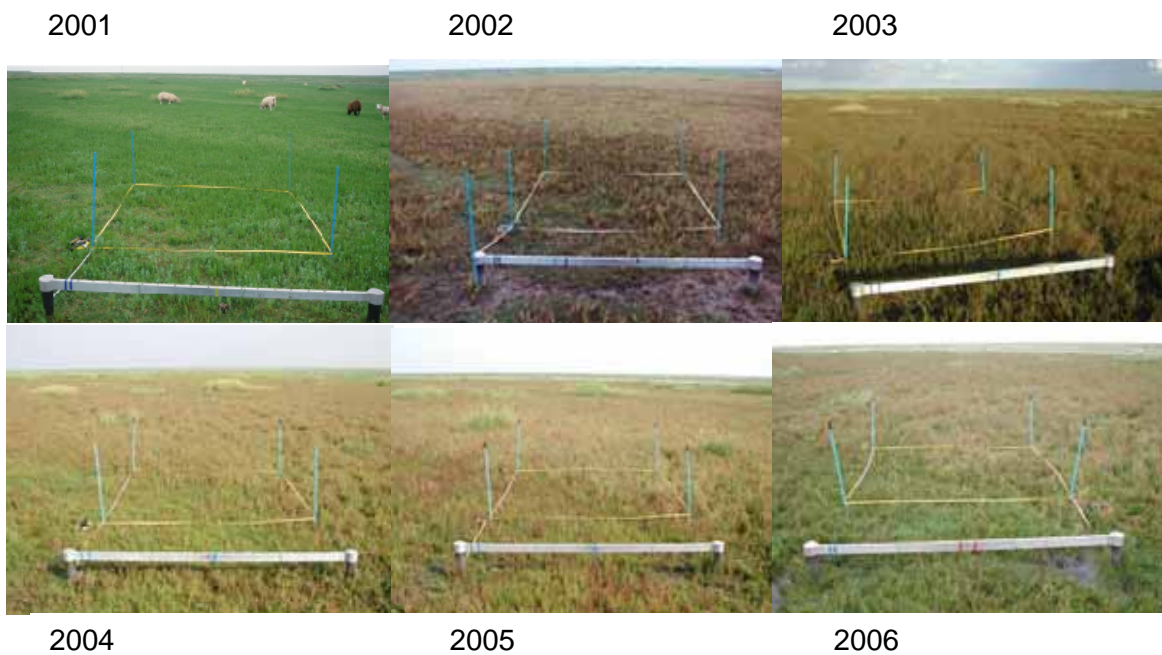
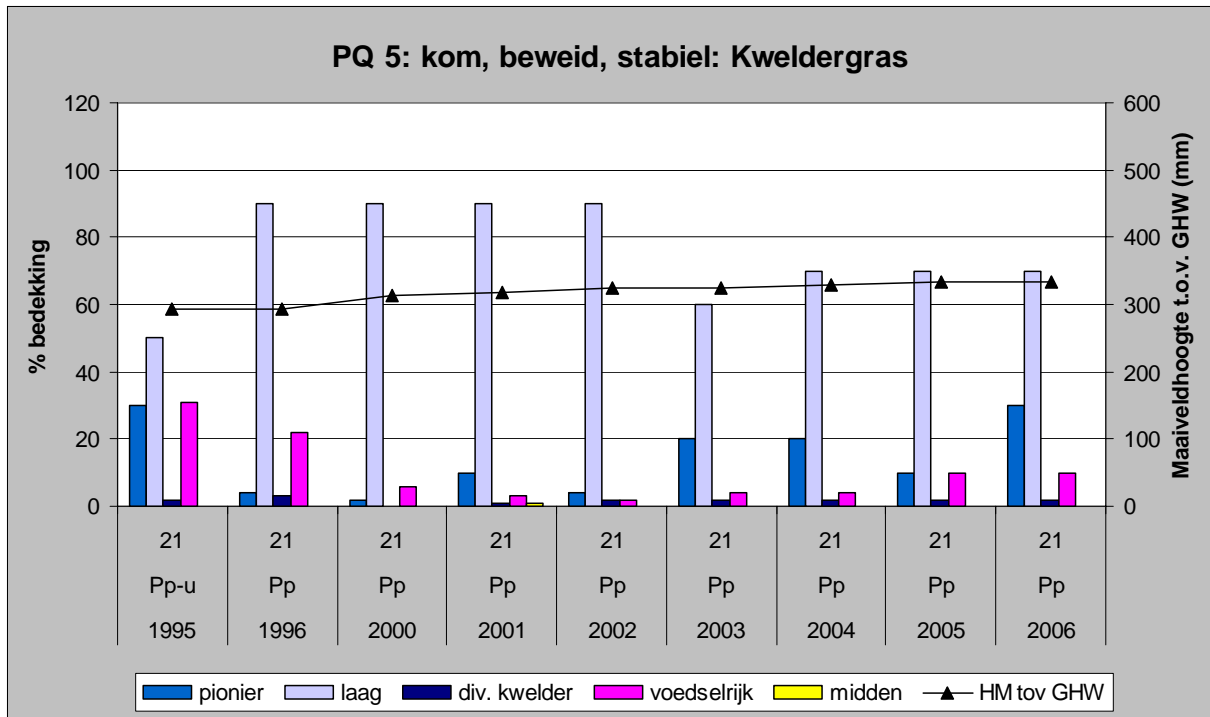
¹⁾ Tabel 5.3 in Eysink *et al.* (1995)

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

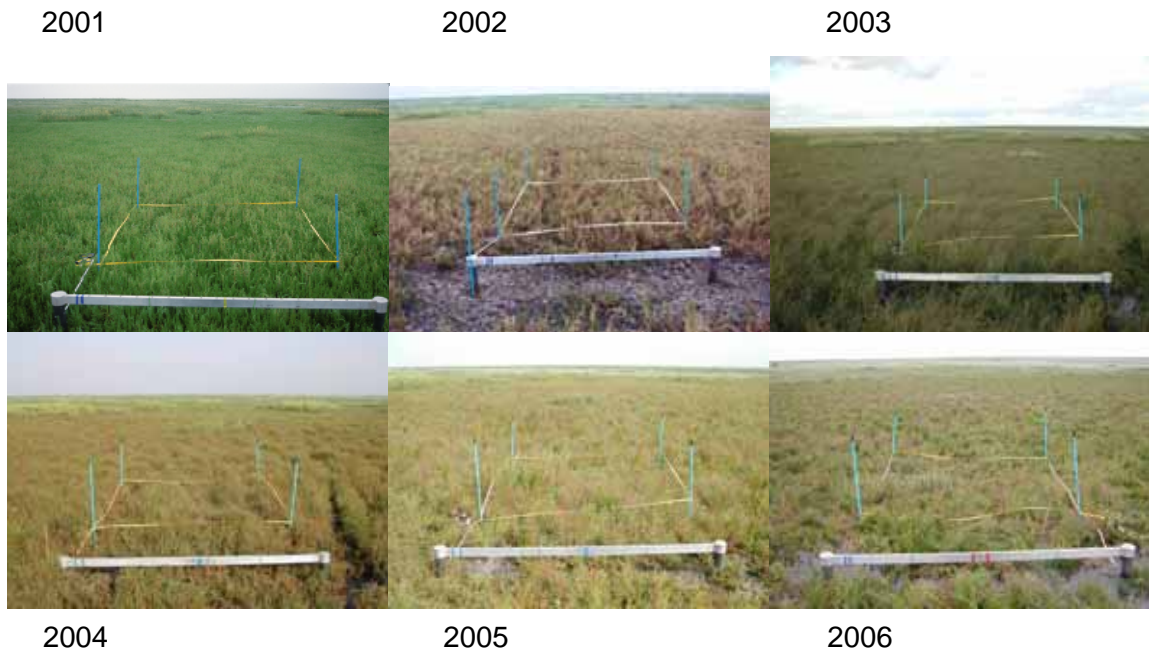
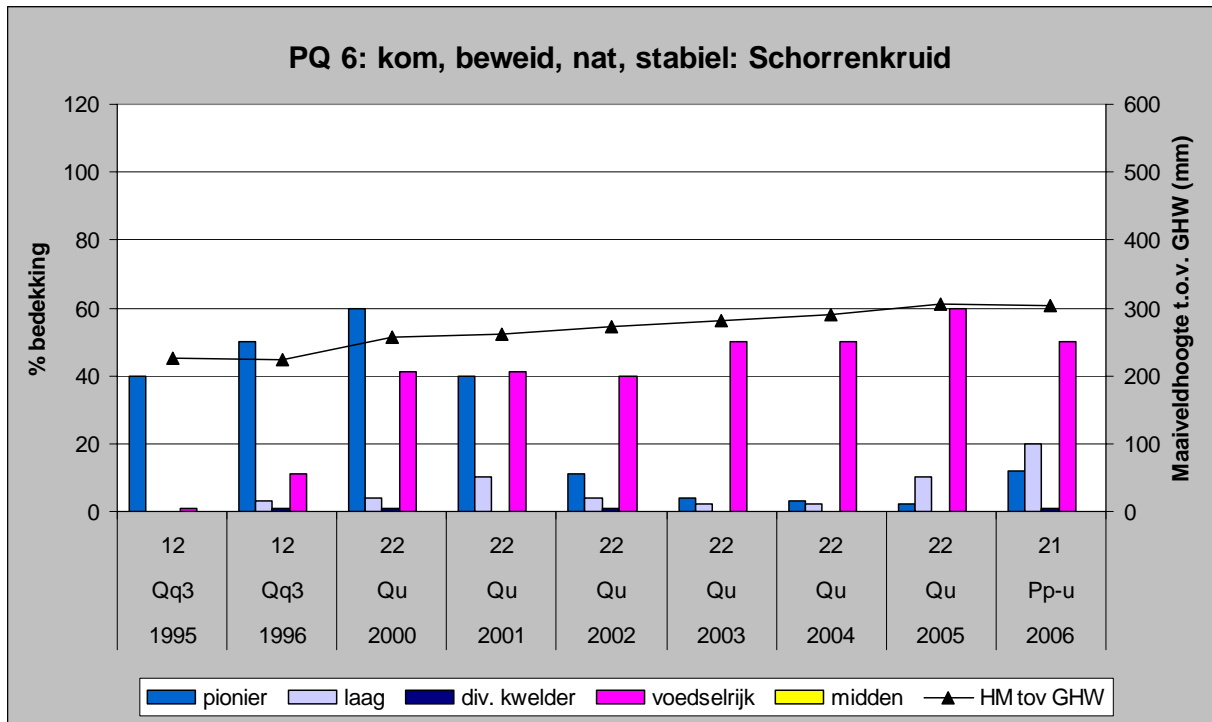
³⁾ Berekend uit 2) en gecorrigeerd voor 6 cm lager GHW



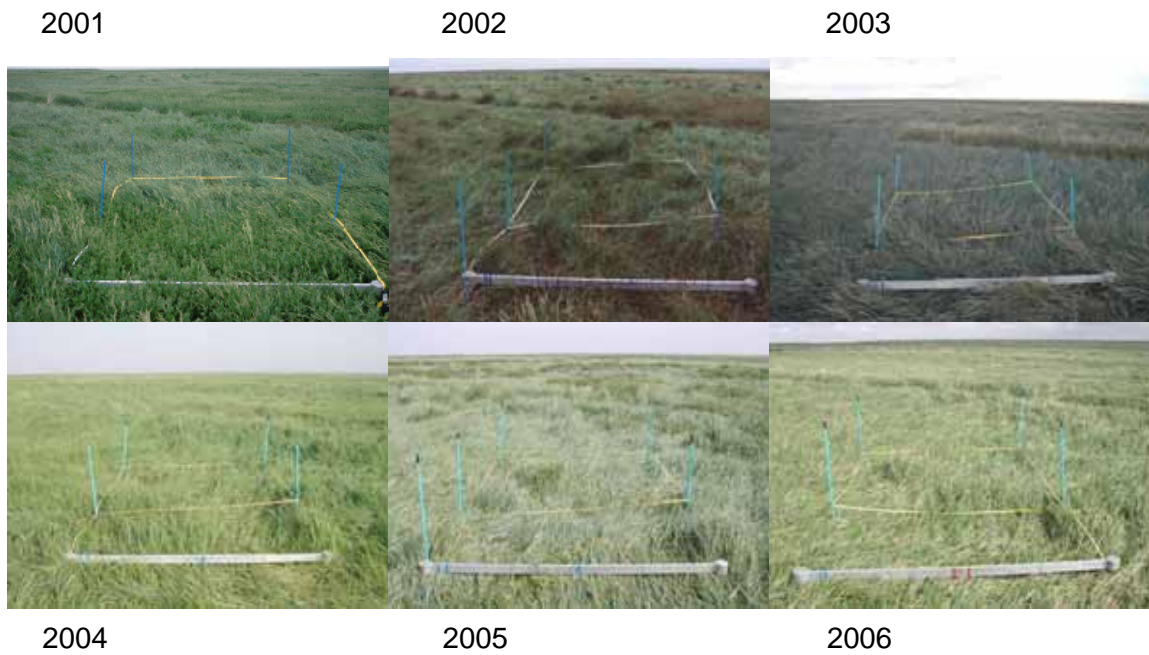
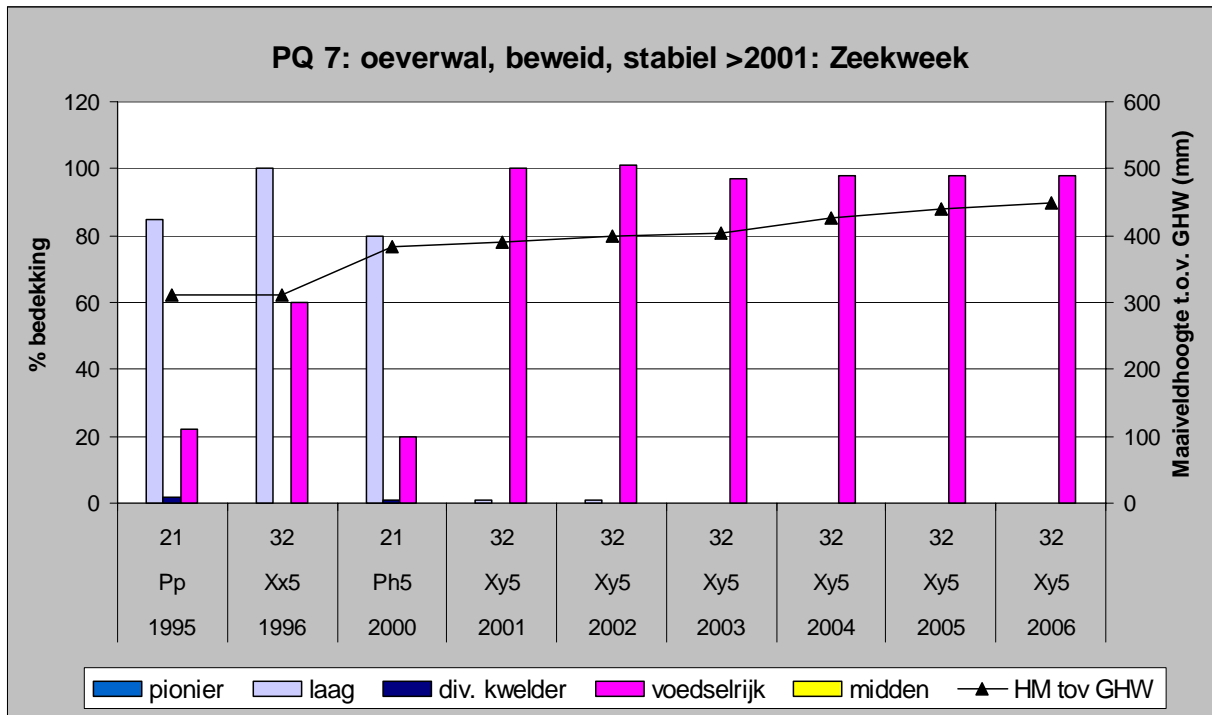
Figuur 5.2 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 4 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



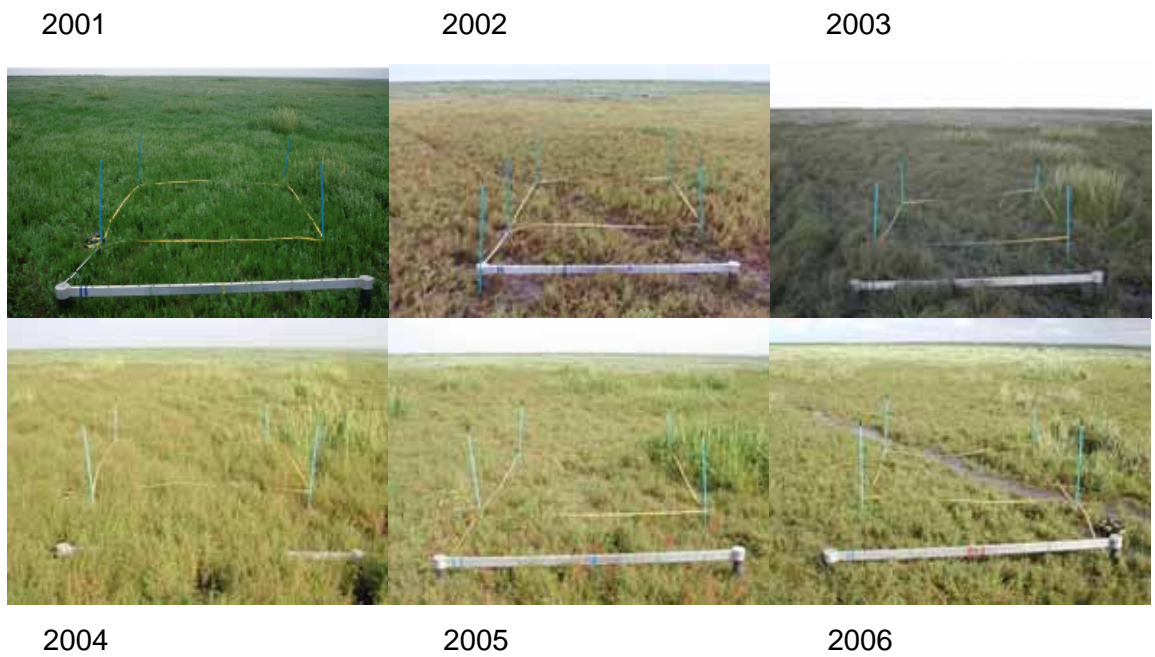
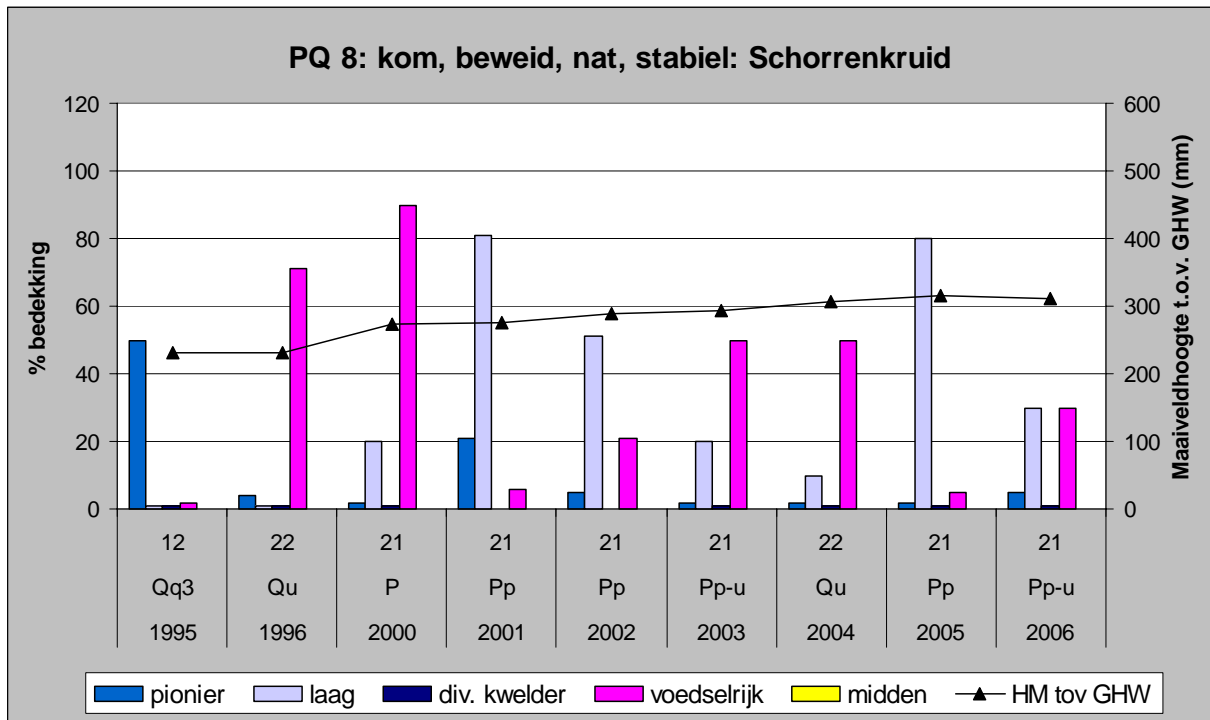
Figuur 5.3 Vegetatie- en maaieldhoogteontwikkeling van pq 5 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



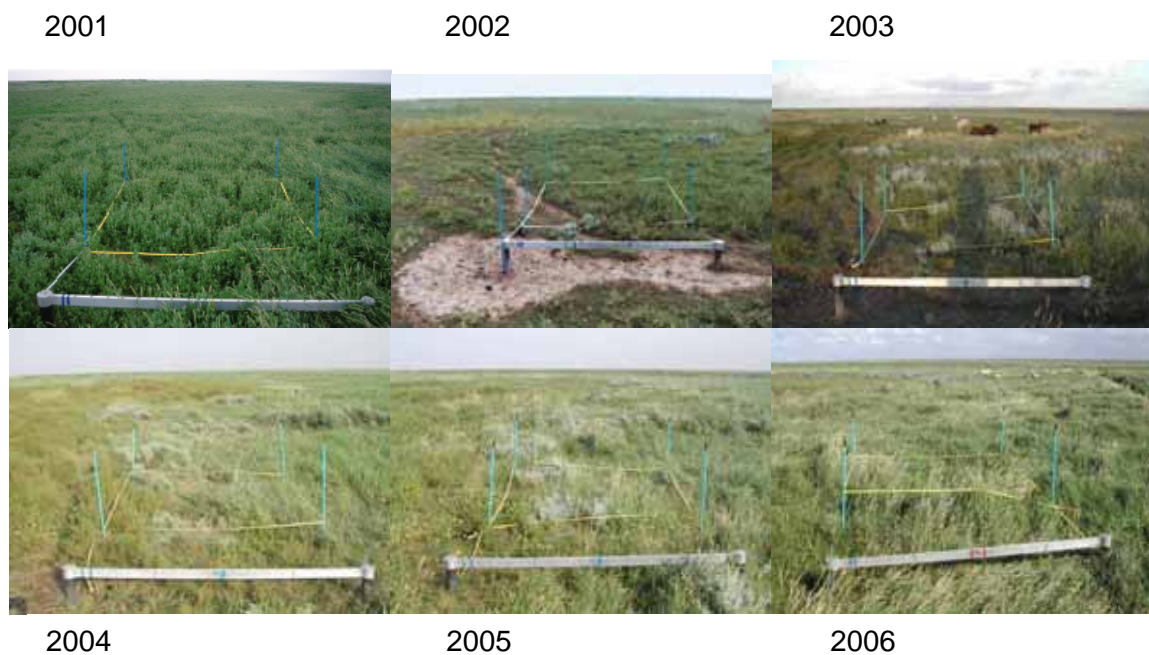
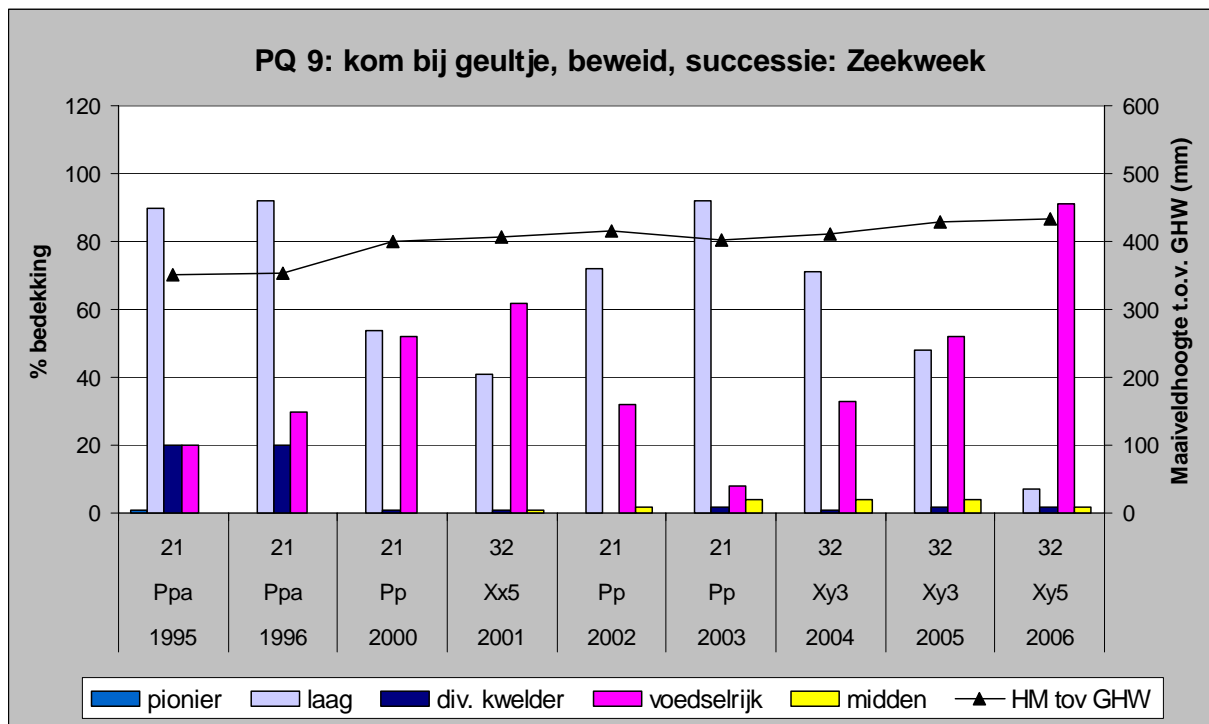
Figuur 5.4 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 6 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



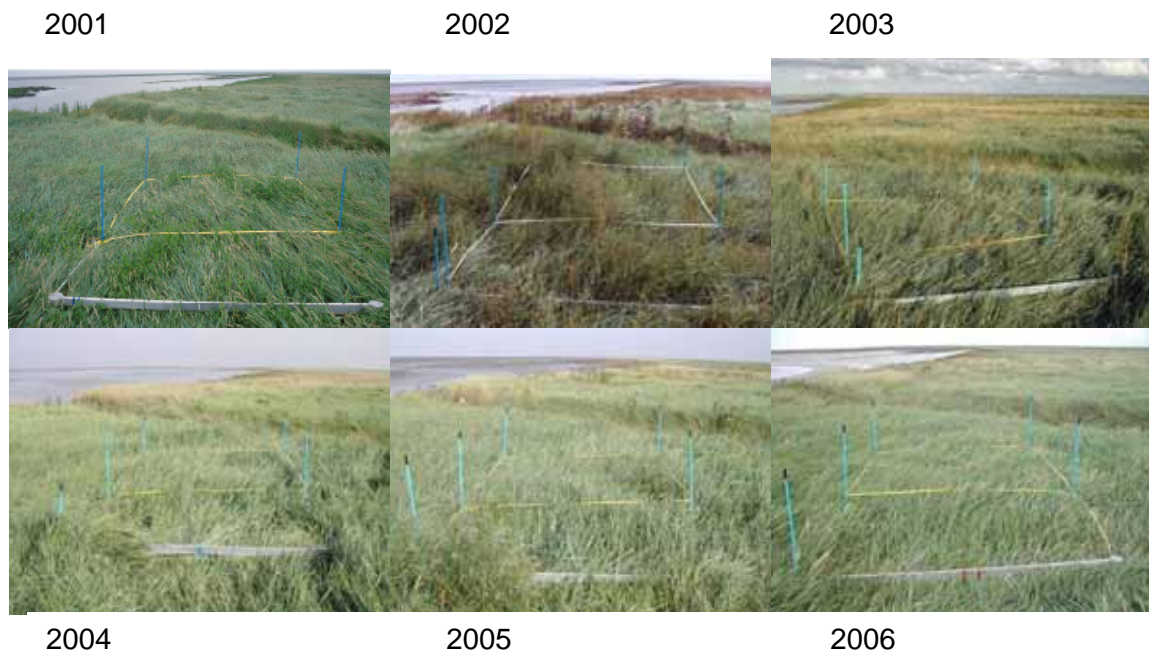
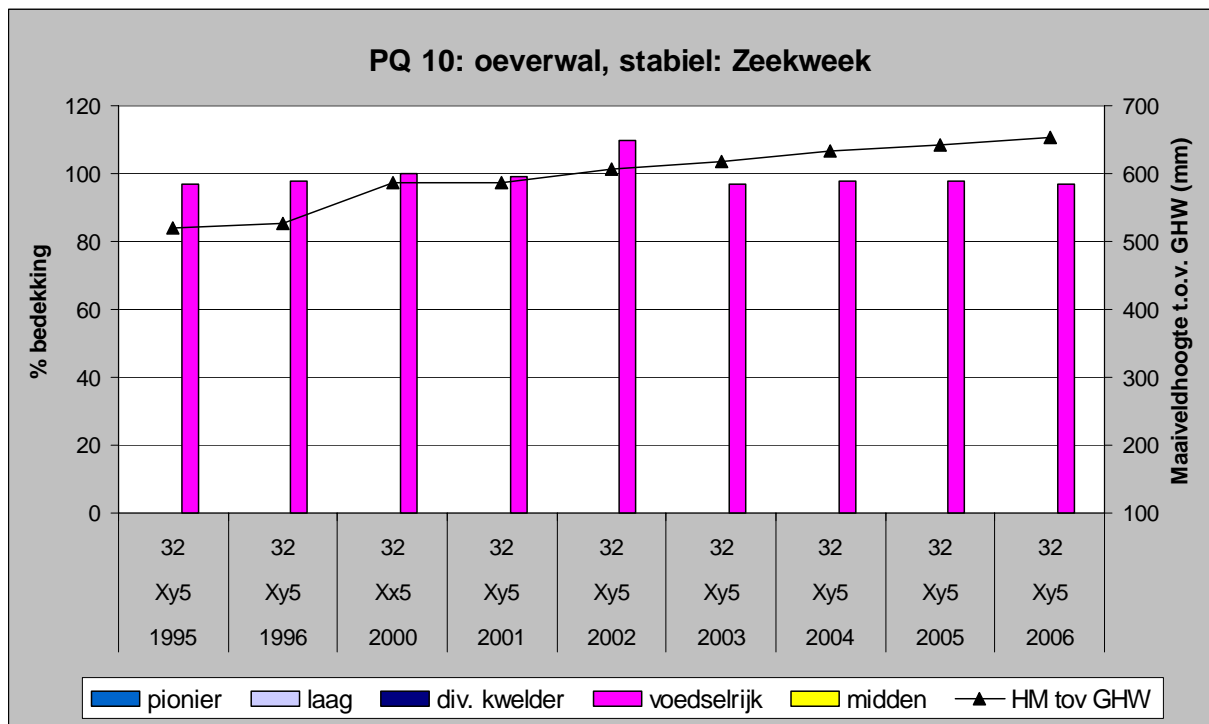
Figuur 5.5 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 7 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



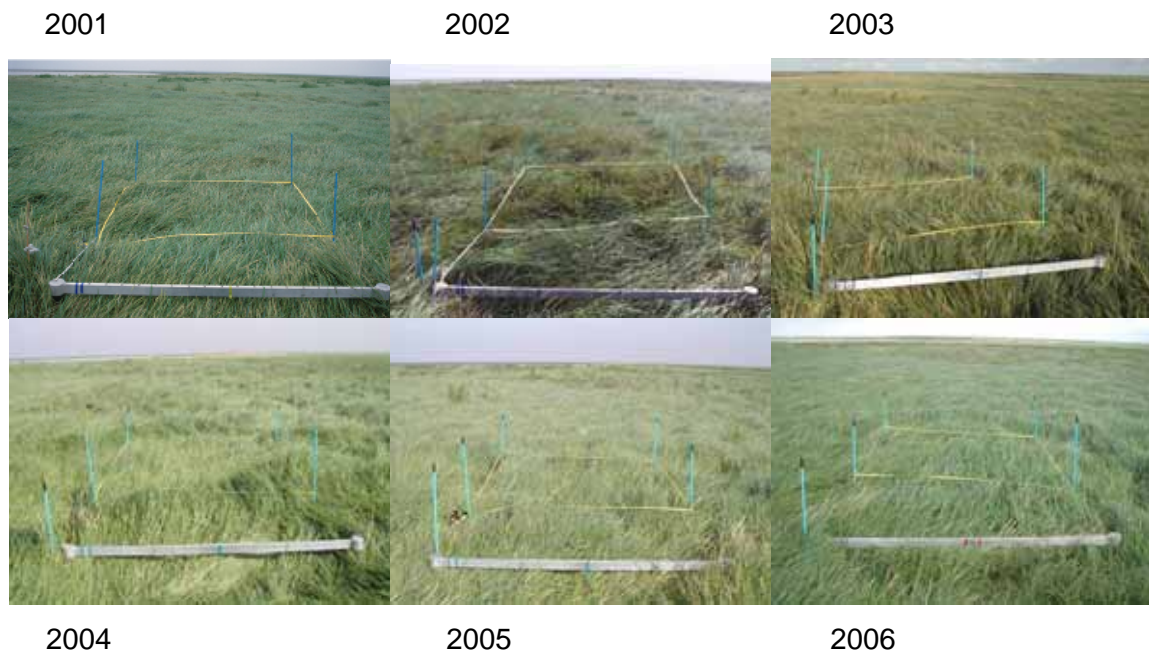
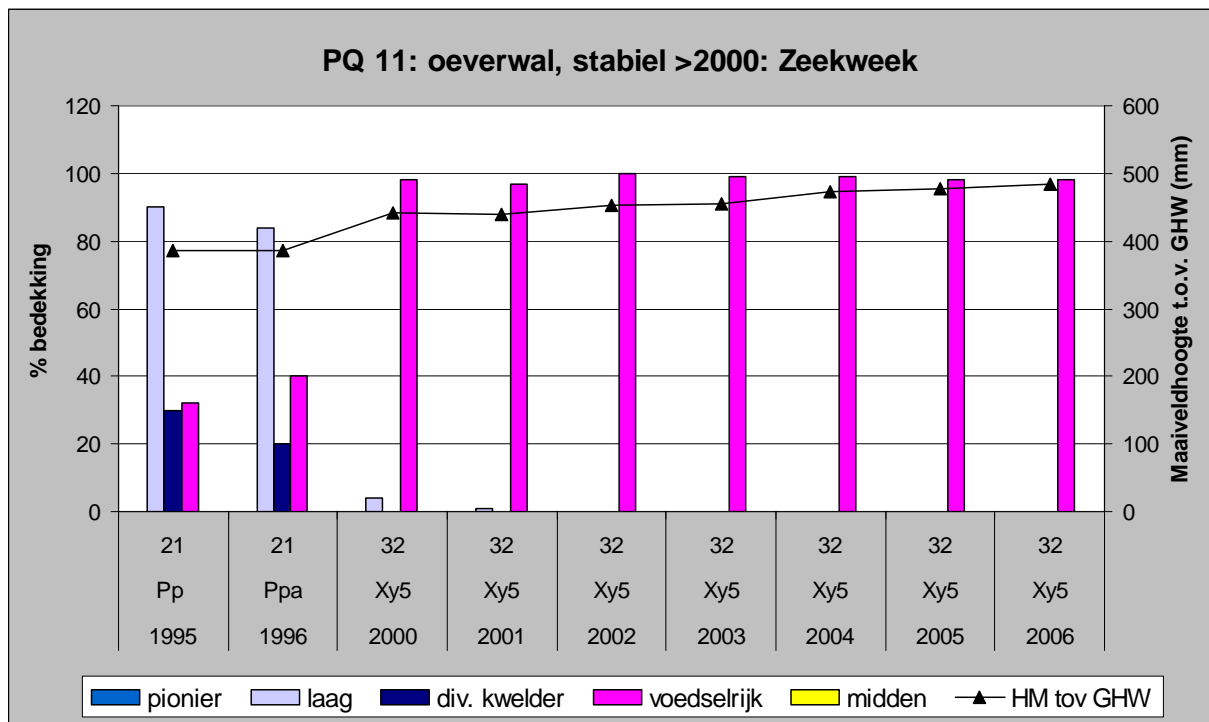
Figuur 5.6 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 8 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



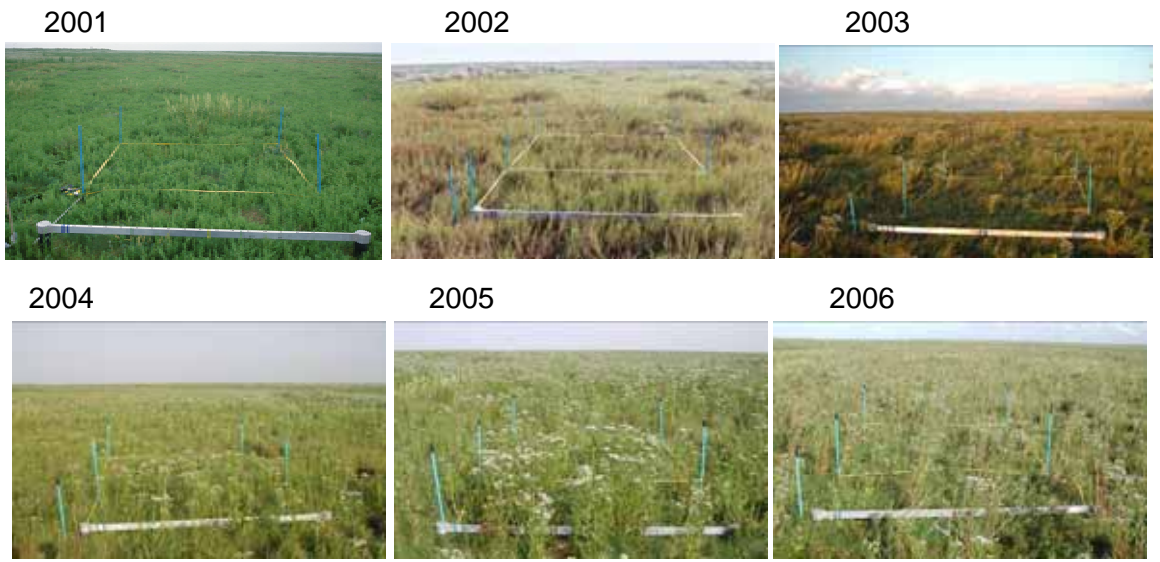
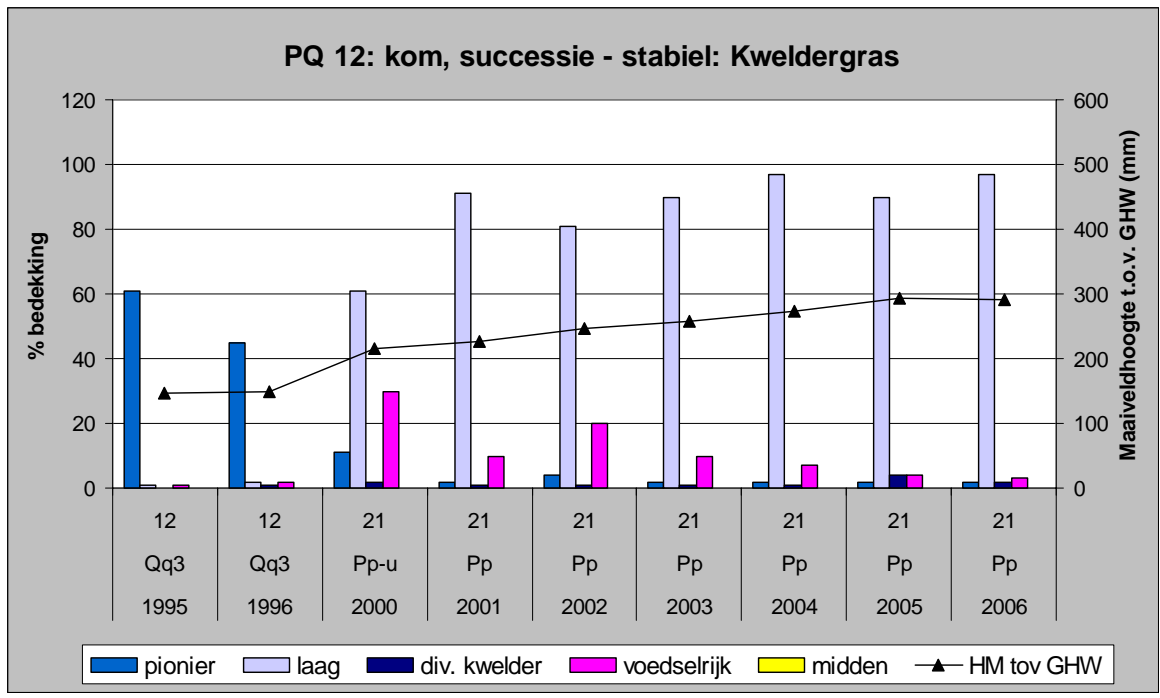
Figuur 5.7 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 9 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006. In 2002 is duidelijk ernstige vertrappingsschade te zien.



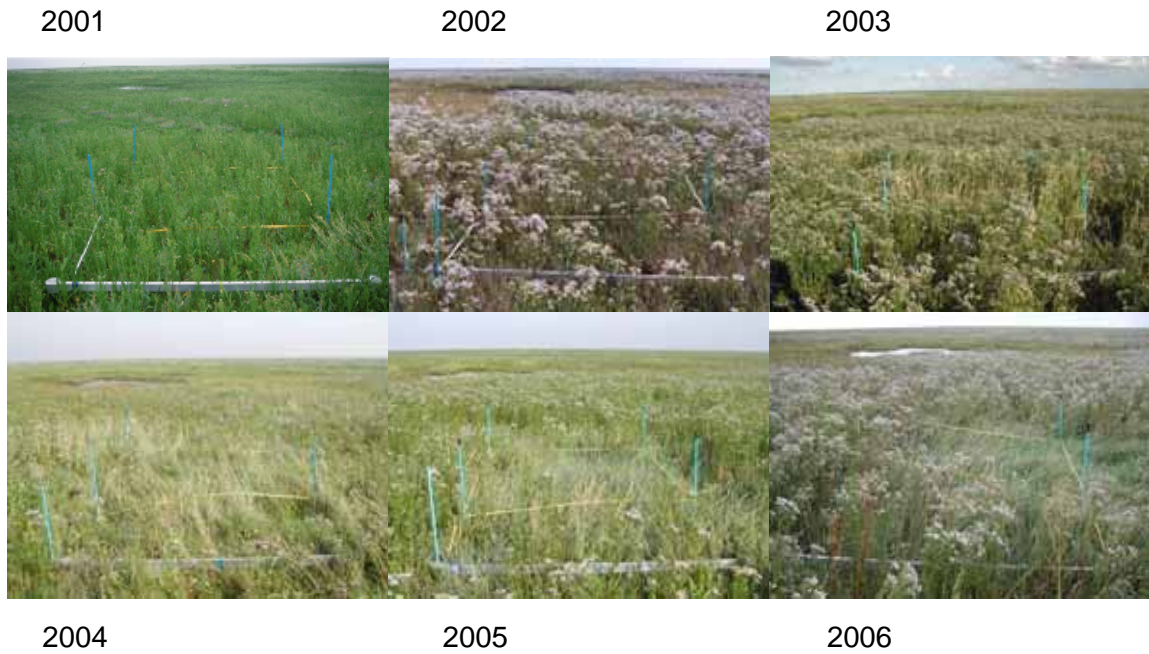
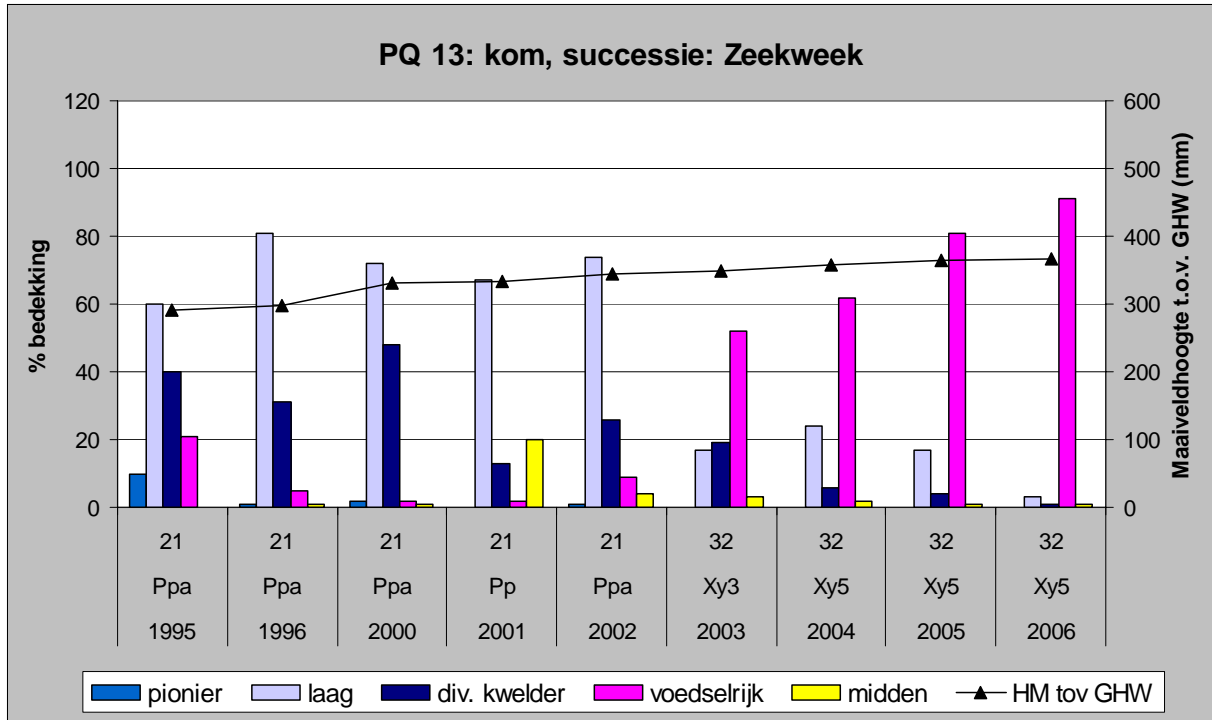
Figuur 5.8 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 10 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



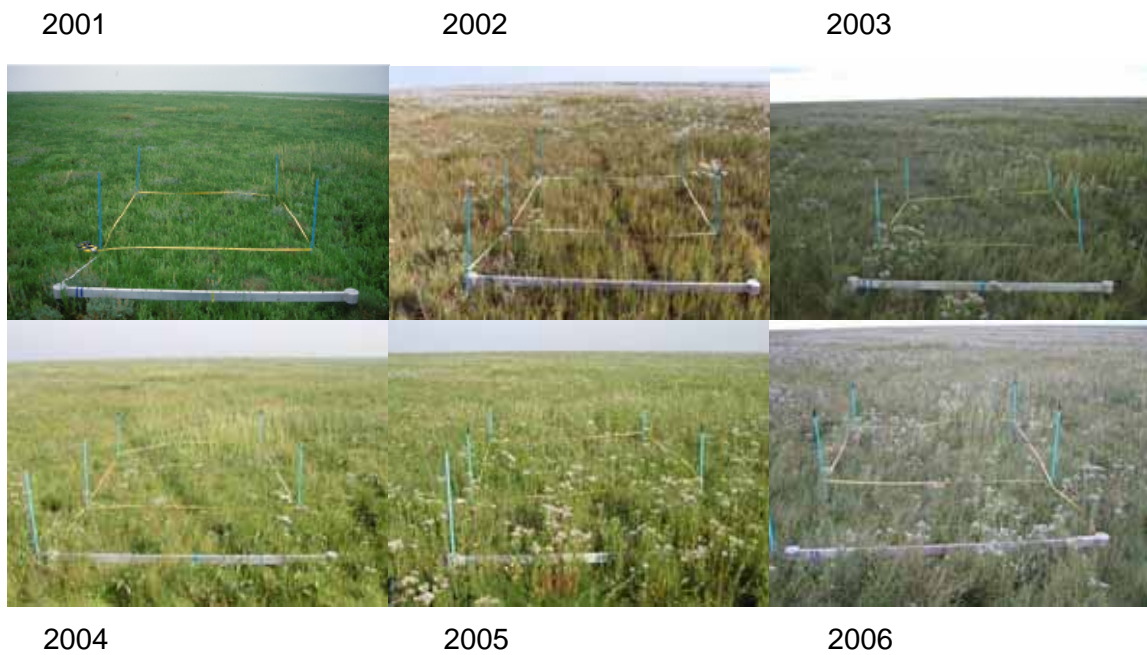
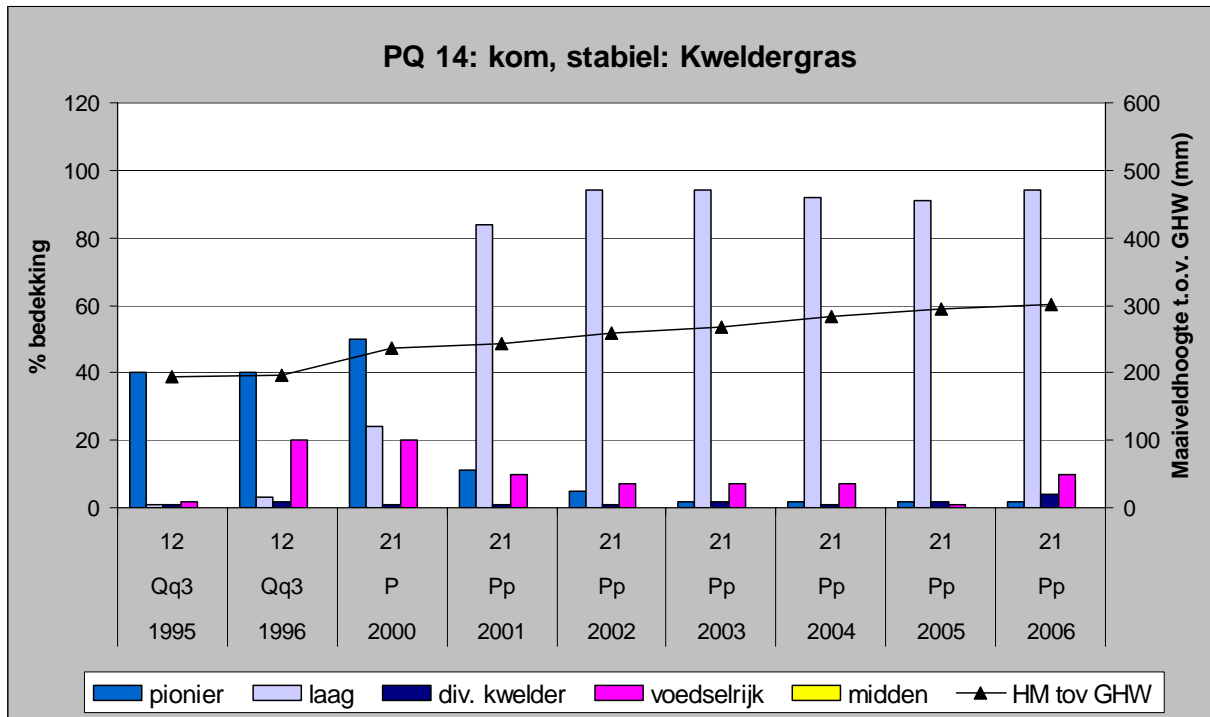
Figuur 5.9 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 11 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



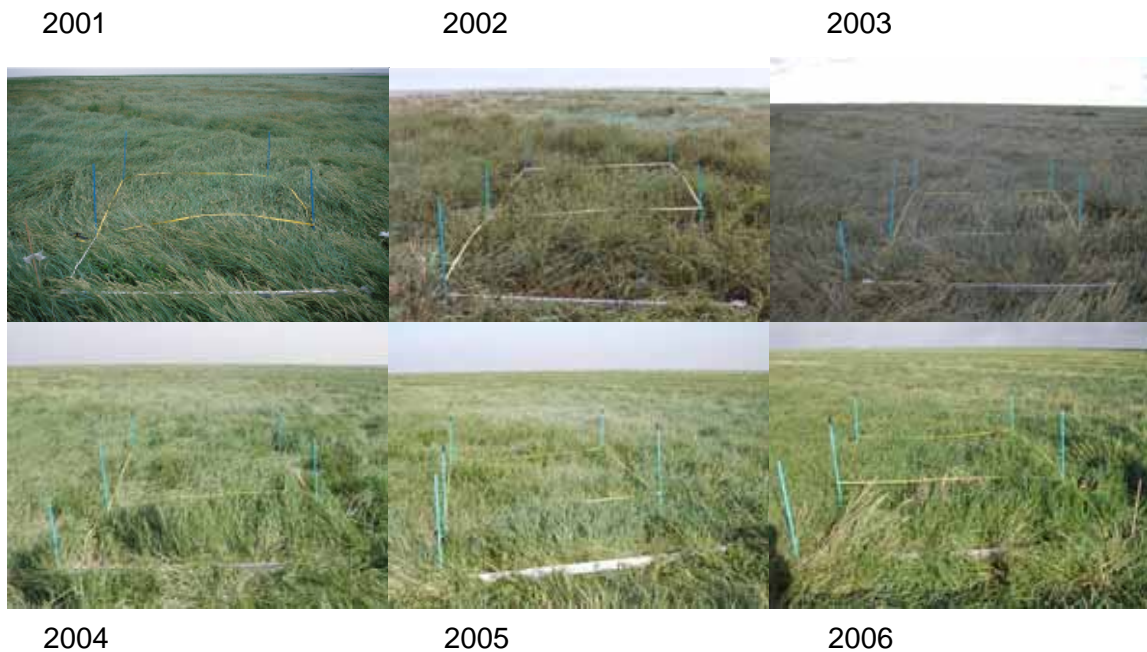
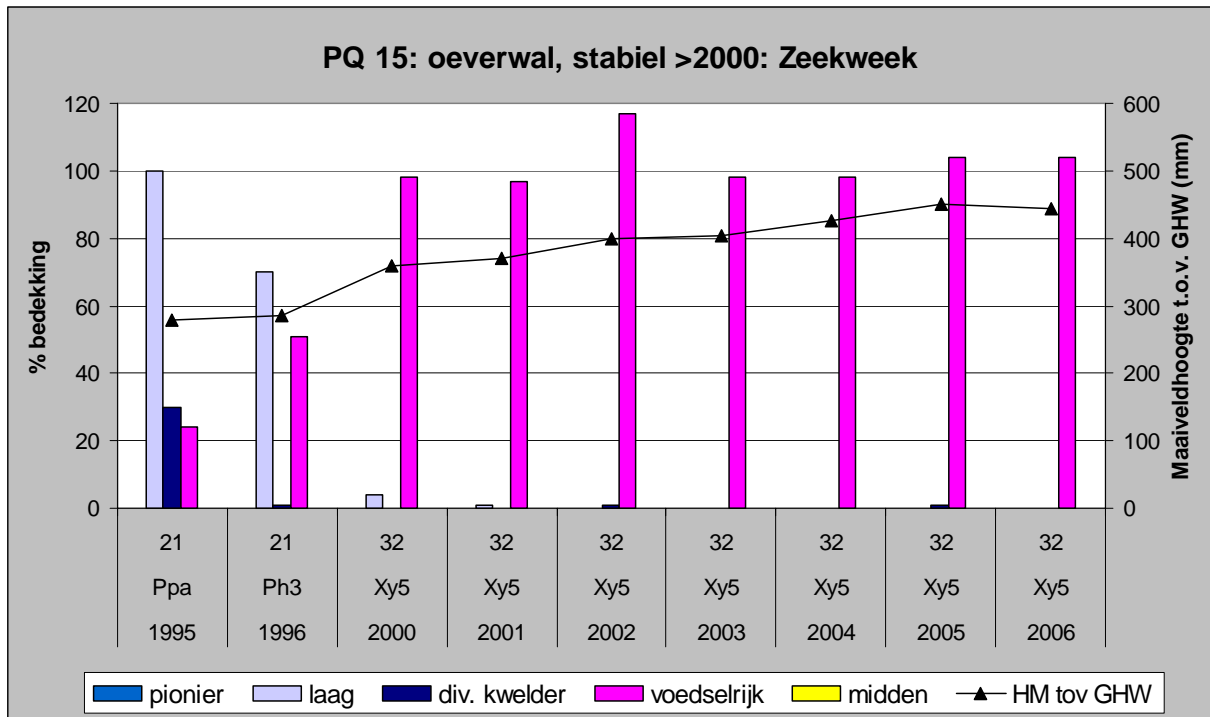
Figuur 5.10 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 12 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



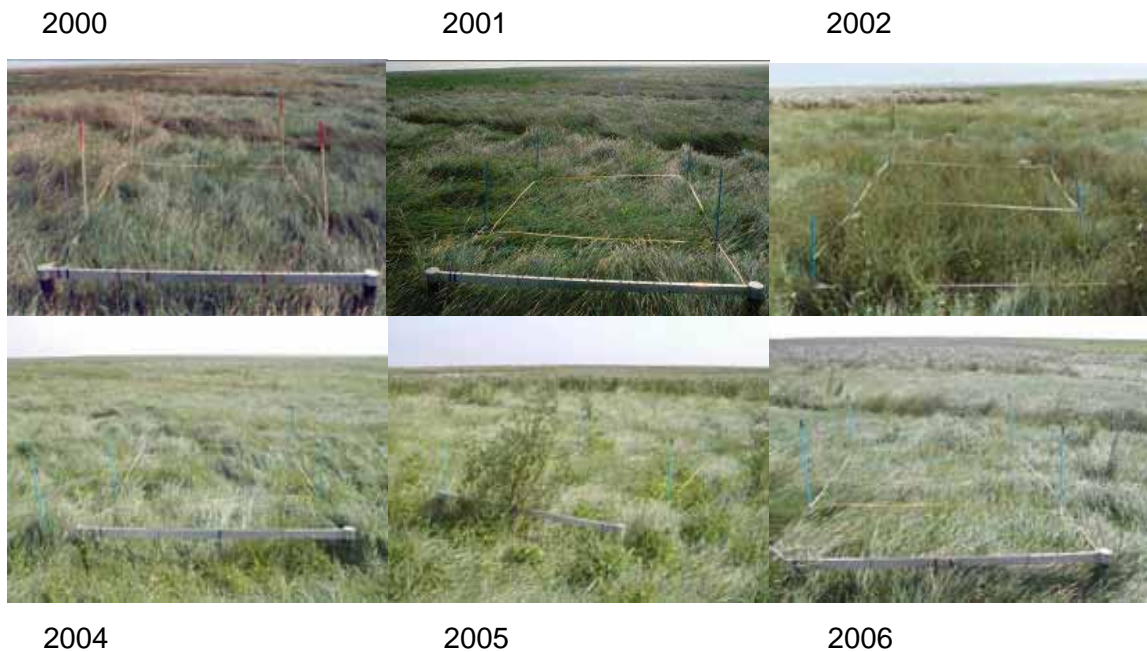
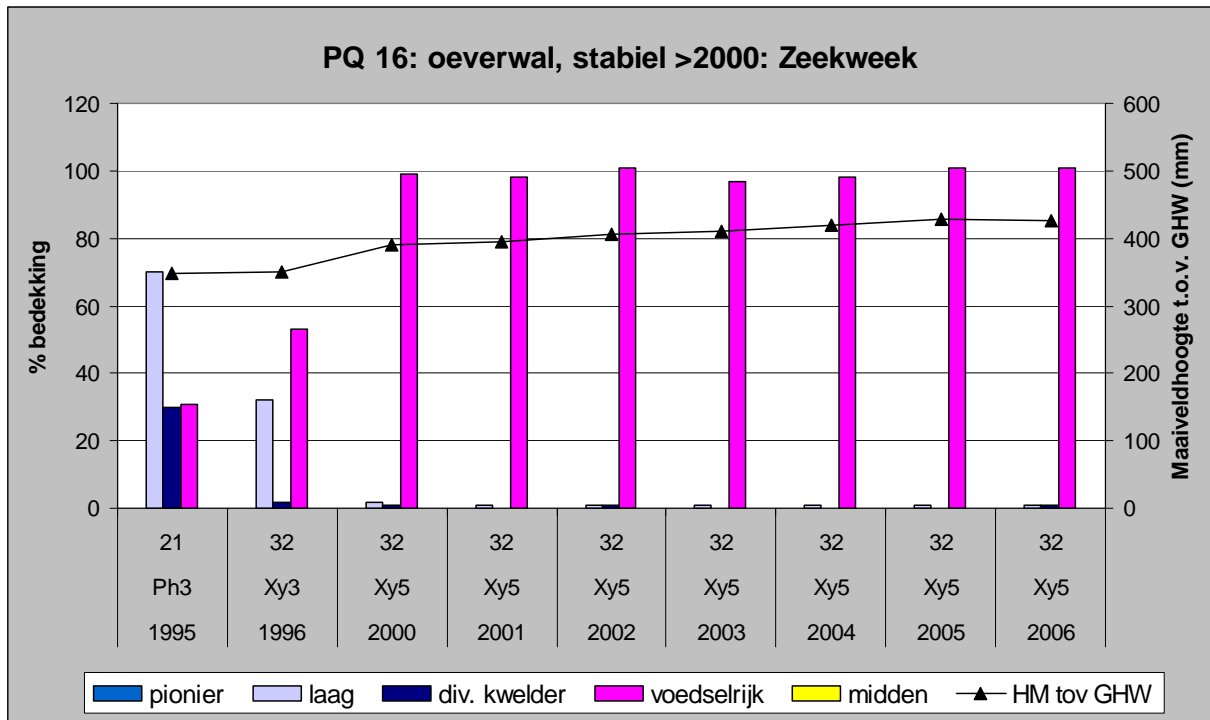
Figuur 5.11 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 13 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



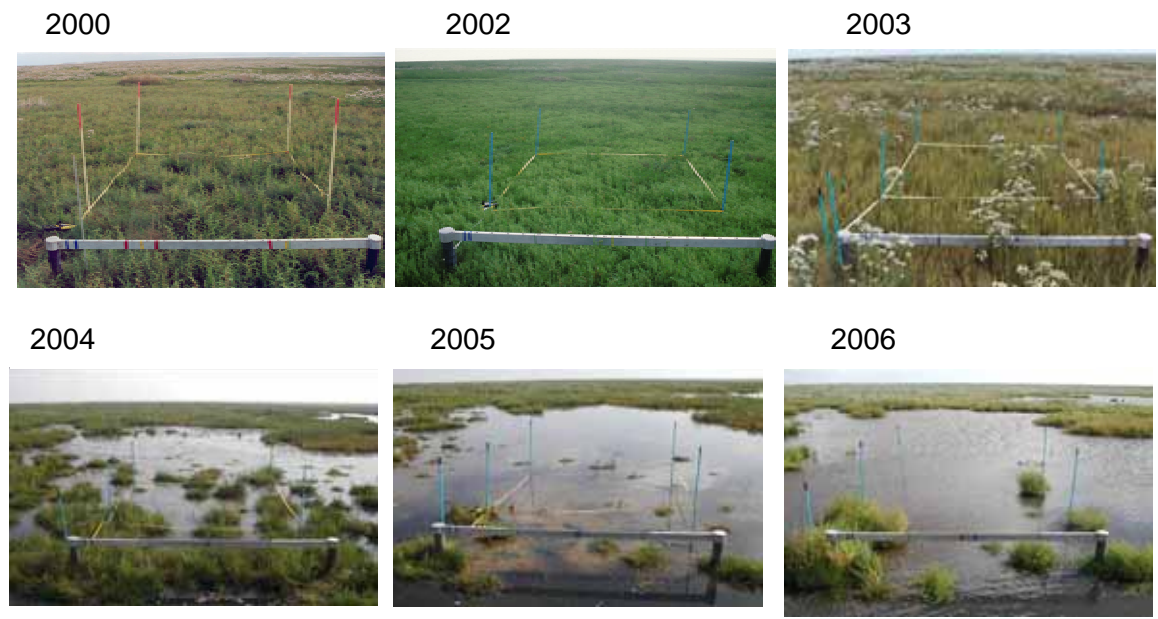
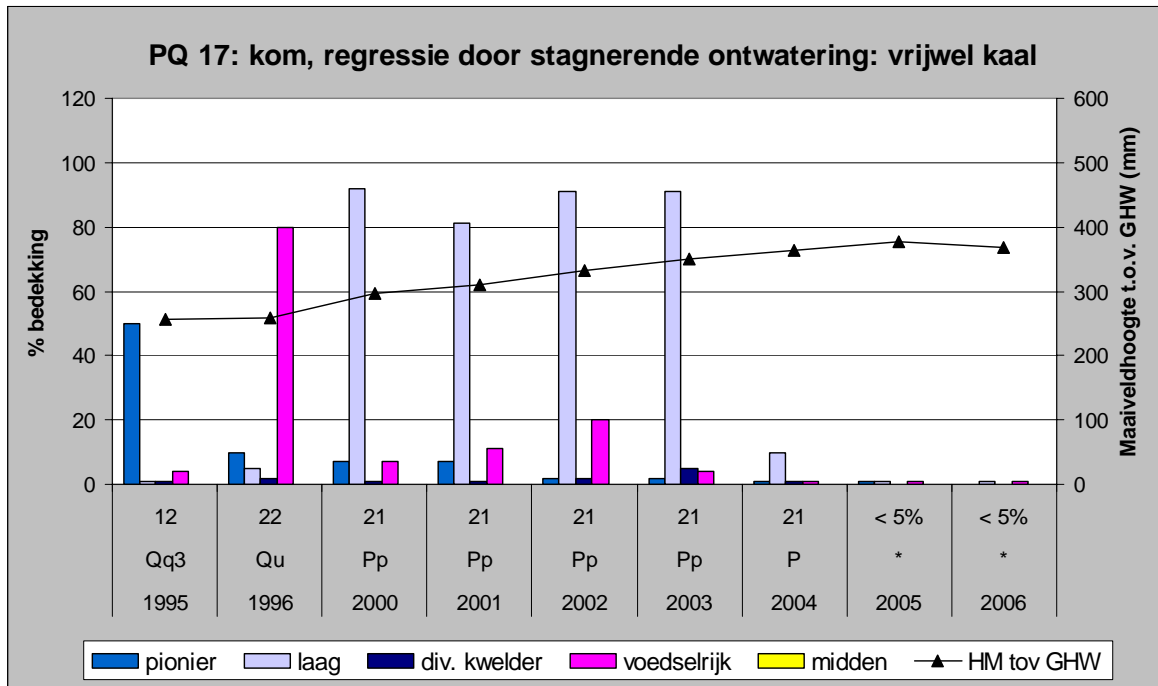
Figuur 5.12 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 14 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



Figuur 5.13 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 15 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



Figuur 5.14 Vegetatie- en maaielhoogteontwikkeling van pq 16 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2000, 2001, 2002, 2004, 2005 en 2006.



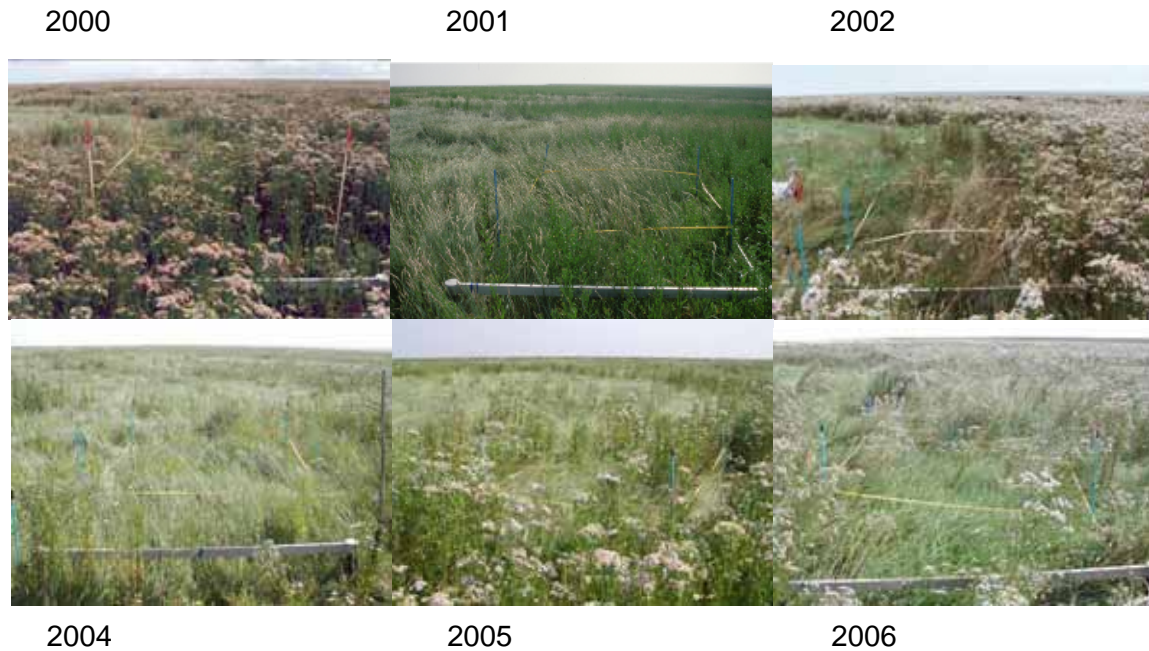
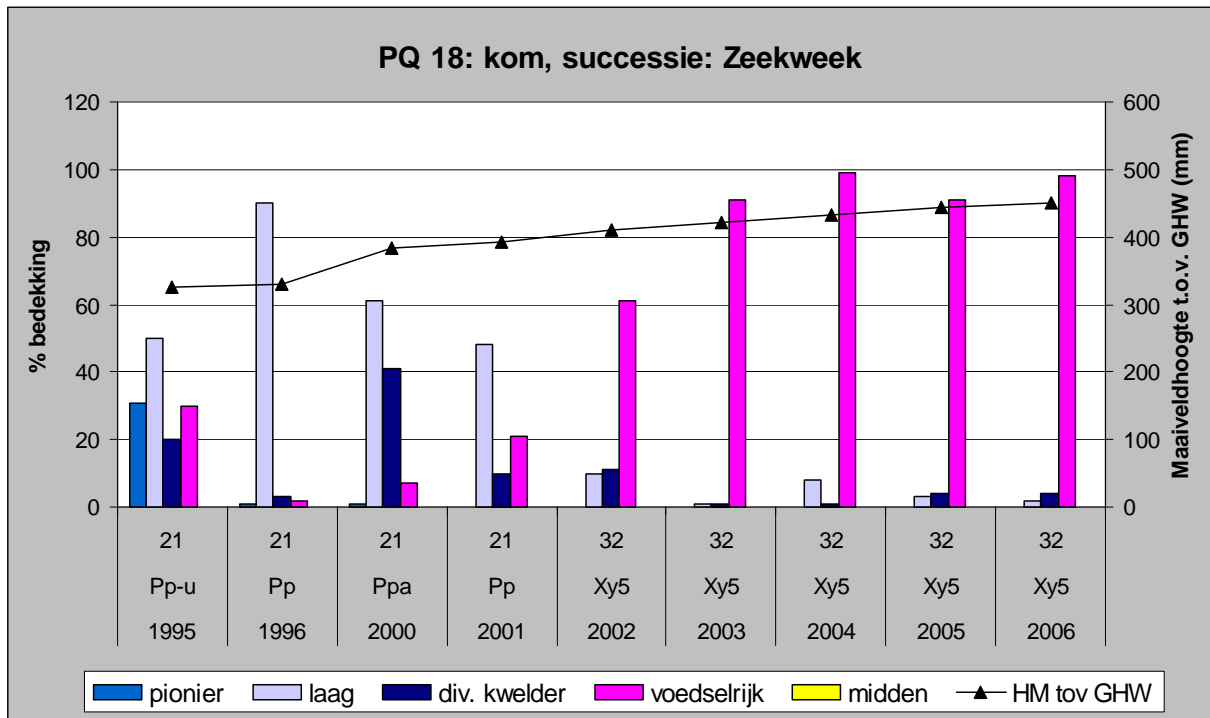
Figuur 5.15 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 17 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006. Duidelijk zijn de gevolgen van een stagnerende ontwatering op de vegetatiebedekking te zien.



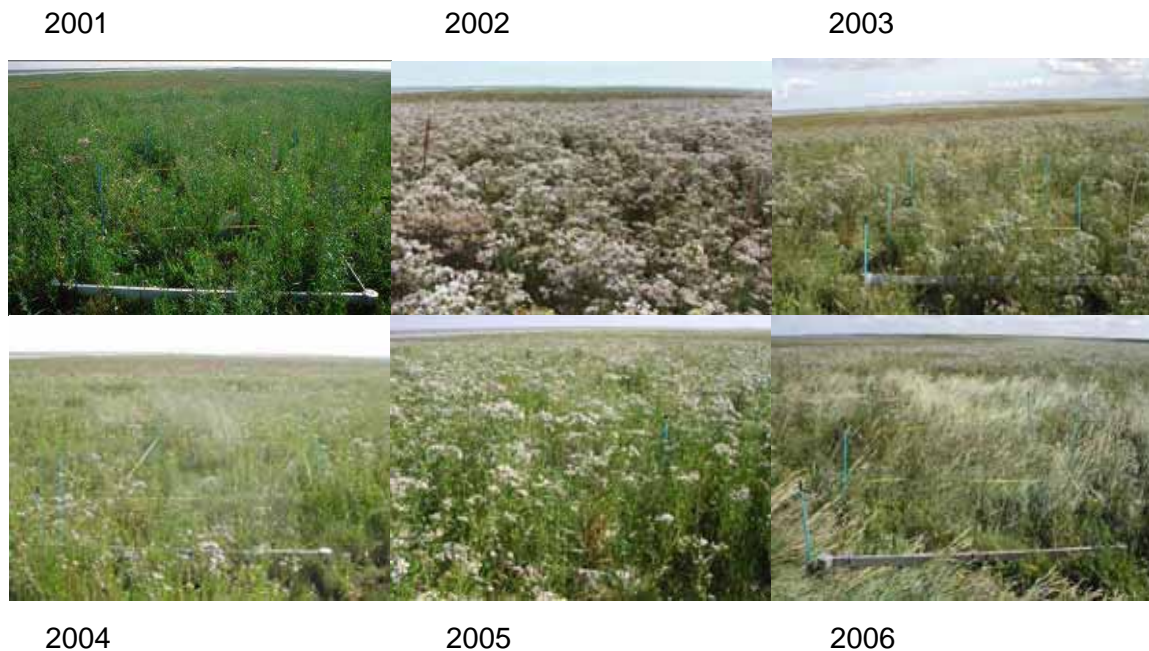
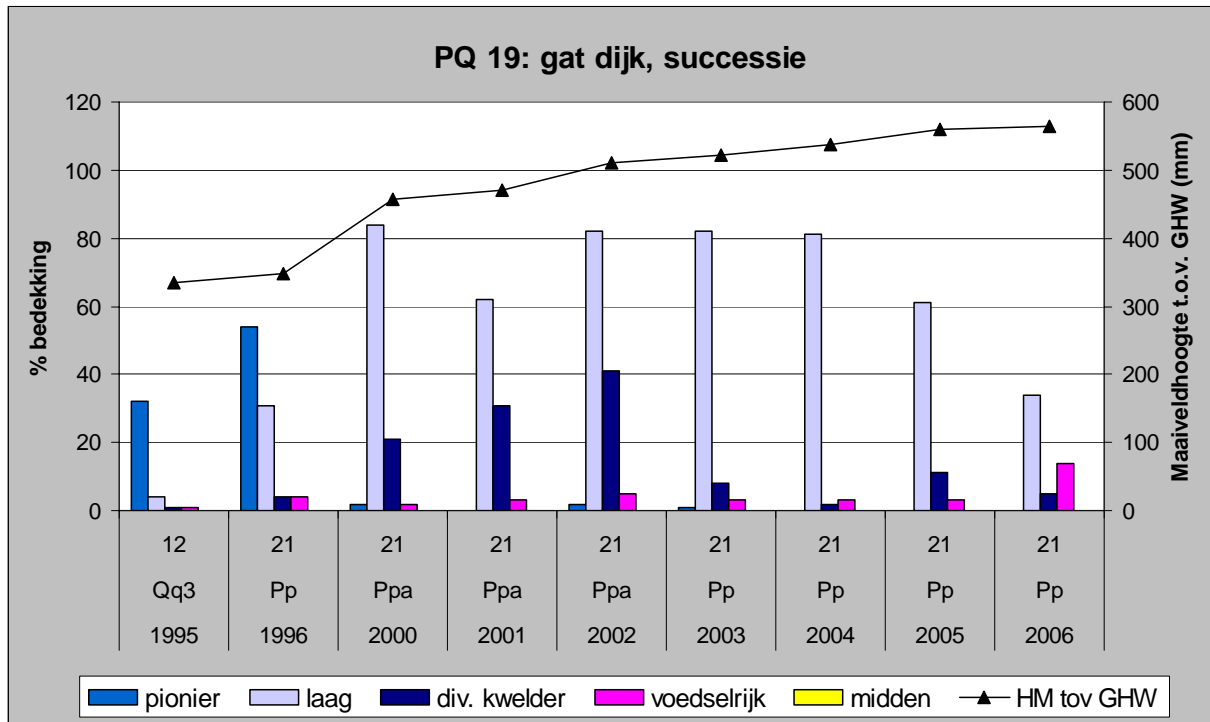
Foto 5.1 Vliegerfoto van het oostelijke deel van de Peazemerlannen op 16 oktober 2005 (met de plas bij pq 17 op de voorgrond en het grote gat in de dijk linksboven). (© Jaap de Vlas)



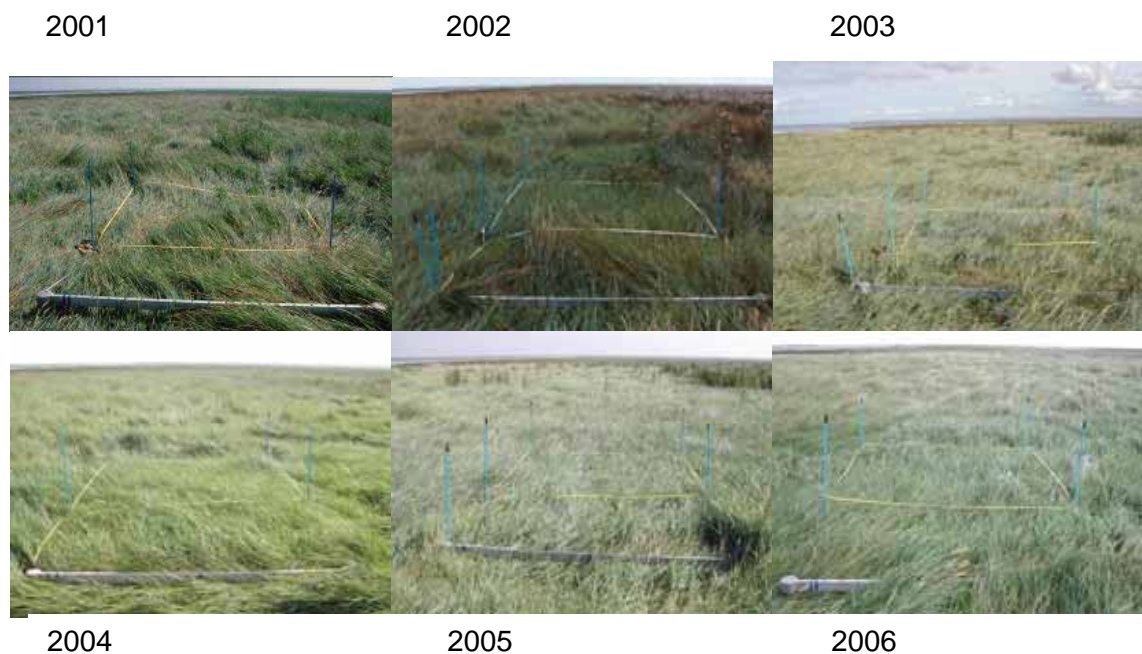
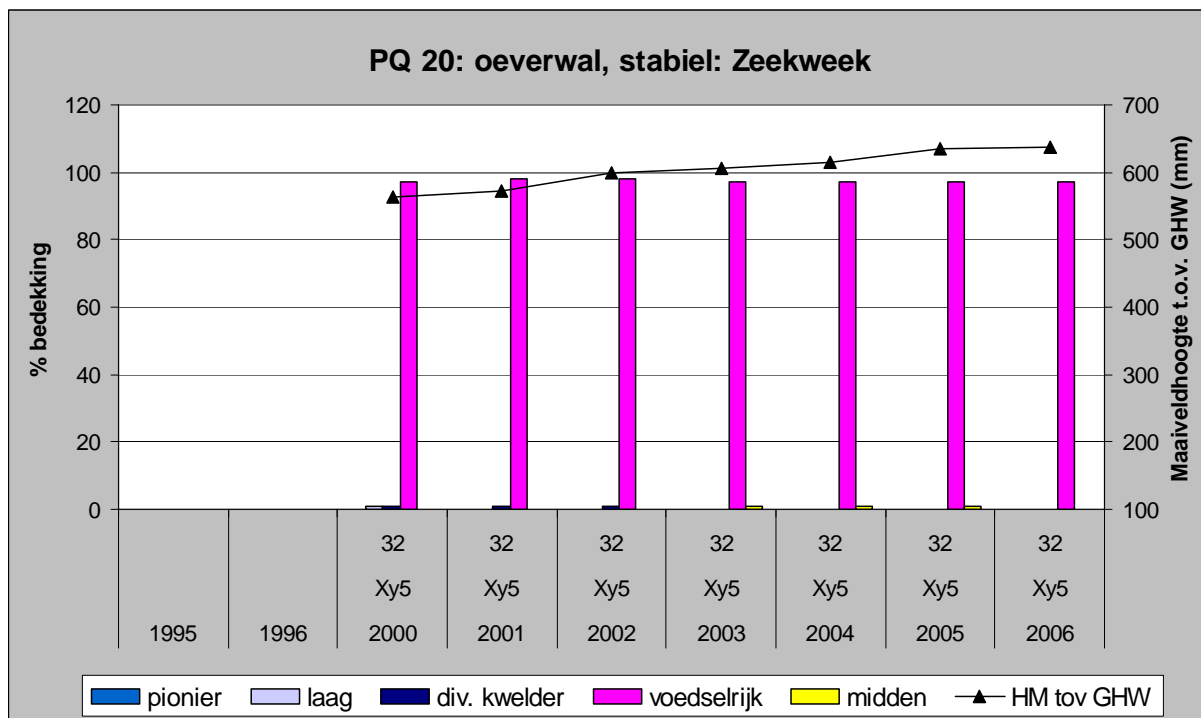
Foto 5.2 Vliegerfoto van 16 oktober 2005 van de restanten van de weggeslagen zomerkade en het voorliggende wad ter hoogte van de dijkdoorbraak in het westen. (© Jaap de Vlas)



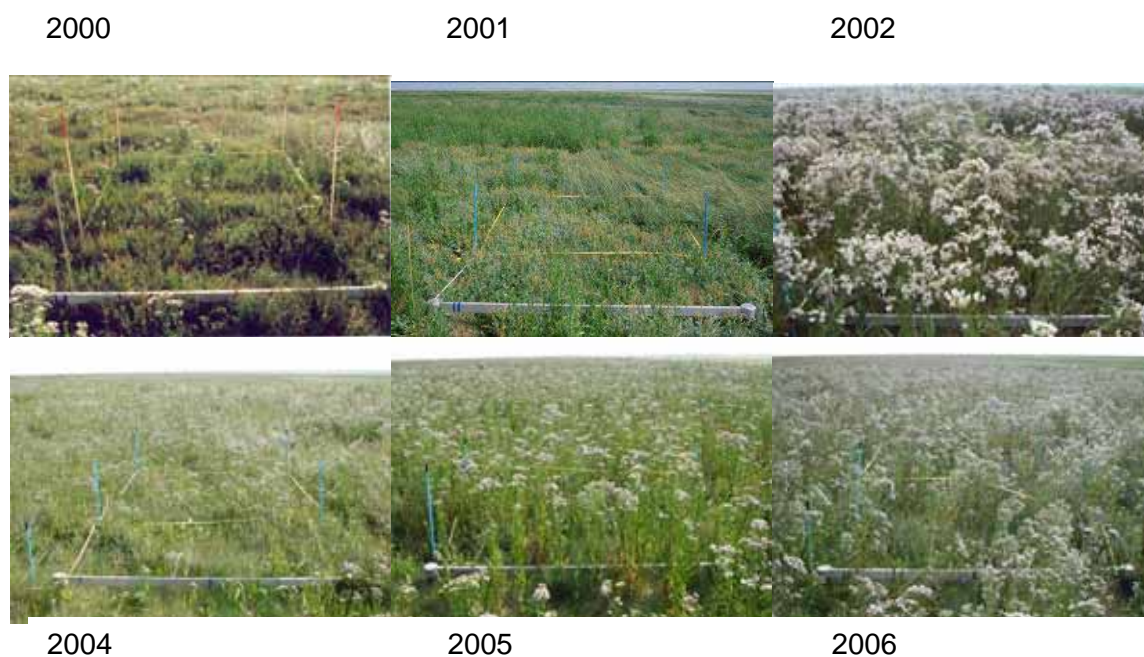
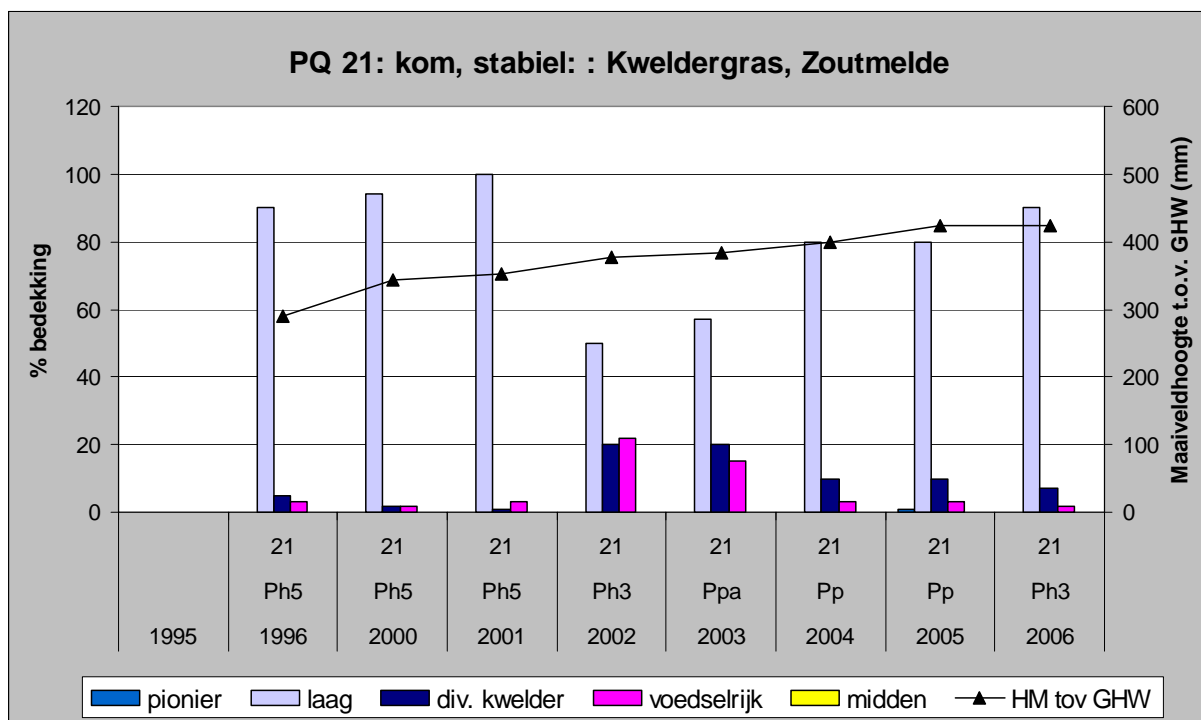
Figuur 5.16 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 18 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2000, 2001, 2002, 2004, 2005 en 2006.



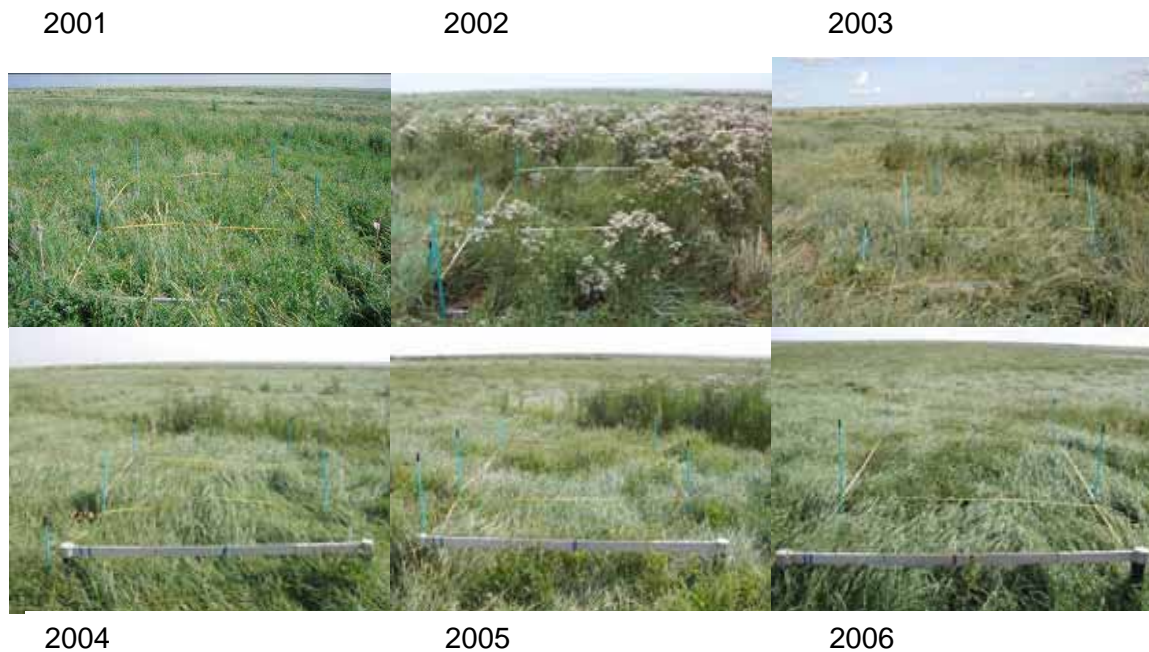
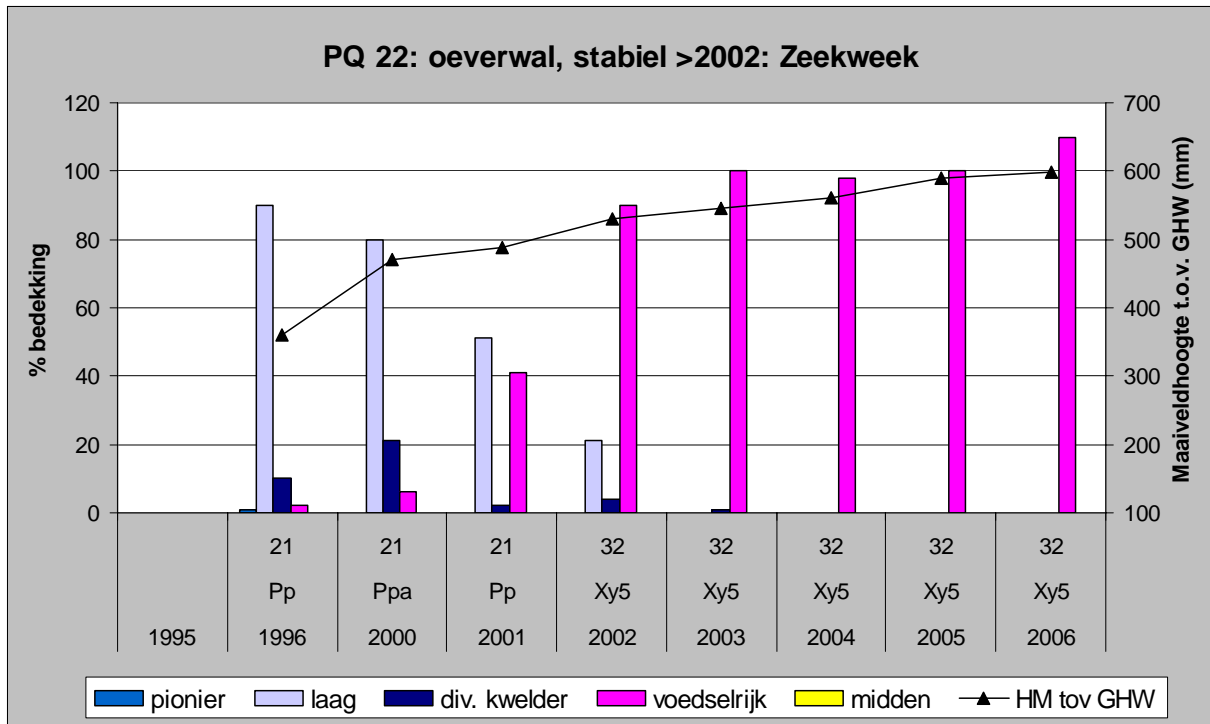
Figuur 5.17 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 19 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



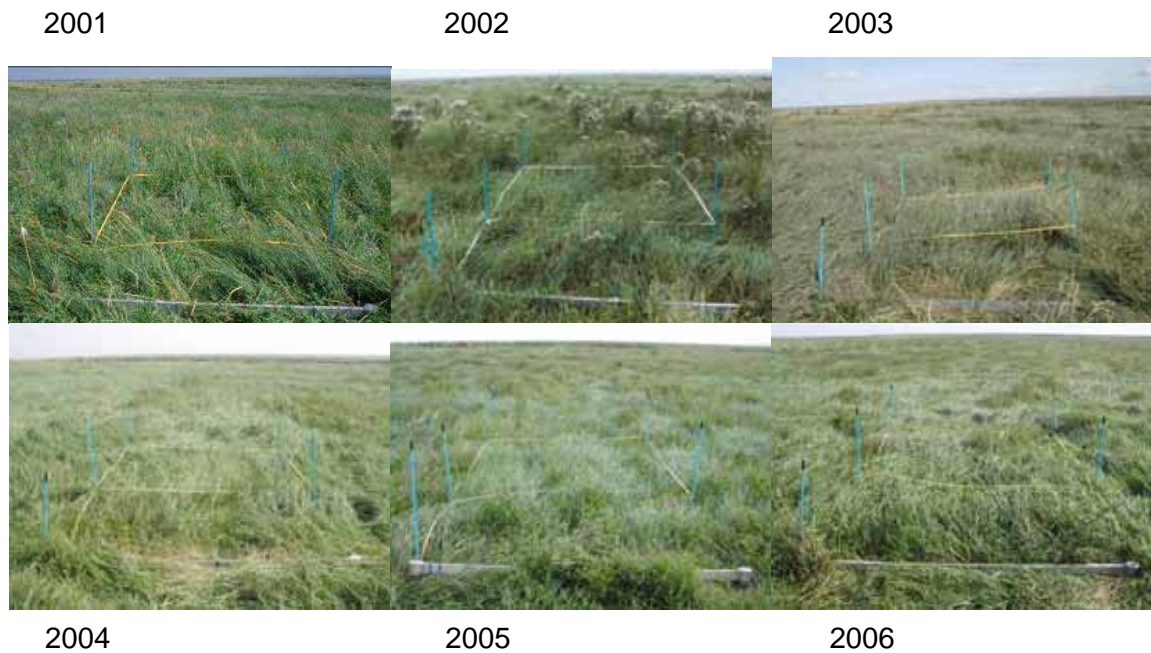
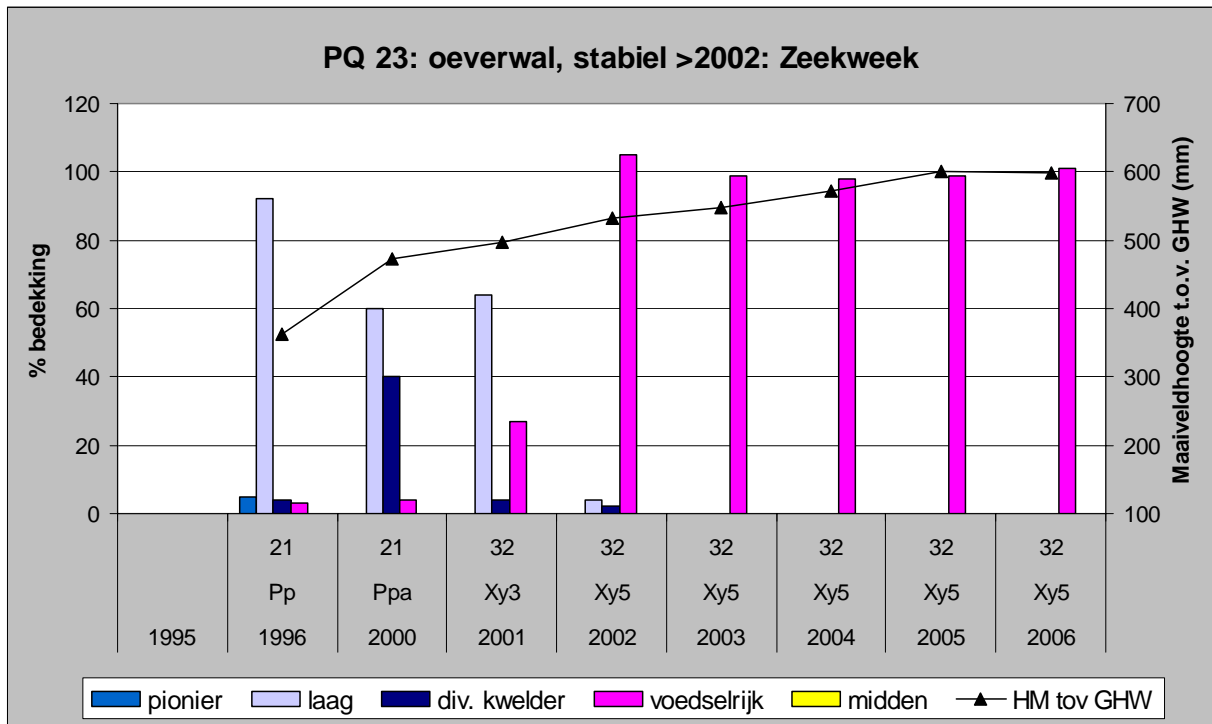
Figuur 5.18 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 20 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



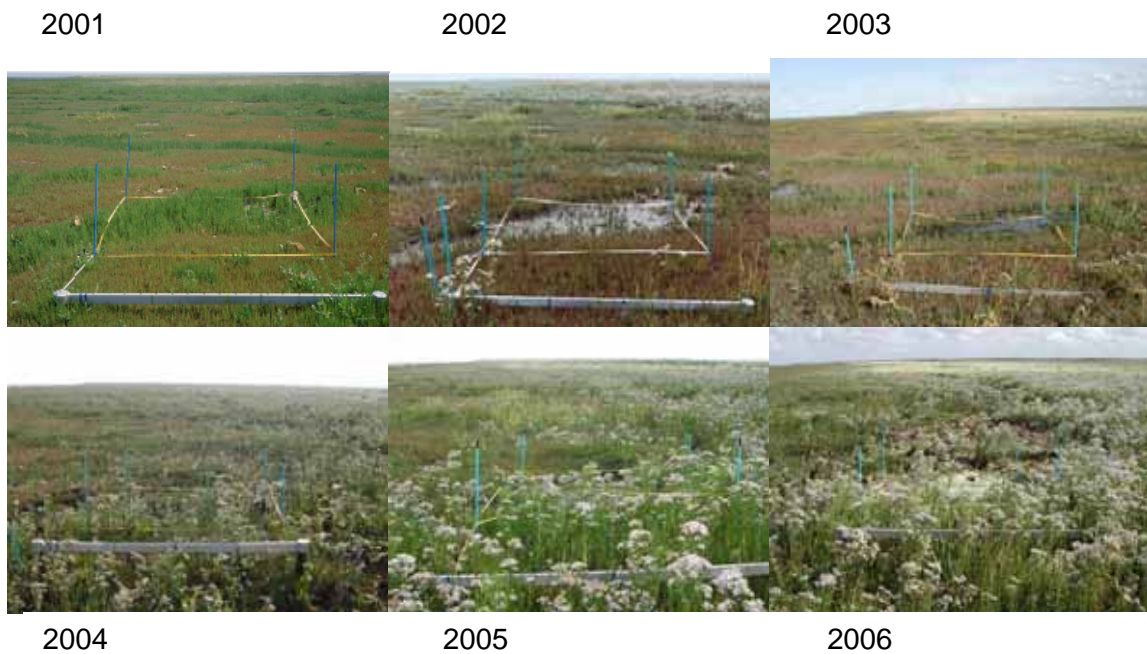
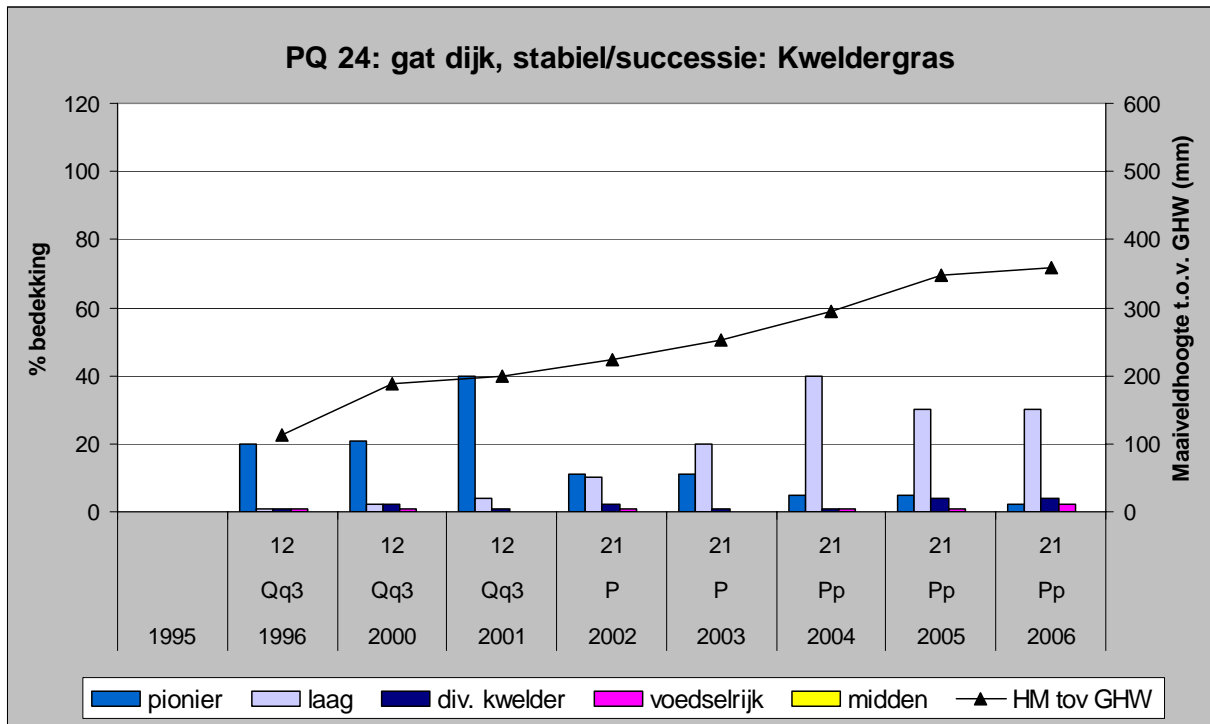
Figuur 5.19 Vegetatie- en maaielhooogteontwikkeling van pq 21 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2000, 2001, 2002, 2004, 2005 en 2006.



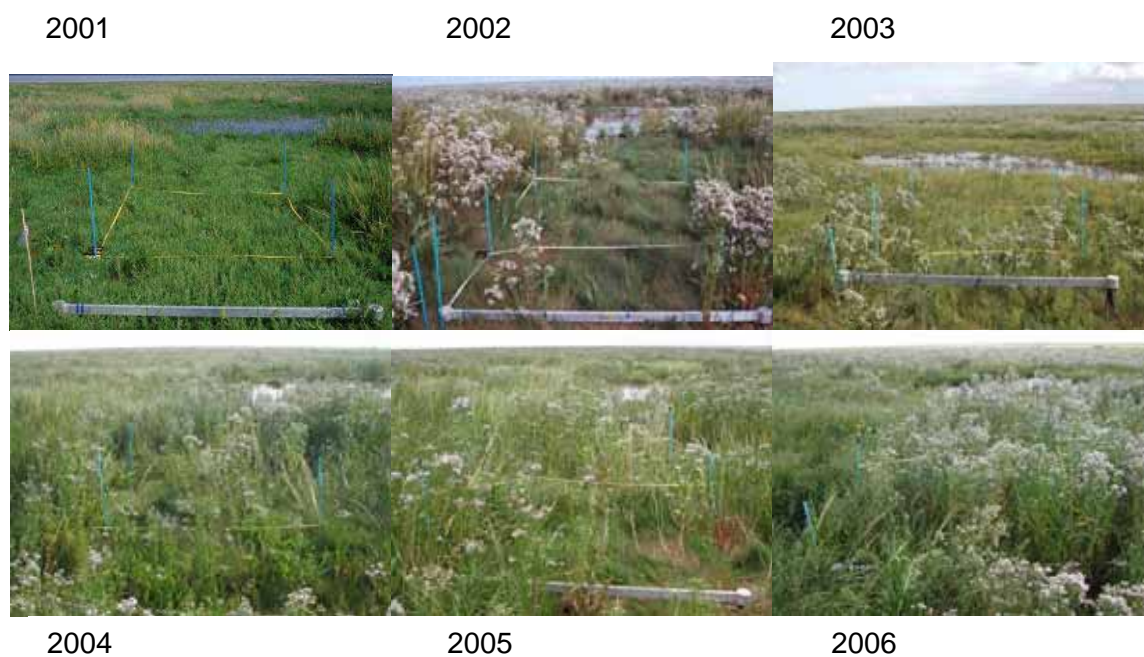
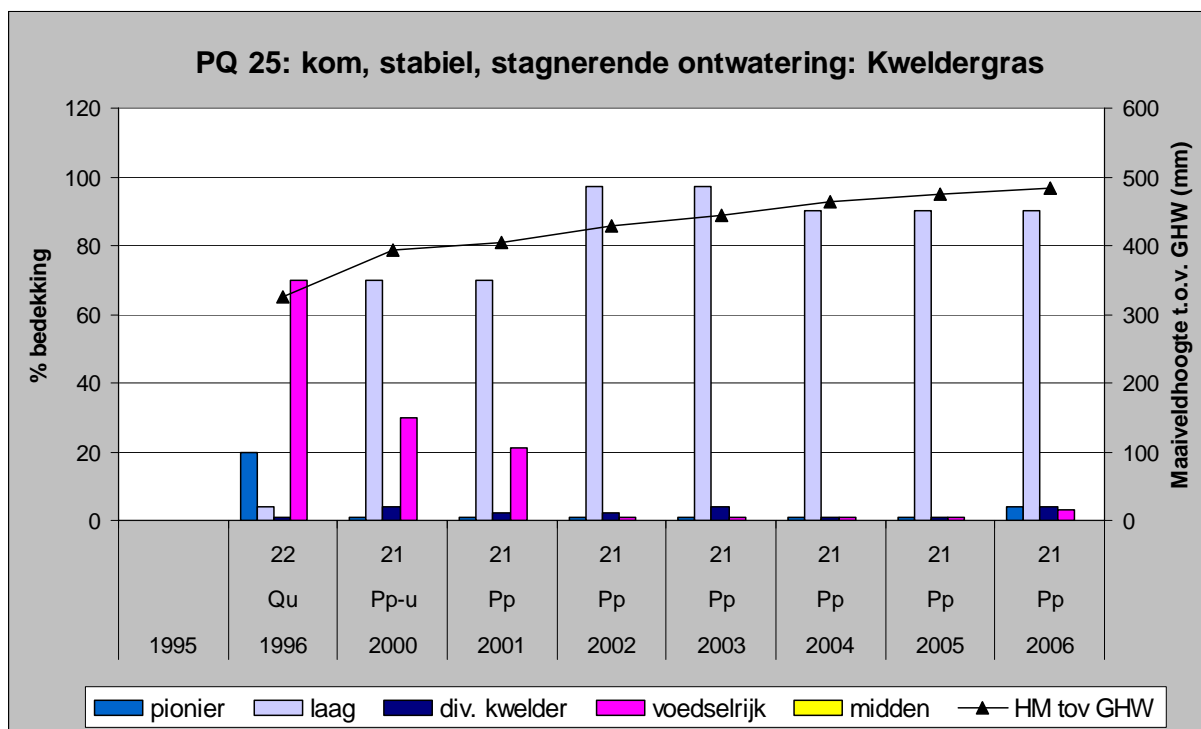
Figuur 5.20 Vegetatie- en maaielhoogeteontwikkeling van pq 22 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



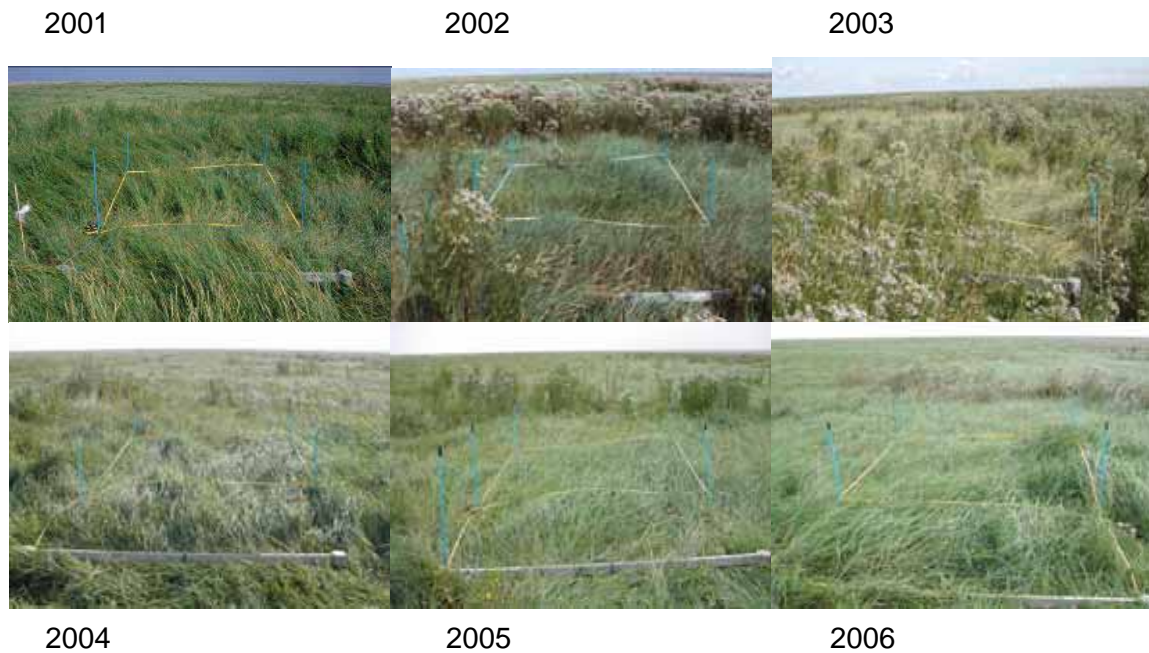
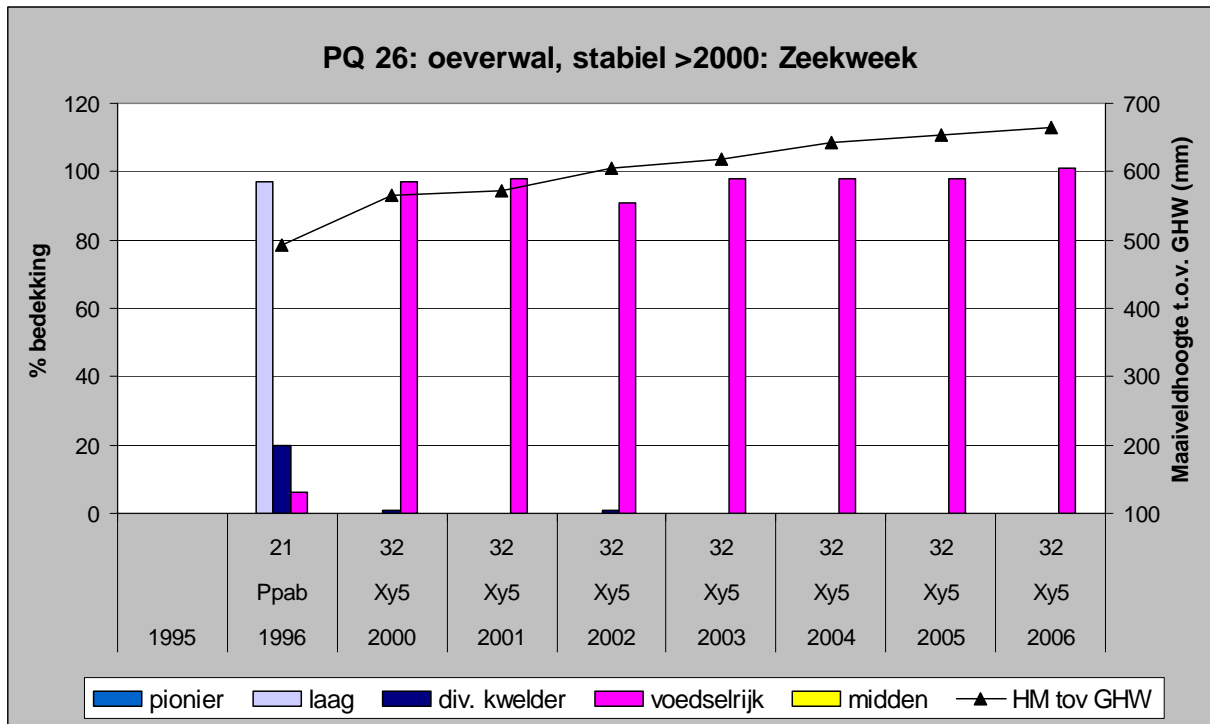
Figuur 5.21 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 23 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



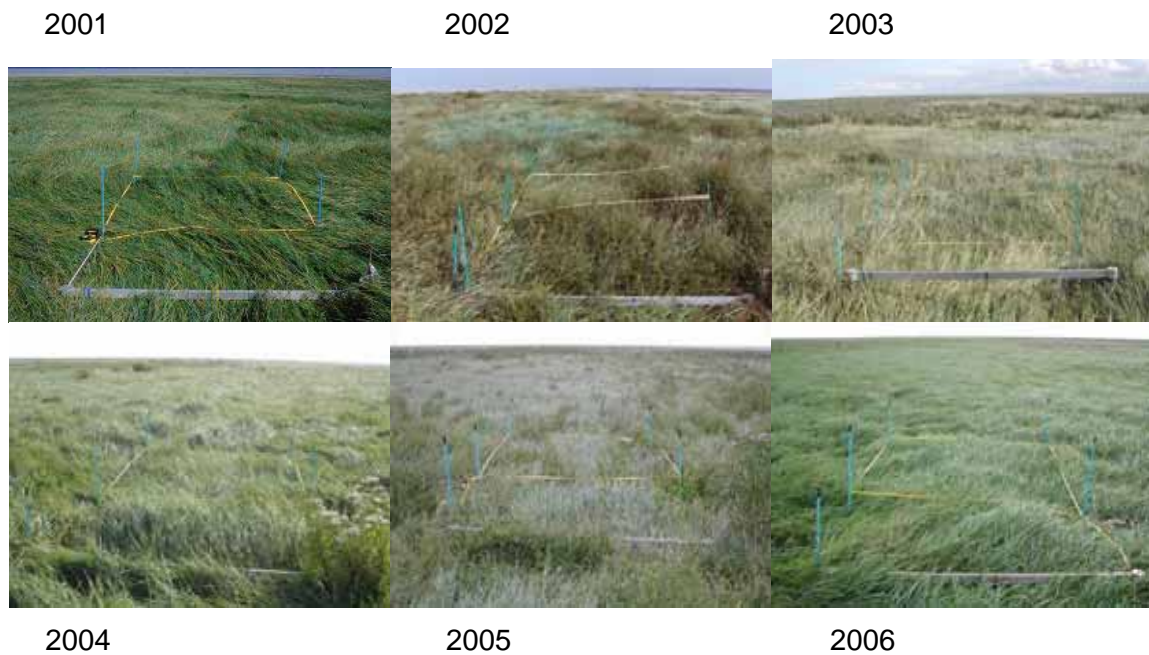
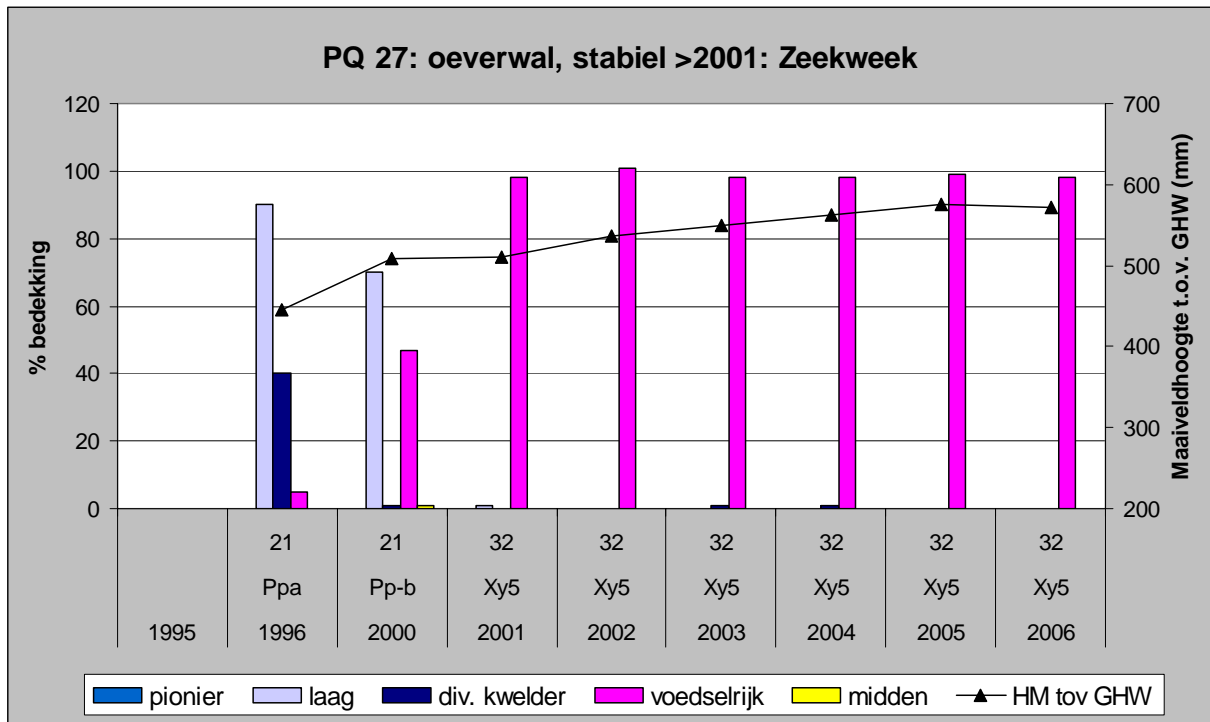
Figuur 5.22 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 24 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



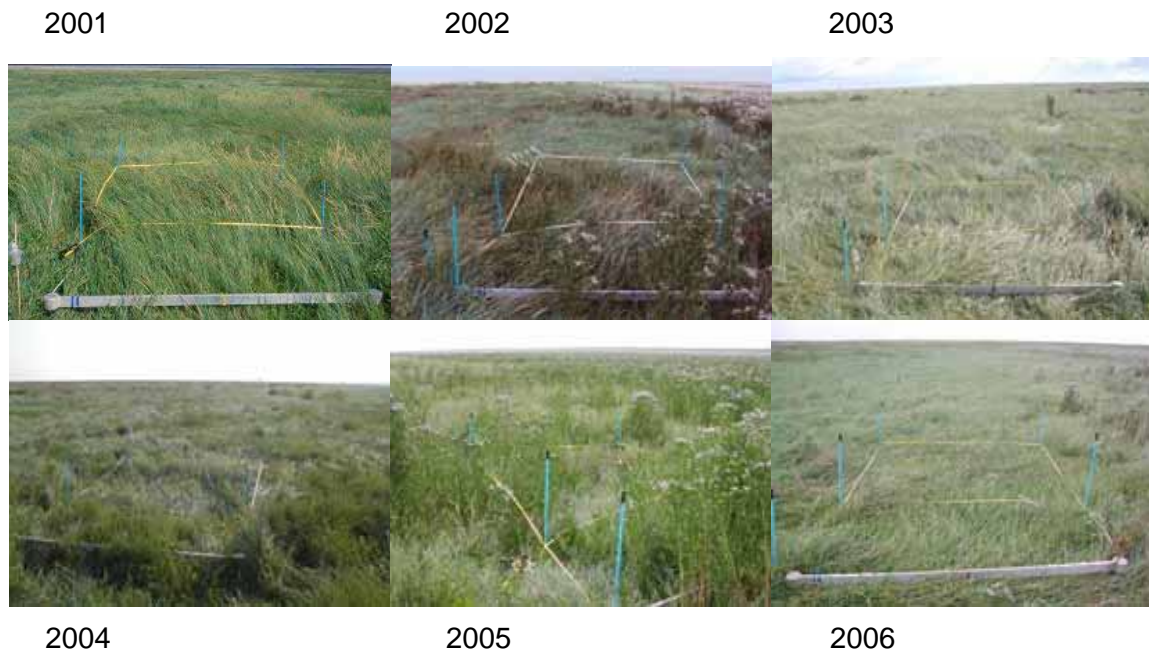
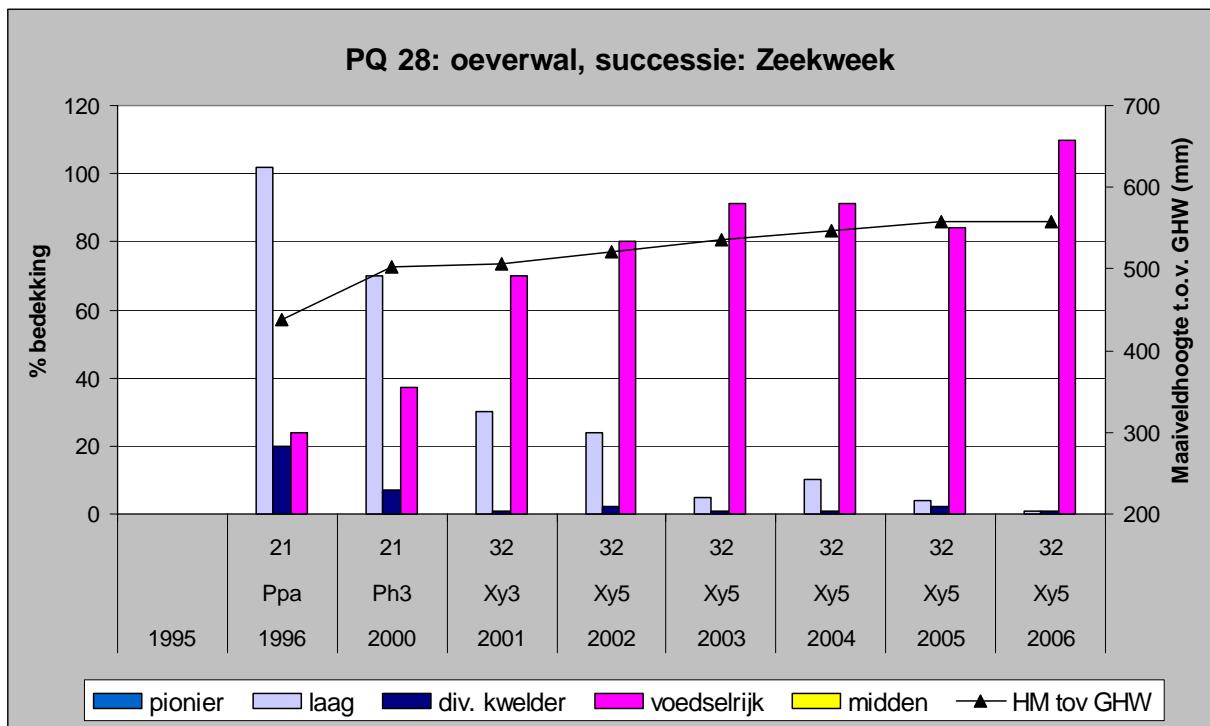
Figuur 5.23 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 25 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



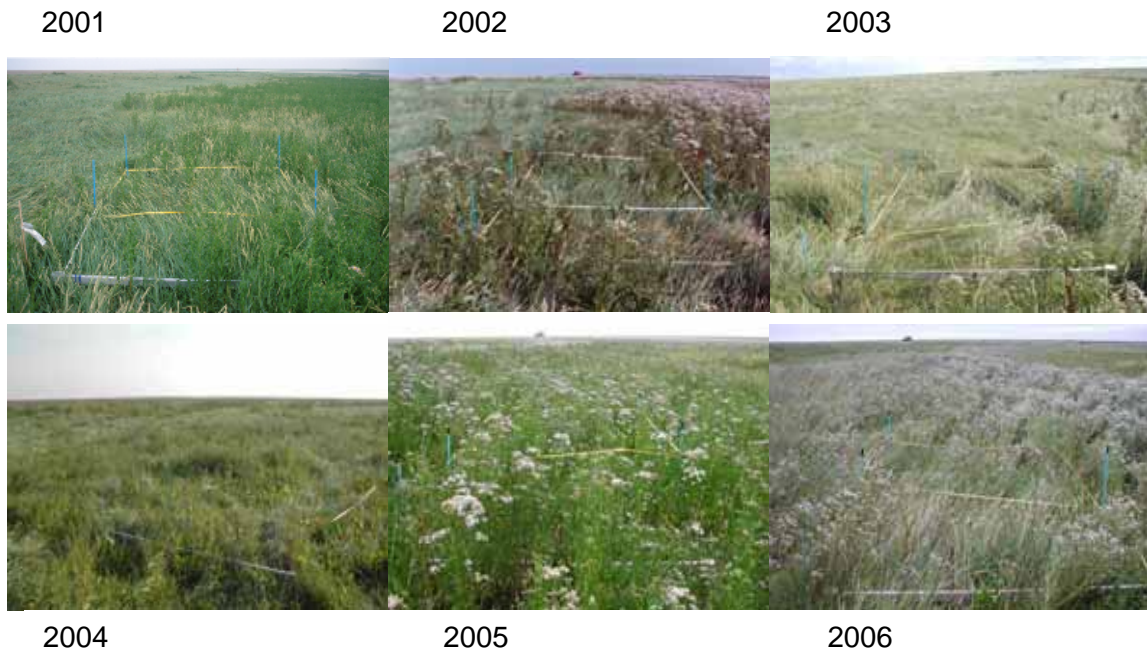
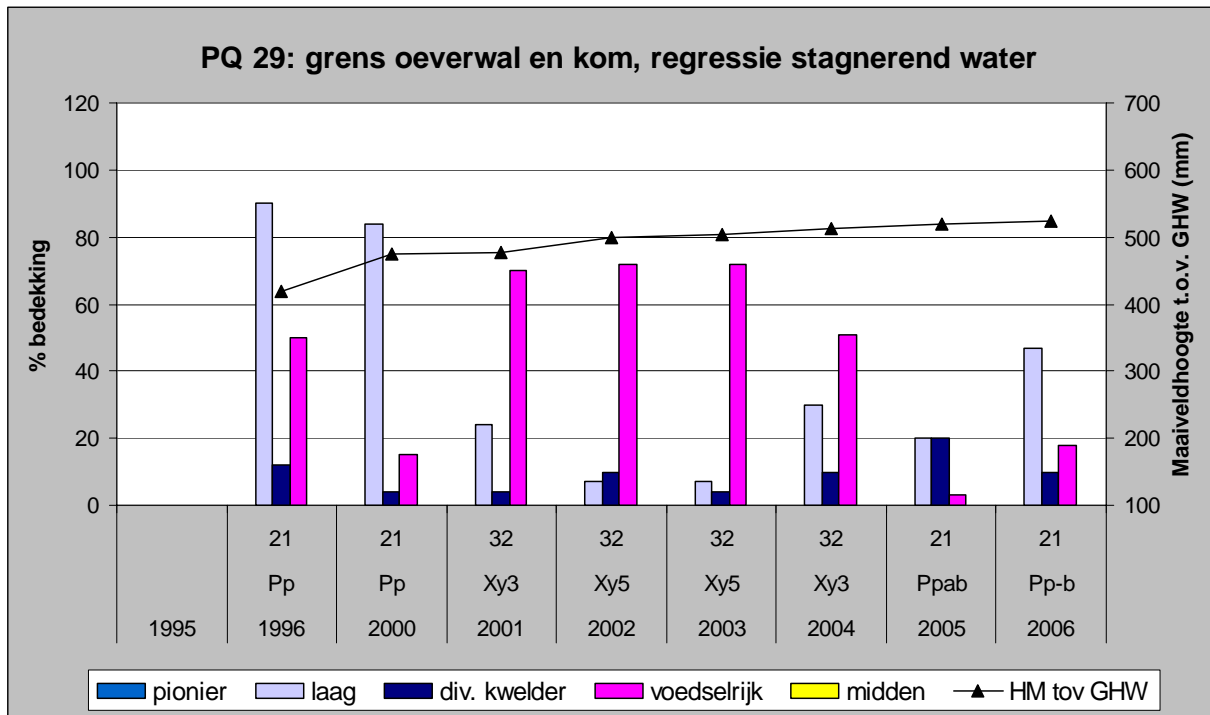
Figuur 5.24 Vegetatie- en maaielhooogteontwikkeling van pq 26 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



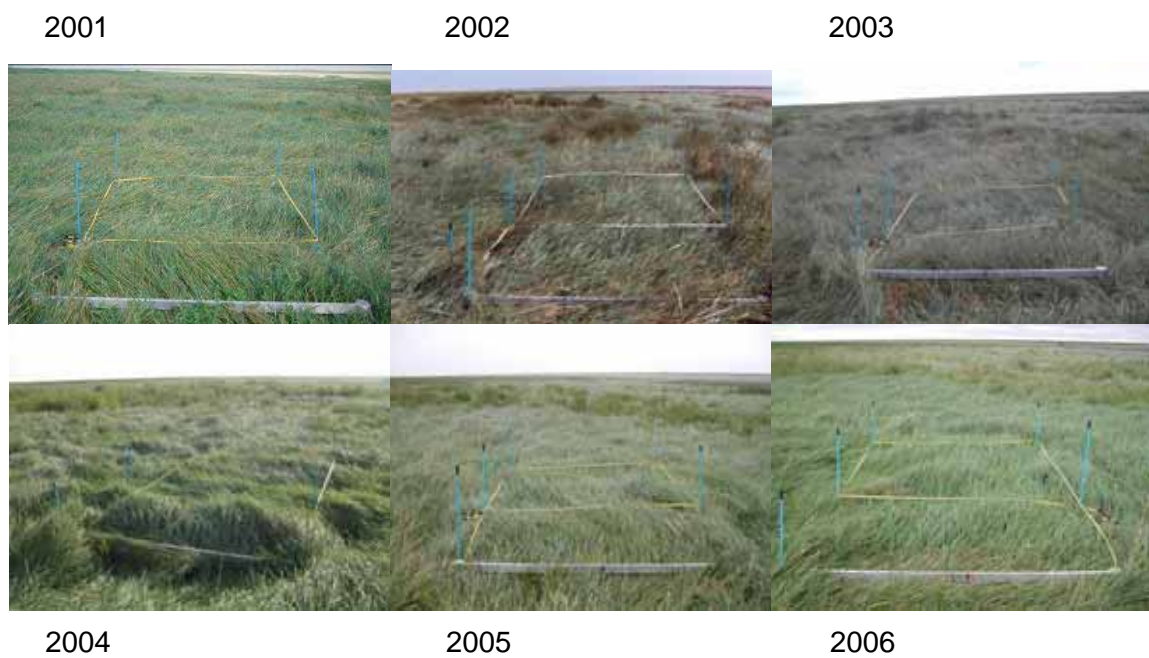
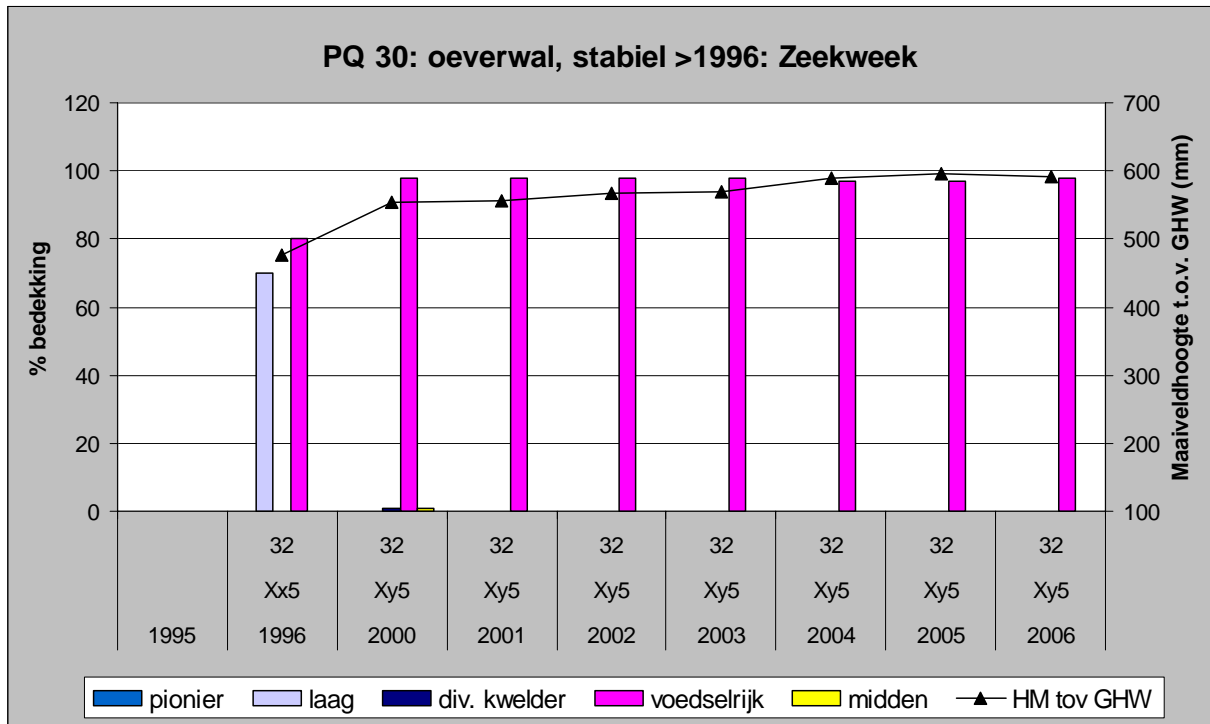
Figuur 5.25 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 27 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



Figuur 5.26 Vegetatie- en maaielhoopteontwikkeling van pq 28 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



Figuur 5.27 Vegetatie- en maaiveldhoogteontwikkeling van pq 29 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.



Figuur 5.28 Vegetatie- en maaielhoogeteontwikkeling van pq 30 van 1995-2006. De foto's van de pq's zijn uit 2001 t/m 2006.

Tabel 5.5 Overzicht van de opslibbing (kolom 3), hoogteligging t.o.v. de ondergrens van de betreffende kwelderzone (kolom 4), de opgetreden verandering in vegetatietype (kolom 5; PQ 4-19: verandering van 1995 -> 2006, PQ 21-30: 1996 -> 2006, PQ 20: 2000 -> 2006) en een samenvatting van de vegetatieontwikkeling (kolom 6).

	1	2	3	4	5	6
Kwelderzone en SALT97 code in 2006	Pq	Drainage 2006 **	Opslibbing 1995/96– 2006 (mm/j)	Maaiveldhoogte 2006 tov ondergrens zone (cm)	Verandering vegetatietype 1995/96-2006	Vegetatieontwikkeling in de periode 1995/96-2006
<i>Pionier zone (ondergrens 5% bedekking: 84 cm + NAP)</i>						
12	24	1	24.8	+ 57	Qq3 -> Pp	successie -> stabiel
<i>Lage kwelder (ondergrens pre laag P: 116 cm + NAP)</i>						
21	4 *	0-1	6.3	+ 24	Pp -> Pp-u	stabiel: Kweldergras/Schorrenkruid
21	5 *	0-1	3.1	+ 22	Pp-u -> Pp	stabiel: Kweldergras
21	9 *	3	7.1	+ 32	Ppa -> Xy5	successie -> Zeekweek
21	12				Qq3 -> Pp	successie -> stabiel kweldergras 2001
21	14	0-1	12.1	+ 18		
21	14	1	8.7	+ 19	Qq3 -> Pp	successie -> stabiel: Kweldergras
21	17	0	9.5	+ 26	Qq3 -> kaal	successie -> regressie: stagnerende ontwatering: vrijwel kaal
21	19	2-3	20.3	+ 45	Qq3 -> Pp	niet ver van klif; successie
21	21	1	13.4	+ 31	Ph5 -> Ph3	stabiel: Kweldergras, Zoutmelde
21	25				Qu -> Pp	successie -> stabiel; grenst aan plasje, soms stagnerende ontwatering
		1	15.4	+ 37		
22	6 *	0-1	5.7	+ 19	Qq3 -> Pp-u	vrij stabiel, matige drainage: Schorrenkruid
22	8 *	0-1	5.8	+ 20	Qq3 -> Pp-u	vrij stabiel, matige drainage: Schorrenkruid
<i>Midden kwelder (ondergrens: 129 cm + NAP)</i>						
32	7 *	3	11.9	+ 21	Pp -> Xy5	successie -> stabiel: Zeekweek 2001
32	10	3	12.0	+ 41	Xy5 -> Xy5	stabiel: Zeekweek 1995
32	11	3	7.8	+ 25	Pp -> Xy5	successie -> stabiel: Zeekweek 2000
32	13	3	6.3	+ 13	Ppa -> Xy5	successie naar Zeekweek
32	15	3	14.9	+ 20	Ppa -> Xy5	successie -> stabiel: Zeekweek 2000
32	16	3	6.6	+ 19	Ph3 -> Xy5	successie -> stabiel: Zeekweek 2000
32	18	3	11.1	+ 21	Pp-u -> Xy5	successie -> stabiel: Zeekweek 2003
32	20	3	22.3	+ 40	Xy5 -> Xy5	stabiel: Zeekweek 2000
32	22	3	12.2	+ 36	Pp -> Xy5	successie -> stabiel: Zeekweek 2003
32	23	3	13.4	+ 36	Pp -> Xy5	successie -> stabiel: Zeekweek 2002
32	26	3	23.8	+ 42	Ppab -> Xy5	successie -> stabiel: Zeekweek 2000
32	27	3	23.9	+ 33	Ppa -> Xy5	successie -> stabiel: Zeekweek 2001
32	28	3	24.8	+ 32	Ppa -> Xy5	successie -> stabiel: Zeekweek 2003
32	29				Pp -> Pp-b	successie -> regressie: stagnerende ontwatering
		2	17.5	+ 28		
32	30	3	15.4	+ 35	Xx5 -> Xy5	stabiel: Zeekweek 2000

* bij pq 4 t/m 9, allen in het meest westelijke kwelderdeel van ca. 9 ha, lopen regelmatig schapen die onder de afrastering zijn doorgedruppeld. Vooral de in de kommen gelegen pq's ondervinden sommige jaren duidelijke begrazings- en vertrappingsschade.

**** Ontwateringsschaal:**

0= kom zonder greppels (nat)

1= kom met beginnende ontwatering (droog)

2= oeverwal met redelijke ontwatering (greppels op > 5-10 m afstand)

3= oeverwal met goede ontwatering (greppels <5-10 m afstand of hele terrein hoog gelegen)

Het algemene beeld dat uit de vegetatieopnames naar voren komt is dat zich de afgelopen elf jaar bij een groot aantal pq's een snelle successie heeft voorgedaan van Gewoon Kweldergras (*Puccinellia maritima*) naar Zeekweek (*Elytrigia atherica*). Bij een aantal pq's (bijv. de meeste pq's in het westen, en enkele in het oosten) weet Kweldergras zich nog te handhaven. Meestal wordt dit veroorzaakt door de hoogteligging van het maaiveld en het daarmee samenhangende aantal overstromingen. In het westelijke deel speelt de onbedoelde beweiding door schapen mogelijk ook een rol. Bij pq 25 en 29 weet Kweldergras zich te handhaven doordat de successie vertraagd wordt door een stagnerende ontwatering. Beide pq's grenzen aan een plasje dat zich soms tijdelijk uitstrekt tot de pq. In een dergelijke natte, soms zuurstofloze, omgeving kan Zeekweek zich niet of slechts beperkt handhaven.

De sterke teruggang van Kweldergras bij pq 17 hangt samen met het feit dat een plas in de kom waarin deze pq ligt zich de laatste jaren steeds verder heeft uitgebreid. Tot 2004 werd de pq steeds natter, maar wist Kweldergras zich nog wel te handhaven, maar in de jaren daarna stond er permanent enkele centimeters water, zodat de nog aanwezige vegetatie vrijwel geheel is afgestorven.

Uit vliegerfoto's gemaakt door J. de Vlas blijken bovenstaande ontwikkelingen zich op grote schaal in het hele kweldergebied voor te doen. Op twee foto's van het westelijke deel van de Peazemerlannen die 10 jaar na elkaar zijn genomen (Foto 5.3), is duidelijk te zien hoe de Zeekweek zich vanaf de oeverwallen, waar het in 1995 uitsluitend voorkwam, richting centrum van de kommen uitbreidt. De laagstgelegen kale delen van de kommen in 1995 blijken 10 jaar later vaak plasjes te zijn geworden.



Foto 5.3 Vliegerfoto van westelijke deel van de Peazemerlannen (met Paesens en Moddergat op de achtergrond) in augustus 1995 (boven) en 16 oktober 2005. (© Jaap de Vlas)

5.3 Conclusies huidige staat en ontwikkeling vegetatie

5.3.1 (Pre-)pionierzone

- De vegetatie in de (pre-)pionierzone kan jaarlijks grote verschillen vertonen. Ook zonder bodemdaling is deze zone in het algemeen gevoelig voor erosie en kunnen er jaarlijks grote verschillen in begroeid oppervlak zijn. Dit laatste hoeft niet per se door erosie veroorzaakt te zijn, maar kan bijvoorbeeld ook komen door andere bijkomende gevolgen van extreme meteorologische weersomstandigheden: de zaden van Zeekraal kunnen in de winterperiode door een grote sedimentimport (vaak zand) zijn bedolven waardoor ze in het voorjaar niet kunnen kiemen.
- Ondanks het feit dat de vegetatie van het meetpunt in de primaire pionierzone achter het grote gat in het midden van de dijk zich geleidelijk heeft ontwikkeld tot lage kwelder, vraagt deze zone wegens de kwetsbaarheid gedetailleerdere en frequentere metingen van opslibbing en erosie.

5.3.2 Kwelder

- De vegetatie in de kwelder vertoont een natuurlijke ontwikkeling waarbij pioniervegetatie, die kenmerkend is voor de kommen, plaatsmaakt voor plantensoorten van de lage kwelder.
- Hogerop de kwelder vindt er een autonome successie naar een climaxvegetatie gedomineerd door Zeekweek plaats. Dit proces wordt mede versneld doordat beweiding in de meeste delen ontbreekt. Bodemdaling is naar verwachting onvoldoende om de veroudering wezenlijk te vertragen.
- Uit de vegetatiekaarten van RWS (zie Tabel 5.3) blijkt dat er sinds 1992 diverse verschuivingen zijn opgetreden in arealen van de verschillende vegetatiezones. Dit betreft hoofdzakelijk verschuivingen tussen zones als gevolg van bovengenoemde successie of regressie door vernatting van de kommen (in het geval van de zomerpolder).
- In de monitoringreeks permanente kwadraten die in 1995 is opgezet zijn vergelijkbare verschuivingen door voortschrijdende successie gevonden. Hierdoor zijn de lagere kwelderzones en pionierzone momenteel ondervertegenwoordigd in deze meetreeks. Daarom wordt het aantal permanente kwadraten met daaraan gekoppelde SEB-metingen in deze zones uitgebreid.
- Extreme meteorologische weersomstandigheden kunnen in de kwelder ook een groot effect hebben op de vegetatie. Meestal betreft het een situatie waarbij gunstige groeiomstandigheden voor éénjarige soorten ontstaan. Omdat het grootste deel van de kweldervegetatie echter uit overblijvende soorten bestaat kunnen deze het volgende jaar het tijdelijk verloren gegane areaal weer innemen en is het slechts een tijdelijk effect (1 jaar). Door jaarlijkse vegetatieopnames in permanente kwadraten kunnen deze veranderingen worden waargenomen en meestal ook worden verklaard. Omdat tussen de verschijningsdatum van opeenvolgende gebiedsdekkende vegetatiekaarten vaak 5-6 jaar ligt, kunnen deze jaarlijkse effecten er met behulp van die kaarten niet uit gedestilleerd worden. Ze geven echter wel een beeld van de meerjarige ontwikkeling en areaalverschuivingen.

Tabel 5.6 Samenvatting conclusies met betrekking tot de huidige toestand en de autonome ontwikkeling van de relevante habitattypen.

Vegetatiezone	Huidige toestand	Autonome ontwikkeling
Habitatype 1310 (pionierzone)	Eenjarige pioniervegetatie. Areaal is constant, maar afhankelijk van onderhoud. De pioniervegetatie volgt de natuurlijke dynamiek.	De pionierzone heeft een geringe vegetatiebedekking van voornamelijk eenjarige planten waardoor er een geringe vastlegging is van sediment. Zeespiegelstijging (door klimaatsverandering en/of inklinking) kan mogelijk niet gecompenseerd worden door versnelde opslibbing.
Habitatype 1330 (kwelderzone)	Areaal is vrij stabiel (mede door harde grenzen rond de Peazemerlanden in de vorm van zomerkades), maar er treden door successie wel verschuivingen op tussen de verschillende vegetatiezones.	Bij ongewijzigd beheer zullen de hoogte en het aandeel van soortenarme climaxbegroeiingen op de kwelders geleidelijk toenemen. Als gevolg hiervan zal de biodiversiteit afnemen.
Zomerpolder	Areaal neemt af doordat de kommen vernatten door slechte ontwatering en kleppen in meeste duikers ontbreken of niet meer functioneren. Op deze lage plekken vestigt zich pionier- en lage kweldervegetatie.	Er is reeds een soort verkweldering in gang gezet. Dit is geen ongewenste ontwikkeling, maar de vraag is of er zonder grotere in- en uitstroomopeningen voldoende sediment zal binnenkomen door de (klep)duikers om inklink en bodemdaling bij te houden. Indien de ontwatering verslechterd en er van plasvorming zou optreden zou de nieuwe kweldervegetatie weer kunnen verdwijnen.

6 Opmerkingen m.b.t. beheer en beleid

Beweiding

De ontwikkeling van de vegetatie in een kwelder hangt niet alleen sterk af van de ontwikkeling van de maaiveldhoogte, maar ook van het beheer van de kwelder. De snelle hoogteontwikkeling van de vastelandkwelders wordt in het natuurbeheer de laatste jaren als een probleem gezien, omdat daardoor een snelle successie plaatsvindt. Voortgaande successie leidt tot een afname van de diversiteit aan vegetatietypen op kwelders (Westhoff *et al.* 1998; Storm 1999; Eysink *et al.* 2000ab; Esselink 2000; Dijkema *et al.* 2001, 2005a, 2006; Bakker *et al.* 2005). De waargenomen veroudering als gevolg van successie van de kweldervegetatie is ook een punt van aandacht in de Peazemerlanden (zie hoofdstuk 5). Een tijdelijke verlaging van de opslibbing, bijv. in een periode met bodemdaling door klink of gaswinning, vertraagt de veroudering van de kweldervegetatie hooguit. Beweiding biedt wat dat betreft een meer structurele oplossing om een ongewenste autonome ontwikkeling van de vegetatie te sturen. Beweiding kan echter niet voorkomen dat de maaiveldhoogte blijft toenemen in geval van een positieve opslibbingsbalans.

Ontwatering

Naast beweiding is ook de mate van ontwatering van groot belang voor de vegetatieontwikkeling. De uitkomsten van de kweldermonitoring op Ameland (Dijkema *et al.* 2005a) hebben het belang hiervan reeds aangetoond. Binnen marges zijn de effecten daarvan misschien wel groter dan van de zonering. Voor de Peazemerlanden is de ontwatering vooral van belang voor de kommen. De vegetatie groeit daar gemiddeld 40 cm boven de ondergrens. De bepalende factor voor het type vegetatie in de kommen is de ontwatering. Door terugschrijdende erosie in kleine kreekjes vindt in de kommen natuurlijke kreekvorming plaats. Zodra een kom daardoor ontwaterd wordt, zal zeer snel successie van de pionierzone naar de lage kwelderzone plaatsvinden, geheel los van eventuele bodemdaling. Bij het ontbreken van een goede ontwatering kan regressie optreden, zoals in de Peazemerlanden ook op enkele plaatsen is waargenomen.

Verkwelderen

Verkweldering van zomerpolders herstelt de opslibbing, is voorgenomen beleid en is lastiger succesvol uit te voeren nadat een zomerpolder teveel is gezakt door inklink, zeespiegelstijging en/of bodemdaling. Omvorming van een zomerpolder naar een kwelder heeft naast de mitigatie van de effecten van bodemdaling en inklink ook positieve gevolgen voor de kustverdediging. Kwelders zijn een natuurlijk voorland voor de zeedijken dat in hoogte groeit. Hoog voorland beperkt de golfhoogte en de golfoploop tegen de zeedijk bij de meeste tijden. In de Duitse Waddenzee worden kwelders daarom als onderdeel van de zeewering beschouwd en in de brief van het Kabinet over het rapport van de commissie Meijer wordt "stimulering van nieuwe kwelderontwikkeling ten gunste van de veiligheid van het achterland" genoemd. Uit een databestand van 1960-2004 over vastelandkwelders blijkt dat deze kwelders door de combinatie van een natuurlijke opslibbing en de plantengroei in staat zijn een eventuele versnelde zeespiegelstijging of bodemdaling te volgen. In het verleden 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 *et al.* 2001; Dijkema 1997).

Literatuur

- Adam, P., 1990. Saltmarsh ecology. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 461 p.
- Andresen, H., Bakker, J.P., Brongers, M., Heydemann, B. & Irmeler, U., 1990. Long-term changes of salt-marsh communities by cattle grazing. *Vegetatio* 89: 137-148.
- Asjes, J. & Dankers, N.M.J.A., 1994. Variations in tidal exchange processes between a Dutch salt marsh, the Slufter, and the North Sea. In: W.J. Mitsch (ed.), *Global Wetlands: Old World and New*. Elsevier Science B.V., Amsterdam: 201-214.
- Bakker, J., Bunje, J., Dijkema, K., Frikke, J., Hecker, N., Kers, B., Körber, P., Kohlus, J. & Stock, M., 2005. In: Essink, K., Dettmann, C., Farke, H., Laursen, K., Lüerßen, G., Marencic, H. & Wiersinga, W. (eds), *Wadden Sea Quality Status Report 2004*. Wadden Sea Ecosystems No. 19, Chapter 7: Salt marshes. Trilateral Monitoring and Assessment Group, Common Wadden Sea Secretariat, Wilhelmshaven, Germany, 163-179.
- Beeftink, W.G., 1986. De betekenis van de factor getij voor de schorrevegetatie. In: J. Rozema (ed.), *Oecologie van estuariene vegetatie*. Vrije Universiteit, Amsterdam; Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke. 45 p.
- Beeftink, W.G., 1987. Vegetation responses to changes in tidal inundation of salt marshes. In: J. van Andel, J.P. Bakker & R.W. Snaydon (eds), *Disturbance in grasslands*. Junk Publishers, Dordrecht, 97-117.
- van den Bergs, J., Bossinade, J.H. & Dijkema, K.S., 1992. De effecten van het "uitpolderen" van zomerpolders op de kweldervorming binnen de kwelderwerken in de Waddenzee. RWS Directie Groningen, Nota GRAN 1992-2001. DLO- Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Texel, RIN-rapport 92/20. 50 p.
- Boumans, R.M.J. & Day Jr., J.W., 1993. High precision measurements of sediment elevation in shallow coastal areas using a sedimentation-erosion-table. *Estuaries* 16: 375-380.
- Carter, R.W.G., 1988. Coastal Environments - An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press - London, chapter 9, Coastal Wetlands - salt marshes: 335-346.
- Dankers, N., Binsbergen, M., Zegers, K., Laane, R. & van der Loeff, M., 1984. Transportation of water, particulate and dissolved organic matter between a salt marsh and the Ems-Dollard Estuary, The Netherlands. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 19: 143-165.
- Dijkema, K.S., 1987. Changes in salt-marsh area in the Netherlands Wadden Sea after 1600. In: A.H.L. Huiskes, C.W.P.M. Blom & J. Rozema (eds). *Vegetation between land and sea*. Junk Dordrecht: 42-49.
- Dijkema, K.S., 1997. Impact prognosis for salt marshes from subsidence by gas extraction. *Journal of Coastal Research* 13:1294-1304.
- Dijkema, K.S., Bossinade, J.H., Bouwsema, P. & de Glopper, R.J., 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 Publishers, Dordrecht: 173-188.
- Dijkema, K.S., Bossinade, J.H., van den Bergs, J. & Kroeze, T.A.G., 1991. Natuurtechnisch beheer van kwelderwerken in de Friese en Groninger Waddenzee: greppelonderhoud en overig grondwerk. RIN-rapport 91/10; RWS Directie Groningen, Nota GRAN 1991-2002. 156 p.
- Dijkema, K.S., Nicolai, A., de Vlas, J., Smit, C., Jongerius, H. & Nauta, H., 2001. Van Landaanwinning naar Kwelderwerken. Rijkswaterstaat directie Noord-Nederland, Leeuwarden, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Texel. 68 p.
- Dijkema, K.S., Nicolai, A., Frankes, J., Haan, K., Jongerius, H. & Riesenkaamp, W., 2004. Jaarverslag 2004. Monitoring en beheer van de Kwelderwerken in Friesland en Groningen (november 2003-oktober 2004). Alterra-TEXEL, Rijkswaterstaat directie Noord-Nederland, Leeuwarden, Rijkswaterstaat, Delfzijl. 33 p.

- Dijkema, K.S., van Duin, W.E. & van Dobben, H.F., 2005a. 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., de Jong, D.J., Vreeken-Buijs, M.J. & van Duin, W.E., 2005b. De Kaderrichtlijn Water in kwelders en schorren: ontwikkeling van Potentiële Referenties en van Potentiële Goede Ecologische Toestanden. Alterra/ Wageningen UR, Team Wad en Zee, RWS-RIKZ, RWS-AGI en RWS-ITC, Texel, Middelburg, Delft. 51 p.
- van Duin, W.E., Dijkema, K.S. & Zegers, J., 1997. Veranderingen in bodemhoogte (opslibbing, erosie en inklink) in de Peazemerlannen. IBN-rapport 326. 104 p.
- van Duin, W.E. & Dijkema, K.S., 2003. Proef met de onderhoudsarme ontwatering in de kwelderwerken: "de Krekenproef"; evaluatie 1997-2002. Alterra-rapport 634, Wageningen/Texel. 137 p.
- van Duin, W.E., Esselink, P., Bos, D., Klaver, R., Verweij, G. & van Leeuwen, P.-W., 2007. Proefverkweldering Noard-Fryslân Bûtendyks. Evaluatie kwelderherstel 2000-2005. Wageningen-IMARES rapport C020/07, Texel, Koeman en Bijkerk rapport 2006-045, Haren, Altenburg & Wymenga rapport 840, Veenwouden. 126 p. + bijlagen
- Ehlers, J., Nagorny, K., Schmidt, P., Stieve, B. & Zietlow, K., 1993. Storm surge deposits in North Sea salt marshes dated by ^{134}Cs and ^{137}Cs determination. *Journal of Coastal Research* 9: 698-701.
- Erchinger, H.F., 1985. Dünen, Watt und Salzwiesen. Der Niedersächsische Ministerie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Hannover, 1-59.
- Esselink, P., 2000. Nature management of coastal salt marshes. Interactions between anthropogenic influences and natural dynamics. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen. 256 p.
- Esselink, P., Dijkema, K.S., Reents, S. & Hageman, G., 1998. Vertical accretion and profile changes in abandoned man-made tidal marshes in the Ems Dollard Estuary, The Netherlands. *Journal of Coastal Research* 14: 570-582.
- Eysink, W.D., Dankers, N., Dijkema, K.S., van Dobben, H.F., Smit, C.J. & de Vlas, J., 1995. Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost, eerste evaluatie na 8 jaar gaswinning. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen en Texel, Waterloopkundig Laboratorium, Lelystad. 66 p.
- Eysink, W.D., Dijkema, K.S., van Dobben, H.F., Slim, P.A., Smit, C.J., de Vlas, J., Sanders, M.E., Wiertz, J., & Schouwenberg, E.P.A.G., 2000a. Monitoring effecten bodemdaling op Ameland-Oost, evaluatie na 13 jaar gaswinning, WL | Delft Hydraulics / Alterra, rapport H841. 203 p.
- Eysink, W.D., Dijkema, K.S. & van Duin, W.E., 2000b. Effecten van bodemdaling door gaswinning op de Peazemerlannen. WL/Delft Hydraulics en Alterra. 35 p.
- French, J., Spencer, T. & Stoddart, D., 1990. Backbarrier salt marshes of the north Norfolk coast: geomorphic development and response to rising sea-level. Ecology and Conservation Unit, paper no. 54, University College London. 35 p.
- French, J.R. & Stoddart, D.R., 1992. Hydrodynamics of salt marsh creek systems: Implications for marsh morphological development and material exchange. *Earth Surface Processes and Landforms* 17: 235-252.
- de Glopper, R.J., 1967. Over de bodemgesteldheid van het waddengebied. *Van Zee tot Land* 43: 41-59.
- 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, Rapporten en mededelingen inzake de droogmaking, ontginning en sociaal-economische opbouw der IJsselmeerpolders. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage. 205 p.

- de Glopper, R.J., 1981. De snelheid van de opslibbing en van de terugschrijdende erosie op de kwelders langs de noordkust van Friesland en Groningen. Flevovericht 163, 2A, 50 jaar onderzoek door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, Lelystad, 43-57.
- Grotjahn, M., Michaelis, H., Obert, B. & Stephan, H.-J., 1983. Höhenentwicklung, Sediment, Vegetation und Bodenfauna in den Landgewinnungsfeldern beiderseits des Cappeler Tiefs (1957-1978). Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz 34, Jber. 1982: 64-93.
- Hoeksema, H.J., Mulder, H.P.J., Rommel, M.C., de Ronde, J.G. & de Vlas, J., 2004. Bodemdalingstudie Waddenzee 2004: Vragen en onzekerheden opnieuw beschouwd. RIKZ-rapport 2004-025. 67 p. + bijlagen
- Jakobsen, B., 1954. The tidal area in south-western Jutland and the process of the salt marsh formation. Geografisk Tidsskrift 53: 49-61.
- Janssen, J.A.M., Schaminée, J.H.J., 2003. Habitattypen. KNNV, Utrecht. 120 p.
- de Jong, D.J., Dijkema, K.S., Bossinade, J.H. & Janssen, J.A.M., 1998. SALT97. Classificatieprogramma voor kweldervegetaties. Rijkswaterstaat RIKZ, Dir. Noord-Nederland, Meetkundige Dienst; IBN-DLO. Diskette met programma en handleiding.
- Kamps, L.F., 1956. Slibhuishouding en landaanwinning in het oostelijk waddengebied. Rijkswaterstaat Directie Landaanwinning, Baflo. 93 p.
- Kamps, L.F., 1962. Mud distribution and land reclamation in eastern wadden shallows. Rijkswaterstaat Communications 4: 1-73.
- Kearney, M.S., Stevenson, J.C. & Ward, L.G., 1994. Spatial and temporal changes in marsh vertical accretion rates at Monie Bay: Implications for sea-level rise. Journal of Coastal Research 10: 1010-1020.
- van de Koppel, J., van der Wal, D., Bakker, J.P. & Herman, P.M.J., 2005. Self-organization and vegetation collapse in salt marsh ecosystems. American Naturalist 165: E1-E12.
- Londo, G., 1975. De decimale schaal voor vegetatiekundige opnamen van permanente kwadraten. Gorteria 7: 101-106.
- Long, S.P. & Mason, C.F., 1983. Saltmarsh ecology. Blackie, Glasgow - London. Chapter two, Saltmarsh formation, physiography and soils: 12-38.
- 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 Texel. 170 p.
- Van der Meijden, R., 2005. Heukels' Flora van Nederland 23^{ste} druk. Wolters-Noordhoff, Groningen. 685 p.
- Meijer, W., Lodders-Elfferich, P.C., Hermans, L.M.L.H.A., 2004. Ruimte voor de Wadden: eindrapport Adviesgroep Waddenzeebeleid. 's-Gravenhage, Adviesgroep Waddenzeebeleid. 63 p.
- Milan, C.S., Swenson, E.M., Turner, R.E. & Lee, J.M., 1995. Assessment of the ¹³⁷Cs method for estimating sediment accumulation rates: Louisiana salt marshes. Journal of Coastal Research 11: 296-307.
- Moeller, I., Spencer, T. & French, J.R., 1997. Wind wave attenuation over salt marsh surfaces: Preliminary results from Norfolk, England. Journal of Coastal Research 12: 1009-1016.
- NAM, 2005. Startnotitie milieu effect rapportage: Aardgaswinning vanaf locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. NAM, Assen. 42 p.
- NAM, 2006. MER Aardgaswinning Waddenzeebied vanaf locaties Moddergat, Lauwersoog en Vierhuizen. NAM, Assen. 263 p.
- Nyman, J.A., DeLaune, R.D., Roberts, H.H. & Patrick Jr., W.H., 1993. Relationship between vegetation and soil formation in a rapidly submerging coastal marsh. Mar. Ecol. Prog. Ser. 96: 269-279.
- Oloff, H., Bakker, J.P. & Fresco, L.F.M., 1988. The effect of fluctuations in tidal inundation frequency on a salt marsh vegetation. Vegetatio 78: 13-19.

- Oost, A.P. & Dijkema, K.S., 1993. Effecten van bodemdaling door gaswinning in de Waddenzee. IBN-rapport 025. DLO-Institute for Forestry and Nature Research, Texel and Utrecht University. 134 p.+8 suppl.
- Oost, A.P., Ens, B.J., Brinkman, A.G., Dijkema, K.S., Eysink, W.D., Beukema, J.J., Gussinklo, H.J., Verboom, B.M.J. & Verburgh, J.J., 1998. Integrale Bodemdalingstudie Waddenzee. Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V., Assen. 372 p.
- Pestrong, R., 1965. The development of drainage patterns on tidal marshes. Stanford University Publications, Geological Sciences, Volume X, Number 2, 87 p.
- Pethick, J.S., 1974. The distribution of salt pans on tidal marshes. *J. Biogeogr.* 1: 57-62.
- de Raad, H., 1993. De dijk op hoogte. Waterschap Fryslân, Harlingen. 143 p.
- Ranwell, D.S., 1964. *Spartina* salt marshes in Southern England. II. Rate and seasonal pattern of sediment accretion. *Journal of Ecology* 52: 79-94.
- Reed, D.J., 1989. Patterns of sediment deposition in subsiding coastal salt marshes, Terrebonne Bay, Louisiana: The role of winter storms. *Estuaries* 12: 222-227.
- Reed, D.J., Spencer, T., Murray, A.L., French, J.R. & Leonard, L., 1999. Marsh surface sediment deposition and the role of tidal creeks: Implications for created and managed coastal marshes. *J. Coastal Conservation* 5, 81-90.
- Reents, S., 1994. Vertical accretion in the salt marshes of the Dollard. Stichting Het Groninger Landschap, Groningen. Intern Rapport 94/1, 81 p.
- Reents, S., 1995. Vergelijking van het kunstmatige afwateringssysteem in de kwelderwerken met natuurlijke kreekssystemen. Stageverslag Rijkswaterstaat, Directie Noord-Nederland/ Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Leeuwarden/Texel. 79 p.
- Steers, J.A., 1959. Salt marshes. *Endeavour* 18: 75-82.
- Steers, J.A., 1977. Physiography. In: V.J. Chapman. (ed.), *Wet coastal ecosystems*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam - Oxford - New York, Chapter 2, 31-60.
- Stoddart, D.R., Reed, D.J. & French, J.R., 1989. Understanding salt-marsh accretion, Scolt Head Island, Norfolk, England. *Estuaries* 12: 228-236.
- 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 Straaten, L.M.J.U., 1964. De bodem der Waddenzee. In: *Het Waddenboek*. Nederlandsche Geologische Vereniging, Thieme, Zutphen, 75-151.
- 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.
- Venema, L.B., 1997. Vergelijkend onderzoek dateringsmethoden voor sediment Paesumerlannen. Kernfysisch Versneller Instituut rapport Z57, Utrecht. 32 p.
- Verhoeven, B. & Akkerman, K., 1967. Buitendijkse mariene gronden, hun opbouw, bedijking en ontginning. *Van Zee tot Land* 45: 9-63.
- Wang, Z.B., Eysink, W.D. 2005b. Abiotische effecten van bodemdaling in de Waddenzee door gaswinning. Delft Hydraulics, rapport Z3995. in druk.
- Warming, 1904. Bidrag til Vadernes, Sandenes of Marskens Naturhistorie. *Mem. Acad. Roy. Sci. et Lettres de Denmark*, 7mm series, D, 2.
- von Weihe, K., 1979. Morphologische und ökologische Grundlagen der Vorlandsicherung durch *Puccinellia maritima* (Gramineae). *Helgol. Wiss. Meeresunters.* 32: 239-254.
- Westhoff, V., Schaminee, J.H.J. & Dijkema, K.S., 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: 89-130.
- Wohlenberg, E., 1933. Das Andelpolster und die Entstehung einer charakteristischen Abrasionsform im Wattenmeer. *Wiss. Meeresunters. NF. Abt. Helgoland* 19: 1-11.
- Wohlenberg, E., 1953. Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. *Die Küste* 2: 33-94.
- Yapp, R.H., Johns, D. & Jones, O.T., 1917. The salt marshes of the Dovey estuary. *The British Ecological Society* 5: 65-103.

Bijlage Verklaring SALT97 codes

In deze toelichting is achtereenvolgens aangegeven:

vet gedrukt = typologie cf Schaminée *et al.* (1997) ³

1^e kolom = SALT97-naam

2^e kolom = zone-indeling voor de Waddenzee

3^e kolom = zone-indeling ZW-Nederland (zone zw-nl)

4^e kolom = oude naam uit SALT MARSH en/of SALT95

5^e kolom = een globale karakterisering (plantennamen zijn cf. Heukels 20^{ste} druk ⁴)

REFERENTIE SCHAMINEE - SALT97

naam	zone	zone	oude	globale karakterisering
	wad	zw-nl	naam	

SPARTINETEA

Spartinetum townsendii

Ss0	11	p1	Si	<i>Spartina anglica</i> < 5%
Ss3	12	p2	S, SQ	<i>Spartina anglica</i> 5-50%
Ss3b	12	p2	S, SQ	<i>Spartina anglica</i> 5-50% met soorten van brak milieu
Ss5	12	l1	S5	<i>Spartina anglica</i> dominant >50%
Ss5b	12	l1	S5b	idem, met soorten van brak milieu

THERO-SALICORNIETEA

Salicornietum dolichostachyae + *Salicornietum brachystachyae*

Qq0	11	p1	Qi	<i>Salicornia</i> ssp <5%
Qq3	12	p1	Q	<i>Salicornia</i> ssp >5%

Suaedetum maritimae

Qu	22	m2	U	<i>Suaeda maritima</i> dominant >25%
----	----	----	---	--------------------------------------

ASTERETEA TRIPOLII

Puccinellion maritimae

Puccinellietum maritimae

(de meeste typen behoren tot de subassociatie *typicum*; type Pg heeft meer affiniteit met de subassociatie *parapholietosum*)

P	21	l2	P	<i>Puccinellia maritima</i> , ijle begroeiing
Pp	21	m1	Pp	<i>Puccinellia maritima</i> dominant, soortenarm
Pp-b	21	m1	Pb	idem, met soorten van brak milieu
[Pp-e	21	l2	...	<i>Glaux maritima</i> en <i>Puccinellia maritima</i> codominant, in smalle zones op schorkliffen]
Pps	21	l2	Ps	<i>Puccinellia maritima</i> en <i>Spartina anglica</i> codominant

³ Schaminée, J.H.J., E.J. Weeda & V. Westhoff, 1997. De vegetatie van Nederland deel 4. Plantengemeenschappen van de kust en binnenlandse pioniermilieus. Opulus press, Uppsala, Leiden.

⁴ Meijden, R. van der, 1983. Heukels' flora van Nederland, 20e druk. Wolters Noordhoff, Groningen.

Ppsb	21	l2	Psb	idem, met soorten van brak milieu
Ppa	21	l2	Pas	<i>Puccinellia maritima</i> en <i>Aster tripolium</i> codominant
Ppab	21	l2	Pab	idem, met soorten van brak milieu
Pf	21	m2	Pj	<i>Puccinellia</i> dominant, <i>Festuca rubra</i> codominant
Pj	21	m2	Pj	<i>Puccinellia</i> dominant, <i>Juncus gerardii</i> codominant
Pg	22	m2	Ep	<i>Puccinellia</i> dominant, o.a. <i>Parapholis strigosa</i> of <i>Agrostis stolonifera</i> aanwezig
Ppl	21	m2	Pl, Pl3	<i>Puccinellia</i> dominant, <i>Limonium vulgare</i> codominant

"storingstypen" met *Suaeda maritima*

Pplu	21	m2	U	<i>Suaeda</i> > 25%, <i>Limonium</i> codominant
Pp-u	21	m2	U	<i>Suaeda</i> > 25%, <i>Puccinellia</i> codominant

Plantagini-Limonietum

Pl3	21	m2	L, Pl5	<i>Limonium vulgare</i> dominant, >25%
-----	----	----	--------	----------------------------------------

Halimionetum portulacoides

Ph3	21	m1	Ph	<i>Halimione portulacoides</i> codominant, 20-50%
Ph5	21	m2	H5	<i>Halimione portulacoides</i> dominant, >50%

Atriplici-Agrophyretum pungentis

Xy3	32	h1	Fey	<i>Elymus pycnanthus</i> codominant
Xy3b	32	h1	Fyb	idem, met soorten van brak milieu
Xy5	32	h1	Y5	<i>Elymus pycnanthus</i> dominant, > 50%
Xy5b	32	h1	Yb5	idem, met soorten van brak milieu
Xy5r	33	h2		idem, met soorten van de hoge kwelder
Xx5	32	h1	X5	<i>Atriplex prostrata</i> dominant, > 50%
Xx5b	32	h1	X5	idem, met soorten van brak milieu

Vegetatieveranderingen op basis van kenmerkende plantengroepen:

- “kwelder” zijn de algemene kweldersoorten die ongevoelig zijn voor hoogte :

Diverse kweldersoorten ('Asteretea' = Groep D in Salt97)

zeeaster (Aster tri)
gerande schijnscurrie (Sperl mar)
schorrezoutgras (Trigl mar)
lamsoor (Limon vul)
zeeweegbree (Plant mar)

- “ruigte” is meestal één dominante plantensoort die in alle kwelderzones kan voorkomen:

Voor inzicht beweiding kies Groep A van Salt97

strandkweek (Elymu pyc)
spiesmelde (Atrip pro)

Voor inzicht verstoring kies Groep E van Salt97

schorrekruid (Suaed mar)
spiesmelde (Atrip pro)
strandkweek (Elymu pyc)
strandmelde (Atrip lit)
biestarwegras (Elymu far)

- de andere groepsnamen staan voor de hoogtezone :

1. Pionierzone (Groep B in Salt97)

zeekraal (Salic eur)
langarige zeekraal (Salic dol)
kortarige zeekraal (Salic bra)
Engels slijkgras (Spart ang)

2. Lage kwelderzone ('Puccinellion' = Groep C in Salt97)

kweldergras (Pucci mar)
gewone zoutmelde (Halim por)
Engels lepelblad (Cochl ang)

3. Midden kwelderzone ('Armerion' = Groep F in Salt97)

zeealsem (Artem mar)
Engels gras (Armer mar)
zilte rus (Juncu ger)
rood zwenkgras (Festu rub)
fioringras (Agros sto)
zeemelkkruid (Glaux mar)
kwelderzegge (Carex dis)

4. Hoge kwelderzone (Groep K)

'zoete' graslandsoorten, zie Salt97