

Eindrapport T0-monitoring (2011-2013) duinen van Goeree tot Solleveld,
in het kader van MEP Duinen i.r.t. Maasvlakte 2

Stikstofdepositie, vegetatie en duinbeheer



Stikstof, vegetatie en duinbeheer

Eindrapport T0-monitoring (2011-2013) duinen van Goeree tot Solleveld, in het kader van MEP Duinen i.r.t. Maasvlakte 2

Concept

Rijkswaterstaat

Grontmij Nederland B.V.
Houten, 4 maart 2014

Verantwoording

Titel : Stikstof, vegetatie en duinbeheer

Subtitel : Eindrapport T0-monitoring (2011-2013) duinen van Goeree tot Solleveld, in het kader van MEP Duinen i.r.t. Maasvlakte 2

Projectnummer : 299632

Referentienummer : GM-0126803


Revisie : C1

Datum : 4 maart 2014


Auteur(s) : dr. A.M. Mouissie, dr. A. Bleeker, dr. A. Hensen, dr. M. Riksen, dr. H. van Dobben, ing R. Huiskes

E-mail adres : maarten.mouissie@grontmij.nl

Gecontroleerd door : ir. C.J. Jaspers

Paraaf gecontroleerd : 

Goedgekeurd door : ing. R. Krom

Paraaf goedgekeurd : 

Contact : Grontmij Nederland B.V.
De Molen 48
3994 DB Houten
Postbus 119
3990 DC Houten
T +31 30 634 47 00
F +31 30 637 94 15
www.grontmij.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	5
1	Inleiding8
1.1	Aanleiding en doel.....8
1.2	Evaluatievragen8
1.3	Onderzoeksgebied8
1.4	Probleemschets 10
1.5	Onderzoeksvragen voor de T=0 fase 11
1.6	Aanpak op hoofdlijnen..... 12
2	Stikstofdepositie 13
2.1	Inleiding 13
2.2	Methodiek 13
2.3	Uitgevoerde werkzaamheden 17
2.4	Resultaten..... 17
2.5	Conclusies27
3	Vegetatie.....29
3.1	Inleiding29
3.2	Methoden.....29
3.3	Resultaten PQ-opnamen33
3.4	Resultaten vegetatie- en habitatkartering.....34
4	Overige condities en beheer46
4.1	Zanddynamiek.....46
4.2	Geohydrologie.....64
4.3	Beheer 74
4.4	Bodemchemie80
5	Multivariate en temporele analyses.....88
5.1	Inleiding88
5.2	Habitattype per PQ.....88
5.3	Similariteit van de PQ's89
5.4	Effect van abiotische condities.....92
5.5	Temporele veranderingen.....97
5.6	Discussie en conclusie99
6	Conclusies onderzoeksvragen..... 100
6.1	Conclusies ten aanzien van de referentiesituatie 100
6.2	Conclusies ten aanzien van meetbaarheid signaal en ruisfactoren..... 103
Referenties	105

Bijlagenrapport

- Bijlage 1: Stikstofmonitoring
- Bijlage 2: Vegetatiemonitoring
- Bijlage 3: Monitoring zanddynamiek
- Bijlage 4: Monitoring geohydrologie
- Bijlage 5: Correlatiematrix
- Bijlage 6: Locatie meetopstellingen
- Bijlage 7: Kaarten duinbeheer

Samenvatting

Het Monitoring- en Evaluatieprogramma (MEP) Duinen geeft invulling aan de evaluatieplicht voor het besluit Bestemmingsplan Maasvlakte 2 (MV2). Dit betreft het onderdeel significante effecten op de bestaande duinen ten gevolge van het toekomstige gebruik van MV 2 op de bestaande duinen in de Natura 2000-gebieden 'Solleveld & Kappitelduinen' en 'Voornes Duin'. Het MEP Duinen heeft als doel te monitoren of de effecten van stikstofdepositie op de duinhabitatypen ten gevolge van MV2 in de praktijk overeenkomen met de voorspellingen zoals deze in het MER en passende beoordeling zijn gedaan.

Het doel van de T=0 fase (2011 t/m 2013) is het vastleggen van de referentiesituatie waartegen in de vervolgfases de effecten van het gebruik van MV2 afgezet kunnen worden. Hierbij dient rekening gehouden te worden met autonome ontwikkelingen in de vegetatie, stikstofdepositie en andere factoren die van invloed kunnen zijn op de habitattypen. In de T=0 fase is daarom tevens de meetbaarheid van het signaal van MV2 ten opzichte van diverse ruisfactoren geëvalueerd.

Het monitoringsprogramma bestaat uit de volgende onderdelen:

- monitoring stikstofdepositie;
- monitoring duinvegetatie, te weten de omvang en kwaliteit Vochtige duinvalleien, Grijze duinen en populatie Groenknolorchis;
- de belangrijkste overige factoren die van invloed zijn op de habitattypen en Groenknolorchis, waaronder zanddynamiek, duinbeheer, grondwater en bodemchemie.

Naast 'Solleveld & Kappitelduinen' en 'Voornes Duin' bestaat het onderzoeksgebied uit Goeree & Kwade Hoek (met uitzondering van de Westduinen). Dit laatste gebied dient als referentiegebied, omdat hier geen effecten van MV2 worden verwacht.

Om de doelstelling te operationaliseren zijn een aantal onderzoeksvragen geformuleerd. Ter conclusie zijn deze antwoorden hieronder samengevat.

Wat is de actuele stikstofdepositie op de habitattype 2130 (Grijze duinen) en habitattype 2190 (Vochtige duinvalleien) in Voornes Duin, Solleveld & Kappitelduinen en de Duinen van Goeree?

De stikstofmetingen laten grote verschillen zien per locatie. De hoogste waarden (tot 4000 mol N/ha/jaar) zijn gemeten op Hoek van Holland en s' Gravezande. In de omgeving van deze meetpunten (op Solleveld & Kappitelduinen) is Grijze duinen (H2130) aanwezig, zij het in verzuurde vorm. In de overige gebieden is de gemeten totale stikstofdepositie in de periode 2011 t/m 2013 gemiddeld tussen de 1200 mol N/ha/jaar tot 1600 mol N/ha/jaar, met uitschieters tot 2500 mol N/ha/jaar.

Vergelijking van de gemeten deposities met de berekende deposities volgens de MER laat zien dat de deposities voor Voornes Duin min of meer hetzelfde niveau hebben als hetgeen gerapporteerd. Echter, de deposities voor Hoek van Holland verschillen sterk: de gemeten deposities zijn duidelijk hoger dan de berekende waarden volgens de MER rapportage. De reden hiervoor is op dit moment nog onduidelijk en zal onderwerp moeten zijn van nader onderzoek. Echter, de oorzaak moet waarschijnlijk gezocht worden in een onderschatting van de emissies van de Maasvlakte en omgeving in de MER.

Wat is het actuele oppervlakte en kwaliteit van H2130 (Grijze duinen) en habitattypen H2190 (Vochtige duinvaleien) in Voornes Duin, Solleveld & Kapittelduinen en de Duinen van Goeree?

Het totale in dit gekarteerde oppervlak (op basis van vegetatiekarteringen uit 2001 en 2012) H2130 in Voorne's duin is 81,7 ha, in Solleveld & Kapittelduinen 153,2 ha en in de duinen van Goeree & Kwade Hoek (met uitzondering van de Westduinen) 19,6 ha. Het totale gekarteerde oppervlak H2190 in Voorne's duin is 33,1 ha, in Solleveld & Kapittelduinen 9,1 ha en in de duinen van Goeree & Kwade Hoek (met uitzondering van de Westduinen) 27,8 ha. De habitatkartering zoals opgenomen in AERIUS wijkt hiervan af. De belangrijkste redenen hiervoor zijn dat voor het onderhavige project gebruik is gemaakt van recentere vegetatiekarteringen en een striktere habitatdefinitie is gehanteerd. Door het volgen van het zelfde protocol voor vegetatie en habitatkartering als bij het vaststellen van de referentiesituatie zal een verandering in oppervlakte in vervolgfases van het MEP duinen eenduidig vastgesteld kunnen worden.

Op grond van de gekarteerde vegetatietypen is het grootste deel van de habitattypen van goede kwaliteit. Op Goeree is echter ruim 7 ha Grijze duinen (H2130) en 1,8 ha Vochtige duinvaleien (H2190) van matige kwaliteit en in Solleveld & Kapittelduinen is 8,4 ha Grijze duinen van matige kwaliteit. In Voornes duin is in totaal slechts 2,7 ha van H2190 en H2130 van matige kwaliteit.

Wat is de actuele populatieomvang en verspreiding van de Groenknolorchis in Voornes Duin en de Duinen van Goeree?

In het noordelijk deel van Voorne (beheergebied ZHL) zijn tien actuele vindplaatsen vindplaatsen bekend waarvan enkele met meer dan 25 exemplaren. In het zuidelijk deel van Voorne is nog één vindplaats bekend met 2 tot 5 exemplaren. Naast deze locaties is de soort op een aantal nieuwe locaties binnen het onderzoeksgebied waargenomen, te weten in de Van Dixhoordriehoek, op Solleveld en in de duinen van Goeree.

Welke kustdwarse en kustlangse gradiënten in stikstofdepositie zijn thans waarneembaar?

De gradiënt in concentraties langs de kust is duidelijk waarneembaar in de verschillende jaren. De dataset laat deze gradiënt in sterke mate zien bij maanden met veel zuid/zuidwesten wind, de gradiënt verdwijnt bij maanden met overwegend oostelijke aanstroming. In sommige maanden is er een duidelijke correlatie tussen de patronen van NO₂ en SO₂. Deze correlatie duidt op een bijdrage van de raffinaderijen of de zeescheepvaart. Een NO₂ toename die niet gekoppeld is aan een SO₂ toename zou duiden op emissies van wegverkeer of bijvoorbeeld de warmtekracht-koppeling systemen in de tuinbouw.

Binnen het meetnet zijn drie kustdwarse raaien van drie stikstofmeetstations geplaatst. Uit de metingen binnen deze raaien valt te concluderen dat voor een aantal maanden in het jaar de ammoniakdepositie op de meetstations dicht bij de kust gemiddeld hoger zijn dan die meer landinwaarts. Dit ondersteunt een eerdere constatering van het RIVM (op basis van metingen met het MAN netwerk), dat er mogelijk NH₃ vanaf zee komt. Er is geen kustdwarse gradiënt in NO₂ meetbaar.

Zal, gelet op de meetnauwkeurigheid, het signaal vanuit MV2 op de stikstofdepositie in de duingebieden straks waar te nemen zijn?

De metingen van NO_x op Hoek van Holland en van natte depositie op Oostvoorne zijn vergeleken met die van nabij geplaatste meetstations van de DCMR. Op basis van deze vergelijking is de conclusie gerechtvaardigd dat een consistente en nauwkeurige meting van de verschillende stikstofcomponenten is uitgevoerd voor de T=0 situatie (2011 t/m 2013). De meetnauwkeurigheid van de huidige opstellingen is voldoende om nabij de bron, ter hoogte van Hoek van Holland, de toename aan depositie vanuit MV2 te kunnen onderscheiden. Op locaties verder van de bron zal het signaal van MV2 zelf kleiner zijn, maar daar zullen andere brongebieden het stikstofsignaal overheersen. De vergelijking van deze stations geeft daarmee een nog beter beeld van het belang van de bijdrage vanuit MV2.

Welk deel van de verschillen in de soortensamenstelling van de vegetatie is te verklaren door verschillen in stikstofdepositie en hoe verhoudt zich dit tot andere factoren?

De belangrijkste predictoren voor het ruimtelijk patroon van de vegetatie zijn (in volgorde van afnemend belang): vocht, bodemchemie (vooral N beschikbaarheid en pH), begrazing, N depositie en overstuiving met zand. Stikstofdepositie kan 2,5% van de variantie in de vegetatiesamenstelling van de PQ's verklaren. Alle van de genoemde factoren tezamen kan bijna 19% van de variantie verklaren.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Het Monitoring- en Evaluatieprogramma (MEP) Duinen geeft invulling aan de evaluatieplicht voor het besluit Bestemmingsplan Maasvlakte 2 (MV2). Dit betreft het onderdeel significante effecten op de bestaande duinen ten gevolge van het toekomstige gebruik van MV 2 op de bestaande duinen in de Natura 2000-gebieden 'Solleveld & Kappitelduinen' en 'Voornes Duin'. Het MEP Duinen heeft als doel te monitoren of de effecten van stikstofdepositie op de duinhabitatypen ten gevolge van MV2 in de praktijk overeenkomen met de voorspellingen zoals deze in het MER en passende beoordeling zijn gedaan en of de uitgevoerde compensatie ook leidt tot realisatie van de gestelde doelen. De compensatie in de vorm van de ontwikkeling van de nieuwe duinen is in een apart monitoringsproject ondergebracht en wordt uitgevoerd door het Zuid-Hollands Landsschap. De voorliggende rapportage gaat in op de monitoring en evaluatie van de effecten op bestaande duinen.

Het doel van de T=0 fase (2011 t/m 2013) is het vastleggen van de referentiesituatie waartegen in de vervolgfases de effecten van het gebruik van MV2 afgezet kunnen worden. Hierbij dient rekening gehouden te worden met autonome ontwikkelingen in de vegetatie, stikstofdepositie en andere factoren die van invloed kunnen zijn op de habitattypen en Groenknolorchis (zie § 1.3). In de T=0 fase is daarom tevens de meetbaarheid van het signaal van MV 2 ten opzichte van diverse ruisfactoren geëvalueerd.

De uitvoering van de T=0 fase van de Meetstrategie duinen is uitgevoerd door het consortium van Grontmij, ECN, Alterra en WUR.

1.2 Evaluatievragen

Het MEP Duinen is gericht op de monitoring van effecten van stikstofdepositie op de kwetsbare habitattypen 2130 (Grijze duinen), 2190 (Vochtige duinvalleien) en vindplaatsen van de Groenknolorchis in bestaande duinen en de ontwikkeling van duinvegetatie in het natuurcompensatieproject Delflandse Kust (Spanjaardsduin).

Het MEP duinen stoelt op zes evaluatievragen (Deltares, 2009) waarvan drie vragen zijn gericht op de effecten op bestaande duinen. Dit zijn:

- Wat is het effect van N-emissies als gevolg van het gebruik van MV2 op het oppervlak van habitatype 2130 (grijze duinen) in Voornes Duin en Solleveld & Kappitelduinen?¹
- Wat is het effect van N-emissies als gevolg van het gebruik van MV2 op het oppervlak van habitatype 2190 (Vochtige duinvalleien) in Voornes Duin en Solleveld & Kappitelduinen?
- Wat is het effect van N-emissies als gevolg van het gebruik van MV2 op de omvang van de populaties (vindplaatsen) van de Groenknolorchis in Voornes Duin?

1.3 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied bestaat uit de volgende drie Natura-2000 gebieden:

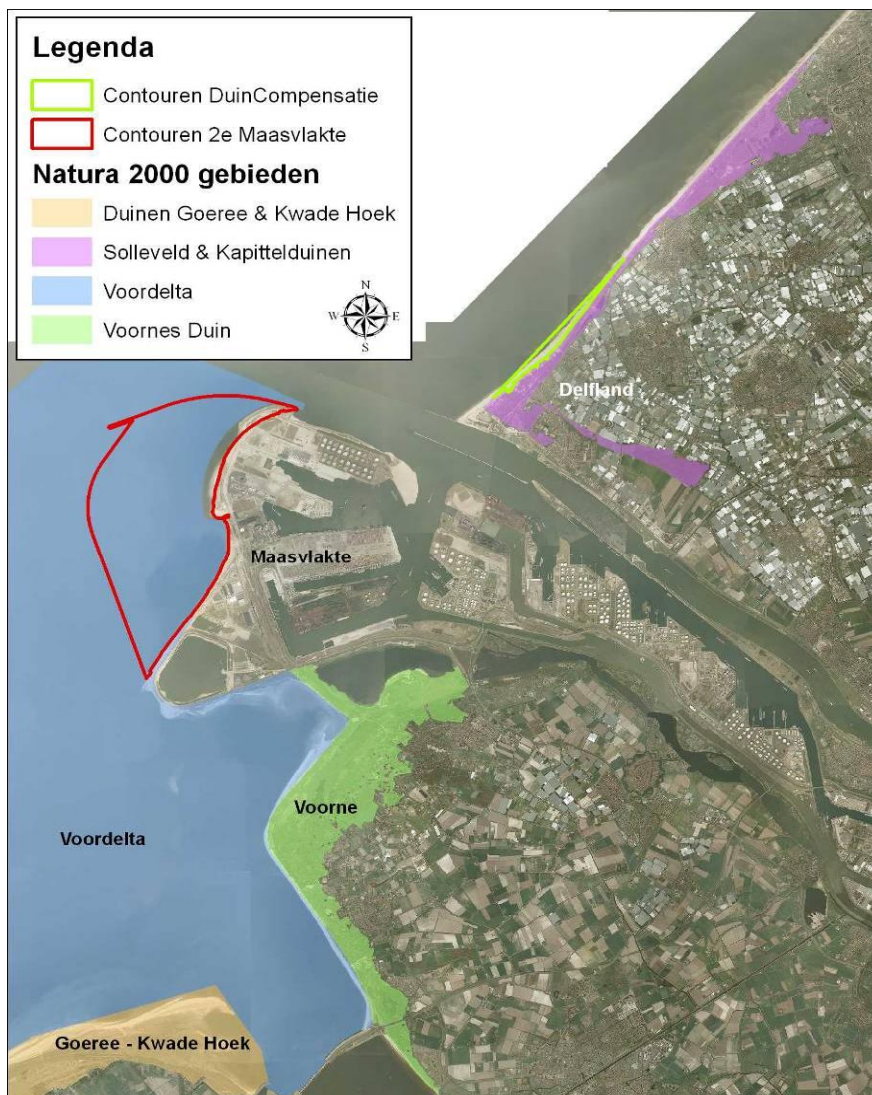
- Solleveld & Kappitelduinen;

¹ Alleen in het deel Kappitelduinen is een effect voorspeld van MV2.

- Voornes Duin;
- Duinen Goeree & Kwade Hoek.

De eerste twee gebieden zijn opgenomen in het monitoringsprogramma omdat hierop significante effecten zijn voorspeld in het MER en de Passende Beoordeling van MV2. De Duinen van Goeree en Kwade Hoek dienen als referentiegebied. Dit gebied ligt op grotere afstand en bovendien ten zuiden van MV2, waardoor gelet op de prevalerende windrichting (zuid-west) de invloed van stikstofdepositie van MV 2 op de Duinen van Goeree en Kwade Hoek zeer gering is.

De begrenzing van deze Natura 2000-gebieden is op onderstaande kaart (Figuur 1.1) weergegeven. Tevens zijn hier de contouren van de MV 2 op aangegeven. De locaties van alle meetopstellingen en permanente kwadraten (PQ's) voor de vegetatiemonitoring zijn weergegeven in [bijlage 6](#). Deze locaties zijn in detail te bekijken op een Geowebviewer die in de Rijkswaterstaat omgeving draait². In deze viewer zijn ook de geografisch georiënteerde resultaten zien, zoals de vegetatiekarteringen.



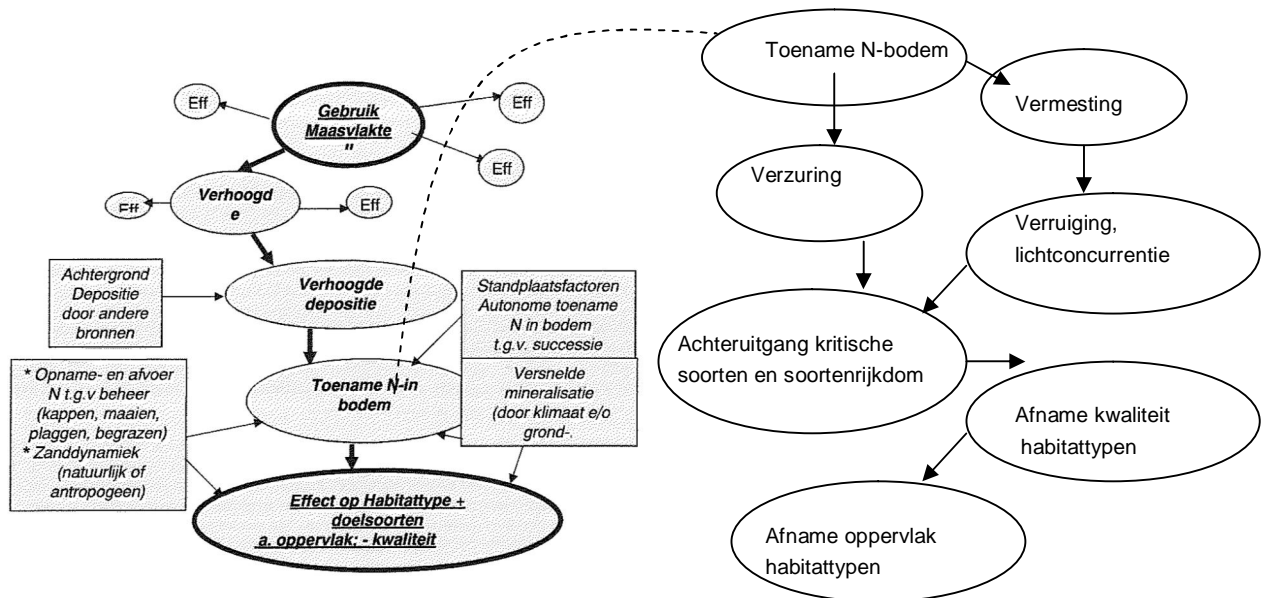
Figuur 1.1: Begrenzing van de drie Natura-2000 gebieden waar de duinmonitoring plaatsvindt.

² inloggegevens zijn op te vragen bij de projectleider van het consortium zie <http://grontmij.nl/duinmonitoring>

1.4 Probleemschets

Het voorspellen van lange termijneffecten van stikstofdepositie op duinvegetatie gaat gepaard met onzekerheden die verband houden met de ontwikkeling van de achtergronddepositie, beheer, zanddynamiek, verandering van standplaatscondities, klimaat en externe factoren. Voorts zijn er nog hiaten in de ecologische kennis van de invloed van stikstof op duinvegetaties. Vooral de gevolgen van een kleine toename van N-depositie zijn lastig te bepalen en bovendien sterk afhankelijk van de bijdrage uit andere bronnen. Het MEP duinen kan deze onzekerheden weg-nemen door continue de vinger aan de pols te houden.

Gezien de beschreven onzekerheden zijn de evaluatievragen alleen te beantwoorden in de context van andere relevante processen en condities. Deze context is in onderstaande effectketen schematisch weergegeven (linker deel in Figuur 1.2 overgenomen uit Deltares, 2009). Met het oog op het aantonen van causale verbanden hebben wij het onderdeel 'effect op oppervlak habitatype + doelsoorten oppervlak + kwaliteit' in meer detail uitgewerkt (rechter deel in Figuur 1.2). Deze detailuitwerking geeft schematisch weer, dat effecten van extra stikstof zowel door verzuring als door vermessing invloed kan hebben op de soortensamenstelling van habitattypen en de omvang van de populatie van doelsoorten. Zowel door verzuring als door verruiging kunnen kritische soorten uit de vegetatie verdwijnen. Op den duur kan het aantal kenmerkende soorten zover zijn afgenomen dat niet meer van het habitatype Grijze duinen of Vochtige duinvalleien kan worden gesproken. Dan is er sprake van oppervlakteverlies van deze habitattypen.



Figuur 1.2: Effectketen in context met overige processen en condities (links, overgenomen uit Deltares, 2009) en detailuitwerking van het effect op habitattypen en soorten rechts. De stippelijijn geeft aan waar de beide schema's op elkaar aansluiten.

De evaluatiesystematiek moet navolgbaar zijn en dient aan te sluiten bij de in de MER voorspelde mogelijke effecten. De receptoren zijn de prioritare habitattypen 2130 Grijze Duinen en 2190 Vochtige duinvalleien, en de Habitatrichtlijnsoort Groenknolorchis. Effecten op deze receptoren worden geacht tot stand te komen via de route: verhoogde emissie van N ten gevolge van gebruik van MV2 => verhoogde depositie van N op de receptoren => vergrote beschikbaarheid van N in de bodem van de receptoren => veranderingen in de receptoren zelf. Deze veranderingen kunnen zowel op kwantiteit als op kwaliteit betrekking hebben. Omdat kwantiteit en kwaliteit van de receptoren door vele andere factoren worden medebepaald, moeten ook deze andere factoren gemeten worden. De belangrijkste 'andere' factoren zijn: beheer, grondwaterstand, salt-spray, zanddynamiek en bodemcondities.

Met de door deze systematiek ingegeven meetstrategie zal het mogelijk zijn te voldoen aan het beantwoorden van de vraag: treden er veranderingen op in kwantiteit en kwaliteit van de bo-

vingenoemde receptoren, en levert het compensatieproject hiervoor inderdaad in voldoende mate compensatie. Wel moet bedacht worden dat het meetprogramma volledig observationeel is, dat wil zeggen dat de bestaande toestand wordt vastgelegd en veranderingen hierin worden geregistreerd. Veranderingen kunnen dus alleen middels regressie-analyse of vergelijkbare technieken aan mogelijke oorzaken worden gekoppeld. Wil dit mogelijk zijn, dan is het essentieel dat de mogelijke oorzaken van de veranderingen in de receptoren, verschillende patronen in de tijd hebben. Immers, als die oorzaken gelijktijdig veranderen (als de een toeneemt, neemt ook de ander toe; of juist tegengesteld: als de een afneemt, neemt de ander af), dan zullen zij - statistisch gesproken- 'collineair' zijn, en is hun effect niet te scheiden in een regressieanalyse.

A priori kan gesteld worden dat vegetatieveranderingen de som zijn van twee signalen: één oscillerend en één lineair (of tenminste: monotoon). In het geval van MV2 is vooral het lineaire signaal van belang; immers, de emissie van N verbindingen zal toenemen als gevolg van ingebruikname van MV2, en die toenemende emissie zal, volgens boven geschetste effectketen, een toenemend effect op de vegetatie hebben. Dit maakt een eenduidige koppeling van effect aan oorzaak in dit geval lastig. Immers, over een tijdspanne van enkele decennia zijn er vele andere oorzaken denkbaar (die in de praktijk waarschijnlijk deels wel en deels niet gemeten worden) die tot vegetatieveranderingen kunnen leiden. Dit geldt zeker in de huidige periode van snelle klimaatverandering, maar ook beheersinvloeden kunnen lineair door de tijd veranderen (bijvoorbeeld vernatting als gevolg van hydrologische herstelmaatregelen; maar denk bijvoorbeeld ook aan de afname van de konijnenstand in de periode 1995 - 2005). Dit kan de evaluatie van de verzamelde gegevens tot een lastige klus maken; in de praktijk is een effect dat in statistische termen significant is geen bewijs voor een causale relatie, tenminste zal hierbij ook de grootte van de regressiecoëfficiënt in beschouwing moeten worden genomen. Of in andere woorden: het geconstateerde effect van een gegeven oorzakelijke factor moet een plausibele richting en grootte hebben. Een probleem kan daarbij zijn dat een groot aantal oorzakelijke factoren de onzekerheid in de schatting van hun kwantitatieve aandeel in het effect vergroot, en dat vraagt weer om een groot aantal meetpunten. Dit is een afweging die van tevoren en zeer weloverwogen gemaakt moet worden.

1.5 Onderzoeksvragen voor de T=0 fase

In de T=0 fase kunnen de evaluatievragen van het MEP duinen (§1.2) nog niet worden beantwoord, omdat de MV2 nog niet in gebruik is genomen. De T=0 fase is gericht op het vaststellen van de referentiesituatie waartegen straks de effecten van MV2 kunnen worden afgezet. De MEP evaluatievragen laten zich daarom voor de T=0 fase vertalen naar de volgende onderzoeksvragen:

- Wat is de actuele stikstofdepositie op de habitattype 2130 (Grijze duinen) en habitattype 2190 (Vochtige duinvalleien) in Voornes Duin, Solleveld & Kappitelduinen en de Duinen van Goeree?
- Wat is het actuele oppervlakte en kwaliteit van 2130 (Grijze duinen) en habitattype 2190 (Vochtige duinvalleien) in Voornes Duin, Solleveld & Kappitelduinen en de Duinen van Goeree?
- Wat is de actuele populatieomvang en verspreiding van de Groenknolorchis in Voornes Duin en de Duinen van Goeree?

Daarnaast hebben we onderzoeksvragen gedefinieerd om meer inzicht te krijgen in het functioneren van het systeem. Hierbij is het -gelet op de probleemschets (§1.4)- vooral van belang om alvast grip te krijgen op de vraag hoe straks het onderscheid tussen signaal en ruis wordt gemaakt. In dit kader zijn de volgende onderzoeksvragen gedefinieerd:

- Welke kustdwarse en kustlangse gradiënten in stikstofdepositie zijn thans waarneembaar?
- Gelet op de meetnauwkeurigheid, zal straks het signaal vanuit MV2 op de stikstofdepositie in de duingebieden waar te nemen zijn?
- Welk deel van de verschillen binnen habitattype H2130 (Grijze duinen) en habitattype H2190 (Vochtige duinvalleien) in de duingebieden is te verklaren door verschillen in stikstofdepositie en hoe verhoudt zich dit tot de invloed van andere factoren?

Naast de hierboven genoemde onderzoeksvragen zijn ook per onderdeel (Hoofdstuk 2 t/m 5) meer gedetailleerde onderzoeksvragen geformuleerd.

De voorliggende rapportage beschrijft de resultaten van de meetperiode januari 2011 t/m december 2013. De metingen van de stikstofdepositie lopen nog door tot en met maart 2014, maar deze zijn niet meer verwerkt. Aangezien de ingebruikname van MV2 nog niet is voorzien voor het najaar van 2014, kunnen metingen uit 2014 bij een toekomstige evaluatie nog meegenomen worden als een verlengde van de T=0 fase.

1.6 Aanpak op hoofdlijnen

Om veranderingen in kwaliteit en oppervlakte van Vochtige duinvalleien, Grijze duinen en de populatieomvang van groenknolorchis te kunnen volgen en relateren aan de stikstofdepositie afkomstig van het gebruik van MV2, worden de volgende zaken gemonitord binnen het onderzoeksgebied:

- stikstofdepositie (zie hoofdstuk 2);
- omvang en kwaliteit Vochtige duinvalleien, Grijze duinen en populatie Groenknolorchis (zie hoofdstuk 3);
- de belangrijkste overige factoren die van invloed zijn op de habitattypen en groenknolorchis, waaronder zanddynamiek, beheer, bodem, weer en water (zie hoofdstuk 4).

De wijze waarop de monitoring voor deze onderwerpen wordt uitgevoerd is in detail beschreven in de genoemde hoofdstukken en in de meetprotocollen in [bijlage 2 en 3](#).

De resultaten van de verschillende onderdelen worden gebruikt als input voor multivariate en temporele statistische analyses (Hoofdstuk 5). De resultaten van deze analyses geven inzicht in de trends in de vegetatie en de relatieve invloed van stikstofdepositie en andere factoren op de vegetatiesamenstelling (op PQ-locaties) en de kwaliteit van de habitattypen.

2 Stikstofdepositie

2.1 Inleiding

Door antropogene activiteiten rondom de duinen komen er verschillende luchtverontreinigende componenten op de duinvegetatie terecht. Voorbeelden daarvan zijn ammoniak (NH₃) en stikstofdioxide (NO_x). De stikstof (N) in deze gassen werkt als meststof en draagt bij aan een verlies aan biodiversiteit in de duingebieden.. Met de aanleg van MV2 kunnen de hoeveelheden gassen en deeltjes die op de Natura 2000 gebiedenterecht komen veranderen. De hier beschreven atmosferische metingen moeten daar een beeld van geven.

2.2 Methodiek

In dit deel van het project worden metingen uitgevoerd die twee dingen in beeld moeten brengen:

1. de ruimtelijke variatie in stikstofdepositie op de habitattypen 2130 en 2190 in het onderzoeksgebied;
2. de verandering in stikstofdepositie ten gevolge van MV2

In 2011 en 2012 zijn op 15 meetlocaties verschillende chemische componenten in de buitenlucht gemeten. In 2013 zijn de metingen uitgebreid tot 19 locaties met 2 extra meetpunten op MV2 zelf en twee meetpunten extra op het noord-zuid transect Hoek van Holland - Wassenaar.

Depositie van stikstof vindt zowel plaats onder natte omstandigheden met regen (natte depositie) als onder droge omstandigheden (droge depositie). Daarbij is de verhouding tussen de droge en natte depositie generiek over Nederland ongeveer 2:1. Om zowel de droge als de natte depositie te bepalen worden verschillende meetsystemen ingezet.

2.2.1 Natte depositie

De natte depositie wordt gemeten met bulk of wet-only regenvangers. De bulkvangers staan altijd open aan de lucht en krijgen een deel droge depositie mee, terwijl de wet-only vangers alleen neerslag verzamelen als het regent. Dit laatste levert een nauwkeurigere meting van de totale natte depositie op. Echter, daar staat tegenover dat wet-only depositiemetingen aanzienlijk duurder zijn ten gevolge van het complexere monstername apparaat. Op basis van deze overweging is er gekozen om op twee locaties de metingen met zowel bulk als wet-only vangers uit te voeren en op de andere locaties of een bulk of een wet-only vanger te installeren.



Figuur 2.1: Voorbeeld van een meetopstelling met van links naar rechts, een "wet-only" regen vanger, een bulk depositievanger, de 220 V aansluiting, de paal met meteostation (bovenop) en deltanuder (kast in het midden, zie hieronder)

2.2.2 Droge depositie

De droge depositie kan op verschillende manieren worden bepaald. In dit project wordt de droge depositie indirect bepaald. Omwille van de kosten wordt niet het neerwaartse transport gemeten maar wordt er gebruik gemaakt van de zogenaamde inferentie methode. Daarbij wordt op één hoogte de concentratie (de hoeveelheid gas of deeltjes in de lucht) gemeten. Dat gebeurt met meetapparatuur die maandgemiddelde concentratieniveaus bepaald. De concentratie hangt samen met het neerwaartse transport volgens een eenvoudige formule:

$$\text{Depositie} = \text{Concentratie} \times \text{Depositatiesnelheid}$$

Door een depositatiesnelheid aan te nemen kan dus uit een concentratieniveau een depositieniveau worden berekend. De depositatiesnelheid kan worden bepaald via drie afzonderlijke parameters: Ra, Rb, Rc volgens:

$$V_d = 1 / (R_a + R_b + R_c)$$

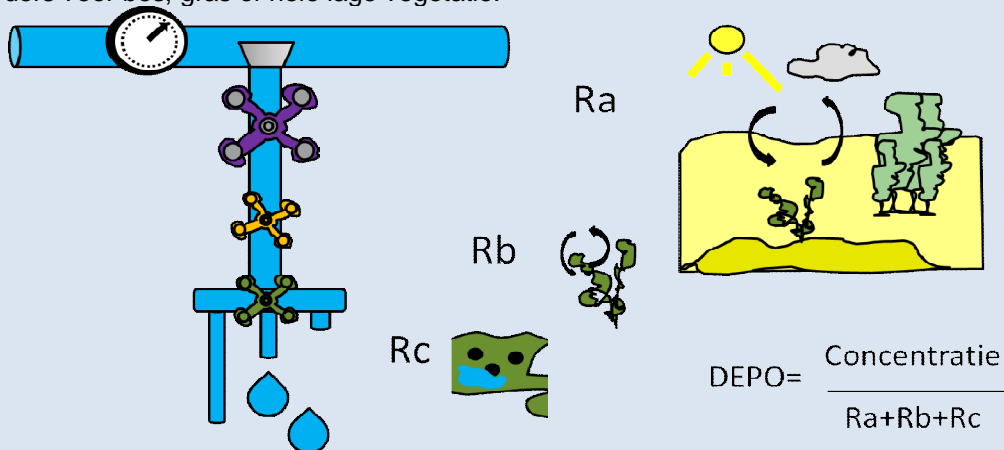
Hierin is Ra afhankelijk van de ruwheid van het terrein om het meetpunt heen. Feitelijk beschrijft deze parameter hoe makkelijk lucht vanuit grotere hoogte naar het oppervlak gemengd wordt. Rb beschrijft het diffuse deel van het transport vlak bij de vegetatie; deze hangt ook af van de windsnelheid en van de component. Rc beschrijft hoe gemakkelijk een chemische stof door gewas of bodem wordt opgenomen. Zo wordt ammoniak sneller en gemakkelijker opgevangen door het oppervlak dan bijvoorbeeld stikstofoxides.

De formules waarmee Ra, Rb en Rc (en dus de depositatiesnelheden) worden afgeleid zijn in de wetenschappelijke literatuur beschreven en bepaald met meer geavanceerde meetsystemen. Die metingen zijn niet echt beschikbaar binnen duingebieden. En het gevolg is dat de schatting voor een dergelijke meting, voor een locatie en een maand, een onzekerheidsmarge kan hebben in de orde van 50-100%. Zolang deze onzekerheid alleen maar random is kunnen we met 15 meetstations en 12 meetsessies per jaar per station uiteindelijk toch een uitspraak doen over wat er gebeurt ten gevolge van activiteiten in het MV2 monitoringgebied.

Kader 1: Wetenschappelijke onzekerheid versus gekozen werkelijkheid.

De hoeveelheid gas of deeltjes in de atmosfeer is als druk in een waterleiding (=concentratie). Vanaf die leiding, die in de atmosfeer overeen zou komen met lucht die over een oppervlak stroomt, zijn er drie kranen. Dat zijn weerstanden die bepalen hoeveel er aan druppels (=depositie) op het oppervlak terecht komt. Afhankelijk van de stand van de kranen is de weerstand hoog of laag en verandert, ook bij gelijke druk, de stroom van het water naar het oppervlak.

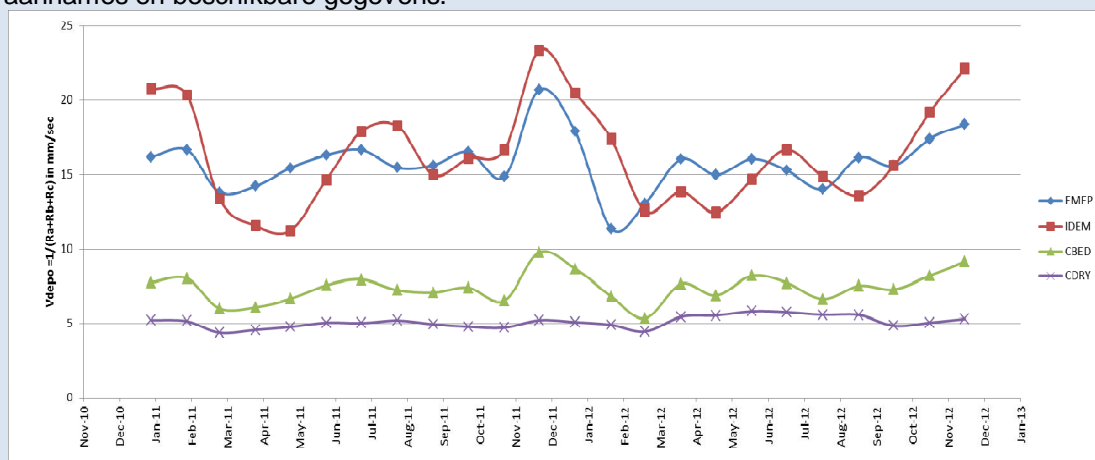
In de atmosfeer is de eerste weerstand Ra. Deze wordt bepaald door de turbulentie boven het oppervlak. Ra geeft aan hoe makkelijk gas uit hogere luchtlagen naar de vegetatie wordt gemengd. Het laatste stuk van dat transport is meer turbulent maar wordt door diffusie gecontroleerd. Deze tweede weerstand is afhankelijk van de meteorologie en het soort gas en heet Rb. Als laatste is de vegetatie meer ontvankelijk voor het ene gas dan voor het andere, via de huidmondjes of via het oppervlak. Huidmondjes staan verder open indien zonlicht en vocht beschikbaar zijn, en de formules die Rc beschrijven houden daar rekening mee. Die zijn dus anders voor bos, gras of hele lage vegetatie.



Figuur 2.2: Schematische weergave van de relatie tussen concentratie in de lucht en depositie naar het oppervlak toe.

Experimenten, wereldwijd zijn gebruikt om formules af te leiden die data zoals windsnelheid, temperatuur, zonlicht en vochtigheid vertalen in waarden voor Ra, Rb en Rc. Er verschillen internationale modellen in gebruik. Die modellen zijn het lang niet altijd eens en dat komt dus door verschillen van inzicht en of verschillen in de onderliggende datasets. Er zijn modellen die ontwikkeld zijn voor bossen en uitgebreid zijn voor andere vegetatietypen etc.

Flechard et al. 2011 hebben een vergelijking gedaan van een Europese set metingen met Deltadenuders net zoals die op MV2 zijn gebruikt. De publicatie laat daar de verschillen tussen de modellen goed zien. Masshad et al (2010) bediscussieert een waslijst aan onderliggende aannames en beschikbare gegevens.



Figuur 2.3: Voorbeeld hoe verschillende modellen een andere depositiesnelheid voor SO₂ uitrekenen met als invoer de meteo gemeten in het MV2 project voor 2011 en 2012.

2.2.3 Meetopzet

In dit project werden natte depositiemetingen uitgevoerd met een combinatie van wet-only en bulk samplers op 7 locaties in een gradiënt langs de kust. De resultaten van de metingen moeten laten zien of er verschillen zijn en of we eventueel met minder van deze metingen uit kunnen (met andere woorden: is de natte depositie homogeen genoeg). Op twee locaties (Goeree en Solleveld) staan zowel een bulk als een wet-only systeem naast elkaar. Deze twee sets dienen als ijkpunt om te kunnen bepalen welke verhouding er is tussen de metingen met het (goedkope) bulk meetsysteem en het (duurdere) wet-only meetsysteem. De meetsystemen zijn maandelijks bezocht door een medewerker van Grontmij, de monsters zijn verzameld en gewogen bij ECN en de analyses vonden plaats bij Alterra.

De componenten die in de watermonsters zijn bepaald zijn weergegeven in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Chemische bepalingen in de natte depositiemetingen (bulk en wet-only).

Component	Eenheid	Uitleg
Hoeveelheid regen	mm	
EC	$\mu\text{S cm}^{-1}$	Geleidbaarheid
Cl	mg/l	Chloride, langs de kust met name afkomstig van zeezout
Ca	mg/l	Kation, wisselt uit met bijvoorbeeld NH_4
K	mg/l	Kation, wisselt uit met bijvoorbeeld NH_4
Mg	mg/l	Kation, wisselt uit met bijvoorbeeld NH_4
Na	mg/l	Natrium, langs de kust met name afkomstig van zeezout
P- PO_4	mg/l	Fosfaat, goede indicator voor vogelpoep
S- SO_4	mg/l	Sulfaat bijvoorbeeld afkomstig van zware stookolie & raffinage
pH		Zuurgraad van de regen
N- NH_4	mg/l	Ammonium, van ammoniak afkomstig
N- NO_3	mg/l	Nitraat, afkomstig van bijvoorbeeld NO_x emissies
Nts	mg/l	Totaal stikstof gehalte

De droge depositie is berekend voor verschillende componenten door met Deltadenuders en NO_x passieve samplers de concentraties te bepalen in 15 gebieden in zowel parallel aan de kust als kustdwarse gradiënten. Inferential berekeningen moeten vervolgens een indicatie van de droge depositie opleveren. De componenten die in Deltadenunder-filterpacks zijn bepaald zijn weergegeven in Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Chemische bepalingen voor de droge depositie metingen.

Gassen	Beschrijving	Omdat
NH_3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ Ammoniak	Belangrijk voor N depositie op vegetatie, bron met name landbouwactiviteiten
HCl	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ Zoutzuur	Verzurend bron industrieel
HNO_2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ Salpeterig zuur	Verzurend & N depositie bron industrie & reactie van NO_x in de atmosfeer
HNO_3	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ Salpeterzuur	Verzurend & N depositie bron industrie & reactie van NO_x in de atmosfeer
SO_2	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ Zwavel dioxide	Bronnen raffinage & scheepvaart goed tracer voor MV emissies
NO_x	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ Stikstofdioxide	N depositie en Ozon vorming. Bron: verbrandingsmotoren N depositie
Deeltjes		
Ca	$\mu\text{g}/\text{m}_3$ Calcium	Basische kationen, wisselen uit met NH_4
Mg	$\mu\text{g}/\text{m}_3$ Magnesium	Idem
K	$\mu\text{g}/\text{m}_3$ Kalium	
Na	$\mu\text{g}/\text{m}_3$ Natrium	Natrium Chloride is belangrijkste deel voor zeezout
CL	$\mu\text{g}/\text{m}_3$ Chloride	Idem
NH_4	$\mu\text{g}/\text{m}_3$ Ammonium	Belangrijk onderdeel van fijnstof bronnen: landbouw

NO ₃	µg/m ₃	Nitraat	Belangrijk onderdeel van fijnstof bronnen: verbrandingsmotoren.
SO ₄	µg/m ₃	Sulfaat	Belangrijk onderdeel van fijnstof bronnen: raffinage & scheepvaart plus een deel natuurlijk.

2.3 Uitgevoerde werkzaamheden

In 2011 en 2012 zijn de metingen op de 15 meetstations uitgevoerd. In december 2012 zijn er 4 stations aan deze set toegevoegd om een beter beeld te krijgen van wat er op de MV2 zelf gebeurt en of er ten noorden van Solleveld nog een signaal gemeten wordt.

In 2011 werden de verschillende onderdelen van het meetsysteem geplaatst en zijn de metingen van start gegaan. In 2011 en 2012 hebben de meetsystemen naar tevredenheid gewerkt en zijn meetresultaten voor de 15 locaties beschikbaar gekomen. Ook in 2013 zijn de metingen goed verlopen. Er is een hoge datadekkingsgraad voor alle chemische data verkregen. De wet-only metingen zijn wel storingsgevoelig door de bewegende delen. De Deltadenuiders, ook de sets die op zonne-energie hebben gemeten, hebben het erg goed gedaan en lijken een consistente dataset op te leveren.

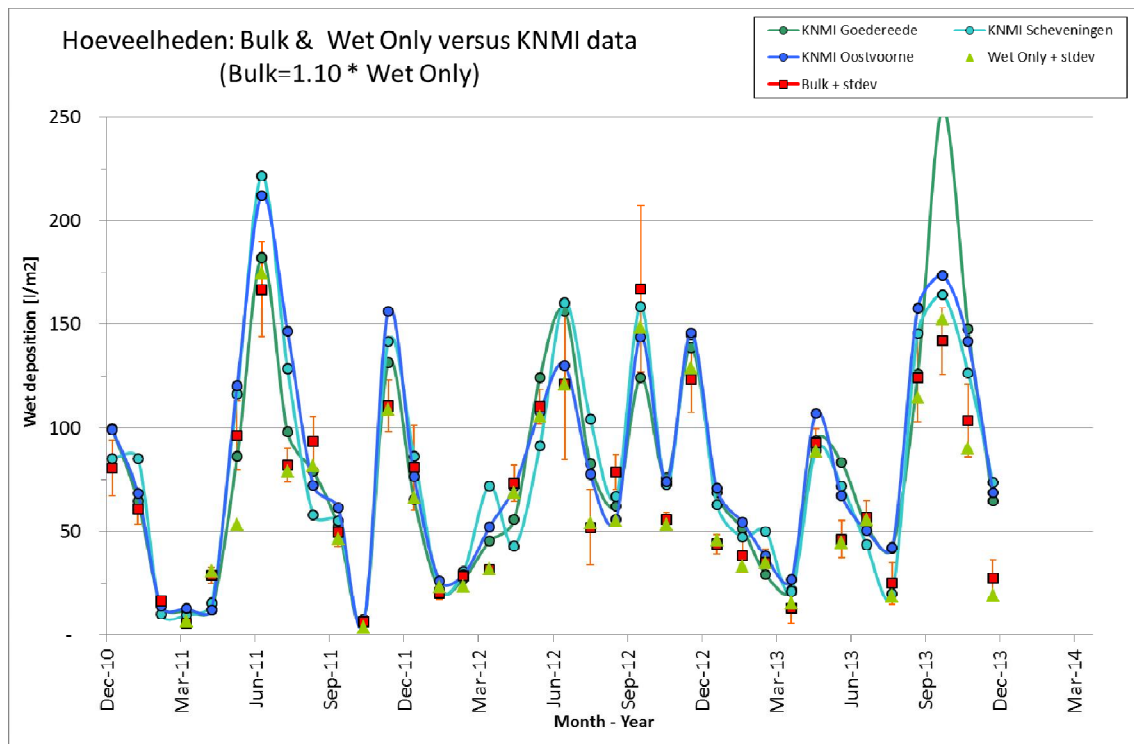
Bij Panduin wijken de Deltadenuider metingen in de tweede helft van 2011 en de eerste helft van 2012 sterk af van de andere stations, hetgeen veroorzaakt is door technische storingen. Deze metingen zijn uit de rapportage gelaten.

2.4 Resultaten

2.4.1 Natte depositiemetingen

Hoeveelheden

De natte depositiemetingen op de verschillende locaties zijn voor wat betreft de hoeveelheden verzameld materiaal vergeleken met drie meetstations van het KNMI (Goedereede, Oostvoorne en Scheveningen). Het resultaat van deze vergelijking is weergegeven in Figuur 2.4. De punten in het plaatje geven de gemiddelde hoeveelheden monster van de bulk of wet-only samplers aan. De verticale balken geven de standaarddeviatie van de bepalingen op de verschillende stations weer. Het is duidelijk dat met name in de maanden met een aanzienlijke hoeveelheid neerslag, de spreiding relatief groot is. Echter, de trend over de maanden komt goed overeen met de KNMI data. Over de hele episode vangen de bulk samplers 14% minder water in dan op de KNMI stations wordt gemeten. Voor de wet-only stations is dat 18%. De KNMI stations zelf hebben in de drie jaar eenzelfde hoeveelheid regen gemeten (binnen 1%). De bulk metingen bevatten gemiddeld 10% meer water dan de wet only systemen.

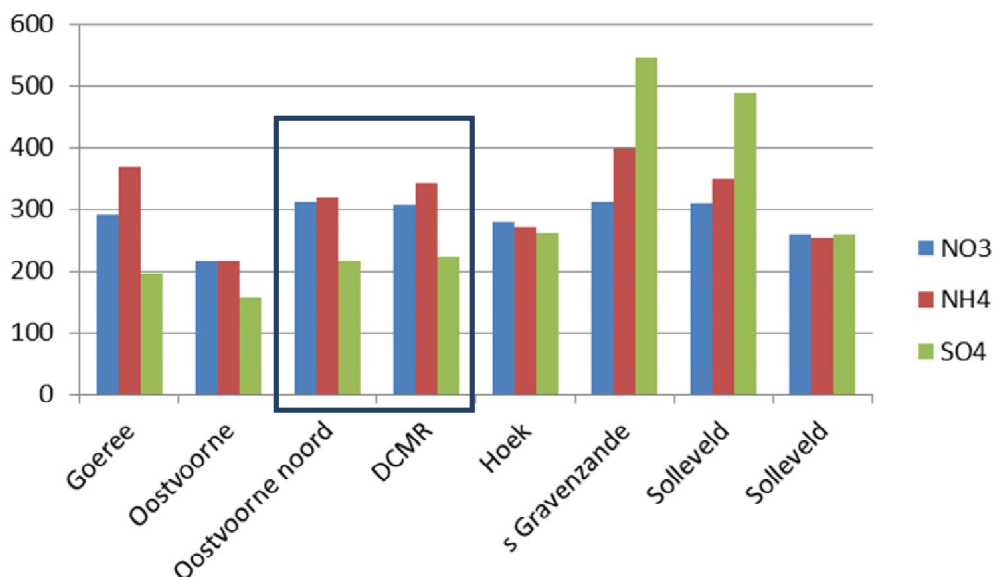


Figuur 2.4: Hoeveelheden water opgevangen in de bulk en wet only systemen. De waarden lopen goed mee met wat KNMI voor depositiehoeveelheden rapporteert. De drie lijnen geven KNMI data voor drie verschillende stations weer. Ook daar geldt dat de verschillen soms groot kunnen zijn, maar in de regel valt ongeveer overal de zelfde hoeveelheid.

Chemische samenstelling

Naast de hoeveelheid is de gemeten samenstelling van de watermonsters interessant. Het is immers te verwachten dat benedenwinds van grote bronnen meer materiaal uitregent dan op schone locaties.

Om te zien in hoeverre de monsternamen en analyses van de natte depositiemetingen overeenkomen met die van "collega instituten" zijn in Figuur 2.5 zijn de concentraties van NO_3 , NH_4 en SO_4 voor de verschillende sites weergegeven. Naast de waarden van het eigen meetnet zijn ook de concentraties van een nabijgelegen (bij Oostvoorne Noord) meetpunt van het DCMR (Van Breugel pers. comm.) opgenomen in de figuur. Vergelijking van de twee bij elkaar gelegen punten laat zien dat de verschillen beperkt zijn (DCMR -1%, +8% en -3% voor respectievelijk NO_3 , NH_4 en SO_4).



Figuur 2.5: Vergelijking voor 2011 van de natte depositiewaarden voor de verschillende punten in het meetnet en de DCMR metingen. Het DCMR meetpunt ligt vlak bij het station Oostvoorne noord. Het verschil tussen de twee nabij gelegen punten, Oostvoorne Noord en DCMR station (zie box) bedroeg 1% voor NO₃, 8% voor NH₄⁺ en 3% voor SO₄²⁻. De andere staafdiagrammen laten duidelijk hogere niveaus voor NH₄ en SO₄ zien op de stations s Gravenzande en Solleveld (1), terwijl ze op de overige locatie gelijk of net iets lager zijn.

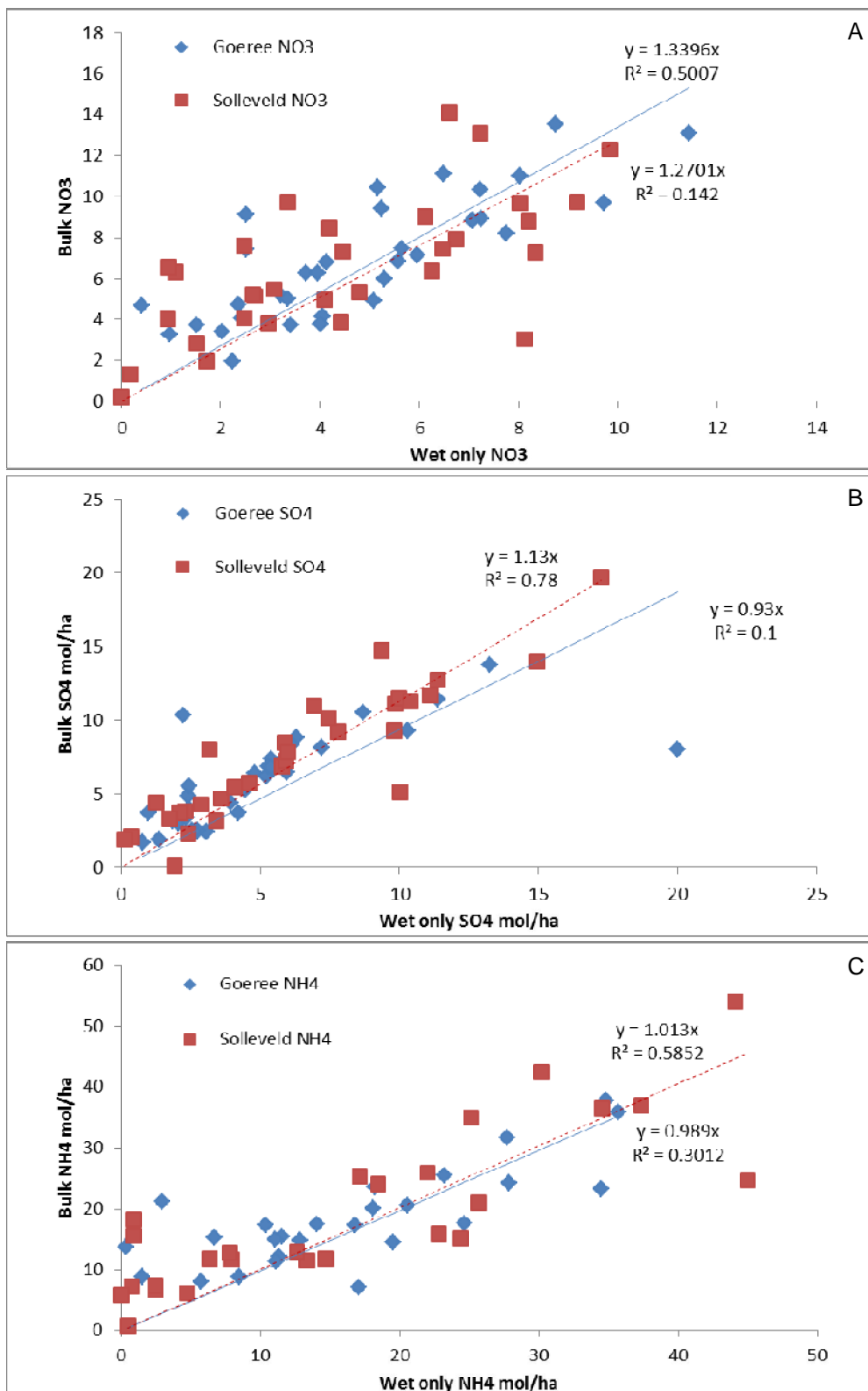
* nieuwe data voor 2012 en 2013 volgt later

Vergelijking bulk en wet only samplers

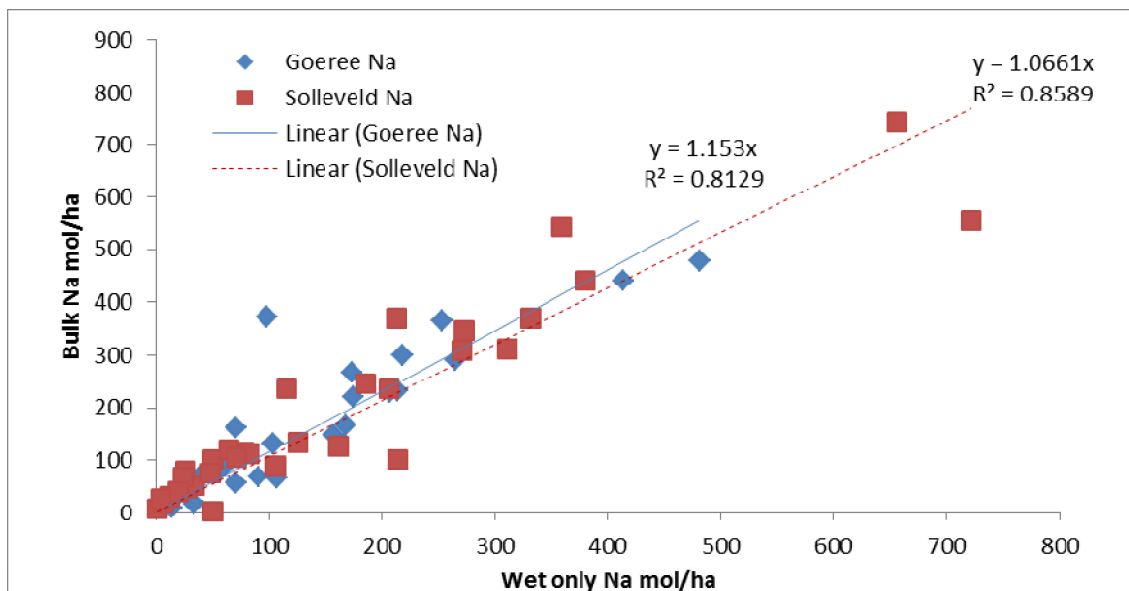
In Figuur 2.6 zijn voor de stations Goeree en Solleveld de bulk en wet-only depositiegetallen met elkaar vergeleken. Op basis van de vergelijking op deze stations werden de gegevens op alle andere stations gecorrigeerd en de natte depositie voor stikstof geschat.

De bulk metingen werden voor NH₃ en NO₃ geschaald op basis van de regressie parameters. De bulk nitraat getallen werden met 30% gecorrigeerd, de ammonium getallen hadden geen correctie nodig. De correcties tussen wet-only en bulk zijn lager dan verwacht op basis van metingen die met name op buitenlandse stations werden uitgevoerd (Draaijers et al., 1998). Bij de gekozen meetstrategie is het in theorie mogelijk dat er verdamping optreedt in de monsters. Deze worden weliswaar in de grond bewaard, en niet in een koelkast, zoals bijvoorbeeld bij het DCMR meetpunt (Figuur 2.5) wel het geval is. De goede overeenkomst in Figuur 2.5 voor de depositieschatting suggereert echter dat dit geen significante rol heeft gespeeld. Ook geeft de figuur geen aanleiding tot risico voor significante bacteriële omzetting in de monsters omdat dat deze, omwille van de kosten maandelijks en niet twee wekelijks werden gewisseld.

Indien de atmosferische samenstelling op een meetpunt dicht bij industriële bronnen heel anders is dan op de punten waar we nu de vergelijking tussen bulk en wet-only depositie hebben gemaakt dan zouden daar andere effecten op kunnen treden. We hadden op het station Hoek van Holland ook nog een vergelijking tussen bulk en wet-only kunnen doen. Uit kostenoverwegingen is besloten om dat niet te doen.



Figuur 2.6.(A, B en C): Vergelijk van wet-only en bulk depositieschattingen voor respectievelijk Nitraat, Ammonium en Sulfaat. De bulk waarden zijn gemiddeld zoals verwacht hoger dan de wet-only. Bulk metingen voor nitraat worden op basis van deze grafiek met 30% naar beneden bijgesteld. Monsters met een hoge PO₄ depositiewaarde (vogelpoep) werden uit de dataset gehaald.



Figuur 2.7: Vergelijking van wet-only en bulk depositieniveaus voor Natrium.

Zeezout

De ratio in de metingen van natrium/chloride laat in de regel een verhouding zien van 85% (Draaijers, 1993) in de MV2 dataset komen we uit op een iets hoger niveau van rond de 92%.

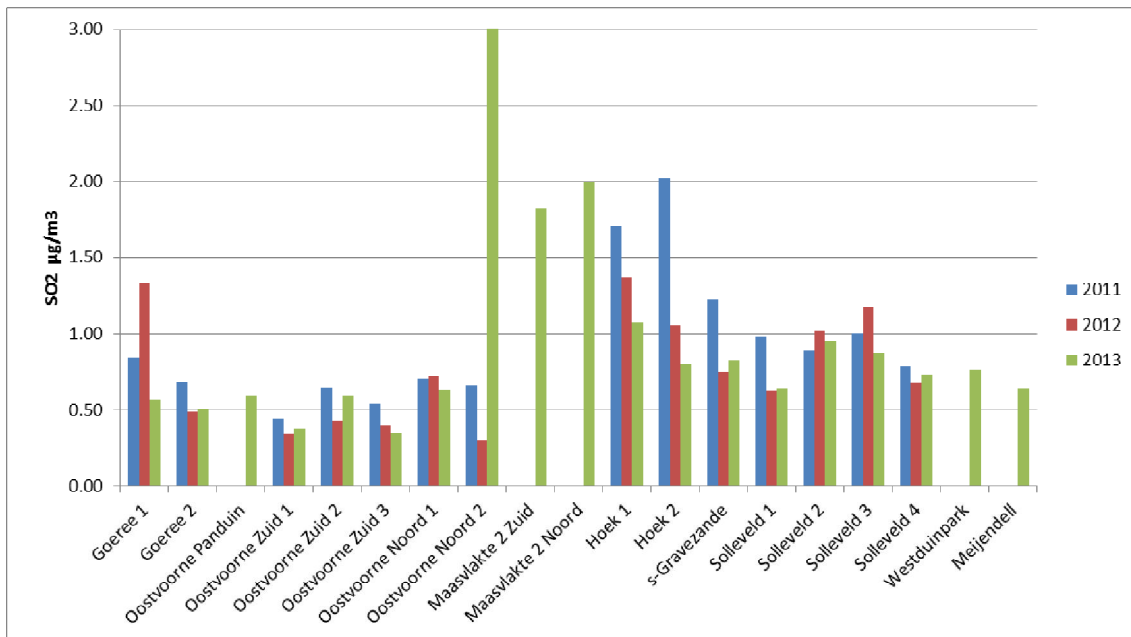
2.4.2 Droge depositie

De Deltadener systemen hebben uitstekend gefunctioneerd tot nu toe en over de hele meetperiode hebben we ca. 95% datadekking. Dat betekent bijvoorbeeld ook dat de sets die op zonnecellen en batterijen werken goed hebben gefunctioneerd. De data geven per maand een beeld van zowel de kustlangse gradiënt als de gradiënt loodrecht op de kust ter hoogte van Solleveld en de Schapenwei (Oostvoorne).

Zwavel dioxide

De metingen van de drie opeenvolgende jaren brengen ondermeer de kustlangse gradiënt in beeld. Een voorbeeld hiervan betreft de concentratie van SO_2 in Figuur 2.8.

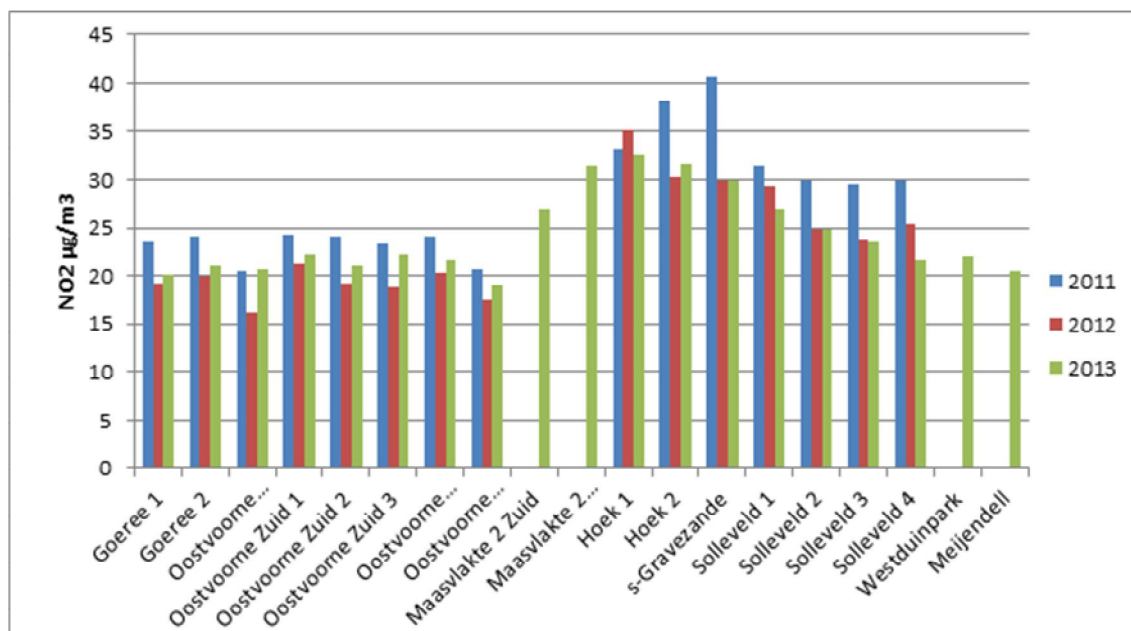
Voor alle jaren is een gradiënt waarneembaar met een maximale waarde bij Hoek van Holland en dalend naar het noorden toe. Voor Oostvoorne Noord 2 is voor december 2013 een grote SO_2 piek gemeten, waarvoor de oorzaak niet bekend is. De verhoging is echter wel in lijn met de hogere concentraties op Maasvlakte Zuid en Noord.



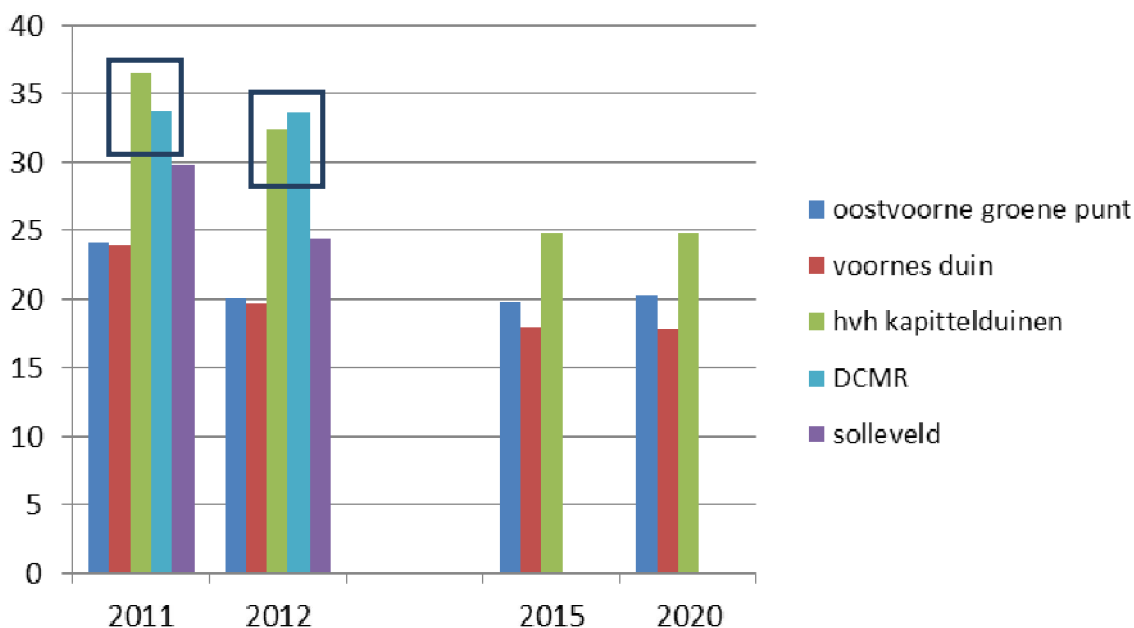
Figuur 2.8: Kustlangse gradiënt van SO₂ jaargemiddelde concentratie voor de periode 2011-2013.

Stikstofdioxide

Figuur 2.9 laat de kustlangse gradiënt van de jaargemiddelde NO₂ concentraties zien. Hier is duidelijk de verhoging van de concentraties rond de Maasvlakte te zien. Er is geen duidelijke trend in de tijd waar te nemen. De verandering van jaar tot jaar worden hier met name veroorzaakt door de meteorologische omstandigheden.



Figuur 2.9: Kustlangse gradiënt van NO₂ jaargemiddelde concentratie voor de periode 2011-2013



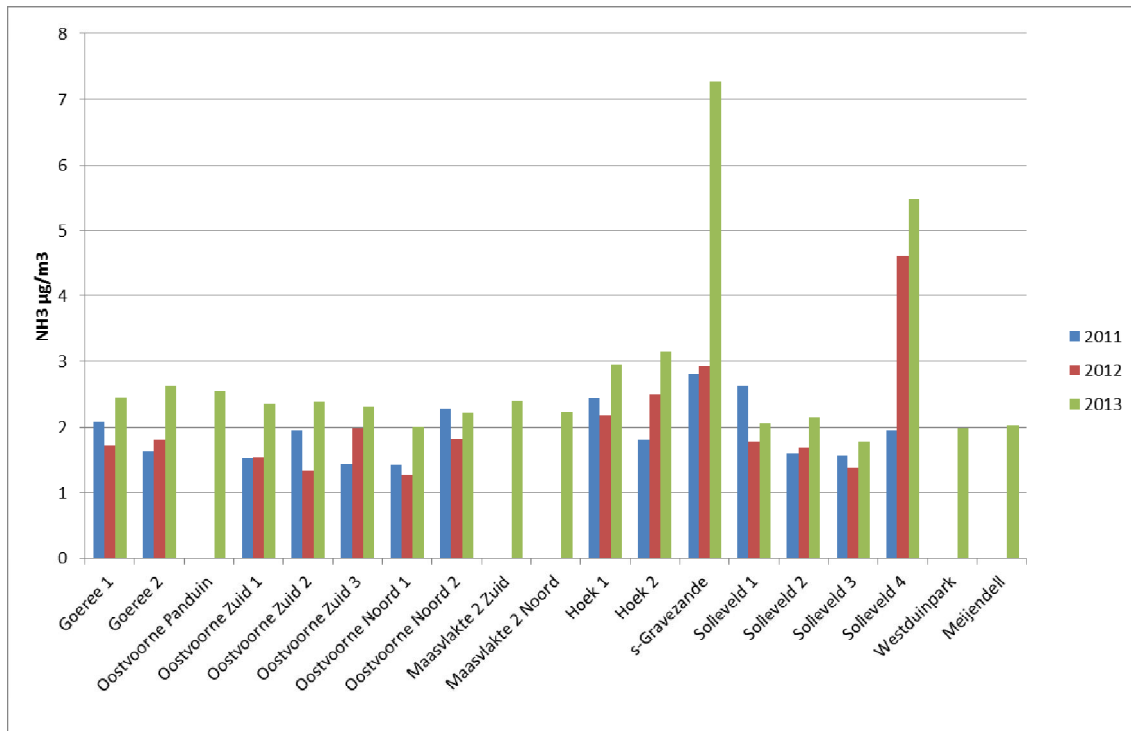
Figuur 2.10: Gemeten NO_2 concentraties op Oostvoorne, Voornes Duin en Hoek van Holland en Solleveld. De twee kaders in de grafiek laten de vergelijking zien van Hoek van Holland data met gemeten concentraties door DCMR op Hoek van Holland. De twee datasets aan de rechterkant geven de concentraties weer volgens de MV2 MER voor 2015 en 2020.

* Nieuwe figuur volgt zodra DCMR data beschikbaar is

Net als voor de natte deposities, zijn ook de concentraties voor NO_2 vergeleken met metingen van de DCMR. Het betreffen hier metingen voor Hoek van Holland. De vergelijking tussen de verschillende concentraties is opgenomen in Figuur 2.10. Naast de gemeten concentraties voor 2011 en 2012 zijn ook de 'MER concentraties' voor 2015 en 2020 weergegeven. De vergelijking met de DCMR concentraties laat zien dat de door ons gemeten waarden voor Hoek van Holland in lijn is met die van DCMR. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat de meetbuisjes uit ons meetnet de correcte concentraties laten zien, in vergelijking met de hoge resolutie metingen (in de tijd) van het DCMR.

Ammoniak

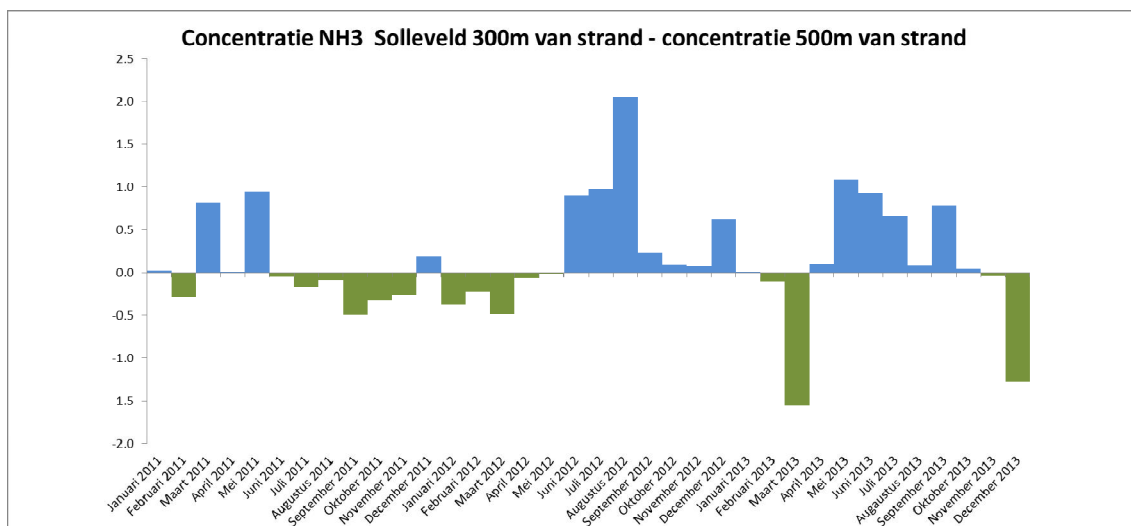
In Figuur 2.11 is de kustlangse gradiënt voor ammoniak te opgenomen. Er is op zich geen uitgesproken trend te zien. Wat wel opvalt zijn de twee hoge pieken bij 's-Gravezande en Solleveld 4. Hierbij is naar alle waarschijnlijkheid sprake van belasting van de metingen door een kudde paarden, in combinatie met de nabijheid van een veekraal/bijvoederplek. Voor 's-Gravezande is er voor 2013 ook sprake van een sterk verhoogde concentratie. De oorzaak hiervoor zijn naar alle waarschijnlijk loslopende koeien in de omgeving van de meetopstelling. De ammoniak die uit de uitwerpselen en urine vrijkomt zal de gemeten waarden op de betreffende locatie sterk beïnvloeden.



Figuur 2.11: Kustlangse gradiënt van NH₃ jaargemiddelde concentratie voor de periode 2011-2013

Emissie van ammoniak uit zee

In de rapportage van het MAN netwerk van het RIVM is aangegeven dat er een emissie van ammoniak uit zee wordt gemeten. De MV2 dataset lijkt deze hypothese te ondersteunen. Daarvoor werd gekeken naar de kustdwarse gradiënten van NH₃. Op Solleveld zijn voor ammoniak de eerste twee punten bij de kust het best om te vergelijken, het derde punt op de lijn wordt voor deze component beïnvloed door de kraal voor paarden die ten oosten van het meetpunt ligt. De twee punten op respectievelijk 300 en 500 meter uit de kustlijn laten in een aantal maanden inderdaad hogere concentraties op het kustnabije punt zien, de blauwe balken in de Figuur 2.12. De ammoniak metingen zullen overigens nog nader met de MAN data worden vergeleken.

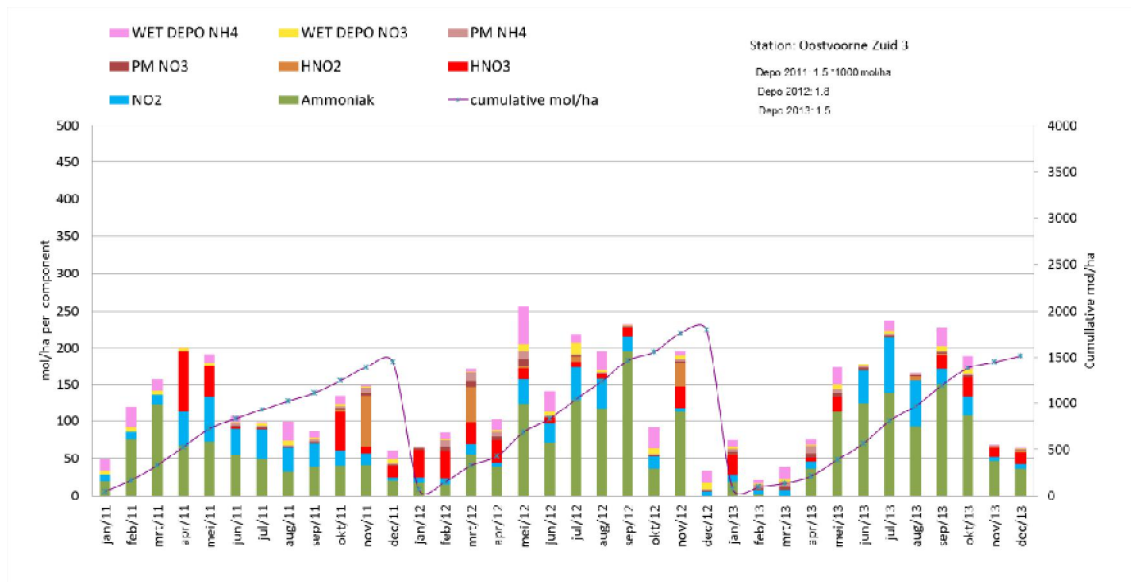


Figuur 2.12: De ammoniakconcentratie van de meetpunten Solleveld 2&3 met elkaar vergeleken. Blauw= ammoniak bij de kust hoger, groen = ammoniak meer inland hoger.

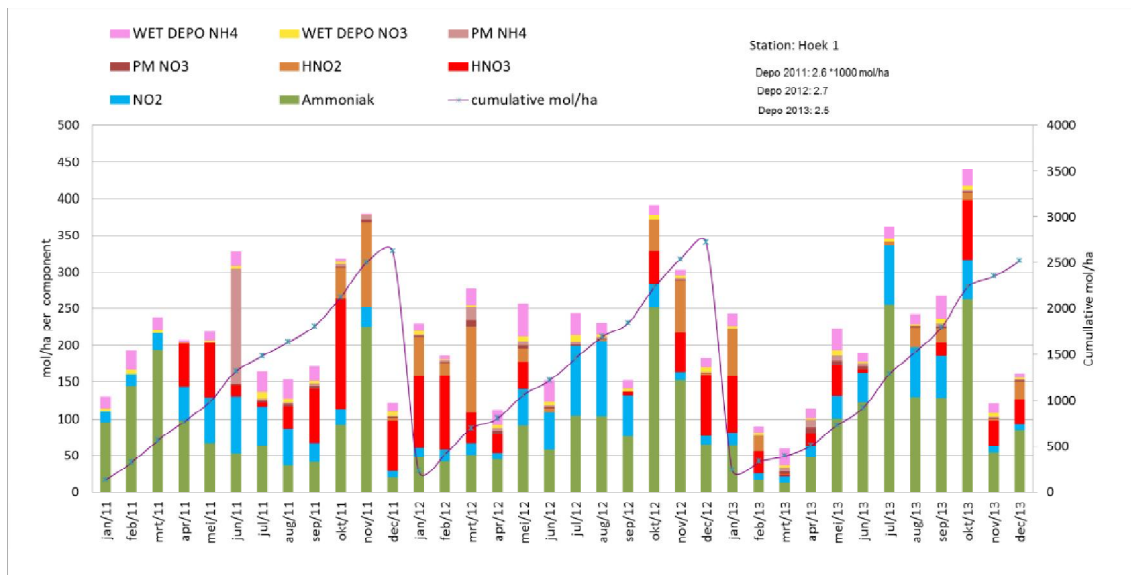
2.4.3 Totale depositieniveaus

Met de huidige datasets zijn er depositieniveaus voor de verschillende meetpunten uitgerekend. Voor sommige van die locaties waren er ook al schattingen bijvoorbeeld in het MER van de MV2.

Wanneer de natte deposities samengevoegd worden met de berekende droge deposities (o.b.v. gemeten concentraties en berekende droge depositiesnelheden), kunnen de totale deposities per site en per periode worden berekend. Figuur 2.13 en Figuur 2.14 laten deze deposities zien voor de locaties Oostvoorne Zuid 3 en Hoek 1. Uit deze figuren kan afgeleid worden welk type bron in een bepaalde periode de grootste bijdrage aan de totale depositie levert. Deze bijdrage wordt in hoge mate bepaald door de emissiesterkte van de betreffende bronnen en de overheersende windrichting.



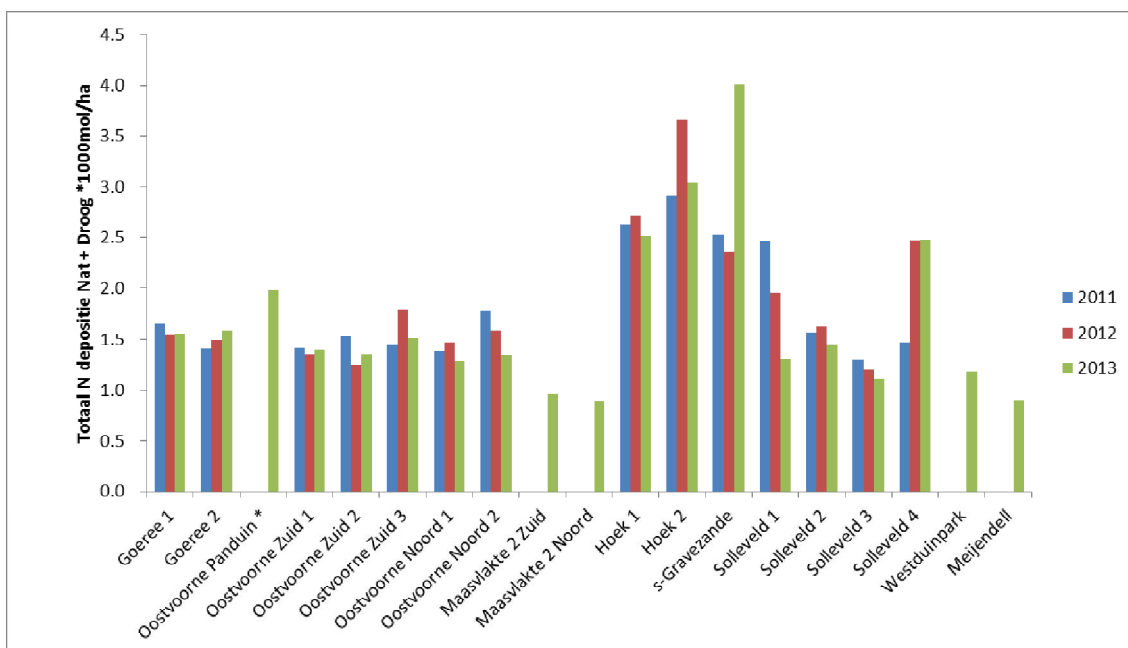
Figuur 2.13: Gemeten en berekende natte en droge depositie voor de locatie Oostvoorne Zuid 3. Weergegeven is de verdeling per maand over de verschillende componenten en de cumulatieve depositie per jaar. In de figuur staat 'bd' voor bulkdeposite en 'PM' voor Particulate Matter (aerosol)



Figuur 2.14: Gemeten en berekende natte en droge depositie voor Hoek van Holland (locatie Hoek 1). Weergegeven is de verdeling per maand over de verschillende componenten en de cumulatieve depositie per jaar. In de figuur staat 'bd' voor bulkdeposite en 'PM' voor Particulate Matter (aerosol)

Figuur 2.15 laat het totale overzicht van de deposities per site voor de periode 2011-2013 zien. Het patroon wat te zien was voor de natte depositie, is ook in de totale depositie voor de ver-

schillende jaren te zien. Opvallend is een verhoogde depositie in 2012 en 2013 voor Solleveld 4 en voor 2013 voor 's-Gravezande. Zoals al eerder aangegeven is hierbij de invloed van paarden en koeien in de nabijheid van de meetopstelling van belang.



Figuur 2.15: Totaal depositie per site voor de periode 2011-2013.

Tabel 2.3 Totale depositie (mol N/ha/jaar) voor een viertal sites volgens de MER.

Locatie	Depositie 2003	Depositie 2015	Depositie 2020	Depositie 2033
A. Het Groene Punt (Voornes Duin)	1180	1150	1078	1078
B. Voorne Noord (Voornes Duin)	1410	1383	1317	1317
C. Hoek van Holland (Kapittelduinen)	1230	1317	1527	1527
D. 's-Gravezande (duinen)	2300	2097	1694	1694

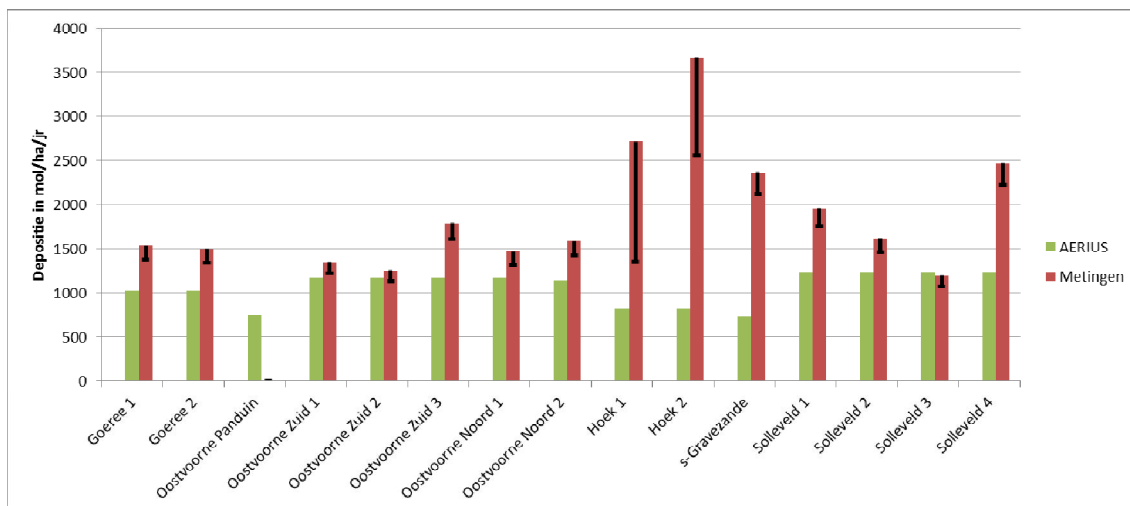
Vergelijking van de gemeten deposities met de berekende deposities volgens de MER (Tabel 2.3) laat zien dat de deposities voor Voornes Duin min of meer hetzelfde niveau hebben als hetgeen gerapporteerd. Echter, de deposities voor Hoek van Holland verschillen sterk: de gemeten deposities zijn duidelijk hoger dan de berekende waarden volgens de MER rapportage. De reden hiervoor is op dit moment nog onduidelijk en zal onderwerp moeten zijn van nader onderzoek.

2.4.4 Onzekerheden in de depositiegetallen

Onzekerheid in het gebruikte model

Er werden vier verschillende modellen getest om de berekeningen zoals we die in dit rapport presenteren te checken. En de verschillen tussen de internationaal gebruikte modellen zijn aanzienlijk zie Figuur 2.3. Wetenschappelijk gezien, zijn de waarden die volgen uit die verschillende internationaal beschikbare modellen allen even waar (zie ook de discussie in Flechard et al). Voor Nederland kunnen we wel aannemen dat de modellering in DEPAC/OPS meer getuned is op de (beperkte) set beschikbare depositiemetingen voor Nederlandse condities. Waarden uit dat model zullen dan het dichtst bij de feitelijke depositie liggen.

Na de wetenschap is het vervolgens een beleidskeus hoe voor Nederland met één en het zelfde model te rekenen. Die keus is gemaakt in de vorm van het AERIUS rekenprogramma. De onzekerheid tussen modellen en mogelijke verschillende parametrisaties is daarmee beleidsmatig "kortgesloten". Wetenschappelijk gezien dus niet weg, maar beleidsmatig minder relevant.



Figuur 2.16: De totale stikstofdepositie voor 2012, zoals berekend met AERIUS, vergeleken met de hier gerapporteerde waarden op basis van metingen.

Wat dan wel rest is de onzekerheid van een aantal bepalende invoer parameters van het model. Figuur 2.16 laat bijvoorbeeld zien dat er mogelijk grote verschillen op kunnen treden, wanneer berekende deposities van stikstof (op basis van onze metingen) geconfronteerd worden met berekende deposities volgens het AERIUS model. Een deel van dit verschil kan verklaard worden uit afwijkende input met betrekking tot de lokale ruwheid. In AERIUS wordt voor duingebieden een aantal vegetatietypen onderscheiden die een waarde voor de ruwheid krijgen die niet afhangt van de exacte plek binnen Nederland (Aben, 2012):

- Vegetatie lager dan 1 meter: ruwheidslengte 0.7 m
- Vegetatie hoger dan 1 meter: ruwheidslengte van 0.29 m
- Kaal oppervlak en stuifzand : ruwheidslengte van 0.003 m

In de berekeningen zoals we die in dit rapport presenteren zijn ruwheidslengtes per locatie gebruikt. Die liggen afhankelijk van de combinatie van orografie en vegetatie in de range van 0.01 tot 0.7m (KNMI, http://www.knmi.nl/samenw/hydra/roughness_map/index.html). Bij Hoek van Holland met een compact duinlandschap met hoogteverschillen van 5-10 meter hanteren we bijvoorbeeld een ruwheidslengte van 0.7m op basis van de KNMI kaart. Als AERIUS voor het zelfde gebied 0.29 m zou hanteren, verklaart dat een verschil in depositieniveau van 20% voor NH_3 en 17% voor NO_x . Dat is overigens voor Hoek van Holland bij lange na niet genoeg om het verschil in Figuur 2.16 te verklaren.

Ondanks die onzekerheden zijn de hier gerapporteerde waarden “as good as it gets” binnen het budget. De depositie waarden zijn in ieder geval locatiespecifiek, de variatie in meteorologie is in rekening gebracht en er is rekening gehouden met de ruwheid van het terrein.

2.5 Conclusies

Samengevat zijn dit de belangrijkste conclusies:

1. De op basis van de metingen berekende depositiegetallen zijn hoger dan verwacht op basis van de MER. De depositieniveaus rond Hoek van Holland en omstreken liggen boven de 2.5 kmol/ha
2. De metingen laten een duidelijke zuid noord gradiënt zien op de locaties van Hoek van Holland naar Meijendel, zowel in NO_x als in SO_2 .
3. De stations 's Gravenzande en Solleveld zien duidelijk hogere ammoniak concentraties ten gevolge van de nabijheid van grazers.
4. Op Hoek van Holland werd een duidelijke industriële ammoniak piek gemeten halverwege 2012 met als meest waarschijnlijke bron de kolencentrale op MV1

5. Op 's Gravenzande en Solleveld werden hoge pieken van Ca-SO_4 (gips) gemeten in een aantal maanden.
6. De ammoniak metingen op de kustdwarse gradiënten lijken de hypothese dat er NH_3 uit zee kan komen te ondersteunen.
7. Zolang er alleen concentratiemetingen en geen echte depositiemetingen worden uitgevoerd, blijft de absolute waarde van de stikstofdepositie onzeker. Maar de dataset is consistent en geschikt om in relatieve zin veranderingen in de tijd en verschillen tussen locaties vast te stellen.

1: Hogere getallen

Zowel de getallen in de MER als de getallen die AERIUS op dit moment rapporteert voor de depositie bij Hoek van Holland liggen lager dan wat de metingen laten zien. Het verschil is dermate groot dat het buiten de onzekerheidsmarge in de metingen zelf lijkt te vallen.

2: Noord zuid gradiënt

De gradiënt in concentraties langs de kust is duidelijk waarneembaar in de verschillende jaren. De dataset laat deze gradiënt in sterke mate zien bij maanden met veel zuid/zuidwesten wind, de gradiënt verdwijnt bij maanden met overwegend oostelijke aanstroming. In sommige maanden is er een duidelijke correlatie tussen de patronen van NO_2 en SO_2 . Deze correlatie duidt op een bijdrage van de raffinaderijen of de zeescheepvaart. Een NO_2 toename die niet gekoppeld is aan een SO_2 toename zou duiden op emissies van wegverkeer of bijvoorbeeld de warmtekracht-koppeling systemen in de tuinbouw.

3: Ammoniak

Deze component speelt een heel prominente rol in de depositieniveaus en de metingen laten duidelijk zien dat alleen NO_x of alleen NH_3 meten niet het hele verhaal vertelt. Ook laten de metingen zien dat op Solleveld en 's Gravenzande duidelijke emissies van NH_3 uit vee in de nabijheid van het meetstation worden gemeten.

4: Industrieel Ammoniak

Ammoniak uit andere bronnen dan de landbouw speelt een verrassende rol in de dataset. Op Hoek van Holland worden hoge NH_3 waarden gemeten tijdens maanden met zuidwestelijke wind. Eerste verdachte was de De-NOx installatie maar bij navraag bleek de NH_3 emissie waarschijnlijk afkomstig uit de CO_2 -injectietest bij de kolencentrale op MV1.

5: Gips

Ook de metingen van gipsdepositie onderstrepen het nut van chemische speciatie van de luchtverontreiniging. Hoge pieken in sulfaat hadden we niet naar de gips kunnen herleiden als we niet ook de calciumdata beschikbaar hadden gehad.

6: Ammoniak uit zee

RIVM constateerde dit al op basis van metingen met het MAN netwerk. De MV2 metingen lijken de hypothese dat er gedurende bepaalde maanden NH_3 uit het zeewater komt te ondersteunen. Gezien de rol van NH_3 in het duingebied is dit zeker nader onderzoek waard.

Onzekerheden.

Zolang er alleen concentratiemetingen en geen echte depositiemetingen worden uitgevoerd, blijft de absolute waarde van de stikstofdepositie een aanzienlijke onzekerheid bevatten. De relatieve verschillen in depositie op de verschillende meetstations en meetperiodes zijn echter wel nauwkeurig meetbaar met de huidige meetopstelling. De totale depositie-dataset ziet er consistent uit en een aantal events, hierboven besproken, onderstreept de kwaliteit van de data. Ook de vergelijking van bijvoorbeeld NO_2 en natte depositie-waarden met metingen van de DCMR zien er consistent uit.

3 Vegetatie

3.1 Inleiding

De vegetatiemonitoring is erop gericht aan het eind van de T=0 fase de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

- Wat is het actuele oppervlakte en kwaliteit van habitatype H2130 (Grijze duinen) en habitatype H2190 (Vochtige duinvalleien) in Voornes Duin, Solleveld & Kappitelduinen en de Duinen van Goeree?
- Wat is de actuele populatieomvang en verspreiding van de Groenknolorchis in Voornes Duin en de Duinen van Goeree?

De vegetatiemonitoring heeft betrekking op drie Natura-2000 gebieden: Duinen Goeree & Kwade Hoek, Voornes Duin, en Solleveld & Kapittelduinen. Van deze drie gebieden is alleen Voornes Duin volledig gemonitord, van de andere twee gebieden valt slechts een deel onder de monitoring. Voor het Natura 2000-gebied Duinen Goeree & Kwade Hoek betreft dit de deelgebieden Middelduinen, Oostduinen en Kwade Hoek, en voor het Natura-2000 gebied Solleveld & Kapittelduinen betreft dit de deelgebieden Solleveld, Van Dixhoorndriehoek en Vinetaduin. De Westduinen van Goeree zijn niet meegenomen in de vegetatiemonitoring aangezien hier bij aanvang van het onderzoek nog weinig oppervlak van de relevante habitattypen aanwezig waren. Door herstelmaatregelen kan dit mogelijk in de toekomst veranderen. De deelgebieden van dit het Natura 2000-gebied Solleveld & Kapittelduinen zijn dermate verschillend van karakter dat zij in de analyses in een aantal gevallen apart zijn behandeld.

Voor de monitoring is gebruik gemaakt van vier methoden: PQ's, structuurkartering, kartering van vegetatietypen en kartering van aandachtsoorten. Niet alle methoden zijn in alle gebieden toegepast, de toepassingsgebieden worden onder de betreffende methoden genoemd. Van de hier genoemde methoden is alleen die met PQ's gestart in 2011, en in alle gebieden toegepast. De andere methoden, te weten PQ analyse en vegetatie/habitat kartering zijn in 2012 toegepast en worden in deze rapportage methodisch en inhoudelijk toegelicht.

3.2 Methoden

Voor alle methoden geldt dat een zo exact mogelijke herhaalbaarheid van het grootste belang is. Daarom zijn gedetailleerde protocollen ([bijlage 2b](#)) opgesteld waarin is aangegeven op welke wijze welke factoren in het veld opgenomen of gemeten moeten worden. Hiermee wordt getracht te komen tot een maximale standaardisatie. De methoden worden hieronder nader toegelicht.

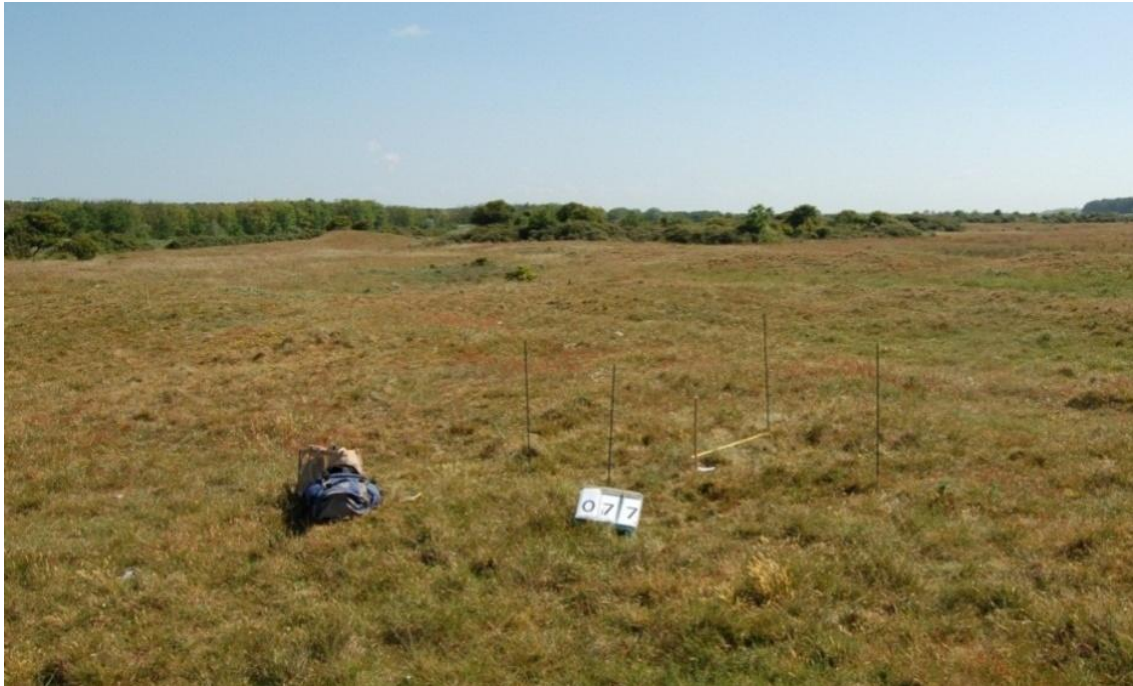
3.2.1 PQ-opnamen

Permanente kwadraten (PQ's) zijn in het veld vastgelegde vlakken waarin met regelmatige intervallen de vegetatie wordt beschreven. Hiermee kunnen veranderingen in vegetatiestructuur en soortensamenstelling nauwkeurig worden gevolgd (gemonitord). Indien gelijktijdig abiotische veranderingen worden gemonitord, kan met statistische technieken worden geanalyseerd welke abiotische veranderingen mogelijk hebben bijgedragen aan de veranderingen in de vegetatie.

Voor MEP Duinen wordt gewerkt met cirkelvormige PQ's met een oppervlakte van 4 m² (R=1,13 m) die worden vastgelegd zonder permanente markering. Slechts de coördinaten van de PQ's worden vastgelegd, en de locaties van de PQ's ([bijlage 3 en 6](#)) worden voorafgaand aan de op-

name teruggezocht met behulp van DGPS en tijdelijk gemarkeerd (Figuur 3.1). Verder is er voor gekozen om de PQ's gestratificeerd per gebied en per habitattypen, willekeurig (random) te verdelen. Op deze wijze leveren de PQ's een onbevooroordeelde ('unbiased') schatting van het oppervlak van elk vegetatietypen. Verder is er voor gekozen om alle fotosynthetiserende planten (vaatplanten, mossen en korstmossen) op te nemen. Verdere methodische detail worden gegeven in [bijlage 2b](#). Naast de nieuw aangelegde PQ's zijn ook reeds bestaande PQ's opgespoord, en deels geanalyseerd.

Doel van de PQ's is (a) het in detail vaststellen van lokale veranderingen in kwaliteit van Habitattypen, en (2) het relateren van deze veranderingen aan (veranderingen) in abiotische condities. Doel van het opsporen en analyseren van de reeds bestaande PQ's is het karakteriseren van autonome veranderingen die al optraden voor de ingebruikname van de MV2.



Figuur 3.1: PQ gelegen in een goed ontwikkeld droog duingrasland (H2130) in de duinen van Goeree; rechts van het nummerbord is met een piket het middels DGPS bepaalde middelpunt zichtbaar ten opzichte waarvan de op te nemen vegetatie tijdelijk wordt gemarkeerd (PQ 77).

De PQ's zijn opgenomen door Rik Huisjes van Alterra WUR.

3.2.2 *Structuur-, vegetatie- en soortkartering*

Doel van de structuurkartering is om areaalveranderingen vast te stellen van de habitattypen H2130 en H2190, op het niveau van 'hoofd' habitattypen (dus niet van subtype a, b, c of d). Het detailniveau van de vegetatiekartering is groter dan dat van de structuurkartering en vindt plaats op het niveau van plantengemeenschappen volgens de indeling van De Vegetatie van Nederland (Schaminée et al. 1996, 1998; verder aangeduid als 'DVN'), binnen de kaartvlakken die behoren tot habitattypen H2130 en H2190. Doel van de vegetatietypenkartering is grootschalige veranderingen in de kwaliteit van Habitattypen 2130 en 2190 vast te stellen. De kartering van soorten is aanvullend op de vegetatietypenkartering en kan (in combinatie met de PQ's) vastgestelde kwaliteitsveranderingen nader onderbouwen en bijdragen aan het opsporen van de oorzaken daarvan. Bij de te karteren soorten hoort ook de Groenknolorchis die een beschermde status onder de Habitatrichtlijn geniet en daarom een individueel doel van onderzoek is.

Structuur- en vegetatiekartering

Sequentiële vegetatiekartering is een methode om over een groot oppervlak op tamelijk grove wijze de veranderingen in vegetatie te monitoren. In dit project wordt de kartering op drie niveaus uitgevoerd: (1) vegetatiestructuur, integraal over de gebieden 'Voornes Duin' (1.400 ha)

en 'Solleveld & Kapittelduinen' (720 ha); (2) vegetatietype, binnen de habitattypen H2130 (Grijze duinen) (in een aantal transecten) en H2190 (Natte duinvalleien) (integraal) in de twee bovengenoemde gebieden (totaal ca. 300 ha); en (3) soortkartering, voor een selectie van typische soorten en procesindicatoren van bovengenoemde twee habitattypen, binnen die habitattypen. De 'Duinen van Goeree' en het duincompensatiegebied 'Spanjaardsduin' worden dus niet gekarteerd. De hier gepresenteerde methodiek is gebaseerd op het 'Methodiekdocument kartering habitattypen Natura 2000' van Projectgroep Habitatkartering (Alterra werkdocumenten, september 2010).

Voor het beschrijven van de nulsituatie zijn alle karteringen eenmalig uitgevoerd, in 2012. De hier gegeven beschrijving van de methoden is zodanig dat op een later tijdstip een herhaling met exact dezelfde methode mogelijk is.

Op basis van actuele luchtfoto's is een allereerste geautomatiseerde luchtfoto segmentatie uitgevoerd met Ecognition (Trimble). Een degelijke interpretatie gaat het beste op basis van false color luchtfoto's. Deze waren jammer genoeg niet op voorhand beschikbaar maar door een gelukkige samenloop van omstandigheden konden wij toch beschikken over deze false color data voor de terreinen Voorne (eigendom ZHL) en Solleveld en Kapittelduinen. Voor dit laatste deelgebied is gebruik gemaakt van een eerdere segmentatie op basis van de 2009 luchtfoto, deze bleek op het eerste gezicht nog voldoende actueel. Door een goede samenwerking met Natuurmonumenten konden wij beschikken over de vlakdekkende karteringen van 2011 (Goeree) en 2012 Voorne (NM deel). De segmentatie grenzen van de kaartvlakken in de 2009/2010 habitatype kaart voor de habitattypen H2190 natte duinvallei en H2130 grijs duin zijn in het veld nagelopen en zijn op zicht waar nodig gecorrigeerd.

Alle vlakken zowel de oude vlakken uit 2009/2010 in Solleveld en Kapittelduinen als de nieuwe indeling voor Voorne 2012 is per kaartvlak een directe toedeling aan een vegetatietype conform de syntaxonomie volgens Schaminée et al. (de vegetatie van Nederland). Hierbij is gebruik gemaakt van de veldsleutel van Schaminée et al. 2011. Op basis van floristische samenstelling in combinatie met bedekking van de individuele soorten kan ieder vlak worden toegedeeld aan een of meerdere vegetatietypen en uiteindelijk doorbetaald naar habitatype, hierbij is gebruik gemaakt van de vertaaltabel opgesteld door het ministerie van economische zaken (Ministerie EZ, 24 maart 2009).

De habitatkaarten zijn als bijlagen in [bijlage 2a](#) toegevoegd.

Soortenkartering

Tevens is voor gekarteerde vlakken vastgesteld of een of meerdere van de onderstaande (Tabel 3.1) indicatie soorten aanwezig waren. Per karteervlak is bedekking van een dergelijke soort geschat binnen het vlak gebruikmakend van de klasse indeling volgens Tansley. De gekarteerde proces indicatie soorten geven een beeld of processen als verstuiwing of zanddynamiek een rol speelt in dit karteervlak. Voor methodische details wordt verwezen naar de [bijlage 2b](#).

Tabel 3.1: Gekarteerde soorten

NL-naam	Wetenschappelijke naam	Habitatype	Status *	Proces-indicator **
Duinaveruit	Artemisia campestris ssp. Maritime	2130A	K	
Kruisbladgentiaan	Gentiana cruciata	2130A	E	
Liggende asperge	Asparagus officinalis ssp. prostratus	2130A	E	
Hondsvioltje	Viola canina	2130C	Ca	
Ondergedoken moerasscherm	Apium inundatum	2190A	K	
Armbloemige waterbies	Eleocharis quinqueflora	2190B	K	
Groenknolorchis	Liparis loeselii	2190B	K	

Knopbies	Schoenus nigricans	2190B	K	
Parnassia	Parnassia palustris	2190B	K	
Slanke gentiaan	Gentianella amarella	2190B	K	
Vleeskleurige orchis	Dactylorhiza incarnata	2190B	K	
Blauwe zeedistel	Eryngium maritimum			Z, ZV
Rond wintergroen	Pyrola rotundifolia			DV
Zeewolfsmelk	Euphorbia paralias			ZV, Z
Fraai duizendguldenkruid	Centaurium pulchellum			DV
Moeraskartelblad	Pedicularis palustris			DV
Zilte rus	Juncus gerardi			ZV

* Status Ca = constante soort goede abiotische toestand; K = karakteristieke soort; E = exclusieve soort

** Processindicatorsoorten zijn aangegeven op de basis van expertkennis: Z = zand verstuiving / zand dynamiek en ontstaan van pionier condities; DV = goed ontwikkeling van duinvallei of overgang tussen natte vallei en Grijze duinen; ZV = zout invloed (saltspray of zeewater)

De kartering is uitgevoerd in de periode augustus t/m september 2012 door Rien Stolk van Grontmij. De luchtfoto interpretatie is uitgevoerd door Sander Mucher van Alterra WUR.

3.2.3 PQ gegevens uit 2011 en 2012

Het vegetatiekundig veldwerk voor de opname van de PQ's uitgevoerd in de periode van 24 mei t/m 23 augustus 2011 en 15 mei t/m 24 augustus 2012, waarbij een totaal van 23 resp. 18 velddagen is gemaakt. Dit aantal velddagen levert omgerekend een gemiddelde van 7,8 resp. 10 PQ's per velddag. Samen met de heropname in 2013 vormen deze drie opnamen per PQ tezamen de T=0-opname. .

Alle vegetatieopnamen zijn ingevoerd in TURBOVEG (Hennekens, 1995, Hennekens & Schaminée 2001) en bijbehorende veldapplicatie, waarbij voor de naamgeving gebruik is gemaakt van de standaardlijst van de hogere planten uit 1996. Deze lijst is niet volledig gesynonimiseerd met de actuele veldflora (Heukels flora, 23ste editie uit 2005); taxonomische verschillen zijn handmatig aangepast. De vegetatie is onderscheiden in drie lagen (mos, kruid, struik) en van deze lagen zijn de bedekkingen van de soorten apart geschat. De waargenomen mossen en korstmossen zijn door soortenexperts nagedetermineerd. Verder zijn enkele eenvoudig waarneembare abiotische gegevens vastgelegd; dit zijn:

- Bodemtype (zand, veen, klei);
- Vochtigheidstoestand (nat, droog, vochtig);
- Hoogteligging (Z-coördinaat, bepaald met de DGPS-meting) (in 2011 niet voor heel Goeree);
- Maaibeheer;
- Begrazing door groot vee;
- Aanwezigheid weidemieren;
- Aanwezigheid konijnen;
- Hellingshoek.

Alle opnamen zijn met behulp van het programma ASSOCIA (Van Tongeren et al. 2008) gede-termineerd volgens de typologie van De Vegetatie van Nederland (DVN). ASSOCIA bepaalt de similariteit van willekeurige opnamen met alle DVN-typen, en voor de huidige verwerking zijn de tien meest gelijkende DVN-typen opgeslagen in een achtergrondtabel. Per DVN-type is door het toenmalige Ministerie van LNV (thans EZ) in een vertaaltabel vastgelegd tot welk habitatype welk vegetatietype gerekend moet worden. Met behulp van deze vertaaltabel is voor ieder PQ op basis van de door ASSOCIA toebedeelde vegetatietypen bepaald tot welke habitatype dit PQ gerekend kan worden. Omdat hierbij gebruik is gemaakt van de tien (volgens ASSOCIA) meest gelijkende typen, kan een PQ tot meer dan één habitatype behoren.

Getracht is op een eenvoudige wijze een beeld te vormen van de onderlinge similariteit van de PQ's, en de samenhang met abiotische condities middels ordinatie. Hierbij is gebruik gemaakt van het programma CANOCO (Ter Braak & Smilauer 2002). Bij deze bewerking zijn de vegetatielagen samengenomen tot de maximale bedekking per soort, en is één PQ met slechts twee soorten uitgesloten (Figuur 3.2) omdat deze het DCA algoritme zou verstoren.



Figuur 3.2: PQ op het nieuwe stuifduin op de kop van Voorne met slechts twee soorten

3.3 Resultaten PQ-opnamen

In totaal zijn 180 PQ's opgenomen, 60 in Duinen Goeree & Kwade Hoek, 60 in Voornes Duin en 40 in Solleveld & Kapittelduinen. In de onderstaande tabellen wordt een korte karakteristiek van de PQ's gegeven in aantallen waargenomen soorten per initieel Habitattype.

Tabel 3.2: Aantallen PQ's per habitattype en minimaal en maximaal aantal soorten per PQ, en totaal aantal soorten per habitattype per gebied in beide monster jaren. Betekenis van de habitattype codes: H2130A: Grijze duinen (kalkrijk), H2130B: Grijze duinen (kalkarm), H2190B: Vochtige duinvalleien (kalkrijk).

(Deel)gebied	Habitat-type	Aantal PQ's	Minimum aantal soorten per PQ* 2011/2012	+/-	Maximum aantal soorten per PQ* 2011/2012	+/-	Totaal aantal soorten	+/-
Duinen van Goeree	2130A	34	11/13	+	36/38	+	155/158	+
Duinen van Goeree	2130B	6	16/16	=	26/24	-	65/64	-
Duinen van Goeree	2190B	20	13/15	+	38/36	-	148/151	+
Duinen van Voorne	2130A	33	2/2	=	33/25	-	170/193	+
Duinen van Voorne	2130B	6	12/16	=	25/27	+	59/61	+
Duinen van Voorne	2190B	21	16/16	=	40/44	+	148/159	+
Van Dixhoorndriehoek	2130A	15	7/4	-	18/17	-	132/58	
Vinetaduin	2130A	5	8/13	+	14/19	+	/50	
Solleveld	2130A	19	3/4	+	21/25	+	/94	
Solleveld	2130B	21	5/7	+	18/23	+	88/94	+
		180						

* Inclusief mossen en korstmossen

De toename van het aantal soorten per gebied en per opnamen is waarschijnlijk toe te schrijven aan een leereffect. Door heropname leert de onderzoeker zijn PQ's en gebiedseigen soorten beter kennen. Tevens is bewust de volgorde van de bezochte terreinen veranderd zodat ook het vinden specifiek late en of juist vroege soorten een grotere trefkans hebben. De toename van het aantal gevonden gentianen het aantal PQ's waarin deze soort in 2012 op Voorne is gevonden is vrijwel zeker toe te schrijven aan het feit dat later dan in 2011 is gemonsterd op deze specifieke PQ's.

3.3.1 Habitatype per PQ

De opnamen uit 2012 zijn, evenals die uit 2011, toegekend aan vegetatietypen volgens 'De Vegetatie van Nederland' (DVN; Schaminée et al. 1996, 1998) met behulp van het programma ASSOCIA (Van Tongeren et al. 2008). Deze zijn vervolgens vertaald naar habitatypen volgens Van Dobben et al. (2012; Bijlage 2a). Het deel van de PQ's dat behoort tot het habitatype van het kaartvlak waarin het was neergelegd bleek in 2012 nog iets groter te zijn dan in 2011 namelijk 90% (Tabel 3.2). De PQ's die niet aan een van deze habitatypen konden worden toegekend bleken wel te kwalificeren als verwante habitatypen, die in de successiereeks van open zand of kwelder naar duinbos aan beide kanten van H2130 'Grijs duin', resp. H2190 'Vochtige duinvallei' kunnen voorkomen (Tabel 5.1). Hiermee wordt recht gedaan aan het huidige mozaïek van verwante duinvegetaties in de onderzochte deelgebieden.

3.4 Resultaten vegetatie- en habitatkartering

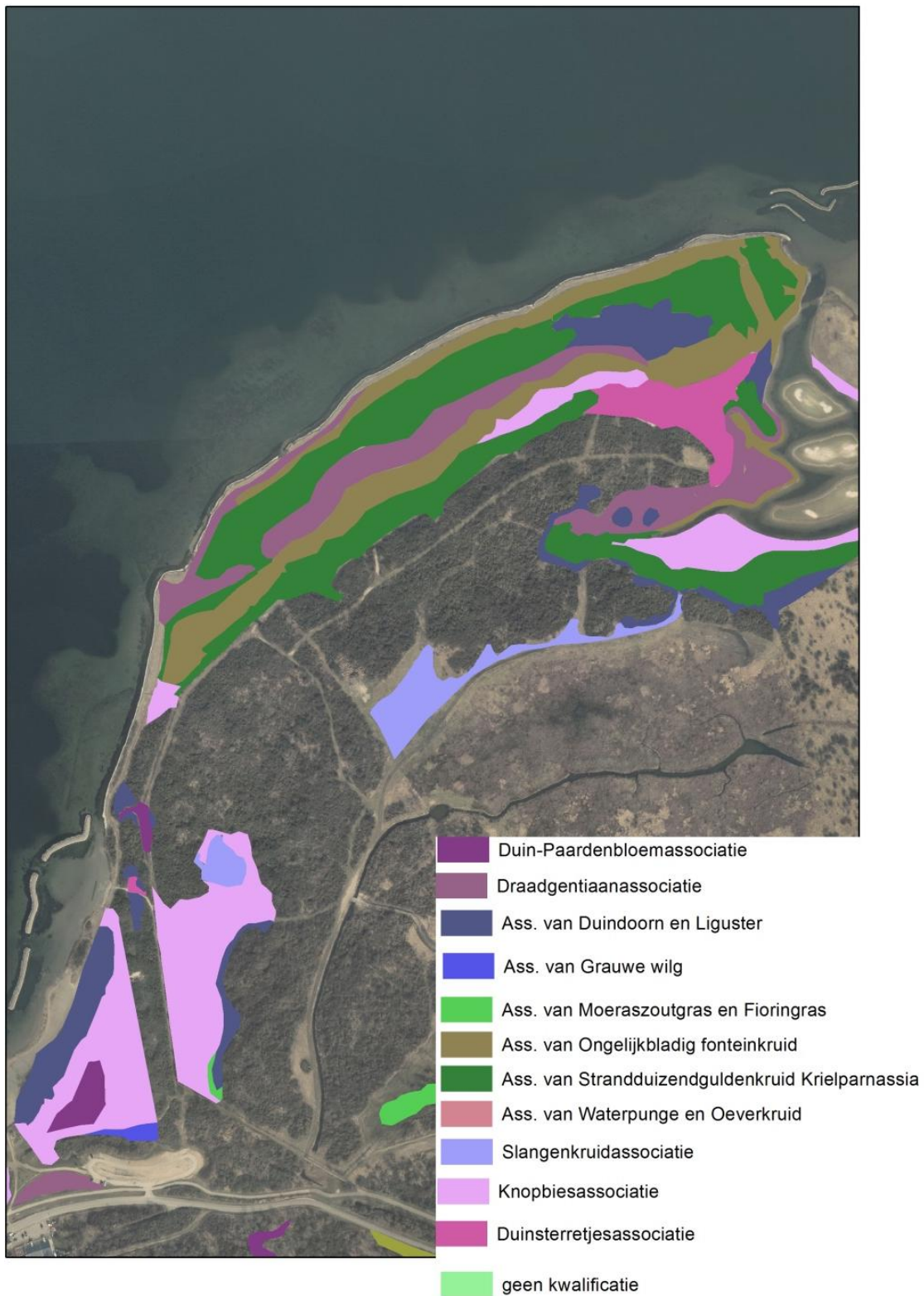
De resultaten van de vegetatiekartering, habitatkartering en soortenkartering zijn te bekijken in een Geowebviewer die voor het project MEP duinen is ingericht in de Rijkswaterstaat omgeving³. In de voorliggende paragraaf worden de belangrijkste resultaten weergegeven.

Op basis van de luchtfoto interpretatie en de beschikbare habitatkartering uit 2010 is een selectie gemaakt van grasachtige vegetaties. Het te karteren oppervlak van Kappittelduinen en Solveld besloeg 199 ha en het gebied op Voorne 55 ha. Dit zijn niet allemaal aaneengesloten oppervlakten zodat een veelvoud van dit oppervlak moest worden doorkruist.

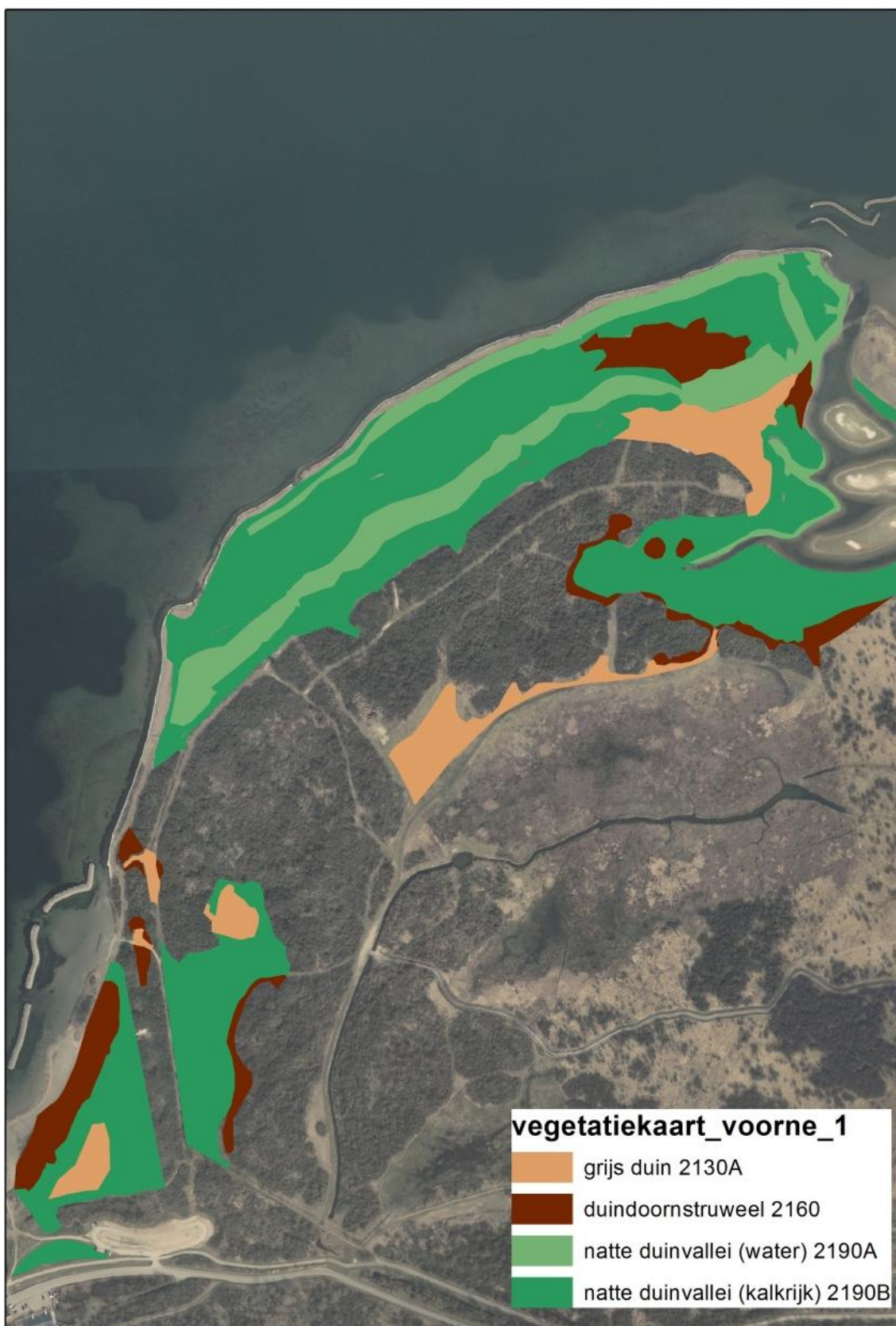
Voor het gekarteerde gebied van Voorne gold dat afhankelijk van de ouderdom van de vegetatie en het terreinonderdeel het te karteren mozaïek van vegetatietypen complexer werd. Een gebied als de hieronder afgebeelde (Figuur 3.3) Lagune in het Oostvoornsemeer (recentelijk heringericht) is relatief overzichtelijk. De hier waargenomen vegetatietypen kwalificeren vrijwel allemaal als habitatype natte H2130 of H2190 (Figuur 3.4) waardoor het kaart beeld niet wezenlijk veranderd.

Wanneer een groter deel van het gekarteerde gebied op Voorne wordt vergeleken met het oude habitatype kaart uit 2010 (Figuur 3.5) is de overlap zeer groot. Op details zijn er echter wel verschillen en dit kunnen grotere oppervlakten zijn. Verschillen worden verklaard doordat in 2012 veelal ruigere vegetatietypen zijn waargenomen die strikt genomen niet meer kwalificeren als het habitatype of enkel als een mozaïek met een op zich staand habitatype of matige kwaliteit indicierend. Ook zijn er in de tussentijd enkele kleinschalige herstel projecten in het drogere deel van de duinen uitgevoerd waarbij de vegetatie zich in een pioniersstadium bevindt en niet tot een vegetatietype is toegedeeld.

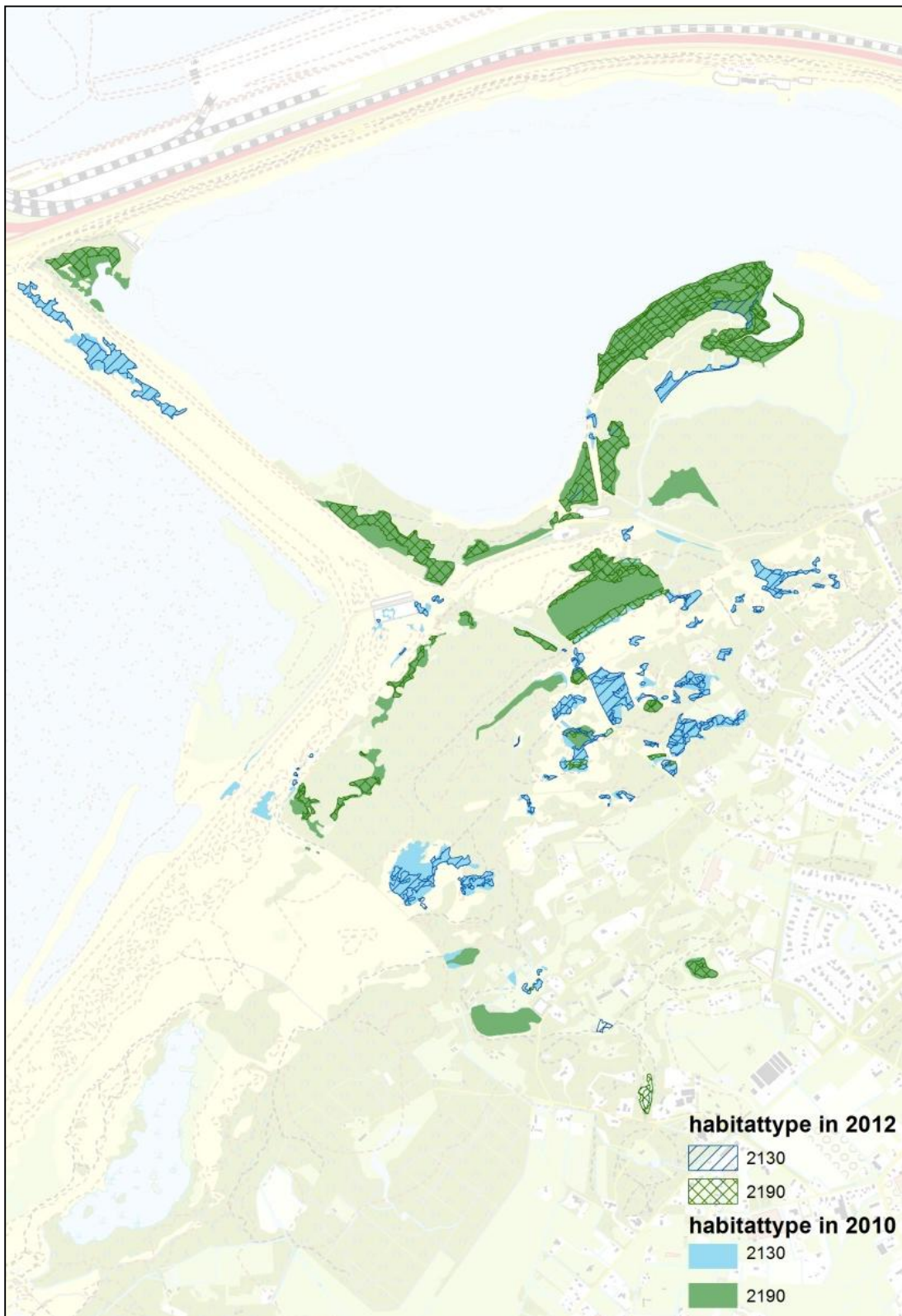
³ toegang is aan te vragen bij de projectleider van het consortium zie <http://grontmij.nl/duinmonitoring>



Figuur 3.3: Vegetatiekartering Lagune op Oostvoorne.

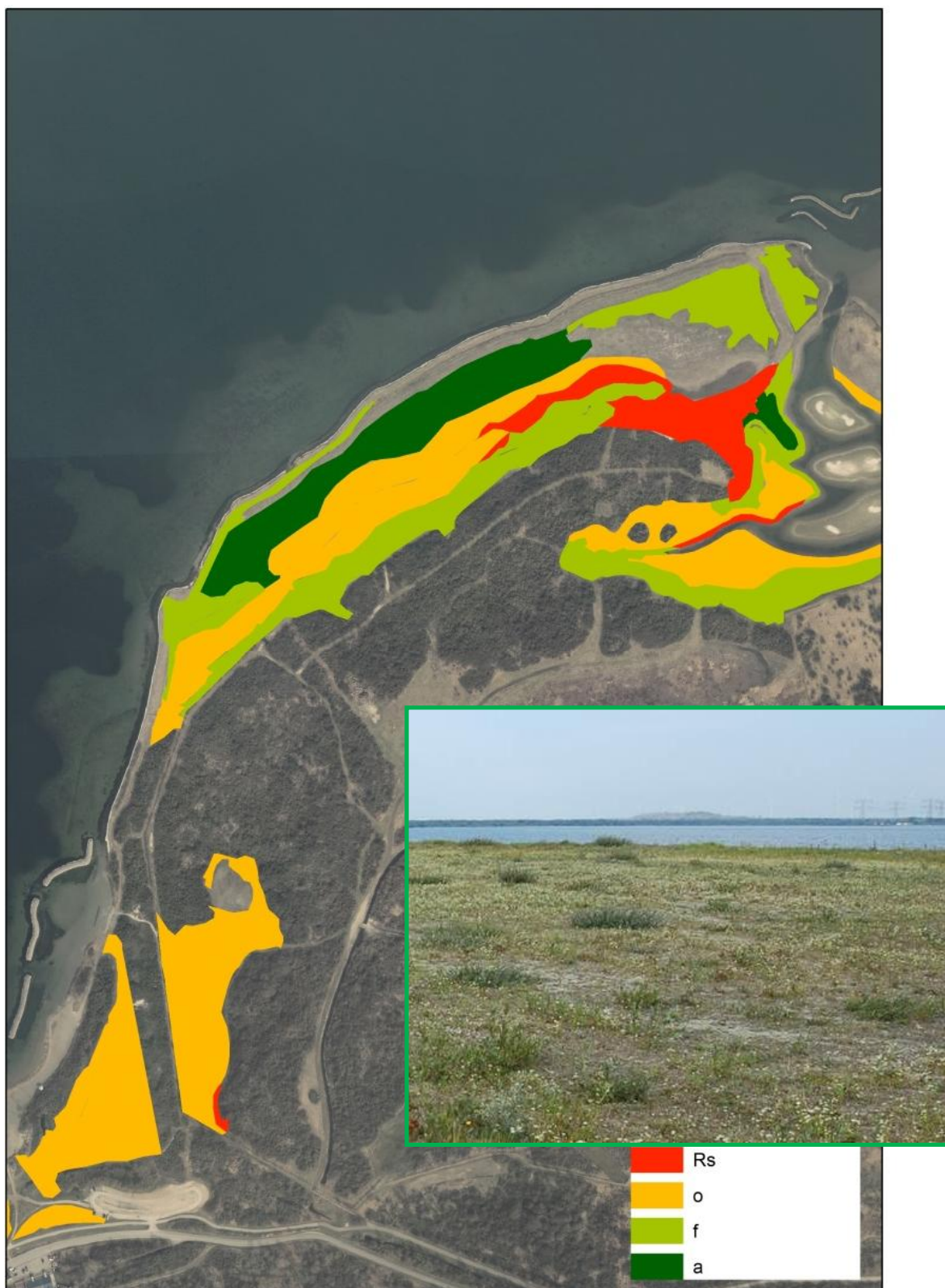


Figuur 3.4: Habitatkartering Lagune op Oostvoorne



Figuur 3.5: Vergelijking habitatkartering 2012 met de beschikbare habitatkartering uit 2010.

Om een voorbeeld te geven van uitgevoerde soorten kartering zoomen we nog even in de op de Lagune langs het Oostvoornse meer. De gebruikte tansley schaal geeft een indicatie van het voorkomen van een soort binnen het kaartvlak waarbij deze schaal oploopt van enkele exemplaren (R) tot bedekkend (A, zeer veel exemplaren), hierbij gaat het om de soort *Parnassia*. De bijgevoegde foto is genomen in de Lagune in het vlak dat is aangeduid met de donkergroene kleur met de indicatie bedekkend voorkomen van *Parnassia*.



Figuur 3.6: Soortenkartering van *Parnassia pallustris*. De foto is gemaakt op het deel met hoge abundantie (klasse a).

Omvang en kwaliteit habitattypen T=0

Ten behoeve van de T=0 kon gebruikgemaakt worden van twee recente vlakdekkende vegetatie karteringen van het eigendom van Natuurmonumenten en Evides voor de terreinen Goeree en het een deel van de duinen op Voorne. Van de resterende terrein delen is op basis van een false color luchtfoto segmentatie en op basis van de eerdere bekende verspreiding de habitattypen 2130 en 2190 dit habitatype uitgekarteerd. Hierbij is alvorens de veldkartering is uitgevoerd de opgaande begroeiing en grootschalige open grond van de te karteren oppervlakten uitgezonderd en zijn de resterende vlakken bezocht. Alhoewel er kleine (methodische) verschillen zijn aan te wijzen zijn de gebruikte kaarten goed onderling te vergelijken. Voor de resultaten per Natura 2000-gebied, zie [bijlage 2a](#)

In december 2013 is de eerste landsdekkende habitattypenkaart ten behoeve van het rekeninstrumentarium van de programmatische aanpak stikstof (Aerius) landelijk vrij gegeven. In deze kaart wordt voor alle in de in Mep duinen betrokken gebieden een kaartbeeld gepresenteerd waarvan wordt vermeld dat de betrokken kaarten technisch valide zijn. Op basis van deze kaart zijn ook oppervlakten habitattypen per gebied af te leiden. Wel wordt van het landelijk habitattypenbestand aangegeven dat indien nieuwe/recentere karteringen beschikbaar komen deze worden aangepast.

In de onderstaande tabellen (Tabel 3.3, 3.4 en 3.5) wordt oppervlakten habitatype per Natura 2000-gebied gepresenteerd, hierbij wordt zowel de oppervlakte zoals deze terug te vinden is in het landelijk habitattypenbestand (Aerius) en op basis van de recente karteringen (voor de bijbehorende kaartbeelden zie [bijlage 2a](#)). Bij de recente karteringen is hierbij onderscheid gemaakt tussen het oppervlak van het habitatype in vlakken met 100% bedekking en vlakken waar het habitatype voorkomt in een mozaïek. Tevens is het totale oppervlak van het habitatype in het Natura 2000-gebied weergegeven (vet). Voor de recente karteringen is bovendien het oppervlak matige kwaliteit weergegeven op grond van de aanwezige vegetatietypen. Hierbij is de definitietabel uit de profielendocumenten (vastgesteld door het ministerie van LNV in 2008) van de betreffende habitattypen gehanteerd. De rest van het oppervlak van het habitatype is van goede kwaliteit conform de zelfde definitietabel.

Opvallend is dat er vrij grote verschillen zitten tussen het de oppervlakten gebaseerd op de recente karteringen en het landelijk habitattypenbestand. In de tabellen kon voor de recente karteringen nog onderscheid gemaakt worden of een vlak in de kaart bestaat een enkele habitatype of dat het habitatype als een mozaïek vormt met ander vegetatietypen die soms ook kwalificeren als het zelfde of een ander habitatype. De als mozaïek verbeelde vlakken zijn groter in oppervlakte dan het vermelde aantal hectares van het desbetreffende habitatype. Waardoor de twee kaartbeelden niet heel veel van elkaar hoeven te verschillen, maar dat de inhoud van de kaartvlakken anders is. De verklaringen van deze verschillen lijken per gebied te verschillen.

Voor Goeree (Tabel 3.3) lijkt voor alle typen in de recente kartering te gelden dat een striktere vegetatiekundige duiding van de lokale typen en een zeer droog jaar tijdens de kartering de hoeveelheid waargenomen habitattypen naar beneden heeft bijgesteld. Mogelijk zal lokaal verruiging een rol spelen, maar hier wordt binnen het beheer actief op ingesprongen. H2130C komt volgens de kartering uit 2011 slechts op een zeer gering oppervlak voor (0,11 ha). De habitattypen H2130A, H2190B en H2190C zijn grotendeels van goede kwaliteit op grond van de gekarteerde vegetatietypen (2011), terwijl H2130B en H2190D voor ongeveer de helft van het oppervlak van matige kwaliteit is.

Tabel 3.3: Oppervlakte (ha) van de subhabitattypen binnen de Middelduinen en Oostduinen van Goeree en Kwade Hoek (onderdeel Duinen van Goeree & De Kwade Hoek) volgens de AERIUS habitatkaarten en volgens de door ons opgestelde habitatkaart op basis van de vegetatiekartering uit 2012. Bij mozaïek is het alleen het oppervlak van het betreffende habitatype weergegeven op basis van het oppervlaktaandeel binnen het mozaïek. In de rechter kolom is het oppervlakte matige kwaliteit weergegeven. De rest van het oppervlak van het habitatype is van goede kwaliteit conform het vegetatietype. 100%=volledige bedekking van het habitatype binnen een vlak.

Habitattype	Aerius	Dit project (vegetatiekaart 2011)		matige kwaliteit (2011)	
H2130A	60,0 ha	11,3 ha	7	-100%	0,1 ha
			4,3	(mozaïek)	2,1 ha
H2130B	50,4 ha	8,2 ha	6,6	-100%	4,0 ha
			1,7	(mozaïek)	1,0 ha
H2130C	6,9 ha	0,11 ha	0,11	-100%	
				(mozaïek)	
H2190A	2,6 ha	6,7 ha	3	-100%	0,1 ha
			3,7	(mozaïek)	0,2 ha
H2190B	16,2 ha	13,0 ha	5,0	-100%	
			8,0	(mozaïek)	
H2190C	14,0 ha	3,8 ha	2,1	-100%	0,04 ha
			1,7	(mozaïek)	0,04 ha
H2190D	4,3 ha	4,3 ha	0,3	-100%	
			4,0	(mozaïek)	1,7 ha

De het landelijk habitatypebestand vermeld grote duinmeren waaronder het Breede water en het quackjes water onterecht als H2190 Natte duinvallei. Hierdoor is het niet vreemd dat getallen tussen beide bestanden flink verschillen. Opvallend is dat juist het kalkrijke grijsduin (H2130) in de recente karteringen veel groter is in oppervlakte dan uit het landelijk habitatypebestand blijkt.

De habitattypen zijn op grond van de gekarteerde vegetatietypen (2012) grotendeel van goede kwaliteit. In totaal is slechts 2,7 ha van de habitattypen van matige kwaliteit.

Tabel 3.4: Oppervlakte (ha) van de subhabitattypen in Voornes Duin volgens de AERIUS habitatkaarten en volgens de door ons opgestelde habitatkaart op basis van de vegetatiekartering uit 2012.

Habitattype	Aerius	Dit project (vegetatiekaart 2012)		matige kwaliteit (2012)	
H2130A	69,1 ha	81,2 ha	52,3 ha	-100%	0,1 ha
			28,9 ha	(mozaïek)	0,8 ha
H2130B	0,07 ha	0,4 ha	0,31 ha	-100%	
			0,9 ha	(mozaïek)	0,01 ha
H2130C	1,4 ha	0,05 ha	-	-100%	
			0,05	(mozaïek)	
H2190A	31,6 ha	10,6 ha	7,3 ha	-100%	0,7 ha
			3,3 ha	(mozaïek)	0,8 ha
H2190B	52,3 ha	15,8 ha	22,3 ha	-100%	
			10,5 ha	(mozaïek)	
H2190C	-	0,9 ha	0,6 ha	-100%	
			0,3 ha	(mozaïek)	0,01 ha
H2190D	2,9 ha	5,8 ha	2,6 ha	-100%	0,03 ha

		3,2 ha (mozaiek)	0,3 ha
--	--	------------------	--------

Binnen Solleveld en Kapittelduinen lijken de recente kartering en het habitatbestand niet veel van elkaar te verschillen. Maar de kaartbeelden doen anders vermoeden vooral de duinstrook lijkt nu over een grotere lengte beter onderzocht te zijn en habitattypen blijken een grotere verspreiding te hebben dan op voorhand gedacht op grond van de habitatkaarten uit Aerius. De aanwezige Vochtige duinvalleien (H2190) zijn volledig van goede kwaliteit op grond van de gekarteerde vegetatietypen. Van H2130B is 8,4 ha van matige kwaliteit. De delen van matige kwaliteit zijn vooral aanwezig in Vinetaduin en de Van Dixhoorn driehoek. In Solleveld is H2130B overwegend van goede kwaliteit.

Tabel 3.5: Oppervlakte (ha) van de subhabitattypen in Solleveld & Kapittelduinen volgens de AERIUS habitatkaarten en volgens de door ons opgestelde habitatkaart op basis van de vegetatiekartering uit 2012.

Habitattype	Aerius	Dit project (vegetatiekaart 2012)		matige kwaliteit (2012)
H2130A	43,5	40,6 ha	35,2 ha 5,4 ha (mozaiek)	-100%
H2130B	123,5	112,6 ha	97,6 ha 25,0 ha (mozaiek)	6,6 ha 1,8 ha
H2130C	-	-	-	-100% (mozaiek)
H2190A	6,4	4,3 ha	4,3 ha -	-100% (mozaiek)
H2190B	-	2,6 ha	1,6 ha 0,9 ha (mozaiek)	-100%
H2190C	-	-	-	-100% (mozaiek)
H2190D	0,07	2,2 ha	2,2 ha -	-100% (mozaiek)

Gezien de nauwkeurigheid en de beschikbare achtergrond informatie in het kaartbestand biedt de recente kartering voor alle gebieden een preciezer beeld dan het landelijk habitatype bestand.

Of met deze oppervlakten ook aan de eis wordt voldaan dat er sinds plaatsing van deze gebieden op de communautaire lijst geen achteruitgang in oppervlak en kwaliteit valt buiten dit onderzoek. Maar gezien de in het PQ-onderzoek gepresenteerde gegevens en trends lijkt het niet zonder meer zeker dat het aandeel Grijze duinen of Vochtige duinvalleien naar de toekomst toe stabiel is.

Groenknolorchis

Groenknolorchis (*Liparis loeselii* (L.) Richard) is een kleine vrij onopvallende orchidee, met groene bleekgele bloemen. Deze soort plant zich voort doormiddel van zelfbestuiving, wat resulteert in een zeer beperkte genetische variatie. Door deze wijze van voortplanten is inteelt die in kleine populaties een zeer bepalende rol in het voortbestaan kan gaan spelen minder van belang. De meest gevoelige individuen zijn reeds verdwenen. De gemiddelde levensduur van een populatie is relatief kort, zo'n 8-10 jaar. Individuen binnen een populatie hebben een levensduur kunnen er 4 jaar over doen om tot eerste bloei te komen (Ronse in (Allemeersch and Landuyt 2006). De levensduur van een populatie lijkt in hoge mate gecorreleerd met de verzuring van de bodem en in mindere mate vegetatie ontwikkeling (dichtgroeien) (Bremer 2012). Haar preferente standplaats valt landschappelijk in twee typen uiteen trilvenen en natte duinvalleien.

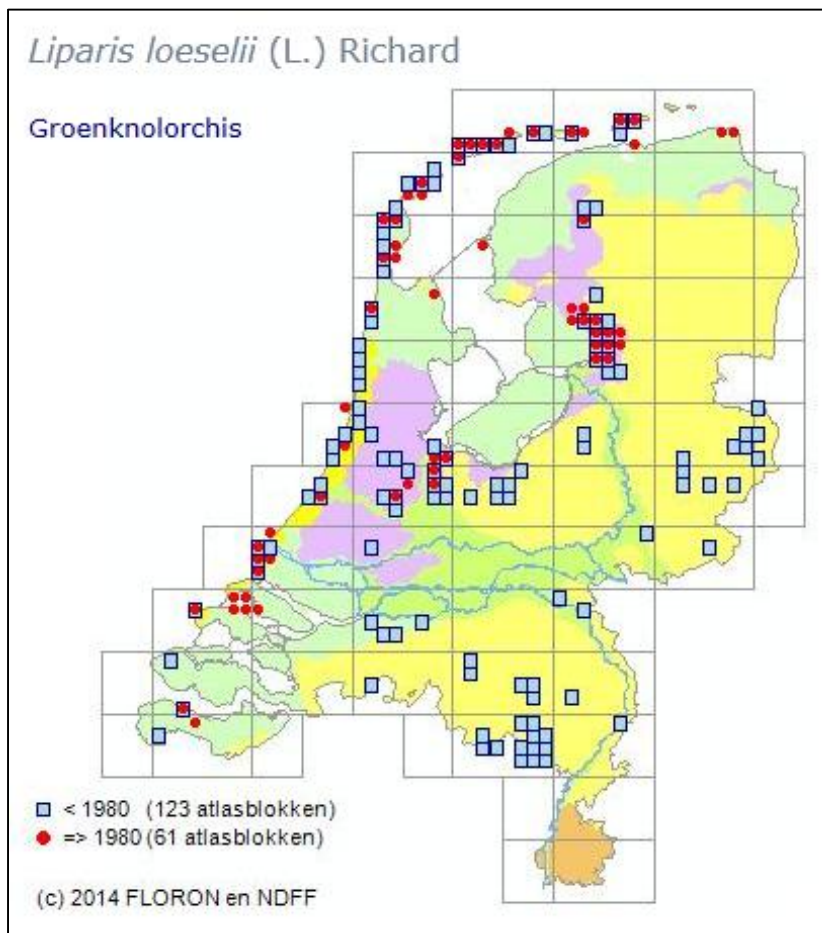
De orchidee is een pionier en kan zich zelfs onder licht brakke omstandigheden in nieuwe duinvalleien vestigen die nog niet volledig zijn afgesnoerd van de zee. Veelal bestaat de bodem uit humeus, niet venig, kalkhoudend zand. Het bodemvocht is neutraal tot zwak basisch, en de groeiplaats staat voor een deel van het jaar ondiep onder water. In de zomer kan er een lichte uitdroging optreden. Uit de ons omringende landen is de soort ook bekend van duinvalleiachtige situaties die kunnen optreden in grote kal- zand en grindgroeves (Weeda 1994).

Vooraf de jonge stadia van de orchidee na kieming lijken extra gevoelig voor bodemverzuring veranderende standplaats condities. Door het voeren van beheer (zowel begrazing als maaien en afvoeren) kan een beheerder de vegetatie ontwikkeling remmen maar de uiteindelijke bodemverzuring zal een pioniersoort als de Groenknolorchis laten lokaal verdwijnen. De soort is voor haar voortbestaan afhankelijk van nieuw habitat, in de Wadden ontstaan op natuurlijke wijze nog nieuwe duinvalleien maar in de vastlandsduinen is dit een zeer zeldzame gebeurtenis. Wel kan in een verouderde duinvallei doormiddel van plaggen nieuw habitat ontstaan. Ook kan op grotere schaal een dynamisch kustbeheer mogelijk zorgen voor nieuwe vestigingslocaties (Bremer 2012). De aanleg van een nieuwe kustlijn met achterliggend land, zoals Maasvlakte 1 en 2, kunnen potentieel habitat voor de Groenknolorchis opleveren. Er zijn waarnemingen van de soort bekend uit duinvalleiachtige vegetaties in de haven van Antwerpen (Spanoghe et al. 2008), zandplaten in de Grevelingen, Eemshaven, Kennemerstrand en zeer recent van de van Dixhoorndriehoek.

Verspreiding van de soort

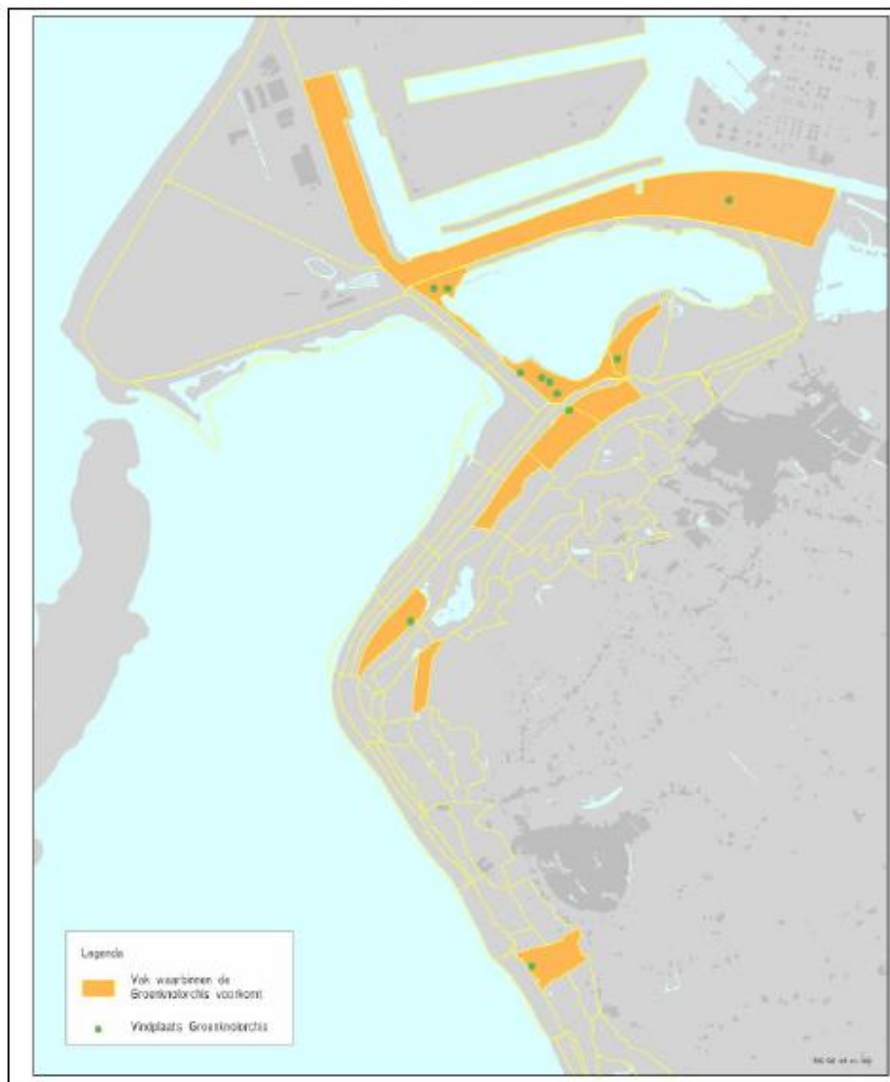
In de rapportages van Floron (van der Slikke & van Dulmen 2006, Groen & Vreeken 2002) onder andere over het voorkomen van de Groenknolorchis laat over de periode 1980 t/m 2005 een terugloop van het aantal waarnemingen van de soort zien (Figuur 3.7). In 2005 is gericht groot aantal bekende populaties op nieuw bezocht en is het aantal individuen geteld. Grofweg laat dit trend zien waarin het aantal populaties en het aantal waargenomen individuen terugloopt over de gerapporteerde periode. Nieuw vestigingen zijn vooral waargenomen direct aansluitend aan bestaande populaties. Opvallend is wel dat in het kustgebied een aantal nieuwvestigingen zijn opgetreden op "nieuw" land een bekende zijn de zandplaten in de Grevelingen en recenter Kennemerstrand bij IJmuiden.

In het onderzoeksgebied van MEP-duinen is de soort zowel historisch en actueel bekend uit de duinen van Oostvoorne, zeer recent (2012) uit de Kapittelduinen, zeer recent (2013) uit de duinen van Goeree. In de laatste 2 gevallen betreft het de waarneming van enkele exemplaren in de rand van nieuwe of geplagde Vochtige duinvalleien. Van de duinen van de Voorne is een aantal grote vindplaatsen bekend hierbij kan het om honderden exemplaren per locatie gaan. De meest stabiele en momenteel omvangrijkste populaties betreffen die in de graslanden aan de westkant van het Oostvoornse meer. De populaties van de soort in het meer westelijke deel van het duingebied omgeving Schapenwei konden recent niet meer worden vastgesteld (van der Goes, 2012). Wel is in het direct aangrenzende herontwikkelde terrein Vogelpoel in 2012 nog een aantal exemplaren aangetroffen. De populatie ten zuiden van Stekelhoek is ook recent niet meer waargenomen. In al deze gevallen is een voortgaande successie en vrijwel zeker de oorzaak van het uiteindelijk lokaal verdwijnen van de soort. Het is niet onaannemelijk dat wanneer het vegetatie beheer in de Schapenwei weer ter hand genomen kan worden (een langere periode met voldoende drooglegging om te kunnen maaien) de soort hier weer opduikt, ervan uitgaande dat er in de tussen niet te sterke bodem verzuring optreedt.



Figuur 3.7 Actuele en historische verspreiding Groenknolorchis in Nederland, kaart afkomstig van de website www.verspreidingsatlas.nl

In Figuur 3.8 worden de ten tijde van het opstellen van de MER t.b.v. de aanleg van de MV2 bekende waarnemingen van de Groenknolorchis geplot. Actueel zijn enkel de locaties langs het Oostvoornse meer nog waargenomen in grote aantallen. Op basis van de waarnemingen van het Zuid-Hollands Landschap kan worden afgeleid dat deze populaties al verscheidene jaren bekend zijn (aanvang 2004) en ook de landelijke vegetatie databank (www.synbiosys.alterra.nl/lvd) laat zien dat deze locatie (Hoekje Jans) al sinds 1996 een populatie Groenknolorchissen herbergt.



MER B - Bijlage Natuur

- 97 -

9P7008.K4/R008/CEL/Nijm

5 april 2007

Figuur 3.8. De bekende populaties Groenknolorchis in 2007

Wanneer het actueel voorkomen van de soort wordt gelegd over meest recente habitatkaart valt de verspreiding samen met het kalkrijke variant van het habitatype vochtige duinvallei (H2190B). Dit type is op Voorne en Goeree over een behoorlijke oppervlakte aanwezig en ook in Kapittelduinen en solleveld zijn lokaal oppervlakte van aanwezig. Wel kan de Groenknolorchis enkel gedijen in de vroege succesie stadia van dit type en ook de nattere varianten of het type met hoge kruiden zal niet tot een duurzame vestiging van de soort leiden. Daarnaast heeft soort een zeer grillig verschijningspatroon, bekende populaties kunnen als gevolg van opeenvolgende zeer natte jaren flink teruglopen in aantal individuen (Odé and Bolier 2003).

Op basis van het PQ-onderzoek (paragraaf 3.3) is te zien dat er momenteel reeds een verruiging van de gemonsterde vegetaties in alle gebieden gaande is. Mocht door toedoen van MV 2 de stikstof-depositie verder toenemen, zal de verzuring en successie in bestaande jonge duinvegetaties sneller gaan verlopen. Wat betekent dat de huidige standplaatsen sneller verouderen en uiteindelijk ongeschikt worden voor de Groenknolorchis en andere pioniersoorten. Hierbij moet wel een kanttekening gemaakt worden indien een duinvallei mede gevoed wordt door kalkrijk water de verzuring sterk zal worden geremd (Grootjans et al. 1995). Mede daarom is het aan te bevelen om het oppervlak en de kwaliteit van de aanwezige kalkrijke natte duinvalleien niet verder achteruit te laten gaan, en in Kapittelduinen en op Voorne te vergroten. Tevens

moet niet worden uitgesloten dat ook het landoppervlak van MV 2 zelf (tijdelijk) leefgebied kan worden van de Groenknolorchis, afhankelijk lokale standplaatsfactoren.

Tijdens de vegetatie kartering in 2012 zijn geen aantalschattingen gedaan van de Groenknolorchis, hierdoor gaat het boven gepresenteerde beeld terug naar 2009 (data afkomstig van Zuid-Hollands Landschap,



Figuur 3.9).



Figuur 3.9. Bekende populaties (stippenkaart) van de Groenknororchis op Voorne

4 Overige condities en beheer

4.1 Zanddynamiek

Zanddynamiek speelt een belangrijke rol bij de ontwikkeling van duingeformologie en vegetatie. Het onderwerp zanddynamiek is vooral in het MEP duinen opgenomen omdat zanddynamiek kan interfereren met de effecten van stikstofdepositie op de habitattypen Vochtige duinvalleien en Grijs duinen. De aanvoer van kalkrijk zand kan tot zekere hoogte verzuring van duinvalleien compenseren, maar kalktoevoer kan ook leiden tot verhoogde mineralisatie van organisch materiaal en daarmee tot een verhoogde N-beschikbaarheid en indirect tot verzuuring.

In de bestaande duinen is geen directe verandering in de zanddynamiek als gevolg van het gebruik van MV2 voorspeld (Monitoringfactsheet 08 in Deltares, 2009). Toch is een effect van verhoogde stikstofdepositie op de zanddynamiek vanuit MV2 niet uitgesloten. Door hogere stikstofbeschikbaarheid kunnen open zandige plekken en open vegetatie sneller dichtgroeien, waardoor de invloed van de zanddynamiek op de directe omgeving zal afnemen. Of deze ontwikkeling in voldoende mate wordt of kan worden gecompenseerd door overstuiving vanuit de kustzone (zandspray), is de vraag.

Onderzoeksvragen voor de T0 monitoring zijn

1. Wat is de huidige status van de zanddynamiek in de drie onderzoeksgebieden?
2. Door welke factoren wordt de zanddynamiek bepaald en in welke mate?
3. Wat is de invloed van het beheer op de zanddynamiek en welke maatregelen kunnen een eventueel positieve effect van de zanddynamiek op de omvang en kwaliteit van de H2130, H2190 en de Groenknolorchis versterken?

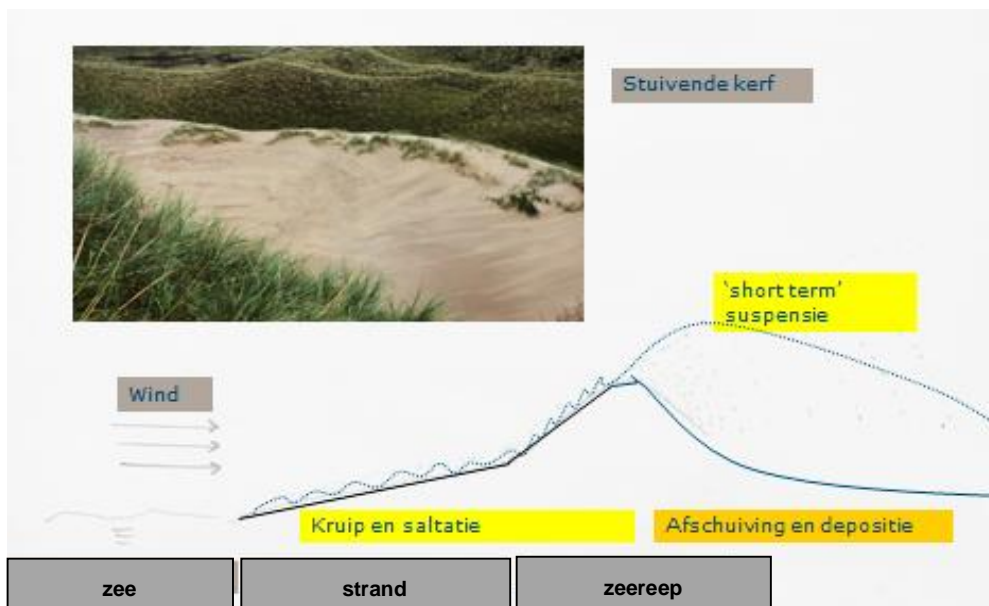
4.1.1 Rol van zanddynamiek in het duinlandschap

In de bestaande duingebieden wordt zanddynamiek als positief gezien voor de kwaliteit en instandhouding van het habitatype H2130 (Arens et al., 2010). Van Haperen (2009) stelt dat overstuiving met zand leidt – binnen zekere grenzen – tot een terugkoppeling, waarbij verstuivingsresistente soorten bevoorrecht worden en zo een rol kunnen spelen bij het fixeren van verstuivend zand waardoor een gunstig vestigingsklimaat ontstaat voor eenjarige vaatplanten, mossen en korstmossen. De mate waarin de geomorfologische processen enerzijds en vegetatie- en bodemontwikkeling anderzijds de sturende processen vormen bepalen het stadium waarin het systeem van het duinlandschap zich bevindt. Hierbij onderscheiden we (Van Haperen, 2009):

1. Grootschalig stuivend duinlandschap: verstuing is het dominante proces, vegetatie (alleen zeer verstuingstolerante soorten) groeit alleen daar waar de omstandigheden het toelaten. Voorbeelden van dit type zijn loopduinen en grootschalige geschakelde paraboolduinsystemen.
2. Kleinschalig stuivend duinlandschap: Verstuing en vegetatie ontwikkeling zijn min of meer met elkaar in evenwicht. Vegetatie kan de verstuing en instuiven van zand bijhouden. Het steeds weer licht overstuiven van de begroeiing draagt sterk bij aan de ontwikkeling van een minerale humuslaag. In gebieden met perioden met veel verstuing afgewisseld met alleen vegetatie ontwikkeling zie we in het bovenste deel van het profiel wisselen lagen met weinig en lagen met meer organische stof elkaar vaak af. Tegelijkertijd zijn organisch materiaal en mineraal zand goed gemengd. Dergelijke bodems hebben een relatief gunstige vocht- en nutriëntenvoorziening, waardoor de overlevingskansen voor overjarige planten in dit systeem veel groter zijn dan in het grootschalig stuivend duinlandschap. Duingraslanden komen hier daarom veel voor. Ze hebben een open zode met veel ruimte voor de vestiging

van eenjarige soorten, maar er is toch een permanent vegetatiedek aanwezig. Daarnaast zijn er ook actieve windkuilen, die regelmatig zorgen voor mobiliteit van zand. De invloed op hun omgeving varieert in ruimte en tijd en hangt af van enerzijds klimaatfactoren en anderzijds de ligging, omvang en vorm van de windkuil.

3. Gefixeerd duinlandschap: duinlandschappen met grotendeels gefixeerde zandige ondergrond, waar verstuiwingsprocessen niet of nauwelijks nog een rol spelen. De vegetatie heeft de bodem helemaal bedekt en kan uit een dicht mos- of grasdek, een struweel of een (beginnende) bosvegetatie bestaan. Dode plantresten vormen in de bodemtoplaag een laag organische stof die zich niet of weinig mengt met het onderliggende minerale zand. Vooral bij lagere kalkgehalten kan al snel oppervlakkige ontkalking en verzuring van de toplaag plaatsvinden. Door ophoping van organische stof en oppervlakkige ontkalking ontstaat een gelaagdheid, waarbij de bovenste humuslagen relatief zuur zijn. Vooral deze gelaagdheid en oppervlakkige verzuring onderscheiden dit duinlandschap in de vroege fasen van de vorige. In de fase van het gesloten en gefixeerde vegetatiedek ontbreekt de voortdurende aanvoer van nieuw, vaak min of meer basenhoudend, mineraal zand, waardoor de vegetaties in dit duinlandschap een fundamenteel andere bodemopbouw hebben.



Figuur 4.1: Vormen van eolisch transport rondom een dynamisch zeereep

Er zijn 2 belangrijke vormen van zanddynamiek te onderscheiden die een rol kunnen spelen in de onderzoeksgebieden en derhalve een zekere mate van invloed kunnen hebben op de vegetatie in de PQ's binnen dit onderzoek:

1. Zand spray: het proces waarbij bodemdeeltjes vanuit de zeereep of in een stuifkuil, kerf of paraboliserende duin, door de wind worden losgemaakt, getransporteerd en vervolgens via de zeereep of kuilrand hoger de lucht in wordt geschoten waarna de zwaardere deeltjes door de windval erachter direct worden afgezet en de lichtere deeltjes in (short term) suspensie op grotere hoogte en over grotere afstand variërend van enkele meters tot enkele honderden meters wordt getransporteerd en afgezet (Figuur 4.1). De mate waarin dit proces optreedt hangt met name af van de volgende factoren: klimaat (windsnelheid en -richting, neerslag en bodemvochttoppervlak); beschikbaarheid en samenstelling zand (korrelgrootte verdeling); strandbreedte; topografie; en begroeiing (terreinruwheid).
- 2, Lokale verstuiwing vanuit matig (<30% vegetatie bedekking) tot niet begroeide plekken in het dungebied achter de zeereep. Naast bovengenoemde klimaat factoren speelt hier de omvang van de stuifplek en de ligging ten opzichte van de meest voorkomende windrichtingen een belangrijke rol in de mate waarop verstuiwing optreedt en daarmee invloed op de omliggende vegetatie. Over het algemeen kan worden gesteld dat de invloed zich beperkt van enkele meters tot enkele tientallen meters afhankelijk van de in-

tensiteit en duur van een erosie event, en dat het depositie patroon een exponentiële afname met de afstand tot de stuifplek laat zien (Riksen et al., 2006).

Activiteiten in en rondom de zeereep en het gebruik en beheer van de zeereep kunnen het optreden van deze twee vormen van zanddynamiek direct of indirect beïnvloeden door o.a.:

- Betreding: recreatiedruk speelt mogelijk een rol bij het openhouden of creëren van zandige plekken van waaruit verstuiving kan optreden;
- Duin(herstel)beheer: begrazing en plaggen spelen een belangrijke rol bij het openhouden of creëren van zandige plekken van waaruit verstuiving kan optreden;
- Zandsuppleties (aanbod en samenstelling zand; morfologie van vooroever en strand)
- Verhoogde stikstofdepositie: verhoogde stikstofdepositie leidt tot versnelde vastlegging van zand door algen en pioniervegetatie en hogere biomassa productie. Dit zorgt er voor dat de dynamiek afneemt en het systeem sneller overgaat van een dynamisch in een gefixeerd duinlandschap.

In dit onderzoek bepalen we de huidige staat (rol) van de zanddynamiek in de drie gebieden waarbij we ook kijken of met het stimuleren van de zanddynamiek de negatieve effecten als gevolg van een eventuele verhoogde stikstofdepositie kunnen worden gecompenseerd en welke maatregelen hiervoor het meest geschikt zijn.

4.1.2 Methodiek

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden en het effect van MV2 op de overstuiving te bepalen wordt de nulsituatie vastgelegd met behulp van luchtfoto-analyse, veldkartering en veldmetingen. Hierbij gaan we ervan uit dat de MV2 geen directe invloed heeft op de lokale klimaatfactoren.

Sedimentatie metingen

Om de rol van zandspray te onderzoeken zijn in 2011 langs drie transecten landinwaarts loodrecht op de zeereep (zie [bijlage 3a](#) en [bijlage 6](#) voor de locaties) permanente MDOC sedimentvallen (knikkerbakken) geïnstalleerd (Figuur 4.2) om de verticale depositie te meten (hoeveelheid zand die in een gebied afgezet wordt). Om het risico van verstoring zo klein mogelijk te houden zijn locaties uitgezocht die in principe niet toegankelijk zijn voor mensen en die niet worden begraasd. Het uit de lucht ingevangen fijn zand valt tussen de knikkers waar het met regenwater de bak inspoelt. Het zand zakt naar de bodem van de bak. Wanneer de bak vol met water is kan deze overstromen via een overlaat zonder dat het sediment meegevoerd wordt. Door de ronding en het gladde oppervlak van de knikkers wordt voorkomen dat het zand bij regen weer uit de bak kan spatten. De methode is oorspronkelijk ontwikkeld voor het meten van stofdepositie en is zowel uit windtunnelmetingen getest (Goossens en Offer, 2000) als in het veld in vergelijkbaar onderzoek toegepast (Riksen en Goossens, 2007). Het opgevangen sediment wordt periodiek verzameld en verwerkt volgens het meetprotocol (zie [bijlage 3b](#): meetprotocol zanddynamiek). De resultaten worden gebruikt om de hoeveelheid zandspray nader te kwantificeren. De resultaten zijn vervolgens in een grafiek afgezet tegen de afstand tot een vast punt op de top van de zeereep wat als grens met het brongebied verondersteld wordt. Omdat tijdens de *short term* suspensie een natuurlijke sortering plaats vindt - de zwaarste (grootste) deeltjes worden dicht bij de bron afgezet en de lichtste (kleinste) deeltjes het verst weg – wordt van het verzamelde materiaal de textuur bepaald met de droge zeefmethode.



Figuur 4.2: MDOC sediment vallen voor het meten van de depositie.

Op 25 februari 2011 zijn de sedimentvallen in het veld geïnstalleerd. Daarbij is de locatie met een handheld GPS ingemeten en de vegetatiebedekking geschat. Op 19 augustus 2011, 13 januari, 4 mei en 24 augustus 2012 zijn alle sedimentvallen geleegd en het sediment voor analyse meegenomen. Langs het transect bij Goedereede hebben zich geen bijzonderheden voorgedaan.

Bij het transect bij Voorne zijn ook geen problemen ondervonden. Na 2 metingen is echter besloten het meest ver gelegen punt op te heffen en de val dicht bij de zeereep te verplaatsen om de meetdichtheid kort achter de zeereep te vergroten.

Op de locatie bij Ter Heide zijn de meeste problemen ondervonden. Deels door vandalisme (in totaal 4 vallen vernield). De sedimentval op de top van het in 2008-2009 nieuw aangelegde zeereep bij Solleveld leverde beide keren door vandalisme geen bruikbare meting op. Ter vervanging van dit punt hebben we op 13 januari 2012 een val op een nieuwe locatie in de oude zeereep geplaatst, maar deze en een extra geplaatste val in de duin vallei bleken 24 augustus ook weer vernield. Dierlijke activiteit had bovendien de meting van de verst gelegen val verstoord waardoor deze meting ook onbruikbaar bleek.

Samenstelling textuur bronmateriaal en drempelwaarden voor verstuiving

Van alle drie de transecten is uit het brongebied op het strand zandmonsters verzameld. Daarnaast is ook zand verzameld van verschillend suppletiezand bij het Spanjaardsduin. De drempelwaarde van de windsnelheid waarbij verstuiving optreedt voor het zand uit de verschillende bron gebieden, zijn in de windtunnel van Gent bepaald (zie voor meetprotocol [bijlage 3b](#)) waarbij ook een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd op variaties in de textuursamenstelling met verschillend suppletiezand om het effect van de lokale samenstelling van het zand in de brongebieden en suppleties op de zanddynamiek te kunnen beoordelen.

Potentiële erosie activiteit

Variatie in de zanddynamiek tussen opeenvolgende jaren wordt mede veroorzaakt door variatie in de weersomstandigheden. Om de potentiële erosie activiteit op basis van de weersgegevens te bepalen maken we gebruik van de meetgegevens van het meteo-meetnet van RWS/KNMI in combinatie met de voor de verschillende gebieden gevonden drempelwaarden. De meerjarige meetreeks voor uurgemiddelde voor windsnelheid en richting is eerst worden omgezet in erosie-uren per windrichting.

Analyse Jarkusprofielen

Om de verandering in de mate van overstuiving en aanzanding als gevolg van een verandering in de hoeveelheid beschikbaar zand voor aanzanding en verstuiving te bepalen wordt gebruik gemaakt van de jaarlijkse kustmetingen van RWS. Om het effect van MV2 en in de toekomst ook van verandering in duinbeheer en de suppleties te kunnen beoordelen zijn er per onderzoeksgebied vier Jarkusraaien (Goeree, kustvak 12: profiel nrs. 7-10; Voorne, kustvak 11: nrs.

7-10; Delftland, kustvak 9: nrs. 112-116) geselecteerd en is er een trendanalyse uitgevoerd voor een drietal kenmerken:

- Profiel ontwikkeling (Van Der Wal, 2004, De Vries et al., 2012, Keijsers et al., 2014);
- De positie van de duinvoet: meest zeewaarts gelegen punt met een hoogte van 3 m boven NAP (Ruessink en Jeuken, 2002, Van Der Wal, 2004, De Vries et al., 2012, Keijsers et al., 2014);
- De variantie per positie (meetpunt) in het profiel voor de periode 1980-2010. Een hoge variantie betekent dat er veel hoogteveranderingen op dat punt hebben plaatsgevonden (Keijsers et al., 2014).

Deze variantie is later bepaald voor alle transecten (Jarkusprofielen) van de drie onderzoeksgebieden voor de periode 1990-2010, omdat deze een goede maat bleek voor de activiteit van de zeereep. Deze variantie is bepaald om de overstuiving vanuit de zeereep naar het achterliggende gebied te bepalen.

Kartering potentiële brongebieden voor verstuiving en overstuivingspatronen

Om de huidige invloed van overstuiving op de vegetatie te bepalen zijn potentiële brongebieden eerst in kaart gebracht en geclassificeerd op systeemtype met behulp van luchtfoto-interpretatie (voor procedure, zie [bijlage 3c](#)).

4.1.3 Resultaten

Sedimentatieonderzoek

Tabel 4.1, Tabel 4.2 en Tabel 4.3 geven een overzicht van de zanddepositie langs de drie transecten (totaaloverzicht in [bijlage 3d](#)). Op de transecten Goedereede en Solleveld zijn de ingevangen hoeveelheden zeer laag wat duidt op een geringe doorvoer van zand vanuit het strand via de zeereep naar het achterland. Daarbij komt dat een deel van het ingevangen zand toegeschreven kan worden, op basis van de textuursamenstelling, als lokaal zand dat met de regen in de bakken is in gespat. De iets hogere waarde gemeten op locatie 1004 bij Goedereede is in zijn geheel toe te schrijven aan de lagere bodembedekking rondom de sedimentval op deze plek waardoor het aandeel van door de regen inspattend bodemmateriaal uit de directe omgeving hier hoog is. Ook hier duiden de hogere M50 waarden voor de korrelgrootte verdeling van het ingevangen sediment erop dat we hier voornamelijk met lokaal (wat grover) materiaal te maken hebben.

Alleen het transect bij Voornes Duin laat een duidelijk zandspraypatroon zien (Figuur 4.3). Het transect ligt hier achter een dynamisch gedeelte van de zeereep met een kerf (Figuur 4.4). De afname in opgevangen sediment volgt hier een duidelijke curve, welke beschreven kan worden met een powerfunctie. Deze heeft voor Voornes Duin een hoge R^2 -waarde (Figuur 4.3). Om deze reden is deze functie geselecteerd om de overstuiving vanuit de zeereep naar het achterduin te beschrijven. Bij Goedereede ligt er tussen het zeereep en het strand een groen strand met wash-overs en embryonale duinen. De afgeplagde duinvallei achter de zeereep vertoont zichtbare sporen van hoge eolische activiteit maar met een transportrichting die hoofdzakelijk evenwijdig is aan de duinen waardoor weinig materiaal verder landinwaarts het duingebied in gaat (zie Figuur 4.3).

De verschillen tussen de periode in zowel hoeveelheid als textuur samenstelling zoals in Tabel 4.2 duidelijk te zien is, zijn toe te schrijven aan het verschil in eolische activiteit (duur en intensiteit van perioden met zand transport) en het effect op de sorterende werking waarbij de grovere deeltje het dichtst achter de zeereep worden afgezet en de fijnste deeltjes het verst zoals ook beschreven in Arens et al. (2002). Dit is dus afhankelijk van de weersomstandigheden waaronder het transport plaats vindt en kan dus sterk variëren in tijd en ruimte. Naarmate de hoeveelheden kleiner worden gaat lokaal grover materiaal een groter stempel drukken op de M50 waarde. De M50 waarde moet hier dus vooral gezien worden als een extra indicatie voor de herkomst van het materiaal.

Tabel 4.1: Gemiddeld jaarlijkse zanddepositie gemeten in de periode 19-8-2011 tot 14-10-2013: transect Kwade hoek, Goedereede.

Afstand tot top zeereep (m)	Coördinaten (RD)		ID	Vegetatie bedekking (%)	Gemiddelde jaarlijkse depositie	
	x	y			Dikte (mm)	Textuur M50* (µm)
275 (10)**	57284	428873	1001	n.v.t.	0,02	149
390 (120)**	57308	428756	1002	95 - 100	0,26	217
440 (170)**	57285	428692	1003	95 -100	0,03	200
565 (300)**	57276	428560	1004	50	0,465	213

* periode 19-8-2011 tot 13-1-2012

** afstand tussen haakjes is afstand tot nieuw afgeplagde duinvallei met hoge eolische activiteit - zie ook kaart in [bijlage 3g](#)

Tabel 4.2: Gemiddeld jaarlijkse zanddepositie gemeten in de periode 19-8-2011 tot 14-10-2013: transect Voornes Duin, Rockanje.

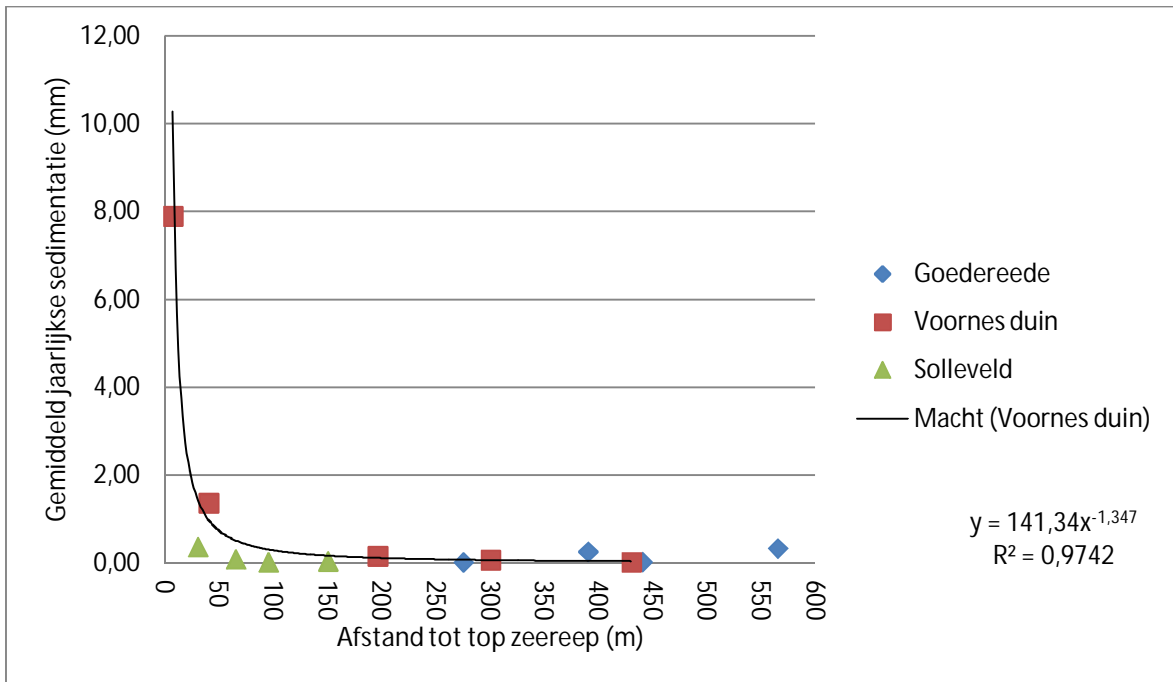
Afstand tot top zeereep (m)	Coördinaten (RD)		ID	Vegetatie bedekking (%)	Jaarlijkse depositie	
	x	y			Dikte (mm)	Textuur M50* (µm)
7	62036	435096	2000**	90	7,90	
40	62075	435094	2001	n.v.t.	1,37	203
196	62169	434962	2002	95 – 100	0,16	136
300	62206	434859	2003	95 – 100	0,07	131
430	62297	434762	2004	95 – 100	0,02	102

* periode 19-8-2011 tot 13-1-2012; ** locatie in 2012 toegevoegd

Tabel 4.3: Gemiddeld jaarlijkse zanddepositie gemeten in de periode 19-8-2011 tot 14-10-2013: transect Solleveld, Ter Heijde.

Afstand tot top zeereep (m)	Coördinaten (RD)		ID gebied	Vegetatie bedekking (%)	Jaarlijkse depositie	
	x	y			Dikte (mm)	Textuur M50* (µm)
30	71713	450370	3002	95 – 100	0,37	183
51	71621	450444	3003	95 - 100	0,09	170
65	71759	450322	3004	95 – 100	0,03	170
95	71812	450295	3005	95 – 100	0,07	168
150	71918	450187	3006	95 – 100	0,02	162

* periode 19-8-2011 tot 13-1-2012



Figuur 4.3: Gemiddeld jaarlijkse sedimentatie achter de zeereep van de drie transecten bij Kwade Hoek, Voornes Duin, en Solleveld op basis van de metingen tussen 25-2-2011 en 14-10-2013.



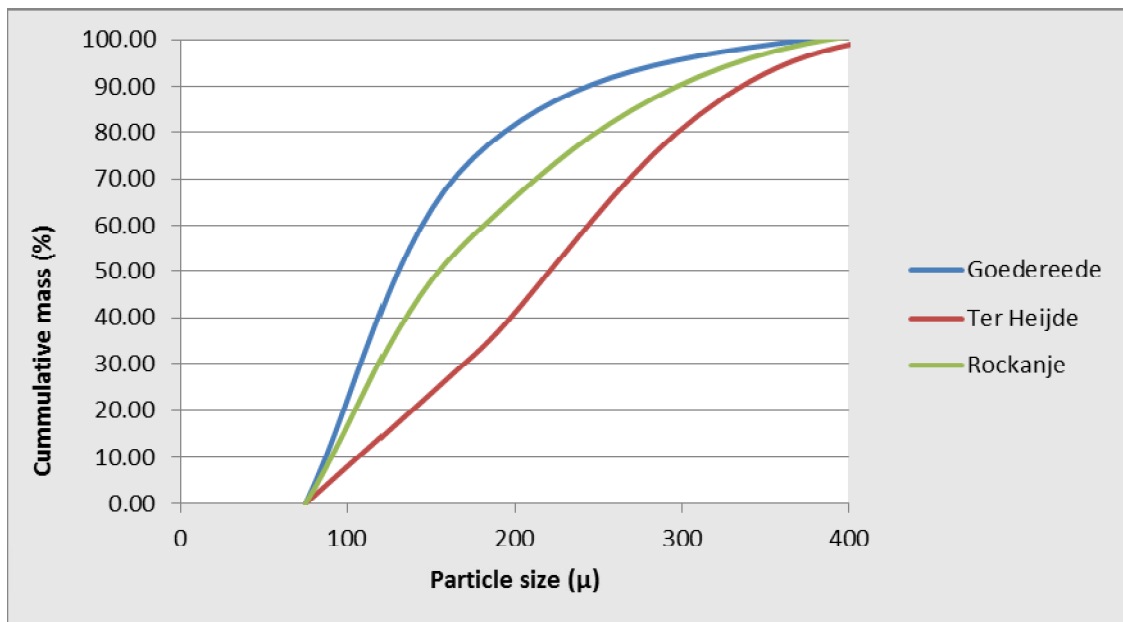
Figuur 4.4: Links: Dynamisch voorduin bij Voornes Duin; Rechts: De kerf waarachter het transect van Voornes Duin gelegen is.

Windtunnel onderzoek

Figuur 4.5 laat zien dat het strandzand bij Goedereede het fijnst is. Het zand bij Rockanje is iets grover. Het strand zand bij Ter Heijde (suppletie zand) is duidelijk een slag grover. Dit is dan ook terug te zien in de erosiegevoeligheid van het zand, uitgedrukt in de drempelwaarde van de windsnelheid waarbij saltatie begint (Tabel 4.4). Hiermee is duidelijk gemaakt dat suppletie een behoorlijk effect kan hebben op de potentiële eolische activiteit en daar mee de hoeveelheid zandspray.

Tabel 4.4: Drempelwaarden sleepkracht wind waarbij saltatie optreedt voor strandzand ter hoogte van de drie transecten

Locatie Sediment	D50 (μ)	Fluid threshold (ms^{-1})	Impact threshold (ms^{-1})
Goedereede	120	0.13	0.11
Rockanje	170	0.16	0.13
Ter Heijde	220	0.18	0.15



Figuur 4.5: Korrelgrootte verdeling strandzand ter hoogte van de drie transecten.

Potentiële erosie activiteit

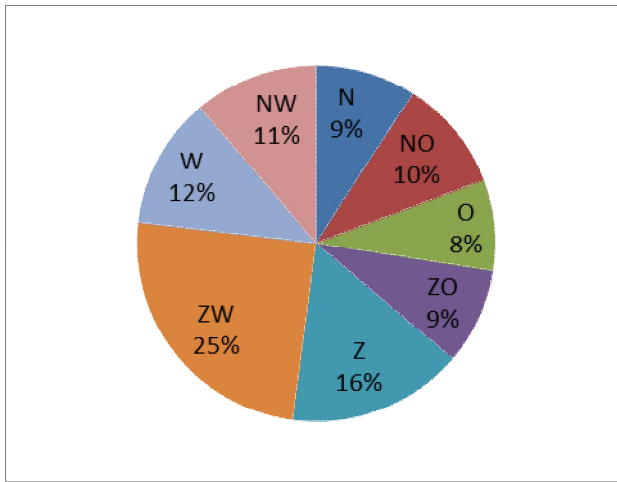
Om de potentiële erosie-activiteit op basis van de weersgegevens te bepalen, waren er meetgegevens beschikbaar van het KNMI en ECN. Van het KNMI zijn de gegevens van station 'Hoek van Holland' gebruikt; de windgegevens van dit station zijn afkomstig van een meetmast op de Noorderpier, direct aan de kust. De meetpunten van het ECN liggen bij Goeree, Schapenwei (Voornes Duin), Hoek van Holland en Solleveld. Deze meetpunten liggen in de duinen, en zijn daarom niet gebruikt om de potentiële erosie-activiteit op het strand te bepalen.

Onderstaande tabel geeft een samenvatting van het aantal winduren, zoals gemeten door het KNMI. De gemiddelde windsnelheid (U) onder droge omstandigheden is 0,68 m/s, de maximale gemeten windsnelheid is 2,1 m/s.

Tabel 4.5: Aantal winduren (in halve uren - voor uren delen door 2) zoals gemeten door het KNMI, op station Noorderpier (Hoek van Holland) tussen 1-12-2010 en 1-01-2013.

U (windsnelheid)	Aantal	Percentage
Totaal	36561	100.0%
Droog (wetness = 0)	32089	87.8%
Droog, U ≥ 0.5 m/s	23469	64.2%
Droog, U ≥ 0.6 m/s	19557	53.5%
Droog, U ≥ 0.7 m/s	15623	42.7%
Droog, U ≥ 0.8 m/s	11959	32.7%
Droog, U ≥ 0.9 m/s	8767	24.0%
Droog, U ≥ 1.0 m/s	6183	16.9%

De gemiddelde gemeten windrichting is weergegeven in Figuur 4.6, hieruit blijkt dat zuidwest de overheersende windrichting is.



Figuur 4.6: Winduren verdeeld over windrichting op station Noorderpier, Hoek van Hollands tussen 1-12-2010 en 1-1-2013

De snelheid waarmee de lucht beweegt, is de belangrijkste factor in wind erosie. Deze snelheid verandert met de hoogte, en kan worden uitgedrukt met de formule (Bagnold, 1941):

$$\bar{v}_z = \frac{2,3}{k} u_* \log\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ of (Panofsky en Dutton, 1984):}$$

$$\bar{v}_z = \frac{v_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

met \bar{v}_z als gemiddelde snelheid op hoogte z , k als von Kármán constante voor turbulente stroming (0,4 voor lucht), en u_* als 'drag', 'shear' of 'friction velocity' (Morgan, 2005, Guo et al., 2012).

De waarde z_0 wordt over het algemeen gedefinieerd als de aerodynamische ruwheidsfactor van het grondoppervlak (Guo et al., 2012). Hiervoor kunnen verschillende waarden worden gehanteerd, afhankelijk van het terrein en de aannames die men doet. Voor dit onderzoek is z_0 bepaald op 0.5 meter, wat hoog is voor het strand, maar gekozen is vanwege de ruigheid van het zeereep (0.5 is geclassificeerd als very rough door (Wieringa, 1992), en als 'Ammophila' volgens (Bressolier en Thomas, 1977).

Als de 'shear velocity' bekend is, kan de grenswaarde voor de windsnelheid worden berekend. Deze 'shear velocity' kan worden bepaald door aan te nemen dat $v = 0$ op hoogte z_0 , en de snelheid te meten op één hoogte en vervolgens de volgende formule toe te passen (Morgan, 2005):

$$u_* = \frac{k}{2,3} \frac{\bar{v}_z}{\log\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

In dit geval is deze waarde echter experimenteel in de windtunnel bepaald (zie [bijlage 3b](#)). Gebaseerd op deze gemeten waarden kan afhankelijk per locatie het aantal uren dat de impact threshold overschreden wordt, worden bepaald.

Tabel 4.6 Aantal potentiële erosie-uren per locatie

Locatie sediment	D50 (μ)	Impact threshold (ms^{-1})	Erosie-uren
Goedereede	120	0,11	1780
Rockanje	170	0,13	481
Ter Heijde	220	0,15	195

Onderzoekers stemmen overeen dat de transportcapaciteit van bewegende lucht varieert met de derde macht van de 'shear velocity'. Hierop gebaseerd heeft (Bagnold, 1941) de volgende formule ontwikkeld:

$$T_{fa} = C \left(\frac{d}{D} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\rho_a}{g} \right) u_*^3$$

met T_{fa} als maximum sediment transport per eenheid breedte, C als parameter gerelateerd aan korrelgrootte, d als gemiddelde diameter van het materiaal, D als standaard diameter van 0,25mm, ρ_a als dichtheid van de lucht en g als gravitatieconstante (Morgan, 2005).

Met behulp van deze formule en de hierboven bepaalde 'shear velocity', kan per locatie de potentiële winderosie (maximum sediment transport) worden bepaald. Deze is gegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4.7: Berekend maximum sediment transport per locatie

Locatie sediment	D50 (μ)	Impact threshold (ms^{-1})	Max. sediment transport (g/m/s)	Max. sediment transport (g/m)
Goedereede	120	0,11	7,5E-04	80
Rockanje	170	0,13	5,7E-05	2
Ter Heijde	220	0,15	4,8E-04	6

In de laatste kolom is het maximale sediment transport per seconde vermenigvuldigd met het aantal erosie-uren. Hieruit blijkt dat het potentiële sediment transport (gebaseerd op de windsnelheid en de textuur van het zand op het strand) het grootst is in Goedereede, en het kleinst bij Rockanje (Voorne). Ter Heijde (Solleveld) zit hier tussenin.

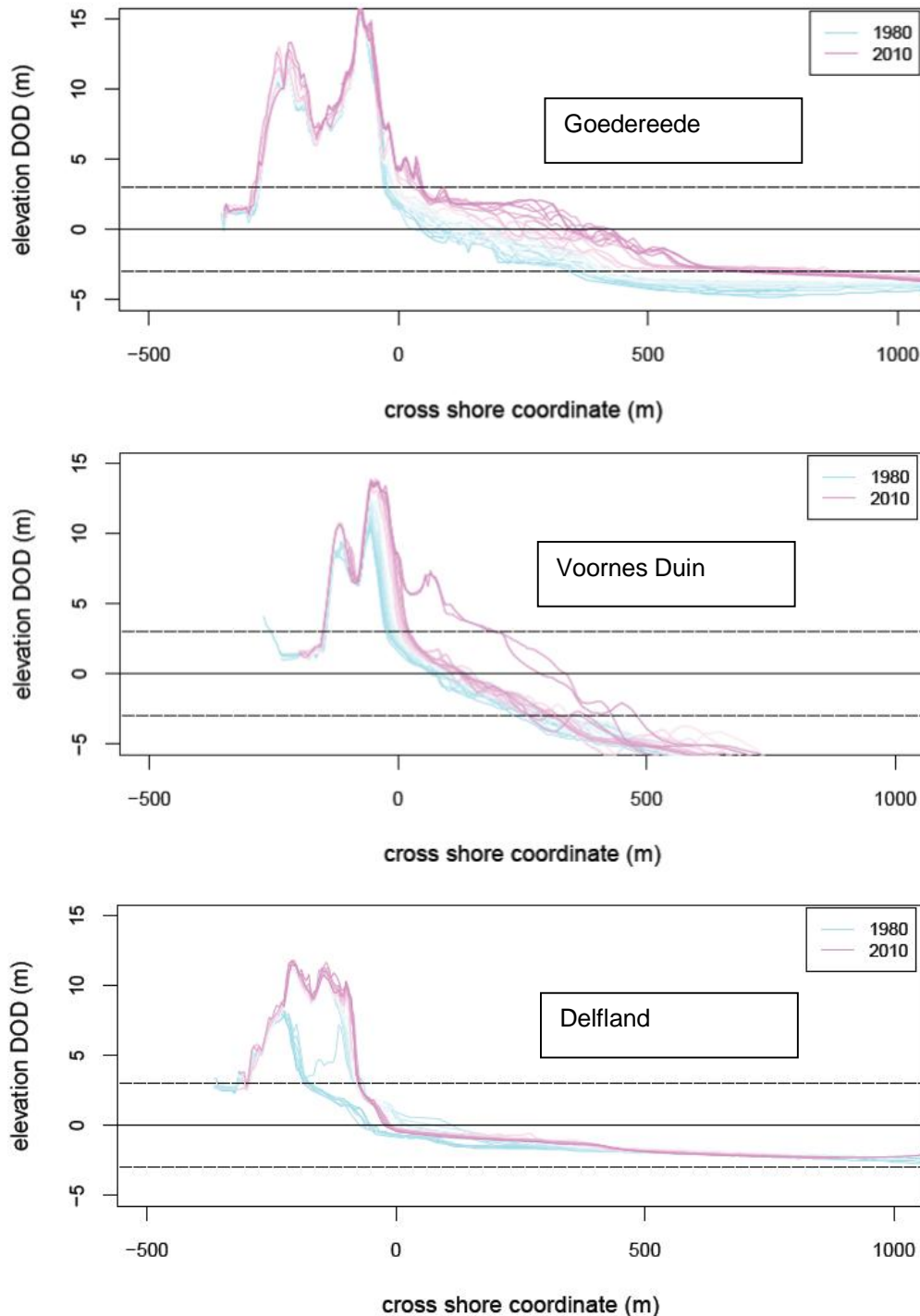
Analyse Jarkusprofielen

Volgens (Arens et al., 2010) is de zeereep tussen RSP 11.00 en 15.00 op Voorne grotendeels kunstmatig van oorsprong. Aanstuiving tegen de (kunstmatige) zeereep is de enige vorm van dynamiek; dit zorgt voor een meer natuurlijke voorkant met aanwezige embryonale duinen. De duinen bij Voorne worden ingedeeld in responstype 2; met name dynamiek vóór de duinen, terwijl er geen dynamiek is in de zeereep zelf, en de doorstuiving verwaarloosbaar is. Vooral potentie voor embryonale duinen, en mogelijk ook voor witte duinen.

Op Goeree (RSP 14.00-17.00, de 'kop') is de ontwikkeling van de zeereep gevarieerder; waarschijnlijk door een grotere afslagdynamiek. Er ontstaan lokaal kerven, en de voorzijde stuift aan (waarbij ook embryonale duinen ontstaan). De duinen hier zijn ingedeeld in responstype 4; matige tot forse dynamiek, die zich ook tot achter de zeereep uitstrekt. Dit geeft ook potentie voor de witte en Grijze duinen (Arens et al., 2010).

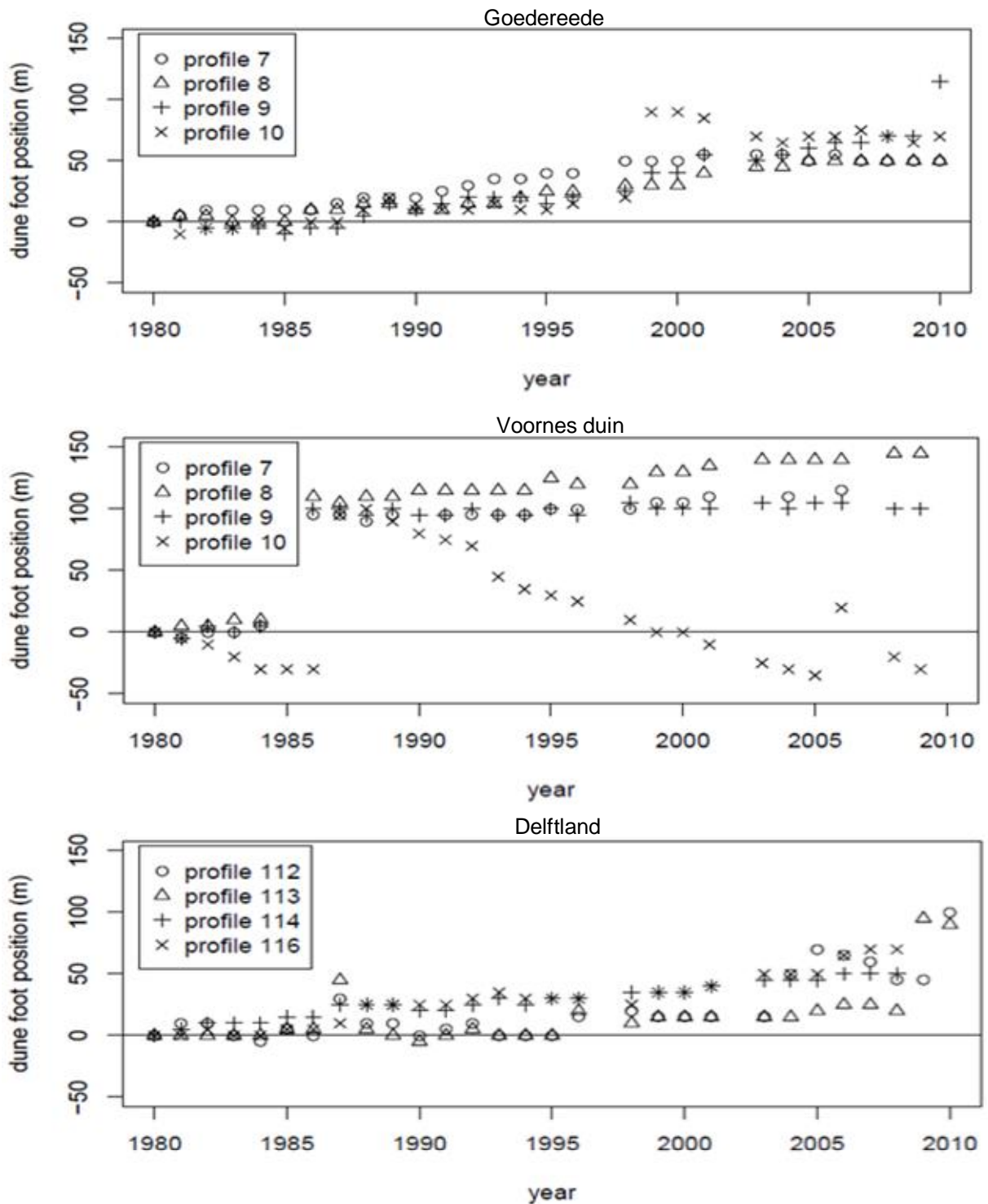
In hun rapport classificeren (Arens et al., 2010) het grootste deel van de zeereep bij Solleveld, Voorne en Goeree als responstype 3: wel embryonale duinen, maar geen doorstuiving. Enkele delen vallen onder type 1 - nauwelijks dynamiek (met name bij Voorne) en type 2 - beperkte dynamiek voorzijde. Alleen de Kwade Hoek op Goedereede wordt geclassificeerd als type 4 - dynamische zeereep met beperkte doorstuiving en zelfs type 5 - gekerfde zeereep met sterke doorstuiving.

In Voornes Duin en Delfland is er duidelijk invloed van suppleties, te zien aan de grote sprongen in de profiel ontwikkeling (Figuur 4.7). In alle gevallen hebben de duinen aan hoogte en volume gewonnen. De Goeree-profielen laten daarnaast een sterke toename in strandbreedte zien.



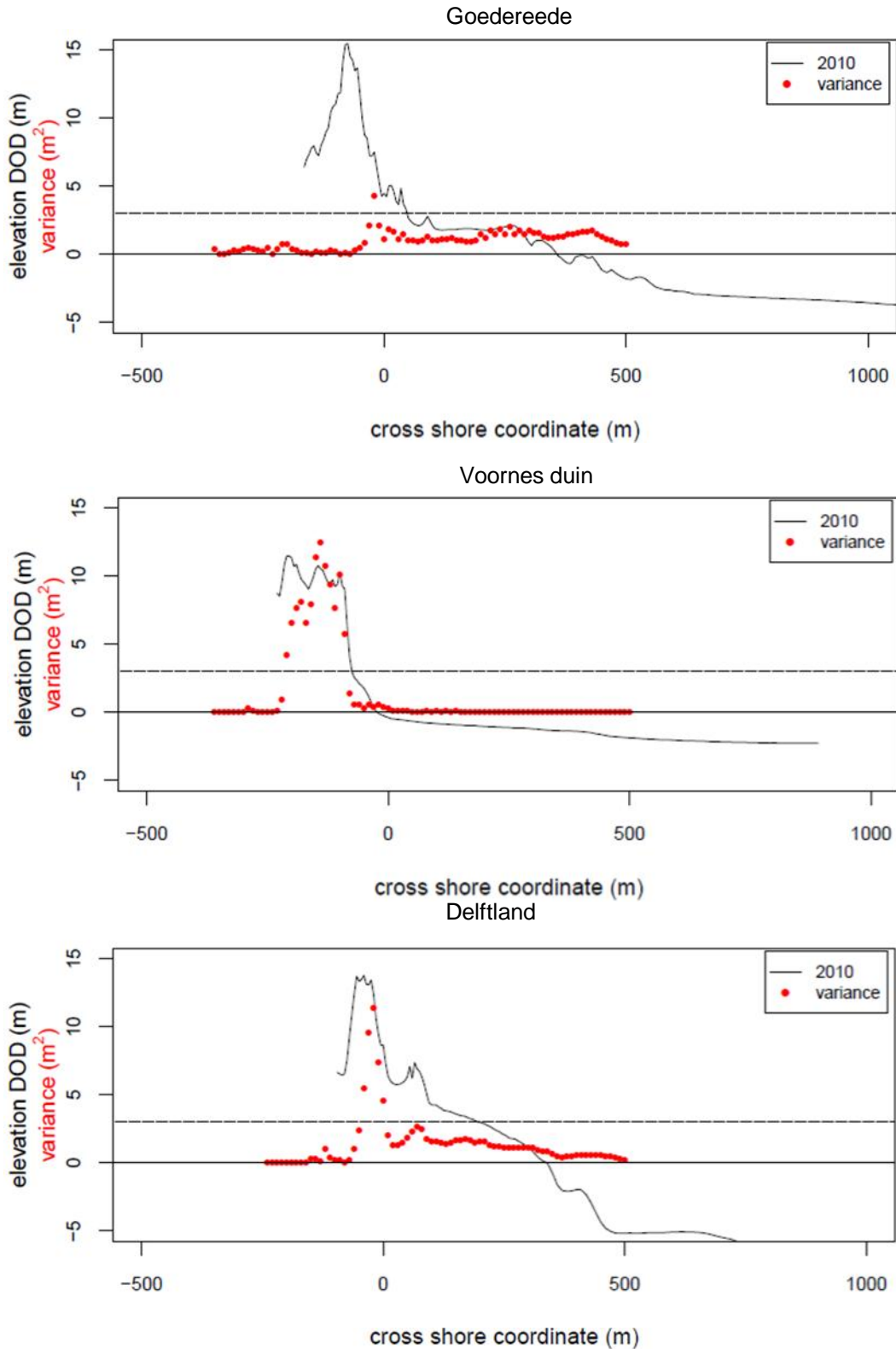
Figuur 4.7: Ontwikkeling van de Jarkusprofielen tussen 1980 en 2010. De lijnen representeren de Jarkus profielen voor de jaren tussen 1980 en 2010, voor elk jaar 1 lijn.

De positie van de duinvoet is gedefinieerd als het meest zeewaarts gelegen punt met een hoogte van 3m boven NAP. In de meeste gevallen is de netto verplaatsing over de hele meetperiode zeewaarts (positieve waarden). Profiel 10 in Voorne laat echter een landwaartse verschuiving zien, resulterend in een steil duin (Figuur 4.8).



Figuur 4.8 Verplaatsing van de duinvoet ten aanzien van 1980 tussen 1980 en 2010 voor de onderzochte Jarkusprofielen.

Figuur 4.9 laat de variantie per positie (meetpunt) in het profiel voor de periode 1980-2010 zien. Een hoge variantie betekent dat er veel hoogteveranderingen op dat punt hebben plaatsgevonden (hoge duindynamiek). In Voorne en Delfland, is de hoogste activiteit (hoogste variantie) te vinden rond de top van de zeereep. In Goeree, vindt de hoogste activiteit plaats op het strand (embryonale duinvorming).



Figuur 4.9: Variantie per positie in het profiel voor de periode 1980 – 2010.

Als input voor de potentiële overstuivingskaart is de variantie ook voor alle afzonderlijke Jarkus-raaien in de onderzoeksgebieden bepaald (naast de vier voorbeeldraaien die hierboven zijn weergegeven en besproken).

De gevonden waarden voor variantie liggen tussen 2 en 13 voor Solleveld, tussen 0 en 21 voor Voorne, en tussen 0 en 8 voor Goeree. De variantie (als maat voor de activiteit van de zeereep) is dus het hoogst voor Voorne, en het laagst voor Goeree.

Voordat deze waarden als input zijn gebruikt, is ook gekeken of de variantie daadwerkelijk in het zeereep plaatsvond, en of er bijzondere activiteiten in het betreffende gebied waren die van invloed zijn op de waarde voor de variantie en/of de activiteit van het zeereep (zoals de aanleg van een nieuw zeereep, of het creëren van kerven in het zeereep). Hierna zijn waar nodig de gevonden waarden aangepast.

Kartering potentiële brongebieden voor verstuiving en overstuivingspatronen

Met behulp van luchtfoto's (RGB) uit 2009 is zowel de activiteit in de zeereepen als in het achterduin (stuifplekken) bepaald. Dit is gedaan in Definiens Professional (voor gevolgde procedure zie [bijlage 3c](#)). De resultaten zijn als gebiedsdekkende kaarten opgenomen in de [bijlage \(3f en 3g\)](#).

De potentiële overstuiving vanuit de zeereep is verder gekwantificeerd door met behulp van een GIS-analyse de eerder in dit hoofdstuk gevonden formule toe te passen op het gehele zeeduin. Hiermee is een gebiedsdekkende kaart gemaakt (voorbeeld in [bijlage 3e](#)). Door deze kaart over de PQ's te leggen, kan per PQ de (potentiële) overstuiving vanuit de zeereep worden bepaald. De potentiële overstuiving per PQ is weergegeven in Tabel 4.8.

Voor de mogelijke aanvoer van CaCO₃ met het sediment zijn drie verschillende concentraties gebruikt: 2,5%, 5% en 10% (gebaseerd op de gehalten gevonden in bodemanalyses, en het onderzoek van Stuyfzand et al. (2012)). Bij een potentiële input van zuur van 2000 mol/ha/jaar (zoals bepaald door het RIVM), is er 20 gram CaCO₃ per jaar nodig. PQ's waarbij deze waarde wordt gehaald, zijn met groen gemarkeerd in Tabel 4.8.

Het blijkt dat voor het overgrote deel van de PQ's de aanvoer van CaCO₃ onvoldoende zal zijn om de potentiële input van zuur te compenseren.

Bij sediment met een CaCO₃ percentage van 2,5% of 5% zal slechts op vier à vijf PQ's op Solleveld de invang van CaCO₃ voldoende zijn om de zure depositie te neutraliseren. Als er zeer kalkrijk materiaal instuift (CaCO₃ 10%) loopt dit op tot 12 PQ's in Solleveld en één PQ in de Van Dixhoorndriehoek.

Tabel 4.8: PQ's voor vegetatiemonitoring met beïnvloeding door overstuiving vanuit zeereep en nabijheid van stuifplekken

PQnr	Naam	Overstuiving		Aanvoer CaCO ₃ (g/m ² /jaar)			PQ's nabij stuifplek (actief/passief)
		(mm/jaar)	(g/m ² /jaar)	bij 10% CaCO ₃	bij 5% CaCO ₃	bij 2.5% CaCO ₃	
3	Voorne	0.008	11.2	1.1	0.6	0.3	Passief
4	Voorne	0.007	9.4	0.9	0.5	0.2	
5	Voorne	0.010	15.1	1.5	0.8	0.4	
6	Voorne	0.007	9.6	1.0	0.5	0.2	
7	Voorne	0.002	2.9	0.3	0.1	0.1	
8	Voorne	0.047	67.5	6.8	3.4	1.7	Passief
9	Voorne	0.053	76.1	7.6	3.8	1.9	Passief
10	Voorne	0.007	10.6	1.1	0.5	0.3	Passief
11	Voorne	0.006	8.7	0.9	0.4	0.2	
12	Voorne	0.029	41.8	4.2	2.1	1.0	
13	Voorne	0.023	32.8	3.3	1.6	0.8	
14	Voorne	0.027	38.2	3.8	1.9	1.0	
15	Voorne	0.047	67.4	6.7	3.4	1.7	
16	Voorne	0.018	25.7	2.6	1.3	0.6	

PQnr	Naam	Overstuiving		Aanvoer CaCO ₃ (g/m ² /jaar)			PQ's nabij stuifplek (actief/passief)
		(mm/jaar)	(g/m ² /jaar)	bij 10% CaCO ₃	bij 5% CaCO ₃	bij 2.5% CaCO ₃	
17	Voorne	0.013	18.9	1.9	0.9	0.5	
18	Voorne	0.036	51.8	5.2	2.6	1.3	Passief
20	Voorne	0.065	93.5	9.4	4.7	2.3	
22	Voorne	0.003	4.7	0.5	0.2	0.1	Passief
23	Voorne	0.030	42.6	4.3	2.1	1.1	Actief
24	Voorne	0.001	1.2	0.1	0.1	0.0	
25	Voorne	0.001	0.9	0.1	0.0	0.0	
26	Voorne	0.023	33.2	3.3	1.7	0.8	
27	Voorne	0.023	33.4	3.3	1.7	0.8	Passief
29	Voorne	0.001	1.9	0.2	0.1	0.0	Passief
30	Voorne	0.002	2.2	0.2	0.1	0.1	
32	Voorne	0.008	10.9	1.1	0.5	0.3	Passief
33	Voorne	0.009	13.2	1.3	0.7	0.3	Passief
44	Voorne	0.000	0.3	0.0	0.0	0.0	Actief
46	Voorne	0.000	0.4	0.0	0.0	0.0	Passief
47	Voorne	0.000	0.4	0.0	0.0	0.0	
48	Voorne	0.000	0.5	0.0	0.0	0.0	Passief
51	Voorne	0.033	46.9	4.7	2.3	1.2	
52	Voorne	0.016	23.5	2.4	1.2	0.6	
53	Voorne	0.047	67.2	6.7	3.4	1.7	
55	Voorne	0.007	10.5	1.0	0.5	0.3	
56	Voorne	0.011	16.1	1.6	0.8	0.4	
57	Voorne	0.002	3.3	0.3	0.2	0.1	
58	Voorne	0.005	7.1	0.7	0.4	0.2	
59	Voorne	0.006	8.5	0.9	0.4	0.2	
60	Voorne	0.009	13.6	1.4	0.7	0.3	
61	Voorne	0.009	13.1	1.3	0.7	0.3	
62	Voorne	0.014	20.8	2.1	1.0	0.5	
63	Voorne	0.023	33.8	3.4	1.7	0.8	Actief
73	Goeree	0.001	1.2	0.1	0.1	0.0	
74	Goeree	0.004	5.2	0.5	0.3	0.1	
75	Goeree	0.007	9.7	1.0	0.5	0.2	
76	Goeree	0.003	4.5	0.4	0.2	0.1	
77	Goeree	0.008	12.0	1.2	0.6	0.3	
79	Goeree	0.009	12.3	1.2	0.6	0.3	
80	Goeree	0.010	14.5	1.4	0.7	0.4	
81	Goeree	0.002	3.5	0.4	0.2	0.1	
82	Goeree	0.011	15.1	1.5	0.8	0.4	
83	Goeree	0.011	15.3	1.5	0.8	0.4	
85	Goeree	0.002	2.9	0.3	0.1	0.1	
86	Goeree	0.002	2.7	0.3	0.1	0.1	
88	Goeree	0.001	1.8	0.2	0.1	0.0	Passief
89	Goeree	0.003	4.9	0.5	0.2	0.1	Passief
90	Goeree	0.010	14.3	1.4	0.7	0.4	
91	Goeree	0.002	2.2	0.2	0.1	0.1	
92	Goeree	0.003	4.9	0.5	0.2	0.1	
93	Goeree	0.004	5.6	0.6	0.3	0.1	
94	Goeree	0.015	21.1	2.1	1.1	0.5	
95	Goeree	0.005	7.3	0.7	0.4	0.2	
97	Goeree	0.002	3.5	0.4	0.2	0.1	

PQnr	Naam	Overstuiving		Aanvoer CaCO ₃ (g/m ² /jaar)			PQ's nabij stuifplek (actief/passief)
		(mm/jaar)	(g/m ² /jaar)	bij 10% CaCO ₃	bij 5% CaCO ₃	bij 2.5% CaCO ₃	
99	Goeree	0.002	3.5	0.4	0.2	0.1	
100	Goeree	0.002	3.2	0.3	0.2	0.1	
101	Goeree	0.003	4.4	0.4	0.2	0.1	
103	Goeree	0.009	13.2	1.3	0.7	0.3	
104	Goeree	0.004	5.2	0.5	0.3	0.1	
105	Goeree	0.010	14.5	1.4	0.7	0.4	
106	Goeree	0.002	3.5	0.3	0.2	0.1	Passief
107	Goeree	0.006	9.1	0.9	0.5	0.2	
108	Goeree	0.007	9.9	1.0	0.5	0.2	
109	Goeree	0.002	3.1	0.3	0.2	0.1	Passief
110	Goeree	0.005	6.9	0.7	0.3	0.2	Passief
111	Goeree	0.002	2.9	0.3	0.1	0.1	
114	Goeree	0.002	2.7	0.3	0.1	0.1	
115	Goeree	0.002	2.2	0.2	0.1	0.1	
116	Goeree	0.004	5.6	0.6	0.3	0.1	
117	Goeree	0.004	5.2	0.5	0.3	0.1	
118	Goeree	0.002	2.9	0.3	0.1	0.1	
119	Goeree	0.003	3.8	0.4	0.2	0.1	
121	Goeree	0.001	1.1	0.1	0.1	0.0	
122	Goeree	0.004	6.0	0.6	0.3	0.1	
123	Goeree	0.005	6.7	0.7	0.3	0.2	
124	Goeree	0.004	5.6	0.6	0.3	0.1	
125	Goeree	0.003	3.9	0.4	0.2	0.1	
126	Goeree	0.007	10.0	1.0	0.5	0.3	
127	Goeree	0.004	5.2	0.5	0.3	0.1	
129	Goeree	0.002	3.4	0.3	0.2	0.1	
130	Goeree	0.002	3.6	0.4	0.2	0.1	
131	Goeree	0.003	3.6	0.4	0.2	0.1	Actief
132	Goeree	0.001	1.9	0.2	0.1	0.0	
134	Goeree	0.003	4.4	0.4	0.2	0.1	
135	Goeree	0.005	7.0	0.7	0.3	0.2	
136	Goeree	0.005	7.2	0.7	0.4	0.2	
137	Goeree	0.006	8.8	0.9	0.4	0.2	
139	Goeree	0.003	4.7	0.5	0.2	0.1	
140	Goeree	0.001	1.2	0.1	0.1	0.0	
141	Goeree	0.002	2.8	0.3	0.1	0.1	
142	Goeree	0.016	22.7	2.3	1.1	0.6	
143	Goeree	0.018	26.1	2.6	1.3	0.7	
144	Goeree	0.018	25.7	2.6	1.3	0.6	
145	Solleveld	0.396	570.4	57.0	28.5	14.3	Actief
146	Solleveld	0.054	78.2	7.8	3.9	2.0	
147	Solleveld	0.253	365.4	36.5	18.3	9.1	
148	Solleveld	0.764	1101.9	110.2	55.1	27.5	Passief
150	Solleveld	0.184	265.5	26.6	13.3	6.6	
152	Solleveld	0.239	345.2	34.5	17.3	8.6	
153	Solleveld	0.501	721.9	72.2	36.1	18.0	
155	Solleveld	0.195	281.3	28.1	14.1	7.0	Actief
156	Solleveld	1.016	1464.4	146.4	73.2	36.6	Actief
157	Solleveld	0.181	260.3	26.0	13.0	6.5	
159	Solleveld	0.627	904.0	90.4	45.2	22.6	

PQnr	Naam	Overstuiwing		Aanvoer CaCO ₃ (g/m ² /jaar)			PQ's nabij stuifplek (actief/passief)
		(mm/jaar)	(g/m ² /jaar)	bij 10% CaCO ₃	bij 5% CaCO ₃	bij 2.5% CaCO ₃	
160	Solleveld	0.073	105.8	10.6	5.3	2.6	
161	Solleveld	0.044	63.0	6.3	3.2	1.6	Actief
162	Solleveld	0.181	260.5	26.1	13.0	6.5	
164	Solleveld	0.053	76.7	7.7	3.8	1.9	Passief
165	Solleveld	0.108	155.3	15.5	7.8	3.9	
166	Solleveld	0.135	194.2	19.4	9.7	4.9	
167	Solleveld	0.210	302.3	30.2	15.1	7.6	Actief
168	Solleveld	0.031	44.8	4.5	2.2	1.1	Actief
170	Solleveld	0.055	79.3	7.9	4.0	2.0	
171	Solleveld	0.040	58.3	5.8	2.9	1.5	
172	Solleveld	0.018	26.0	2.6	1.3	0.7	
173	Solleveld	0.018	26.2	2.6	1.3	0.7	
174	Solleveld	0.028	40.3	4.0	2.0	1.0	
175	Solleveld	0.042	61.0	6.1	3.1	1.5	
176	Solleveld	0.020	28.4	2.8	1.4	0.7	Actief
177	Solleveld	0.008	11.4	1.1	0.6	0.3	
178	Solleveld	0.014	20.5	2.0	1.0	0.5	
179	Solleveld	0.008	11.3	1.1	0.6	0.3	
180	Solleveld	0.008	11.0	1.1	0.6	0.3	
181	Solleveld	0.008	10.9	1.1	0.5	0.3	
182	Solleveld	0.024	34.7	3.5	1.7	0.9	
183	Solleveld	0.052	75.4	7.5	3.8	1.9	
184	Solleveld	0.011	15.2	1.5	0.8	0.4	
186	Solleveld	0.037	53.7	5.4	2.7	1.3	
187	Solleveld	0.012	16.9	1.7	0.8	0.4	
188	Solleveld	0.036	52.0	5.2	2.6	1.3	
189	Solleveld	0.014	20.8	2.1	1.0	0.5	
191	Solleveld	0.016	23.8	2.4	1.2	0.6	
192	Solleveld	0.017	24.5	2.5	1.2	0.6	
195	Vinetaduin	0.006	8.2	0.8	0.4	0.2	
196	Vinetaduin	0.005	7.8	0.8	0.4	0.2	
198	Vinetaduin	0.006	9.1	0.9	0.5	0.2	
199	Vinetaduin	0.006	8.5	0.9	0.4	0.2	
200	Van Dixhoorn Driehoek	0.010	13.8	1.4	0.7	0.3	Actief
202	Van Dixhoorn Driehoek	0.013	19.2	1.9	1.0	0.5	
203	Van Dixhoorn Driehoek	0.030	42.9	4.3	2.1	1.1	Passief
204	Van Dixhoorn Driehoek	0.015	21.3	2.1	1.1	0.5	
205	Van Dixhoorn Driehoek	0.156	225.5	22.5	11.3	5.6	Actief
207	Van Dixhoorn Driehoek	0.010	14.1	1.4	0.7	0.4	
208	Van Dixhoorn Driehoek	0.025	35.7	3.6	1.8	0.9	
210	Van Dixhoorn Driehoek	0.029	41.1	4.1	2.1	1.0	
211	Van Dixhoorn Driehoek	0.060	86.7	8.7	4.3	2.2	Actief
212	Van Dixhoorn Driehoek	0.044	63.2	6.3	3.2	1.6	Passief
213	Van Dixhoorn Driehoek	0.047	68.1	6.8	3.4	1.7	Passief
214	Van Dixhoorn Driehoek	0.035	50.3	5.0	2.5	1.3	
215	Van Dixhoorn Driehoek	0.081	116.9	11.7	5.8	2.9	Passief
216	Van Dixhoorn Driehoek	0.040	57.6	5.8	2.9	1.4	
217	Van Dixhoorn Driehoek	0.040	57.7	5.8	2.9	1.4	

De chemische samenstelling van de overstuivingen is niet bepaald, maar kan worden gerelateerd aan het onderzoek van Stuyfzand et al. (2012), die transecten hebben gemeten in (onder andere) Solleveld en Voorne. Deze transecten liggen dicht bij de transecten voor sedimentmetingen die voor dit onderzoek zijn gebruikt. Enkele gemiddelde waarden die gevonden zijn voor deze twee transecten zijn weergegeven in Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Enkele componenten van chemische samenstelling van gemeten transecten

	Transect	C-org (%)	N (%)	CaCO ₃ (%)	P (ppm)
Solleveld	17 (Zandmotor)	0,40	0,03	2,50	158
Voorne	18	0,48	0,04	4,45	166

Wanneer gekeken wordt naar de ruimtelijke verdeling van deze concentraties, blijkt dat voor Solleveld het kalkgehalte hoger is voor zand uit het deel met 'overstuiving + duinverzwaring' ten opzichte van de meer landwaarts genomen monsters zonder invloed van deze factoren, terwijl voor Voorne de concentratie over de gehele lengte van het transect vergelijkbaar is. Voor de P-gehalten geldt voor beide transecten dat de concentratie hoger ligt bij de landwaartse monsters vergeleken met de monsters uit de klasse 'overstuiving + duinverzwaring'. Volgens Stuyfzand et al. (2012) reiken de duinverzwaring, suppleties en overstuivingen bij Solleveld tot 550m van de HoogWaterLijn (HWL) met mogelijk nog sporen van overstuiving tot 800 m. Voor Voorne is de zeereep overstoven met suppletiezand tot een afstand van 390 m van de HWL (Stuyfzand et al., 2012).

Als potentiële brongebieden voor verstuiving in het gebied achter de zeereep (stuifplekken) zijn de stuifplekken groter dan 50 m² geselecteerd. Vervolgens is voor deze plekken (afhankelijk van hun activiteit en de overheersende windrichting, zoals hierboven bij 4.1.3.3. bepaald) het gebied geselecteerd dat mogelijk beïnvloed wordt door deze stuifplekken. Dit zijn:

- gebieden binnen 10 meter ten noordoosten van inactieve stuifplekken;
- gebieden binnen 25 meter ten noordoosten van actieve stuifplekken.

PQs die binnen de stuifplek zelf of de invloedssfeer vallen, zijn gemarkeerd en weergegeven in Tabel 4.8. Indien een PQ beïnvloed wordt, is er vermeld of dit door een actieve respectievelijk passieve stuifplek komt.

Voor het bepalen van de invloed van deze stuifplekken zijn ook bodemonsters genomen op twee transecten in Solleveld (Tabel 4.10).

Tabel 4.10: Resultaten bodemanalyse van twee transecten achter actieve stuifplekken

PQnr.	Afstand tot stuifkuil (m)	pH	N-NH ₄ (mg/kg)	N-(NO ₃ +NO ₂) (mg/kg)	Nts (mg/kg)	P-PO ₄ (mg/kg)	organische stof (105-550°C) (%)	pH (bij 20±1°C)
verst1	1	4.57	2.50	0.20	4	0.10	0.30	5.68
verst2	66	5.90	1.00	0.30	3	0.30	0.30	6.96
verst3	134	4.06	1.50	0.50	9	0.60	2.40	5.01
verst5	1	4.66	2.50	5.90	13	2.60	2.90	5.72
verst6	11	5.05	1.50	0.60	3	0.40	0.30	6.19
verst7	21	3.93	1.60	0.80	16	0.70	4.70	5.05
verst4	41	3.99	2.80	1.00	13	0.90	3.90	4.99

Uit deze gegevens blijken geen duidelijke patronen. In transect twee (verst 5-6-7-4) neemt de pH geleidelijk af met de afstand tot de stuifplek. Maar wat vooral duidelijk wordt is de grote ruimtelijke variatie in de gemeten plots.

4.1.4 Conclusies

Ten aanzien van de onderzoeksvragen kunnen we de volgende conclusies trekken op basis van het uitgevoerde onderzoek:

1. *Wat is de huidige status van de zanddynamiek in de drie onderzoeksgebieden?*
 - Locaties Kwade Hoek en Solleveld is de dynamiek in het onderzochte duingebied zeer laag.
 - In beide gevallen is er geen duidelijke relatie tussen ingevangen hoeveelheid sediment met de afstand tot strand. Het zelfde geldt voor de textuur (M50) van het ingevangen sediment. Dit duidt op grotere rol van lokale spaterosie. Het transect bij Voornes Duin laat wel een duidelijke gradiënt zien voor zowel ingevangen hoeveelheid sediment als textuur (M50 neemt af met de afstand tot het strand). Op deze locatie is duidelijk sprake van een hoge zanddynamiek rond de zeereep.
 - De overstuivingskaart laat zien dat de meeste PQ's nauwelijks invloed ondervinden van sandspray vanuit de zeereep. Slechts voor enkele PQ's is de jaarlijkse overstuiving dermate groot dat deze een invloed kan hebben op zowel de vegetatie als de bodemchemie.
 - Een aantal PQ's wordt beïnvloed door lokale stuifplekken. De reikwijdte bedraagt meestal niet meer dan 25 meter en is afhankelijk van de omvang van de stuifplek en de ligging op de overheersende windrichting.

2. *Door welke factoren wordt de zanddynamiek bepaald en in welke mate?*
 - Uit het onderzoek blijkt dat de sandspray sterk samenhangt met de dynamiek van de zeereep en de depositie exponentieel afneemt landinwaarts.
 - Uit de bestudering van de Jarkusprofielen blijkt dat met name in Voorne en in mindere mate in Delfland, de hoogste activiteit (hoogste variantie in sediment budget tussen verschillende jaren in de periode van 1980 – tot 2010) is te vinden rond de top van de zeereep wat duidt op een mogelijke grootste invloed van sandspray in deze twee gebieden. In Goeree, vindt de hoogste activiteit plaats op het strand (embryonale duinvorming). Sedimenttransport naar het achterland via grootschalige dynamiek in de zeereepen en sandspray lijkt hierdoor sterk beperkt te worden zoals ook door Van Haperen (2009) is geconstateerd.
 - Uit het windtunnelonderzoek blijkt dat de sedimentsamenstelling (korrelgrootte verdeling) een duidelijke invloed heeft op de potentiële zanddynamiek.
 - Met behulp van de windgegevens is de erosiecapaciteit van de wind bepaald. Deze kan worden gebruikt om als input voor het overstuivingsmodel te fungeren, om zo de verschillen tussen jaren te kunnen berekenen met het model.

4. *Wat is de invloed van het beheer op de zanddynamiek en welke maatregelen kunnen een eventueel positieve effect van de zanddynamiek op de omvang en kwaliteit van de H2130, H2190 en de Groenknolorchis versterken?*
 - De samenstelling (textuur opbouw) van suppletiezand heeft invloed op het transport en afzettingpatroon. Fijner zand wordt makkelijker door de wind opgenomen en heeft een groter bereik dan grovere (zwaardere) zandkorrels.
 - Door dynamisch duinbeheer toe te passen kan men in belangrijke mate de overstuiving achter de zeereep beïnvloeden en daarmee de sandspray. Reactiveren van oude duinen door afplaggen (van de zeewaartse helling) kan de vegetatie successie tijdelijk terug zetten en tijdelijk tot verhoogde zanddynamiek leiden. Geomorfologisch gezien zo dit echter tot een afvlakking van het duingebied kunnen betekenen wanneer dit op grote schaal zou plaatsvinden. In het vervolgonderzoek zal extra aandacht worden besteed aan het effect van zanddynamiek in de kleine open plekken op de omliggende bodemeigenschappen en vegetatie.

4.2 Geohydrologie

Hydrologie speelt een belangrijke rol voor de omvang en kwaliteit van vochtige duinen (H2190), maar veel minder voor Grijze duinen (H2130). De hydrologische monitoring richt zich daarom op de gebieden waar H2190 voorkomt. Dit zijn de gebieden Goeree en Voornes duin. Het oppervlak H2190 in Solleveld & Kapittelduinen is dermate gering, dat het niet zinvol is om deze op te nemen in de monitoring.

Het hoofddoel van het onderdeel geohydrologie is te zorgen dat grondwaterstanden als factor (ruis) meegenomen kunnen worden in het causaal onderzoek naar de relatie tussen stikstofdepositie en de kwaliteit en oppervlakte van de habitattypen. Het gaat hierbij zowel om trends in de tijd (verdroging, vernatting) als de ruimtelijke variatie (tussen de PQ's).

Om dit doel te bereiken worden de onderstaande onderzoeksvragen beantwoord:

- Hoe vergelijkbaar is de grondwaterdynamiek in de duinen van Voorne en de duinen van Goeree?
- Is er sprake van een trend naar vernatting of verdroging?
- Wat is de gemiddelde grondwaterstand op de PQ- locaties met Vochtige duinvalleien (H2190)?

Drinkwaterwinning en grondwaterbeheer

In de Middelduinen op Goeree wordt sinds 1938 uit het diepe watervoerende pakket grondwater gewonnen voor drinkwaterproductie. Open infiltratie via één kanaal en één drain vindt plaats sinds 1954 (Annema en Jansen, 1996⁴). In 1995 is gestopt met de infiltratie en ondiepe waterwinning. Er wordt nog nu alleen nog incidenteel water gewonnen uit het diepe watervoerende pakket.

In de Oostduinen op Goeree wordt eveneens diep grondwater gewonnen en via meerdere kanalen en drains infiltratiewater gewonnen. In 2000 is overgegaan op oppervlakte infiltratie nieuwe stijl. De rechte kanalen zijn vervangen voor meer natuurlijk ogende vloeivelden en er is ingezet op maximale voorfiltratie om de eutrofiering door het oppervlaktewater te beperken. Bovendien worden meer natuurlijke peilfluctuaties gesimuleerd.

Na de kustversterking in 1978 voor de Schapenwei op Voorne is een pomp geïnstalleerd om te voorkomen dat de duinvallei te nat zou worden. Bij te hoge grondwaterstanden wordt hier nog steeds water afgevoerd.

Bodemschematisatie

Voor de locaties Goeree en Voorne is de bodem geschematiseerd in goed doorlatende watervoerende pakketten en slecht doorlatende scheidende lagen. Hierbij dient op Goeree onderscheid te worden gemaakt tussen de Westduinen en de Middel- en Oostduinen vanwege een lokaal ondiep voorkomende kleilaag in de Middel- en Oostduinen, die ontbreekt in de Westduinen.

In een watervoerend pakket treedt overwegend horizontale grondwaterstroming op en in een scheidende laag vindt hoofdzakelijk verticale grondwaterbeweging plaats. Scheidende of slecht doorlatende lagen zijn beschreven door middel van de hydraulische weerstand of c-waarde. Deze is bepalend voor de hoeveelheid water die wordt doorgelaten door de scheidende laag.

In Tabel 4.11 en Tabel 4.12 is de geohydrologische schematisatie beschreven van respectievelijk Goeree en Voorne. Op basis van REGIS II (Regionaal geohydrologisch informatiesysteem, NITG-TNO, 2003) is een beschrijving gegeven van de regionale bodemopbouw.

Tabel 4.11 Geohydrologische schematisatie Voorne

Diepte (m t.o.v. NAP)	Geohydrologische eenheid	Formatie
mv tot -48	Freatische watervoerende pakket (duinen)	Holocene afzettingen + de Formaties van Kreftenheye
-48 tot -60	Scheidende laag	Formatie van Peize-Waalre
-60 tot -75	Tweede watervoerende pakket	Formatie van Peize-Waalre
-75 tot onbekende diepte	Tweede scheidende laag	Formatie van Maassluis

⁴ Annema, M. & A. Jansen, 1996. De Midel en Oostduinen, maatwerk in beheer. Duin nr 1. maart 1996.

Tabel 4.12 Geohydrologische schematisatie Goeree

Diepte (m t.o.v. NAP)	Geohydrologische eenheid	Formatie
mv tot -3	Freatische watervoerende pakket (duinen)	Holocene afzettingen
-3 tot -5	Scheidende laag (Middel – en Oostduinen))	Holocene afzettingen
-5 tot -40 à -50	Freatische watervoerende pakket (duinen)	Holocene afzettingen + de Formaties van Kreftenheye
-40 à -45 tot -45 à -55	Scheidende laag	Formatie van Peize-Waalre (lokaal niet aanwezig)
-45 à -55 tot -62	Tweede watervoerende pakket	Formatie van Peize-Waalre
-62 tot onbekende diepte	Tweede scheidende laag	Formatie van Maassluis

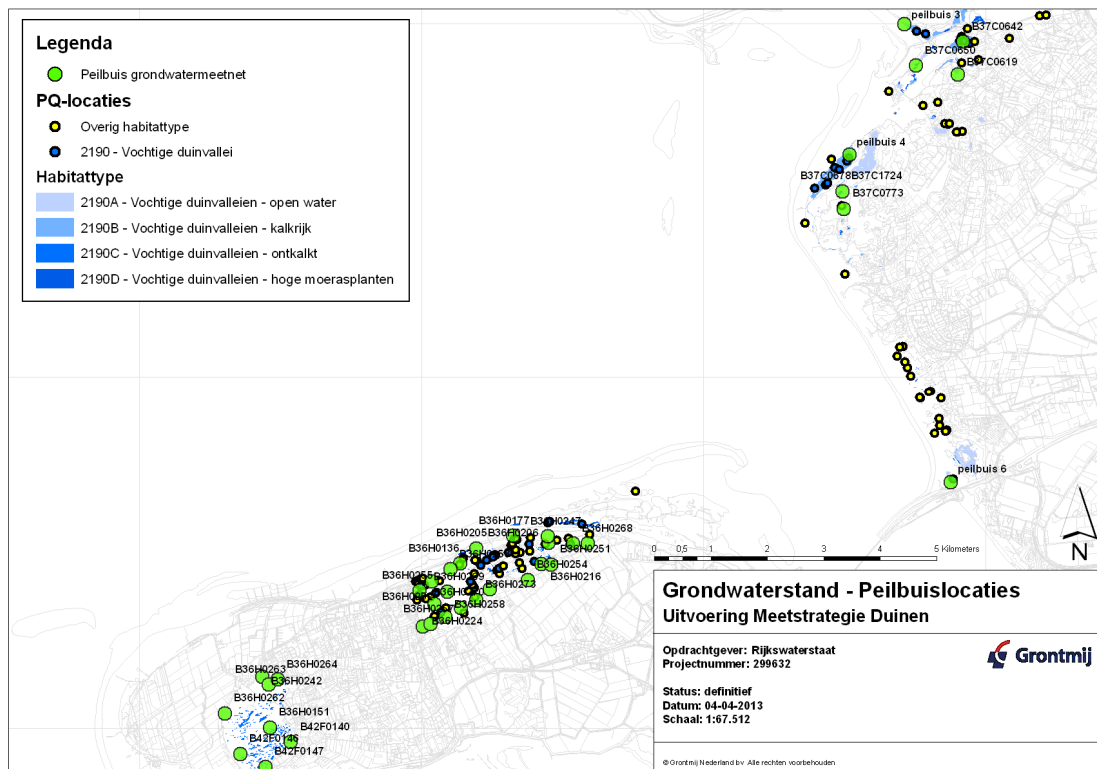
Uit verschillende boringen blijkt dat zowel bij Voorne als bij Goeree het freatische watervoerende pakket uit zand met lokaal storende kleilagen bestaat. In de Middel- en Oostduinen neemt dit de vorm aan van een scheidende laag op ongeveer 3 à 5m onder maaiveld. Dit heeft grote gevolgen voor de grondwaterstroming. In de Westduinen en op Voorne ontbreekt deze scheidende laag grotendeels.

Het freatische watervoerende pakket heeft bij Voorne een dikte van circa 48 meter en bij Goeree een dikte van 42 tot 47 meter. Onder het freatische pakket ligt een scheidende laag van de formatie van Peize-Waalre. Bij Goeree komt deze laag lokaal niet voor. Het tweede watervoerende pakket betreft de Formatie van Peize-Waalre. Bij Voorne is dit watervoerende pakket circa 15 meter dik, bij Goeree is het tweede watervoerende pakket circa 10 meter dik.

Uit bovenstaande omschrijving kan worden geconcludeerd dat de geohydrologie in de Westduinen op Goeree en op Voorne op hoofdlijnen met elkaar overeenkomt. Deze verschillen echter met de bodemopbouw in de Middel- en Oostduinen op Goeree. Een aantal aspecten met betrekking tot de grondwaterstand en de verschillen tussen locaties zullen in de volgende paragrafen verder worden uitgewerkt.

4.2.1 Grondwatermeetnet

De freatische grondwaterstand is een belangrijke factor voor de kwaliteit van Vochtige duinvalleien. De grondwaterstand wordt daarom in dit habitattype gemeten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een meetnet met bestaande peilbuizen (opgevraagd via DINO) en een drietal in 2011 geplaatste peilbuizen (Figuur 4.10).



Figuur 4.10: Peilbuislocaties en PQ-locaties met habitatype Vochtige duinvalleien (H2190). Freatische grondwaterstanden en vochttoestand op de pq's

De meetfrequentie van de nieuwe peilbuizen is het hoogst, de grondwaterstand wordt in deze peilbuizen door dataloggers elke 6 uur vastgelegd. In de overige peilbuizen zijn de grondwaterstanden handmatig 1 tot 2 keer per maand opgenomen.

Er is op het oog geen duidelijk verschil in de dynamiek van de gemeten grondwaterstanden te zien tussen Voorne en de Westduinen op Goeree (zie [bijlage 4](#)). Wel ligt de grondwaterstand op Voorne ten opzichte van NAP gemiddeld meer dan 1m hoger dan op Goeree. Maar ook op Goeree en Voorne zelf is er per peilbuis een verschil van 1 resp. 1,5m in de gemiddelde grondwaterstanden (zie ook de GxG-karakteristieken in Tabel 4.11).

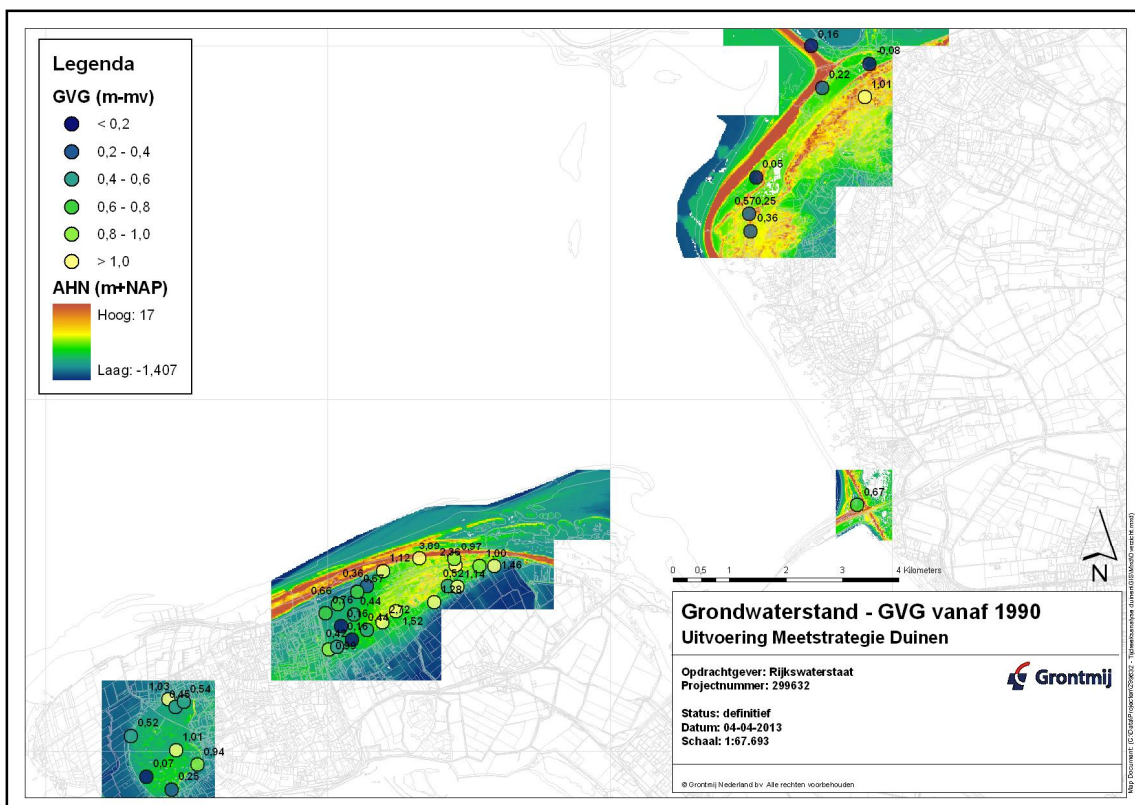
In Tabel 4.11 is de berekende gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG), de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) gemiddeld over de meetreeksen van de verschillende beschikbare peilbuizen weergegeven⁵. De standaarddeviatie in deze tabel is een maat voor de ruimtelijke spreiding in maaiveldhoogte en grondwaterstanden. In Figuur 4.11 is de GVG in de peilbuizen ruimtelijk weergegeven ten opzichte van maaiveld. Te zien is dat er vrij duidelijke gradiënten in de grondwaterstand zijn. Uit de figuur blijkt ook dat de GVG ten opzichte van maaiveld in de Westduinen op Goeree over het algemeen lager (gemiddeld 20cm) is dan de GVG op Voorne. De grondwaterstanden in de Middelduinen zijn gemiddeld weer 10 tot 20 cm lager dan in de Westduinen en in de Oostduinen gemiddeld nog 60 cm lager ten opzichte van maaiveld. In de Oostduinen is er echter een grote ruimtelijke variatie in de grondwaterstanden. Dit is een gevolg van de aanwezige vloeivelden en drinkwaterwinning. Sinds de beëindiging van de drinkwaterproductie in 1995 kennen de Middelduinen en de omgeving van de Meinderswaal een relatief natuurlijke grondwaterhuishouding. Het grondwaterpeil is sindsdien gestegen en de seizoensfluctuaties zijn veel natuurlijker geworden.

⁵ Een vergelijking is niet goed mogelijk doordat een aantal buizen niet over de gehele periode zijn bemeaten of met een andere meetfrequentie worden bemeaten. Met name de drie nieuw geplaatste buizen zijn slechts bemeaten vanaf 2011. Daarnaast wordt in deze nieuw geplaatste buizen is wordt de grondwaterstand elke 6 uur met dataloggers opgenomen, terwijl op de andere lokaties voornamelijk min of meer tweewekelijks en handmatig wordt gemeten.

Verschillen in de grondwaterstanden worden verder veroorzaakt door verschillen in maaiveldhoogte, maar waarschijnlijk ook in de ondiep voorkomende slecht doorlatende laag in de Middeld- en Oostduinen, welke afwezig is op Voorne en in de Westduinen.

Tabel 4.13: Gemiddelde grondwaterstanden en standaarddeviatie gemeten in de verschillende peilbuizen in vier deelgebieden.

deelgebied	MV (m + NAP)	GLG (m + NAP)	GG (m + NAP)	GVG (m + NAP)	GHG (m + NAP)	GLG(m - mv)	GG (m - mv)	GVG (m - mv)	GHG (m - mv)
gemiddelde									
Goeree Westduinen	2,1	1,0	1,4	1,5	1,7	1,1	0,7	0,6	0,4
Goeree Middelduinen	2,8	1,6	1,9	2,1	2,3	1,2	0,9	0,7	0,5
Goeree Oostduinen	3,8	2,0	2,4	2,5	2,7	1,8	1,4	1,3	1,1
Voorne	3,2	2,4	2,7	2,9	3,0	0,8	0,5	0,4	0,3
standaarddeviatie									
Goeree Westduinen	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,3	0,3	0,4	0,4
middelduinen	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5
Goeree Oostduinen	1,4	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	1,1	1,1
Voorne	1,0	0,8	0,8	0,9	0,8	0,4	0,4	0,3	0,4



Figuur 4.11: Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstanden (GVG) ten opzichte van maaiveld (berekend vanaf 1990 indien data aanwezig)

Interpolatie naar de PQ's

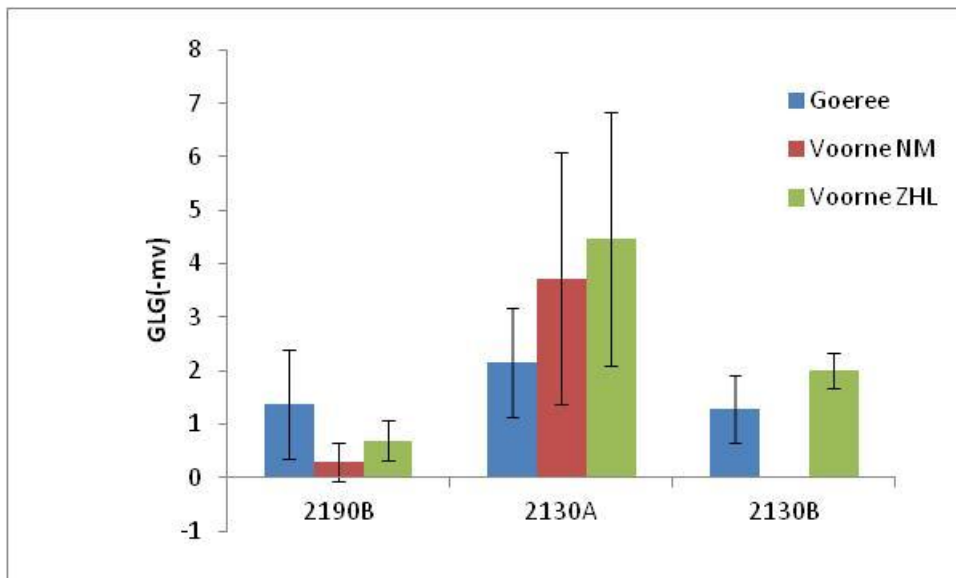
Veranderingen in de grondwaterstand kunnen invloed hebben op de kwaliteit en omvang van de Vochtige duinvalleien (H2190) en daardoor interacteren met effecten van stikstofdepositie vanuit MV2. Het is daarom van belang meer inzicht te hebben in de vochtigheid op de PQ-locaties T=0 in de Vochtige duinvalleien, tijdens de T=0 fase. Het is daarom gewenst de berekende GxG te vertalen naar een GxG ter plaatse van deze PQ-locaties. Aangezien de PQ-opnamen plaatsvinden tijdens de zomer is de laagste grondwaterstand het meest indicatief voor de vergelijking. De gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) is bepaald over de hydrologische jaren 2006 tot 2013. De volgende stappen zijn daarvoor uitgevoerd.:

1. *Bepaling GxG per peilbuis over de hydrologische jaren 2006 tot 2013*⁶.
Dit is een periode waarvoor nog een groot aantal peilbuizen voldoende recente metingen heeft om een GxG te bepalen. Naast de peilbuizen van het grondwatermeetnet, zijn hiervoor ook nog enkele andere beschikbare freatische peilbuizen met voldoende lange reeksen uit DINOloket verkregen. Voor enkele kortere reeksen is met een acceptabel tijdreeksmodel een langere reeks verkregen.
2. Bepaling GxG t.o.v. NAP
De GxG t.o.v. NAP verschilt minder per lokatie dan de GxG t.o.v. maaiveld. Figuur 4.11 laat zien dat er een vrij duidelijke gradiënt is voor de GVG t.o.v. NAP zodat ruimtelijke interpolatie een optie is.
3. Bepaling GxG t.o.v. maaiveld.
4. Voor elf PQ-locaties is tijdens een GLG-situatie een handmatige meting van de grondwaterstand opgenomen, een zogenaamde *gerichte opname*. Deze is vergeleken met de op dezelfde dag gemeten grondwaterstand van een nabijgelegen peilbuis met een langere meetreeks. Op basis van dit verschil is de voor de peilbuis bepaalde GLG, omgerekend naar een GLG voor de PQ-locatie.
5. De voor de peilbuizen en PQ's bepaalde GLG is vervolgens ruimtelijke geïnterpoleerd tot een vlakdekkende GLG-kaart. Hiermee is de GLG op de overige PQ-locaties bepaald.
6. De aldus bepaalde GLG-waarden per PQ zijn gebruikt als input voor de multivariate analyses (hoofdstuk 5).

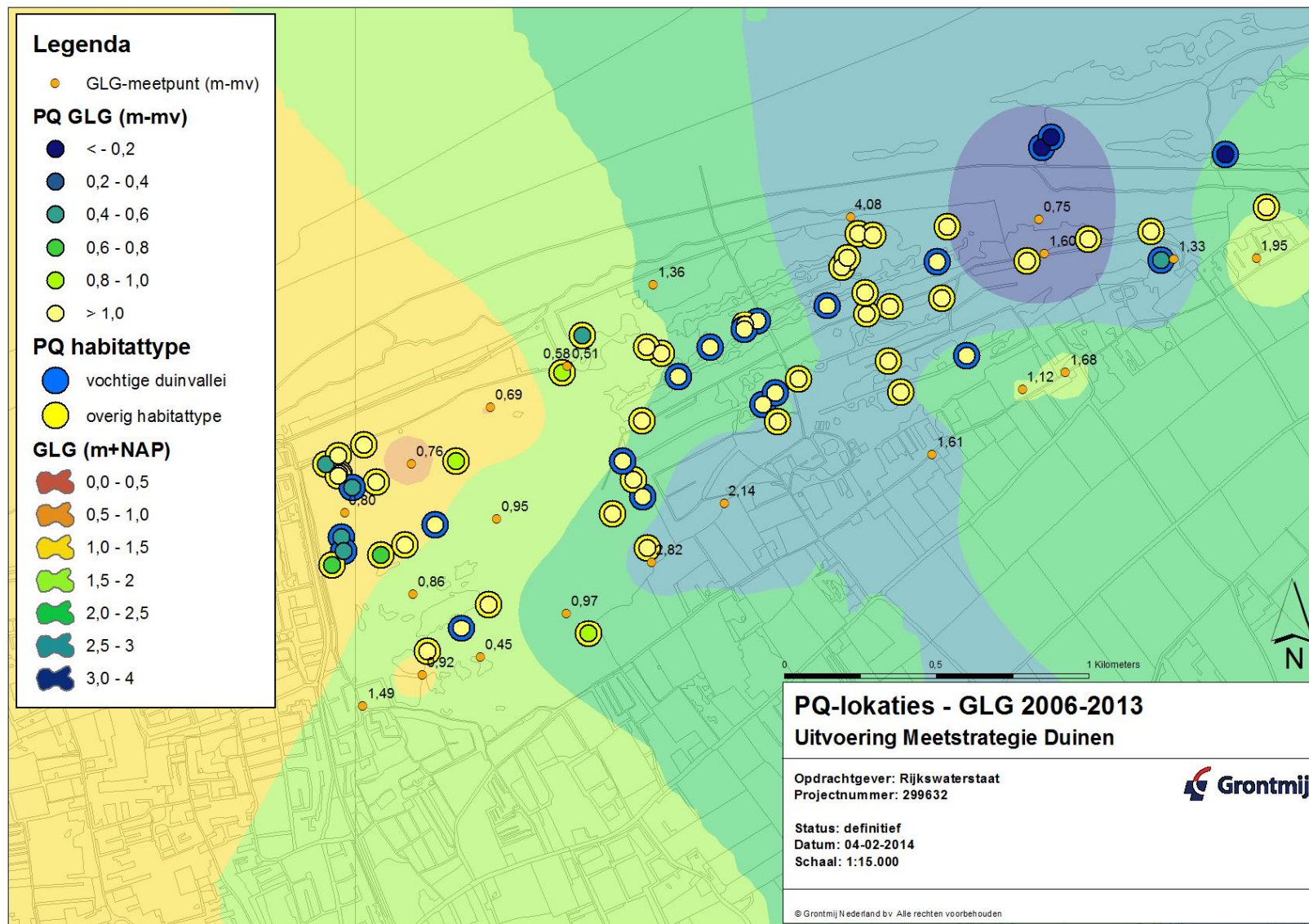
De resultaten voor de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) op de PQ-locaties zijn getoond in onderstaande kaarten (Figuur 4.12 en Figuur 4.13) en kolomdiagram (Figuur 4.12). Zoals te verwachten uit de metingen in de peilbuizen (Tabel 4.11) is de GLG (-mv) op de PQ-locaties op Voorne gemiddeld hoger dan op Goeree en zijn de verschillen in GLG tussen de PQ-locaties op Goeree groter dan op Voorne. Met een gemiddeld GLG van 1,3m -mv voor alle PQ-locaties op Goeree in H2190, lijkt het grondwater in een deel van de locaties te ver weg te zakken. Hierbij dient wel de kanttekening gemaakt te worden dat door de grondwaterwinning en bevoeiing, interpolatie minder betrouwbare waarden oplevert. Waarnemingen van de vochtigheid tijdens de PQ-opnames (gegevens Alterra, niet getoond) geven aan dat de vochtige duinvalleien op Goeree minder droog zijn dan de GLG waarde doet vermoeden.

De PQ's in de Vochtige duinvalleien in het noordelijk deel van Voorne (beheerd door het Zuid-Hollands Landschap) zijn gemiddeld iets droger dan in het zuidelijk deel (beheerd door Natuurmonumenten) (Figuur 4.11). De grondwaterstanden in het grijs duin (H2130) zijn uiteraard een stuk lager dan in de Vochtige duinvalleien. Uit de GLG waarden op de PQ-locaties en de grondwaterdynamiek in dit duingebied (Tabel 4.11) valt op te maken dat de PQ's in H2130, zoals verwacht, niet door niet grondwater beïnvloed wordt.

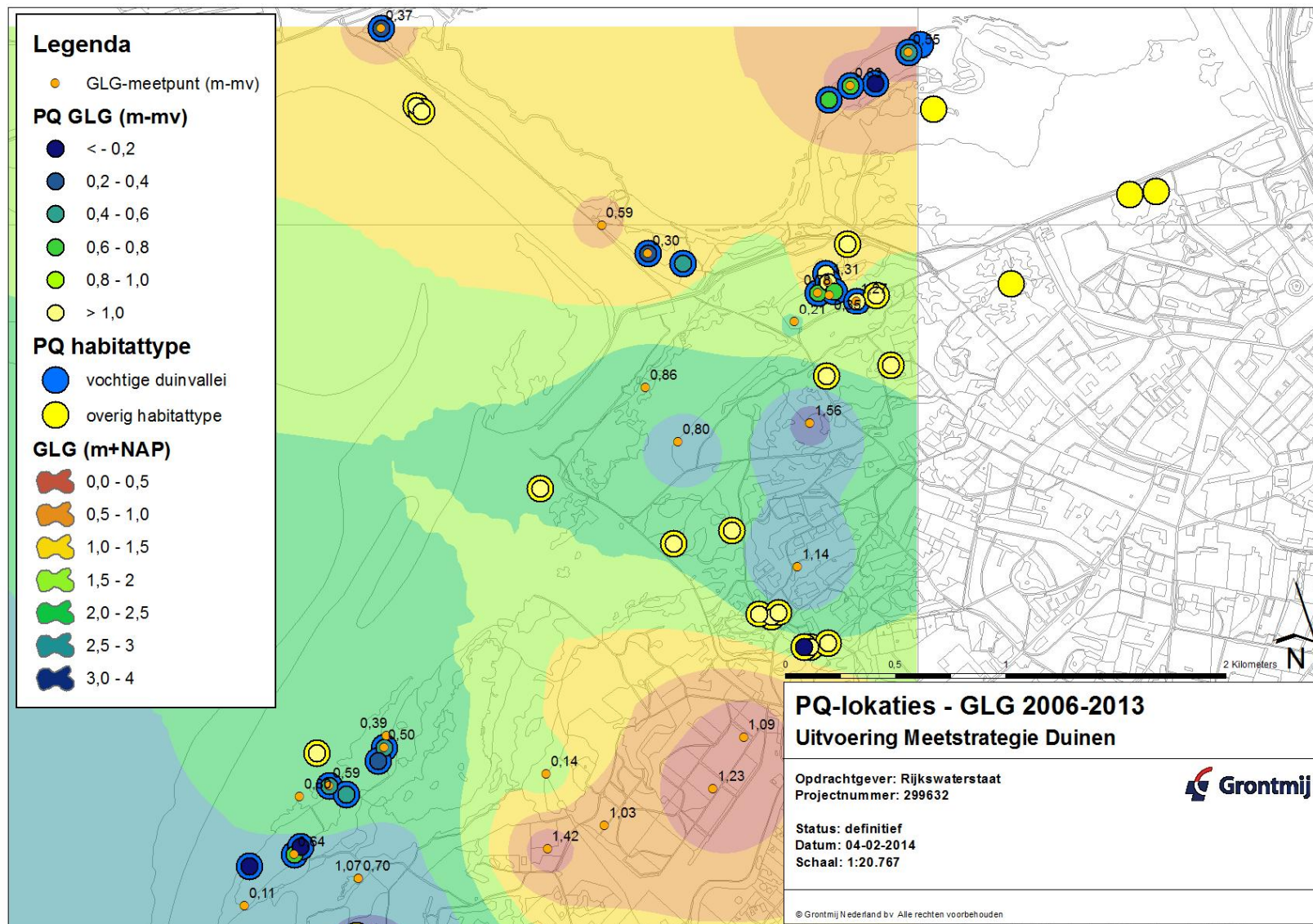
⁶ Voor een echte betrouwbare? GxG zijn minimaal acht meetjaren gewenst, maar deze zes jaren geven wel een beeld van de verschillen in *relatieve* vochtigheid tussen de lokaties. De verwachting is dat de absolute grondwaterstanden voor een langere reeks nog iets zullen afwijken, maar dat de *relatieve* verschillen in grondwaterstand tussen de verschillende PQ-locaties min of meer hetzelfde beeld zullen laten zien voor andere jaren. De PQ-locaties zijn immers allen gelegen in een soortgelijke habitat. De reden om slechts 6 jaren te gebruiken voor de GxG-bepaling is dat het de voorkeur heeft meer peilbuizen ter beschikking te hebben voor interpolatie, dan minder peilbuizen met een nauwkeuriger absolute GxG.



Figuur 4.12: Gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) bepaald voor de verschillende pq-locaties op Goeree, Voorne's duin zuid in beheer bij Natuurmonumenten en Voorne's duin noord beheerd door het Zuidhollands Landschap, verdeeld over de drie habitattypen.



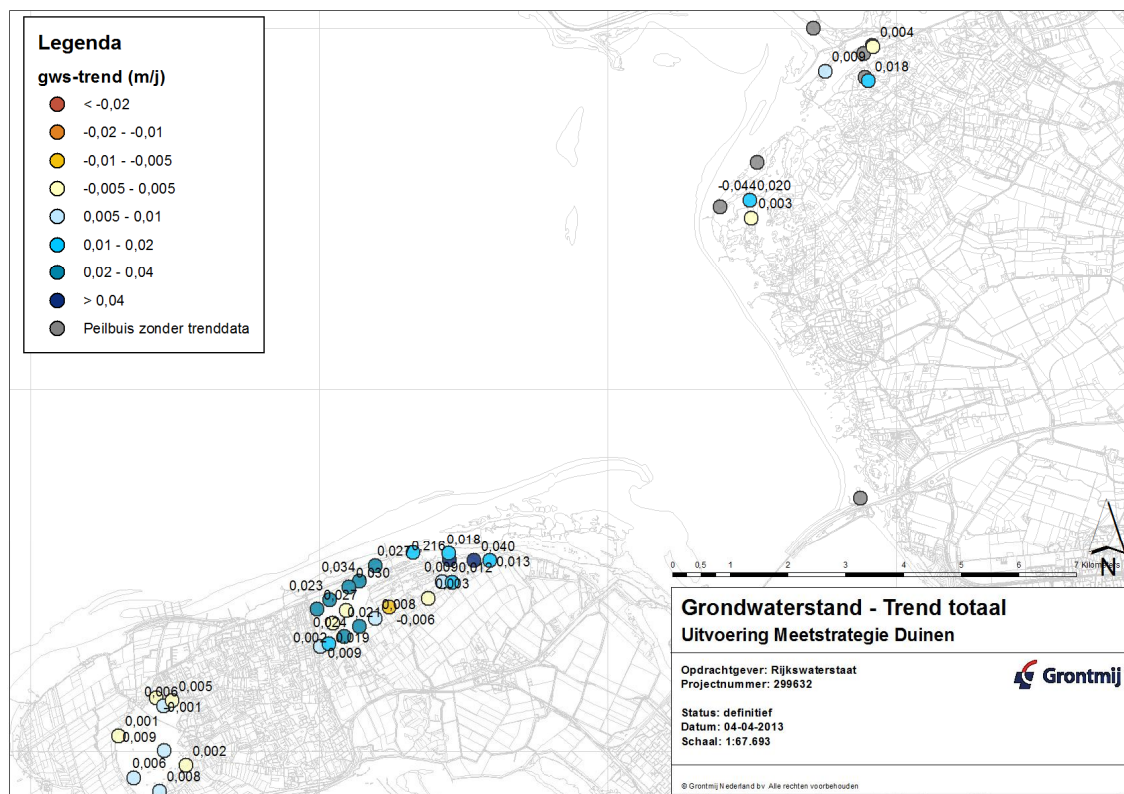
Figuur 4.13: Geïnterpoleerde laagste grondwaterstand (GLG), geschatte vochttoestand tijdens PQ-opname en AHN2 voor PQ-lokaties Middel- en Oostduinen



Figuur 4.14 Geïnterpoleerde laagste grondwaterstand (GLG), geschatte vochttoestand tijdens PQ-opnamen en AHN2 voor PQ-lokaties Voorne. Inzet toont peilbuis bij Quackjeswater aan de zuidkant van Voorne.

4.2.2 Trends

Tijdreeksanalyses (zie [bijlage 4](#)) laten zien dat in de afgelopen decennia een vernatting heeft plaatsgevonden in vrijwel het gehele onderzoeksgebied op Voorne en Goeree. De gemiddelde jaarlijkse stijging van de grondwaterstanden varieert per locatie van 0,5 cm/j tot 4 cm/j. De grootste stijging in grondwaterstanden heeft plaatsgevonden in de Middel- en Oostduinen van Goeree. De reeksen van twee buizen (B36H0192_1 en B36H0269_1) in dit gebied later echter een (zeer licht) dalende trend zien, maar deze wordt voor een deel veroorzaakt doordat in de eerste 10 jaar slechts zeer beperkt is gemeten, zodat het beeld enigszins vertekend is.



Figuur 4.14: Totale trend in grondwaterstand voor de bemeeten peilbuizen.

Met behulp van tijdreeksanalyse ([bijlage 4](#)) is een correctie uitgevoerd voor verdamping, neerslag om te analyseren of de vernatting een gevolg is van klimaatinvloeden of van andere factoren zoals bevloeiing en veranderingen in grondwateronttrekkingen. Wanneer de invloed van neerslag en verdamping wordt weggefilterd blijkt er op Voorne en in de Westduinen op Goeree een in bijna alle peilbuizen dalende trend⁷ zichtbaar wordt. Dit wijst op een verdrogende trend van niet-klimaat invloeden. In de Middel- en Oostduinen op Goeree daarentegen is juist overal een relatief sterk stijgende trend (van 0,2 tot 2cm per jaar).

De resultaten laten zien dat door klimaatinvloeden vernatting heeft plaatsgevonden in de Westduinen van Goeree en de duinen van Voorne. De vernatting wordt echter deels gecompenseerd door andere invloeden zoals drainerende maatregelen. Voor de Schapenwei (Voorne) en omgeving zorgt de aanwezige pomp sinds 1978 voor afvoer van overtollig water. Zonder deze ingreep zouden de Vochtige duinvalleien namelijk te nat worden, waardoor de instandhoudingsdoelen voor H2190 niet gehaald zouden worden. Voor zover bekend zorgen de beheerders zelf niet actief voor afvoer van grondwater in andere delen.

⁷ Dit is de trend gegeven het model, grondwaterpeilreeks en de gebruikte reeksen voor neerslag en verdamping. Het kan zijn dat deze klimaatreeksen niet representatief zijn, het kan zijn dat er een fout in de meetreeks zit (zgn. drift, enkele cm's per jaar is niet uitzonderlijk). In het geval van een relatief korte meetreeks wordt de richting van de trendlijn ook sterk beïnvloed door eventuele periodieke onvolkomenheden.

De grondwaterstanden in de Oostduinen worden gedomineerd door de drinkwaterwinning. De infiltratie vanuit de vloeivelden en grondwateronttrekkingen domineren over de klimaatinvloeden. In de Middelduinen is de oppervlakkige grondwaterwinning in 1995 gestopt. De diepe grondwaterwinning is bovendien geëxtensiveerd. De Middelduinen ontvangen echter nog wel water dat in de Oostduinen infiltreert. Dit heeft ook bijgedragen aan de vernatting in dit gebied.

4.2.3 Conclusies

- Uit de grondwaterstatistieken kan ook worden geconcludeerd dat de dynamiek van het grondwater in de Westduinen op Goeree in hoofdlijnen vergelijkbaar is met Voorne, maar dat de Vochtige duinvalleien (H2190) in de Westduinen wel structureel minder nat zijn dan die op Voorne. De Vochtige duinvalleien in het zuidelijk deel van Voorne (Natuurmonumenten) zijn iets natter dan de Vochtige duinvalleien in het noordelijk deel (Zuid-Hollands Landschap).
- De geohydrologie van de Middel- en Oostduinen op Goeree geeft een afwijkend en relatief heterogeen beeld vanwege de infiltratie en oppervlakkige grondwaterwinning.
- Wanneer de totale trend van de grondwaterstanden inclusief klimaatinvloeden wordt bepaald, laten bijna alle peilfilters een vernatting zien. Deze vernatting is het sterkst in de Middel- en Oostduinen.
- Wanneer de invloed van neerslag en verdamping uitgefilterd wordt, resulteert een verdrogende (dalende) trend in bijna alle peilbuizen op Voorne en in de Westduinen op Goeree. Dit duidt er dus op dat de toename in neerslag in deze gebieden deels is gecompenseerd door drainerende maatregelen. In de Middel- en Oostduinen op Goeree daarentegen is juist een relatief sterk vernattende (stijgende) trend (van 0,2 tot 2cm per jaar) van niet-klimaat invloeden aanwezig. Dit is een gevolg van de veranderingen in de drinkwaterwinning in dit gebied.
- De gemiddelde laagste grondwaterstand in de Vochtige duinvalleien (H2190B) op Goeree is ongeveer 1,3 m-MV, op Voorne zuid (beheer Natuurmonumenten) 0,3m-MV en Voorne noord (beheer ZHL) 0,7 m-MV. De gemiddelde voorjaarsgrondwaterstanden zijn ongeveer 0,5 m hoger. Vanwege de grote lokale verschillen in grondwaterstanden binnen het drinkwaterwingebied op Goeree zijn deze waarden voor Goeree minder betrouwbaar als op Voorne. Gelet op waarnemingen tijdens de PQ-opnames zijn de Vochtige duinvalleien op Goeree vermoedelijk minder droog dan deze GLG waarde doet vermoeden.

4.3 Beheer

Beheer heeft grote invloed op de oppervlak en kwaliteit van duinvegetaties. Het beheer in het duingebied is middels maaien, kappen en begrazen vaak gericht op het terugdringen van de successie. Beheer kan daarom de effecten van extra stikstofdepositie maskeren. Daarmee vormt beheer één van de belangrijkste ruisfactoren in het causale onderzoek. Informatie over het beheer is via de verschillende beheerders en beheersorganisaties achterhaald. Daarnaast is ook tijdens de PQ-opnames (zie [Hoofdstuk 2](#)) ook lokaal gekeken naar de invloed van beheer op de vegetatie.

Naast de door mensen geïntroduceerde begrazers kunnen natuurlijke grazers (vooral konijnen) een wezenlijke invloed hebben op de duinvegetatie. De effecten hiervan vallen vooral op tijdens perioden van uitbraak van konijnenziekten. Bijgevolg werd in veel duingebieden verruiging van de vegetatie waargenomen. De konijnenstand is niet via beheerders te inventariseren. We inventariseren de aanwezigheid van konijnen daarom middels jaarlijkse keuteltellingen in de omgeving van de PQ's. Hierdoor kan een koppeling gelegd worden tussen de ruimtelijke variatie in stikstofdepositie, vegetatieontwikkeling en begrazing door konijnen.

Voorts kunnen mensen niet gerichte invloed hebben op de vegetatie door recreatie en betreding. Bij het opnemen van de PQ's hebben we daarom eveneens tekenen van menselijke invloed vastgelegd.

4.3.1 Methodiek

Het beheer en aanwezigheid van (natuurlijke) grazers monitoren we op twee niveaus, vlakdekkend aan de hand van informatie van beheerders en op PQ-niveau door eigen waarnemingen.

Vlakdekkende informatie beheerders

In de periode oktober 2010-februari 2011 zijn wij bij de drie grote beheerorganisaties op bezoek gegaan, Zuid-Hollands Landschap, Dunea en Natuurmonumenten. Bij deze bezoeken zijn zowel digitale als analoge gegevens van het actuele en historische beheer opgevraagd. De informatie hebben wij (na digitalisering) ingevoerd in een Geodatabase (Tabel 4.14). Vervolgens zijn de gegevens omgezet naar een uniform systeem, waarbij ondermeer de terminologie en wijze van registratie is gelijkgetrokken binnen de drie Natura-2000 gebieden. In 2012 en 2013/ januari 2014 is de beheer informatie geactualiseerd aan de hand van gegevens die zijn aangeleverd door de verschillende beheerders. Hierbij zijn ook gegevens aangeleverd door het Hoogheemraadschap van Delfland. Gegevens van het beheer van Vinetaduin en de Van Dixhoorn Driekhoek zijn te laat aangeleverd om te kunnen verwerken in de geodatabase en kaarten, maar worden hier wel besproken.

De aangeleverde gegevens verschillen sterk in vorm en detailniveau. Het beheer in de Middel- en Oostduinen is aangeleverd in de vorm van een shape file met zeer gedetailleerde informatie over de beheermaatregelen. Deze shape is omgezet naar het format van de geodatabase (Tabel 4.14). Het beheer in andere delen van het beheergebied van Natuurmonumenten is grotendeels door Natuurmonumenten ingetekend in Geoweb. Dit is gebeurd in samenspraak met Grontmij. Deze informatie diende echter nog wel bewerkt te worden voordat zij aan de database toegevoegd kon worden. Informatie uit het beheergebied van het Zuid-Hollands Landschap en het Hoogheemraadschap van Delfland is aangeleverd in de vorm van rapportjes en kaarten. Deze zijn vervolgens door Grontmij gedigitaliseerd. Informatie van Dunea is in eerste instantie aangeleverd in de vorm van een shape file en later geactualiseerd aan de hand van persoonlijke mededelingen.

Tabel 4.14 Opbouw geodatabase beheer

Naam veld	invoeropties / toelichting
Shapenaam	naam origineel aangeleverde shapefile
ShapeFID	code voor koppeling features
Gebiedscode	code deelgebied: Afkorting N2000 gebied_afkorting beheerder bijvoorbeeld VD_NM= Voornes Duin Natuurmonumenten
Beheermethode	maaien / begrazing/ plaggen / Verwijderen struweel en bos/ Verwijderen struweel / schonen
Type	Rund/ Paard / Schaap / Geit/ Schotelmaaier / Handmatig /Machinaal
Aantal	aantal dieren alleen van toepassing op begrazing, anders leeg veld
GVE	Groot Vee Eenheden (rund/paard=1, schaap/geit=0,15 GVE) Alleen van toepassing op begrazing
Periode	Naseizoen/ jaarrond/ maandvan_tot. Periode waarin begrazing plaatsvindt
Dagen begrazing	dagen begrazing per jaar (0-365)
GVE/ha/jaar	Eenheid voor begrazingsdruk GVE/oppervlak in ha x dagen/365

In maart 2013 is de informatie in een geowebviewer gepresenteerd aan de duinbeheerders. Zij kregen zo de mogelijkheid om de gegevens te controleren, te corrigeren en aan te vullen. Alleen Natuurmonumenten heeft tot nu toe van deze mogelijkheid gebruik gemaakt. Dunea en ZHL hebben echter wel met belangstelling naar de viewer gekeken en ook

De Geoweb viewer draait binnen de Rijkswaterstaat omgeving. Toegang tot de viewer is beveiligd door middel van een inlogcode. Deze is te aan te vragen via de projectleider van het consortium (contactinformatie via <http://grontmij.nl/duinmonitoring>).

Naast deze vlakdekkende informatie wordt ook op PQ-niveau de invloed van beheer en (natuurlijke) grazers op de vegetatie gemonitord. Tijdens de PQ-opnamen (zie hoofdstuk 3) is vastgelegd of het PQ:

- binnen begraasd gebied is gelegen;
- of er mest van grote grazers aanwezig is;
- of er invloed van maaien is te zien;
- of er konijnenkeutels aanwezig zijn;
- of er mieren aanwezig zijn.

Vertaling vlakdekkende informatie naar PQ-niveau

Om de beheerinformatie mee te kunnen nemen in het causaal onderzoek en multivariate analyses is een koppeling gemaakt tussen een puntenbestand met de coördinaten van de PQ-s en de polygonen met beheergegevens. Dit levert een omvangrijk bestand op, aangezien op een PQ-punt vaak meerdere polygonen met beheerinformatie aanwezig was. Dit bestand is daarom behulp van ACCESS gefilterd zodat een bruikbaar bestand verkregen is voor de verder analyses van PQ-data (hoofdstuk 5). In dit bestand is per PQ de volgende beheerinformatie opgenomen:

- Begrazingsdruk in GVE/ha/jaar
- laatste jaar_aanvullen
- laatste jaar_Begrazing
- laatste jaar_maaien
- laatste jaar_plaggen
- laatste jaar_vergraven
- laatste jaar_Verwijderen struweel en/of bos

Informatie over het type begrazer (rund, paard etc.) en type maaibeheer etc. is dus niet meegenomen. In de totaliteit van factoren die in de multivariate statistiek wordt meegenomen is deze gedetailleerde informatie van ondergeschikt belang.

4.3.2 Resultaten

Uit de gegevens van de beheerders komt naar voren dat in Natura 2000-gebieden Solleveld & Kapittelduinen, Voornes Duin en Duinen van Goeree en Kwade Hoek de volgende beheermethoden worden toegepast: begrazing, maaien, plaggen, verwijderen van bos en/of struweel, schonen/ baggeren van watergangen en poelen (Tabel 4.15).

Tabel 4.15: Overzicht beheer van de duingebieden

Gebied	Deelgebied	Beheerinstantie	Beheer
99: Solleveld & Kapittelduinen	Solleveld	Dunea	Jaarrond begrazing met runderen (3 Galloways) en Konick paarden, aantal paarden afgenomen van 15 in het jaar 2000 naar 2 paarden eind 2013, seizoensbegrazing met 30 schapen. Kleine vlakken geplagd en gemaaid.
	Kapittelduinen: van Dixhoordriehoek	Hoogheemraadschap Delfland/ ZHL	Deels geplagd verder geen beheer tot 2013. In 2013 is drukbegrazing met schapen en geiten toegepast. Dit wordt in 2014 voortgezet.
	Kapittelduinen: Vinetaduin	ZHL (voorheen Defensie)	Tot 2010 geen beheer. In 2010 zijn plagwerkzaamheden uitgevoerd en is struweel verwijderd. In 2012 en 2013 is drukbegrazing met schapen toegepast.
100: Voornes Duin	Voornes Duin Noord	ZHL	Jaarrond begrazing met 6 runderen en 9 paarden, maaien duinvalleien, poelen zijn geschoond. Lokaal is in 2013 drukbegrazing met 190 schapen toegepast. Lokaal is de afgelopen jaren struweel verwijderd en geplagd
	Voornes Duin Zuid	Natuurmonumenten	Jaarrond begrazing met 17 runderen, aangevuld met seizoensbegrazing, plaggen, maaien van de duinvalleien, verwijderen struweel en bos in het kader van Life subsidie Dutch Dune Revival en de PAS. Nabij Quackjeswater op klein oppervlak drukbegrazing met geiten toegepast.

101: Goeree & Kwade Hoek	Goeree & Kwade Hoek	Natuurmonumenten	Eeuwenlang beweidde vroongronden. Nu seizoensbegrazing met 50 runderen (Charolais + zwart bont) in de Middel- en Oostduinen. In de Westduinen seizoensbegrazing met in totaal 80 runderen. Maaien van de duinvalleien. Verwijdering struweel in het kader van Dutch Dune Revival en de PAS ,
--------------------------	---------------------	------------------	--

Begrazing

Een groot deel van de duingraslanden in Solleveld, Voornes Duin en de Duinen van Goeree & Kwade hoek worden begraasd met runderen en/of paarden (Bijlage 7). In Solleveld en Voorne's duin gaat het om jaarrond begrazing. Op Goeree gaat het om seizoensbegrazing. De Charolais koeien en zwartbonte koeien worden in mei/juni in het gebied gebracht. En vanaf november wordt het aantal dieren afgebouwd. De laatste dieren worden in januari/februari uit het gebied gehaald. Op Solleveld lopen nog 20 schapen (seizoensbegrazing). In een klein deel van Solleveld en Goeree is in het verleden ook drukkbegrazing met schapen toegepast. In 2008 heeft het Natuurmonumenten lokaal drukkbegrazing met geiten toegepast op Voorne (nabij het Quackjeswater). In het beheergebied van het Hoogheemraadschap van Delfland op Kapittelduinen en is als PAS maatregel drukkbegrazing met geiten en schapen toegepast in 2013. Dit wordt in 2014 voortgezet.

Om de begrazingsdruk van jaarrond begraasde delen, seizoensbegrazing en drukkbegrazing te kunnen vergelijken is de begrazingsdruk (GVE/ha/jaar) uitgerekend als GVE per hectare en vermenigvuldigd met het aantal begrazingsdagen gedeeld door 365. Hieruit komt naar voren dat de jaarrond begrazing in het gehele duingebied zeer extensief van aard is (gemiddeld ongeveer 0,13 GVE/ha/jaar), of terwijl een rund of paard per 7,7 ha. Alleen op het zuidelijk deel van Voornes Duin is de begrazingsdruk in de jaarrond begraasde delen iets hoger (0,2 GVE/ha/jaar). De begrazingsintensiteit op Goeree is gedurende het seizoen hoger, maar uitgemiddeld over het gehele jaar ligt de begrazingsdruk hier ook op ca. 0,13 GVE/ha/jaar. Bij drukkbegrazing is de variatie veel groter, uitgemiddeld over het gehele jaar varieert dit van 0,27 GVE/ha/jaar.

In de jaarrond begraasde delen varieert de begrazingsdruk thans van 0,04 GVE/ha in een deel van het beheergebied van Zuid-Hollands Landschap op Voornes Duin tot 0,23 GVE/ha in de Middel en Oostduinen van Goeree en 0,2 GVE- 0,29 GVE in delen van Voorne beheerd door Natuurmonumenten. In Solleveld ligt de begrazingsintensiteit jaarrond tussen 0,11 en 0,13 GVE/ha. Tussen 15-07-2012 t/m 20-12-2012 hebben er echter geen paarden bij de Bloedberg gelopen. In het verleden (jaren 1990) werd in de Middel en Oostduinen van Goeree een hogere begrazingsintensiteit toegepast met Charolais koeien (tot ca. 0,5 GVE/ha). Behalve jaarrondbegrazing wordt ook zomer- of winterbegrazing of lokale drukkbegrazing toegepast als beheermaatregel.



Figuur 4.15: Schotse Hooglanders in Voornes Duin

Maaien, plaggen, verwijderen bos en struweel

De Vochtige duinvalleien in Voornes Duin worden jaarlijks gemaaid indien de omstandigheden dit toelaten. Bij te hoge waterstanden zijn de duinvalleien soms niet toegankelijk. Dit komt vaker voor in het beheergebied van Natuurmonumenten (met name Schapenwei) dan in het beheergebied van het Zuid-Hollands Landschap. Op Goeree worden sommige duinvalleien jaarlijks gemaaid, andere valleien worden minder frequent gemaaid. Op Goeree vindt kleinschalig maai-beheer plaats met een maai-zuig combinatie, aansluitend op het aanwezige mozaïek van grijs duin en Vochtige duinvalleien. Op Voorne zijn grotere vlaktes met vochtig duinvallei aanwezig, zoals de Schapenwei, de Vliegveldvlakte en de Parnassiavlakte. Deze worden over het algemeen gemaaid met een schotelmaaier. Zowel op Voorne als op Goeree worden soms ook droge delen met grijs duin gemaaid (Bijlage 7). Op Solleveld worden jaarlijks verspreid distels en ruitgen gemaaid (Beheersplan Meijendel, Berkheide Solleveld 2000-2009).

Door beheermaatregelen gefinancierd met een LIFE subsidie (Dutch Dune Revival) heeft Natuurmonumenten de afgelopen jaren een aanzienlijk oppervlak aan bos en struweel omgezet in open vegetatie, waar zich grijs duin en vochtig duinvallei kan ontwikkelen. In alle drie de Natura 2000 gebieden zullen maatregelen getroffen worden in het kader van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). Een deel van deze maatregelen is reeds uitgevoerd. Het gaat vooral om plaggen, verwijderen van struweel en instellen van maai-beheer en drukbegrazing. Door deze maatregelen zal ook het oppervlak aan grijs duin en Vochtige duinvalleien vergroot kunnen worden..

Vergelijking registratie beheer bij PQ-opnames met informatie van beheerders

De informatie ten aanzien van begrazing afkomstig van de beheerders blijkt zeer goed overeen te komen met de informatie verzameld tijdens de PQ-opnames. In de omgeving van vrijwel alle PQ's binnen de vlakken die volgens de beheerders begraasd worden, zijn oude of nieuwe koeienvlaaien en/of paardekeutels aangetroffen. Alleen op één PQ die volgens informatie van Dunea nog net enkele meters binnen het begraasde deel van Solleveld valt (deelgebied De Geest) is geen invloed van de aanwezige paarden waargenomen. Dit verschil is te wijten aan de (on) nauwkeurigheid waarmee de beheervlakken ingetekend zijn. In werkelijkheid valt het PQ dus net buiten het begraasde gebied. De rasters zijn in het veld namelijk goed waar te nemen. Een vergelijkbare situatie doet zich voor bij één PQ op Voorne dat op de kaart net buiten de enclosure van de begrazing lijkt te vallen.

Of plekken al dan niet gemaaid worden blijkt redelijk goed vast te stellen tijdens de PQ-opnames als de maaiwerkzaamheden recent zijn uitgevoerd (binnen 1 jaar voor de PQ-opname), maar als er langer niet is gemaaid is dit bij de PQ-opname niet meer met zekerheid vast te stellen.

4.3.3 *Discussie en conclusies*

Volledigheid en actualiteit van de data

Het beheer in het onderzoeksgebied is nu grotendeels vlakdekkend geïnventariseerd en op uniforme wijze vastgelegd in een geografische database. Deze informatie is beschikbaar via een Geoweb viewer die draait in de Rijkswaterstaatomgeving. De gegevens van het beheer van Vinetaduin zijn echter te laat aangeleverd om nog in de actualisatie van 2013 mee te kunnen nemen. Deze gegevens kunnen toegevoegd worden bij de volgende actualisatie. Aangezien de beheermaatregelen in dit gebied wel bij de PQ opnames zijn geregistreerd, kan hier wel rekening mee gehouden worden bij de multivariate analyses (**hoofdstuk 5**).

De vlakdekkende beheergegevens kennen hun beperkingen ten aanzien van het detailniveau waarop de beheermaatregelen worden geregistreerd. Alleen in de Middel en Oostduinen van Goeree worden kleinschalige maai- plag- en kapwerkzaamheden en verwijderen van struweel in detail vastgelegd. In de overige gebieden zijn deze kleinschalige beheermaatregelen alleen bij benadering geregistreerd, deels ook aan de hand van analoge kaarten. Meer omvangrijke maatregelen, zoals in het kader van de LIFE subsidie worden wel gedetailleerd vastgelegd. Ook is er een redelijk nauwkeurig beeld van de begraasde en onbegraasde vlakken, maar PQ's die op de rand van de ingetekende begraasde vlakken liggen, kunnen er in de praktijk net buiten vallen of andersom. Vanwege de beperkingen van de vlakdekkende beheerregistratie is het van belang om tevens gebruik te maken van de jaarlijkse puntwaarnemingen tijdens de PQ-opnamen

Het inventariseren, registreren en uniform digitaliseren van de beheer informatie is behoorlijk arbeidsintensief gebleken. De beheerorganisaties hebben allemaal een eigen manier van registratie, soms gaat dit digitaal in een GIS-systeem, soms ook analoog in logboeken van beheerders. Het aanleveren van beheer informatie vraagt ook inzet van de beheerders. Vanwege de reorganisatie is dit voor het Zuid-Hollands Landschap momenteel moeilijker te leveren. Het zou waarschijnlijk helpen als de beheerregistratie ook andere doelen kan dienen dan het MEP duinen project. Vanuit Natuurmonumenten is door een beheerder enthousiast gereageerd op de Geoweb viewer die voor het MEP duinen project is opgezet. De beheerder vond het ook een handig hulpmiddel bij zijn dagelijks werk. Een beheerder van het Hoogheemraadschap Delfland gaf mogelijkheden te zien om het format van MEP duinen te gebruiken in het kader van de verplichte registratie van PAS-maatregelen. Als de beheergegevens gedetailleerd, actueel en nauwkeurig zijn vastgelegd kunnen zij ook gebruikt worden voor onderzoeksdoelstellingen en gebiedsoverstijgende beheerevaluaties. Door dergelijk meervoudig gebruik zal de inspanning voor een goede beheerregistratie binnen de beheerorganisaties beter verdedigbaar zijn.

Het gebruik van de Geowebviewer kan nog verbeterd en vereenvoudigd worden door een goede invoertool te maken. Met zo'n tool kunnen beheerders zelf beheervlakken intekenen en standaardvelden invoeren, zodat het beheer op uniforme wijze wordt vastgelegd. Momenteel is er een mogelijkheid om aantekeningen te maken (redlining). Deze aantekeningen moet vervolgens gedigitaliseerd worden, voordat ze in de geodatabase ingevoerd kunnen worden.

Interactie invloed beheer en stikstofdepositie op Grijze duinen en Vochtige duinvalleien

Door herstelmaatregelen in de vorm van plaggen, verwijderen struweel gevolgd door instellen van maai-beheer en of begrazing kan het oppervlak aan grijs duin en Vochtige duinvalleien toenemen. Projecten die hier aan bijdragen zijn Dutch Dune Rivival (Life subsidie Natuurmonumenten) en de PAS maatregelen. Deze maatregelen zorgen voor het afvoeren van stikstof uit de bodem en vegetatie en zorgen voor het meer open houden van de vegetatie. Hierdoor kunnen de effecten van stikstofdepositie in theorie worden beperkt. Een andere maatregel die in het kader van de PAS wordt getroffen is het creëren van stuifplekken. Door verstuiwing van

kalkrijk zand kan de buffercapaciteit in de omgeving verhoogd worden, waardoor de verzurende invloed van stikstofdepositie wordt beperkt (zie ook [paragraaf 4.1](#) en Kooijman et al., 2009).

In de komende jaren zal blijken hoe effectief deze maatregelen zijn om de effecten van stikstofdepositie te mitigeren. De vegetatiemonitoring binnen het project MEP duinen zal hier ook informatie voor aanleveren omdat een deel van de PQ's liggen binnen de gebieden waar deze maatregelen worden getroffen en bovendien iedere fase van 5 jaar tenminste éénmalig een vegetatiekartering wordt uitgevoerd.

Voor het causaal onderzoek in MEP duinen is het juist van belang om het causaal onderzoek te concentreren op de locaties waar geen herstelmaatregelen hebben plaatsgevonden. PQ's die binnen deze locaties liggen zullen uit de multivariate analyses (zie [hoofdstuk 5](#)) gehaald moeten worden of als aparte subset geanalyseerd moeten worden. Het is duidelijk dat zonder registratie van de herstelmaatregelen het niet mogelijk zal zijn om de invloed van toename van stikstofdepositie vanwege het gebruik van de MV2 op het oppervlak van grijs duin en Vochtige duinvalleien te beoordelen.

4.4 Bodemchemie

Bodemchemie is een belangrijke standplaatsconditie die invloed heeft op de vegetatiesamenstelling. In de duinen gaat het hierbij met name om de gradiënt van kalrijckdom met de daaraan gekoppelde zuurgraad en de gradiënt van voedselrijkdom (beschikbaarheid N, P).

Om inzicht te krijgen in het causale verband tussen de toename in stikstofdepositie vanuit de MV2 en de kwaliteit van habitattypen is ook inzicht nodig in de vraag in hoeverre bodemchemische parameters van invloed zijn op de N-beschikbaarheid en vegetatiesamenstelling.

Doel is van het bodemonderzoek is inzicht te krijgen in de belangrijkste bodemchemische en bodemkundige parameters die de vegetatie in het onderzoeksgebied van MEP duinen beïnvloeden. Deze parameters zijn organisch stof, kalkgehalte (CaCO₃), pH de macronutriënten (stikstof en fosfaat). Het tweede doel is inzicht te krijgen in de kwaliteit van verstuivend zand en daarmee in de invloed van zanddynamiek op de bodemchemie (zie [paragraaf 4.1](#)).

Voor de vegetatie is vooral de bewortelingszone van belang. Dit is in duingraslanden de bovenste 10 cm bodem. Op een aantal plaatsen willen wij ook inzicht in het kalkgehalte op de onderliggende lagen 0-10 cm en 10-20 cm diepte, waarmee de ontkalkingsdiepte in beeld wordt gebracht.

4.4.1 Methodiek:

Er is gekozen voor een bemonsteringsschema welke is gekoppeld aan het PQ-netwerk. Dankzij deze koppeling kunnen in de multivariate analyses ([hoofdstuk 5](#)) de bodemchemische parameters direct als factoren meegenomen worden zonder dat hiervoor een ruimtelijke interpolatie nodig is. De bodemchemie kan daarmee optimaal in het causaal onderzoek meegenomen worden.

In totaal zijn 90 bemonsteringslocaties gekozen:

- bemonstering nabij 80 PQ-locaties gestratificeerd random verdeeld over de deelgebieden en habitattypen volgens Tabel 4.16. Hierbij zijn in ieder geval de PQ's geselecteerd die nabij knikkerbakken en stuifplekken zijn gelegen;
- 4 à 5 locaties naast knikkerbakken in het transect op Voorne;
- 5 à 6 locaties bij stuifplekken op Voorne en op 0,5 m, 5 m en 10 m afstand van stuifplekken (mogelijk valt dit deels samen PQ-locaties);

Tabel 4.16 Overzicht monsterlocaties en bemonsteringen

(Deel)gebied	Habitat type	Aantal PQ's	pH, org stof, macro nutriënten	Ca-CO3 0-10 cm	Ca-CO3 10-20 cm	Ca-CO3 20-30 cm
Duinen van Goeree	2130A	34	15	15	4	4
Duinen van Goeree	2130B	6	3	3	1	1
Duinen van Goeree	2190B	20	9	9		
Duinen van Voorne	2130A	33	14	14	4	4
Duinen van Voorne	2130B	6	3	3	1	1
Duinen van Voorne	2190B	21	9	9		
Van Dixhoorndriehoek	2130A	15	7	7	2	2
Vinetaduin	2130A	5	3	3	1	1
Solleveld	2130A	19	8	8	2	2
Solleveld	2130B	21	9	9	2	2
knikkerbakken			5			
stuifplekken			5			
totaal:		180	90	80	17	17

In oktober 2012 zijn de bodemmonsters genomen en aangeleverd aan het bodemchemisch laboratorium van Alterra.

- Bemonsteringslocaties volgens schema met x-, y-coördinaten zijn met GPS opgezocht.
- Op de bemonsteringslocaties is een bodemprofiel opgesteld.
- Op de bemonsteringslocatie is één ringmonster (Copecki-ringen) met vast volume in de bovenste 10 cm van de bodem genomen.
- Per bemonsteringslocatie is een mengmonster samengesteld uit vijf monsters, 1 monster in het centrum van de monsterlocatie en vier monsters op 2 m afstand op een denkbeeldige cirkel rond de monsterlocatie. Op alle locaties is de bovenste 10 cm bemonsterd. Op een aantal geselecteerde locaties (Tabel 4.17) is tevens de lagen 10-20 cm en 20-30 cm bemonsterd.
- Voor alle monsters geldt: De vegetatie en strooisellaag is verwijderd en de daaronder liggende laag is bemonsterd, inclusief wortelzone.

De volgende parameters zijn bepaald door het bodemchemisch laboratorium van Alterra:

- Natgewicht van de ringmonsters (Copecki ringen);
- Drooggewicht van de ringmonsters
- bepaling pH: extractie 0.01 M CaCl₂ -en extractie H₂O
- NO₃+NO₂ NH₄ Nts: extractie 0.01 M CaCl₂ SFA-CaCl₂
- PO₄: extractie 0.01 M CaCl₂ - SFA-P-laag
- Organische stof: gloeiverlies (moffeloven)
- CaCO₃: carbonaatbepaling (volumetrisch), Scheibler (CO₃ + HCO₃).

4.4.2 Resultaten

Hieronder zijn de resultaten van het bodemchemisch onderzoek gepresenteerd voor de PQ-locaties. De bodemchemie nabij de sedimentvallen (knikkerbakken) en de stuifplekken is gepresenteerd in [paragraaf 4.1](#).

Bodemprofiel

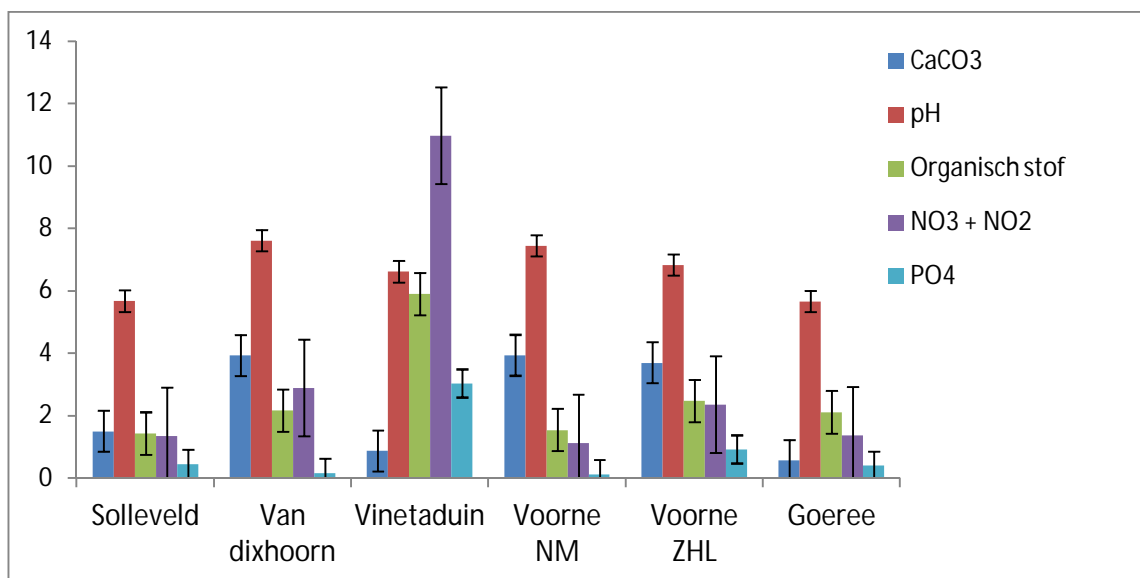
Op alle locaties waar een bodemmonster is genomen is een boorprofiel opgesteld. Hieruit blijkt dat op alle locaties de bovenste dertig centimeter van de bodem bestaat uit matig fijn zand, zwak siltig, matig tot zwak humeus. In de Van Dixhoorndriehoek is ook klei aangetroffen en schelpen. Ook op enkele locaties op Voorne zijn (sporen van) schelpen aangetroffen in de bodem en grind (Tabel 4.17).

Tabel 4.17: Bodemprofielen in de verschillende deelgebieden.

Bodemlaag	Solleveld	Van Dixhoorn	Vineta	Voorne	Goeree
0-10 cm	Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus, zwak wortelhoudend, beigebruin,	matig fijn zand, zwak siltig, zwak tot matig humeus, schelpen, matig wortelhoudend	Zand, matig fijn, zwak siltig, matig humeus, matig wortelhoudend, bruingrijs	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak humeus, zwak wortelhoudend,	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak tot matig humeus, matig wortelhoudend, lichtbruin,
10-20 cm	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak humeus, sporen wortels, beige,	matig fijn zand, zwak siltig, zwak humeus, schelpen, brokken klei, resten wortels	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak humeus, resten schelpen, resten wortels, lichtgrijs,	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak humeus, sporen wortels, beige, soms sporen roest, grind, schelpen	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak humeus, sporen wortels, lichtbruin
20-30 cm	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak humeus, sporen wortels, beige,	matig fijn zand, zwak siltig, zwak humeus, schelpen, resten klei	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak humeus, resten schelpen, resten wortels, lichtgrijs,	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak humeus, sporen wortels, beige, soms sporen roest, grind, schelpen	Zand, matig fijn, zwak siltig, zwak humeus, sporen wortels, lichtbruin

Kalkgehalte zuurtegraad, organisch stof, stikstof en fosfor

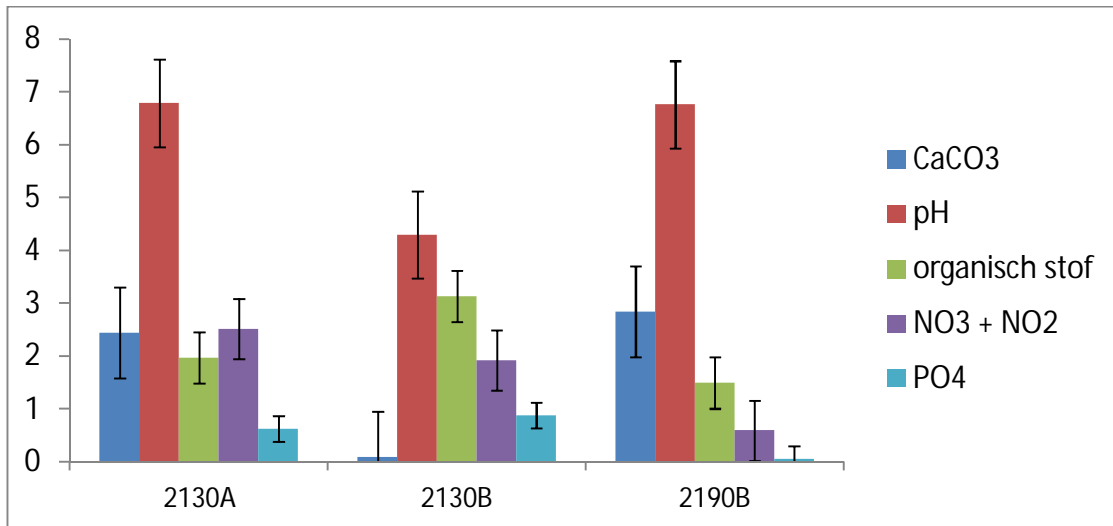
Uit de bodemchemische analyses komt naar voren dat Vinetaduin het meest voedselrijke deelgebied is met de hoogste waarden van organisch stof, ammonium (niet gepresenteerd), nitraat en fosfaat. De verschillen in voedselrijkdom tussen de overige deelgebieden zijn relatief klein, terwijl de verschillen binnen de deelgebieden juist relatief groot zijn (grote standaarddeviatie en standaardfout) zijn aangetroffen (Figuur 4.16). Voorne, zowel deelgebied van Natuurmonumenten als het Zuid-Hollands Landschap, en de Van Dixhoorndriehoek zijn kalkrijk, terwijl delen van Solleveld en Goeree (Middel- en Oostduinen) zijn ontkalkt en deels nog kalkrijk zijn.



Figuur 4.16: Bodemchemie per deelgebied (van noord naar zuid). CaCO₃ (%), pH, Organisch stof (%), NO₃ + NO₂ (mg/kg droge stof), en PO₄ (mg/kg droge stof). Foutenbalken geven de standaardfout weer.

Als we de bodemchemische parameters indelen naar de habitattypen zien we een bevestiging van de indeling van Grijze duinen kalkrijk (H2130A) en kalkarm (H2130B) (Figuur 4.17). In de bodemonsters op de locaties die als H2130B werd vrijwel nergens CaCO₃ aangetroffen, of slecht in zeer lage concentraties (< 0,25%). De meeste locaties die als H2130A waren geclasse-

ficeerd bleken ook kalkrijk ($\text{CaCO}_3\% > 0,5\%$) met een neutrale zuurgraad in de CaCl_2 extractie tot licht basische zuurgraad (pH 7.5 -8) in de H_2O extractie. Vijf PQs op Goeree en één locatie op Solleveld waren echter als Grijs duinen kalkrijk gekarteerd in de vooraf beschikbare habitataarten, terwijl geen CaCO_3 werd aangetroffen in de bodemonsters. De bodem in de Vochtige duinvalleien (H2190B) bleek minder fosfaat te bevatten dan de bodem in de Grijs duinen (H2130). Vermoedelijk is dit een gevolg van het beheer. De Vochtige duinvalleien worden jaarlijks vrijwel integraal gemaaid, waarbij het maaisel wordt afgevoerd. De Grijs duinen worden begraasd, niet beheerd of incidenteel beheerd (paragraaf 4.3).

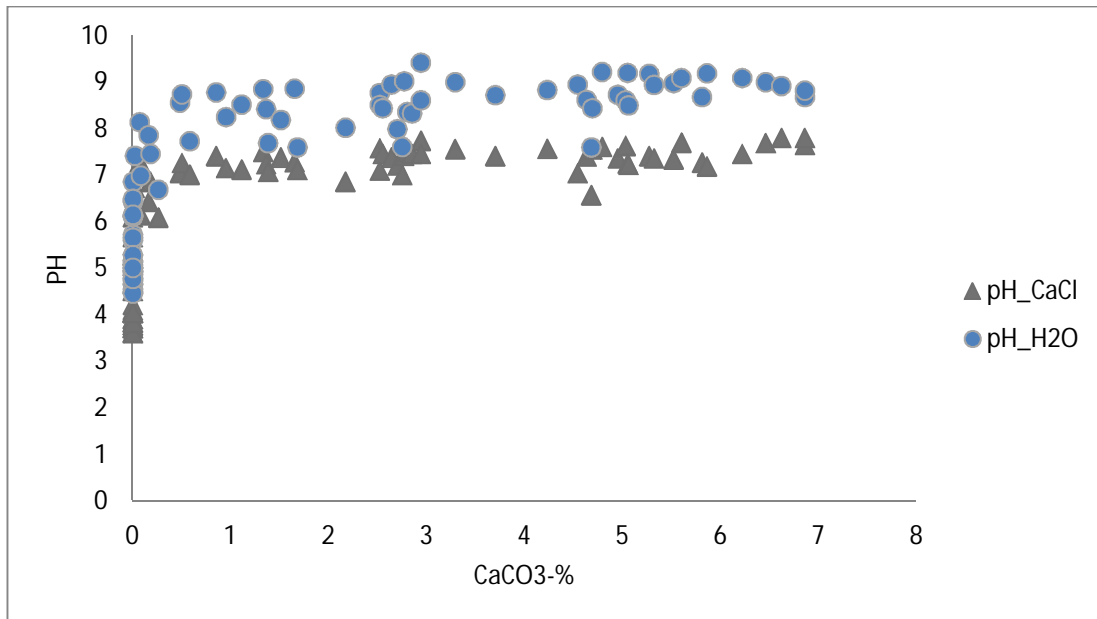


Figuur 4.17: Bodemchemie per habitattyp. CaCO_3 (%), pH, Organisch stof (%), $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ (mg/kg droge stof), en PO_4 (mg/kg droge stof).

Uit de vergelijking tussen het CaCO_3 % en de pH waarde (Figuur 4.18) komt naar voren dat bij een $\text{CaCO}_3\%$ van meer dan 0,5% een goede pH buffering optreedt (pH CaCl ca. 7,3).

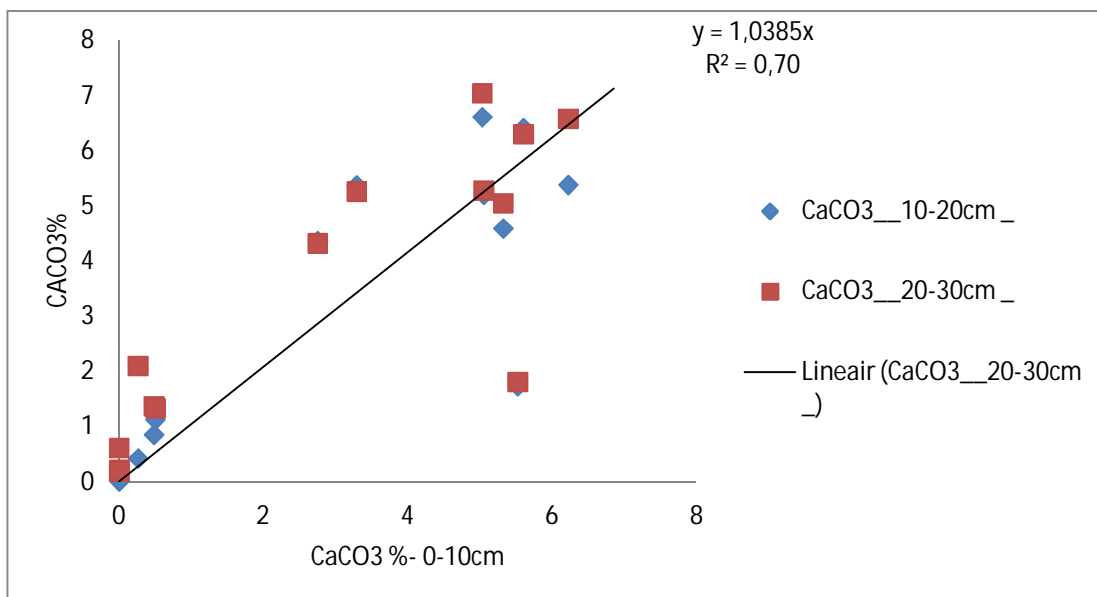
In monsters met een lagere waarde (0,02-0,26%) werden neutrale tot lichtzure (pH CaCl 6,1-7,3) waarden aangetroffen. Vermoedelijk is de pH buffering in dit traject toe te schrijven aan een hoge baseverzadiging (Ca en Mg) aan het adsorptiecomplex en niet aan kalk. Voor CaCO_3 gehalten lager dan 0,45% geeft de Scheibler methode namelijk geen betrouwbare uitkomsten (persoonlijke mededeling Koos Verstraten).

In monsters met een pH lager dan 6 is verondersteld dat er geen meetbaar CaCO_3 aanwezig is en daarom is voor deze monsters geen CaCO_3 bepaald. De PH_{CaCl} in de ontcalcite duinen ligt rond de pH=4. De pH_{CaCl} en $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ zijn sterk gecorreleerd ($R^2=0,96$), waarbij de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ structureel 1 pH punt hoger is dan pH_{CaCl} .



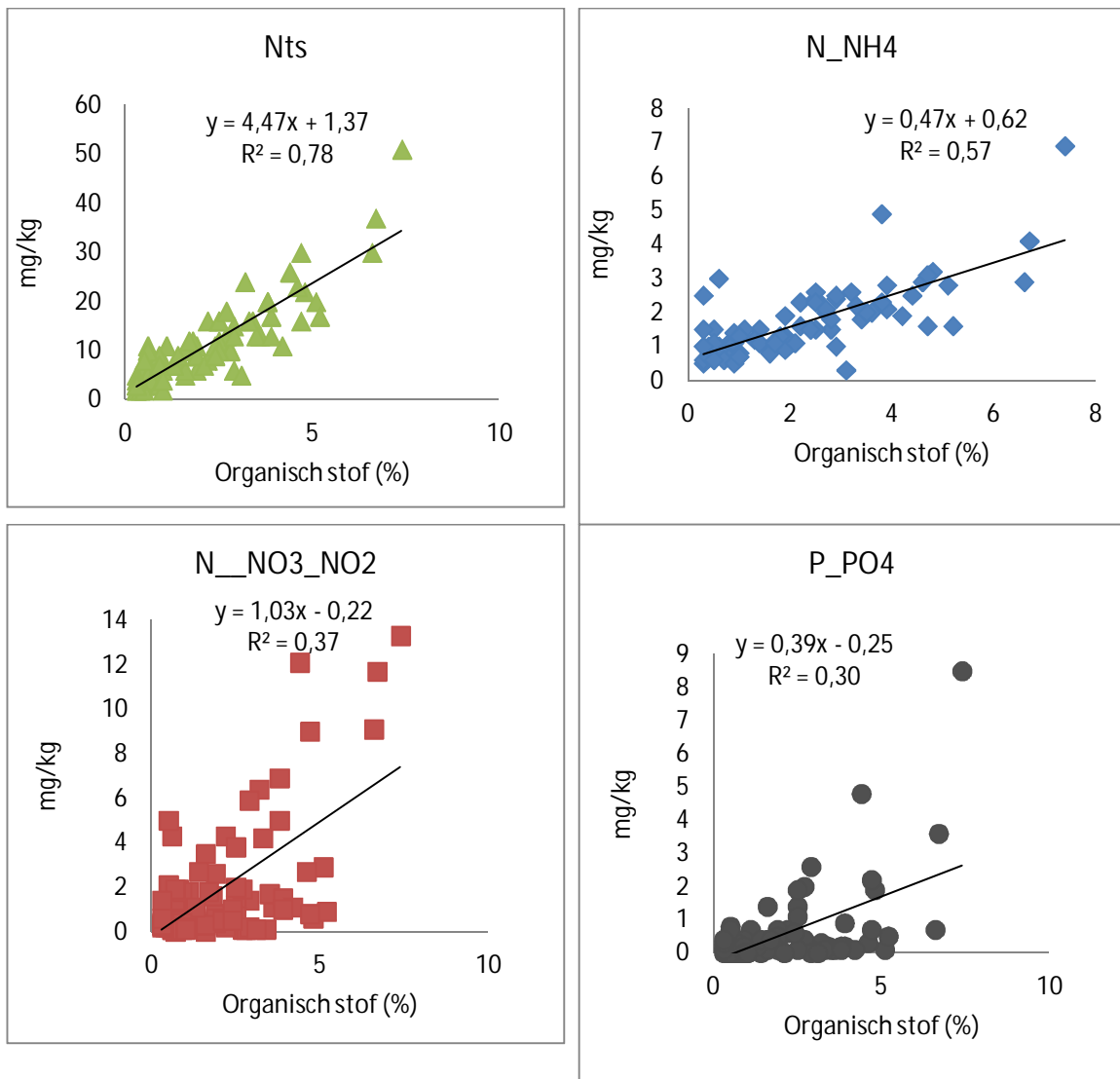
Figuur 4.18: relatie tussen $\text{CaCO}_3\%$ en pH in een extractie van de bodemonsters met 0.1 M CaCl_2 (pH_{CaCl}) en extractie met water ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$).

Op de bemonsterde locaties blijkt het kalkgehalte in de bovenste 10 cm maar weinig af te wijken van de lagen daaronder (10-20 cm en 20-30 cm). Op één locatie op Solleveld met duindoornstruweel was sprake van een duidelijk lager $\text{CaCO}_3\%$ in de onderliggende lagen dan in de bovenste 10 cm. Mogelijk was hier sprake van instuiving met kalkrijk zand. Op andere locaties was het $\text{CaCO}_3\%$ in de bovenste laag meestal iets lager dan in de onderliggende lagen, wat duidt op het begin van oppervlakkige ontkalking (Figuur 4.19).



Figuur 4.19: Relatie tussen kalkgehalte in de bovenste bodemlaag met het kalkgehalte in daaronder gelegen bodemlagen

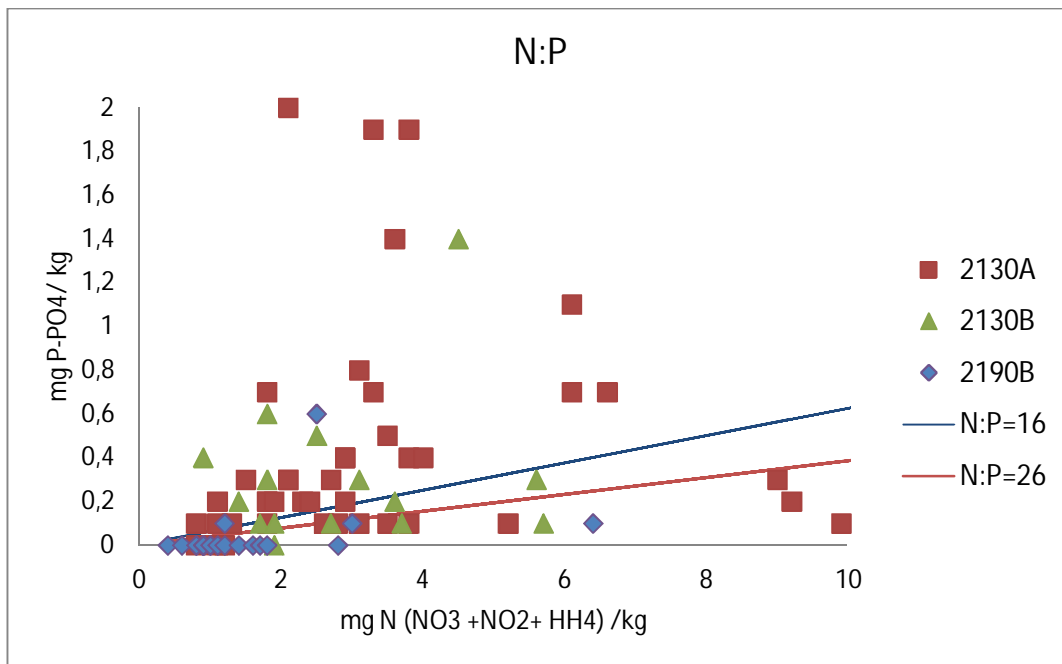
Met name N-totaal (Nts) en in iets minder mate NH_4 zijn gecorreleerd aan het organisch stof gehalte. NO_3 en vooral PO_4 zijn minder sterk gecorreleerd met het organisch stof gehalte (Figuur 4.20). Er zijn locaties bemonsterd met een hoog organisch stof gehalte (humusrijke bodem) maar met een laag fosfaatgehalte en of nitraatgehalte. Omgekeerd gaat een zeer laag organisch stof gehalte (zandbodem, zeer zwak humeus) niet samen met hoge fosfaatgehaltes.



Figuur 4.20: Relatie tussen organisch stof (%), totaal stikstof (N_{ts}), ammonium (NH₄⁺), nitraat en nitriet (NO₃⁻ + NO₂⁻) en fosfaat (PO₄⁻).

N:P ratio

In onderstaande figuur (Figuur 4.21) is het fosfaatgehalte (mg P-PO₄⁻) in de bodem afgezet tegen de som van stikstof in nitraat (NO₃⁻), nitriet (NO₂⁻) en ammonium (NH₄⁺). Ter indicatie zijn lijnen voor N:P=16 en N:P=26 aangegeven. Deze N:P verhoudingen geven in de vegetatie grenswaarden voor P-limitatie (N:P>26) en N-limitatie weer (N:P<16). Hoewel deze verhoudingen niet één op één zijn toe te passen op bodemparameters geven ze wel een indicatie voor N of P limitatie. Gelet op de zeer lage P gehalten en zeer lage N:P ratio's in bodemmonster op locaties gekarteerd als Vochtige duinvalleien kalkrijk (H2190B) is de vegetatie daar zeer waarschijnlijk P-gelimiteerd. In de bodem op locaties met grijs duin, zowel kalkrijk (H2130a) als kalkarm (H2190b) is een veel grotere spreiding in de N:P ratio aangetroffen. Dit duidt erop dat er waarschijnlijk zowel locaties zijn met N als met P limitatie en dat ook N-P co-limitatie voorkomt.



Figuur 4.21: Fosfaatgehalte (P-PO₄) in de bodemonsters afgezet tegen totaal beschikbaar stikstof (NO₃ + NO₂ + NH₄) voor locaties gekarteerd als H2130A, H2130B en H2190B.

4.4.3 Discussie en voorlopige conclusies

De belangrijkste bodemchemische parameters zijn beschikbaar voor bijna de helft van de PQ-locaties. In deze subset van PQ's kan daarom bodemchemie als factor meegenomen in de multivariate analyses (hoofdstuk 5). Hiermee wordt duidelijk hoeveel variatie in de vegetatiesamenstelling wordt verklaard door bodemchemie, waardoor deze ruisfactor uitgefilterd kan worden bij het bepalen van de invloed van stikstofdepositie op de vegetatie. In dit verband is het van belang dat in Vinetaduin een duidelijk hoger stikstof- en fosfaatgehalte in de bodem werd aangetroffen dan in andere deelgebieden. Vanwege de ligging nabij de Eerste en MV2 is hier ook de hoogste stikstofdepositie (hoofdstuk 2).

De bodemchemie wordt echter zelf ook beïnvloed door stikstofdepositie. Stikstofdepositie zorgt voor toename aan nitraat en ammonium beschikbaarheid en vanwege toegenomen biomassa-productie op termijn ook voor toename in organisch stof (Figuur 1.2). De verzurende invloed van stikstofdepositie zorgt bovendien voor toename in de ontkalkingsnelheid. Op grond van de bodemchemische analyses kan geconcludeerd worden dat pas nadat CaCO₃ is gedaald tot onder de 0,25 a 0,5% stikstofdepositie zal gaan leiden tot daling van de pH en verandering van de vegetatie. Deze range ligt in lijn met wat in OBN onderzoek werd gevonden, namelijk dat bij een kalkgehalte van meer dan 0.25% kalkbuffering optreedt door oplossing van calciumcarbonaat (natuurkennis.nl). Verzuring zal het eerst optreden op locaties waar nu al een relatief laag (< 1%) CaCO₃% is aangetroffen. Deze liggen voornamelijk op Goeree, Solleveld en op Vinetaduin. De duinen van Voorne zijn voldoende kalkrijk. Zure depositie zal hier voorlopig niet zorgen voor bodemverzuring.

Er is een duidelijk verschil in fosfaatgehalte en N:P ratio in de bodem op locaties met Vochtige duinvalleien in vergelijking tot Grijze duinen kalkrijk en kalkarm. De hypothese is dat de Vochtige duinvalleien P-gelimiteerd zijn en de Grijze duinen deels N en deels P gelimiteerd of co-gelimiteerd zijn. Hierdoor zal stikstofdepositie in de Vochtige duinvalleien minder snel tot verruiging leiden dan in de Grijze duinen. Deze verschillen in effect hangen ook samen met het verschil in beheer. Door het maaien en afvoeren van maaisel wordt accumulatie van stikstof en fosfaat in de Vochtige duinvalleien tegen gegaan. Onder natte omstandigheden is de binding van fosfaat met de bodem bovendien minder sterk dan onder droge omstandigheden, waardoor fosfaat in de natte duinvalleien uit kon spoelen.

Voor het causaal onderzoek naar de effecten van de toename van stikstofdepositie ten gevolge van de ingebruikname van MV2 op de duinhabitattypen vormt de bodemchemie een belangrijke tussenschakel. Stikstofdepositie leidt namelijk sneller tot een toename aan stikstof in de bodem dan tot vegetatieveranderingen. De hoge gehalten aan organisch stikstof, ammonium en nitraat in Vinetaduin zijn echter niet alleen en waarschijnlijk niet in de eerste plaats een gevolg van stikstofdepositie. De hoge fosfaatwaarden in Vinetaduin geven aan dat hier ook andere oorzaken voor de eutrofiering aanwezig zijn. Dit houdt verband met het jarenlange gebruik door het leger en uitblijven van beheer in dit gebied (paragraaf 4.3).

5 Multivariate en temporele analyses

5.1 Inleiding

In de T=0 fase kunnen de evaluatievragen van het MEP duinen (§1.5) nog niet worden beantwoord, omdat de Tweede Maasvlakte nog niet in gebruik is genomen. De T=0 fase is gericht op het vaststellen van de referentiesituatie waartegen straks de effecten van de Tweede Maasvlakte kunnen worden afgezet.

De referentiesituatie voor stikstofdepositie is beschreven in hoofdstuk 2, voor de vegetatie in hoofdstuk 3 en voor de overige verklarende factoren in hoofdstuk 4. In het voorliggende hoofdstuk zijn de resultaten van multivariate statistische analyses en temporele analyses gepresenteerd. Hiermee worden de onderzoeksvragen (paragraaf 1.5) beantwoord die nog niet beantwoord konden worden door de afzonderlijke monitoringsonderwerpen.

De multivariate analyses geven inzicht in de similariteit tussen de PQ's (paragraaf 5.2) en de onderlinge samenhang tussen de stikstofdepositie, bodemchemie, geohydrologie, beheer en de vegetatiesamenstelling (paragraaf 5.3). De vegetatieopnamen op PQ-niveau worden afgezet tegen verklarende factoren en ruisfactoren (stikstofdepositie, zanddynamiek, beheer, standplaatsfactoren). Hierdoor wordt duidelijk wat het relatieve belang van stikstofdepositie is voor de kwaliteit van Grijze duinen en door welke andere factoren de invloed van een toename van stikstofdepositie vanuit de Tweede Maasvlakte gemaskeerd kan worden. Daarnaast dragen de resultaten van de analyses bij aan een beter begrip van het huidig functioneren van de duinhabitatypen.

De multivariate analyses dienen specifiek ter voorbereiding op het causaliteitsonderzoek gericht op onderstaande evaluatievragen:

Welk deel van de verschillen binnen habitatype H2130 (Grijze duinen) en habitatype H2190 (Vochtige duinvalleien) in de duingebieden is te verklaren door verschillen in stikstofdepositie?

Welk deel van de verschillen binnen habitatype H2130 (Grijze duinen) en habitatype H2190 (Vochtige duinvalleien) in de duingebieden is te verklaren door verschillen in standplaatscondities (zoals bodemchemie, grondwater en saltspray), beheer en natuurlijke begrazing?

De temporele analyses geven inzicht in de veranderingen in de vegetatiesamenstelling in de PQ-opnames tussen 2011 en 2012 (paragraaf 5.4). Hiermee kunnen korte termijn trends worden geconstateerd, die zich mogelijk in de komende jaren zullen voortzetten en daardoor interferen met een invloed van de Tweede Maasvlakte. Om hier meer grip op te krijgen zijn bovendien de veranderingen in al langer lopende PQ-opnames geanalyseerd (paragraaf 5.5)

5.2 Habitatype per PQ

De opnamen uit 2013 zijn, evenals die uit 2011 en 2012, toegekend aan vegetatietypen volgens 'De Vegetatie van Nederland' (Schaminée et al. 1996, 1998) met behulp van het programma ASSOCIA (Van Tongeren et al. 2008). Deze zijn vervolgens vertaald naar Habitattypen volgens Van Dobben et al. (2012; Bijlage 2).

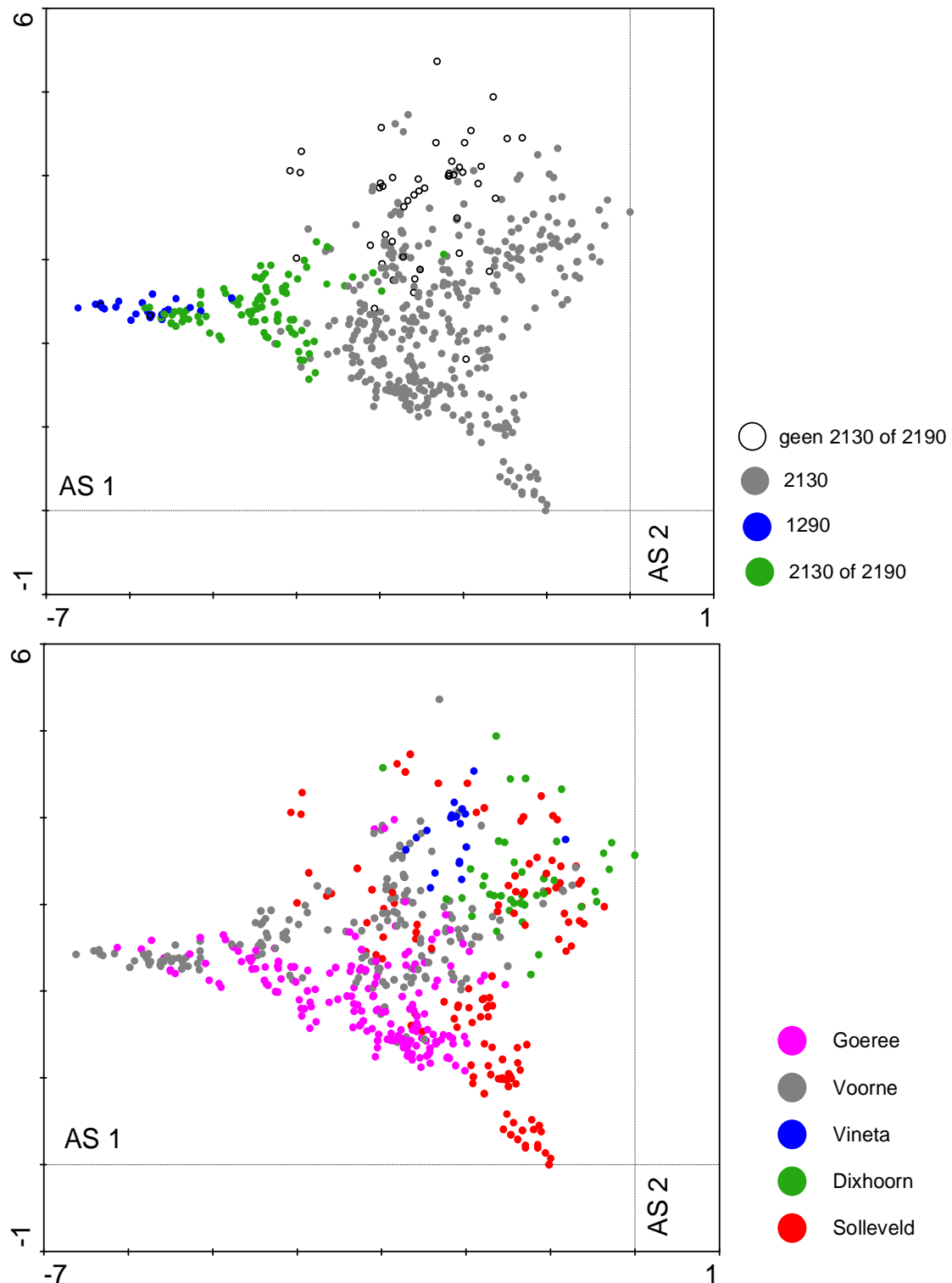
Het deel van de PQ's dat behoort tot het habitatype van het kaartvlak waarin het was neergelegd was in 2013 ongeveer gelijk aan dat in 2012 namelijk 89% (Tabel 5.1). Vergeleken met

2012 was het aantal PQ's dat niet het habitatype van het kaartvlak had iets toegenomen voor 2130, en sterk afgenomen voor 2190 (van 17% naar 10%). De PQ's die niet aan een van deze Habitattypen konden worden toegekend bleken wel te kwalificeren als verwante habitattypen, die in de successiereeks van open zand of kwelder naar duinbos aan beide kanten van 'Grijs duin' (resp. 'Vochtige duinvallei') kunnen voorkomen (Tabel 5.2). Hiermee wordt recht gedaan aan het huidige mozaïek van verwante duinvegetaties in de onderzochte deelgebieden.

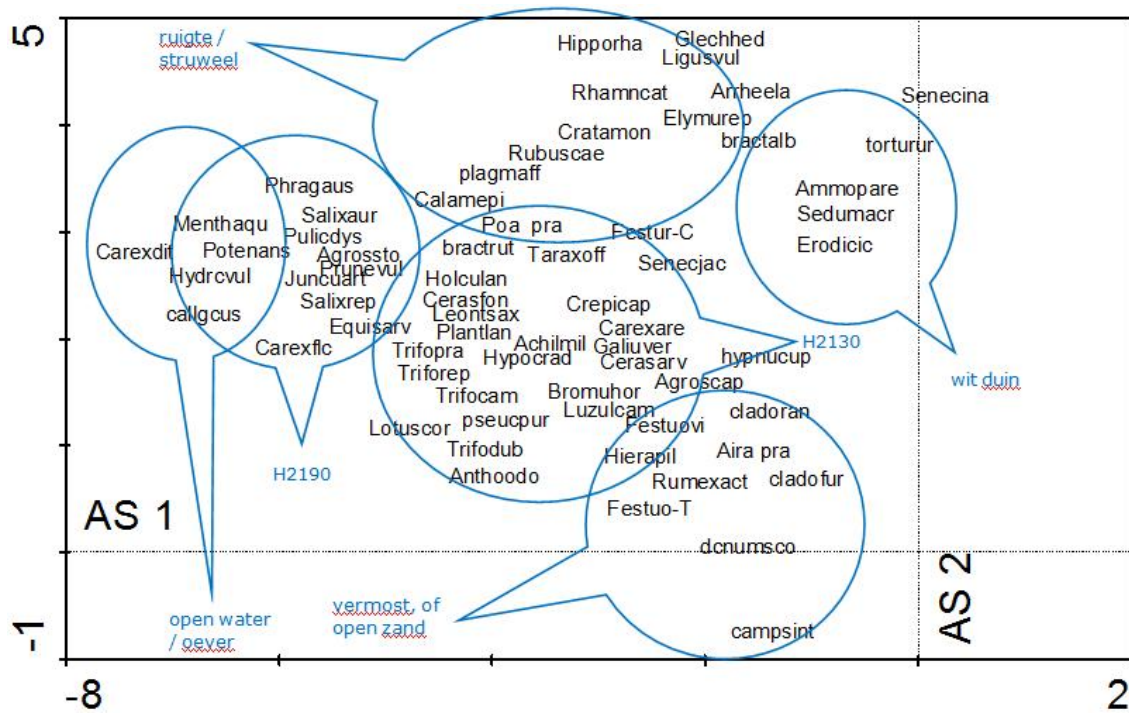
5.3 Similariteit van de PQ's

Met behulp van Detrended Correspondance Analysis (DCA; ter Braak & Smilauer 2002) is een beeld gevormd van de onderlinge similariteit van de PQ's. Hierbij kan elk PQ worden voorgesteld als een punt in een veeldimensionale ruimte (aantal dimensies = aantal soorten) met de abundanties per soort als coördinaten. Vervolgens kan de dimensionaliteit gereduceerd worden door een nieuwe as te trekken zodanig dat deze de aanwezige variatie maximaal representeert. Een tweede as kan getrokken worden om de overblijvende variatie maximaal te representeren, etc. voor verdere assen. In de ecologische praktijk volstaan meestal twee of drie assen. Hierbij is de eigenwaarde per as een maat voor de door deze as verklaarde variantie. Elke as representeert een gewogen gemiddelde van de abundanties per soort, de weegfactoren kunnen worden weergegeven in een 'soortenplot'. Let wel dat bij DCA de ordening van de opnamen en de soorten uitsluitend wordt bepaald door de onderlinge correlaties tussen de soorten, en dat eventueel gemeten abiotische variabelen hier geen invloed op hebben. Wel kunnen zulke variabelen achteraf in het plot geprojecteerd worden. In de huidige analyse is bovendien getracht de assen te interpreteren in termen van abiotische variabelen door de gemiddelde indicatiewaarden volgens Wamelink et al. (2011a,b) per PQ in het DCA plot te projecteren. Deze indicatiewaarden zijn hier gebruikt omdat zij doorgaans een betere terugvoorspelling leveren dan de traditionele 'Ellenbergwaarden' (Ellenberg et al. 1991). De resultaten worden gegeven in Figuur 5.1 (opnamen), Figuur 5.2 (soorten), Figuur 5.3 (WW-waarden).

De hier getoonde analyse is gebaseerd op de samengevoegde data voor 2011, 2012 en 2013; elk PQ komt in deze plot dus driemaal voor, hoewel de punten van hetzelfde PQ voor de verschillende jaren vaak zullen overlappen. Een beeld van de temporele veranderingen kan worden gevormd door de drie punten van elk PQ te verbinden; de verplaatsing van elk PQ in de plot is dan een maat voor de grootte en richting van de veranderingen die in die tijd hebben plaatsgevonden. Dit is hier echter niet gedaan omdat de plot dan te vol en moeilijk interpreteerbaar wordt. In §5.5 is deze analyse uitgevoerd voor de gemiddelden per locatie en het overall gemiddelde; dit geeft een kleiner aantal verplaatsingen dat wel goed te plotten is en waarvan ook de significantie bepaald kan worden.

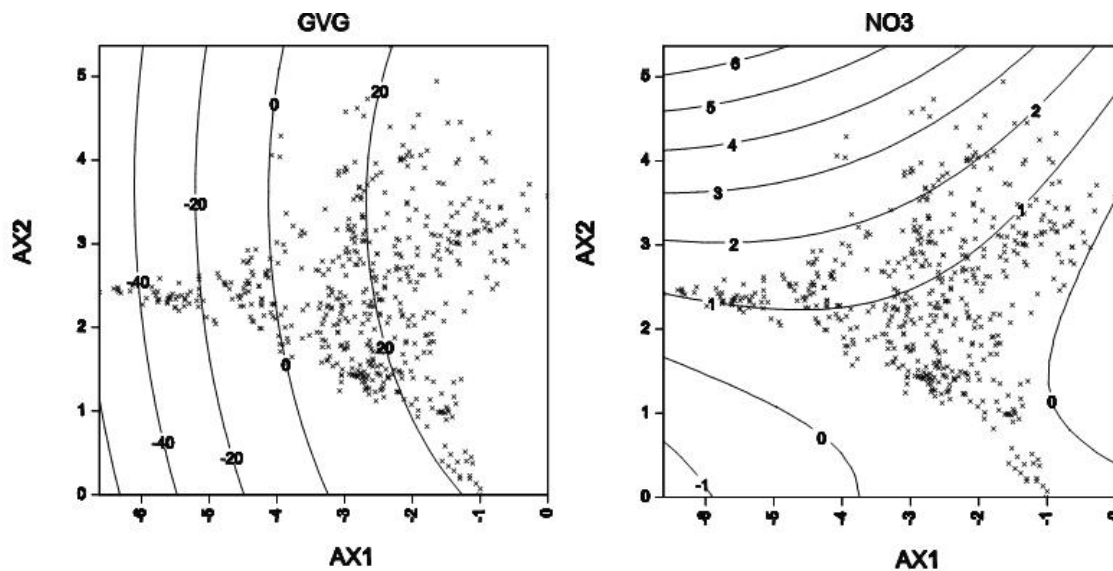


Figuur 5.1: DCA 'sample plot' van alle opnamen. Elk punt vertegenwoordigt een opname, de kleur representeert het Habitattype (A, boven) of het gebied (B, onder). Deze plot heeft een afstand-interpretatie: hoe dichter twee punten bij elkaar staan, hoe groter de floristische overeenkomst. Elk PQ komt dus driemaal in deze plot voor maar omdat de verschillen tussen de tijdstippen klein zijn zullen deze punten vaak overlappen Deze plot en het soortenplot van Figuur 5.2 kunnen in gelijke schaling over elkaar geprojecteerd worden, in dat geval geldt dat hoe dichter een soort bij een PQ-punt staat, hoe groter de kans om die soort daar aan te treffen. Percentages verklaarde variantie (betrokken op de over alle soorten gesommeerde variantie) zijn resp. 3.5% en 2.4% voor resp. de eerste en tweede as (de hele plot representeert dus 5.9% van de totale variantie). Detrending met segmenten, abundanties getransformeerd als $\log(\%bedekking+1)$, geen selectie van soorten, totaal 543 opnamen en 401 soorten.



Figuur 5.2: Soortenplot. Selectie van de 66 soorten waarvan het model minstens 10% van de variantie verklaart. Hoe dichter twee soorten bij elkaar staan, hoe grotere de kans om ze samen aan te treffen; de standplaats van de soorten is globaal aangegeven in blauw. Sommige soorten zijn iets verschoven om een leesbare plot te krijgen. De soortnamen zijn afgekort tot 8-letter codes, 5 voor het genus en 3 voor de soort (soms iets veranderd om de codes uniek te maken, hogere planten eerste letter hoofdletter, cryptogamen eerste letter kleine letter), verklaring van de codes:

Achilmil, *Achillea millefolium*; *Agroscap*, *Agrostis capillaris*; *Agrossto*, *Agrostis stolonifera*; *Aira pra*, *Aira praecox*; *Ammopare*, *Ammophila arenaria*; *Anthoodo*, *Anthoxanthum odoratum*; *Arrheela*, *Arrhenatherum elatius*; *bractalb*, *Brachythecium albicans*; *bractrut*, *Brachythecium rutabulum*; *Bromuhor*, *Bromus hordeaceus*; *Calamepi*, *Calamagrostis epigejos*; *callgcs*, *Calliergonella cuspidata*; *camp sint*, *Campylopus introflexus*; *Carexare*, *Carex arenaria*; *Carexdit*, *Carex disticha*; *Carexflc*, *Carex flacca*; *Cerasarv*, *Cerastium arvense*; *Cerasfon*, *Cerastium fontanum*; *cladofur*, *Cladonia furcata*; *cladoran*, *Cladonia rangiformis*; *Cratamon*, *Crataegus monogyna*; *Crepicap*, *Crepis capillaris*; *dcnmsco*, *Dicranum scoparium*; *Elymurep*, *Elytrigia repens*; *Equisarv*, *Equisetum arvense*; *Erodicic*, *Erodium cicutarium*; *Festuo-T*, *Festuca ovina subsp. tenuifolia*; *Festuoovi*, *Festuca ovina agg.*; *Festur-C*, *Festuca rubra*; *Galiuver*, *Galium verum*; *Glechhed*, *Glechoma hederacea*; *Hierapil*, *Hieracium pilosella*; *Hipporha*, *Hippophae rhamnoides*; *Holculan*, *Holcus lanatus*; *Hydrvcvl*, *Hydrocotyle vulgaris*; *hypnucup*, *Hypnum cupressiforme s.l.*; *Hypocrad*, *Hypochaeris radicata*; *Juncuart*, *Juncus articulatus*; *Leontsax*, *Leontodon saxatilis*; *Ligusvul*, *Ligustrum vulgare*; *Lotuscor*, *Lotus corniculatus*; *Luzulcam*, *Luzula campestris*; *Menthaqu*, *Mentha aquatica*; *Phragaus*, *Phragmites australis*; *plagmaff*, *Plagiomnium affine*; *Plantlan*, *Plantago lanceolata*; *Poa pra*, *Poa pratensis*; *Potenans*, *Potentilla anserina*; *Prunevul*, *Prunella vulgaris*; *pseucpur*, *Pseudoscleropodium purum*; *Pulicdys*, *Pulicaria dysenterica*; *Rhamncat*, *Rhamnus cathartica*; *Rubuscae*, *Rubus caesius*; *Rumexact*, *Rumex acetosella*; *Salixaur*, *Salix aurita*; *Salixrep*, *Salix repens*; *Sedumacr*, *Sedum acre*; *Senecina*, *Senecio inaequidens*; *Senecjac*, *Senecio jacobaea*; *Taraxoff*, *Taraxacum officinale*; *torturur*, *Syntrichia ruralis*; *Trifocam*, *Trifolium campestre*; *Trifodub*, *Trifolium dubium*; *Trifopra*, *Trifolium pratense*; *Triforep*, *Trifolium repens*.



Figuur 5.3: Isolijnen van WW-indicatiewaarden voor voorjaars-grondwaterstand (links, in cm onder maaiveld dus hoe hoger het getal, hoe droger; negatieve getallen betekenen: in het voorjaar onder water) en voedselrijkdom (in mg nitraat per kg bodem) geprojecteerd in het plot van Figuur 1. De lijnen verbinden gefitte waarden van een tweedegraads polynoom en bevatten een deel extrapolatie, daarom zijn ook de posities van de opnamen weergegeven (kruisjes); het geldigheidsgebied van de lijnen is beperkt tot het gebied waar de kruisjes liggen.

De eerste as blijkt vooral te staan voor vocht (rechts: droog, links: nat), en de tweede as voor voedselrijkdom (boven: rijk, onder: arm). Dit blijkt uit de ecologie van de soorten en hun positie in de plot (Figuur 5.2, vergelijk de blauwe toelichtingen), en ook uit de correlatie tussen de sample scores en de WW-indicatiegetallen (Figuur 5.3). Er blijken geen zeer grote verschillen tussen de gebieden te zijn, de puntenwolken van de gebieden in het opnameplot (Figuur 5.1: DCA 'sample plot' van alle opnamen). Elk punt vertegenwoordigt een opname, de kleur representeert het Habitattype (A, boven) of het gebied (B, onder). Deze plot heeft een afstand-interpretatie: hoe dicht twee punten bij elkaar staan, hoe groter de floristische overeenkomst. Elk PQ komt dus driemaal in deze plot voor maar omdat de verschillen tussen de tijdstippen klein zijn zullen deze punten vaak overlappen. Deze plot en het soortenplot van Figuur 5.2 kunnen in gelijke schaling over elkaar geprojecteerd worden, in dat geval geldt dat hoe dicht een soort bij een PQ-punt staat, hoe groter de kans om die soort daar aan te treffen. Percentages verklaarde variantie (betrokken op de over alle soorten gesommeerde variantie) zijn resp. 3.5% en 2.4% voor resp. de eerste en tweede as (de hele plot representeert dus 5.9% van de totale variantie). De-trending met segmenten, abundanties getransformeerd als $\log(\% \text{bedekking} + 1)$, geen selectie van soorten, totaal 543 opnamen en 401 soorten.) tonen een redelijke mate van overlap. Dit rechtvaardigt het gebruik van Goeree en Solleveld & Kapittelduinen als referentie voor Voorne, indien veranderingen optreden. Zoals verwacht zijn Vinetaduin en Van Dixhoorndriehoek het voedselrijkst, Solleveld het droogst en Goeree het natst. De PQ's van Voorne vertonen de grootste spreiding in abiotische condities.

5.4 Effect van abiotische condities

Van de volgende abiotische condities zijn schattingen beschikbaar:

- geschat of gemeten tijdens de opname van elk PQ: aanwezigheid van humus, vochttoestand, aanwezigheid van mieren, aanwezigheid van konijnen, Z-coördinaat, expositie en inclinatie. Hiervan zijn aantekeningen uit het veld met betrekking tot humus, vocht, mieren, en konijnen bij de gegevensverwerking omgezet in een numerieke waarde op een arbitraire schaal. De Z-coördinaat is bepaald met DGPS. Expositie en inclinatie zijn omgezet in een NZ en één OW component volgens:

$$\text{NZ expositie} = \text{inclinatie} * \text{COS}(\text{expositie}) \text{ (met Noord} = 0^\circ, \text{Oost} = 90^\circ, \text{etc.)} \quad (1)$$

$$\text{OW expositie} = \text{inclinatie} * \text{SIN}(\text{expositie}); \quad (2)$$

- door de beheerders aangeleverd: intensiteit van begrazen, maaien, plaggen, vergraven, struweel verwijderen. Van deze maatregelen is bekend het laatste jaar van uitvoeren, en van begrazing ook de veedichtheid. Hieruit is als volgt een variabele berekend die kan dienen als een schatter van het effect van beheer:

$$\text{EffectBeheer} = \frac{\text{MAX} (0, (\text{LaatsteJaar} - (2013 - \text{EffectievePeriode})) / \text{EffectievePeriode})}{}, \quad (3)$$

met: EffectBeheer, grootte die het effect van beheer schat (waarde tussen 0 = geen effect verwacht en 1 = maximaal effect verwacht). EffectievePeriode = periode dat het effect van een maatregel zichtbaar blijft in de vegetatie (deze is voor maaien en begrazen op 5 jaar gesteld en voor de andere maatregelen op 30 jaar), LaatsteJaar = laatste jaar dat deze maatregel is uitgevoerd. Voor begrazen is deze variabele vermenigvuldigd met de veedichtheid (in GVE / ha), en bij niet-jaarrond begrazing bovendien met een factor (aantal dagen begrazing) / 365;

- geschat op grond van foto's van elk PQ: ruwheid (zie §2.2.2);
- geschat op grond van tussen meetstations geïnterpoleerde depositie en voor elk PQ geschatte ruwheid: jaar-gesommeerde depositie van N-totaal over 2011 en 2012, en over het voorjaar (maart + april + mei) gesommeerde depositie in 2011 en 2012 (als kg N / ha / jaar);
- geschatte depositie van stuivend zand (in mm / jaar) (zie §4.1 en Tabel 4.8) (voor deze variabele waren in 2011 en 2012 geen schattingen beschikbaar);
- Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG) geschat met behulp van hydrologisch model voor de natste delen van de terreinen (zie §4.2 en Figuur 4.12 en Figuur 4.13); voor de droge delen is de GLG op 3 meter gesteld (deze variabele was in 2011 en 2012 niet beschikbaar);
- voor een random subset van 75 PQ's zijn beperkte bodemanalyses beschikbaar: pH-CaCl₂, pH-water, NH₄, NO₃+NO₂, N-totaal, PO₄, CaCO₃, organische stof (SOM) (zie §4.4). Hieruit is berekend: N-organisch als N-totaal - (NH₄+NO₃+NO₂), en een schatter voor de N/C ratio als N-totaal / SOM.

Het effect van het ruimtelijk patroon in abiotische en biotische condities is opnieuw bepaald op basis van de opnamen uit 2013. Dit is gedaan voor twee subsets:

1. 170 PQ's met bekende waarden voor alle bovengenoemde variabelen behalve de bodemchemische;
2. 75 PQ's met bekende waarden voor alle bovengenoemde variabelen.

Voor beide subsets is de significantie van het effect van de verklarende variabelen bepaald met behulp van voorwaartse selectie in CCA. Hierbij worden de termen één voor één in een multivariaat regressiemodel opgenomen, steeds degene die leidt tot de grootste toename in verklaarde variantie, op voorwaarde dat de correlatiecoëfficiënt tussen deze term en alle termen die reeds in het model zijn opgenomen kleiner is dan $R = 0.5$ in absolute zin. Hiertoe zijn correlatiematrices gemaakt die worden gegeven in bijlage 5. Vervolgens zijn de variabelen die een significant effect hebben geprojecteerd in het plot van Figuur 5.1, Figuur 5.2 en Figuur 5.3.

Tabel 5.1 toont het resultaat van de voorwaartse selectie voor subset 1 (dus 170 opnamen uit 2013 gerelateerd aan alle variabelen excl. de bodemchemische). Het blijkt dat alle geteste variabelen een significant effect hebben, behalve NZ expositie en de beheersvariabelen struweel verwijderen en vergraven. Verder is humus zo sterk met vocht gecorreleerd dat deze variabele niet wordt opgenomen ($R = 0.67$; Bijlage 5.1) en is de NAP-hoogte te sterk met GLG gecorreleerd om in het model te worden opgenomen ($R = 0.57$). Ook de gesommeerde N deposities voor de jaren 2011 en 2012 zijn zo sterk gecorreleerd ($R = 0.84$) dat slechts één van twee in het model kan worden opgenomen, en daarvan verklaart de waarde over 2011 de meeste variantie. De seizoens-gesommeerde deposities geven een minder goede fit dan de jaargesommeerde en zijn hier verder buiten beschouwing gelaten. Ook de jaarsom voor 2013 is niet getest omdat die voor een deel bepaald wordt door de depositie na het opnemen van de PQ's. De veldschatting

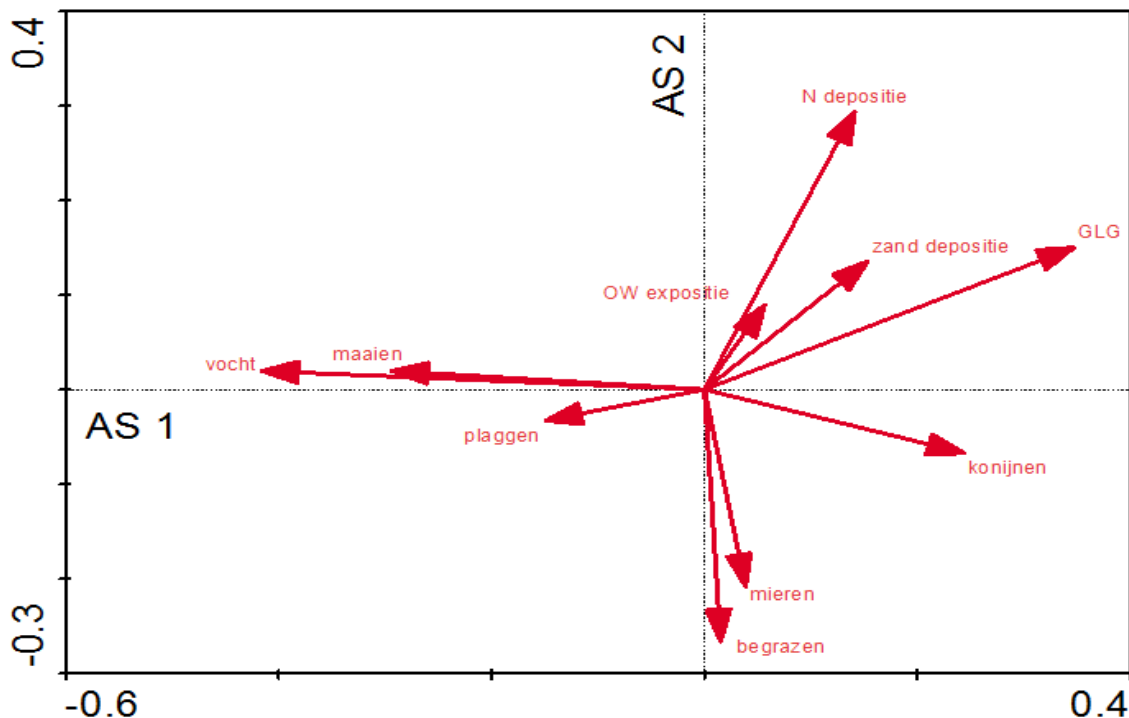
van vocht en GLG hebben een $R = 0.49$, maar beide zijn in het model opgenomen. Het hele model verklaart ruim 13% van de variantie in de abundanties van de soorten, en de vocht-gerelateerde variabelen (veldschatting en GLG) en N-depositie hebben het sterkste effect.

Tabel 5.1: Habitattype van het kaartvlak van elk PQ, en habitattype waartoe het blijkt de opname in 2013 behoorde (let er op dat een PQ tot beide Habitattypen 2130 en 2190 kan behoren omdat het aan Habitattypen is toegekend via de tien volgens ASSOCIA best gelijkende DVN typen, en omdat de vertaling van DVN typen naar Habitattypen ook niet 1:1 is).

HT van het kaartvlak	gevonden HT					% niet verwacht HT
	geen van beide	2130	2190	allebei	SOM	
2130	16	120		4	140	11%
2190		4	9	28	41	10%
SOM	16	124	9	32	181	11%

In Figuur 5.4 zijn de variabelen met een significant effect in het model van Tabel 5.2 geprojecteerd in de ordinatieruimte; let er op dat deze ruimte niet identiek is aan die van Figuur 5.1, Figuur 5.2 en Figuur 5.3 omdat het hier alleen de opnamen van 2013 betreft, van een subset van de PQ's. Maar het blijkt dat het soortenplot van deze ruimte (niet getoond) zeer weinig verschilt van Figuur 5.2, hetgeen betekent dat de subset een representatieve afbeelding is van de gehele opnameset.

Figuur 5.4 bevestigt vooral de eerder gegeven analyse die gebaseerd was op de ecologie van de soorten: de eerste as representeert vooral de nat (links) - droog (rechts) gradiënt, en de tweede as de voedselarm (onder) - voedselrijk (boven) gradiënt. Zoals verwacht zijn de begraasde plots voedselarm (pijl naar onder) en de plots met een hoge N-depositie voedselrijk (pijl naar boven). De depositie van zand is het grootst in de 'witte duinen achtige' PQ's (vergelijk Figuur 5.4 met Figuur 5.2). Dat de pijlen voor vocht en maaien bijna samenvallen kan liggen aan hun onderlinge correlatie ($R = 0.47$, Bijlage 5.1) die veroorzaakt wordt door het feit dat de droge (witte of grijze) duinen nooit gemaaid worden.



Figuur 5.4: verklarende variabelen met een significant effect in het model van Tabel 3 (subset 1), geprojecteerd in het 'sample' plot van Figuur 5.1. De invloed van elke factor neemt toe in de richting van de pijl. Let op de schaling van GLG: hogere waarde = droger.

Tabel 5.2: voorwaartse selectie van variabelen in CCA: alle variabelen behalve de bodemchemische, voor een subset van 170 PQ's in 2013. De termen zijn één voor één in het model opgenomen, steeds degene die leidt tot de grootste toename in verklaarde variantie, op voorwaarde dat de correlatiecoëfficiënt tussen deze term en alle termen die reeds in het model zijn opgenomen kleiner is dan 0.5 in absolute zin (vergelijk de correlatiematrix in Bijlage 5.1). $F = (\text{toename in regression mean square bij opnemen van deze term}) / (\text{error mean square})$, significantie = kans op deze, of een hogere F onder de nulhypothese bepaald door permutatie ($n=999$): ***, $P < 0.001$; **, $P < 0.01$; *, $P < 0.05$; ns, $P > 0.05$. $N = 170$

Variabele	F	significantie	% verklaarde variantie
vocht (veldschatting)	6,82	***	3,91%
N depositie totaal over 2011	3,18	***	1,79%
GLG	2,77	***	1,52%
zand depositie	1,92	**	1,06%
effect begrazing	1,91	***	1,06%
aanwezigheid konijnen	1,74	***	0,99%
OW expositie	1,44	*	0,79%
effect maaien	1,42	**	0,79%
effect plaggen	1,34	*	0,73%
aanwezigheid mieren	1,28	*	0,66%
effect stuweel verwijderden	1,23	ns	0,66%
NZ expositie	1,12	ns	0,60%
effect vergraven	0,69	ns	0,40%
SOM ALS $P < 0.05$			13,31%

Omdat de op basis van concentraties geschatte N-depositie sterk afhankelijk is van de ruwheid van de vegetatie (zie §2.2.2) is het mogelijk dat het effect van depositie op de vegetatie een schijn-correlatie is die loopt via ruwheid. Het blijkt echter dat in een model dat ook ruwheid bevat nog steeds een aanzienlijk deel van de variantie in de vegetatie door N-depositie wordt verklaard (data niet getoond).

Tabel 5.3 toont het resultaat van een de voorwaartse selectie voor subset 2 (dus 75 opnamen uit 2013 gerelateerd aan alle gemeten variabelen). Als maat voor depositie is wederom genomen de som van NH_3 en NO_x depositie over het jaar 2011. Het blijkt dat de bodemchemische variabelen onderling een sterke correlatie hebben, met name de verschillende N verbindingen onderling en met P en organische stof (meest $R \approx 0.7$, Bijlage 5.2). De beide pH's (water en CaCl_2 extract) zijn onderling zeer sterk gecorreleerd, maar ook met CaCO_3 ($R = 0.73$) en organische stof ($R = -0.53$). Ook N-depositie en NO_3 in de bodem hebben een $R = 0.57$. Door de eis dat onderlinge R van alle variabelen in het model kleiner moet zijn dan 0.5 komen slechts weinig van de bodemchemische in het uiteindelijke model terecht.

Tabel 5.3: Habitattypen van de PQ's die in 2013 niet zijn toe te kennen aan habitattypen H2130 of H2190 (selectie van de habitattypen die meer dan eenmaal zijn toegewezen; let er op dat de som van de aantalskolom meer is dan het aantal niet-2130 of 2190 PQ's omdat elk PQ aan meer dan één habitatype kan worden toegewezen).

Habitat	Omschrijving	Aantal
2160	Duindoornstruwelen	23
1330	Schorren en zilte graslanden	10
2180	Duinbossen	8
2120	Witte duinen	6
91F0	Droge hardhoutoibossen	3
2110	Embryonale duinen	3

6120	Stroomdalgraslanden	2
9120	Beuken-eikenbossen met hulst	2
91E0	Vochtige alluviale bossen	2
1310	Zilte pionierbegroeiingen	2

Opnieuw is vocht de belangrijkste verklarende variabele, gevolgd door pH en N-depositie. Van de bodemchemische variabelen heeft verder alleen de N/C ratio een significant effect. Evenals voor subset 1 hebben ook hier depositie van zand en begrazing een significant effect. Het percentage verklaarde variantie van het hele model is met bijna 19% hoger dan voor subset 1, dit hangt waarschijnlijk samen met het kleinere aantal plots en het grotere aantal gemeten variabelen.

In Figuur 5.5 zijn de variabelen met een significant effect in het model van Tabel 5.4 geprojecteerd in de ordinaatruimte, die wederom vrijwel gelijk is aan die van Figuur 5.1, Figuur 5.2 en Figuur 5.3 (niet getoond). Deze figuur lijkt sterk op Figuur 5.4: alle variabelen die in beide subsets geanalyseerd zijn wijzen in ongeveer dezelfde richting in beide plots. Alleen pH en N/C ratio zijn nieuw in deze plot, en daarvan wijst N/C ratio (die als indicator voor voedselrijkdom kan worden beschouwd) zoals verwacht in dezelfde richting als N depositie. De pijl voor pH loopt vrijwel parallel aan de verticale as, die volgens de eerdere interpretatie vooral bepaald wordt door voedselrijkdom. Blijkbaar hebben de voedselrijkere PQ's een hogere pH, hetgeen niet onverwacht is. Wanneer de verklarende variabelen in groepen worden samengenomen is de volgorde van afnemend belang (dat wil zeggen de mate waarin zij bepalend zijn voor de vegetatie) ongeveer: vocht \approx bodemchemie > begrazing \approx N depositie \approx zand depositie (Tabel 5.4B).

Tabel 5.4: Voorwaartse selectie van variabelen in CCA: alle variabelen behalve de bodemchemische, voor een subset van 75 PQ's in 2013. Verdere toelichting zie Tabel 3. N=75.

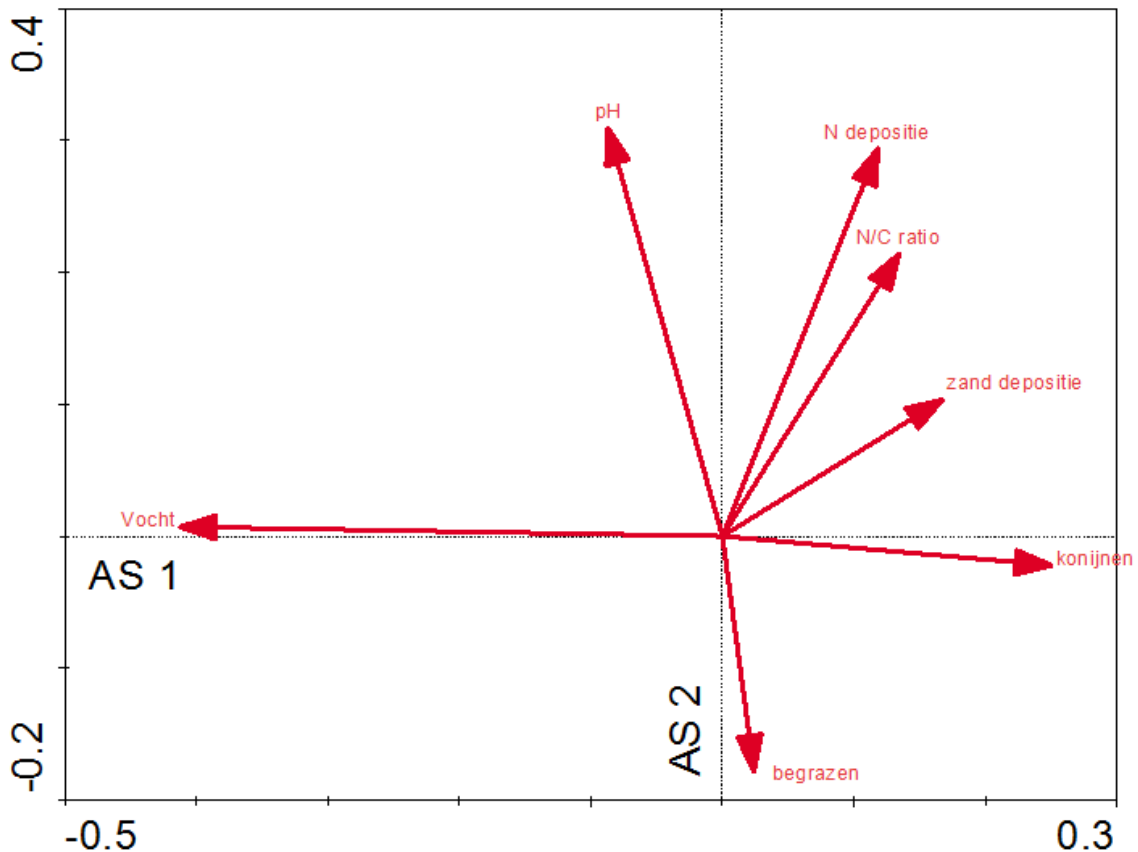
A: alle variabelen afzonderlijk

B: variabelen samengenomen per compartiment, percentage verklaarde variantie betrokken op de gefitte waarden

Variabele	F	P	significantie	% verklaarde variantie
vocht (veldschatting)	4,57	0,001	***	5,86%
pH (waterextract)	2,42	0,001	***	3,06%
N depositie totaal over 2011	1,92	0,001	***	2,46%
zand depositie	1,85	0,002	**	2,21%
N/C ratio	1,54	0,037	*	1,95%
aanwezigheid konijnen	1,44	0,001	***	1,70%
effect begrazing	1,27	0,069	*	1,53%
effect plaggen	1,19	0,18	ns	1,44%
effect maaien	1,08	0,307	ns	1,36%
SOM ALS P<0.05				18,78%

B

factor	rel. fit
vocht	31%
bodem	27%
begrazing	17%
depo	13%
zand	12%



Figuur 5.5: Verklarende variabelen met een significant effect in het model van Tabel 4 (subset2), geprojecteerd in het 'sample' plot van Figuur 1. De invloed van elke factor neemt toe in de richting van de pijl. Let op de schaling van GLG: hogere waarde = droger.

5.5 Temporele veranderingen

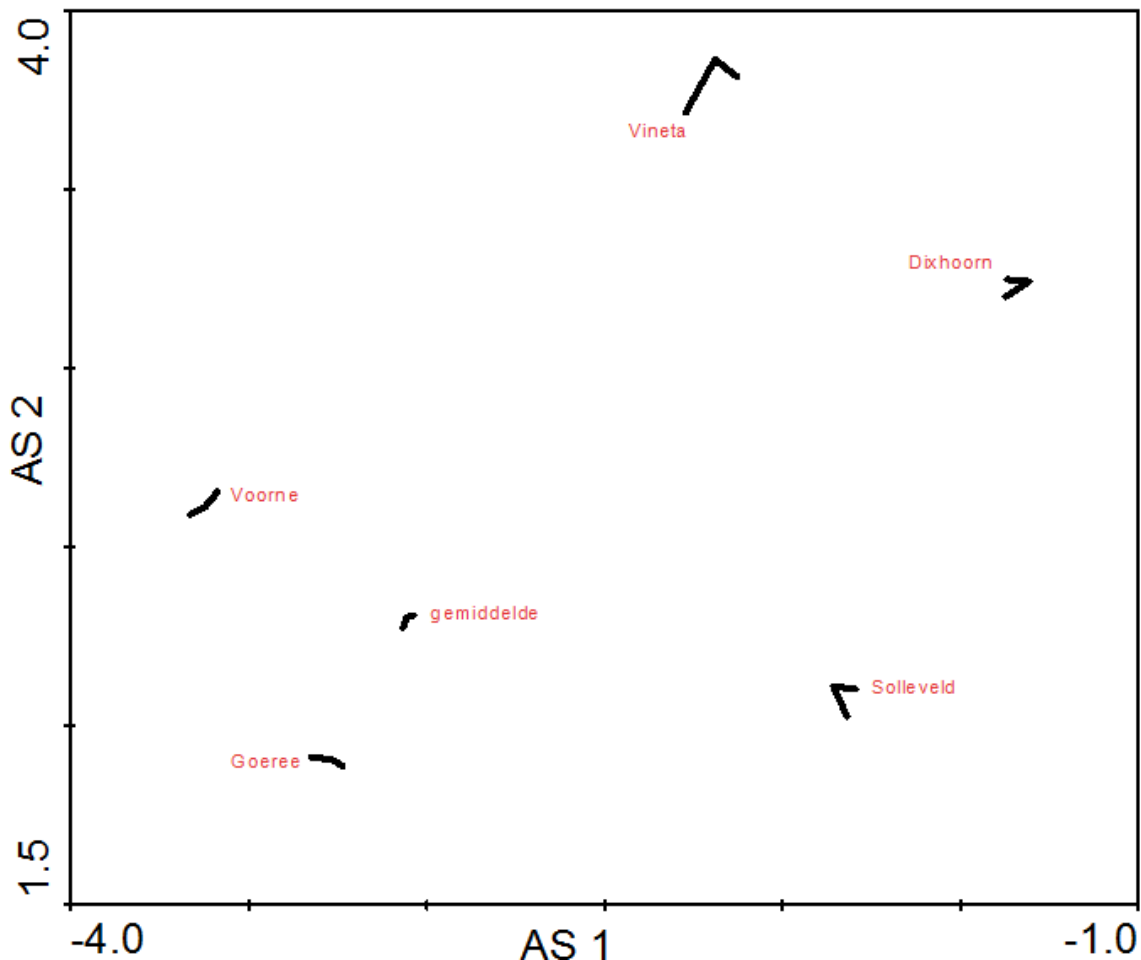
De significantie van de veranderingen in de vegetatie tussen 2011 en 2013 is bepaald in een CCA model met de PQ's als covariabele en het jaartal als enige verklarende variabele, dus

$$Y = c_{PQ} + c_1 \cdot \text{jaartal} \quad (4)$$

met: Y: score op de eerste canonische as, c_{PQ} : PQ-afhankelijke constante en c_1 : regressiecoëfficiënt.

Door middel van permutatie is de significantie van regressiecoëfficiënt c_1 bepaald, die zeer hoog blijkt te zijn ($P < 0.0001$ na 9999 permutaties), hoewel het percentage door de tijd verklaarde variantie laag is (1%). Let er op dat nu -in tegenstelling tot in 2013- de significantie van de lineaire trend is getest (hetgeen nu mogelijk is omdat er drie punten in de tijd zijn).

De veranderingen kunnen gevisualiseerd worden door de centroiden van de sample scores voor de drie jaren te plotten en met lijntjes te verbinden om zo de 'verplaatsing' in de tijd weer te geven (Figuur 5.6); grootte en richting van deze verplaatsing zijn een indicatie voor de veranderingen die hebben plaatsgevonden. De verplaatsingen blijken zeer klein te zijn in vergelijking met de ruimtelijke verschillen tussen de gebieden. Voor alle gebieden met uitzondering van de Van Dixhoordriehoek is de verplaatsing naar boven, dat wil zeggen in de 'voedselrijke' richting. Dit is geen directe aanwijzing dat de voedselrijkdom is toegenomen, maar wel is de vegetatie veranderd in een richting die meer voedselrijkdom indiceert.



Figuur 5.6: Verplaatsing van de centroiden van de sample scores in de DCA ruimte van Figuur 1 - 3 tussen 2011 en 2013, voor elk gebied en voor alle gebieden samen ('gemiddelde'); het einde van het lijnstuk waar de gebiedsnaam staat representeert 2013, het andere einde 2011.

Een andere manier om de veranderingen in de vegetatie te interpreteren is via indicatiegetallen. Tabel 5.5 geeft deze indicatiegetallen en hun verandering tussen 2011 en 2013 als regressie coëfficiënt van de lineaire trend; hierbij is de volgende vergelijking gefit:

$$Y_{p,t} - Y_{p,2011} = a_0 + a_1(J - 2011) \quad (5)$$

met: $Y_{p,t}$: indicatiewaarde voor PQ p op tijdstip t, a_0 , a_1 : regressie coëfficiënten, J: jaartal

Bovenstaande vergelijking is gefit voor de DCA-scores op de eerste twee assen, de 'WW indicatoren' voor GVG (voorjaarsgrondwaterstand), pH en NO_3 en Cl gehalte van de bodem (Wamelink et al. 2011a,b), en voor Ellenberg-N (Ellenberg et al. 1991). Het blijkt dat de indicator voor voedselrijkdom in beide indicatiesystemen een stijgende trend heeft (WW significant en Ellenberg bijna significant), hetgeen er op kan wijzen dat de voedselrijkdom is toegenomen, wat een effect van depositie kan zijn. Verder stijgt de pH indicator significant. De verplaatsing langs de eerste as is significant naar links, hetgeen kan wijzen op vernatting (maar de GVG indicator is niet significant veranderd). De verplaatsing langs de tweede as is niet significant (maar de indicatoren voor pH en N zijn beide significant gestegen).

Tabel 5.5: Lineaire trend van de scores op de eerste twee DCA assen, enkele WW indicatoren, Ellenberg N en enkele diversiteitsindicatoren. Gefit is vergelijking (5)

	Y	Gemiddelde in 2011	a_1 (verandering per jaar)	significantie van a_1	% verklaarde variantie
DCA assen	AX1	-2,75	-0,04	***	1,99%
	AX2	2,41	0,01	ns	0,00%
WW indicatoren	NO3	0,87	0,04	*	0,92%
	GVG	13,53	-0,08	ns	0,00%
	pH	4,88	0,02	*	0,70%
	Cl	23,18	0,12	ns	0,00%
Ellenberg	N	3,89	0,04	~	0,40%
diversiteits indicatoren	NBW	12,35	0,29	***	3,25%
	Nspec	17,74	2,02	***	20,13%
	Simp	0,77	0,01	*	0,92%

Tabel 5.5 geeft ook een aantal diversiteitsmaten. NBW kan beschouwd worden als een schatting van de kans op het vinden van Rode Lijst soorten (Wamelink et al. 2003, Van Dobben & Wamelink 2009), en de Simpson index is een schatting van de kans dat twee individuen die willekeurig uit de vegetatie geplukt worden, tot verschillende soorten behoren. Al deze indices hebben een significant stijgende trend, maar waarschijnlijk moet dit als een artefact beschouwd worden, veroorzaakt door de toegenomen lokale floristische kennis van de opnemer.

5.6 Discussie en conclusie

De relatie tussen vegetatie en abiotische en biotische predictoren bepaald op basis van de opnamen uit 2013, bleek in grote lijnen gelijk aan die op basis van de opnamen uit 2011 en 2012. De belangrijkste predictoren voor het ruimtelijk patroon van de vegetatie zijn (in volgorde van afnemend belang): vocht, bodemchemie (vooral N beschikbaarheid en pH), begrazing, N depositie en overstuiving met zand. Wanneer wordt gekeken naar de soortensamenstelling van de PQ's in relatie tot deze variabelen blijkt hun effect goed overeen te stemmen met hetgeen bekend is over de ecologie van de soorten (uit beschrijvingen en flora's, en zoals vastgelegd in indicatiewaarden). Met name geldt dit ook voor het effect van N depositie, dat te duiden is als een toename van stikstofminnende soorten (of anders gezegd: van ruigtesoorten).

De veranderingen die hebben plaatsgevonden tussen 2011 en 2013 zijn klein in vergelijking met de ruimtelijke verschillen (evenals die tussen 2011 en 2012). Er is echter wel een significante lineaire trend, die lijkt te gaan in de richting van stikstofrijkere en minder zure omstandigheden. De trends in indicatiewaarden en de verplaatsing langs de DCA assen zijn echter niet eenduidig. Verder dient opgemerkt te worden dat, als er een trend is in de richting van een meer stikstof indicerende vegetatie en deze wordt veroorzaakt door atmosferische depositie, deze vooral het gevolg moet zijn van (toename van) depositie in het verleden, omdat de depositie de laatste jaren geen stijgend trend meer heeft. In dat geval is er dus sprake van na-ijling van de vegetatie, en dat kan het vaststellen van een effect van toenemende depositie in de toekomst bemoeilijken. Maar ook bestaat de mogelijkheid dat de trend een gevolg is van natuurlijke successie, veranderingen in beheer of afname van de konijnenstand.

6 Conclusies onderzoeksvragen

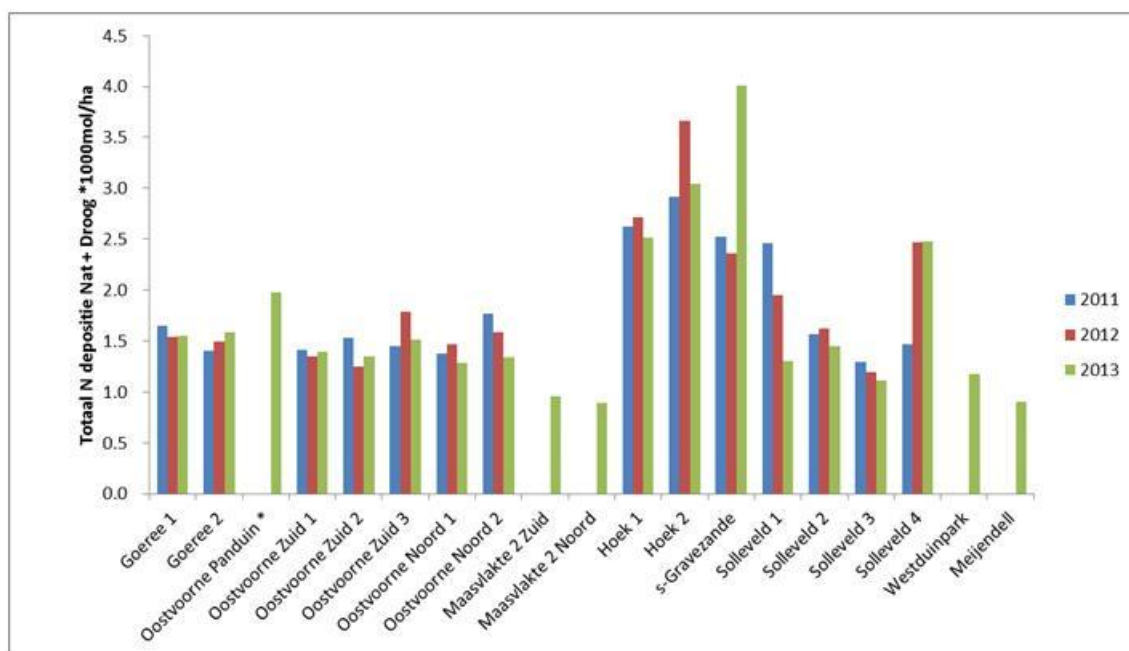
6.1 Conclusies ten aanzien van de referentiesituatie

De T=0 fase van het MEP duinen voor het onderdeel bestaande duinen is gericht op het vaststellen van de referentiesituatie waartegen straks de effecten van MV2 kunnen worden afgezet. Om deze doelstelling te operationaliseren zijn een aantal onderzoeksvragen geformuleerd (paragraaf 1.4). Deze vragen zijn aan de hand van de monitoringsresultaten uit de periode 2011 t/m 2013 beantwoord in de voorliggende hoofdstukken. Ter conclusie zijn deze antwoorden hieronder samengevat.

Wat is de actuele stikstofdepositie op de habitattypen 2130 (Grijze duinen) en habitattypen 2190 (Vochtige duinvalleien) in Voornes Duin, Solleveld & Kappitelduinen en de Duinen van Goeree?

Zoals de stikstofmetingen (hoofdstuk 2) laat zien verschilt de stikstofdepositie sterk per locatie. de hoogste waarden (tot 4000 mol N/ha/jaar) zijn gemeten op Hoek van Holland en s' Gravezande. In de omgeving van deze meetpunten (op Solleveld & Kappitelduinen) is grijs duin (H2130) aanwezig, zij het in verruigde vorm. In de overige gebieden is de gemeten totale stikstofdepositie in de periode 2011 t/m 2013 gemiddeld tussen de 1200 mol N/ha/jaar tot 1600 mol N/ha/jaar, met uitschieters tot 2500 mol N/ha/jaar.

Vergelijking van de gemeten deposities met de berekende deposities volgens de MER laat zien dat de deposities voor Voornes Duin min of meer hetzelfde niveau hebben als hetgeen gerapporteerd. Echter, de deposities voor Hoek van Holland verschillen sterk: de gemeten deposities zijn duidelijk hoger dan de berekende waarden volgens de MER rapportage. De reden hiervoor is op dit moment nog onduidelijk en zal onderwerp moeten zijn van nader onderzoek. Echter, de oorzaak moet waarschijnlijk gezocht worden in een onderschatting van de emissies van de Maasvlakte en omgeving in de MER.



Figuur 6.1: Totale depositie per site voor de periode 2011-2013.

Wat is het actuele oppervlakte en kwaliteit van 2130 (Grijze duinen) en habitattype 2190 (Vochtige duinvalleien) in Voornes Duin, Solleveld & Kappitelduinen en de Duinen van Goeree?

In 2012 is door het consortium een vegetatiekartering uitgevoerd in het noordelijke deel van Voornes Duin (beheergebied ZHL) en van Solleveld & Kapittelduinen. Voor het zuidelijk deel van Voornes Duin is in opdracht van Natuurmonumenten eveneens een vegetatiekartering uitgevoerd. In 2011 is een vegetatiekartering uitgevoerd in de Duinen van Goeree & Kwade Hoek. Op basis van deze vegetatiekarteringen zijn de oppervlaktes van de verschillende subhabitattypen van grijs duin en Vochtige duinvalleien bepaald (Tabel 6.1).

De habitatkartering zoals opgenomen in AERIUS wijkt af van de habitatkartering uitgevoerd in het kader van het onderhavige project. Hiervoor zijn verschillende redenen (zie hoofdstuk 3). De belangrijkste redenen zijn dat voor het onderhavige project gebruik is gemaakt van recentere vegetatiekarteringen en een striktere habitatdefinitie is gehanteerd. Door het volgen van het zelfde protocol (Bijlage 2) voor vegetatie en habitatkartering als bij het vaststellen van de referentiesituatie zal een verandering in oppervlakte in vervolgfases van het MEP duinen eenduidig vastgesteld kunnen worden.

Op grond van de gekarteerde vegetatietypen is het grootste deel van de habitattypen van goede kwaliteit. Op Goeree is echter ruim 7 ha Grijze duinen (H2130) en 1,8 ha Vochtige duinvalleien (H2190) van matige kwaliteit en in Solleveld & Kapittelduinen is 8,4 ha Grijze duinen van matige kwaliteit. In Voornes duin is in totaal slechts 2,7 ha van H2190 en H2130 van matige kwaliteit.

Tabel 6.1 Het actuele oppervlak (2011, 2012) van de verschillende subhabitattypen van Grijze duinen en Vochtige duinvalleien binnen de drie Natura 2000-gebieden. Deze oppervlaktes kunnen als referentie worden beschouwd voor de T=0 situatie. In de rechter kolom is het oppervlak matige kwaliteit weergegeven op grond van de gekarteerde vegetatietypen.

Duinen van Goeree & Kwade Hoek (excl Westduinen)		
Habitattype	Totaal oppervlak	Oppervlak matige kwaliteit
H2130A	11,3 ha	2,2 ha
H2130B	8,2 ha	5,0 ha
H2130C	0,11 ha	
H2190A	6,7 ha	0,2 ha
H2190B	13,0 ha	
H2190C	3,8 ha	0,08 ha
H2190D	4,3 ha	1,7 ha
Voornes Duin		
Habitattype	Totaal oppervlak	Oppervlak matige kwaliteit
H2130A	81,2 ha	0,86 ha
H2130B	0,4 ha	0,01 ha
H2130C	0,05 ha	
H2190A	10,6 ha	1,5 ha
H2190B	15,8 ha	
H2190C	1,0 ha	0,01 ha
H2190D	5,7 ha	0,33 ha

Solleveld & Kapittelduinen		
Habitattype	Totaal oppervlak	Oppervlak matige kwaliteit
H2130A	40,6 ha	
H2130B	112,6 ha	8,4 ha
H2130C		
H2190A	4,3 ha	
H2190B	2,6 ha	
H2190C		
H2190D	2,2 ha	

Wat is de actuele populatieomvang en verspreiding van de Groenknolorchis in Voornes Duin en de Duinen van Goeree?

Op onderstaande stippenkaart (Figuur 6.2) zijn de actuele bekende vindplaatsen van de Groenknolorchis op Voornes Duin weergegeven. Naast deze locaties is de soort op een aantal nieuwe locaties binnen het onderzoeksgebied waargenomen, te weten in de Van Dixhoorndriehoek, op Solleveld en in de duinen van Goeree.



Figuur 6.2. Bekende populaties (stippenkaart) van de Groenknolorchis op Voorne (kopie figuur 3.9)

6.2 Conclusies ten aanzien van meetbaarheid signaal en ruisfactoren

Naast de onderzoeksvragen ten aanzien van de referentiesituatie hebben we onderzoeksvragen gedefinieerd om meer inzicht te krijgen in het functioneren van het systeem. Hierbij is het - gelet op de probleemschets (§1.4)- vooral van belang om alvast grip te krijgen op de vraag hoe straks het onderscheid tussen signaal en ruis wordt gemaakt.

Welke kustdwarse en kustlangse gradiënten in stikstofdepositie zijn thans waarneembaar?

De gradiënt in concentraties langs de kust is duidelijk waarneembaar in de verschillende jaren. De dataset laat deze gradiënt in sterke mate zien bij maanden met veel zuid/zuidwesten wind, de gradiënt verdwijnt bij maanden met overwegend oostelijke aanstroming. In sommige maanden is er een duidelijke correlatie tussen de patronen van NO₂ en SO₂. Deze correlatie duidt op een bijdrage van de raffinaderijen of de zeescheepvaart. Een NO₂ toename die niet gekoppeld is aan een SO₂ toename zou duiden op emissies van wegverkeer of bijvoorbeeld de warmtekracht-koppeling systemen in de tuinbouw.

Binnen het meetnet zijn drie kustdwarse raaien van drie stikstofmeetstations geplaatst. Uit de metingen binnen deze raaien valt te concluderen dat voor een aantal maanden in het jaar de ammoniakdepositie op de meetstations dicht bij de kust gemiddeld hoger zijn dan die meer landinwaarts. Dit ondersteunt een eerdere constatering van het RIVM (op basis van metingen met het MAN netwerk), dat er mogelijk NH₃ vanaf zee komt.

Er was geen kustdwarse gradiënt in NO₂ meetbaar.

Zal, gelet op de meetnauwkeurigheid, het signaal vanuit MV2 op de stikstofdepositie in de duingebieden straks waar te nemen zijn?

De metingen van NO_x op Hoek van Holland en van natte depositie op Oostvoorne zijn vergeleken met die van nabij geplaatste meetstations van de DCMR. Op basis van deze vergelijking is de conclusie gerechtvaardigd dat een consistente en nauwkeurige meting van de verschillende stikstofcomponenten is uitgevoerd voor de T=0 situatie (2011 t/m 2013). De meetnauwkeurigheid van de huidige opstellingen is voldoende om nabij de bron, ter hoogte van Hoek van Holland, de toename aan depositie vanuit MV2 te kunnen onderscheiden. Op locaties verder van de bron zal het signaal van MV2 zelf kleiner zijn, maar daar zullen andere brongebieden het stikstofsignaal overheersen. De vergelijking van deze stations geeft daarmee een nog beter beeld van het belang van de bijdrage vanuit MV2 (zie verder hoofdstuk 2).

Welk deel van de verschillen in de soortensamenstelling van de vegetatie is te verklaren door verschillen in stikstofdepositie en hoe verhoudt zich dit tot andere factoren?

De belangrijkste predictoren voor het ruimtelijk patroon van de vegetatie zijn (in volgorde van afnemend belang): vocht, bodemchemie (vooral N beschikbaarheid en pH), begrazing, N depositie en overstuiving met zand (zie multivariate analyses in Hoofdstuk 5). Stikstofdepositie kan 2,5% van de variantie in de vegetatiesamenstelling van de PQ's verklaren. Alle van de genoemde factoren tezamen kan bijna 19% van de variantie verklaren.

Wanneer wordt gekeken naar de soortensamenstelling van de PQ's in relatie tot deze variabelen blijkt hun effect goed overeen te stemmen met hetgeen bekend is over de ecologie van de soorten (uit beschrijvingen en flora's, en zoals vastgelegd in indicatiewaarden). Met name geldt dit ook voor het effect van N depositie, dat te duiden is als een toename van stikstofminnende soorten (of anders gezegd: van ruigesoorten).

De veranderingen die hebben plaatsgevonden tussen 2011 en 2013 zijn klein in vergelijking met de ruimtelijke verschillen (evenals die tussen 2011 en 2012). Er is echter wel een significante lineaire trend, die lijkt te gaan in de richting van stikstofrijkere en minder zure omstandigheden. De trends in indicatiewaarden en de verplaatsing langs de DCA assen zijn echter niet eenduidig. Verder dient opgemerkt te worden dat, als er een trend is in de richting van een meer stikstof indicerende vegetatie en deze wordt veroorzaakt door atmosferische depositie, deze vooral het gevolg moet zijn van (toename van) depositie in het verleden, omdat de depositie de laatste jaren geen stijgend trend meer heeft. In dat geval is er dus sprake van na-ijling van de vegetatie, en dat kan het vaststellen van een effect van toenemende depositie in de toekomst bemoeilijken. Maar ook bestaat de mogelijkheid dat de trend een gevolg is van natuurlijke successie, veranderingen in beheer of afname van de konijnenstand.

Referenties

Hoofdstuk Inleiding

Deltares, 2009. Plan van Aanpak Meetstrategie MEP duinen. Effecten van het gebruik van Maasvlakte 2. Rapport opgesteld in opdracht van Rijkswaterstaat Waterdienst.

Hoofdstuk Stikstofdepositie

Aben, J. (2012) Afleiding van kaarten met ruwheid en dominant landgebruik voor gebruik in OPS. RIVM/CMM.

Draaijers, G.P.J., Erisman, J.W., Lovblad, G., Spranger, T. and Vel, E. (1998) Quality and uncertainty aspects of forest deposition estimation using throughfall, stemflow and precipitation. TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation, Apeldoorn, The Netherlands, report no. TNO-MEP-R98/093.

Draaijers, G.P.J. (1993) The variability of atmospheric deposition to forests. Ph.D. Thesis University of Utrecht, The Netherlands.

Flechard, C. R., Nemitz E., Smith R. I., Fowler D, Vermeulen A. T., Bleeker A., Erisman J. W., Simpson D., Zhang L., Tang Y. S., Sutton. M. A., Dry deposition of reactive nitrogen to European ecosystems: a comparison of inferential models across the NitroEurope network. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 2703–2728, 2011

Massad, R.-S., Nemitz, E., and Sutton, M. A.: Review and parameterization of bi-directional ammonia exchange between vegetation and the atmosphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 10359–10386, doi:10.5194/acp-10-10359-2010, 2010.

Hoofdstuk Vegetatie

Allemeersch, L., and W. v. Landuyt. 2006. Atlas van de flora van Vlaanderen en het Brussels Gewest. Nationale Plantentuin van België, Meise.

Bremer, P. 2012. Planten tellen : over demografisch onderzoek. KNNV, Zeist.

Goes, J. P. C. v. d. 2012. Florakartering Voornes Duin 2012. van der Goes en Groot, ecologisch onderzoeks- en adviesburo

Grootjans, A. P., E. J. Lammerts, F. v. Beusekom, F. Berendse, E. Dijk, and W. H. O. Ernst. 1995. Kalkrijke duinvalleien op de Waddeneilanden : ecologie en regeneratiemogelijkheden. Stichting Uitgeverij van de KNNV, Utrecht.

Ministerie van economische zaken, 24 maart 2009, Den Haag. Definitietabel habitattypen

Odé, B., and A. Bolier. 2003. Groenknolorchis op de kaart. *Gorteria* 29:5.

Spanoghe, G., W. Van Landuyt, and R. Gyselings. 2008. Een nieuwe vindplaats van *Liparis loeselii* in het gebied van Antwerpen Linkeroever. *Dumortiera*:1-3.

Weeda, E. J. 1994. Nederlandse oecologische flora : wilde planten en hun relaties 5. lvn], [Amsterdam.

Paragraaf Zanddynamiek

Arens, S. M., Van Boxel, J. H. en Abuodha, J. O. Z. (2002) 'Changes in grain size of sand in transport over a foredune', *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(11), 1163-1175.

Arens, S. M., van Puijvelde, S. P. en Brière, C. (2010) *Effecten van suppleties op duinontwikkeling : rapportage geomorfologie, Rapport DK;nr. 2010/OBN142-DK*, Den Haag: Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

Bagnold, R. A. (1941) 'The physics of wind blown sand and desert dunes', *Methuen, London*, 265.

- Bressolier, C. en Thomas, Y.-F. (1977) 'Studies on wind and plant interactions on French Atlantic coastal dunes', *Journal of Sedimentary Research*, 47(1), 331-338.
- De Vries, S., Southgate, H. N., Kanning, W. en Ranasinghe, R. (2012) 'Dune behavior and aeolian transport on decadal timescales', *Coastal Engineering*, 67, 41-53.
- Deltares (2009) *Plan van Aanpak Meetstrategie MEP Duinen. Rapport 1201187-000-ZKS-0005*.
- Goossens, D. en Offer, Z. Y. (2000) 'Wind tunnel and field calibration of six aeolian dust samplers', *Atmospheric Environment*, 34(7), 1043-1057.
- Guo, Z., Zobeck, T. M., Stout, J. E. en Zhang, K. (2012) 'The effect of wind averaging time on wind erosivity estimation', *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(7), 797-802.
- Keijzers, J., Poortinga, A., Riksen, M. J. P. M. en De Groot, A. (Submitted 2012) 'Spatial and temporal variability in foredune development on a barrier island with contrasting beach settings'.
- Morgan, R. P. C. (2005) *Soil erosion and conservation*, Malden, MA [etc.]: Blackwell.
- Panofsky, H. A. en Dutton, J. A. (1984) 'Atmospheric turbulence: models and methods for engineering applications'.
- Riksen, M., Ketner-Oostra, R., Van Turnhout, C., Nijssen, M., Goossens, D., Jungerius, P. D. en Spaan, W. (2006) 'Will we lose the last active inland drift sands of Western Europe? The origin and development of the inland drift-sand ecotype in the Netherlands', *Landscape Ecology*, 21(3 SPEC. ISS.), 431-447.
- Riksen, M. J. P. M. en Goossens, D. (2007) 'The role of wind and splash erosion in inland drift-sand areas in the Netherlands', *Geomorphology*, 88(1-2), 179-192.
- Ruessink, B. G. en Jeuken, M. C. J. L. (2002) 'Dunefoot dynamics along the Dutch coast', *Earth Surface Processes and Landforms*, 27(10), 1043-1056.
- Stuyfzand, P. J., Arens, S. M., Oost, A. P. en Baggelaar, P. K. (2012) *Geochemische effecten van zandsuppleties in Nederland : langs de kust van Ameland tot Walcheren, Rapport / [DK];nr. 2012/OBN167-DK*, Den Haag: Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.
- Van Der Wal, D. (2004) 'Beach-dune interactions in nourishment areas along the dutch coast', *Journal of Coastal Research*, 20(1), 317-325.
- Van Haperen, A. M. M. (2009) *Een wereld van verschil : landschap en plantengroei van de duinen op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden*, unpublished thesis (Proefschrift Wageningen UR).
- Wieringa, J. (1992) 'Updating the Davenport roughness classification', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41(1-3), 357-368.

Paragraaf Beheer

- Kooijman, A.M., Noordijk, H., van Hinsberg, A. en C. Cusell, 2009. Stikstofdepositie in de duinen een analyse van N-depositie, kritische niveaus, erfenissen uit het verleden en stikstofefficiëntie in verschillende duinzones. Rapport Universiteit van Amsterdam en Planbureau voor de Leefomgeving.
- Beheersplan BERKHEIDE • MEIJENDEL • SOLLEVELD 2000-2009. Toestand van het plangebied in 1998. Redactie. K. Vertegaal. Rapport Duinwaterbedrijf Zuid-Holland en Staatsbosbeheer.

Hoofdstuk multivariate en temporele analyses

- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., Pauliszen, D. 1991. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18:1-248.
- Schaminée, J.H.J., Stortelder, A.H.F., Weeda, E.J. 1996. De Vegetatie van Nederland. Deel 3: plantengemeenschappen van graslanden, zomen en droge heiden. Opulus Press, Uppsala, 356 p.
- Schaminée, J.H.J., Weeda, E.J., Westhoff, V. 1998. De Vegetatie van Nederland. Deel 4: plantengemeenschappen van de kust en van binnenlandse pioniermilieus. Opulus Press, Uppsala, 346 p.
- Ter Braak, C. J. F. en Smilauer, P., 2002. CANOCO reference manual and Canodraw for windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Micro-computer Power, Ithaca. 500 p.
- Van Dobben, H., Wamelink, W. 2009. A Red-List-based biodiversity indicator and its application in model studies in the Netherlands. In: Hettelingh, J-P. et al. (eds.): *Progress in the*

- modelling of critical thresholds, impacts to plant species diversity and ecosystem services in Europe: CCE Status Report 2009. Coordination Centre for Effects, Bilthoven, pp. 77-81.
- Van Dobben, H.F., Bobbink, R., Bal, D., Van Hinsberg, A. 2012. Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Alterra-rapport 2397, 68 p.
- Van Tongeren, O., Gremmen, N., Hennekens, S. 2008. Assignment of relevés to pre-defined classes by supervised clustering of plant communities using a new composite index. *Journal of Vegetation Science*, 19: 525–536
- Wamelink, G.W., van Adrichem, M. H.C., van Dobben, H.F., Frissel, J.Y., den Held, M., Joosten, V., Malinowska, A.H., Slim, P.A., Wegman, R.M.A. 2011. Vegetation relevés and soil measurements in the Netherlands: the Ecological Conditions Database (EC). In: Dengler, J., Oldeland, J., Jansen, F., Chytrý, M., Ewald, J., Finckh, M., Glöckler, F., Lopez-Gonzalez, G., Peet, R.K., Schaminée, J.H.J. [Eds.]: *Vegetation databases for the 21st century*. – *Biodiversity & Ecology* 4: 125–132.
- Wamelink, G.W.W., Goedhart, P.W., Malinowska, A.H., Frissel, J.Y., Wegman, R.J.M., Slim, P.A., Van Dobben, H.F. 2011. Ecological ranges for the pH and NO₃ of syntaxa: a new basis for the estimation of critical loads for acid and nitrogen deposition. *Journal of Vegetation Science* 22:741–749.
- Wamelink, G.W.W., Ter Braak, C.J.F., Van Dobben, H.F. 2003. Changes in large-scale patterns of plant biodiversity predicted from environmental economic scenarios. *Landscape Ecology* 18:513–527

www.grontmij.nl

Wij ontwerpen en realiseren **plannen** voor de **toekomst**, door mensen en partijen in regio's bij elkaar te brengen en met elkaar te **verbinden**, met **respect** voor onze leefomgeving, onze klanten en elkaar.