



De invloed van vegetatie op de erosiebestendigheid van dijken

De start van een monitoringsexperiment naar de effecten van de vegetatiesamenstelling op de erosiebestendigheid van de Purmerringdijk



Valérie C. Reijers, Eric J.W. Visser, Maurice P.C.P. Paulissen en Hans de Kroon

De invloed van vegetatie op de erosiebestendigheid van dijken

De start van een monitoringsexperiment naar de effecten van de vegetatiesamenstelling op de erosiebestendigheid van de Purmerringdijk

Valérie C. Reijers¹, Eric J.W. Visser¹, Maurice P.C.P. Paulissen² en Hans de Kroon¹

¹ Radboud Universiteit Nijmegen, Afdeling Experimentele Plantenecologie, Postbus 9100, 6500 GL Nijmegen, E-mail H.deKroon@science.ru.nl

² Alterra, Wageningen Universiteit en Researchcentrum, Postbus 47, 6700 AA Wageningen, E-mail Maurice.Paulissen@wur.nl

Dit rapport is tevens verschenen als Alterra-rapport nummer 2622

Inhoud

Samenvatting.....	7
1 Inleiding.....	9
1.1 Aanleiding en vraagstelling.....	9
1.2 Leeswijzer.....	10
2 Functies van dijken en dijkgraslanden	11
2.1 De betekenis van dijken voor Nederland.....	11
2.2 De primaire functie van waterkeringen.....	12
2.3 De nevenfuncties van waterkeringen in relatie tot de bekleding.....	12
3 De rol van vegetatie in erosiebestendigheid.....	15
3.1 Vegetatie tegen erosie?.....	15
3.2 Diversiteit leidt tot stabiliteit.....	17
3.3 Integratie van factoren.....	18
4 Het monitoringsexperiment op de Purmerringdijk: locatie en nulmetingen.....	20
4.1 Gebiedsbeschrijving: de Purmerringdijk.....	20
4.2.1 De locaties van de proefvlakken.....	21
4.2.2 Nulmeting vegetatiesamenstelling van de proefvlakken.....	21
4.2.3 Nulmeting zodekwaliteit.....	22
4.2.4 Conclusies en aanbevelingen.....	26
5 Het monitoringsexperiment op de Purmerringdijk: proefopzet en methodiek.....	28
5.1 De onderzoekthema's.....	28
5.2.1 De samenstelling van de nieuwe zaadmengsels.....	29
5.2.2 De proefopzet.....	30
5.3.1 Het beheer van de proefvlakken.....	30
5.3.2 Het monitoren van de proefvlakken.....	33
6 Tot besluit.....	36
Bijlage 1 Vegetatietabel	42
Bijlage 2 Toetsing zodekwaliteit.....	44
Bijlage 3 Protocol voor het inzaaien van de proefvlakken.....	48
Bijlage 4 Protocol voor beheer.....	50
Bijlage 5 Protocol voor monitoring.....	53
Bijlage 6 Inventarisatie graszaadmengsels	56
Bijlage 7 Bloembezoekers	61

Samenvatting

Dit rapport is in opdracht van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier geschreven als een onderbouwing en leidraad voor een pilotstudie op de Purmerringdijk. In deze studie zal de relatie tussen de vegetatiesamenstelling en de erosiebestendigheid van dijkgraslanden in een veldsituatie gemonitord worden. Op dit moment bestaat er geen consensus over welke rol variatie in vegetatietypen precies speelt in de erosiebestendigheid van de toplaag en op welke wijze een erosiebestendige vegetatie verkregen kan worden.

Het monitoringsexperiment is zodanig opgebouwd dat het op deze en andere vragen met betrekking tot dijkgraslandbeheer en –toetsing antwoorden kan bieden. Hiervoor is eerst een literatuuronderzoek verricht naar de onderliggende interacties die de vegetatiesamenstelling koppelen aan de aggregaatstabiliteit en uiteindelijk aan de erosiebestendigheid. Uit de literatuur blijkt dat veel onderzoeken zich gericht hebben op de interacties die in de bodem plaatsvinden, maar dat een integrale aanpak, waarbij deze bevindingen gecorreleerd worden aan een praktijksituatie, vaak ontbreekt. In dit monitoringsexperiment wordt gekeken naar hoe de vegetatieontwikkeling en -samenstelling beïnvloed kunnen worden door inzaai en beheer en op welke wijze uiteindelijk een erosiebestendige grasmatt verkregen kan worden.

Op basis van literatuurgegevens verwachten wij dat het inzaaien met soortenrijke mengsels sneller tot een erosiebestendige grasmatt zal leiden. Om dit in een veldsituatie te toetsen is ervoor gekozen om de toepasbaarheid van een gangbaar standaard graszaadmengsel te vergelijken met eenzelfde graszaadmengsel waaraan twee verschillende kruidenrijke bijmengsels toegevoegd zijn. Bij het samenstellen van de bijmengsels hebben we rekening gehouden met het beheertype en met de ruimtelijke wortelverdeling van de individuele soorten. Een hooilandmengsel is samengesteld uit kruiden die bekend staan om hun diepe doorworteling en vaak in glanshaverhooilanden aangetroffen worden. Voor het weidemengsel is juist gekozen voor zowel diep als ondiep wortelende soorten, die vaak voorkomen in kamgrasweiden.

In deze pilotstudie worden onderwerpen aangesneden die voor het dijkgraslandbeheer van de nabije toekomst van cruciaal kunnen zijn. Met het oog op klimaatverandering, waardoor zowel zeer droge als zeer natte perioden een grotere druk leggen op de conditie en kwaliteit van dijkgraslanden, is het zaak om experimenteel te onderzoeken welke rol de vegetatiesamenstelling heeft op de erosiebestendigheid. Door de geschiktheid van zowel gangbare als nieuwe zaadmengsels te testen en

de huidige toetsingsmethoden te evalueren, kunnen de resultaten van dit onderzoek bijdragen aan toekomstige richtlijnen voor aanleg, beheer en toetsing van dijkgraslanden.

Op deze manier beoogt deze pilotstudie een bijdrage te leveren aan een kennissprong op het vlak van sterke en veerkrachtige dijkgraslanden. Een kennissprong waarin fundamenteel- en toegepast-wetenschappelijke kennis wordt gecombineerd met ervaringen en wensen vanuit de waterbeheerpraktijk.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en vraagstelling

Voor een land dat voor meer dan een kwart onder zeeniveau ligt, hebben waterbeheer en waterveiligheid vanzelfsprekend altijd prioriteit gehad. Door klimaatverandering en bodemdaling is deze problematiek nog verder aangescherpt. De stabiliteit en erosiebestendigheid van dijken zal in de toekomst naar verwachting zwaarder beproefd worden. Dit enerzijds door zeespiegelstijging en hogere piekafvoeren van de rivieren en anderzijds door frequentere en langere droogteperiodes. Om hier goed op te anticiperen lopen er verschillende programma's en projecten op het gebied van faalmechanismen, daadwerkelijke sterkte en nieuwe toetsrichtlijnen voor dijken enerzijds en de ontwikkeling van innovatieve waterkeringconcepten anderzijds.

De stabiliteit van een dijk wordt voornamelijk bepaald door de structuur en opbouw van de waterkering, maar tegelijkertijd wordt deze gewaarborgd door de bovenste bekledingslaag, de toplaag. In de meeste gevallen bestaat deze toplaag uit een grasmat. Over de optimale opbouw en samenstelling van deze grasmat bestaat nog geen consensus. Volgens het *Voorschrift toetsen op veiligheid primaire waterkeringen voor de derde toetsronde* (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) leidt een soortenrijkere grasmat tot een hogere erosiebestendigheid, terwijl de *Handreiking toetsen grasbekledingen op dijken in de verlengde derde toetsronde* (Rijkswaterstaat, 2012) juist aangeeft dat niet de soortenrijkdom, maar het beheer en de openheid van de zode belangrijk zijn. Ook is niet geheel duidelijk of nu een vegetatie bestaande uit voornamelijk dieper wortelende soorten of juist meer oppervlakkig wortelende soorten zal leiden tot een hogere erosiebestendigheid.

Welke vegetatiesamenstelling leidt tot een erosiebestendige dijkbekleding? Is soortenrijkdom nu wel of niet belangrijk voor de sterkte? En hoe verkrijg je dan een soortenrijke vegetatie na dijkversterking? Deze vragen leven bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en vormden de aanleiding voor dit onderzoek. In opdracht van het hoogheemraadschap hebben Radboud Universiteit en Alterra in kaart gebracht welke eerdere onderzoeken zich op deze vragen gericht hebben en welke kennisvragen nog open staan. Vervolgens is er een pilotexperiment opgezet, waarin de relatie tussen vegetatiesamenstelling en erosiebestendigheid centraal staat.

Het doel van het meerjarig monitoringsexperiment op de Purmerringdijk is om de effecten van variatie in vegetatiesamenstelling op de erosiebestendigheid te toetsen en deze vegetatiesamenstelling te relateren aan het initieel ingezaaide mengsel en het vervolgens toegepaste beheer. In dit experiment worden zowel standaard graszaadmengsels als nieuw ontwikkelde soortenrijke gras-/kruidenzaadmengsels getoetst onder verschillende beheervormen. Op deze wijze willen we de verschillende interacties tussen inzaai, beheer, vegetatiesamenstelling en erosiebestendigheid in een veldsituatie beproeven en kwantificeren.

1.2 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit drie delen:

1. *Literatuuronderzoek.* In hoofdstuk 2 en 3 wordt dieper ingegaan op de theorie die ten grondslag ligt aan de relatie tussen vegetatiesamenstelling en erosiebestendigheid van dijkgraslanden. Hierbij wordt eerst in hoofdstuk 2 ingegaan op het belang en de functies van dijken, om vervolgens in hoofdstuk 3 dieper in te gaan op hoe de vegetatiesamenstelling de stabiliteit en erosiebestendigheid van dijken kan beïnvloeden.
2. *Het monitoringsexperiment.* In hoofdstuk 4 en 5 wordt de opbouw van het monitoringsexperiment op de Purmerringdijk besproken. Hierbij wordt eerst in hoofdstuk 4 aan de hand van vegetatieopnamen en een nulmeting de situatie van vóór de werkzaamheden geschetst. Hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de verschillen stappen die gevolgd zijn om het monitoringsexperiment op te zetten. Voor het uitvoeren van het experiment zijn protocollen voor inzaai, beheer en monitoring opgesteld. Deze zijn opgenomen in de bijlagen.
3. *Conclusies en perspectieven.* In hoofdstuk 6 worden de bevindingen samengevat en wordt er gereflecteerd op de vragen die er naar aanleiding van het schrijven van dit rapport naar voren zijn gekomen.

2 Functies van dijken en dijkgraslanden

2.1 De betekenis van dijken voor Nederland

Over de hele wereld, in gebieden waar mensen in nauw contact staan met het water, zijn dijken gebouwd. De primaire functie van een dijk bestaat uit het beschermen van het achterland tegen overstromingen en op deze wijze vormt het een blokkade tussen water en land. In een land, dat voor een groot deel onder zeeniveau ligt, dat als bekende leus '*Nederland leeft met water*' heeft en dat de fictieve Hansje Brinker als nationale held erkent, is het niet vreemd dat deze dijken een prominente rol in het landschap hebben. In totaal vormen alle dijken samen een wal van 17.500 km. Zonder die dijken zou waarschijnlijk de helft van het land zeer vatbaar zijn voor overstromingen (Gerritsen, 2005; Rijkswaterstaat, 2005).

Dijken verschillen op basis van hun functie en opbouw. Qua functie onderscheiden we primaire (3,500 km) en regionale waterkeringen (14,000 km). De primaire waterkeringen beschermen het land tegen het buitenwater, zoals de zee, het IJsselmeer of de grote rivieren. Regionale waterkeringen beschermen het land tegen het binnenwater, bestaande uit kleinere rivieren en kanalen, boezemwateren, meertjes en dergelijke.

Tot halverwege de twintigste eeuw, vóór de watersnoodramp van 1953 die bijna tweeduizend mensen het leven heeft gekost, werd een dijk voornamelijk getoetst op zijn hoogte. De hoogte van een dijk werd bepaald door de hoogst gemeten waterstand plus een veiligheidsmarge van ongeveer een halve meter (Battjes & Gerritsen, 2002). Relatief weinig was bekend over andere factoren, zoals grondsoort en vegetatie, die ook een grote invloed hebben op de sterkte van een dijklichaam. Sinds de jaren 1980 zijn belangrijke stappen gezet in het onderzoek naar de sterkte en toetsing van dijkgraslanden. In de jaren 1980 en 1990 is door Wageningen Universiteit en Researchcentrum uitgebreid onderzoek gedaan naar de vegetatie van dijken. Het betrof onderzoek naar relaties tussen beheer, soortensamenstelling en erosiebestendigheid. De focus lag op de vegetatie van zeedijken en rivierdijken (o.a. Van der Zee, 1992; Liebrand, 1999 en Sprangers, 1999). Door dit onderzoek is de aandacht voor het beheer en de vegetatiesamenstelling van dijkbekledingen bij dijkbeheerders toegenomen (vgl. Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007).

2.2 De primaire functie van waterkeringen

Zoals gezegd bestaat de primaire functie van dijken uit het beschermen van het achterland tegen overstromingen. De stabiliteit van een dijk wordt bepaald door de opbouw van een dijk, de stevigheid van de ondergrond en de bekleding. De Waterwet regelt dat de primaire keringen in Nederland elke zes jaar moeten worden getoetst op hun veiligheid. De erosiebestendigheid van dijkgraslanden speelt daarbij een belangrijke rol. Voor de derde toetsronde was het toetsinstrumentarium omschreven in het *Voorschrift toetsen op veiligheid primaire waterkeringen* (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007). Voor de verlengde derde toetsronde geldt de *Handreiking toetsen grasbekledingen op dijken* (Rijkswaterstaat, 2012). Wat betreft de regionale waterkeringen zijn, in navolging van Artikel 2.5 van de Waterwet, de provincies zelf verplicht de hydraulische randvoorwaarden voor de regionale waterkeringen vast te leggen. Echter, in de praktijk komt de wijze van toetsing van regionale waterkeringen sterk overeen met de toetsing van primaire waterkeringen. Daarnaast is door de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer een leidraad voor toetsen op veiligheid van regionale waterkeringen opgesteld (STOWA, 2007).

Bij de toetsing wordt de veiligheid van een waterkering getoetst aan de hand van een aantal criteria, die worden onderverdeeld in drie categorieën: hoogte, stabiliteit en betrouwbaarheid sluiting (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007). Voor het bepalen van de hoogte is de overschrijdingskans van de hoogste waterstand waarop de kering moet zijn berekend van belang. De betrouwbaarheid van sluiting geldt alleen bij waterkerende kunstwerken, zoals sluizen en gemalen. De stabiliteit wordt bepaald aan de hand van een aantal zaken, waaronder de macro- en microstabiliteit en de bekleding. Wat betreft de erosiebestendigheid speelt de bekleding een cruciale rol. Veel dijken zijn bedekt met een grasbekleding. Om de toetsing van deze vegetatie adequaat uit te voeren, is aan de hand van nieuwe inzichten uit golfoverslagproeven de *Handreiking toetsen grasbekledingen op dijken* opgesteld (Rijkswaterstaat, 2012). In hoofdstuk 3 wordt dieper ingegaan op de verschillende interacties die ten grondslag liggen aan de relatie tussen vegetatiesamenstelling en erosiebestendigheid van dijkgraslanden.

2.3 De nevenfuncties van waterkeringen in relatie tot de bekleding

Naast de onderzoeken met betrekking tot de erosiebestendigheid van dijkgraslanden, is er ook sprake van toenemende aandacht voor de nevenfuncties van dijken. Dijken vormen een uitgebreid verbindend netwerk binnen laag Nederland. Veel verbindende keringen, bijvoorbeeld in het

IJsselmeergebied en de Zuidwestelijke Delta, hebben een belangrijk stempel gedrukt op de regionale infrastructuur en op de ruimtelijke en recreatieve ontwikkeling van ons land.

Bij het bepalen van de erosiebestendigheid moet rekening gehouden worden met de aard van de hydraulische belasting enerzijds en de sterkte van de dijkbekleding anderzijds. Een dijk waarop een weg ligt, is op de overgang van gras naar asfalt waarschijnlijk gevoeliger voor erosie dan een dijk zonder dergelijke overgangen. Ook eventueel agrarisch medegebruik en het gevoerde beheer van dijkgraslanden zijn van groot belang. Als er geen beheer toegepast wordt, zal er verruiging optreden waardoor ruigtekruiden vrij spel krijgen. Vaak worden deze ruigtegraslanden gedomineerd door soortenarme vegetatiegemeenschappen, waarvan bekend is dat hun doorworteling gering is (Liebrand, 1999; Sprangers, 1999; Rijkswaterstaat, 2012).

Een derde categorie nevenfuncties die steeds meer belangstelling geniet is die van de zogenaamde LNC-waarden (landschap, natuur, cultuurhistorie) van dijken. In de handleiding voor de verlengde derde toetsronde (Rijkswaterstaat, 2012) zijn een aantal beheercategorieën (A tot en met D) gespecificeerd die leiden tot verschillende graslandtypes met afnemende LNC-waarden. De correlatie tussen de beheercategorieën en de gecorrleerde LNC-waarde enerzijds en de erosiebestendigheid anderzijds is hierin niet meegenomen. De reeks golfoverslagproeven heeft namelijk geen aanwijzingen opgeleverd voor een duidelijke relatie op dit vlak (Rijkswaterstaat, 2012). In Nederland zijn inmiddels wel verschillende projecten van start gegaan waarin gekeken wordt hoe dijken op een dusdanige manier bekleed kunnen worden, dat zij een geschikt leefgebied vormen voor karakteristieke flora en fauna. Op regionale waterkeringen proberen verscheidene organisaties en beheerders de vegetatie te (her)ontwikkelen zodat deze een hogere natuurwaarde krijgt en daarnaast kan fungeren als verbindingszone tussen verschillende natuurgebieden (Liebrand, 1999; Weeda *et al.*, 2008; Van Dongen, 2010). Veiligheid én ecologische en ruimtelijke kwaliteit staan inmiddels beide hoog op de agenda. In het denken over waterveiligheid wordt steeds meer omgeschakeld van een defensieve benadering (tegen de natuur in) naar een offensieve benadering (Slim & Löffler, 2007).

Voor de inrichting van dijkgraslanden dient er met deze verschillende functies rekening gehouden te worden. Hierbij is de primaire functie, de erosiebestendigheid, uiteraard het belangrijkste. Zo bepaalt het beheer in grote mate de erosiebestendigheid van de grasmat (Sprangers, 1999; Rijkswaterstaat, 2012) en leidt te intensief beheer, met hoge stikstofgiften en begrazingsdichtheden, tot een verminderde erosiebestendigheid (Dawson *et al.*, 2003; van Eekeren *et al.*, 2011). Hoewel er geen relatie gevonden is tussen hoge LNC-waarden en verhoogde erosiebestendigheid van dijkgraslanden,

kan omgekeerd worden gesteld dat een soortenrijke vegetatie geen afbreuk hoeft te doen aan de sterkte van een dijkgrasland (vgl. Rijkswaterstaat, 2012). Door een integratieve aanpak kunnen dijken in de toekomst ingericht worden als multifunctionele eenheden, waar veiligheid voorop staat en gepaard gaat met de nevenfuncties die dijken bekleden (meekoppelkansen).

3 De rol van vegetatie in erosiebestendigheid

3.1 Vegetatie tegen erosie?

De vegetatiesamenstelling speelt een belangrijk rol, zowel bovengronds als ondergronds, in het vergroten van de erosiebestendigheid van een grasbekleding. Bovengronds kunnen de bladeren van planten de ondergrond beschermen tegen de erosieve kracht van het water. Oudere rekenmodellen, die de erosiebestendigheid koppelen aan de vegetatie, keken vrijwel alleen naar de bovengrondse biomassa. Dit terwijl in de praktijk de erosiebestendigheid bepaald wordt door de gecombineerde effecten van zowel bovengrondse als ondergrondse biomassa (Gyssels *et al.*, 2005). Sterker nog, plantenwortels hebben waarschijnlijk een nog groter aandeel op de erosiebestendigheid. Helaas is het in veldsituaties moeilijker om te kijken naar de verdeling van en interacties tussen ondergrondse biomassa, omdat deze niet op het oog te kwantificeren zijn (Gyssels *et al.*, 2005).

Belangrijk is om eerst vast te stellen welke factoren het meest bepalend zijn voor de erosiebestendigheid van een grondlaag. Verschillende fysische en chemische eigenschappen van de grond, zoals aggregaatstabiliteit, infiltratiecapaciteit, bulkdichtheid, grondstructuur, organische en chemische samenstelling van de grond en de trekkracht van aggregaten, zijn belangrijke parameters (Amézqueta, 1999; Reubens *et al.*, 2007). Kwantitatief zijn er doorgaans wel grote verschillen in het aandeel dat deze parameters hebben in de totale sterkte, maar vooralsnog blijkt het vaak moeilijk om deze parameters van elkaar te onderscheiden. Belangrijk is dat plantenwortels deze parameters op verschillende manieren kunnen beïnvloeden, waardoor de doorworteling ook indirect de erosiebestendigheid van de grond bepaalt (Gyssels *et al.*, 2005). De precieze werking van deze interacties en het belang van de individuele parameters voor de erosiebestendigheid zijn vooralsnog niet volledig bekend.

Bekend is dat plantenwortels de aggregaatstabiliteit kunnen beïnvloeden door het uitscheiden van wortelsappen (exudaten) die kleinere deeltjes binden aan grotere aggregaten. Tussen verschillende plantensoorten bestaan verschillen in de hoeveelheid exudaten die ze uitscheiden. Over het algemeen geldt: hoe hoger de wortellengte-dichtheid en hoe hoger het aandeel wortelharen, hoe meer exudaten de planten uitscheiden (Materechera *et al.*, 1994). Daarnaast is bekend dat eenzaadlobbige planten doorgaans een hoger aandeel exudaten uitscheiden dan tweezaadlobbigen (Amézqueta, 1999; Gyssels *et al.*, 2005).

Niet alleen direct, maar ook indirect kunnen plantenwortels aggregatie beïnvloeden. Bij het opnemen van water, zal de grond lokaal uitdrogen wat de binding tussen wortellexudaten en kleideeltjes bevordert (Reid & Goss, 1982). Daarnaast stroomt het water bij voorkeur langs de levende wortels, door de aanwezigheid van een verzadigde waterfilm langs de wortels (Six *et al.*, 2004). Een vermindering van 10 tot 20% aggregatie werd gevonden in gronden die continu nat werden gehouden ten opzichte van gronden die periodiek droog-nat waren (Reid & Goss, 1982; Materechera *et al.*, 1994). Dit was voornamelijk te wijten aan de schimmelpopulaties die zich vestigen in de wortelzone. Deze schimmels voeden zich met de organische componenten die uitgescheiden worden door plantenwortels (Denef *et al.*, 2001).

Ook schimmels zijn in staat stoffen uit te scheiden die gronddeeltjes aan elkaar plakken. Een voorbeeld hiervan is het uitscheiden van glomaline door mycorrhiza-schimmels. Glomaline beïnvloedt de stabiliteit van een grond door kleinere aggregaten aan elkaar te binden tot grotere structuren (Wright & Upadhyaya, 1998).

Uiteindelijk biedt verhoogde aggregatie een fysische en zelfs chemische bescherming tegen microbiële afbraak, waardoor er weer meer organische stof beschikbaar is voor het overige bodemleven, wat uiteindelijk de stabiliteit weer extra bevordert. Door deze positieve terugkoppeling blijven het water-regulerend vermogen van de bodem, het organisch stofgehalte en de omvang en stabiliteit van het aggregaat met elkaar in evenwicht (Faber *et al.*, 2012).

Om die positieve terugkoppeling en het resulterende evenwicht te behouden, is het zaak dat er in een grasland een dicht wortelnet ontstaat dat voldoende organische stof genereert. Die organische stof kan dan weer gebruikt worden om een uitgebreid netwerk aan schimmels te onderhouden. Vervolgens hebben verschillende onderzoeken aangetoond dat een hoge diversiteit van schimmels ook weer leidt tot een hogere diversiteit en productiviteit van planten (van der Heijden *et al.*, 1998; Klironomos *et al.*, 2000).

Behalve door biologische activiteit (plantenwortels, schimmels, bodemfauna) dragen ook fysisch-chemische processen (zuigspanning, polaire effecten, ijzerverbindingen) bij aan aggregaatvorming (Rijkswaterstaat, 2012). Zo kan de zuigspanning in de wortelzone sterk oplopen onder invloed van verdamping door een dijkgrasland, wat bijdraagt aan de cohesie van de bodem. Raakt de bodem echter verzadigd met water, zoals onder maatgevende condities in dijkgraslanden kan gebeuren, dan neemt de zuigspanning in korte tijd af tot 0.

3.2 Diversiteit leidt tot stabiliteit

Veel experimenten hebben aangetoond dat biodiversiteit positief gecorreleerd is met de productiviteit van een graslandecosysteem (Hector *et al.*, 1999; Tilman *et al.*, 2001; Cardinale *et al.*, 2007). De positieve correlatie tussen productie en biodiversiteit is niet alleen boven-, maar ook ondergronds aangetoond (Tilman *et al.*, 2001; Fornara *et al.*, 2009; Mommer *et al.*, 2010; Brassard *et al.*, 2011). Deze ondergrondse effecten hebben zowel direct, via een verhoogde verankering van de grond, als indirect, via het verhogen van de aggregaat stabiliteit, weer positieve effecten op de totale erosiebestendigheid van een grasland (Gyssels *et al.*, 2005).

Niet alleen de productiviteit, maar ook de stabiliteit van een ecosysteem is positief gecorreleerd aan de soortendiversiteit (Tilman *et al.*, 2006; Isbell *et al.*, 2011). De stabiliteit bepaalt weer in hoeverre een ecosysteem zich kan adapteren aan veranderende omstandigheden. De verwachte klimaatverandering (Klein Tank *et al.*, 2009), kan vergaande gevolgen hebben voor de stabiliteit van dijken. Ook de vegetatiesamenstelling en -productiviteit wordt direct beïnvloed door eventuele fluctuaties in weersomstandigheden (Tilman & El Haddi, 1992; Loreau *et al.*, 2001; Tilman *et al.*, 2006).

Onderzoeken waarin de focus ligt op de relatie tussen biodiversiteit enerzijds en productiviteit en stabiliteit anderzijds hebben geleid tot meer aandacht en draagvlak voor soortenrijke graslanden. Een conclusie van de onderzoeken die in de jaren 1980 en 1990 hebben plaatsgevonden, is dat soortenrijke graslanden zouden leiden tot een hogere erosiebestendigheid (Liebrand, 1999; Sprangers, 1999). Echter, de resultaten van de golfoverslagproeven bevestigen deze conclusie niet (Rijkswaterstaat, 2012). Uit de serie golfoverslagproeven sinds 2006 komt naar voren dat de mate van doorworteling weliswaar een belangrijke sterktebepalende factor voor dijkgraslanden is, maar dat – afgezien van niet-waterkerende objecten, overgangen tussen harde en zachte bekleding en geometrische overgangen - vooral de aanwezigheid van grotere open plekken (diameter ca. 15 cm) kritisch is voor de erosiebestendigheid van een grasbekleding. Tegelijkertijd is er geen reden om aan te nemen dat een soortenrijke grasmat, mits de bekleding door adequaat beheer voldoende gesloten blijft, tot een verminderde erosiebestendigheid leidt (Rijkswaterstaat, 2012).

Het belang van biodiverse dijken ligt dan ook niet alleen in het verhogen van de erosiebestendigheid, maar daarnaast ook in het verhogen van de natuurwaarde en het verhogen van het adaptieve vermogen van dijkgraslanden. Overigens bieden soortenrijke graslanden in een veranderend klimaat met meer extremen (vaker en langer droger of juist natter) mogelijk een betere toekomstgarantie dan soortenarme graslanden. Het idee hierachter is dat gaten die onder extreme

weersomstandigheden in de grasbekleding vallen door het afsterven van bepaalde soorten in een soortenrijkere grasmatt eerder kunnen worden opgevuld door andere, minder gevoelige soorten.

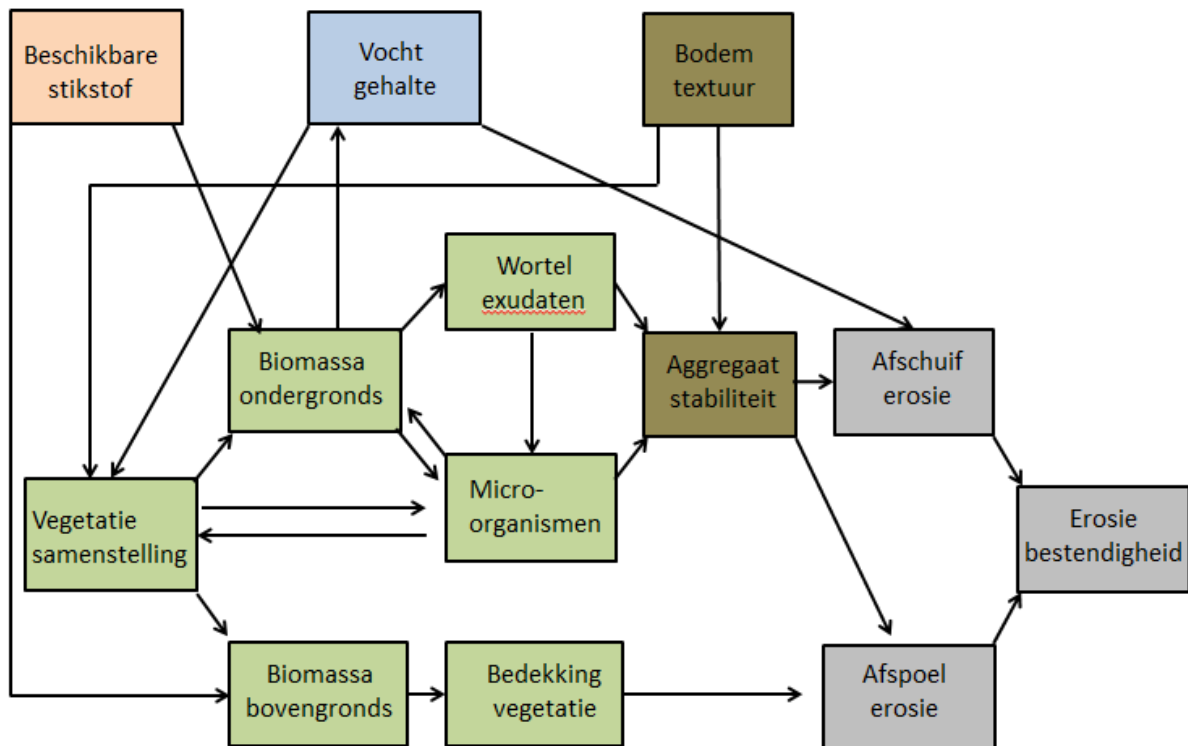
3.3 Integratie van factoren

In de voorgaande alinea's zijn er verschillende factoren besproken die invloed kunnen hebben op de erosiebestendigheid van een dijkgrasland. Deze factoren kunnen ook elkaar, direct of indirect, beïnvloeden en spelen zo allemaal een rol in de relatie tussen vegetatie en erosiebestendigheid. Het beschrijven van deze factoren en de mogelijke relaties ertussen heeft een belangrijk invloed op de uiteindelijke vegetatiesamenstelling en kan daarom niet buiten beschouwing worden gelaten. Een overzicht van de factoren is weergegeven in Figuur 3.1. Hierbij is onderscheid te maken tussen abiotische (stikstof, vochtgehalte en bodemtextuur) en biotische factoren (soortenrijkdom en bodemorganismen).

Om te bepalen welke vegetatie zal leiden tot de hoogst mogelijke erosiebestendigheid, zijn er verschillende factoren waarmee rekening gehouden moet worden. Een groot deel van deze eigenschappen zijn inherent aan de verschillende factoren en processen die beschreven staan in Figuur 3.1.

Zo is het bijvoorbeeld van belang een bedekkende vegetatie te hebben, zodat regendruppels opgevangen worden door de planten, wat afspoelerosie voorkomt en de infiltratie bevordert (Gyssels *et al.*, 2005). Ook bij sterke hydraulische belasting zoals tijdens de golfoverslagproeven, werd gevonden dat een dichte, bedekkende vegetatie meer weerstand bood tegen erosie dan een vegetatie die open plekken met een diameter van orde grootte 10-15 cm of groter vertoonde (Rijkswaterstaat, 2012). Om de bedekking van de vegetatie te bepalen is het zaak deze zowel in de zomermaanden, als gedurende de winter te kwantificeren. Verscheidene kruiden, zoals geofyten, kenmerken zich door 's winters bovengronds af te sterven en enkel ondergronds te overleven. Deze planten kunnen wellicht nog steeds de grond vasthouden door hun deels intacte wortelstelsel, maar veroorzaken tegelijkertijd open plekken in de grasmatt die meer ontvankelijk zijn voor afspoelerosie. Andere factoren zijn moeilijker te bepalen zoals de samenstelling en abundantie van de verschillende micro-organismen. Bekend is dat micro-organismen zowel positieve als negatieve effecten kunnen hebben op de productie en vestiging van planten (van der Putten *et al.*, 1993; Klironomos *et al.*, 2000; Bever *et al.*, 2010; Maron *et al.*, 2011; Schnitzer *et al.*, 2011). Echter, het analyseren van de samenstelling van deze ondergrondse gemeenschap en alle interacties die ze zowel met elkaar, als met de vegetatie aan kunnen gaan, vergt veel tijd en specialistische inspanning.

Het compleet invullen van het schema in Figuur 3.1 en het kwantificeren van alle interacties die ten grondslag liggen aan de erosiebestendigheid van dijkgraslanden is dan ook een opgave die voorsnog niet volledig mogelijk is. Van sommige factoren zijn absolute waarden of de precieze interacties nog niet bekend, maar tegelijkertijd is er al veel onderzoek gedaan naar de principes die eraan ten grondslag liggen. Uit het schema is wel op te maken dat de vegetatiesamenstelling bepalend is voor de uiteindelijke erosiebestendigheid. Deze vegetatiesamenstelling is op zijn beurt afhankelijk van wat er initieel ingezaaid is, de lokale condities en het toegepaste beheer.



Figuur 3.1: verschillende factoren en processen die een belangrijke rol spelen bij het bepalen van de invloed die vegetatie uitoefent op de erosiebestendigheid.

4 Het monitoringsexperiment op de Purmerringdijk: locatie en nulmetingen

4.1 Gebiedsbeschrijving: de Purmerringdijk

De Purmerringdijk is een voorbeeld van een regionale kering. De dijk is gebouwd om de Purmer, een kleine binnensee die in contact stond met de Zuiderzee, droog te leggen. Dat is gebeurd in 1618 (Figuur 4.1).

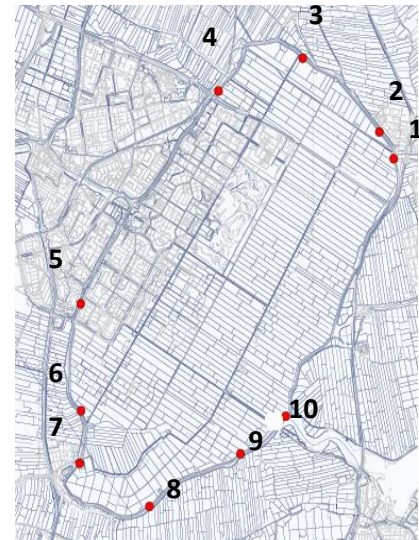


Figuur 4.1: De positie van de Purmerzee (situatie in 1573) en de uiteindelijke polder en de omringende Purmerdijk (situatie in 1708).

De Purmerringdijk is voor dit onderzoek gekozen, omdat delen van de dijk tijdens de derde toetsronde zijn afgekeurd ten aanzien van stabiliteit en de komende tijd worden versterkt. De werkzaamheden bestaan uit het aanbrengen van een extra gewicht aan grond in de dijkvoet (een steunberm) en het opnieuw inzaaien van de leeflaag. De kadeverbetering biedt een mooie kans om de toepassing van verschillende gangbare en nieuwe zaadmengsels te testen, waarbij delen van de dijk als proeflocatie dienen.

4.2.1 De locaties van de proefvlakken

In samenspraak met het hoogheemraadschap zijn er in totaal 10 proefvlakken op de Purmerringdijk gekozen (Figuur 4.2). Deze proefvlakken liggen verspreid over zowel het stedelijk gebied (proefvlakken 4 en 5) als het landelijk gebied. Bij de selectie van de proefvlakken is rekening gehouden met de bereikbaarheid, het feit dat ze een goede representatie geven van de diversiteit op de ringdijk in bijvoorbeeld grondsoort en expositie, en dat de verschillende beheertypen (hooi- en weidebeheer) erin vertegenwoordigd zijn. De vegetatiesamenstelling van de proefvlakken is opgenomen in de zomer van 2013. Op basis van de vegetatieopnamen en visuele inspectie in de winter van 2013-2014 is besloten om bij een aantal van deze proefvlakken een nulmeting te verrichten, waarbij de zodekwaliteit en doorworteling getoetst is. De resultaten van zowel het vegetatieonderzoek als het wortelonderzoek worden hieronder beschreven. Drie van de proefvlakken zijn op het moment van schrijven al versterkt en ingezaaid met de nieuwe zaadmengsels.



Figuur 4.2: de locatie van de tien proefvlakken verspreid over de Purmerringdijk

4.2.2 Nulmeting vegetatiesamenstelling van de proefvlakken

De vegetatieopnamen zijn uitgevoerd volgens de Braun-Blanquet methode, waarbij de numerieke transformatie (van der Maarel, 1979) is toegepast. De uitgebreide tabel van de vegetatiesamenstelling is te vinden in bijlage 1. Verdere relevante gegevens staan vermeld in tabel 4.1. Uit deze tabel blijkt dat er tussen de proefvlakken een redelijke variatie was in het aantal soorten. Echter, belangrijk is hierbij op te merken dat de proefvlakken 4, 5 en 9 opgenomen zijn de dag nadat de proefvlakken gemaaid waren. Ook de vegetatiehoogte is hierdoor niet opgemeten, maar ingeschat hoe deze zou zijn voordat de vegetatie gemaaid werd. Bij visuele inspectie in de wintermaanden viel ons verder op dat de bekleding van de proefvlakken behoorlijk heterogeen was. Hierdoor kan de samenstelling binnen de proefvlakken nog variëren.

Over het algemeen mag geconcludeerd worden dat de graslandvakken op de Purmerringdijk vóór de dijkverzwaring al behoorlijk divers waren in hun samenstelling. De soortenrijkdom kan nogal

variëren, maar graslanden met een soortenrijkdom tussen de 25 à 30 soorten mogen beschouwd worden als relatief soortenrijk. Ook de totale bedekking door vaatplanten was overal boven de 95% en mag daardoor als goed beschouwd worden. Uit bijlage 1 blijkt verder dat er wel een aantal ruigtekruiden in de graslanden aangetroffen werden, waarbij voornamelijk in de hooilanden veel grote brandnetel (*Urtica dioica*) en gewone berenklauw (*Heracleum sphondylium*) aangetroffen werd. De proefvlakken zijn verder in bijlage 1 ingedeeld op basis van het toegepaste beheer of het voorkomen van bepaalde karakteristieke soorten.

Tabel 4.1: Informatie met betrekking tot de vegetatieopnamen van de proefvlakken. In rood zijn de proefvlakken aangegeven waarvan als nulmeting ook de zodekwaliteit bepaald is.

proefvlak	beheer	# soorten	hoogte	bedekking	bodemtype
1	weiland	24	25	97	venig klei
2	hooiland	28	80	100	venig klei
3	weiland	30	40	90	Klei
4	hooiland (klepel)	14	70	100	Klei
5	hooiland	12	80	90	Klei
6	weiland	23	80	98	Klei
7	weiland	28	40	98	Klei
8	weiland	21	60	100	Klei
9	hooiland (klepel)	19	70	95	Klei
10	weiland	22	35	100	Klei

4.2.3 Nulmeting zodekwaliteit

De kwaliteit van de zode is bepaald voor vier verschillende proefvlakken. Hierbij is de keuze gemaakt voor contrasterende proefvlakken op basis van hun beheer en vegetatiesamenstelling. Daarnaast waren op het moment van bemonsteren op enkele proefvlakken, te weten 3, 4 en 5, de werkzaamheden al gestart. Uiteindelijk is er op basis van deze criteria gekozen voor twee proefvlakken met hooibeheer (2 en 9) en twee proefvlakken die beweid worden (7 en 10). De zodekwaliteit is op twee manieren bemonsterd, via de visuele en ‘spade en plag’-methode, zoals beschreven in de *Handreiking toetsen grasbekledingen op dijken in de verlengde derde toetsronde* (Rijkswaterstaat, 2012) en via de methode beschreven in het *Voorschrift toetsen op veiligheid voor de derde toetsronde* (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007). De toepasbaarheid van deze toetsingsmethoden wordt nader beschouwd in bijlage 2.

De resultaten van de metingen die uitgevoerd zijn volgens de visuele en ‘spade en plag’-methode (Rijkswaterstaat, 2012) op de vier proefvlakken op de Purmerringdijk zijn weergegeven in tabel 4.2.

Uit de tabel valt af te leiden dat proefvlak 7 zowel visueel, als bij het steken van de plag het beste scoorde en dat proefvlak 10 op beide criteria een onvoldoende scoorde.

Tabel 4.2: Resultaten toepassing methode Rijkswaterstaat (2012).

Proefvlak	Visueel	Plag
2	2	2
7	1	1
9	2	2
10	3	3

De resultaten van de rastermethode (cf. Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) staan in tabel 4.3. Een aantal dingen zijn hier uit af te leiden. Zo is de graszode van proefvlak 9 niet optimaal. Er zijn daar een aantal open plekken en daarnaast een hoog aandeel mos. Mos heeft niet de capaciteit de bodem goed vast te houden en is daarom niet wenselijk in te hoge bedekking in de grasmat. Proefvlak 10 heeft een hoog aandeel kale plekken, vooral bij de eerste meting, en scoort daardoor bij deze test slecht.



Tabel 4.3: Resultaten van de rastermethode voor het bepalen van de openheid en samenstelling van de graszode. Per categorie (kaal, gras, etc.) is het percentage bedekking weergegeven.

	eerste meting				tweede meting			
	kaal	Gras	kruid	mos	kaal	gras	kruid	mos
2	1	89	10	0	5	93	2	0
7	5	94	1	0	3	92	5	0
9	4	63	13	20	7	55	24	14
10	23	74	3	0	3	89	7	1

De resultaten van de wortelbepaling staan in tabel 4.4. Deze waarden zijn vervolgens getransformeerd met behulp van tabel 4.5. De getransformeerde waarden staan per proefvlak weergegeven in Figuur 4.3. Hieruit is op te maken dat proefvlak 7 en 10 het beste scores ten aanzien van hun doorworteling. Bij proefvlak 2 was er veel variatie tussen de steken, maar gemiddeld gezien scoorde het proefvlak redelijk tot matig. Bij proefvlak 9 lagen de waarden vaak tegen de ondergrens

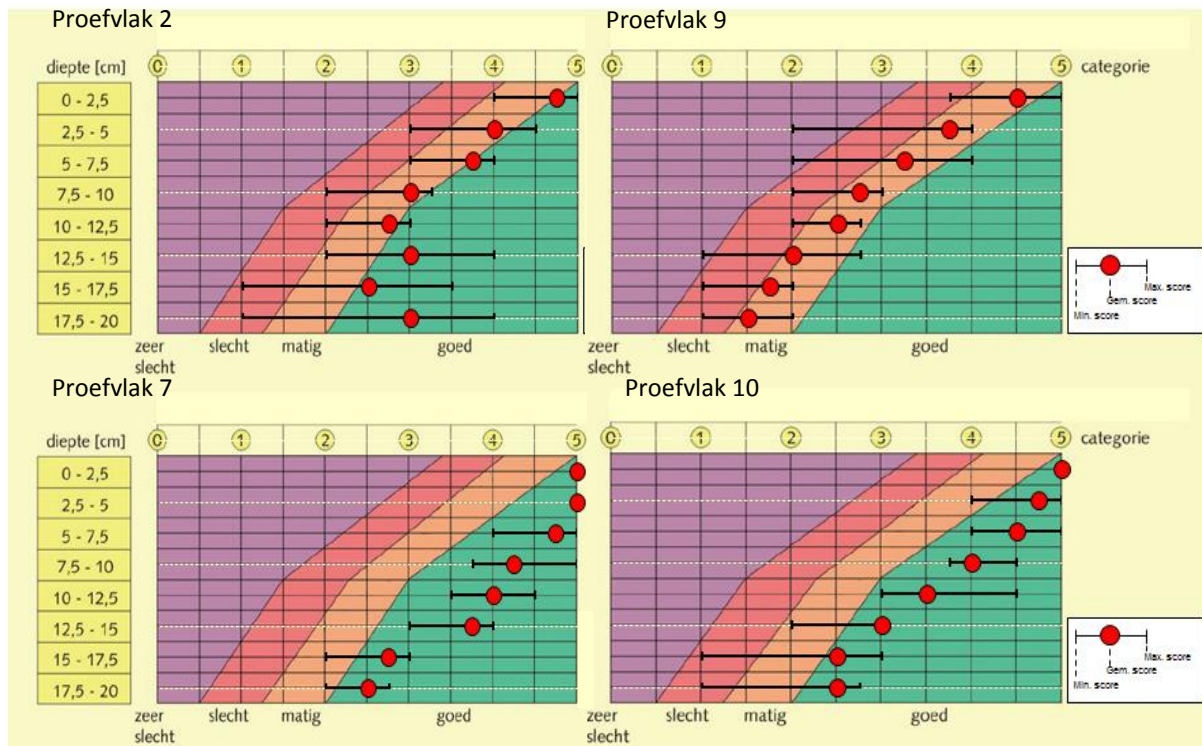
aan. Op basis van het gemiddeld aantal wortels per diepte, kunnen we concluderen dat de proefvlakken 2 en 9 matig scoorden en de proefvlakken 7 en 10 als goed beoordeeld worden.

Tabel 4.4: het gemiddeld aantal wortels van de vier metingen per diepte.

Gemiddelde:	2	7	9	10
0-2,5	34	40	28,25	40
2,5-5	23	40	17,75	37,5
5-7,5	19	34,25	14	29,75
7,5-10	11,25	27,25	10,5	21
10-12,5	10,5	22	8,5	16,75
12,5-15	12	18,5	5,5	11,75
15-17,5	8,5	10	4,75	7,50
17,5-20	12,25	8,5	4,25	7,25

Tabel 4.5 transformatie tabel overgenomen uit het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007)

Categorie	Worteldichtheid
0	Geen wortels
1	1 - 5 wortels
2	6 - 10 wortels
3	11 - 20 wortels
4	21 - 40 wortels
5	> 40 wortels



Figuur 4.3: De zodekwaliteit als functie van de doorworteling per proefvlak weergegeven. Behalve de gemiddelde score zijn ook de minimale en maximale score weergegeven.

Discussie

Een drietal metingen zijn uitgevoerd: de methode voor de verlengde derde toetsronde (Rijkswaterstaat, 2012), het bepalen van de bovengrondse dichtheid en het aantal wortels ondergronds (conform Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007). Verschillende conclusies zijn uit de resultaten te trekken. In beide metingen volgens de derde toetsronde scoort proefvlak 9 het

slechtst, gevolgd door proefvlak 2 en 10. Proefvlak 7 kwam bij alle testen als beste naar voren. Proefvlak 10 scoorde daarnaast bij de methode voor de verlengde derde toetsronde het slechtst, aangezien het onmogelijk was een intacte plag uit de grond te halen. Op basis hiervan mag er geconcludeerd worden dat de methoden een globaal beeld geven van de kwaliteit van de grasmat, maar dat er nog geen harde uitspraken gedaan kunnen worden. Zelfs wanneer alle methoden uitgevoerd zijn, is het nog steeds niet duidelijk wat nu uiteindelijk de juiste parameter is voor het bepalen van de kwaliteit van de grasmat. Proefvlak 10 scoort bijvoorbeeld relatief goed in de zodekwaliteit aangaande de doorworteling, maar tegelijkertijd zagen we in het veld dat de grasmat open gaten vertoonde en andere sporen van erosie.

4.2.4 Conclusies en aanbevelingen

Met behulp van vegetatieopnamen van de uitgangssituatie en door een nulmeting te verrichten van enkele proefvlakken is er een beter beeld geschetst van de huidige kwaliteit van de bekleding van de Purmerringdijk. Ondanks het feit dat het profiel van de gehele dijk de komende tijd versterkt zal worden, waarbij de toplaag opnieuw wordt aangebracht, is het belangrijk om een duidelijk beeld te hebben van de uitgangssituatie. Met betrekking tot de vegetatieopnamen geeft dit een idee van de al aanwezige zaadbank in de toplaag en eventuele verschillen in vegetatiesamenstelling die nu al op te merken zijn. Een voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld het verschil in voorkomen van rood zwenkgras (*Festuca rubra*) tussen de twee beheervormen hooi en weide. Opvallend is namelijk dat deze soort op de Purmerringdijk alleen in weilanden voor lijkt te komen, terwijl deze elders ook in hooilanden gevonden kan worden. Daarnaast bestaan de D-graszaadmengsels voor het overgrote deel uit rood zwenkgras en zullen deze mengsels straks ook onder beide beheervormen getoetst worden (zie ook tabel 5.1 en bijlage 6). Naar aanleiding van de vegetatieopnamen lijkt de hoogste soortenrijkdom voor te komen op de graslanden die begraasd werden. Echter, het feit dat de hooilanden slechts een dag ervoor gemaaid waren, kan ook een vertekend beeld gegeven hebben.

De toetsingsmethoden van de zodekwaliteit, volgens de verlengde derde toetsronde (Rijkswaterstaat, 2012) en volgens de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) hebben verschillende conclusies opgeleverd. Over het algemeen lijkt de zodekwaliteit matig tot goed te zijn. Bij alle testen scoort proefvlak 9 relatief slecht. Opvallend is dat proefvlak 10 op basis van visuele inspectie en de spade- en plagmethode het slechtst scoorde, terwijl deze voor de doorworteling bij de toetsing volgens Ministerie van Verkeer & Waterstaat (2007) juist als goed naar voren kwam. Dit terwijl er in dit veld al meerdere erosieplekken zichtbaar waren. Een conclusie die

op basis van deze gegevens getrokken mag worden, is dat de resultaten diffuus zijn en het voor de toekomst interessant zou zijn deze toetsingsmethoden systematischer met elkaar te vergelijken.

Samengevat lijkt de bekleding van de Purmerringdijk, uitgaande van deze nulmeting, van redelijke kwaliteit. In totaal zijn er 57 soorten verspreid over de proefvlakken waargenomen. Het aantal soorten per proefvlak varieerde behoorlijk, maar dit was ook deels te wijten aan het moment van opname (in enkele gevallen een dag na het maaien). Ook de doorworteling van de vier proefvlakken was variabel, in het algemeen van matig tot goed.

5 Het monitoringsexperiment op de Purmerringdijk: proefopzet en methodiek

5.1 De onderzoekthema's

In dit monitoringsexperiment ligt de focus op het testen van de 'klassieke', dat wil zeggen gangbare, D-graszaadmengsels ten opzichte van nieuw ontwikkelde mengsels waarvan theoretisch wordt verwacht dat ze tot een meer erosiebestendige grasbekleding zullen leiden. De opzet van het onderzoek is in een aantal stappen verlopen die in dit hoofdstuk nader beschouwd worden. De eerste stap bestond uit het samenstellen van twee nieuwe bijmengsels met differentiatie tussen de twee beheertypen: hooi- en weidebeheer. Ook is er een inventarisatie gemaakt van de verschillende D-graszaadmengsels die in omloop zijn (bijlage 6). Voor de tweede stap is gekeken naar de indeling van de proefvlakken. Daarbij werd bepaald hoe groot de testvlakken per zaadmengsel moeten zijn en hoe het beheer uitgevoerd moet worden. Als laatste stap is er een plan opgesteld waarin beschreven is hoe de proefvlakken de komende jaren gemonitord kunnen worden.

De onderzoekthema's die in dit monitoringsexperiment aangesneden worden, zijn:

- *De invloed van de samenstelling van een zaadmengsel op de vegetatieontwikkeling.* De vegetatiesamenstelling is voor een groot deel afhankelijk van wat er initieel is ingezaaid. De nieuwe zaadmengsels zijn samengesteld met bepaalde erosie- en droogtebestendige eigenschappen op het oog. Met dit experiment wordt de praktische toepasbaarheid van deze mengsels en de ontwikkeling van de vegetatie in de tijd gemeten.
- *De invloed van het beheer op de vegetatiesamenstelling.* Op alle proefvlakken zullen zowel een D-graszaadmengsel als de twee nieuwe bijmengsels ingezaaid worden. Op deze wijze wordt de toepasbaarheid van de mengsels ook onder alle beheersvormen getoetst.
- *De invloed van 'locatie' op de vegetatiesamenstelling.* De proefvlakken liggen verspreid over de hele ringdijk. Helling en aspect (de richting waarin een helling ligt) kunnen bepalend zijn voor de lokale omstandigheden en op die wijze uiteindelijk bepalend voor de vegetatiesamenstelling. Door de proefvlakken verspreid over het gehele dijktraject te verdelen, kunnen ook deze verschillende omstandigheden getoetst worden.

5.2.1 De samenstelling van de nieuwe zaadmengsels

Bij het kiezen van de nieuwe zaadmengsels is met een aantal zaken rekening gehouden. Zo zijn de mengsels bedoeld als bijmengsel voor de al bestaande D-graszaadmengsels, waardoor er voor gekozen is om vooral kruiden in de bijmengsels op te nemen. Een uitgebreide motivatie voor de samenstelling van de nieuwe zaadmengsels staat in bijlage 6. In tabel 5.1 staat de samenstelling van de nieuwe bijmengsels en het gebruikte D-graszaadmengsel met daarbij een korte motivatie per soort.

Tabel 5.1: De samenstelling van de beide bijmengsels (D-hooi en D-wei) en het gebruikte gangbare D-graszaadmengsel op de Purmerringdijk. Binnen de mengsels is het procentuele aandeel van iedere soort (in zaadgewicht) aangegeven. Deze verhoudingen zijn in de bijmengsels gebaseerd op kiemkracht, zaadgewicht en planteigenschappen (conform de leverancier). Bij het inzaaien is de massaverhouding tussen bijmengsel en regulier mengsel 1:2 (zie Bijlage 3).

D-hooi bijmengsel		%	Eigenschappen
Knoopkruid	<i>Centaurea jacea</i>	13	diep wortelend, ook vegetatief, kenmerkende hooilandsoort
Rode klaver	<i>Trifolium pratense</i>	13	diep wortelende vlinderbloemige, algemeen
Smalle weegbree	<i>Plantago lanceolata</i>	4	diep wortelend, algemeen, rozet ook in winter
Gewoon duizendblad	<i>Achillea millefolium</i>	3	diep wortelend + taaie wortelstokken, rol bodembevestiger
Margriet	<i>Leucanthemum vulgare</i>	10	vertakte wortelstok, lange wortels, verdraagt wei & hooi
Veldlathyrus	<i>Lathyrus pratensis</i>	4	diep wortelend met ondergrondse uitlopers
Scherpe boterbloem	<i>Ranunculus acris</i>	36	algemene soort, verdraagzaam
Glad walstro	<i>Galium mollugo</i>	4	diep wortelend, lange uitlopers, algemene hooilandsoort
Glanshaver	<i>Arrhenatherum elatius</i>	13	echte hooilandsoort, uitgebreid en diep wortelstelsel
D-wei bijmengsel			
Smalle weegbree	<i>Plantago lanceolata</i>	5	algemeen, diep wortelend, rozet ook in winter
Gewoon duizendblad	<i>Achillea millefolium</i>	3	diep wortelend + taaie wortelstokken, rol bodembevestiger
Gewone rolklaver	<i>Lotus corniculatus</i>	12	grote penwortel met forse uitlopers, algemeen, eetbaar
Gewone brunel	<i>Prunella vulgaris</i>	14	ondiep, maar dicht wortelend. Verdraagt beweiding goed
Wilde peen	<i>Daucus carota</i>	11	diep reikende penwortel, verdraagt hooi en wei, eetbaar
Kruipende boterbloem	<i>Ranunculus repens</i>	26	vegetatief, algemeen, verdraagzaam
Witte klaver	<i>Trifolium repens</i>	11	eetbaar, zodevormend: klonaal
Madeliefje	<i>Bellis perennis</i>	3	echte weidesoort, kort wortelstokje, ondiep wortelend
Kamgras	<i>Cynosurus cristatus</i>	15	ondiep, maar hoge biomassa in bovenste laag
D-natuurlijk – regulier mengsel			
Engels raaigras	<i>Lolium perenne</i>	25	zeer snelle groeier (zodevormer) en verdraagzaam
Rood zwenkgras	<i>Festuca rubra</i>	50	diep wortelend met hoge dichtheid, dichte zode
Veldbeemdgras	<i>Poa pratensis</i>	20	betredingstolerant
Gewoon struisgras	<i>Agrostis capillaris</i>	5	lange diepe wortelstokken

5.2.2 De proefopzet

Aanvankelijk was het idee om de twee D-graszaadmengsels D1 (weide) & D2 (hooi) te testen ten opzichte van de twee nieuwe bijmengsels onder verschillende veldcondities. Bij het inzaaien bleek dat de gehele dijk, ongeacht het beheer op het talud, ingezaaid zal worden met het D-graszaadmengsel 'Natuurlijk 2'. Op voorhand was besloten om per proefvlak vier testvlakken (één per mengsel) in te richten. Aangezien er maar één D-graszaadmengsel gebruikt werd, hebben we ervoor gekozen om de buitenste testvlakken in te zaaien met het pure graszaadmengsel (Natuurlijk 2) en de binnenste testvlakken in te zaaien met dit mengsel gecombineerd met de beide bijmengsels (Figuur 5.1). Op deze wijze zullen verschillen tussen de zaadmengsels duidelijk zichtbaar zijn in de toekomst. Ook voor de toekomstige monitoring is het praktischer wanneer de indeling van de proefvlakken uniform is over de gehele dijkring. Een protocol voor het inzaaien van de proefvlakken is te vinden in bijlage 3.



Figuur 5.1: De indeling van de proefvlakken. ND: Natuurlijk2, NDW, Natuurlijk2+weidebijmengsel, NDH: Natuurlijk2+hooibijmengsel.

5.3.1 Het beheer van de proefvlakken

Na het inzaaien begint de vestigingsfase van de vegetatie. Zowel de kiemingsperiode als de vestiging en overleving van zaailingen zijn kritieke fasen in het leven van planten. In deze periode zijn de planten erg gevoelig voor verschillende stressoren zoals droogte, vorst, betreding etc. Om de vegetatie een zo goed mogelijke start te geven zal het beheer van de dijk daarop aangepast moeten worden. Zoals al eerder gesteld, wordt de erosiebestendigheid van een grasmat voornamelijk bepaald door het aantal wortels en de structuur van de wortelzone. Daarnaast is ook de openheid van de bekleding bovengronds van belang. Een pollige vegetatie met grote open plekken ertussen is minder erosiebestendig (Rijkswaterstaat, 2012). Een relatie tussen de openheid van de vegetatie bovengronds met de mate van doorworteling ondergronds lijkt voor de hand te liggen (vgl. Peeters *et al.*, 2012; Rijkswaterstaat, 2012), maar hoeft niet één op één te zijn. Hoe meer de planten in staat zijn

te investeren in hun ondergrondse biomassa, hoe beter de toplaag bestand zou moeten zijn tegen erosie. Uit de literatuur is bekend dat de wortelbiomassa en de architectuur van het wortelsysteem negatief gecorreleerd zijn aan intensief (agrarisch) beheer. Bij een hoge stikstofgift of bij een frequent maairegime of intensieve beweiding zal de plant een groot deel van zijn beschikbare energie investeren in zijn bovengrondse biomassa. Dit zal ten koste gaan van de ondergrondse productie. Op basis van verschillende bronnen, zoals het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007), onderzoek uitgevoerd door Alterra en Wageningen Universiteit (Sprangers, 1999; Hazebroek & Sprangers, 2002), de veldgids 'Ontwikkelen van kruidenrijk grasland' (Schippers *et al.*, 2012) en een onderzoek naar bestrijding van onkruiden (Riemens & van der Weide, 2009), zijn de volgende adviezen aangaande het beheer samengesteld. Een protocol voor het beheer, waarin puntsgewijs verschillende criteria behandeld worden, is opgenomen in bijlage 4.

Ontwikkelingsbeheer

Op grond van theoretische overwegingen adviseren wij dat, voor het ontwikkelen van een erosiebestendige grasmat, minimaal de eerste twee jaar aangepast beheer uitgevoerd moet worden, gericht op de ontwikkeling van een stabiel en productief wortelsysteem. In het algemeen zal het 2 à 3 weken duren voor de plantjes zijn opgekomen na inzaai. Bij een vegetatiehoogte van 15 cm kan ervoor gekozen worden om de vegetatie te toppen en het maaisel te verwijderen. Door het toppen wordt voornamelijk Engels raaigras (*Lolium perenne*), een snelle groeier, geremd in zijn groei (Huisman, 1976). Trage groeiers zoals de verschillende kruiden en Veldbeemdgras (*Poa pratensis*) krijgen hierdoor betere kansen. Belangrijk is om de jonge grasmat gedurende deze ontwikkelingsfase niet ruw behandelen, want de planten zijn nog kwetsbaar. Men kan ervoor kiezen om het toppen enkele keren te herhalen bij een hergroeide hoogte van ongeveer 15 cm, of de vegetatie te maaien, waarbij het gebruik van zware machines op de proefvlakken vermeden moet worden. Voor het beheer op de proefvlakken raden we voor het eerste jaar aan gebruik te maken van zo licht mogelijke maaimachines, of bosmaaiers met snijdraad. Op deze wijze kan de grasmat uiteindelijk kort (5-10 cm) de winter ingaan zodat het jaar daarna de vegetatie de kans krijgt verder te groeien.

Omdat de Purmerringdijk over een langer tijdsbestek versterkt wordt, zullen niet alle proefvlakken in dezelfde periode ingezaaid worden. Met het oog hierop, is het verstandig om de proefvlakken individueel te beoordelen en om het beheer daarop aan te passen. Verwacht wordt dat de meeste proefvlakken in het voorjaar van 2015 ingezaaid zullen worden, aangezien de meeste werkzaamheden eind 2014 gereed zullen zijn. Mochten er ook proefvlakken zijn die in het najaar van 2014 ingezaaid worden, dan zullen deze een andere vegetatieontwikkeling hebben dan proefvlakken

die in het voorjaar of de vroege zomer ingezaaid worden. Door visuele inspectie en een nadere beschouwing van de vegetatiesamenstelling, kan het hoogheemraadschap beoordelen of de vegetatie voldoende ontwikkeld is om beweiding van start te laten gaan. Maatstaven die daarbij doorslaggevend zijn, zijn de bedekkingsgraad (moet zijn >75 %), de hoogte van de vegetatie, soortenrijkdom etc. Een protocol voor van het ontwikkelingsbeheer is opgenomen in bijlage 4.

Instandhoudingsbeheer: beweiding

Indien het hoogheemraadschap besluit om snel te starten met de beweiding is het goed om in het bijzonder de eerste twee jaar na inzaaien streng toe te zien op het aantal schapen in de weide. Hierbij dient niet alleen het aantal ooiën, maar ook het aantal geboren lammeren meegenomen te worden. Over het algemeen wordt bij een goed ontwikkeld weiland een veedichtheid van hoogstens 8 tot 10 schapen per hectare als duurzaam beschouwd (van Wingerden *et al.*, 2001). Door beweiding met deze aantallen ontstaat in principe geen schade aan de grasmatten. Echter, nog belangrijker is het om ook de periode en duur van beweiding hierin mee te nemen. Jonge grasmatten (tot 4 jaar) zijn nog te zwak om onder herfstomstandigheden beweiding te verdragen. Met het oog hierop zal vóór oktober de beweiding beëindigd moeten zijn. Ook in perioden van droogte, waarbij de vegetatie bruin en dor aandoet, of in perioden van extreem nat weer, wordt het sterk afgeraden om schapen te laten grazen op dijkgraslanden.

Na de wintermaanden is de start van de groei van de vegetatie sterk afhankelijk van de temperatuur. Over het algemeen zal gelden dat beweiding vanaf medio april plaats mag vinden. Echter, ook hiervoor geldt dat verschillende omstandigheden tot verschillende responsen met betrekking tot de vegetatie kunnen leiden. Een protocol ten aanzien van instandhoudingsbeheer is verder uitgewerkt in bijlage 4.

Instandhoudingsbeheer: maaien

Ook voor het maai-beheer zijn er een aantal zaken waarmee rekening gehouden moet worden. Zo wordt over het algemeen verondersteld dat klepelmaaien, waarbij de stukgeslagen vegetatie blijft liggen, zal leiden tot een slecht doorwortelde grasmatten (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007). Volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) dient er in principe twee keer per jaar gemaaid te worden. Hierbij dient elke keer het maaisel afgevoerd te worden. Voor wat betreft het tijdstip van het maaien dient rekening gehouden te worden met de vegetatiesamenstelling, waarbij de bloeitijd van zowel de gewenste soorten als van ruigtekruiden van belang is. Om schade aan de dijk te voorkomen, dient bij het

gebruik van maaimachines rekening gehouden te worden met het gewicht van de machines. Daarbij geldt: hoe lichter, hoe beter en maait men bij voorkeur vanaf de vlakke gedeelten met een maaiarm.

Als we het bovenstaande samenvatten, komen de volgende belangrijke punten met betrekking tot ontwikkelings- en instandhoudingsbeheer naar voren:

- Om de doorworteling in de ontwikkelingsfase te stimuleren wordt aangeraden om het eerste jaar de percelen nog niet te beweiden. Hierbij geldt wel dat de vegetatie kort (tussen de 5 à 10 cm) de winter dient in te gaan.
- Voordat het uiteindelijke beheer in detail bepaald wordt, dient de vegetatie beoordeeld te worden ten aanzien van de dichtheid en samenstelling. Op basis van de kwaliteit kan het uiteindelijk maaieregime of de beweidingfrequentie vastgesteld worden. In bijlage 4 staat een protocol dat hierbij gevolgd kan worden.
- Voordat het uiteindelijke beheer wordt vastgesteld, moet ook gelet worden op de milieuomstandigheden. De intensiteit van beweiden en het tijdstip van maaien zijn afhankelijk van een aantal factoren waarbij temperatuur en bodemvochtigheid een grote rol spelen.
- Over het algemeen geldt dat grasbekledingen tot vier jaar na inzaaien nog niet op hun volledige sterkte zijn. Regels over beweiding (niet tussen oktober en april en niet meer dan 10 schapen per hectare) dienen in deze periode scherp gecontroleerd te worden. Het herstellingsvermogen van de grasbekleding is in de eerste vier jaar minder ontwikkeld dan in de jaren daarna.

Omdat het door de opzet van de proef uiteindelijk ook mogelijk is de vegetatieontwikkeling en -samenstelling te relateren aan het toegepaste beheer, maakt het niet uit dat er verschillen in beheervorm bestaan tussen de proefvlakken. Het verschil tussen extensief en intensief beheer in relatie tot de erosiebestendigheid is eerder in veldsituaties onderzocht. Hierbij is echter niet eerder onderzoek gedaan naar een grasmat in ontwikkeling. De resultaten uit het onderzoek op de Purmerringdijk kunnen uitkomst bieden op de vraag welk beheertype en zaadmengsel uiteindelijk zal leiden tot de beste ontwikkeling van een erosiebestendige toplaag.

5.3.2 Het monitoren van de proefvlakken

Om de uiteindelijke vegetatieontwikkeling van de individuele mengsels, verdeeld over de verschillende proefvlakken, te relateren aan de zodekwaliteit en erosiebestendigheid is het zaak dit

goed over de tijd te monitoren. Voor deze monitoring stellen we een twee-fasen aanpak voor. Een protocol voor het monitoren is verder uitgewerkt in bijlage 5.

- De beginfase bestaat uit de eerste twee jaar na inzaaien. Fluctuaties in vegetatiesamenstelling zullen gedurende deze eerste twee jaar sterker zijn dan wanneer de soorten zich eenmaal gevestigd hebben. Daarom adviseren we om de eerste twee jaar twee keer per jaar vegetatieopnamen te maken. Voor de eerste opname is het voorjaar geschikt, vóór de eerste maaibeurt, en de tweede zou in het vroege najaar, vóór de tweede maaibeurt, plaats kunnen vinden. Hierbij ligt de focus voornamelijk op de kieming van de zaden die ingezaaid zijn en de vestiging van deze soorten. Indien om logistieke of andere redenen slechts één opname per jaar mogelijk is, wordt geadviseerd deze vóór de eerste maaibeurt in het late voorjaar te maken. Op dat moment is het duidelijk welke kiemplanten de winter hebben overleefd, en zijn kortlevende (voorjaars)soorten nog aanwezig in de vegetatie. Omdat de ondergrondse wortelarchitectuur in deze eerste twee jaren nog niet optimaal ontwikkeld zal zijn, adviseren we alleen de bovengrondse biomassa te kwantificeren en te beoordelen.
- Na deze twee jaar is de vegetatie voldoende ontwikkeld om de kwaliteit (erosiebestendigheid) te toetsen. Mogelijk zijn er verschillen tussen de proefvlakken die op verschillende momenten zijn ingezaaid. Vanaf het moment dat de vegetatie twee winterperiodes ondergaan heeft (ongeacht of deze in het voor- of najaar ingezaaid is), beschouwen we de vegetatie als voldoende ontwikkeld. Vanaf dat moment zal ook het reguliere beheer weer uitgevoerd kunnen worden. Interessant is hier om niet alleen te kijken naar de vestiging van de ingezaaide soorten, maar om verschillen in samenstelling tussen de proefvlakken te relateren aan beheer. Om dit te bereiken adviseren we om de vegetatieopnamen gedurende dezelfde periodes (voorjaar en vroege najaar) uit te voeren. Verder dient de meting van de zodekwaliteit en doorworteling volgens zowel de methode voor de verlengde toetsronde (Rijkswaterstaat, 2012) als de methode voor de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) uitgevoerd te worden. Dit moet gebeuren tijdens het winterhalfjaar. Op basis van een jaarrond-onderzoek adviseren we hiervoor de periode 1 oktober tot 1 maart (Schaffers *et al.*, 2011).
- Op basis van deze resultaten van bovenstaande monitoring kan ervoor gekozen worden om aanvullend onderzoek te verrichten. Hierbij denken we aan een kwantitatieve bepaling van de ondergrondse biomassa, bodemvochtprofielen, bodemanalyses etc. Om de daadwerkelijke erosiebestendigheid van de verschillende mengsels experimenteel te toetsen

zou het interessant zijn om full-scale proeven met behulp van een golfoverslagsimulator (Rijkswaterstaat, 2012) uit te voeren.

6 Tot besluit

In dit rapport is informatie samengebracht uit wetenschappelijk en toegepast onderzoek en uit de beheerpraktijk met als doel om een pilotstudie op de Purmerringdijk te onderbouwen en van een leidraad te voorzien. In deze pilotstudie zal de relatie tussen de vegetatiesamenstelling en de erosiebestendigheid van dijkgraslanden in een veldsituatie worden gemonitord.

Een belangrijke conclusie van het uitgevoerde literatuuronderzoek is dat planten de erosiebestendigheid van dijken positief kunnen beïnvloeden, maar dat de precieze interacties met beheer, bodemmatrix en micro-organismen die hieraan ten grondslag liggen nog onvoldoende gekwantificeerd zijn. Zo is bekend dat verschillende parameters die de erosiebestendigheid van een dijklichaam bepalen, zoals infiltratiecapaciteit, trekkracht, aggregaatstabiliteit etc., beïnvloed worden door plantenwortels, maar een kwantitatieve bepaling van deze parameters ontbreekt vooralsnog. Daarnaast is ook de rol van soortenrijkdom en vegetatiesamenstelling op de erosiebestendigheid van dijkgraslanden onvoldoende onderzocht. Hierdoor is er op dit moment onvoldoende consensus over welk type dijkgraslandvegetatie het sterkst is en hoe deze sterkte het best getoetst kan worden.

Dit monitoringsexperiment is opgezet om in een veldsituatie het effect van de vegetatiesamenstelling op de erosiebestendigheid van dijkgraslanden te onderzoeken. De resultaten van dit onderzoek bieden onder meer antwoord op de vraag wat de effecten zijn van de soortensamenstelling en soortenrijkdom van zaadmengsels op de vegetatieontwikkeling en uiteindelijk op de erosiebestendigheid van dijkgraslanden. Deze ontwikkeling zal over de tijd gemonitord en jaarlijks getoetst worden volgens de methoden beschreven in het *Voorschrift toetsen op veiligheid primaire waterkeringen* (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) en de *Handreiking toetsen grasbekledingen op dijken in de verlengde derde toetsronde* (Rijkswaterstaat, 2012). Een reflectie op de toepasbaarheid van deze toetsingsmethoden is opgenomen in bijlage 2.

Het ontbreken van volledige consensus over de relatie tussen vegetatietype en erosiebestendigheid en de bevindingen van het literatuuronderzoek zoals weergegeven in dit rapport onderschrijven het belang van aanvullend toegepast én fundamenteel onderzoek. Te veel vragen zijn op dit moment nog onvoldoende beantwoord, niet alleen vanuit het perspectief van de dijkbeheerder, maar ook vanuit dat van de wetenschap. Zo weten we nog onvoldoende over de effecten van meer en langere

droogteperioden op de erosiebestendigheid van dijkgraslanden en over de herstelkracht van verschillende vegetatietypen na extreem weer.

Daarnaast blijken de toetsingsmethoden voor de derde en de verlengde derde toetsronde een onvolledig en deels tegenstrijdig beeld te geven van de daadwerkelijke sterkte van de grasbekleding.

Een integratieve aanpak waarbij dijkbeheerders en onderzoekers samenwerken, is een goede manier om deze en andere vragen te beantwoorden. Het aanpakken van vraagstukken uit de beheerpraktijk via zowel veldonderzoek als experimentele situaties zal bijdragen aan het vullen van de huidige kennislacunes en vormt de basis voor verbeterde beheer- en toetsingsvoorschriften.

Literatuurlijst

- Amézketa, E. (1999) Soil aggregate stability: a review. *Journal of Sustainable Agriculture* 14, 83-151.
- Battjes, J.A. & Gerritsen, H. (2002) Coastal modelling for flood defence. *Philosophical Transactions of the Royal Society A.360*, 1461-1475.
- Bever, J.D., Dickie, I.A., Facelli, E., Facelli, J.M., Klironomos, J., Moora, M., Rillig, M.C., Stock, W.D., Tibbett, M. & Zobel, M. (2010) Rooting theories of plant community ecology in microbial interactions. *Trends in Ecology & Evolution*, 25, 468–478.
- Brassard, B.W., Chen, H.Y.H., Bergeron, Y., Paré, D. (2011) Differences in fine root productivity between mixed- and single-species stands. *Functional Ecology*, 25, 238-246.
- Cardinale, B.J., Wright, J.P., Cadotte, M.W., Carroll, A.H., Srivastava, D.S., Loreau, M., Weis, J.J. (2007) Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 18123-18128.
- Dawson, L.A., Thornton, B. Pratt, S.M., Paterson, E. (2003) Morphological and topological responses of roots to defoliation and nitrogen supply in *Lolium perenne* and *Festuca ovina*. *New Phytologist*. 161, 811-818.
- Denef, K., Six, J., Bossuyt, H., Frey, S.D., Elliot, E.T., Merckz, R., Paustian, K. (2001) Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. *Soil Biology & Biochemistry*. 33, 1599-1611.
- Faber, J., Wösten, H., Bakker, G., Bokhorst, J., Hummelink, E., van den Brink, N., Deru, J., Luske, B., van Eekeren, N. (2012) Droogteresistentie van grasland in de Gelderse Vallei; 'Kijk eens wat vaker onder de graszode'. *Wageningen, Alterra-rapport 2373*. URL: <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport2373.pdf>.
- Fornara, D.A., Tilman, D., Hobbie, S.E. (2009) Linkages between plant functional composition, fine root processes and potential soil N mineralization rates. *Journal of Ecology*, 97, 48-56.
- Gerritsen, H. (2005) What happened in 1953? The Big Flood in the Netherlands in retrospect. *Philosophical transactions of the Royal Society*, 363, 1271-1291.
- Gysels G., Poesen J., Bochet, E., Li, Y. (2005) Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in Physical Geography*, 29, 2, 189-217.
- Hazebroek, E., Sprangers, J.T.C.M. (2002) Richtlijnen voor dijkgraslandbeheer. *Wageningen, Alterra-rapport 469*. URL: <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport469.pdf>.

- Hector, A., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Caldeira, M.C., Diemer, M. *et al.* (1999) Plant diversity and productivity experiments in European Grasslands. *Science*, 286, 1123-1127.
- Huisman, P.J. (1976) Inzaai en onderhoud van de grasmat op dijken. *Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders*.
- Isbell, F., Calcagno, V., Hector, A., Connolly, J., Harpole, W.S., Reich, P.B., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Tilman, D., van Ruijven, J., Weigelt, A., Wilsey, B.J., Zavaleta, E.S., Loreau, M. (2011) High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*, 477, 199-203.
- Klein Tank, A., Lenderink, G., Overbeek, B., Bessembinder, J. (2009) Klimaat Nederland verandert sterk. *Weer Magazine*, 5, 20-23.
- Klironomos, J.N., McCune, J., Hart, M., Neville, J. (2000) The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology Letters*, 3, 137-141.
- Liebrand, C.I.J.M. (1999) Restoration of species-rich grasslands on reconstructed river dikes. PhD thesis, *Wageningen Agricultural University, Wageningen*, 217 pp.
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D., Wardle, D.A. (2001) Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294, 804-808.
- Maron, J.L., Marler, M., Klironomos, J.N. and Cleveland, C.C. (2011) Soil fungal pathogens and the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology letters*, 14, 36-41.
- Materechera, S.A., Kirby, J.M., Alston, A.M., Dexter, A.R. (1994) Modification of soil aggregation by watering regime and roots growing through beds of large aggregates. *Plant and Soil*, 160, 57-66.
- Ministerie van Verkeer & Waterstaat (2007).Voorschrift toetsen op veiligheid primaire waterkeringen voor de derde toetsronde 2006-2011. URL: <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/rapporten/2007/08/01/voorschrift-toetsen-op-veiligheid-primaire-waterkeringen-voor-de-derde-toetsronde-2006-2011.html>.
- Mommer, L., van Ruijven, J., de Caluwe, H., Smit-Tiekstra, A.E., Wagemaker, C.A.M., Ouborg, N.J., Bögemann G.M., van der Weerden, G.M., Berendse, F., de Kroon H. (2010) Unveiling belowground species abundance in a biodiversity experiment: a test of vertical niche differentiation among grassland species. *Journal of Ecology*, 98, 1117-1127.
- Peeters, P., De Vos, L., Vandevoorde, B., Mostaert, F. (2012) Stabiliteit van de grasmat bij golfoverslag: Golfoverslagproeven Tielrodebroek. Versie 1_3'. WL Rapporten, 713_15b. Waterbouwkundig Laboratorium, INBO en afdeling Geotechniek: Antwerpen, België.
- Reid, J.B., Goss, M.J. (1982) Interactions between soil drying due to plant water use and decrease in aggregate stability caused by maize roots. *Journal of Soil Science*, 33, 47-53.

- Reubens, B., Poesen, J., Danjon, F., Geudens, G., Muys, B. (2007) The role of fine and coarse roots in shallow slope stability and soil erosion control with a focus on root system architecture: a review. *Trees*, 21, 385-402.
- Riemens M.M., van der Weide R.Y. 2009. Wortelonkruiden: biologie en bestrijding, een literatuuroverzicht van akkerdistel, akkerkers, knolcyperus, veenwortel, akkermunt en moerasandoorn. *Wageningen, Plant Research International Nota 579*. URL: <http://edepot.wur.nl/5342>.
- Rijkswaterstaat (2005) Veiligheid Nederland in Kaart. Hoofdrapport onderzoek overstromingsrisico's. Rijkswaterstaat, *Ministerie van Verkeer & Waterstaat, rapport DWW-2005-081*. URL: <http://publicaties.minienm.nl/documenten/veiligheid-nederland-in-kaart-vnk-hoofdrapport-onderzoek-overstr>.
- Rijkswaterstaat (2012) Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu. URL: http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/31422/handreiking_toetsen_grasbekledingen_op_dijken_tbv_verlengde_derde_toetsronde.pdf.
- Schaffers, A.P., Frissel, J.Y., van Adrichem, M.H.C., Huiskes, H.P.J., Paulissen, M.P.C.P. (2011) Doorworteling dijken ook buiten wintermaanden te meten. *Land en Water*, nr. 1/2, 28-29. URL: <http://edepot.wur.nl/163122>.
- Schippers, W., Bax, I., Gardenier, M. (2012) Ontwikkelen van kruidenrijk grasland. Hemmen/Wageningen, Aardewerk Advies/Bureau Groenschrift.
- Schnitzer, S.A., Klironomos, J.N., HilleRisLambers, J., Kinkel, L.L., Reich, P.B., Xiao, K., Rillig, M.C., Sikes, B.A., Callaway, R.M., Mangan, S.A., van Nes, E.H., Scheffer, M. (2011). Soil microbes drive the classic plant diversity-productivity pattern. *Ecology*, 92, 296-303.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Deneff, K. (2004) A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota and organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79, 7-31.
- Slim, P.A. & M.A.M. Löffler (2007) Kustveiligheid en natuur; Een overzicht van kennis en kansen. *Wageningen, Alterra-rapport 1485*. URL: <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport1485.pdf>.
- Sprangers, J.T.C.M. (1999) Vegetation dynamics and erosion resistance of sea dyke grassland. *PhD. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands*. 167 pp.
- STOWA (2007) Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen. URL: http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/2580/leidraad_toetsen_op_veiligheid_regionale_waterkeringen.pdf.
- Tilman, D. & El Haddi, A. (1992) Drought and biodiversity in Grasslands. *Oecologia*, 89, 257-264.

- Tilman, D., Reich, P.B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T., Lehman, C. (2001) Diversity and productivity in a long-grassland experiment. *Science*, 294, 843-845.
- Tilman, D., Reich, P.B., Knops, J.M.H. (2006) Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. *Nature*, 411, 629-632.
- van der Heijden, M.G.A., Klironomos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R. (1998) Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396, 69-72.
- Van der Maarel, E. (1979) Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio*, 39, 97-114.
- Van der Putten, W.H., van Dijk, C. and Peters, B.A.M. (1993). Plant-specific soil-borne diseases contribute to succession in foredune vegetation. *Nature*, 441, 629-632.
- Van der Zee, F.F. (1992) Botanische samenstelling, oecologie en erosiebestendigheid van rivierdijkvegetaties. *Landbouwwuniversiteit, vakgroep Vegetatiekunde, Plantenoecologie en Onkruidkunde, Wageningen*.
- Van Dongen, E. (2010) Erosiebestendigheid en natuurwaarde van dijkgraslanden. *H₂O magazine*, 19, 30-33.
- Van Eekeren, N., Deru, J., de Boer, H., Philipsen, B. (2011) Terug naar de graswortel. Een betere nutriëntenbenutting door een intensievere en diepere beworteling. *Rapport: LbD2011-023; Louis Bolk Instituut, Driebergen*.
- Van Wingerden, W.K.R.E., Nijssen, M., Slim, P.A., Burgers, J., Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Noordam, A.P., Martakis, G.F.P., Esselink, H., Dimmers, W.J., Van Kats, R.J.M. (2001) Evaluatie van zeven jaar runderbegrazing in duinvalleien op Vlieland. *Wageningen, Alterra-rapport 375*. URL: <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport375.pdf>.
- Weeda, E.J., Schuiling, C., Jacobs, Th., Willemen, J.P.M. (2008) Inventarisatie ruimteclaims in rivierengebied ten behoeve van Natura2000 en de Ecologische HoofdStructuur. *Wageningen, Alterra-rapport 1638*. URL: <http://content.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport1638.pdf>.
- Wright, S.F. & Upadhyaya, A. (1998) A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 198, 97-107.

Bijlage 1 Vegetatietabel

Tabel 1a.1: Resultaten van de vegetatieopnamen verder uitgewerkt. De tabel is geordend op basis van het voorkomen van soorten. Daarnaast zijn de proefvlakken geordend op basis van hun beheer. Lichtoranje (4,5 & 9) zijn hooilanden die de dag voor de opname gemaaid waren. Proefvlak 2 betreft ook een hooiland dat nog niet gemaaid was. Proefvlak 8 betreft een relatief soortenarm weiland met veel grote vossenstaart (*Alopecurus pratensis*). Proefvlak 6 & 1 zijn ook relatief soortenarme weilanden, zonder de aanwezigheid van het karakteristieke kamgras (*Cynosurus cristatus*). Proefvlak 3 is een soortenrijk weiland, wat extensief beheerd wordt. Proef 7 en 10 onderscheiden zich door de duidelijke aanwezigheid van kamgras (*Cynosurus cristatus*). Ongewenste soorten, zoals ruigtekruiden, zijn in de tabel rood gekleurd. De abundantie is bepaald via de numerieke transformatie (van der Maarel, 1979) van de Braun-Blanquet schaal. Hierbij betreffen de eerste 4 cijfers planten die niet bedekkend zijn (1: zeldzaam; 2: 2-5 individuen, 3: 6-50 individuen, 4: > 50 individuen) en 5 t/m 9 betreft de soorten die wel bedekkend zijn (5: 5-12.5%; 6: 12.5-25%; 7: 25-50%; 8: 50-75%, 9: >75%).

opnamenummer	4	5	9	2	8	6	1	3	7	10
<i>Dactylis glomerata</i>	2	4	6	3	5	2	4	4	5	4
<i>Elytrigia repens</i>	5	5	5	3	3	2	4	2	3	2
<i>Poa trivialis</i>	4	2	4	7	6	4	5	5		7
<i>Agrostis stolonifera</i>	4		2	5	4	3	7	5	7	6
<i>Ranunculus acris</i>		1	3	3	3	1	2	2	3	4
<i>Arrhenatherum elatius</i>	9	8	8	9	5	5	4	6	5	
<i>Holcus lanatus</i>			4	3	6	6	1	4	2	7
<i>Lolium perenne</i>	4			2	6	5	8	7	7	5
<i>Taraxacum officinale</i>		1	2	2	2		4	5	2	2
<i>Urtica dioica</i>	5	5	3	2	3	2	2		2	
<i>Rumex acetosa</i>	2	2	4	3	2	2	1			1
<i>Bromus hordeaceus</i>				2	2	2	5	4	4	6
<i>Cerastium fontanum</i>				2	1	1	2	2	2	2
<i>Alopecurus pratensis</i>	2	3			7	3		2	4	
<i>Festuca rubra</i>					4	4	5	4	4	4
<i>Bellis perennis</i>				4			4	5	2	3
<i>Geranium dissectum</i>			1	4			2	2	2	
<i>Ranunculus repens</i>				2	2		2	2		1
<i>Heracleum sphondylium</i>	2	2	2	1				1		
<i>Agrostis capillaris</i>				4	4	8				3
<i>Anthoxanthum odoratum</i>					2	4		2		2
<i>Trifolium repens</i>					2			5	3	4
<i>Glechoma hederacea</i>			2	5				2	3	
<i>Poa pratensis</i>				3	3	2			2	
<i>Cirsium vulgare</i>						1	2	2		
<i>Hordeum murinum</i>							2	3	1	
<i>Hordeum secalinum</i>							2	2	2	
<i>Cynosurus cristatus</i>							1		7	7
<i>Lamium album</i>	2	2	2							
<i>Persicaria amphibia</i>	2	2	2							
<i>Anthriscus sylvestris</i>			2						1	

<i>Rumex obtusifolius</i>								2	1	
<i>Geranium molle</i>							3	1		
<i>Veronica serpyllifolia</i>							2	3		
<i>Brassica rapa</i>				1		1				
<i>Carduus crispus</i>				1				2		
<i>Crepis capillaris</i>				2				3		
<i>Veronica arvensis</i>				2				1		
<i>Plantago lanceolata</i>			3	1						
<i>Carex hirta</i>				2						2
<i>Phleum pratense</i>				2						2
<i>Cardamine pratensis</i>					3					4
<i>Cirsium arvense</i>									2	2
<i>Equisetum arvense</i>			2							
<i>Phragmites australis</i>			2							
<i>Galium mollugo</i>	2									
<i>Rumex crispus</i>	1									
<i>Allium vineale</i>				2						
<i>Achillea millefolium</i>						2				
<i>Galium aparine</i>						2				
<i>Juncus effusus</i>						1				
<i>Rumex acetosella</i>						2				
<i>Alopecurus geniculatus</i>								3		
<i>Trifolium dubium</i>							1			
<i>Carex spicata</i>									3	
<i>Quercus robur</i>									1	
<i>Sonchus asper</i>									1	
Totaal	14	12	19	28	21	23	24	30	28	22

Bijlage 2 Toetsing zodekwaliteit

De kwaliteit van een graszode dient periodiek getoetst te worden. Voor deze toetsing bestaan er verschillende methoden die hieronder beschreven en geëvalueerd worden.

Methode voor de derde toetsronde (bovengronds)

Het inspecteren van de graszode kan volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) in drie stappen gebeuren. De eerste stap beperkt zich tot toetsing op basis van het gevoerde beheer. In deze bijlage gaan we in op de overige stappen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in inspectie van de zode alleen (bovengronds) en de doorworteling van de zode. De bovengrondse meting is voor de nulmeting op de Purmerringdijk op een andere manier uitgevoerd dan in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) beschreven staat. Volgens de bovengrondse methode die daar beschreven staat dient men het vegetatietype en de bedekkingsgraad te bepalen en aan de hand van een tabel die in het voorschrift opgenomen is, kan men de kwaliteit van de zode bepalen. In plaats van gebruik te maken van deze methode is de zodekwaliteit bepaald met de rastermethode, die ook wel de 'point-frequency test' genoemd wordt. Hierbij wordt de vegetatie eerst kort geknipt, waarna men een pinnetje steeds op de kruispunten van een raster onder zelfde hoek in de vegetatie prikt. De waarnemer noteert vervolgens wat hij aanraakt (gras, kruid, mos en kaal). Aan de hand hiervan is uiteindelijk een schatting te maken van hoe gesloten de graszode is, wat vertaald is naar de kwaliteit van de zode.

Het verschil tussen deze methode en de methode die voorgeschreven staat in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) is dat de rastermethode probeert de kwaliteit met een kwantitatieve benadering te toetsen, terwijl het Voorschrift alleen een kwalitatieve benadering voorschrijft.¹ Voor de rastermethode bestaat echter geen classificering voor de toetsing van de grasmat, waardoor degene die de toets uitvoert zelf kan bepalen wat hij of zij als (on)voldoende acht. Voor de methode die omschreven staat in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) geldt dat de kwaliteit die aan de verschillende vegetatietypen toegekend is, een inschatting betreft en niet door erosiebestendigheidsprouven met een realistische hydraulische belasting geverifieerd is. Full-scale

¹ Overigens speelt de totale bedekking door hogere planten wel een rol in de toetsing op basis van vegetatietype volgens Ministerie van Verkeer & Waterstaat (2007). Afhankelijk van het vegetatietype geldt de bedekking in de toets als kwaliteitsgrens tussen 'goed' resp. 'matig' (bedekking > 70%) en 'slecht' (bedekking < 70%). Om de bedekking zo objectief mogelijk te kunnen schatten, gebruikt Alterra in toetsingsprojecten ook de point-intercept-methode.

golfoverslagproeven waren nog niet mogelijk ten tijde van het onderzoek dat ten grondslag ligt aan het Voorschrift Toetsen op Veiligheid.

Methode voor de derde toetsronde (ondergronds)

Het Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) schrijft naast de bovengrondse bepaling van de zodekwaliteit ook een toetsing van de doorworteling voor. Deze kan bij twijfel worden toegepast om het oordeel op basis van de bovengrondse waarnemingen eventueel bij te stellen. Wortelmonsters worden op vier plaatsen gestoken met een gutsboor (\varnothing 3 cm). De bovenste 20 cm van het bodemmonster wordt vervolgens opgedeeld in partjes van 2,5 cm hoogte, waarin het aantal wortels geteld wordt. Het aantal wortels, waarbij het gaat om duidelijk zichtbare wortels met een lengte van tenminste 1 cm, krijgt een waarde toebedeeld volgens een tabel die in het Voorschrift is opgenomen (zie tabel 4.5). Deze waarden geven nog geen kwaliteitsoordeel, omdat dit afhankelijk is van de diepte. Via een ijkgrafiek (voor voorbeeld zie Figuur 4.3) worden deze waarden uiteindelijk vertaald naar een kwaliteitsoordeel.

Bij het toepassen van deze methode op de Purmerringdijk bleek de toetsing geen juist kwaliteitsoordeel te geven. Proefvlakken waarvan in het veld duidelijke sporen van erosie zichtbaar waren, scoorden op basis van hun doorworteling juist goed. Dit geeft aan dat het aantal wortels niet de enige parameter is om de kwaliteit van een grasmat aan te relateren.

Methode voor de verlengde derde toetsronde

Deze methode (Rijkswaterstaat, 2012) is ontwikkeld naar aanleiding van een serie full-scale golfoverslagproeven op Nederlandse dijken vanaf 2006. De toets is in eerste instantie op visuele inspectie van de openheid van de zode gebaseerd. Drie kwaliteitscategorieën zijn hierbij te onderscheiden, waarbij 1 staat voor een gesloten graszode, 2 voor open zode en 3 voor een fragmentarische zode (slechtste kwaliteit). In de meeste gevallen wordt visuele inspectie voldoende geacht. Bij twijfel kan men er voor kiezen om met een spade een plag te steken. Op basis van het steken van een plag kan de zode ook in drie categorieën ingedeeld worden. Hierbij staat 1 voor een stevige plag, 2 voor een lossere plag, die wel nog met moeite intact gestoken kan worden en 3 als het vrijwel onmogelijk is een intacte plag te steken.

Door het gebruik van deze methode is het mogelijk om waarnemingen over grotere open plekken in de zode mee te nemen in de beoordeling. Meerdere van deze open plekken (diameter > 10 cm) blijken kritisch te kunnen zijn voor de sterkte van de grasbekleding (Rijkswaterstaat, 2012). Hierdoor

kan men onderscheid maken tussen graszoden van redelijke kwaliteit en graszoden waarvan op basis van visuele inspectie al geconcludeerd kan worden dat ze niet erosiebestendig zijn. Het steken van een plag kan daarbij als ondersteuning voor de waarneming gelden. Echter, het is belangrijk hierbij te beseffen dat het een inschattingmethode betreft. Ook tussen grasbekledingen die op basis van visuele inspectie als voldoende beschouwd worden, kunnen er uiteindelijk verschillen bestaan in aggregaatstabiliteit en erosiebestendigheid. Het gebruik van een methode die niet alleen op visuele inspectie afgaat, maar deze verschillen ook tracht te kwantificeren kan hierdoor de voorkeur genieten. Het bepalen van de wortel- en zodedichtheid kan daarbij als extra maatstaf gelden. De spade-en-plagmethode (Rijkswaterstaat, 2012) draagt deze extra maatstaf in feite in zich en heeft ten opzichte van de doorwortelingstoets (gutsboringen) volgens Ministerie van Verkeer & Waterstaat (2007) het voordeel dat het om een directe maat voor de sterkte van de zode gaat.

Discussie over de bestaande toetsingsmethoden

De toepasbaarheid van de toetsingsmethoden moet naar aanleiding van de metingen op de Purmerringdijk genuanceerd worden. Geen van de methoden geeft een volledig beeld van de kwaliteit die de graszode bezit. Wanneer de methoden naast elkaar gebruikt worden, blijken de verschillende methoden ook tot verschillende en soms tegenstrijdige conclusies te leiden (zie hiervoor de resultaten van de Purmerringdijk: hoofdstuk 4). Een probleem is dat de methoden voornamelijk kwalitatieve bepalingen zijn, die in het geval van het Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) niet op realistische erosie- of golfoverslagproeven gebaseerd konden worden. Hierdoor bestaat het risico dat het kwaliteitsoordeel afwijkt van de werkelijke sterkte.

Bij de methode volgens de verlengde derde toetsronde (Rijkswaterstaat, 2012) beoordeelt de waarnemer de kwaliteit in principe alleen op het oog, waardoor een grasmat die duidelijke open plekken bezit of waar al sporen van erosie waarneembaar zijn wel als slecht beoordeeld wordt, maar tussen grasmatten van voldoende kwaliteit is het moeilijker onderscheid te maken tussen redelijk en goed.

De kwantitatieve wortelbepaling die voor de derde toetsronde is voorgeschreven en nog veel gebruikt wordt (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) heeft als nadeel dat het een minder directe maat voor de sterkte van de zode is dan de spade-en-plagmethode (Rijkswaterstaat, 2012). Ook is niet duidelijk of deze methode een goed beeld geeft van de rol van doorworteling op de aggregaatstabiliteit en erosiebestendigheid. Onderzoek waarbij de structuur en architectuur van de wortels meegenomen wordt (een penwortel zal een andere invloed hebben dan een mat van fijnmazige graswortels) en waarbij niet alleen naar het aantal wortels, maar ook naar de

ondergrondse biomassa gekeken wordt (vgl. Peeters *et al.*, 2012), kan wellicht een rol spelen in een toekomstige aangepaste toetsing.

Het ontwikkelen van accurate, snelle en eenvoudige methoden is een belangrijk onderzoeksthema waar in de toekomst ons inziens nog winst op te behalen valt. De huidige toetsingsmethoden kunnen namelijk, wanneer ze afzonderlijk van elkaar toegepast worden, een vertekend beeld geven van de kwaliteit van de graszode. Monitoring van de proefvlakken op de Purmerringdijk volgens alle methoden en toetssporen uit de derde en verlengde derde toetsronde zou interessant zijn in combinatie met full-scale golfoverslagproeven, waarbij de daadwerkelijke sterkte van de proefvlakken na jaren empirisch kan worden vastgesteld.

Bijlage 3 Protocol voor het inzaaien van de proefvlakken

Benodigheden:

- meetlint
- GPS
- paaltjes + hamer
- afzetlint
- inclinometer
- emmers zand + lege emmers voor mengen (halve emmer zand/proefvlak)
- hark/ schoffel
- stift
- bamboestokken
- tuinwals

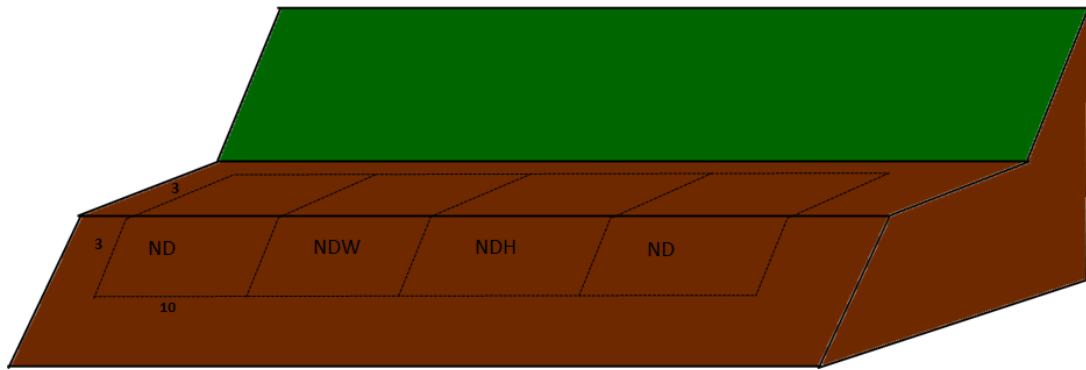
Stappenplan:

- Afzetten gebied:
 - Plaatjes paaltje op hoeken proefvlakken (lengte: 6, breedte: 10)
 - GPS coördinaten noteren: in het midden van 1^e proefvlak
 - Opmeten grootte proefvlak
 - Noteren van aspect en helling van het talud
- Inwerken van bodem.

Als de toplaag te verdicht lijkt, is het belangrijk de bodem luchtiger te maken voordat er gezaaid wordt. Dit kan gedaan worden door de toplaag om te gooien door te harken en te schoffelen.
- Inzaaien mix.

Met de hand dient alles ingezaaid te worden. Klassieke (gangbare) graszaadmengsels van tevoren mengen met de nieuwe mengsels. In totaal wordt er van het samengestelde mengsel 4.5 gr/m² ingezaaid. De verhouding tussen de mixen is 1:2 (wat neerkomt op 1.5 gr bijmengsel t.o.v. 3 gr. D-graszaadmengsel). Voor een totaal oppervlakte van 60m², komt dit neer op 300 gr. totaal (100 gr. bijmengsel t.o.v. 200 gr. D-graszaadmengsel, 300 gr. D-graszaadmengsel voor de overige proefvlakken). Om ervoor te zorgen dat er niet teveel ingezaaid wordt, moet de hoeveelheid zaad al van te voren verdeeld worden.

De indeling van de proefvlakken is bij alle locaties hetzelfde en hieronder weergegeven. De positie van de proefvlakken (op het boven- of ondertalud) is afhankelijk van de werkzaamheden die per locatie verricht zijn.



Voor het moment van inzaaien dient het zaadmengsel nog gemengd te worden met zand. Hiervoor een halve emmer (10l) zand met het zaad vermengen. Na het inzaaien, dient de grond bewerkt te worden met een tuinwals.

- Beschermen zaad
Indien nodig kan na het inzaaien nog vogel-afschrikkende objecten geplaatst worden (vlaggetjes, lintjes etc.). Bijvoorbeeld door het binden van stukjes lint aan de bamboestokjes en deze over de proefvlakken te verdelen.

Bijlage 4 Protocol voor beheer

Beheer van de proefvlakken

jaar	<u>Ontwikkelingsbeheer</u>
0-2	<ul style="list-style-type: none">• Voor een goede ontwikkeling van de grasmat dienen de proefvlakken de eerste periode alleen gemaaid te worden. Beweiding is niet toegestaan in verband met schade aan de grasmat en doordat de grasmat de eerste twee jaar onvoldoende voedsel zou bevatten voor schapen. Voor het beheer gelden de volgende regels:<ul style="list-style-type: none">- Bij inzaai in voorjaar: eerste maaibeurt in de zomer wanneer de vegetatie > 15 cm. is. Eventuele tweede maaibeurt medio oktober, zodat de vegetatie kort (5-10 cm) de winter ingaat.- Bij inzaai in zomer: bij groei grasmat alleen een maaibeurt medio oktober, zodat de vegetatie ook kort (5-10 cm) de winter ingaat.- Bij inzaai in herfst: geen maaibeurt voor de winter.- Gedurende de eerste twee jaar dient de vegetatie twee keer per jaar (1^e: eerste helft van juni, rekening houdend met de richtlijnen volgens de Flora- en Faunawet, 2^e: eind sept.) gemaaid te worden.- Bij hoge productie door gunstige omstandigheden kan er gekozen worden om in het tweede jaar de vegetatie 3 x te maaien (1^e: begin juni, 2^e: begin augustus, 3^e: eind sept./begin okt.).- Maaien moet gebeuren tijdens deze twee jaar (in ieder geval zeker het eerste jaar) met behulp van een bosmaaier. Dit om de ontwikkelende vegetatie te beschermen.- Na het maaien, altijd afvoeren! Bij voorkeur meteen, anders binnen een week.
vanaf jaar	<u>Instandhoudingsbeheer: maaien</u>
3	<ul style="list-style-type: none">• Volgens het Voorschrift Veiligheid op Toetsen (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) duurt het vier groeiseizoenen voordat een grasmat zich ontwikkeld heeft en dus als erosiebestendig beschouwd mag worden. Vanaf het derde jaar, adviseren we om over te stappen van het ontwikkelingsbeheer naar het reguliere beheer wat er op de proefvlakken uitgevoerd zal worden. Voor een grasland dat met maaien beheerd zal worden, gelden de volgende regels:<ul style="list-style-type: none">- Voor het maaien geldt dat dit twee keer per jaar moet gebeuren. De eerste maaibeurt zal begin juni plaatsvinden (let op voor de vegetatieopnamen, deze dienen uitgevoerd te worden voordat de verschillende proefvlakken daadwerkelijk gemaaid zijn) en de tweede maaibeurt eind september, begin oktober. Ook voor het instandhoudingsbeheer geldt dat de vegetatie kort (5-10 cm) de winter in moet gaan.- Bij het maaien dient rekening gehouden te worden met de draagkracht van de dijk. Zeker tijdens het derde en vier groeiseizoen, wanneer naar verwachting de graszode nog niet volledig erosiebestendig is. Gebruik van lichte taludmaaiers is een pré, bij voorkeur maait men vanaf de vlakke gedeelten.

- Ook hier geldt dat het maaisel bij voorkeur direct afgevoerd wordt en anders minimaal binnen een week.
- Bij aanhoudende droogte (waarbij de vegetatie bruin en dor aandoet en de bodem eventuele scheuren begint te vertonen) niet maaien. Ook bij lange perioden van regen, waarbij de grond met water verzadigd is, mag er niet gemaaid worden. Het gebruik van zware machines kan in zulke gevallen schade aan de grond berokkenen.
- De kleibodem op de Purmerringdijk is voldoende voedselrijk en extra bemesting is niet nodig, aangezien dit de ontwikkeling van een gras-kruiden vegetatie zal remmen.

Instandhoudingsbeheer: beweiding

- Vanaf het derde jaar, adviseren we om over te stappen van het ontwikkelingsbeheer naar het reguliere beheer wat er op de proefvlakken uitgevoerd zal worden. Voor een grasland dat met beweiding beheerd zal worden, gelden de volgende regels:
 - Beweiding mag alleen met schapen plaatsvinden.
 - Voor de beweidingduur op de dijk dienen de regels volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (Ministerie Verkeer & Waterstaat, 2007) nageleefd te worden. Voor beheercategorie A staat daar aangegeven dat bij continue beweiding het gehele groeiseizoen (vanaf half april tot half oktober) beweid mag worden met een lage veedichtheid. De dichtheid is afhankelijk van de productie van het grasland, waarbij de beweidingdichtheid nooit meer dan 8-10 schapen per hectare mag bedragen.
 - Gecombineerd hooien en beweiding: hierbij wordt in het voorjaar gehooid en in het najaar beweid. Hierbij kan er in juni de eerste keer gemaaid worden en vervolgens begrazing plaats vinden in september tot oktober.
 - Ook bij beweiding geldt dat de vegetatie kort (5-10 cm) de winter in moet gaan. Na beweiding (medio oktober) dient de grasmat, wanneer er nog plekken hoge vegetatie over zijn, bewerkt te worden. Dit moet gebeuren door de grasmat te bloten en vervolgens met een weidesleep egaal te maken.

Additionele adviezen met betrekking tot ongewenste soorten

Het protocol hierboven beschrijft welke maatregelen er genomen moeten worden tijdens zowel de ontwikkelingsfase van de vegetatie (tijdens het eerste en tweede groeiseizoen) als tijdens het reguliere beheer daarna. Wanneer deze beheeradviezen opgevolgd worden, zal de grasmat zich naar verwachting goed ontwikkelen. Ook voor het voorkomen van ruigtekruiden, zoals akkerdistel (*Cirsium arvense*) is het belangrijk dat de proefvlakken extensief beheerd zullen worden. Dergelijke onkruiden vestigen zich op open plekken, die door bijvoorbeeld te vaak maaien of te intensieve beweiding ontstaan. Wanneer distels zich eenmaal gevestigd hebben, is het vaak moeilijk ze te bestrijden. Een onderzoek wat zich geconcentreerd heeft op het biologisch bestrijden van akkerdistels in de landbouw concludeert dat het erg moeilijk is om deze planten te verwijderen maar dat er verschillende methoden bestaan die vaak wel arbeidsintensief zijn (Riemens & Van der Weide, 2009). Zo bleek het hoog afmaaien van de planten, wanneer de eerste bloemknoppen zichtbaar

waren, effectief. Hierdoor kwam de holle stengel bloot te liggen, wat tijdens regenbuien vol kwam met water en uiteindelijk begon te rotten. Ook het steken van de plant, waardoor een deel van het uitgebreide wortelstelsel meegenomen wordt, bleek effectief. Hiervoor dient de plant de eerste maal verwijderd te worden wanneer de eerste bloemknoppen zichtbaar zijn en dit vervolgens te herhalen elke keer dat de plant weer 5-10 cm is. Alleen het verwijderen van de bovengrondse biomassa kan averechts werken omdat de plant dan meer energie zal steken in zijn wortelstelsel. Ook voor veel andere ruigtekruiden en ongewenste soorten geldt dat bij goed beheer deze planten zich niet in groten getale zullen vestigen. Daarnaast geldt: voorkomen is beter dan genezen, want het bestrijden van de planten is arbeidsintensief en dient met de hand te gebeuren.

Bijlage 5 Protocol voor monitoring

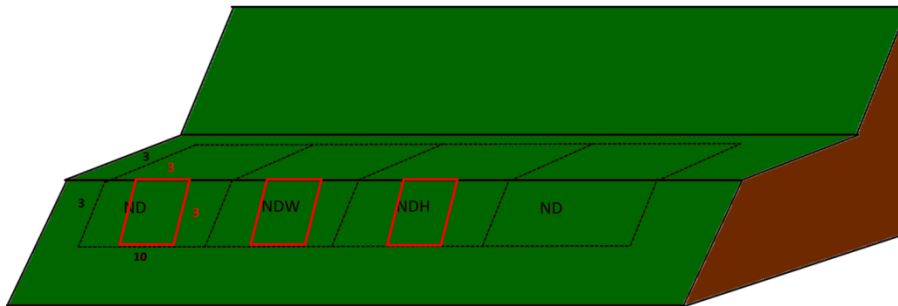
Monitoring van de proefvlakken

jaar 0-2	<p><u>Vegetatiemonitoring</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Het monitoren van de vegetatie dient twee keer per jaar te gebeuren. Voor de eerste maaibeurt (april-mei) en voor de tweede maaibeurt (aug – sept).• Hierbij wordt een 3 x 3 meter plot opgenomen (op talud) voor de drie behandelingen: ND, NDW & NDH (figuur 5a.1). De vegetatieopname dient ingevuld te worden met behulp van het beschikbare Excelbestand. Hierbij worden de kopgegevens ingevuld, de totale vegetatie binnen het plot opgenomen via de getransformeerde Braun-Blanquet methode (zie hieronder voor beschrijving) en de abundantie van de individuele soorten uit de zaadmengsels opgeschreven. <p><u>Toetsing kwaliteit grasbekleding</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Toetsing hoeft er gedurende de eerste twee jaar nog niet plaats te vinden, aangezien de grasmat zich nog niet voldoende ontwikkeld heeft.
vanaf jaar 3	<p><u>Vegetatiemonitoring</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Het monitoren van de vegetatie dient op dezelfde wijze te gebeuren als tijdens de eerste twee jaren. Hetzelfde 3x3 plot wordt op dezelfde twee tijdstippen gedurende het jaar opgenomen. Ongeacht of er vanaf dit moment weide- of maaibeheer op de proefvlakken plaatsvindt. Ook hiervoor wordt hetzelfde excelbestand gebruikt. <p><u>Toetsing kwaliteit grasbekleding</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Vanaf jaar 3 zal de kwaliteit van de grasmat getoetst worden. Volgens het Voorschrift Toetsen op Veiligheid (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) is een grasmat, met het juiste beheer, na vier jaar ontwikkeld. Door de monitoring vanaf jaar 3 te laten verlopen kunnen we testen of de erosiebestendigheid ook daadwerkelijk met het verloop van de tijd toe zal nemen.• Voor de toetsing wordt gebruik gemaakt van drie verschillende toetsmethoden: de ‘spade en plag’-methode volgens de verlengde derde toetsronde (Rijkswaterstaat, 2012), de doorworteling volgens de methode beschreven in de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) en de rastermethode, ook wel de ‘point-frequency test’ genoemd. Deze methoden zijn hieronder verder uitgewerkt.

Vegetatieopnamen

De vegetatieopnamen dienen volgens de Braun-Blanquet methode uitgevoerd te worden in een 3x3 plot. Met de Braun-Blanquet methode wordt er onderscheid gemaakt tussen soorten die wel of niet bedekkend zijn en de verschillende dichtheden of aantallen waarin ze voorkomen. In Figuur 5a.1 staat weergegeven wat de locatie is van de plots en daarnaast in tabel 5a.1 de waarden die volgens

de Braun-Blanquet en de numerieke transformatie (Van der Maarel, 1979) aan de soorten toegekend worden.



Figuur 5a.1: Positionering van de plots voor de vegetatieopnamen. Deze dienen op het talud te liggen en 3 bij 3 in grootte te zijn. De exacte positionering is afhankelijk van de ligging van de proefvlakken.

Tabel 5a.1: De Braun-Blanquet schaal voor vegetatieopnamen.

Symbol	Bedekking	Abundantie	Numerieke transformatie
r	≤ 1%	1 individu	1
+	≤ 1%	2-5 individuen	2
1	≤ 5%	6-50 individuen	3
2m	≤ 5%	>50 individuen	4
2a	5-12,5%		5
2b	12,5-25%		6
3	25-50%		7
4	50-75%		8
5	75-100%		9

Toetsing van de kwaliteit voor de graszode

De 'spade en plag'-methode is een kwalitatieve bepaling die de graskwaliteit visueel beoordeelt. Hierbij wordt op het oog de graszode beoordeeld, daarnaast dient men een plag te nemen. Vervolgens wordt de kwaliteit van de graszode in drie categorieën onderverdeeld:

Tabel 5a.2: onderverdeling categorieën voor de 'spade en plag'-methode.

Categorie	Visuele inspectie	Plag
1	gesloten graszode	stevige plag
2	open zode	lossere plag
3	fragmentarische zode	intacte plag onmogelijk

De rastermethode of 'point-frequency' test wordt uitgevoerd om een duidelijker beeld te creëren van de kwaliteit van de bovengrondse zode. Hierbij wordt per plot een raster van 1x1m op het talud gelegd en vervolgens binnen elk raster (100 in totaal) een pinnetje geprikt en genoteerd wat hierbij aangeraakt wordt: gras, kruid, mos of kaal.

Voor de doorworteling wordt gebruikt gemaakt van de methode die beschreven staat in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007). Hierbij worden er op vier plaatsen wortelmonsters gestoken met een grondboor. De bovenste

20 cm van het monster wordt met een mes in partjes van 2,5 cm opgedeeld. Het aantal zichtbare wortels in elk stukje wordt geteld en vervolgens getransformeerd volgens tabel 5a.3. In het excelbestand voor de zodekwaliteit staat een tabel waarin de waarden ingevuld kunnen worden om een grafiek te genereren.

Tabel 5a.3: categorieën voor de worteldichtheid

Categorie	Worteldichtheid
0	geen wortels
1	1-5 wortels
2	6-10 wortels
3	11-20 wortels
4	21-40 wortels
5	> 40 wortels

Bijlage 6 Inventarisatie graszaadmengsels

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de huidige D-graszaadmengsels die in omloop zijn (tabel 6a.1) en worden de criteria en motivatie voor de nieuw ontwikkelde bijmengsels uitgewerkt (tabel 6a.2).

De D-graszaadmengsels

Vooralsnog worden er voor het inzaaien van dijktaaluds op de markt hoofdzakelijk twee verschillende mengsels aangeboden: Delta1 (D1) en Delta2 (D2), respectievelijk voor wei-en hooilanden. De samenstelling van deze dijkmengsels verschilt onderling maar weinig. Daarnaast kan de precieze samenstelling van de individuele mengsels verschillen per zaadbedrijf en zijn er binnen zaadbedrijven nog andere graszaadmengsels in de omloop zoals Natuurlijk2 (Nd2), die qua samenstelling erg lijken op de 'klassieke' (gangbare) D-graszaadmengsels (zie tabel 6a.1). Tevens is het moeilijk gebleken te achterhalen waar deze dijkmengsels hun oorsprong hebben en waarom ze dusdanig zijn samengesteld. De oorsprong van deze mengsels is weliswaar onduidelijk, maar voor de samenstelling zelf zijn argumenten aan te dragen. Zo leidt inzaaien van de mengsels tot een grasmat die zich snel ontwikkelt door de toevoeging van een snelle groeier als Engels raaigras (*L. perenne*) en tegelijkertijd zorgt het diep-wortelende rood zwenkgras (*F. rubra*) ervoor dat de bodem goed vastgehouden wordt.

Tabel 6a.1: Samenstelling D1/D2- graszaadmengsels volgens verschillende leveranciers/bronnen. Met roze worden de Delta-1 mengsels aangegeven en met paars de Delta-2 mengsels aangegeven.

Bedrijf		
Graszaad-kopen.nl	Greenstar D1: 40% Engels raaigras (<i>Romark</i>) 25% Veldbeemdgras (<i>Miracle</i>) 15% Roodzwenkgras fijn (<i>Smirna</i>) 10% Roodzwenkgras fors (<i>Corail</i>) 10% Witte klaver (<i>Riesling</i>)	Greenstar D2: 10% Engels raaigras (<i>Greenway</i>) 30% Roodzwenkgras fors (<i>Corail</i>) 30% Roodzwenkgras fijn (<i>Smirna</i>) 30% Veldbeemdgras (<i>Miracle</i>)
Advanta (Limagrain)	40% Engels raaigras 25% Veldbeemdgras 15% Roodzwenkgras fijn 10% Roodzwenkgras fors 10% Witte klaver	10% Engels raaigras 30% Roodzwenkgras fijn 30% Roodzwenkgras fors 30% Veldbeemdgras
Graszaaddeal	40% Engels raaigras 25% Veldbeemdgras 15% Roodzwenkgras fijn 10% Roodzwenkgras fors 10% Witte klaver	10% Engels raaigras 30% Roodzwenkgras fijn 30% Roodzwenkgras fors 30% Veldbeemdgras

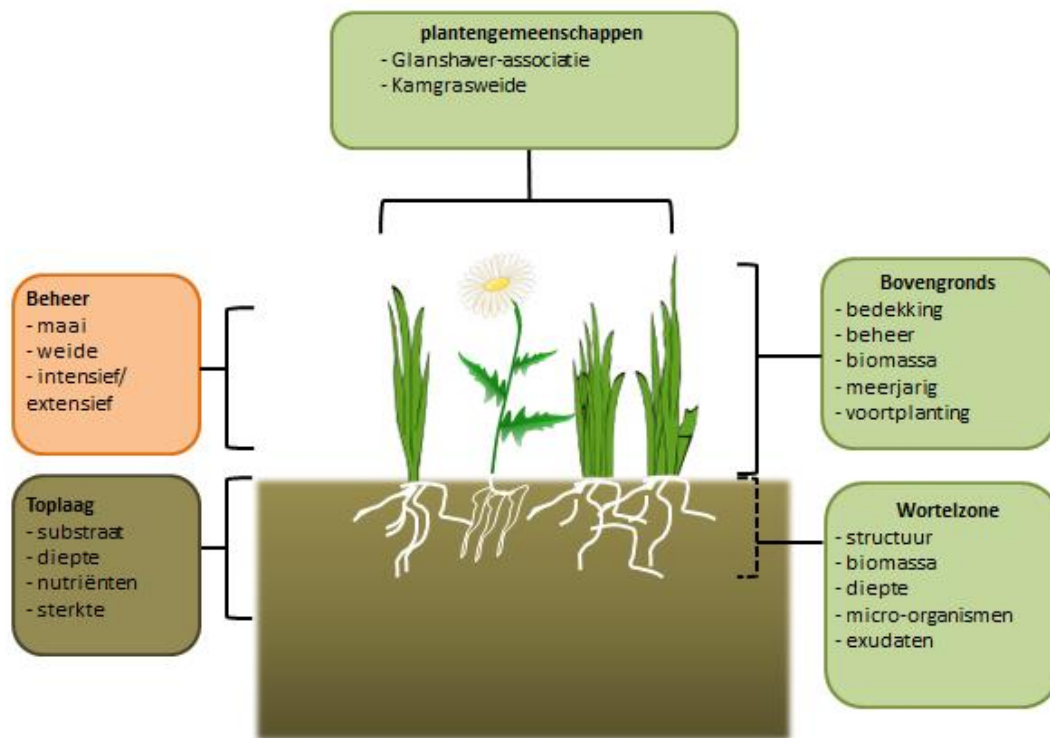
Barenbrug	40% Engels raaigras 25% Veldbeemdgras 15% Roodzwenkgras fijn 10% Roodzwenkgras fors 10% Witte klaver	10% Engels raaigras 30% Veldbeemdgras 60% Roodzwenk-fijn
Samenstelling volgens notitie kruidenmengsels (i.s.m. Biodivers)	40% Engels raaigras 20% Veldbeemdgras 35% Roodzwenkgras fors 5% Gewoon struisgras	25% Engels raaigras 20% Veldbeemdgras 50% Roodzwenkgras 5% Gewoon struisgras
Samenstelling volgens handleiding 1976	Mengsel gericht landbouwkundig gebruik: 33.4% Engels raaigras 33,4% Veldbeemdgras 16.7% Gewoon roodzwenkgras 8.4% Roodzwenkgras fors 8.4% Witte cultuurklaver 60kg/ha	Grasmengsel voor uitsluitend kort maaien: 7,1% Engels raaigras 42.6% Veldbeemdgras 28.4% Gewoon roodzwenkgras 21.3% Roodzwenkgras grof 70 kg/ha
Natuurlijk 2: mengsel van Advanta. Gebruikt op de Purmerdijk. Geschikt voor zowel hooi- als maai-beheer		21% Engels raaigras (<i>Gator</i>) 4% Engels raaigras (<i>Mondial</i>) 42% Roodzwenkgras (<i>Corail</i>) 8% Roodzwenk (<i>Reverent</i>) 20% Veldbeemdgras(<i>Geronimo</i>) 5% Struisgras (<i>Highland</i>)

Volgens een handleiding voor het inzaaien en onderhouden van een grasmat op dijken uit 1976 (Huisman, 1976) bestaan er ook nog andere mengsels. Zo wordt er gesproken over het Thanner grasmengsel, wat uit Denemarken afkomstig zou zijn en uiteindelijk geen wenselijke resultaten opleverde. Ook een Cebeco-Handelsraad mengsel wordt genoemd. Dit mengsel zou een minder productieve maar dichte zode opleveren. Bestaat voor groot gedeelte uit: Kleine timothee (*Phleum pratense*), Roodzwenkgras (*Festuca rubra*) en Veldbeemdgras (*Poa pratensis*).

Het ontwikkelen van nieuwe zaadmengsels

Buiten de graszaadmengsels die hierboven vermeld staan, is het bij diverse zaadbedrijven ook mogelijk kruidenmengsels te bestellen die gebruikt kunnen worden als bijmengsel. Deze kruidenmengsels zijn voornamelijk bedoeld om de natuurtechnische waarde van dijken te verhogen. Bij de samenstelling van die bijmengsels wordt echter geen rekening gehouden met de verschillende eisen die soorten aan hun milieu stellen (planten van schrale zandbodems worden gecombineerd met soorten die juist op voedselrijke kleibodems groeien) en grondbindende eigenschappen van soorten.

Voor het monitoringsexperiment op de Purmerringdijk zijn twee bijmengsels samengesteld waarbij wel rekening is gehouden met verschillende variabelen, zoals de kieming en vestigingsnelheid van soorten, het toegepaste beheer, de opbouw van de toplaag, de functionele eigenschappen van soorten en de plaats van de individuele soorten binnen plantengemeenschappen. Een schematisch overzicht van deze variabelen is weergegeven in Figuur 6a.1



Figuur 6a.1: Overzicht van verschillende variabelen waarmee rekening dient gehouden te worden bij het samenstellen van een erosiebestendig zaadmengsel.

Om tot nieuwe samenstellingen voor bijmengsels te komen is aanvankelijk een lijst gemaakt van alle kruiden die voorkwamen in de vegetatieopnamen (zomer 2013), de kruiden die opgenomen zijn in het Voorschrift Toetsen op Veiligheid voor de derde toetsronde (Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2007) en nog verder aangevuld met soorten die elders opgenomen waren als veelvoorkomende soorten op dijken.

De volgende eigenschappen werden in deze lijst meegenomen:

- één-/meerjarig
- eventuele opname in een bestaand zaadmengsel
- vegetatietype waarmee de soorten geassocieerd worden
- voorkomen op de Purmerringdijk
- worteltype (penwortel, uitlopers, wortelstok etc.)

- bekende worteldiepte (data uit FLORON; soortenbank)
- Ellenberg waarden (maai, vocht, zuurgraad, voedselrijkdom)

Op basis van deze eigenschappen is uiteindelijk een selectie gemaakt van soorten, die erosie- en droogtebestendige eigenschappen bezitten. Zo is over het algemeen de worteldiepte positief gecorreleerd aan droogteresistentie. Regendruppels zouden makkelijker de bodem infiltreren als niet alle wortelbiomassa in de bovenste lagen zit. Om te voorkomen dat de toplaag te snel uitdroogt, en zo ook sneller tekenen van erosie vertoont, kan er dus gekozen worden voor een vegetatiesamenstelling die dieper wortelt dan de oppervlakkig wortelende grassen van de D-graszaadmengsels. Voor de erosiebestendigheid zijn er verschillende theorieën over welke vegetatiesamenstelling en wortelstructuren uiteindelijk zullen leiden tot een erosiebestendige grasmat.

Om deze vragen te beantwoorden en uiteindelijk in het veld de toepassing van verschillende zaadmengsels te testen is er voor gekozen om twee nieuwe zaadmengsels samen te stellen. De samenstelling van de nieuwe mengsels staat in tabel 6a.2. Naast het bevorderen van de erosiebestendigheid kunnen de mengsels ook bijdragen aan de totale biodiversiteit van dijkgraslanden. Een toelichting hierop is te lezen in bijlage 7.

Tabel 6a.2: de samenstelling van de twee nieuwe bijmengsels. Voor de verhoudingen tussen de soorten wordt verwezen naar Tabel 5.1 op pag. 29.

D-hooi		D-wei	
Knoopkruid	<i>Centaurea jacea</i>	Smalle weegbree	<i>Plantago lanceolata</i>
Rode klaver	<i>Trifolium pratense</i>	Gewoon duizendblad	<i>Achillea millefolium</i>
Smalle weegbree	<i>Plantago lanceolata</i>	Gewone rolklaver	<i>Lotus corniculatus</i>
Gewoon duizendblad	<i>Achillea millefolium</i>	Gewone brunel	<i>Prunella vulgaris</i>
Margriet	<i>Leucanthemum vulgare</i>	Wilde peen	<i>Daucus carota</i>
Veldlathyrus	<i>Lathyrus pratensis</i>	Kruipende boterbloem	<i>Ranunculus repens</i>
Scherpe boterbloem	<i>Ranunculus acris</i>	Witte klaver	<i>Trifolium repens</i>
Glad walstro	<i>Galium mollugo</i>	Madeliefje	<i>Bellis perennis</i>
Glanshaver	<i>Arrhenatherum elatius</i>	Kamgras	<i>Cynosurus cristatus</i>

Motivatie samenstelling bijmengsels

Het D-hooi mengsel is samengesteld uit voornamelijk diep wortelende soorten. Daarnaast is er rekening gehouden met het milieu waarin de planten groeien en de vegetatiesamenstelling waarin ze normaliter aangetroffen worden. Voor de samenstelling van het D-hooi mengsel is uitgegaan van soorten die voorkomen binnen de Glanshaver-associatie (*Arrhenatheretum elatioris*). Verder moeten de soorten goed gedijen op kleigrond en in voedselrijke omstandigheden voor kunnen komen.

Voor het nieuwe D-wei mengsel is er juist gekozen voor een mix van zowel diep als meer ondiep wortelende soorten. Hierbij is rekening gehouden met de toevoeging van typische weideplanten uit de associatie van de beweide Kamgrasweiden (*Lolio-Cynosuretum*) en enkele wat algemenere soorten waarvan bekend is dat ze diep wortelen, zoals gewoon duizendblad (*Achillea millefolium*) en smalle weegbree (*Plantago lanceolata*). Ook voor deze soorten geldt dat ze in staat moeten zijn te groeien op kleigronden en onder enigszins voedselrijke omstandigheden.

Bijlage 7 Bloembezoekers

Primair hebben dijken een waterkerende functie, maar daarnaast kan de bekleding ook op andere wijzen een rol vervullen. Agrarische functies staan daarbij centraal, maar ook de landschappelijke, natuurwetenschappelijke en cultuurhistorische waarde (LNC-waarde) geniet de afgelopen jaren meer aandacht. Nieuwe, meer soortenrijke, mengsels voor het inzaaien van taluds zullen ook de soortenrijkdom en daarmee de natuurtechnische waarde van de dijkgraslanden vergroten. Dit geldt echter niet alleen voor de vegetatie, maar ook voor de diversiteit aan insecten, die voor hun voedsel of voortplanting afhankelijk zijn van planten. Ook op het niveau van natuurbehoud en bescherming kunnen dijken bijdragen aan de provinciale ecologische hoofdstructuur (EHS) door als verbindingzone te fungeren tussen natuurgebieden. In deze bijlage gaan we dieper in op de bloeitijd van de planten en de relatie tussen de planten en enkele insectengroepen.

Bloeitijd van de planten

Bijen, vlinders en andere insecten zijn voor een groot deel afhankelijk van de bloeiwijze van planten en daarmee gepaard gelimiteerd aan de bloeitijd. Kennis van de bloeitijd is tevens belangrijk wanneer men het juiste beheer wil toepassen. Sommige planten bloeien eerder in het seizoen en anderen juist weer later. Over het algemeen geldt bij hooilanden dat twee maal maaien op een jaar, aan het einde van de lente (eind mei) en aan het begin van de herfst (september-oktober), voldoende is en de planten niet zou schaden. Voor veldlathyrus (*Lathyrus pratensis*) kan het voordeliger zijn om zo vroeg mogelijk in het seizoen te maaien. Bij een te late maaibeurt (begin juni) kan dit namelijk de bloei en zaadvorming van de plant negatief beïnvloeden.

Voor de weideplanten kan er een frequenter maairegime, dan wel beweiding plaatsvinden. Zo geldt voor bijvoorbeeld Gewone brunel (*Prunella vulgaris*), Witte klaver (*Trifolium repens*) en Madeliefje (*Bellis perennis*) dat ze goed bestand zijn tegen een frequenter maairegime of beweiding. Deze laag-groeiende planten gedijen zelfs beter in een grasmat die niet al te hoog groeit, waardoor er weinig concurrentie plaatsvindt voor licht.

Tabel 7a.1 geeft een overzicht van de bloeitijd van de verschillende planten. Hierbij dient wel de kanttekening geplaatst te worden dat dit een globaal overzicht is. De exacte bloeitijd van planten is uiteraard sterk afhankelijk van de milieuomstandigheden en kan door bijvoorbeeld zachtere winters

variëren. Daarom dient er bij het bepalen van het juiste beheer ook altijd rekening gehouden te worden met de huidige omstandigheden en toestand van de planten

Tabel 7a.1: Overzicht van de bloeitijd van de gekozen kruiden in de nieuwe dijkmengsels. Groen geeft aan dat de plant kan bloeien, geel geeft aan dat de plant vaak ook nog kan bloeien.

Hooimix	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec
Duizendblad						■	■	■	■	■		
Smalle weegbree					■	■	■	■	■			
Knoopkruid						■	■	■	■			
Rode klaver					■	■	■	■	■	■		
Margriet					■	■	■	■				
Scherpe boterbloem				■	■	■	■	■	■	■		
Veldlathyrus						■	■					
Glad walstro					■	■	■	■	■			
Weidemix												
Duizendblad						■	■	■	■	■		
Smalle weegbree					■	■	■	■	■			
Gewone rolklaver						■	■	■	■			
Wilde peen						■	■	■	■			
Kruipende boterbloem					■	■						
Witte klaver					■	■	■	■	■	■		
Brunel					■	■	■	■	■			
Madeliefje	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Inventarisatie bloembezoekers

Insecten kunnen verschillende motieven hebben om planten te bezoeken. Zo zijn er insecten die meehelpen aan de bestuiving van planten, wanneer ze de bloem bezoeken om stuifmeel te verzamelen. Het meest bekende hierbij zijn natuurlijk de bijen, die weer onder te verdelen zijn in hommels, honingbijen en solitaire bijen. Vrijwel alle kruiden die wij voor de mengsels gekozen hebben, worden bezocht door een of meerdere van deze groepen. Naast de functie van drachtplant (planten die nectar en/of pollen leveren) hebben vrijwel alle planten ook een functie als waardplant. Een waardplant is een plant waarop een ander organisme bepaalde bestanddelen vindt die dit organisme nodig heeft voor zijn groei. Zo kennen planten bijvoorbeeld parasieten, zoals mineerders die leven in het mesofyl van de bladeren en daar uitgebreide gangen graven. Ook de planten waarop vlinders hun eieren afzetten en die uiteindelijk als voedselbron dienen voor de nieuwe rupsen worden waardplanten genoemd.

In deze bijlage wordt een aantal bloembezoekers nader beschouwd, te weten de groepen solitaire bijen, dagvlinders, nachtvlinders en microvlinders. Hierbij is het belangrijk om te realiseren dat dit

niet een volledig overzicht geeft van het belang van deze plantensoorten voor de fauna. Zo is dit alleen een kwalitatieve bepaling die geen uitspraken doet over het belang van de plant voor de insectenfamilies en tevens geen informatie verschaft op soortniveau over welke insecten door soortenrijke vegetaties gestimuleerd kunnen worden. Dit overzicht is bedoeld als een indicatie van de verscheidenheid aan insecten die voor hun groei en voortplanting afhankelijk zijn van de kruiden die in de nieuwe mengsels aanwezig zullen zijn. Een belangrijke eerste conclusie is dat de diversiteit aan insecten in ieder geval gestimuleerd zal worden door naast grassen ook kruiden in dijkmengsels op te nemen.

Solitaire bijen

Solitaire bijen leven in tegenstelling tot honingbijen en hommels niet in een kolonie. Ze zijn daardoor een stuk onopvallender dan honingbijen, maar ze zijn minstens zo belangrijk voor het behoud van de natuur. Net als de honingbijen worden ook solitaire bijen bedreigd in hun bestaan. Hiervoor zijn verschillende redenen, zoals het gebruik van pesticiden, het verschrallen van graslanden en het gebrek aan leefruimte. In tabel 7a.2 is een overzicht gemaakt van 14 verschillende solitaire bijfamilies en hun relatie tot de verschillende planten. Belangrijk is om hierbij op te merken dat sommige planten, zoals Gewoon duizendblad (*Achillea millefolium*), in een breed areaal voor kunnen komen, van drogere, schrale zandgronden tot voedselrijke en vochtige klei. Welke soorten bijen waar voorkomen ligt niet alleen aan de vegetatiesamenstelling maar ook aan dergelijke milieufactoren. Bij het samenstellen van de tabel is hier geen rekening mee gehouden, dit is enkel een inventarisatie van welke families op welke planten waargenomen zijn.

Voor de familie van de zandbijen (*Andrena*) komt op vrijwel alle planten voor. Ook de groefbijen (*Halictus* spp. en *Lasioglossum* spp.) treffen we aan op de meeste planten. Deze families zijn tevens, samen met de behangersbijen (*Megachile*), de grootste families solitaire bijen. Opvallend is dat zowel op Gewone brunel (*Prunella vulgaris*) als Glad walstro (*Galium mollugo*) geen solitaire bijen waargenomen zijn. Voor de rest van de planten geldt dat ze gemiddeld drie families faciliteren, maar dat door de samenstelling van de gekozen mengsels (hooi & wei) een breed arsenaal aan bijenfamilies in de graslanden voor zouden kunnen komen.

Tabel 7a.2: Overzicht van de relaties tussen verschillende solitaire bijen families en hun voorkomen op de gekozen planten

Hooimix	Zand	Behangers	Pluimvoet	Dikpoot	Groef	Langhoorn	Met-sel	Tronken	Zijde	Wol	Klokjes	Mas-ker	Sach-em	Bloed
Duizendblad														
Smalle weegbree														
Knoopkruid														
Rode klaver														
Margriet														
Veldlathyrus														
Scherpe boterbloem														
Glad walstro														
Weidemix														
Duizendblad														
Smalle weegbree														
Gewone rolklaver														
Wilde peen														
Witte klaver														
Kruipende boterbloem														
Brunel														
Madeliefje														

Vlinders

Vlinders gebruiken verschillende planten als waardplanten voor hun eieren. Voor deze bijlage hebben we ons geconcentreerd op drie verschillende soorten vlinders: dagvlinders, nachtvlinders en microvlinders. De verschillen hiertussen zijn voor het ongeïfend oog vaak moeilijk waar te nemen. Het verschil tussen dag- en nachtvlinders is bij de meeste mensen wel bekend. Al bestaat er ook een groot aandeel dag actieve nachtvlinders. Deze vlinders zijn op basis van hun vleugels in rust (bij dagvlinders rechtopstaand en bij nachtvlinders over het lijf gevouwen) en de opbouw van hun antennes (een kopje erbovenop bij dagvlinders) te onderscheiden. Microvlinders zijn ook vaak nachtvlinders, die niet alleen op basis van hun grootte onderscheiden kunnen worden, er bestaan namelijk microvlinders die groter zijn dan enkele macrovlinders, maar voornamelijk op basis van hun antennes.

In tabel 7a.3 is een overzicht gemaakt van de verschillende dagvlinders die op de planten gevonden zijn. Hieruit is af te leiden dat de weidemix een iets groter aandeel planten herbergt die als waardplant fungeren voor verschillende dagvlinder families. Hierbij valt ook op dat de vlinderbloemigen (*Fabaceae*) een grote verscheidenheid aan vlinders aantrekken, voornamelijk de klaverachtigen.

Tabel 7a.3: Overzicht van de verschillende dagvlinders die de planten als waardplant kunnen gebruiken

Hooimix	blauwtje	witje	aurelia	parelmoer	dikkop	zandoogje
Duizendblad						
Smalle weegbree						
Knoopkruid						
Rode klaver						
Margriet						
Veldlathyrus						
Scherpe boterbloem						
Glad walstro						
Weidemix						
Duizendblad						
Smalle weegbree						
Gewone rolklaver						
Wilde peen						
Witte klaver						
Kruipende boterbloem						
Brunel						
Madeliefje						

Een overzicht van de nachtvlinders die waargenomen zijn op de verschillende planten is in tabel 7a.4 weergegeven. Tussen de mengsels lijken er weinig verschillen te zijn in het aandeel nachtvlinderfamilies die van de planten afhankelijk zijn. In de weidemix is een iets bredere totale verspreiding waar te nemen, alleen de Pijlstaarten (*Sphingidae*) worden niet met deze mix geassocieerd. De microvlinders (tabel 7a.5) worden voornamelijk vertegenwoordigd door verschillende soorten van de familie der Bladrollers (*Tortricidae*). Opvallend hierbij is dat de klaverachtigen niet door de Bladrollers bezocht worden. Misschien dat de bladeren hiervoor minder geschikt zijn of dat de planten manieren ontwikkeld hebben om zich tegen deze groep te weren. De rupsen van de vlinders leven in opgerolde of samengevouwen bladeren, waardoor ze schade aan de planten veroorzaken.

Tabel 7a.4: Overzicht van de verschillende nachtvlinder families die de planten als waardplant kunnen gebruiken

Hooimix	Spanner	Uilen	Spinner uilen	Pijlstaarten	Bloeddorpen	Spinners	Snuitmotten	Ooglapmotten	Borstelmotten	Sikkelmotten	visstaartjes
Duizendblad											
Smalle weegbree											
Knoopkruid											
Rode klaver											
Margriet											
Veldlathyrus											
Scherpe boterbloem											
Glad walstro											
Weidemix											
Duizendblad											
Smalle weegbree											
Gewone rolklaver											
Wilde peen											
Witte klaver											
Kruipende boterbloem											
Brunel											
Madeliefje											

Tabel 7a.5: Overzicht van de verschillende microvlinder families die de planten als waardplant kunnen gebruiken

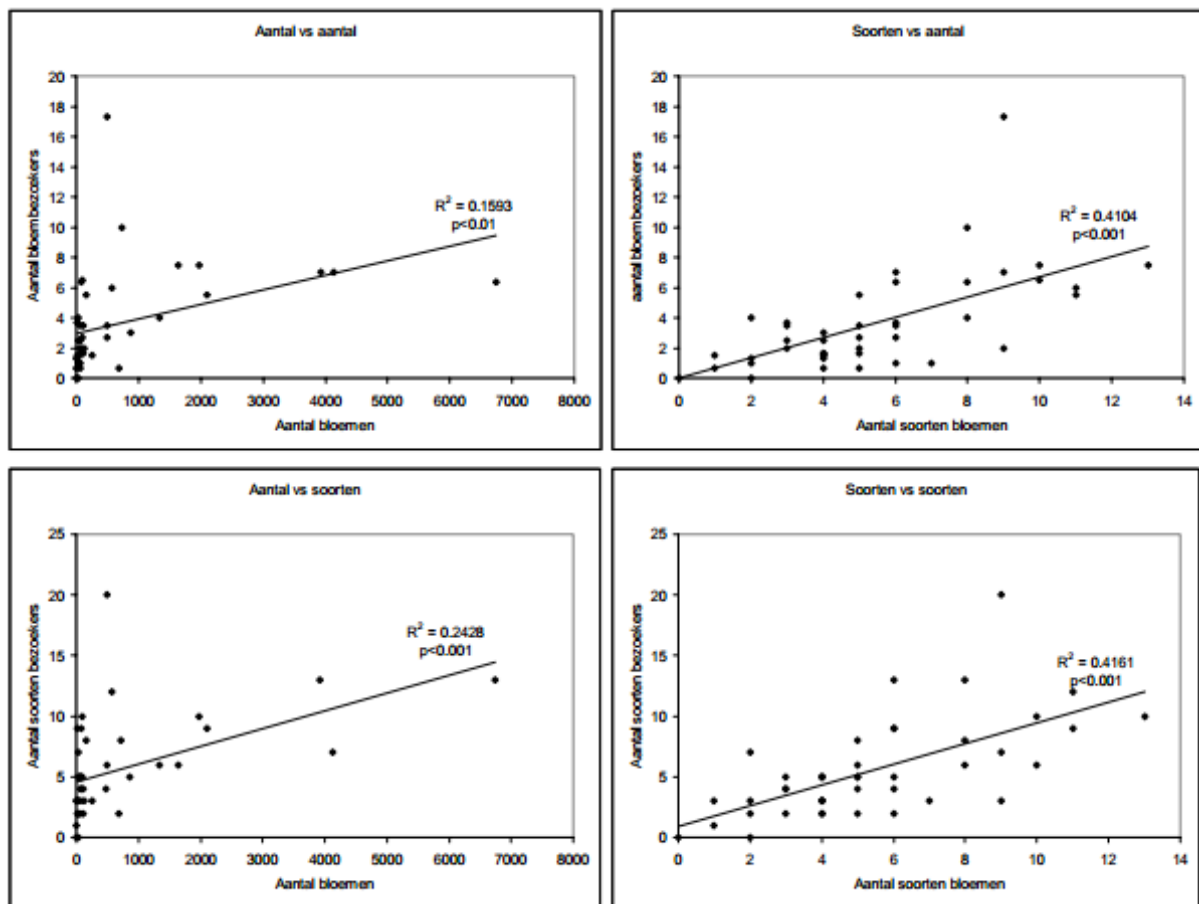
Hooimix	grasmot	bladroller	mineermot	kokermot	vedermot
Duizendblad					
Smalle weegbree					
Knoopkruid					
Rode klaver					
Margriet					
Veldlathyrus					
Scherpe boterbloem					
Glad walstro					
Weidemix					
Duizendblad					
Smalle weegbree					
Gewone rolklaver					
Wilde peen					
Witte klaver					
Kruipende boterbloem					
Brunel					
Madeliefje					

Discussie

Deze tabellen zijn opgesteld om een duidelijker beeld te scheppen van hoe diverse zaadmengsels bij zouden kunnen dragen aan de natuurtechnische waarde van dijkgraslanden. Hierbij hoeft niet aan de

vegetatiesamenstelling alleen gedacht te worden, maar ook aan de verschillende insecten die leven in dergelijke graslanden. Een hogere diversiteit aan kruiden en bloemen, zal ook leiden tot een hogere diversiteit aan bloembezoekers en andere insecten. Uit de tabellen is op te maken dat beide mengsels deze diversiteit aan insecten bevorderen en tegelijkertijd er verschillen bestaan tussen de mengsels in soort-specifieke responsen. De precieze effecten zijn moeilijk over de tijd te voorspellen en tegelijkertijd ook zwaar onderhevig aan het gekozen beheer.

Wanneer er bijvoorbeeld jaarrond begrazen wordt, bestaat er het risico dat in de winter er te veel biomassa gegeten wordt, wat ook de overwintering stadia van verschillende faunasoorten, die bijvoorbeeld overwinteren in stengels, sterk verstoort. In andere onderzoeken naar de relatie tussen het aantal soorten bloembezoekers en planten blijken deze variabelen sterk aan elkaar gecorreleerd (Vogels *et al.*, 2007).



Figuur 7a.1: Correlatie van bloemdichtheid en –soortenrijkdom met bloembezoekerdichtheid en -soortenrijkdom onderzochte proefvlakken. Voor zowel aantal bloemen als aantal soorten bloemen bestaat een significante positieve lineaire relatie ($p < 0.01$). Bloemdichtheid blijkt van minder invloed op de aantallen individuen en/of soorten dan bloemsoortenrijkdom (vergelijk R^2 -waarden). Grafieken zijn overgenomen van Vogels *et al.* 2007.

Referenties

- 1) Vogels, J.J., M. Nijssen, H. Esselink (2007) Begrazing in het Kraansvlak; effecten op de entomofauna. Nulmeting 2004-2005. *Rapport Stichting Bargerveen, Nijmegen.*
- 2) www.wildebijen.nl
- 3) www.bijenhelpdesk.nl
- 4) www.drachtplanten.nl