

Project Noordwestkern Kennemerduinen

Nulmetingen wind, zout, regen- en grondwater 2009-2011



Project Noordwestkern Kennemerduinen
Nulmetingen wind, zout, regen- en grondwater
2009-2011

ARENS BSDO
RAPPORTNUMMER RAP2011.03
In opdracht van nv PWN
oktober 2011

COLOFON

Project

Revitalisering duinen en zeereep Noordwestkern Kennemerduinen

Opdrachtgever

Nv PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland

Uitvoering

Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek, VU-FALW, KWR, PWN

Data-verzameling

Dennis Ofman (PWN), Samuel Kumahor (VU), Cristina Garcia-Perez (VU)

Project-begeleiding veldmetingen

Ina Roels

Samenstelling rapport

Pieter J. Stuyfzand & Sebastiaan M. Arens

Begeleiding

Leon Terlouw

Foto omslag

Samuel Kumahor

Versie

Eindrapportage, 3 november 2011

RAP2011.03

VOORWOORD

Deze rapportage doet verslag van de nulmetingen die in het kader van het project Noordwestkern (Kennemerduinen) sinds oktober 2009 worden uitgevoerd. Dit project heeft sinds 1 september 2010 een stevige uitbreiding gekregen door de metingen aan wind en zout aan te vullen met metingen aan regenwater, bodemvocht en ondiep duingrondwater. Deze aanvulling draait onder maar liefst drie vlaggen: die van PWN in het kader van onderzoek naar de grondwaterkwaliteit, die van VU in het kader van algemeen hydrologisch en hydrochemisch kustduinonderzoek, en die van KWR Watercycle Research Institute in het kader van BTO-project 'Effecten van klimaatverandering op de grondwaterkwaliteit'.

Veldmetingen vereisen altijd heel wat organisatorische inspanning waarbij de hulp van velen wordt ingeroepen. Voor dit project is het niet anders. Zonder de tomeloze inzet van Ina Roels, boswachter PWN, zouden deze nulmetingen niet uitgevoerd kunnen worden. Zij heeft een heel leger van vrijwilligers bereid gevonden bij te dragen aan het wisselen van potjes en ook deels het uitvoeren van de geleidbaarheidsmetingen. In alfabetische volgorde zijn dat geweest: Antonia Granneman, Bert Hartoch, Nico Jonker, Jan Koster, Jan Oosterveen, Ellen Roosloot, Irma Schoonderwoerd, Henk Telder en Coen Verstand. Doni Planken, student aan de Universiteit, heeft in het kader van haar bachelors thesis een deel van de geleidbaarheidsanalyses uitgevoerd. Het laatste jaar heeft vooral Dennis Ofman zich onmisbaar gemaakt bij het wisselen en analyseren van de zoutpotjes. Na zijn vertrek bij de PWN is dit overgenomen door Gerard van Zijl, student bij Larenstein. Rienk SLings en Pieter Stuyfzand hebben meegedacht bij de opzet van de zoutmetingen. De leden van het Greenteam stonden steeds paraat om hekjes om opstellingen te plaatsen of andere hand en span diensten te verlenen.

Ook de uitbreiding van het onderzoek met metingen aan regenwater, bodemvocht en ondiep duingrondwater vergde de nodige organisatorische inspanning. Daarbij was de hulp onmisbaar van met name Dennis Ofman, boswachter-in-opleiding bij PWN, die assisteerde bij de uitvoering van veldmetingen, en de hulp van Sander de Haas, hydroloog bij PWN, bij het plaatsen van stagiairs en regelen van vervoer. VU MSc-studenten Samuel Kumahor en Cristina Garcia Perez verrichtten de vele veld- en labmetingen aan regenwater, bodemvocht en grondwater, terwijl John Visser van het VU-laboratorium voor water de studenten in het lab begeleidde en de ICP-OES-bepalingen uitvoerde.

Tot slot was het hele onderzoek niet mogelijk geweest zonder de subsidies die Leon Terlouw uit alle hoeken en gaten te voorschijn wist te toveren.

Bas Arens en Pieter Stuyfzand

Amsterdam, 15 oktober 2011

SAMENVATTING

In de Noordwestkern, Zuid-Kennemerland, zijn ingrepen in zeereep en achterliggende paraboolduinen gepland, met als doel de dynamiek in het gebied weer op gang te brengen. Belangrijk onderdeel van het plan is om in de zeereep een vijftal grote kerven aan te brengen. Door deze kerven zal de invloed van wind, zand en zout op de achterliggende duinen toenemen. De verwachting is dat hierdoor de vegetatieontwikkeling minder snel zal verlopen en pionierstadia daardoor langer blijven bestaan. Om straks aan te kunnen tonen dat de ingrepen inderdaad effect hebben op de zout-, zand- en windbelasting is er een meetprogramma gestart. Tussen September 2009 en September 2011 zijn in de noordwestkern de zogenaamde nulmetingen uitgevoerd. In die periode is gemeten wat de wind- en zoutbelasting op een aantal plaatsen is vóór aanleg van de kerven. Na de ingrepen zullen de metingen herhaald worden, waarna bepaald kan worden hoe groot het verschil is.

In dit rapport wordt verslag gedaan van de serie nulmetingen. Op vijf plaatsen zijn masten neergezet met windmeters om te meten hoe de wind varieert binnen het duinlandschap. Bij deze masten staan ook zoutvangers die met een simpele methode zout uit de lucht vangen. De meetpunten zijn zo geplaatst dat ze steeds verder van zee liggen. Bij de zoutvangers zijn regenmeters geplaatst waarmee een vergelijking is gemaakt tussen de hoeveelheid zout die uit de lucht is gevangen en het zout dat in regenwater zit. Het regenwater is verder geanalyseerd op chemische samenstelling. Op verschillende plaatsen en tijdstippen zijn ook analyses uitgevoerd aan grondwater en bodemvocht om te onderzoeken hoe het zout zich verplaatst door de bodem.

De windmetingen laten zien dat de duinen zelf een grote invloed hebben op de luchtstroming. Op twee locaties, in Kattendel en Houtglop tonen windmetingen onder en bovenaan de helling aan dat de windsnelheid tegen de helling van het achterliggende paraboolduin groter wordt. De metingen in Kattendel en Houtglop laten ook zien dat in een nauwe vallei (Kattendel) de stroming grotendeels gestuurd wordt volgens de oriëntatie van de vallei. De wind waait hier bijna alleen vanuit westzuidwest, of juist tegenovergesteld vanuit oostnoordoost. In een brede vallei (Houtglop) is de sturing veel kleiner, en de windrichting daardoor veel diverser. In Wieringen, landwaarts van de eerste parabolen, is de windsnelheid veel lager dan in Kattendel of Houtglop.

Door deze lokale windmetingen te vergelijken met een vast KNMI-station (IJmuiden) zal straks blijken in hoeverre de windsnelheid en -richting op de verschillende locaties door de ingrepen verandert.

De zoutgehalten in de lucht variëren flink. Belangrijkste aspect is natuurlijk of de wind uit zee waait. Is dit niet het geval, dan is de zoutinhoud zo laag dat de monsters aanzienlijk zoeter dan kraanwater zijn. Waait de wind wel uit zee, dan is de hoeveelheid zout sterk afhankelijk van de windsnelheid, volgens een exponentiële relatie. Dat wil zeggen dat een beetje meer wind al voor veel meer zout zorgt. De hoeveelheid die bij stormen is gemeten, is honderden malen groter dan die tijdens rustig weer. Hoeveel zout daadwerkelijk het duin binnenkomt wordt dus vooral bepaald door het aantal stormen dat passeert. Uit de meetpunten blijkt ook dat de zoutinput landwaarts snel afneemt. De patronen in zoutinput die gevonden zijn, zijn duidelijk en consistent.

De metingen laten duidelijk zijn wat de variatie binnen het landschap en in de loop van de tijd is. De gevonden patronen zijn duidelijk en reproduceerbaar. Dit geeft aan dat de dataset voldoet om straks na de ingrepen te worden vergeleken met nieuwe metingen.

Metingen van de regenwaterkwaliteit in de NW-kern in de periode 1 september 2010 t/m 30 mei 2011 met 20 regenvangers laten een overheersende invloed zien van zeezout. Maar er zijn tevens invloeden van vogeluitwerpselen, stofinwaai en in beperkte mate luchtverontreiniging.

Tussen de zoutmetingen met de regenvangers en die met de zoutvangers zijn zeer bruikbare relaties gevonden waarin de hoeveelheid regenval mede een rol speelt. Veel interessanter zijn evenwel de

goede relaties tussen de zoutmetingen en de berekende zoutinwaai op basis van windgegevens (richting en snelheid) en regenvaldata. Met de beschikbare langdurige tijdreeksen van regen- en windgegevens kunnen we nu zeezout-tijdreeksen aanvullen en voorspellingen doen over toekomstige zoutdeposities bij diverse klimaatscenario's of scenario's van kustverbreding of kustafslag.

Metingen aan gestoken kernen van bodemvocht blijken herkenbare zoutpieken en zoutdalen te vertonen die aan pieken en dalen in zoutgehalte van de neerslag gekoppeld kunnen worden. Door de zoutconcentraties te vergelijken en de tijdsverschuiving van de zoutfluctuaties in regenwater en bodemvocht te meten kunnen we de grondwateraanvulling en verdamping vaststellen. Nadeel van dergelijk onderzoek is dat het zeer veel werk is om het bodemvocht chemisch te analyseren.

Metingen aan de kwaliteit van ondiep duingrondwater (0-2 m onder de grondwaterspiegel) met de VU-spiraalboor laten vergelijkbare patronen zien als de regenmetingen. Landinwaarts nemen de zoutconcentraties onder vergelijkbare begroeiing sterk af. Daarnaast is er natuurlijk ook sprake van bodemreacties. De belangrijkste bodemreacties zijn, in volgorde van afnemend belang: kalkoplossing, oxidatie van organische stof, oplossing van silicaatmineralen (waaronder kwarts en veldspaten), oplossing van ijzerhuidjes om de kwartskorrels en kationuitwisseling.

Vanaf eind december 2011 zal de ingreep gefaseerd plaatsvinden. In 2011 worden de verschillende oppervlakken geklepeld en zullen de parabolen bij Wieringen en Cremermeer worden afgeplagd. Eind 2012 zullen de kerven worden aangelegd. Daarna zullen gedurende circa twee jaar vervolgmetingen moeten worden uitgevoerd om het effect van de ingreep te kunnen bepalen. Om ook het regen- en bodemwateronderzoek te kunnen voortzetten zal naar aanvullende financiering worden gezocht.

INHOUD

COLOFON	II
VOORWOORD	III
SAMENVATTING	V
INHOUD	VII
1 INLEIDING	1
1.1 Doel van de metingen	2
2 OPZET MEETPROGRAMMA NULMETINGEN	3
2.1 Windmetingen	3
2.2 Zoutmetingen	4
3 WIND	11
4 ZOUT VIA ZOUTCOLLECTOREN	21
4.1 Relatie wekelijkse en 2-wekelijkse metingen	26
5 REGENWATER	27
5.1 Samenstelling en bijdragen	27
5.2 Vergelijking met zoutmetingen	31
5.3 Voorspelling zout uit wind- en neerslagdata	33
5.4 Vergelijking 17 meetpunten en correlatiematrix	36
6 BODEMVOCHT EN ONDIEP GRONDWATER	39
6.1 Bodemvocht	39
6.2 Algemene kenmerken van ondiep duingrondwater	40
6.3 Eerste grondwater resultaten in de NW-kern	42
7 PLANNING VAN HET VERVOLG	47
8 CONCLUSIES	49
9 AANBEVELINGEN	51
10 LITERATUUR	53
BIJLAGE 1. WINDGEGEVENS VIA INTERNET	B1.1
BIJLAGE 2. DETAILKAARTJES INSTRUMENTARIUM	B2.1
BIJLAGE 3. FREQUENTIETABELLEN WINDMETINGEN	B3.1
BIJLAGE 4. ZOUTVANGRESULTATEN GEMIDDELD PER LOCATIE	B4.1
BIJLAGE 5. NEERSLAG EN WIND	B5.1

1 INLEIDING

Het project “Realiseren Noordwest Natuurkern” is onderdeel van het Beheer- en Inrichtingsplan van het Nationaal Park Zuid-Kennemerland (NPZK). Het project betreft het maken van vijf sleuven in de zeereep tussen Bloemendaal aan Zee en IJmuiden, ter hoogte van strandslag Kattendel en het reactiveren van enkele parabolen. Doel is door middel van deze ingreep de dynamiek in het duingebied te vergroten en zo de voortschrijdende successie een halt toe te roepen en randvoorwaarden te scheppen voor het ontstaan van pioniersituaties. Naar verwachting zal de ingreep tussen eind 2011 en eind 2012 uitgevoerd gaan worden, waarbij in 2011 de achterliggende parabolen worden gereactiveerd, en in 2012 de ingreep in de zeereep wordt uitgevoerd.

Een gesloten en begroeide zeereep houdt niet alleen zand tegen, maar ook wind en zoutspray. Daardoor heeft een gesloten zeereep invloed op de geomorfologische en ecologische ontwikkeling van de achterliggende duinen. Een open, gekerfde zeereep biedt vensters waardoor zand, zout en wind doorgang vinden naar het achterliggende duin en bijdragen aan een meer dynamische ontwikkeling, en een minder snelle vegetatiesuccessie.



Figuur 1.1. Overzicht ingrepen.

Het is de verwachting dat de parabolen direct achter de kerven zullen profiteren van een grotere invloed van wind, zand en zout vanuit de zeereep. De parabool van het Houtglop zal hiervan aan de zuidkant meer profijt hebben dan aan de noordkant. Het is de vraag of hier een verschillende ontwikkeling gesignaleerd zal worden. Daarnaast is het de vraag in hoeverre bij de parabolen bij het Cremermeer, en aan de oostkant van Wieringen, gelegen achter de Houtglop, effecten waarneembaar zal zijn.

De effecten van de ingreep zullen gemonitord gaan worden. Om de uiteindelijke effecten te kunnen vast stellen is het daarom noodzakelijk vóór de ingreep referentiemetingen uit te voeren, de

zogenaamde nulmetingen. Gezien de start van de ingreep in 2011 is het mogelijk om gedurende twee stormseizoenen nulmetingen uit te voeren. Hiermee is in oktober 2009 een begin gemaakt. Medio 2010 is de gedachte ontstaan dat ook de kwaliteit van bodemvocht en ondiep duingrondwater beïnvloed kan worden door opening van de zeereep. Om die reden is sedertdien ook aandacht besteed aan regenwater en geïnfiltreerd regenwater in de bodem.

1.1 Doel van de metingen

Vaststellen of bij aanwezigheid van grote kerven in de zeereep de invloed van zand, zout en wind op het achterliggende landschap toeneemt. De nulhypothese is dat door de ingreep de invloed van de stressfactoren wind, zand en zout op het achter de zeereep liggende landschap zal toenemen, en dat hierdoor de vegetatiesuccessie zal vertragen. In dit meetprogramma wordt geen aandacht besteed aan de vegetatie.

Dit doel is vooral beheersgericht. Daarnaast zijn er verschillende wetenschappelijke doelstellingen:

- Wat is de relatie tussen windsnelheid en zoutinput in het gebied?
- Hoe verloopt de gradiënt van windsnelheid vanaf de zeereep landinwaarts?
- Hoe verloopt de gradiënt van zoutinput vanaf de zeereep landinwaarts?
- Hoe verhouden metingen met zoutvangers en bulk-regenvangers zich tot elkaar, en hoe vertalen die zich in bodemvocht en ondiep duingrondwater?
- Draagt klimaatverandering via veranderingen in windklimaat bij aan veranderingen in de grondwaterkwaliteit?
- Wat is anno 2011 de kwaliteit van zeer ondiep kalkrijk duingrondwater als functie van de begroeiing, afstand tot de kust (zeezoutbelasting) en dikte van de onverzadigde zone, en hoe verhoudt deze kwaliteit zich tot de vele metingen van Stuyfzand begin jaren 80?

2 OPZET MEETPROGRAMMA NULMETINGEN

Om de effecten van de ingrepen te kunnen bepalen moeten verschillende metingen uitgevoerd worden vóór de ingreep. Het betreft wind en zout. Andere relevante factoren die gaan veranderen, zandtransport, reliëf en vegetatie moeten onmiddellijk na de ingreep worden opgenomen. Vegetatieparameters worden in dit meetprogramma niet opgenomen.

Wind en zout zijn parameters met een extreme ruimtelijke en temporele variatie. Beide kennen een gradiënt: zowel wind- als zoutbelasting zijn aan de kust het hoogste en nemen landwaarts af. Willen veranderingen in wind en zout als gevolg van de ingreep aangetoond kunnen worden, dan zal zowel de temporele als de ruimtelijke variatie bepaald moeten worden. Het is daarom van belang dat over een langere periode vóór de ingreep deze factoren gemeten worden. Alleen dan ontstaat voldoende inzicht in de variatie. Daarom is een eerste serie metingen gestart met het stormseizoen van 2009/2010 en vervolgd in het stormseizoen 2010/2011. Mocht de ingreep later gaan plaatsvinden dan in 2011, dan kan overwogen worden, afhankelijk van de dan ingewonnen data, om nog een stormseizoen door te meten.

2.1 Windmetingen

De windsnelheid is afhankelijk van de positie ten opzichte van de kust en de positie in het terrein. In valleien en onderaan hellingen is de windsnelheid over het algemeen lager dan op loefhellingen en toppen. De windsnelheid wordt gemeten op vijf plaatsen in het duingebied, waarbij in Kattendel en Houtglop-zuid masten zowel onderaan als bovenaan de helling staan.



Figuur 2.1. Overzicht meetinstrumentarium Zuid-Kennemerland.

Er wordt gebruik gemaakt van elektronische meetapparatuur. De windsnelheid wordt gemeten met een cupanemometer, de windrichting met een potentiometrische vaan. Iedere 5 seconden wordt een meting gedaan, iedere 10 minuten wordt van deze metingen gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking berekend. Deze gegevens worden opgeslagen in een datalogger. De instrumenten worden per mast uitgelezen door een datalogger, die via GSM dagelijks op afstand wordt uitgelezen. De gegevens zijn te bekijken en te downloaden via een website (zie Bijlage 1).

De masten zijn als volgt geplaatst (Figuur 2.2):

- In Kattendel zijn twee masten geplaatst, één aan de onderkant van de loefhelling (mast 1.1) en één aan de bovenkant (mast 1.2).
- In Houtglop-zuid zijn twee masten geplaatst, één aan de onderkant van de loefhelling (mast 2.1) en één aan de bovenkant (mast 2.2).
- Tijdens de eerste serie metingen, 2009-2010 is in Houtglop-noord een mast geplaatst, aan de onderkant van de loefhelling (mast 3.1).
- Tijdens de tweede serie metingen, 2010-2011 is in Wieringen een mast geplaatst, landwaarts van de eerste serie parabolen (mast 4.1).

Aangezien de windsnelheid ook nog eens met de hoogte varieert, dicht bij het oppervlak is de snelheid het laagste, wordt in iedere mast op drie hoogtes gemeten, namelijk op 0.5, 1.0 en 2.0m hoogte. Op 2.0m wordt ook de windrichting bepaald. Hiermee wordt ook de gradiënt in windsnelheid ten opzichte van het oppervlak bepaald. Mochten er in de gradiënt veranderingen optreden als gevolg van de ingreep dan kan dit vastgesteld worden.

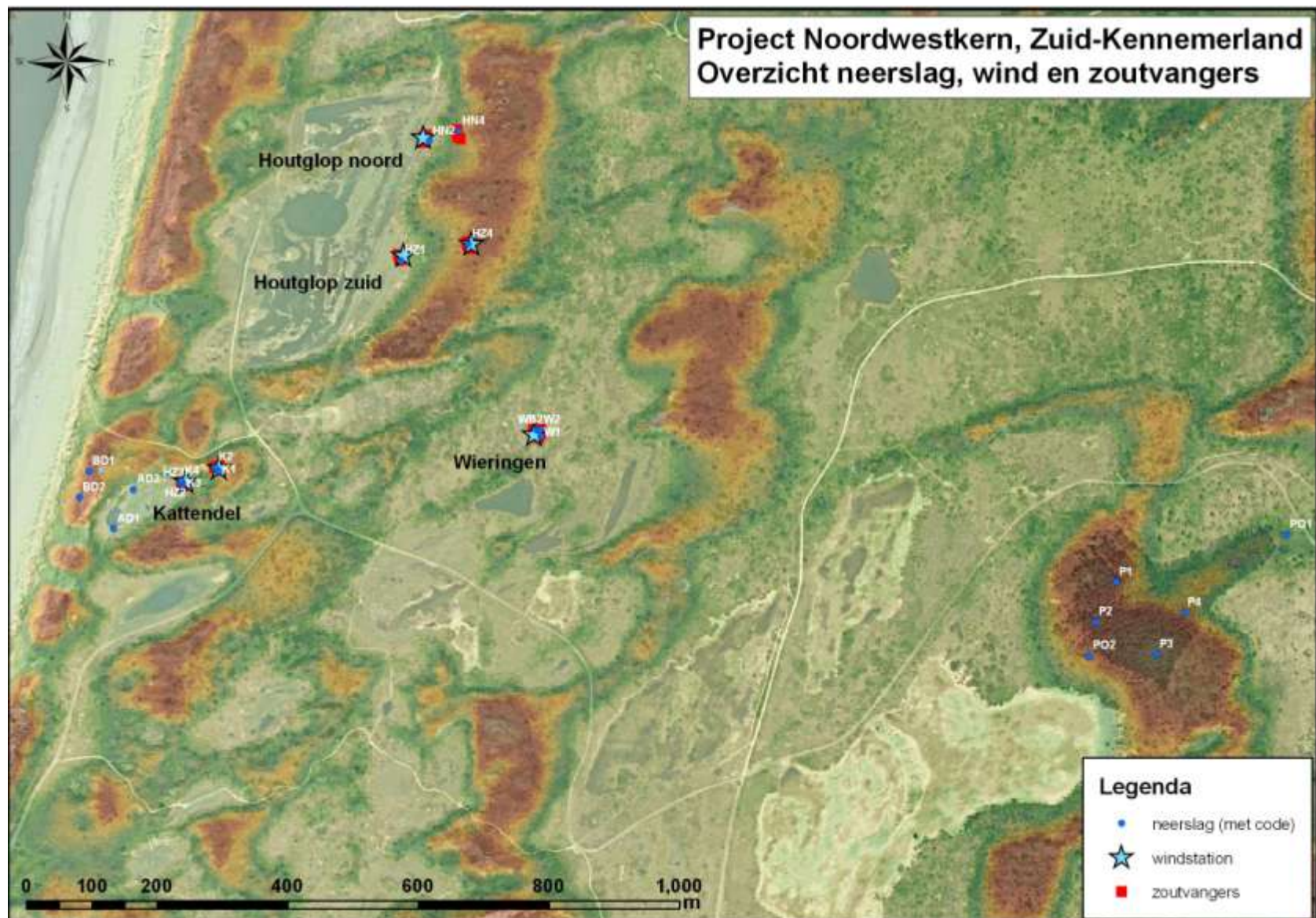
Als referentiewind wordt de windmeter van het KNMI bij IJmuiden gebruikt (zie Figuur 2.1). Op deze locatie zal geen effect van de ingrepen merkbaar zijn. Gezien de ligging is deze windmeter ook goed te gebruiken als referentie voor de ongestoorde wind van zee, de generator van salt spray.

2.2 Zoutmetingen

Salt spray heeft als stress factor effect op de successie van de vegetatie. Het effect is waarschijnlijk tweeledig. Ten eerste is er een effect van zoutafzetting op blad. Vooral wanneer een plant in het voorjaar net bezig is nieuw blad aan te maken kan dit effect een rol spelen. Daarnaast is er een effect via het bodemvocht. In kalkarme situaties is het effect groter dan in kalkrijke situaties. Salt spray is sterk afhankelijk van stormen en optredende branding. De grootste input ontstaat tijdens stormen uit westelijke richtingen. Er bestaat tevens een belangrijke kustdwarse gradiënt. Op het strand en zeereep is de salt spray het grootste, naar het binnenland toe neemt de hoeveelheid sterk af. De temporele variatie groot, daarom moeten de nulmetingen zo lang mogelijk uitgevoerd worden.

Salt spray wordt gemeten door het in te vangen met simpele vangers. Deze techniek is eerder toegepast (Marchand et al., 1999; Verdam, 2001) op verschillende locaties. Mits zorgvuldig uitgevoerd levert de techniek inzicht in de totale salt spray per periode (week). Op verschillende locaties (Figuur 2.2, zie voor details per locatie Bijlage 2) zijn potjes geïnstalleerd met daarin een staafje met kaasdoek (zie voor beschrijving techniek Verdam et al., 2001). Deze potjes worden wekelijks gewisseld, waarna de inhoud naar een standaardhoeveelheid wordt verdund en hier de elektrische geleidbaarheid (EGV) van wordt gemeten. De metingen geven inzicht in de hoeveelheid zoutspray (in natte en droge depositie) die per periode, per locatie wordt ingevangen. In een transect over de zeereep ontstaat bovendien inzicht in de gradiënt in zoutspray met toenemende afstand vanaf de kustlijn.

De locaties van de potjes zijn gekoppeld aan de locaties van de windmeters. Kattendel onder en boven, Houtglop-zuid onder en boven en Houtglop-noord onder zijn gecombineerd met een windmast. De windmast bij Houtglop-noord zal bij de volgende serie metingen bij Wieringen geplaatst worden.



Figuur 2.2. Neerslag, wind en zoutmeters in het studiegebied. Neerslagmetingen en onderzoek aan bodemvocht en ondiep grondwater

Naast het direct meten van de salt spray wordt sinds 1 september 2010 ook regenwater onderzocht met behulp van bulk vangers, d.w.z. regenvangers die altijd open staan (en derhalve ook droge depositie meten). Daarnaast zijn bodemkolommen gestoken waaruit het bodemvocht is afgescheiden en chemisch onderzocht, en zijn ook grondwatermonsters van de bovenste 1-2 m duinwater genomen en geanalyseerd. Het hele meetprogramma van september 2010 tot medio oktober 2011 is in Tabel 2.1 samengevat, en de verrichte analyses op alle monsters zijn in Tabel 2.2 gespecificeerd. De analyses betroffen niet alleen zeezoutgerelateerde parameters (zoals EGV en chloride), maar in feite vrijwel alle hoofdbestanddelen van regenwater plus diverse sporenelementen waaronder zware metalen en enkele lanthaniden. De locaties van alle meetpunten zijn weergegeven in Figuur 2.2 en in detail in Bijlage 2.

Regenwater

Het regenwateronderzoek is t/m 7 oktober 2010 wekelijks, daarna tweewekelijks uitgevoerd met 2 KNMI bulk regenvangers (Figuur 2.4), en 18 kleine VU bulk regenvangers, waarvan 14 in het open veld en 4 onder een dennenbos (doorval metend). De 18 VU-regenvangers zijn op 30 mei 2011 verwijderd, de KNMI regenvangers (in Kattendel en Wieringen) blijven voorlopig operationeel. Op 20 september 2011 is een windrichtingafhankelijke VU-regenvanger geplaatst op de locatie Wieringen. Daarmee wordt de regenval uit 8 windsectoren separaat bemonsterd.

Tabel 2.1. Meetprogramma van VU in de NW-kern sinds september 2010.

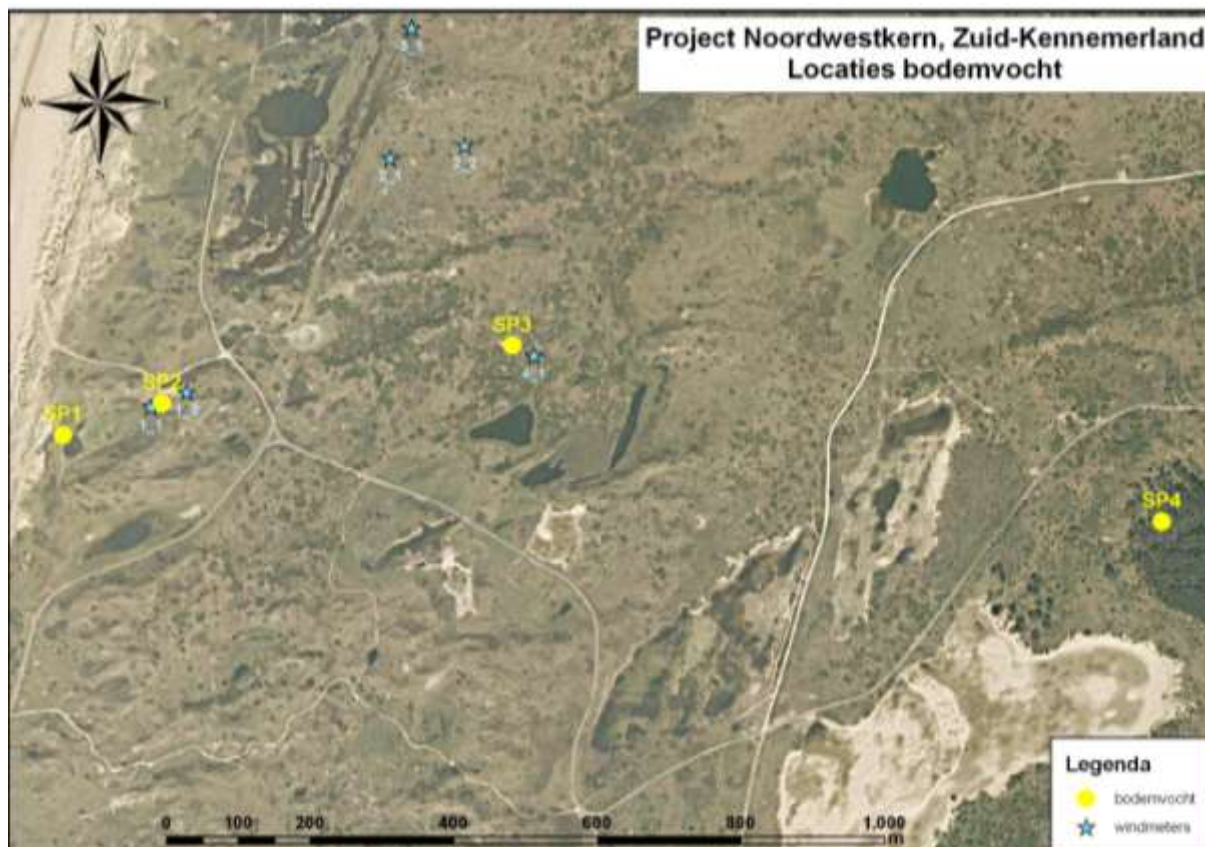
Compartiment met meetsysteem	n	meet-interval	periode		studenten
			start	einde	
Bulk regenval:					
KNMI-type	2	2 weken	1-9-2010	heden	S, C, H+J
VU-type klein	14	2 weken	9-9-2010	30-5-2011	S, C
VU windafhankelijk	1	2 weken	20-9-2011	heden	H+J
Doorval in dennenbos					
VU-type klein	4	2 weken	16-9-2010	30-5-2011	S, C
Bodemvocht:					
bodemkern 0.1 m	4x10	0-1 m	12-9-2010	14-9-2010	S
bodemkern 0.1 m	4x10	0-1 m	13-11-2010	13-11-2010	S
Ondiep grondwater:					
Spiraalboor 4 diepten	4	0.5 m	13-12-2010	13-12-2010	S
Spiraalboor 2 diepten	8	1 m	3-5-2011	3-5-2011	C
Spiraalboor 10 diepten	3	0.1 m	23-5-2011	23-5-2011	C
Spiraalboor 10 diepten	20	0.15 m	13-9-2011	12-10-2011	H+J

S = Samuel Kumahor; C = Cristina Garcia Perez; H = Hugo Wester; J = Julian van Stralen

Tabel 2.2. Chemisch analyseprogramma op alle watermonsters verzameld conform Tabel 2.1.

Analyses	parameters
Veld: volume	Q
Lab: electrode, titratie, gewicht	pH, EC, HCO ₃ , Q
Lab: ICP-OES: hoofdelementen	Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, SiO ₂ , S-tot, PO ₄ -tot
sporenelementen 1	Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sr, V, Zn
sporenelementen 2	Ag, Eu, Ho, La, Sc, Tl, Yb
Lab: IC	Cl, SO ₄ , NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , F, Br

De hoeveelheid regenval is gemeten door weging in het laboratorium (KNMI-vangers) en bepaling van het volume door een maatcilinder (VU-vangers). De watermonsters zijn in het veld verdeeld over 3 containers voor verschillende analyses: buisje A (12 cc) ontving gefiltreerd water (over 0.45 µm membraan), werd ter conservering aangezuurd met 0.7 mL HNO₃ suprapuur 65% per 100 cc, en geanalyseerd op hoofd- en sporenelementen via ICP-OES; buisje B (12 cc) ontving eerst ongefiltreerd, later gefiltreerd water zonder conserveermiddel voor analyse op anionen via conductometrie na ionchromatografische scheiding (IC); en fles C (50-100 cc) werd gevuld met ongefiltreerd water ter analyse op pH, EG en HCO₃.



Figuur 2.3. Studiegebied met meetpunten bodemvocht (gele stippen).

Bodemvocht

Op 12 september en 13 november 2010 zijn telkens op 4 locaties (Figuur 2.3) in totaal 40 bodemkernen gestoken door op elke locatie een kuil te graven en hieruit trapsgewijs 10 monsters te steken van 0.1 m lengte, vanaf maaiveld (MV) tot 1 m-MV. Elk van de kernen is in het VU-lab eerst gehomogeniseerd en gedroogd, en vervolgens afgewogen tot 20 gram en met 40 cc gedemineraliseerd water gedurende 2 uur geschud. Na 5 minuten centrifugeren bij 3000 rev/min is het supernatante water gefiltreerd over 0.45 µm en geanalyseerd op de componenten uit Tabel 2.2.

Grondwater

In de periode 13 december 2010 t/m medio oktober 2011 zijn in totaal 35 spiraalboringen uitgevoerd ter bemonstering van ondiep duingrondwater op 2-10 verschillende diepten tussen 0 en 2 m beneden de grondwaterspiegel. Na het boren van een gat tot de grondwaterspiegel met een brede Edelmanboor, wordt de spiraalboor ingezet en tot de gewenste diepte geboord onder de grondwaterspiegel waarna met een vacuümpomp en tussengeschaalde vacuümfles een monster getrokken wordt via een minuscule filtertje in de snuit van de spiraalboor (Figuur 2.6). De eerste 100-300 cc worden gebruikt voor veldmeting van EG, temperatuur en pH, waarna het definitieve monster wordt verzameld en verdeeld over 3 containers (zie ad regenwatermonsters).



Figuur 2.4. De gebruikte bulk regenvangers: kleine type VU (links) en grote type KNMI (rechts).



Figuur 2.5. Het steken van bodemkernen via een kuil en de extractie van bodemvocht door na droogrestbepaling 20 gram grond te mengen met 40 cc gedemineraliseerd water.

Dataverwerking

De chemische analyseresultaten zijn opgeslagen en bewerkt met HYDROGEOCHEMCAL, een programma in EXCEL spreadsheet ontwikkeld door Pieter J. Stuijzand, voor opslag, management, controle, correctie en interpretatie van waterkwaliteitsgegevens. In HYDROGEOCHEMCAL worden alle data geconverteerd in de standaard eenheid (mg/L voor hoofdcomponenten en $\mu\text{g/L}$ voor sporenelementen). Daarbij worden <waarden omgezet in $0.501 \times \text{waarden}$ (later herkenbaar), negatieve waarden in $0.502 \times \text{MDL}$ indien $\text{abs}(\text{waarde}) < 10 \text{ MDL}$ (Minimum Detectie Limiet) en anders geëlimineerd. De volgende berekeningen worden standaard uitgevoerd:

- 1) som van kationen, som van anionen, ionenbalans (incl. waarschuwing wanneer niet OK)
- 2) elektrisch geleidingsvermogen (EC) en de relatieve afwijking van de gemeten EC (incl. waarschuwing wanneer niet OK).
- 3) de Base Exchange index (BEX) en ion concentraties gecorrigeerd voor mariene bijdrage (X_c)
- 4) chemische watertypering volgens Stuijzand's klassificatie.
- 5) verzadigingsindex van water ten opzichte van calciet (SI-C) en gips (SI-G), Total Inorganic Carbon (TIC) en gerelateerde parameters
- 6) chemische ratio's: Cl/Br en Ca/Sr.
- 7) correctie voor bijdragen van vogel excrementen (Bird Dropping Correction; BDC), alleen voor regenwater (type P).
- 8) de hydrochemische facies gebaseerd op: aciditeit, redox, Water Pollution Index (WAPI) en BEX.
- 9) de bijdrage van specifieke hydrogeochemische processen aan total dissolved solids (TDS)

- 10) correctie voor onvolkomen filtratie van water en oplossing van metalen na aanzuring (Filtration Bias Correction; FBC), alleen voor sporenelementen en ijzer in grondwater (type G).



Figuur 2.6. Bemonstering van ondiep grondwater met de spiraalboor ontworpen door VU.

3 WIND

De windmetingen zijn gestart op 21 oktober 2009. Sindsdien worden de windgegevens continu gemeten. Aanvankelijk was de bedoeling de metingen, in verband met een verhoogd risico voor vandalisme, in de zomer te onderbreken, maar uiteindelijk is de hele zomer doorgemeten.

De serie loopt van 21 oktober 2009 tot december 2011. Voor deze rapportage is gebruik gemaakt van de gegevens tot en met 31 augustus 2011. Voor de analyses worden twee perioden onderscheiden die samenhangen met de metingen van masten 3.1 en 4.1:

- Periode 1: 21-10-2009 t/m 27-9-2010 (M3.1 operationeel)
- Periode 2: 27-9-2010 t/m 31-8-2011 (M4.1 operationeel)

De windrichtingmeters zijn gericht met behulp van een kompas, wat geen erg nauwkeurige methode is. Bovendien moet rekening gehouden worden met het magnetisch noorden ten opzichte van het kaartnoorden. Daarom zijn met GPS de richtingen ingemeten, en kunnen hiermee correctiefactoren worden bepaald. Deze zijn weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Correctie factoren

	correctie	mast gericht op
mast 1.1	2.5 °	2.5 °
mast 1.2	-10.5 °	349.5 °
mast 2.1	9.1 °	9.1 °
mast 2.2	4.4 °	4.4 °
mast 3.1	-13.1 °	346.9 °
mast 4.1	-1.0 °	359.0 °

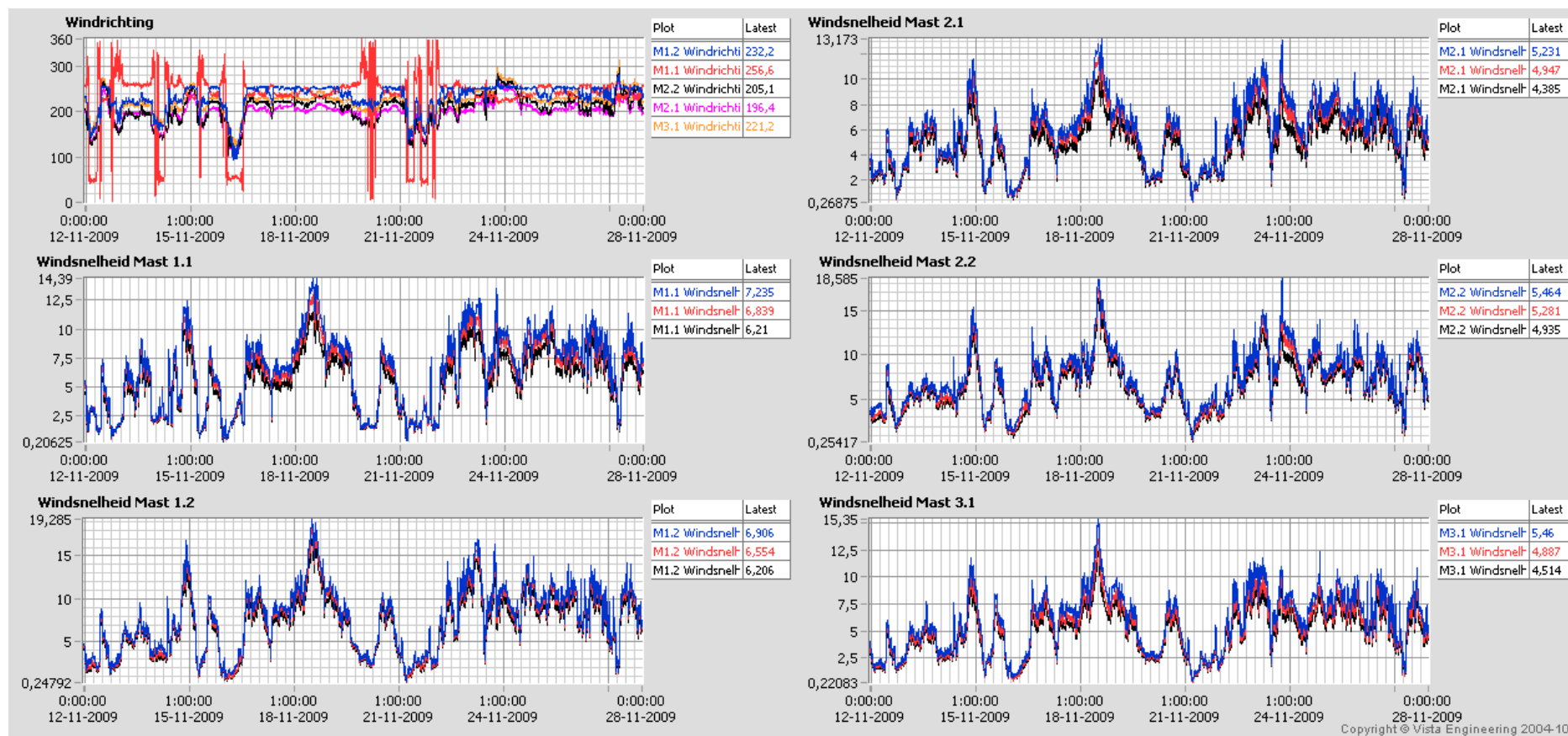
Tabel 3.2 geeft een voorbeeld van de ingewonnen data voor de bovenste windmeter in Mast 1.1. Per 10 minuten wordt dus opgeslagen:

- Windrichting, gemiddelde 5
- Windrichting, standaardafwijking 5
- Windsnelheid, gemiddelde 15
- Windsnelheid, maximum 15
- Windsnelheid, minimum 15
- Windsnelheid, standaard 15

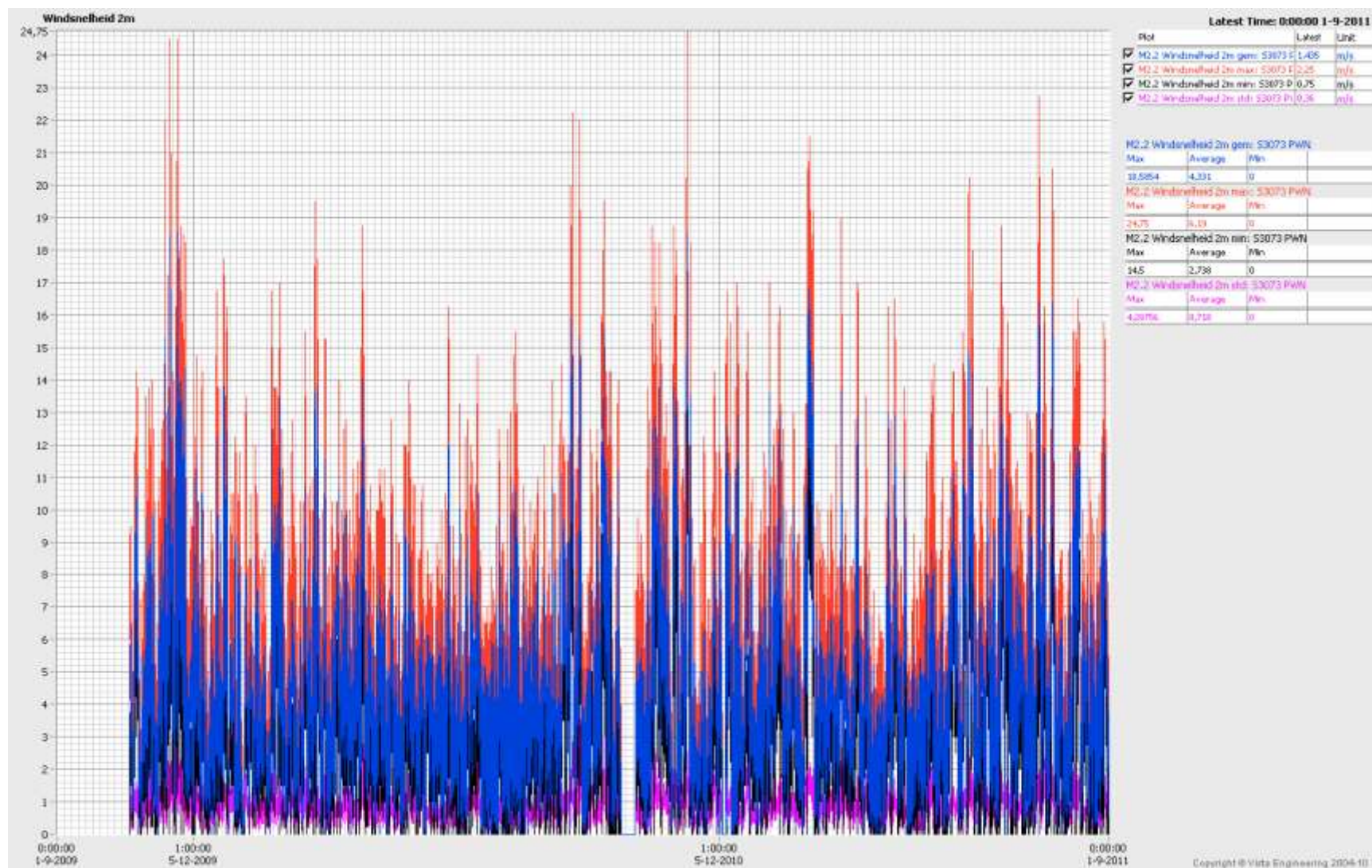
Iedere 10 minuten worden dus behalve de time-stamp 70 getallen opgeslagen.

Tabel 3.2. Voorbeeld van ingewonnen data

Time	M1.1 Windrichting 2m gem (degrees)	M1.1 Windrichting 2m std (degrees)	M1.1 Windsnelheid 2m gem (m/s)	M1.1 Windsnelheid 2m max (m/s)	M1.1 Windsnelheid 2m min (m/s)	M1.1 Windsnelheid 2m std (m/s)
21-10-2009 11:20	47.7646	18.4204	3.9875	7	1.5	0.880252
21-10-2009 11:30	48.7099	23.7104	3.71951	5.5	0	1.01392
21-10-2009 11:40	61.4184	13.3721	4.03542	6	2.5	0.80964
21-10-2009 11:50	56.229	15.9252	3.94375	6.25	2	0.668068
21-10-2009 12:00	56.2919	20.2153	3.98542	6.5	1.75	0.876365
21-10-2009 12:10	46.911	22.0926	3.58542	5.5	1.75	0.851772
21-10-2009 12:20	51.5778	16.3678	3.59375	5.25	2	0.669314



Figuur 3.1. Overzicht metingen in de stormachtige periode rond 18 november 2009



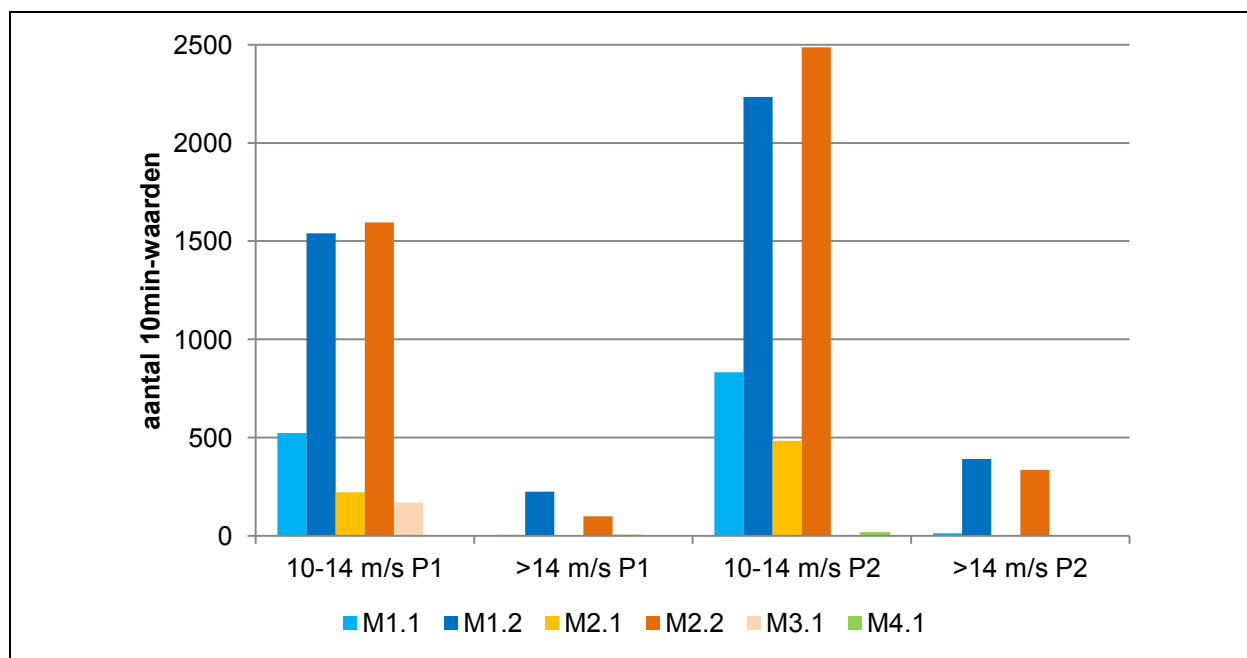
Figuur 3.2. Overzicht van de windsnelheid in Mast 2.2 op 2m hoogte gedurende de gehele periode. Rood Umax, blauw Ugemmiddeld.

Figuur 3.1 geeft een voorbeeld van de meetgegevens rond de stormachtige periode van 18 november 2009. Linksboven zijn de verschillende windrichtingen voor de vijf masten weergegeven. De andere plots geven per mast de windsnelheid op drie hoogtes, ca 0.5, 1.0 en 2.0m boven het oppervlak.

Figuur 3.2 toont voor de gehele meetperiode de windsnelheid in mast 2.2 (Houtglop zuid, bovenaan de helling) op 2m hoogte. Deze figuur geeft een goed beeld van de frequentie van windrijke perioden.

Ten behoeve van een vergelijking met de neerslagmeters zijn daggemiddelden van windsnelheid en richting berekend.

De hoeveelheid dagen met veel wind was in de tweede meetperiode was groter dan in de eerste periode (Figuur 3.3). Uit de figuur blijkt dat het aantal 10-minuutperioden met windsnelheden groter dan 10 m/s in de tweede periode fors hoger lag dan in de eerste periode. De dagen met de hoogste windsnelheden waren 18-11-2009 (zuidwest), 21-11-2010 (west) en 14-07-2011 (west tot noordwest). De hoogste (10-minuutgemiddelde) windsnelheid is gemeten in mast 1.2 op 18 november 2009 en bedroeg 19.3 m/s. De uurgemiddelde windsnelheid bij de pier van IJmuiden (gegevens KNMI) bedroeg op dat tijdstip 24 m/s, wat overeenkomt met 9 Bft. De maximale windstoot is gemeten op 12 november 2010 in mast 2.2 en bereikte een snelheid van 24.75 m/s.

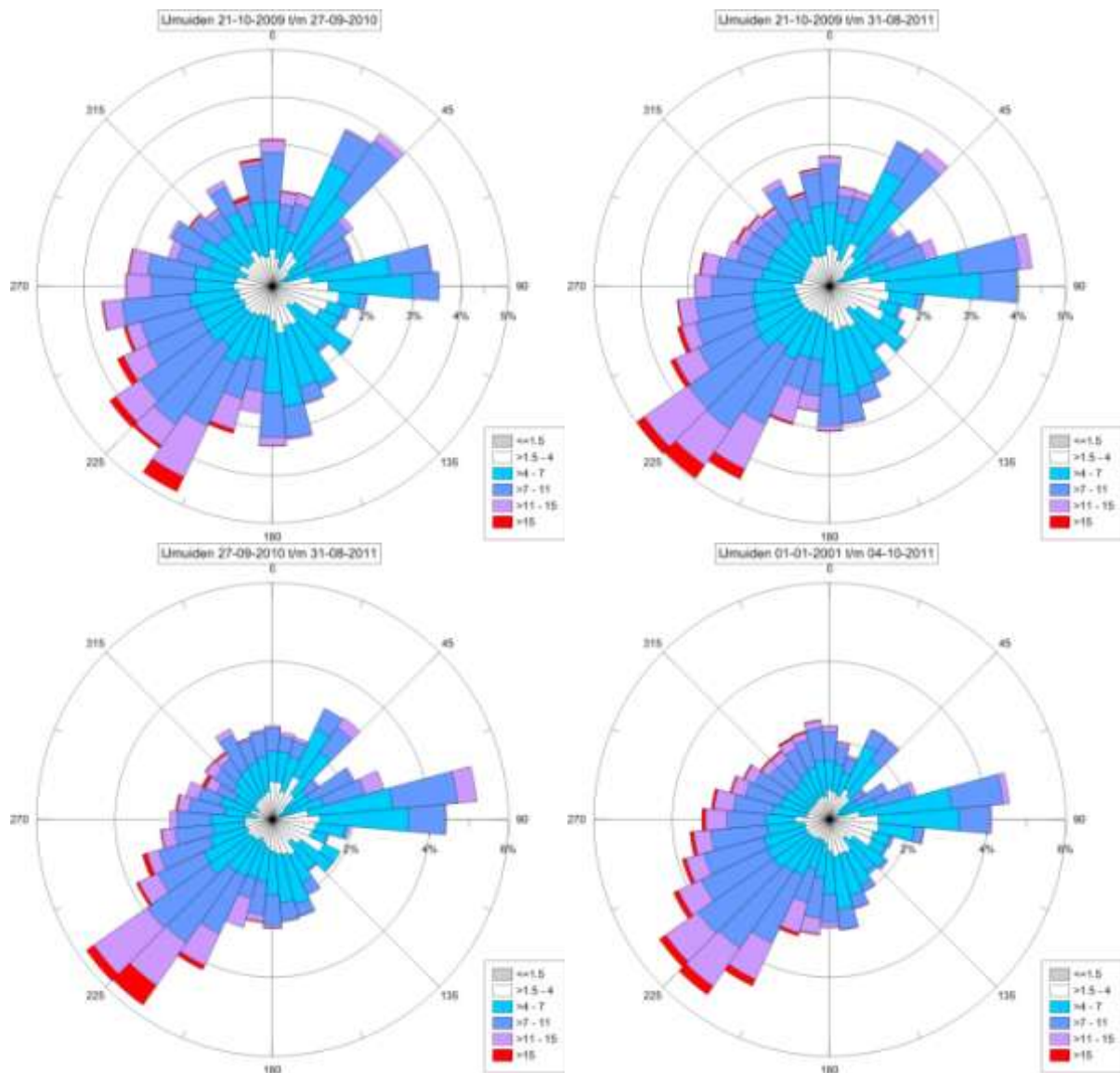


Figuur 3.3. Frequentie van voorkomen van hogere windsnelheden per mast

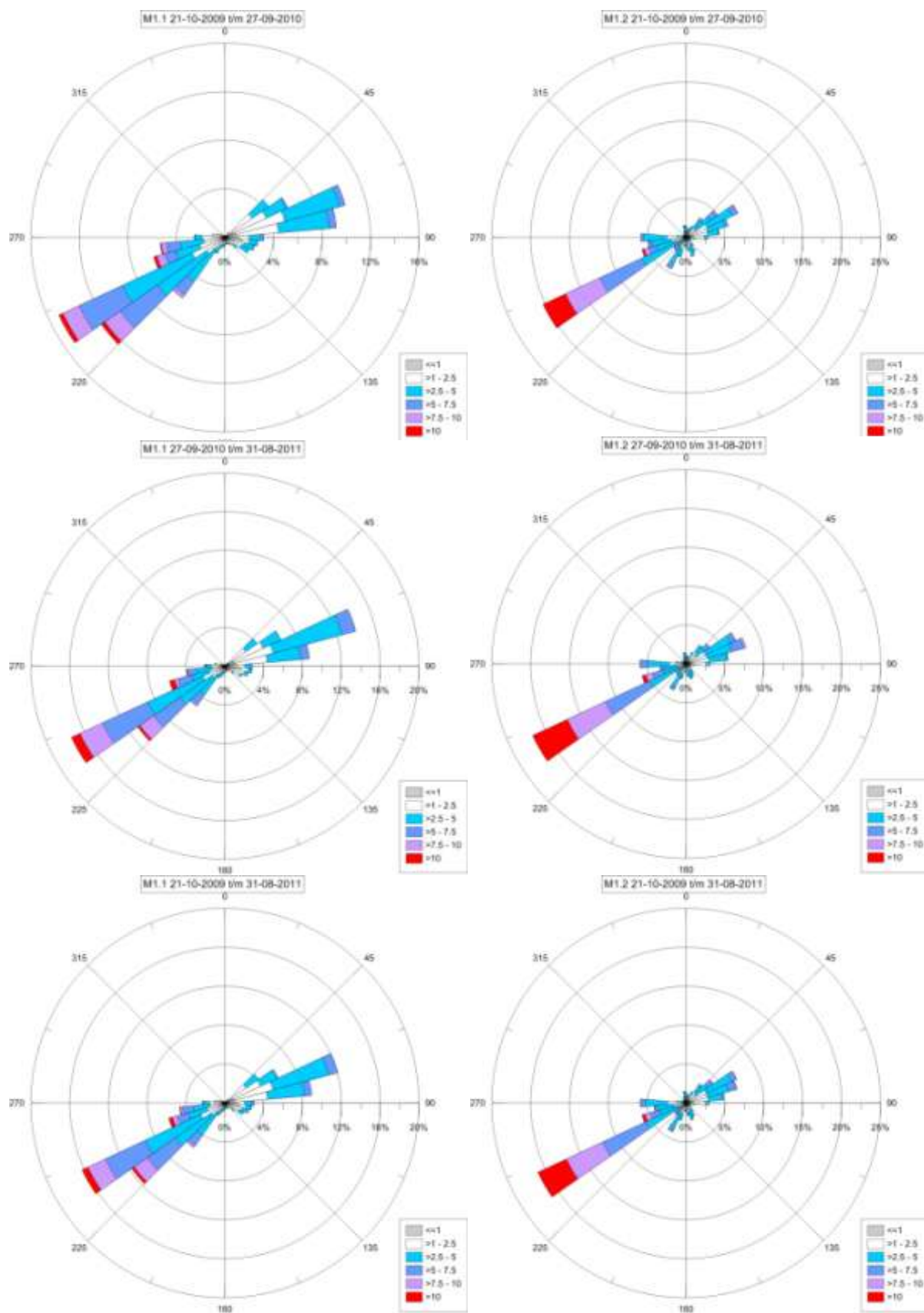
In Figuur 3.4 zijn voor de data van IJmuiden (KNMI-station) de windrozen weergegeven. De windrozen zijn goed vergelijkbaar. De data voor de totale periode van nulmetingen (oktober 2009 t/m augustus 2011) zijn goed vergelijkbaar met de langere termijnmetingen vanaf 2001, wat betekent dat de meetperiode als representatief beschouwd kan worden. Opvallend is overigens de piek met oostenwinden in de data van IJmuiden, iets wat vermoedelijk veroorzaakt wordt door de ligging van het meetstation. Door de IJmuiden data te vergelijken met andere KNMI data, bijvoorbeeld Hoek van Holland of de Kooy (Den Helder) zou dit duidelijk kunnen worden. Wanneer de twee deelperioden vergeleken worden, blijkt dat ook deze data goed vergelijkbaar zijn, zij het dat in de tweede periode de piek met zuidwesten winden iets groter is dan in de eerste periode. De gemeten windsnelheden in IJmuiden zijn overigens hoger dan de metingen in de Noordwestkern. Dit heeft verschillende oorzaken. Ten eerste zal door de directe ligging aan de kust de windsnelheid in

IJmuiden hoger zijn, omdat de wind immers niet geremd wordt over het duinlandschap. Ten tweede is de windmeter in IJmuiden op 18.5m hoogte bevestigd, waardoor deze sowieso een hogere waarde aangeeft (de windsnelheid neemt toe met de hoogte). Om de windrozen van de metingen vergelijkbaar te maken is voor IJmuiden een iets andere schaal gebruikt dan voor de masten in de Noordwestkern.

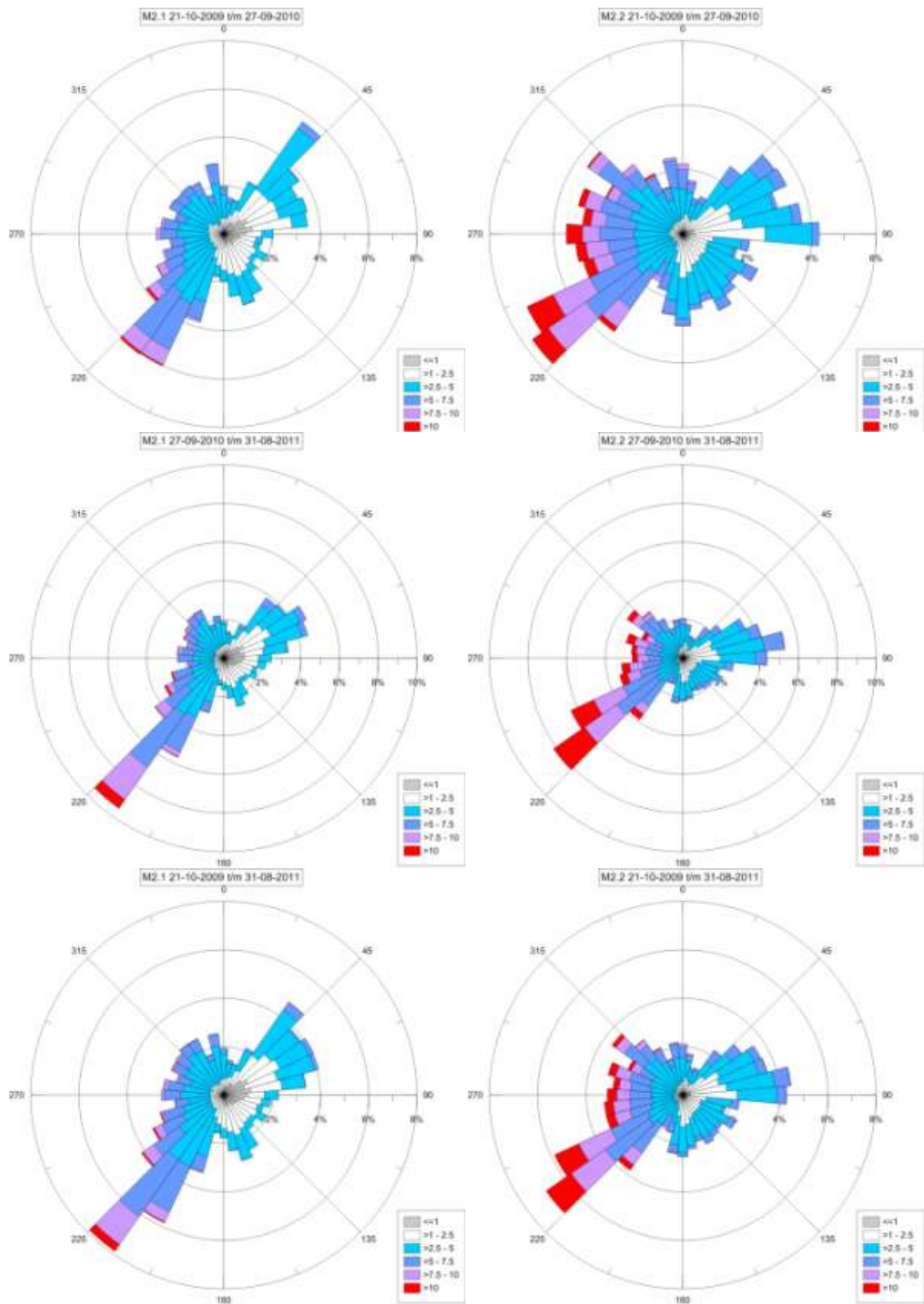
In Figuur 3.5 t/m Figuur 3.7 staan de windfrequentieverdelingen voor alle masten afgebeeld voor de verschillende perioden. De windrichtingen zijn allen gecorrigeerd volgens de waarden in Tabel 3.1.



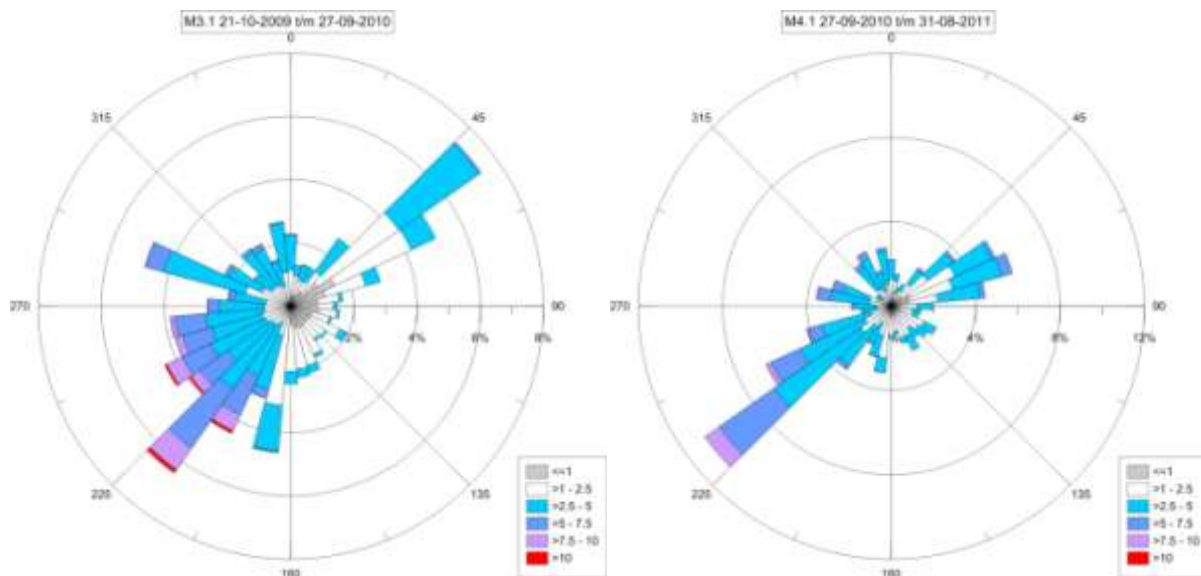
Figuur 3.4. Windroos IJmuiden, linksboven periode 1, rechtsboven periode 2, linksonder totale periode, rechtsonder periode 1-1-2001 t/m 4-10-2011. Data KNMI.



Figuur 3.5. Frequentieverdeling Mast 1.1 (link) en Mast 1.2 (rechts) voor periode 1 (boven), periode 2 (midden) en totale periode (onder).



Figuur 3.6. Frequentieverdeling Mast 2.1 (link) en Mast 2.2 (rechts) voor periode 1 (boven), periode 2 (midden) en totale periode (onder).



Figuur 3.7. Frequentieverdeling Mast 3.1, periode 1 (links) en Mast 4.1, periode 2 (rechts)

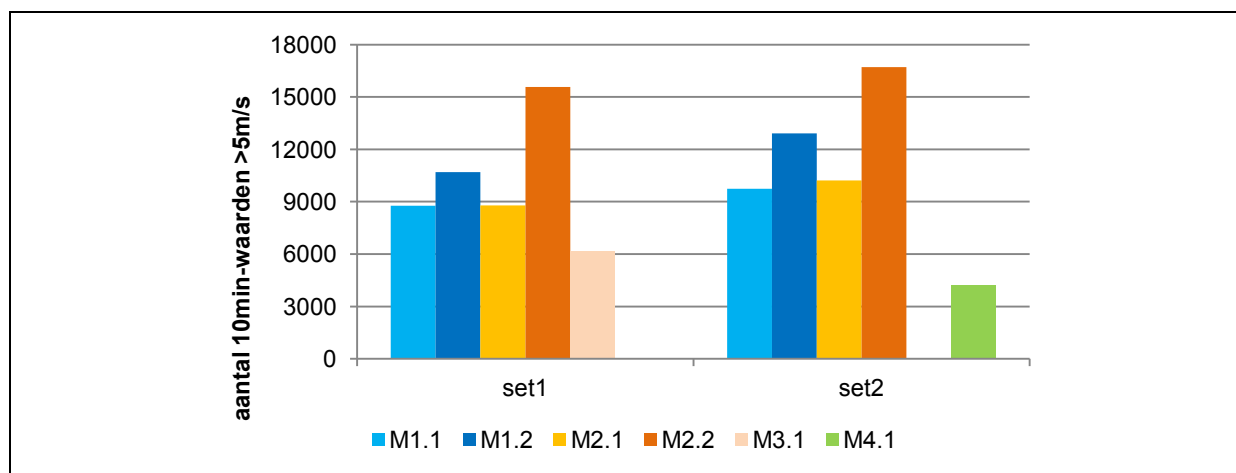
Er zijn opvallende verschillen. Ten eerste is er een groot verschil tussen de verdeling in windrichtingen voor de masten in Kattendel (1.1 en 1.2) en in Houtglop (2.1 en 2.2 zuid en 3.1 noord). De wind wordt in Kattendel, een langgerekte maar vrij smalle parabool, getrechterd en is daardoor bijna unidirectioneel, waarbij de wind uit westelijke richtingen steeds naar het noordoosten wordt geforceerd, de wind uit oostelijke richtingen naar het zuidwesten wordt geforceerd. De vallei stuurt dus de windrichting, en beïnvloedt daarmee zijn eigen ontwikkeling (tenminste, als er zand getransporteerd zou kunnen worden, wat gezien de volledige begroeiing op dit moment niet aan de orde is). In de Houtglop is de richting veel gevarieerder. Ten tweede is de windsnelheid aan de top aanmerkelijk hoger dan aan de onderkant van de loefhelling. Behalve een verschil in snelheid is er ook een verschil in richting: aan de top is de richting westelijker dan aan de voet, dus geruimd. Tot slot valt de oostnoordoostelijke uitschieter bij mast 3.1 op (Houtglop noord, onderaan de helling). Dit hangt waarschijnlijk samen met het lokale reliëf. Wanneer de gegevens vergeleken worden met de data van IJmuiden, dan valt op dat bij IJmuiden de windrichting veel gevarieerder is en het meest vergelijkbaar is met de wind bij Mast 2.2 (Houtglop zuid, boven).

Een meer kwantitatieve vergelijking is mogelijk door voor de winddata vectorberekeningen uit te voeren. Per periode wordt de windrichting ontbonden in een x- en een y-component, en vermenigvuldigd met de windsnelheid. Voor iedere willekeurige periode kan dan een resultante windvector worden berekend, en een gemiddelde windsnelheid onafhankelijk van de richting. Deze berekeningen zijn samengevat in Tabel 3.3. Ugem geeft de gemiddelde windsnelheid over een periode, Ures de grootte van de resultante windvector, en WD de richting van de resultante windvector. Hoe kleiner het verschil tussen Ugem en Ures, hoe geringer de variatie in windrichting is. Zou de wind continu uit één richting waaien, dan zijn Ugem en Ures gelijk. Voor iedere mast en periode zijn twee vectoren berekend, één met gebruik van alle metingen, en één met gebruik van alleen die metingen waarvoor de windsnelheid groter is dan 5 m/s (IJmuiden >7 m/s). Dit zijn immers de relevante metingen met betrekking tot mogelijk zandtransport, en deze geven meer inzicht in transportcapaciteit en richting en de verschillen daarin binnen het landschap. Het aantal waarden boven 5 m/s verschilt sterk per mast en is weergegeven in Figuur 3.8. Om de werkelijke transportcapaciteit te berekenen moet de gemiddelde vector vermenigvuldigd worden met het totaal van de perioden, en zou ook rekening moeten worden gehouden met het feit dat het zandtransport niet lineair toeneemt met de windsnelheid. Het transport verhoudt zich tot een 2^e tot 3^e macht van de windsnelheid. Uitgebreide berekeningen van potentieel zandtransport zijn voor deze rapportage niet gemaakt.

Duidelijk blijkt uit de tabel dat de windvectoren voor de verschillende masten ook verschillend zijn, maar voor dezelfde masten voor verschillende perioden zeer consistent zijn. Ook dit geeft weer aan dat de meetperioden representatief zijn. Verder bevestigen deze gegevens dat de wind bij IJmuiden inderdaad gevarieerder is: Ugem is 3 tot 6 maal groter dan Ures, terwijl bij de meetpunten in de Noordwestkern er slechts een factor 2 tot 3 verschil is. De grotere waarde van Ugem voor IJmuiden is overigens het gevolg van een grotere meethoogte, waarschijnlijk gecombineerd met een vrijere aanstroming van de wind over zee. Opvallend is overigens dat Ugem voor de tweede periode weinig afwijkt van die voor de eerste periode, terwijl uit Figuur 3.3 bleek dat het aantal metingen met hogere windsnelheden in de tweede periode aanmerkelijk hoger was. Wanneer alleen de hogere windsnelheden worden beschouwd is het patroon vergelijkbaar, met als enige verschil dat de verschillen tussen Ugem en Ures aanmerkelijk kleiner zijn. Bij hogere windsnelheden is de variatie in de windrichting dus beperkter, ofwel hogere windsnelheden komen preferent uit de zuidwesthoek, wat natuurlijk al bekend is.

Tabel 3.3. Vectorberekeningen voor winddata. Niet gearceerd: alle metingen, rose gearceerd: alle metingen >5m/s. Voor verdere uitleg zie tekst.

	21-10-2009 t/m 27-09-2010			27-09-2010 t/m 31-08-2011			21-10-2009 t/m 31-08-2011		
	Ugem	Ures	WD	Ugem	Ures	WD	Ugem	Ures	WD
IJmuiden	6.46	1.13	243	6.55	1.19	234	6.51	1.16	239
IJm>7m/s							9.88	3.34	245
M1.1	3.25	1.27	223	3.30	1.23	224	3.27	1.25	223
1.1>5 m/s	6.93	5.86	236	7.12	5.69	236	7.03	5.77	236
M1.2	3.67	1.51	240	3.89	1.63	240	3.78	1.57	240
1.2>5 m/s	7.74	6.19	241	8.07	6.23	242	7.92	6.21	241
M2.1	3.25	1.01	255	3.32	1.07	247	3.29	1.04	251
2.1>5 m/s	6.52	4.43	249	6.76	4.73	244	6.65	4.58	246
M2.2	4.27	1.27	257	4.40	1.42	253	4.33	1.35	255
2.2>5 m/s	7.27	4.38	259	7.70	4.80	254	7.49	4.59	256
M3.1	2.83	1.10	248						
3.1>5 m/s	6.66	5.84	236						
M4.1				2.65	0.66	245			
4.1>5 m/s				6.19	4.21	246			



Figuur 3.8. Aantal 10-minuutwaarden per mast met windsnelheid >5 m/s.

4 ZOUT VIA ZOUTCOLLECTOREN

De zoutmetingen betreffen een kortere periode dan de windmetingen en er is ook niet continu gemeten. De zoutpotjes zijn bemonsterd in de volgende perioden:

- 25 maart 2010 t/m 3 juni 2010
- 16 september 2010 t/m 31 mei 2011
- 5 juli 2011 tot heden, waarbij vanaf juli 2011 alleen Kattendel (boven) en Wieringen (boven) zijn bemonsterd. Na 13 september zijn er weer meer locaties bemonsterd, en vanaf 25 oktober zijn zowel aan de zeewaartse als aan de landwaartse zijde locaties toegevoegd.

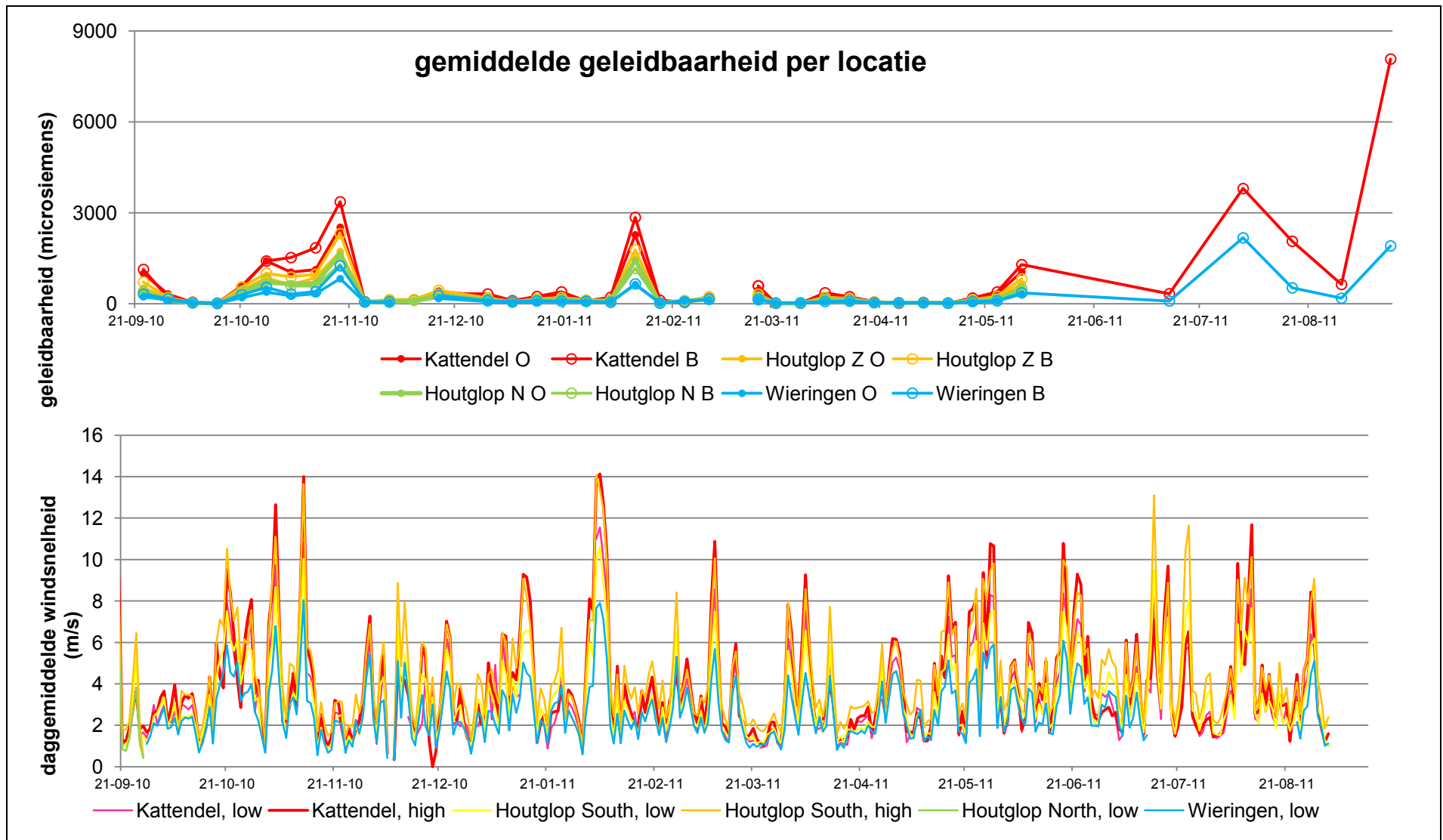
Het wisselen van de potjes is in een eerste fase door vrijwilligers uitgevoerd, daarna door Dennis Ofman, boswachter in opleiding van de PWN. De geleidbaarheidsmetingen zijn in eerste instantie door verschillende personen uitgevoerd, daarna door een student van de Universiteit van Amsterdam, Doni Planken, in het kader van haar bachelors thesis, vervolgens door Dennis Ofman. Vanaf september 2011 worden de opnamen en analyses gedaan door Gerard van Zijl, student van Larenstein.

De methode is arbeidsintensief, vooral de geleidbaarheidsmetingen kosten veel tijd. De metingen leveren echter wel inzicht. Ondanks dat de methode primitief is, komt er toch een duidelijk beeld naar voren van de zoutbelasting onder verschillende condities en zijn metingen binnen één locatie (de vijf potjes) steeds zeer goed vergelijkbaar. Er komen nauwelijks uitbijters voor. Zowel de ruimtelijke als temporele variatie wordt duidelijk. De resultaten zijn in overeenstemming met de verwachtingen. Er is een duidelijk afnemende trend vanaf de Kattendel richting Wieringen. De zoutgehalten in Kattendel zijn structureel hoger dan in Wieringen. De zoutgehalten bij Houtglop liggen hier tussen in, met een iets hogere belasting in Houtglop zuid dan in noord. De waarden in Kattendel zijn consequent hoger dan in Houtglop, die weer consequent hoger zijn dan die in Wieringen (Figuur 4.1 en Figuur 4.2).

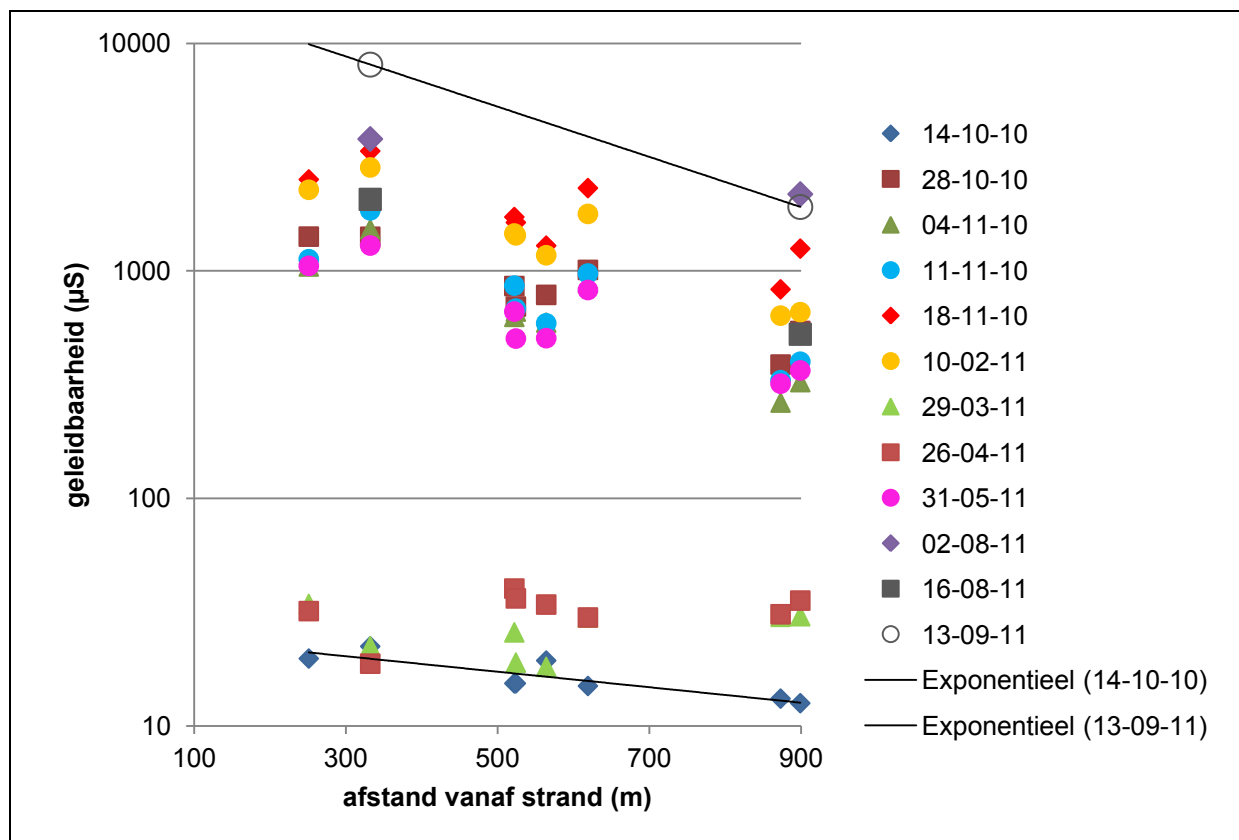
Het verloop in de tijd lijkt aardig in overeenstemming met de hoeveelheid wind en de richting over de betreffende periode. Figuur 4.1 geeft hier een kwalitatief inzicht in. De pieken in zoutinput vallen samen met de pieken in windsnelheid. De figuur maakt ook duidelijk hoezeer de zoutinput gerelateerd is aan perioden met veel wind, en hoe weinig perioden in het jaar daadwerkelijk zout wordt aangevoerd. De laatste periode (opname 13 september) springt eruit met een zeer hoge input.

In Bijlage 4 zijn voor alle locaties de gemiddelde waarden tegen het verloop van de tijd uitgezet. Uit de figuren in de bijlage komt duidelijk naar voren hoe goed de resultaten van de vijf potjes per locatie onderling vergelijkbaar zijn. Soms lijkt binnen de serie van vijf potjes een trend waarneembaar, maar dit is niet consistent, en hangt waarschijnlijk ook weer samen met de windrichting. Dit is niet verder uitgezocht, ook omdat de verschillen klein zijn.

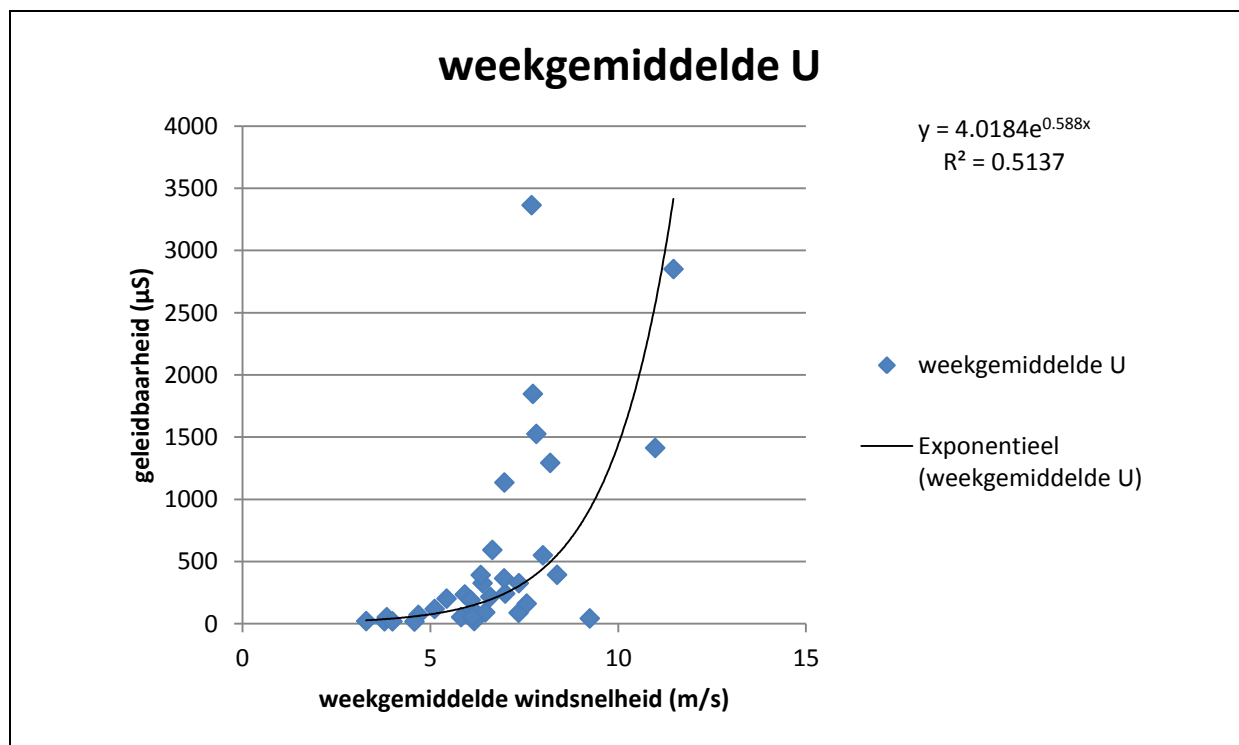
Figuur 4.2 toont de relatie tussen zoutinput en afstand vanaf het strand. Hierbij is de afstand berekend volgens de lengte-as van de parabolen, dus westzuidwest. Zowel aan de onderkant als aan de bovenkant is een trendlijn toegevoegd volgens een exponentieel verband. Voor de metingen waarbij zout een rol speelt blijkt de exponentiële afname van geleidbaarheid met afstand vanaf het strand inderdaad op te gaan. Voor de windarme perioden, waarin de zoutinput gering is, blijkt regelmatig (26 april, 29 maart) geen afname te zijn met afstand vanaf de kust. Dit is logisch, omdat met afluiddige wind de bron niet uit zee komt, en de afstand vanaf zee dus ook geen invloed heeft op de variatie binnen het terrein. Figuur 4.4 geeft verder inzicht in de wind behorende bij de verschillende perioden van Figuur 4.2. De perioden met wind uit zee springen eruit, en deze komen steeds overeen met de weken waarin veel zout wordt gevangen.



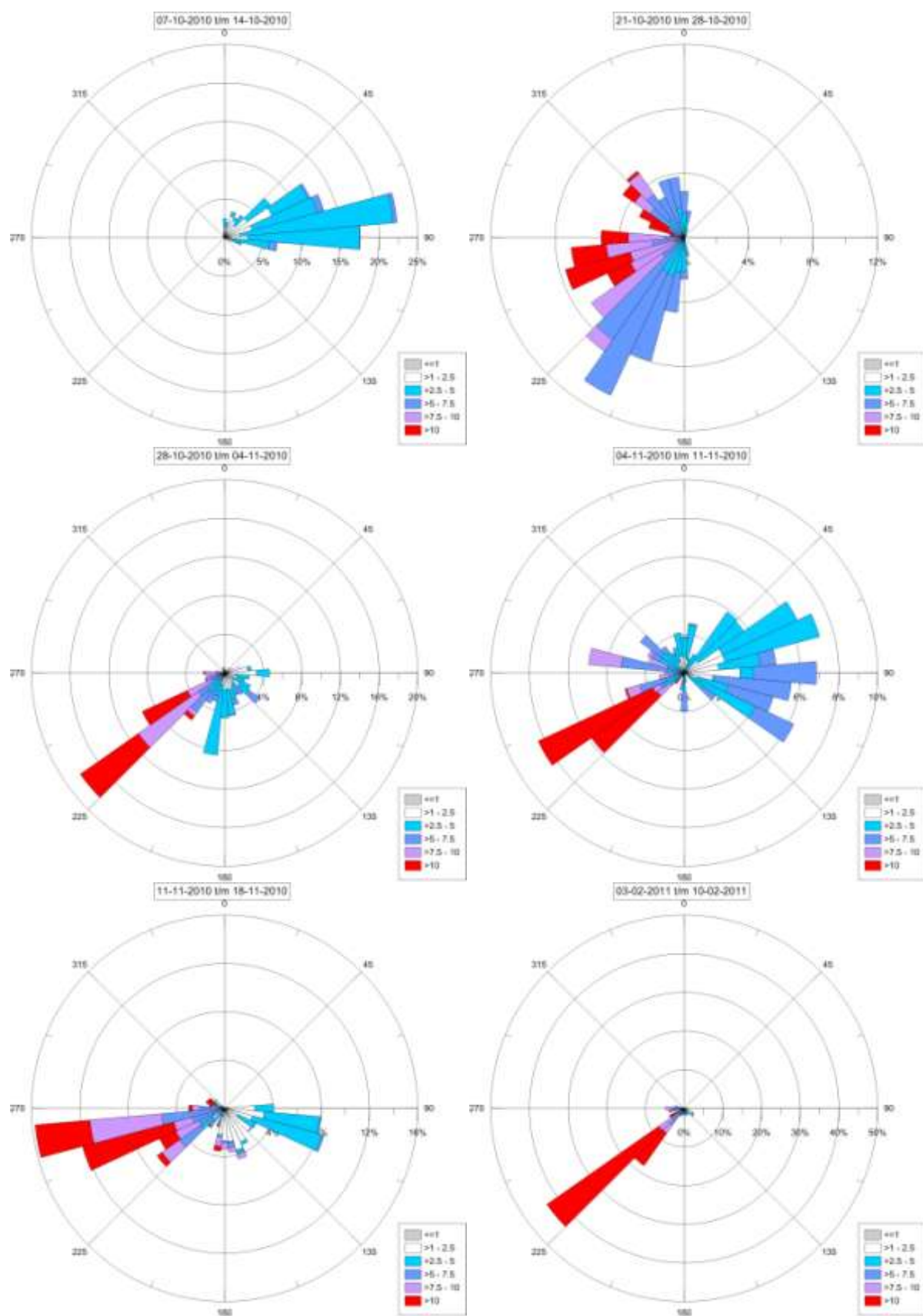
Figuur 4.1. Verloop van geleidbaarheid (boven) gekoppeld aan wind-events (onder).

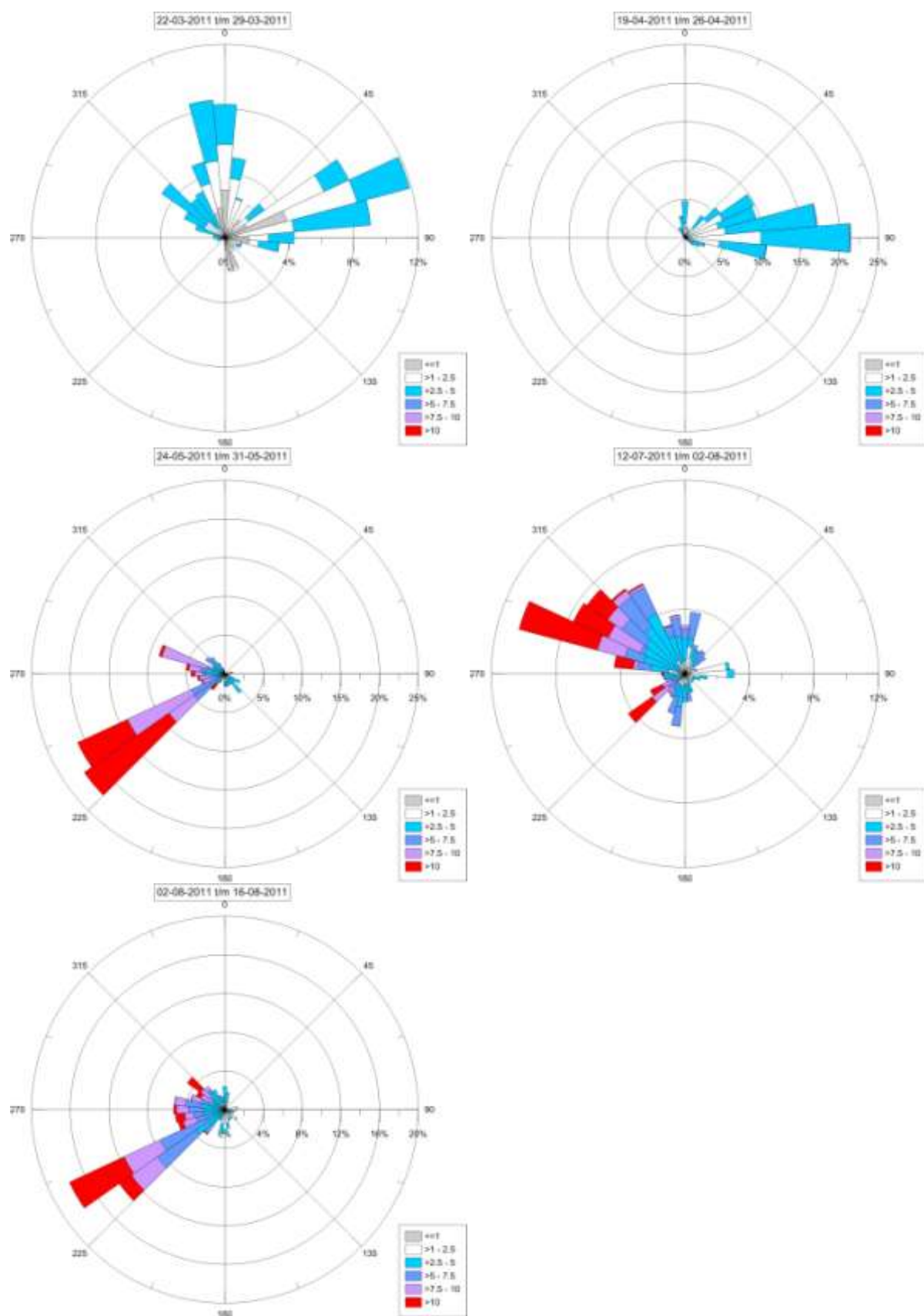


Figuur 4.2. Verloop van geleidbaarheid met afstand vanaf strand voor verschillende perioden. Afstand bepaald langs lengte-as parabolen.



Figuur 4.3. Relatie geleidbaarheid (Kattendel boven) en weekgemiddelde windsnelheid IJmuiden.



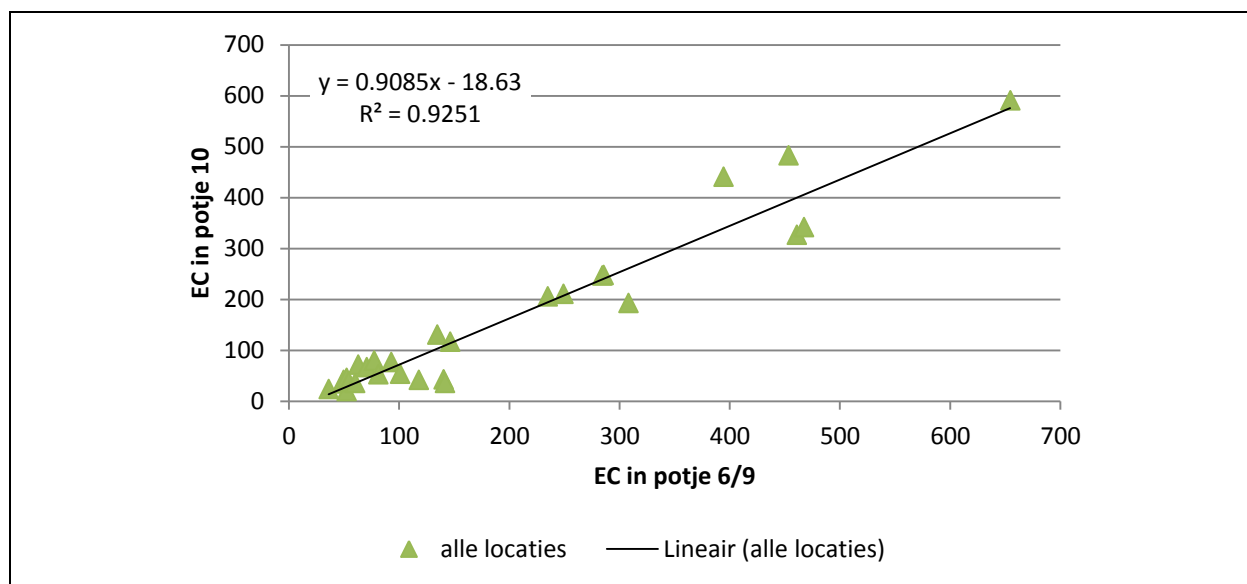


Figuur 4.4. Windrozen voor mast 2.2 (Houtglop boven) voor verschillende zoutvangperiodes.

Wanneer voor de perioden van zoutvangen de windgegevens worden gemiddeld per week (gerekend vanaf 12 uur van de dag van opname tot 12 uur de week erna), dan komt de relatie tussen geleidbaarheid en windsnelheid duidelijk tot uiting. De resultaten staan in Figuur 4.3. Berekening van een windvector, dus waarbij rekening wordt gehouden met de windrichting geeft een slechtere correlatie. Deze berekening moet echter nog verbeterd worden, omdat hierbij ook rekening met de expositie gehouden moet worden, die immers bepalend is voor welke windrichting aanlandig is, en welke aflandig. De correlaties voor de andere locaties zijn vergelijkbaar met die voor Kattendel.

4.1 Relatie wekelijkse en 2-wekelijkse metingen

Omdat de zoutpotjes vaak wekelijks zijn opgenomen, maar de neerslagmonsters 2-wekelijks is het noodzakelijk om uit te zoeken in hoeverre de 2-wekelijkse metingen zich verhouden tot de twee afzonderlijke, wekelijkse metingen. Daartoe is gedurende een aantal weken een proef gedaan, door op alle locaties ieder tiende potje per 2 weken te wisselen, de overige potjes wekelijks. Wanneer deze metingen vergeleken worden blijkt de 2-wekelijkse meting goed te correleren met de som van de twee afzonderlijke metingen. De waarde is niet helemaal gelijk. De regressievergelijking staat in Figuur 4.5. In de vergelijking staat Y voor de geleidbaarheid van potje 10 na 2 weken, en X voor de som van de geleidbaarheden van het gemiddelde van potjes 6 t/m 9 in de eerste plus de tweede week. Verwacht werd dat de waarde van potje 10 hoger zou zijn dan de som, omdat de hoeveelheid zout in de eerste week immers ook in de tweede week nog aanwezig is, en bovendien de hoeveelheid zout van de tweede week er bij gevangen wordt, en bij bemonstering vervolgens het monster maar één keer verdund wordt. De concentratie aan zout, en dus de geleidbaarheid zou dan een stuk hoger moeten zijn. Waarschijnlijk speelt een rol dat de kousjes om de vangers een bepaalde mate van verzadiging krijgen en bij schoonspoelen iedere keer weer gereset worden. Bij tussentijds schoonspoelen kunnen ze dan meer, of efficiënter invangen. In ieder geval is de gevonden relatie goed bruikbaar om de wekelijkse EC-waarden naar 2-wekelijkse EC-waarden te vertalen, en daarmee vergelijking met de regenvangers mogelijk te maken.



Figuur 4.5. Relatie tussen de som van twee wekelijkse geleidbaarheden en de geleidbaarheid van een 2-wekelijkse opname.

5 REGENWATER

5.1 Samenstelling en bijdragen

In de Kennemerduinen is voorzover bekend niet eerder onderzoek verricht naar de kwaliteit van regenwater. Wel zijn er in de Amsterdamse Waterleidingduinen, de IJmond, rond Haarlem en de duinen ten noorden van het Noordzeekanaal verschillende regenwatermeetnetten operationeel geweest in de periode 1930-2000. Stuyfzand (1991, 1993) biedt een overzicht van de diverse meetnetten langs Hollands kust (er waren 93 regenvangers operationeel!), de chemische analyseresultaten, en de geïnterpreteerde patronen en processen. Tegenwoordig is er in Hollands kustregio, buiten de voor dit onderzoek geïnstalleerde regenvangers, nog slechts één regenvanger actief, namelijk het meetpunt De Zilk waar KNMI met een wet-only vanger de kwaliteit bewaakt. Een wet-only vanger onderschept 20-60% minder zeezout dan een altijd open 'bulk' regenvanger, afhankelijk van de afstand tot de kust (Ridder et al., 1984; Stuyfzand, 1991; Stuyfzand & Lüers, 2000).

Een beknopte samenvatting van de vele meetresultaten van voorliggend onderzoek is gepresenteerd in Tabel 5.1. Het betreft de naar neerslag gewogen gemiddelde samenstelling van regenwater op de KNMI-vangers in resp. Kattendel en Wieringen, voor de periode 1 september 2010 t/m 30 mei 2011. De meetresultaten zijn niet/nauwelijks beïnvloed door vogel-excrement treffers, hetgeen niet gezegd kan worden van diverse regenvangers van het VU-type (hierover later meer). Tevens weergegeven is de naar doorvalhoeveelheid gewogen gemiddelde samenstelling van doorval op 4 VU-vangers in een dennenbos verder landinwaarts, voor de periode 9 september 2010 t/m 30 mei 2011.

Tabel 5.1. Overzicht van de naar neerslag / doorval gewogen gemiddelde samenstelling van bulk regenwater op de locaties Kattendel en Wieringen, en van doorval onder een dennenbos, in de periode 1-9 september 2010 t/m 30 mei 2011. Turquoise cellen = hoogste waarde in regenwater; groene cellen = hoogste waarde in doorval. RM, RC, RP = bijdrage aan TDS (Totaal opgeloste stoffen) door resp. Mariene bestanddelen, Continentale bestanddelen en antropogene Pollutie.

Par.	Unit	Regenwater		Doorval	Par.	Unit	Regenwater		Doorval
		Kattendel	Wieringen	Dennenbos			Kattendel	Wieringen	Dennenbos
n		22	22	79	Ag	ug/L	0.067	0.208	0.035
X-HWL	m	225	710	1674	Al	ug/L	8	8	46
Prec	mm/period	472	488	274	As	ug/L	0.2	0.2	0.5
EC-20	uS/cm	89	58	389	B	ug/L	5	4	32
pH		4.85	4.77	5.27	Ba	ug/L	2.0	2.0	6.2
Cl	mg/L	20.9	12.4	104.0	Be	ug/L	0.006	0.005	0.006
SO4	mg/L	4.7	3.4	23.9	Cd	ug/L	0.08	0.07	0.21
HCO3	mg/L	3	2	8	Co	ug/L	0.3	0.3	0.8
NO3	mg NO3/L	2.8	2.6	9.7	Cr	ug/L	0.1	0.2	0.3
PO4-t	mg PO4/L	0.050	0.150	0.260	Cu	ug/L	1.5	1.8	4.9
F	mg/L	0.02	0.02	0.07	Eu	ug/L	0.13	0.11	0.13
Br	ug/L	58	34	272	Ho	ug/L	0.06	0.03	0.04
Na	mg/L	11.8	7.1	56.2	La	ug/L	0.09	0.06	0.06
K	mg/L	0.5	0.4	6.5	Li	ug/L	0.3	0.2	1.5
Ca	mg/L	1.3	0.9	7.4	Mo	ug/L	0.3	0.2	0.6
Mg	mg/L	1.4	0.8	6.9	Ni	ug/L	0.1	0.1	0.6
Fe	mg/L	0.007	0.007	0.042	Pb	ug/L	1.1	0.9	3.6
Mn	mg/L	0.006	0.005	0.084	Sc	ug/L	0.017	0.010	0.010
NH4	mg NH4/L	0.62	0.76	2.412	Sr	ug/L	13	8	49
SiO2	mg SiO2/L	0.07	0.05	0.3	Ti	ug/L	0.7	0.6	1.0
%RM	%TDS	81.1	72.7	83.6	V	ug/L	1.0	1.1	1.0
%RC	%TDS	7.6	10.2	6.3	Yb	ug/L	0.015	0.014	0.014
%RP	%TDS	11.2	16.3	9.5	Zn	ug/L	6.9	7.0	23.2

De samenstelling van regenwater wordt volgens Stuyfzand (1991; 1993) gedictieerd door bijdragen van verstoven zeezout (vooral Cl, Na, Mg en Br), continentaal atmosferisch stof (vooral Ca, HCO₃, SiO₂, Al en zeldzame aarden), antropogene luchtverontreinigingscomponenten (vooral SO₄, NO₃, NH₄, diverse zware metalen en organische microverontreinigingen) en biologische inputs waaronder

vogelexcrementen, insecten en bodemstof (vooral PO₄, NH₄, HCO₃, SO₄, K en het grootste deel van organische koolstof).

De doorvalmetingen onder dennen (Tabel 5.1) tonen dat de meeste concentraties in regenwater fors toenemen door interactie met de bovengrondse biomassa, als gevolg van verdampingsverliezen (ca 43% !), extra invang van zeezout en luchtverontreinigingsbestanddelen door droge depositie, en reacties met het naaldenoppervlak (Stuyfzand, 1993).

Vogelexcrementen

Hoewel inputs via vogelexcrementen op zich natuurlijk zijn, dienen zij toch zoveel mogelijk beperkt te blijven om een sterke vertekening van de regenwatersamenstelling te voorkomen. Daarbij speelt dat regenvangers een grotere kans op treffers hebben dan hun omgeving, wellicht vanwege het zitcomfort met uitzicht dat ze bieden. In dit onderzoek is ongeveer de helft van de VU collectoren in het open veld regelmatig getroffen door vogelexcrementen, met name in de droge warme periode (voorjaar). De indicator bij uitstek van vogelexcrementen is PO₄ (indien PO₄-totaal >0.1 of PO₄-ortho > 0.05 mg/L). Hiermee kunnen kwaliteitsgegevens gecorrigeerd worden als volgt (Stuyfzand, 1991):

$$X_{BDC} = X_{MEAS} - B_X (PO_{4TOT} - 0.1) \quad (5.1)$$

waarin: X_{BDC} = concentratie van X gecorrigeerd voor vogelexcrementen [mg/L]; X_{MEAS} = gemeten concentratie van X [mg/L]; B_X = correctiefactor voor X [-]; PO_{4TOT} = totaal fosfaat in monster [mg/L].

Een voorbeeld van correctie staat in Tabel 5.2, waaruit blijkt dat correcties inderdaad nodig zijn en nut hebben, maar niet perfect zijn. De waarden van B_X zijn gelijk aan de hellingshoek van de lineaire regressielijn van parameter X (Y-as) met PO₄-totaal (X-as).

De totale biologische bijdrage aan de samenstelling van regenwater (%R_B) kan als volgt berekend worden:

$$\%R_B = 100 \sum (X_{MEAS} - X_{BDC}) / TDS_p \quad (5.2)$$

waarin: TDS_p = totaal opgeloste stof in regenwater [mg/L].

In de onderhavige dataset van 23 meetpunten kenden 13 meetpunten een %R_B <5%, en 7 een %R_B >10%, waarbij meetpunt HN4 de kroon spande met 59% (Tabel 5.2).

Verstoven zeezouten

Verstoven zeezout behoort langs de kust tot de belangrijkste bestanddelen van regenwater. Uit eerder onderzoek is al gebleken dat, in geval van geen beïnvloeding door vogelexcrementen, Na en Mg uitsluitend stammen van zeezout, Cl voor >97%, K voor ongeveer 70%, Ca voor 30%, SO₄ voor ruwweg 25%, B voor >54%, Br voor ca. 80%, Li voor >28%, Mo voor >10%, Rb voor ca 20% en Sr voor ca 80% (Stuyfzand, 1991). De totale mariene bijdrage aan de samenstelling van regenwater (%R_M) kan derhalve als volgt berekend worden:

$$\%R_M = 100 (TDS / Cl)_S (Cl_{BDC} / TDS)_P = 182 (Cl_{BDC} / TDS)_P \quad (5.3)$$

waarin: TDS = total opgeloste stof [mg/L]; subscripten S,P = in resp. zeewater (S) en regenwater (P) [mg/L].

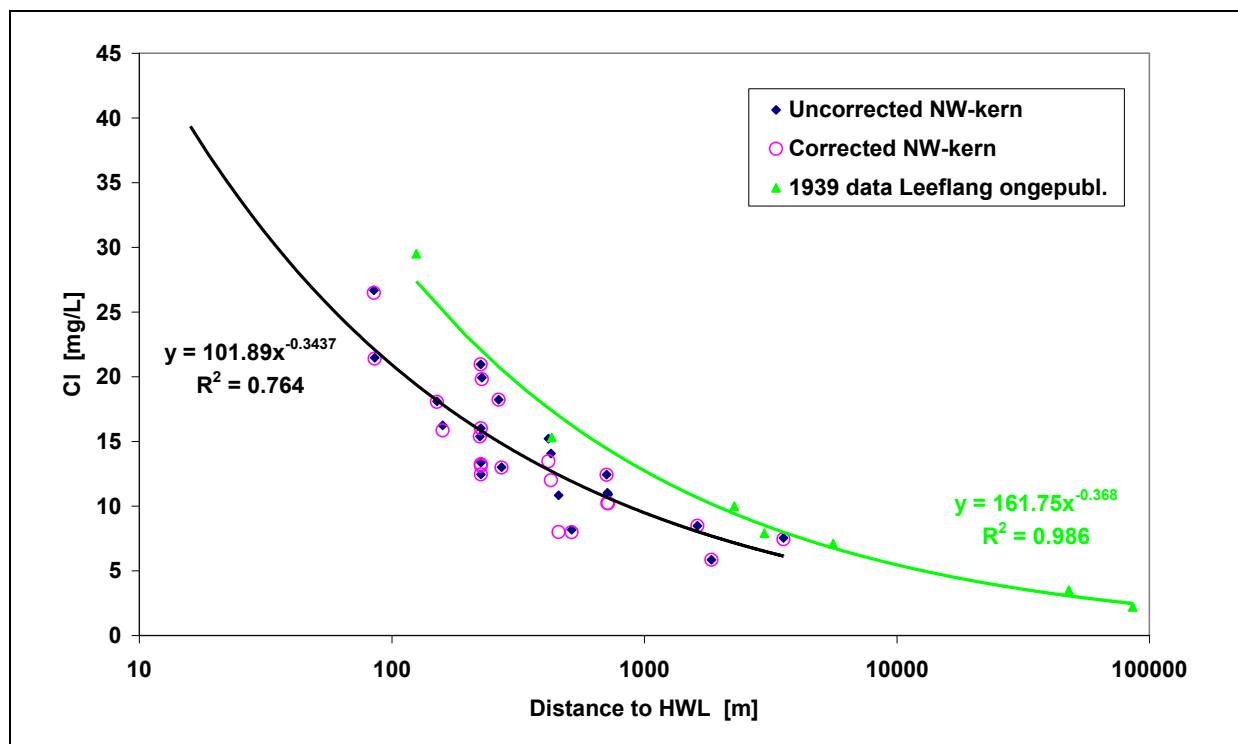
De gemiddelde mariene bijdrage was in het studiegebied i.h.a. zeer hoog: %R_M bedroeg in de meeste gevallen (met %R_B <5) 70-80% (Tabel 5.1). Tijdens individuele perioden kan %R_M echter sterk variëren, b.v. van 10% tijdens oostenwind (1-9 sept.2010) tot 93% tijdens westerstorm (9-16 sept. 2010) in Kattendel.

Tabel 5.2. Kwaliteitsparameters met een belangrijke beïnvloeding door vogel-excrementen en de gehanteerde correctiefactor β_x uit Eq.5.1, de ongecorrigeerde en gecorrigeerde waarden voor meetpunt HN4 in Houtglop, en de onbeïnvloede meetwaarden in KB1 (Kattendel). Meetwaarden betreffen de periode september 2010 t/m mei 2011.

X	unit	β_x	HN4		KB1
			meas	corr	meas
PO4-tot	mg/L		13.1	0.1	0.05
pH		0.100	5.62	4.96	4.85
Cl	mg/L	0.217	10.8	8.0	20.9
SO4	mg/L	0.508	11.8	5.2	4.7
HCO3	mg/L	0.500	9	2.3	2.6
Na	mg/L	0.214	6.4	3.6	11.8
K	mg/L	0.379	7.5	2.6 #	0.5
Ca	mg/L	0.022	2.8	2.5	1.3
Mg	mg/L	0.004	0.6	0.6	1.4
NH4	mg/L	0.186	2.2	<0.1 \$	0.6
SiO2	mg/L	0.003	0.14	0.10	0.07
B	ug/L	0.063	3.6	2.8	5.0

= still too high; \$ = too low (overcorrected)

Zeer belangrijk is de gradiënt in Cl concentratie van regenwater als functie van de (kortste) afstand tot de Noordzee Hoog Water Lijn (X-HWL). De meetresultaten laten in Figuur 5.1 een duidelijk invers exponentieel verloop zien, dat goed aansluit bij eerdere metingen in de nabij gelegen Amsterdamse Waterleidingduinen. De verlooplijnen zijn evenwel niet identiek, omdat verschillende meetperioden ook verschillen in sea spray productie en depositie laten zien.



Figuur 5.1. Relatie tussen afstand tot de HoogWaterLijn (HWL) van de Noordzee en de chlorideconcentratie in regenwater, gewogen gemiddeld voor de periode 1-9-2010 t/m 30-5-2011 in de NW-kern, en gewogen gemiddeld voor de periode 1938-1939 in de Amsterdamse Waterleidingduinen (gebaseerd op ongepubliceerde data van het Leeftang meetnet; Stuyfzand, 1991). De data uit de NW-kern zijn wel en niet gecorrigeerd voor vogel-excrementinvloeden.

Correctie voor zeezoutbijdragen

Het is nuttig om zeezout gevoelige concentraties in regenwater, bodemvocht en ondiep duingrondwater te corrigeren voor bijdragen van zeezout, zodat beter zichtbaar wordt wat de bijdragen zijn van zeezout, continentale bronnen, bodemprocessen of luchtverontreiniging. Als de gecorrigeerde waarde vrijwel nul is, dan is de zeezoutbijdrage dus zeer hoog.

De correctie is als volgt, onder aanname dat tijdens verstuiving aan het zee-oppervlak de fractionering van hoofdbestanddelen en enkele sporenelementen van zeewater verwaarloosd kan worden (Stuyfzand, 1993):

$$X_C = X_{MEAS} - \alpha_X Cl_{MEAS} \quad (5.4)$$

waarin X_C = gecorrigeerde concentratie van X [mg/L]; X_{MEAS} = gemeten concentratie van X [mg/L]; α_X = (X/Cl) in standaard gemiddeld oceaانwater [-]; Cl_{MEAS} = gemeten concentratie van Cl [mg/L].

Tabel 5.3 geeft een listing van de correctiefactoren α_X . en Tabel 5.4 van de hiermee verkregen resultaten inzake de voor zeezout gecorrigeerde gemiddelde samenstelling van regenwater, doorval en ondiep duingrondwater.

Tabel 5.3. Correctiefactor α_X in Eq.5.4, ter correctie van concentraties van diverse bestanddelen in water voor een zeezoutbijdrage, op basis van zowel mg/L als mol/L (naar Stuyfzand, 1991;1993). BEX = Base EXchange index = Na + K + Mg - 1.0716 Cl [meq/L].

Major constituent	factor α_X		Trace constituent	factor α_X	
	mg/L	mol/L		mg/L	mol/L
Na ⁺	0.5564	0.8581	B	$2.3 \cdot 10^{-4}$	$7.541 \cdot 10^{-4}$
K ⁺	0.0206	0.0187	Br ⁻	$3.48 \cdot 10^{-3}$	$1.543 \cdot 10^{-3}$
Ca ²⁺	0.0213	0.0188	F ⁻	$7.19 \cdot 10^{-5}$	$1.341 \cdot 10^{-4}$
Mg ²⁺	0.0668	0.0974	Li ⁺	$9.34 \cdot 10^{-6}$	$4.773 \cdot 10^{-5}$
SO ₄ ²⁻	0.1401	0.0517	Mo	$5.17 \cdot 10^{-7}$	$1.913 \cdot 10^{-7}$
TotH (Ca ²⁺ + Mg ²⁺)		0.1162	Rb ⁺	$6.06 \cdot 10^{-6}$	$2.513 \cdot 10^{-6}$
BEX = Na⁺+K⁺+Mg⁺	meq/L	1.0716	Sr ²⁺	$4.21 \cdot 10^{-4}$	$1.702 \cdot 10^{-4}$

Tabel 5.4. Overzicht van de voor zeezout gecorrigeerde, gemiddelde samenstelling van bulk regenwater (Kattendel en Wieringen), doorval onder een dennenbos, en ondiep duingrondwater, in de periode 1-9 september 2010 t/m 30 mei 2011. Gele cellen = laagste (enige negatieve) waarde in regenwater; groene cellen = hoogste waarde in doorval; turquoise cellen = hoogste waarde in grondwater.

Par.	Unit	Regenwater	Doorval	Grondwater
Na-C	mg/L	0.2	-1.7	3.9
K-C	mg/L	0.1	4.3	0.7
Ca-C	mg/L	0.8	5.2	90.7
Mg-C	mg/L	0.0	0.0	2.6
SO4-C	mg/L	1.7	9.3	5.2
B-C	ug/L	0.6	7.8	21.8
Br-C	ug/L	-11.9	-89.9	-59.2
F-C	ug/L	14.7	62.5	90.9
Li-C	ug/L	0.1	0.5	4.6
Mo-C	ug/L	0.2	0.5	0.4
Sr-C	ug/L	3.4	4.8	347
BEX	meq/L	0.01	0.03	0.40

Uit Tabel 5.4 volgt dat regenwater in dit onderzoek voor de meeste zeezoutgevoelige bestanddelen zeer lage, voor zeezout gecorrigeerde concentraties kent, zodat hun zeezoutbijdrage vrijwel 100% bedraagt. Voor Mg geldt een gecorrigeerde concentratie van nul (dus 100% zeezout bepaald), en

alleen voor Br geldt een negatieve waarde. Deze negatieve waarde wijst erop dat Cl kleine bijdragen kent van niet-mariene bronnen (zoals Cl_2 of HCl via b.v. luchtverontreiniging) of dat Br vervluchtigt of dat de toegepaste analysemethode Br structureel onderschat. De geringe positieve waarden getuigen merendeels van (zeer geringe) continentale bijdragen (Na, K, Ca, B, Li, Mo, Sr) en bijdragen van luchtverontreiniging (SO_4 en F). De voor zeezout gecorrigeerde Na concentratie wijkt niet significant af van nul, zodat gesteld kan worden dat vrijwel alle Na en Cl van zeezout stammen.

Continentale minerale aerosolen

Regenwater bevat ook continentale minerale aerosolen die afkomstig zijn van (verweringsproducten van) gesteenten en sedimenten en via bodemerrosie, eolische processen en vulkanische erupties in de atmosfeer belanden. De totale bijdrage hiervan aan TDS ($\%R_C$) is als volgt geschat:

$$\%R_C = 100 (\text{Ca}_C + \text{HCO}_3\text{BDC} + \text{Fe} + \text{Mn} + \text{SiO}_2\text{BDC} + \text{Al} + \text{REE}) / \text{TDS}_P \quad (5.5)$$

waarin: $\text{Ca}_C = \text{Ca}_{\text{BDC}} - 0.021 \text{ Cl}_{\text{BDC}} = \text{Ca}$ gecorrigeerd voor vogel-excrementen en mariene bijdrage [mg/L]; REE = som zeldzame aarden = som lanthaniden + Sc + Y [mg/L].

De gemiddelde continentale bijdrage varieerde in het studiegebied sterk, n.l. van 7 tot 40% doch meestal 7-14% (Tabel 5.1). In deze bijdrage is die van opgeloste kalk veruit het hoogste. Relatief hoge continentale bijdragen doen zich voor nabij plekken met stuivend zand, zoals op de zeereep. Zand of fijn stof waait daar de regenvanger in en lost vervolgens in het zure regenwater (gedeeltelijk) op tijdens de standtijd (max. 14 dagen).

Antropogene luchtverontreinigingsbestanddelen

Zoals bekend bevat regenwater een breed spectrum aan antropogene luchtverontreinigingsbestanddelen, waaronder SO_4 , NO_3 , NH_4 , diverse zware metalen en talloze organische microverontreinigingen. Een benadering van hun totale bijdrage aan TDS van regenwater ($\%R_P$) is als volgt, waarbij die van organische microverontreinigingen niet verdisconteerd dus verwaarloosd is:

$$\%R_P = 100 (\text{H}_{\text{BDC}} + \text{SO}_4\text{C} + \text{NO}_3\text{BDC} + \text{NO}_2\text{BDC} + \text{NH}_4\text{BDC} + \text{F} + \text{ZM}) / \text{TDS}_P \quad (5.6)$$

waarin: $\text{H} = 10^{3-\text{pH}}$ [mg/L]; $\text{SO}_4\text{C} = \text{SO}_4\text{BDC} - 0.14 \text{ Cl}_{\text{BDC}} = \text{SO}_4$ gecorrigeerd voor vogel-excrementen en mariene bijdrage [mg/L]; ZM = som zware metalen, met name Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn [mg/L]. De gemiddelde bijdrage van antropogene luchtverontreinigingsbestanddelen varieerde in het studiegebied niet zo sterk als die van continentale minerale aerosolen, n.l. van 7 tot 18% (Tabel 5.1). In deze bijdrage is die van H, NO_2 , F en ZM zeer gering. Relaties met de windrichting verdienen nader onderzoek.

5.2 Vergelijking met zoutmetingen

De EC metingen van regenwater verzameld met de KNMI bulk regenvangers te Wieringen en Kattendel kunnen in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** vergeleken worden met EC metingen van de spray collectoren op dezelfde locaties. In Figuur 5.2 is het verloop in de tijd weergegeven.

De conclusie luidt dat de vergelijkbaarheid zeer zwak is. De belangrijkste reden hiervan is dat de hoeveelheid neerslag een belangrijke verdunnende rol speelt in de regenvanger en niet/minder in de spray collector. Daarnaast zijn natuurlijk ook de aard en grootte van het invangoppervlak verschillend, maar dat hoeft geen effect op de correlatie te hebben.

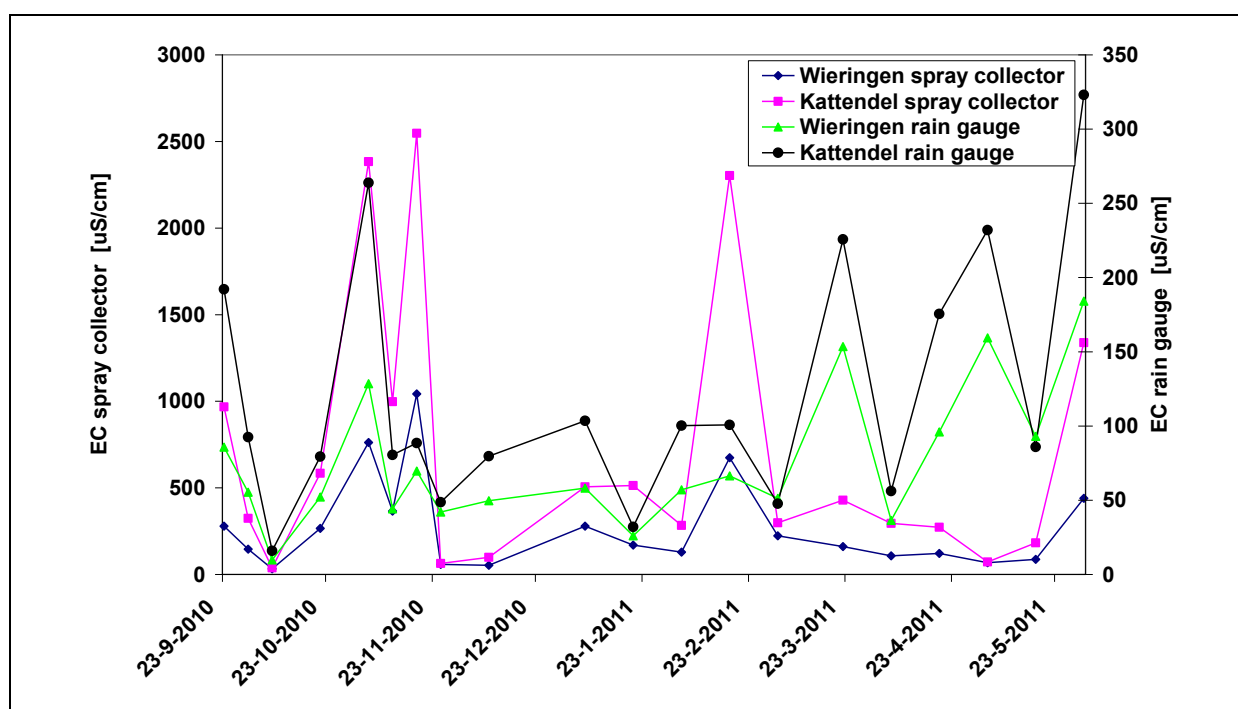
Eerstgenoemde reden kan verdisconteerd worden door de hoeveelheid neerslag als een verdunningsfactor te beschouwen, en leidt dan tot de volgende bruikbare relatie tussen EC metingen via bulk regenvangers (EC_{BULK}) en spray collectoren (EC_{SPRAY}):

$$\text{EC}_{\text{BULK}} = a \text{ EC}_{\text{SPRAY}} / P + c \quad (5.7)$$

waarin: a = factor afhankelijk van vooral de windsnelheid en/of afstand tot de HWL [-]; P = lokale hoeveelheid neerslag tijdens de meetperiode [mm/periode]; c = constante [-].

Tabel 5.5. Vergelijking van EC meetwaarden voor de regenvangers en spray collectoren van Wieringen en Kattendel, met wind en regengegevens voor de periode van 01-09-10 t/m 30-05-11. Geel gemarkeerde cellen: als windrichting aflagend/zeewaarts. Voor toegepaste synchronisatie van metingen zie tekst.

End date	Rain depth	Wind		EC spray collectors		EC bulk rain coll	
sampling period	Overveen	direction	velocity	Wieringen	Kattendel	Wieringen	Kattendel
	mm	NoE	m/s	uS/cm			
9-sep-2010	20.4	71	5.8			22	14
16-sep-2010	37.1	249	10.1			87	146
23-sep-2010	23.3	246	7.3	278	967	86	192
30-sep-2010	27.5	8	5.7	146	324	55	92
7-okt-2010	25.5	162	6.1	33	38	10	16
21-okt-2010	52.0	16	7.7	266	584	52	79
4-nov-2010	26.3	224	10.2	761	2383	129	264
11-nov-2010	25.1	172	8.2	365	997	44	80
18-nov-2010	38.8	230	7.2	1042	2547	70	88
25-nov-2010	12.1	77	5.1	58	63	42	49
9-dec-2010	18.0	94	7.2	52	99	50	80
6-jan-2011	54.7	322	6.6	279	506	58	103
20-jan-2011	71.2	216	8.3	169	513	26	32
3-feb-2011	10.8	2	7.1	129	283	57	100
17-feb-2011	32.3	198	8.7	674	2303	66	101
3-mrt-2011	47.2	88	7.1	223	298	51	48
22-mrt-2011	3.0	162	6.0	161	429	153	226
5-apr-2011	7.9	206	5.9	107	294	36	56
19-apr-2011	5.1	301	4.9	121	272	96	175
3-mei-2011	1.0	59	7.4	68	72	159	232
17-mei-2011	13.0	259	5.8	87	182	93	86
30-mei-2011	5.8	238	8.4	440	1338	184	323

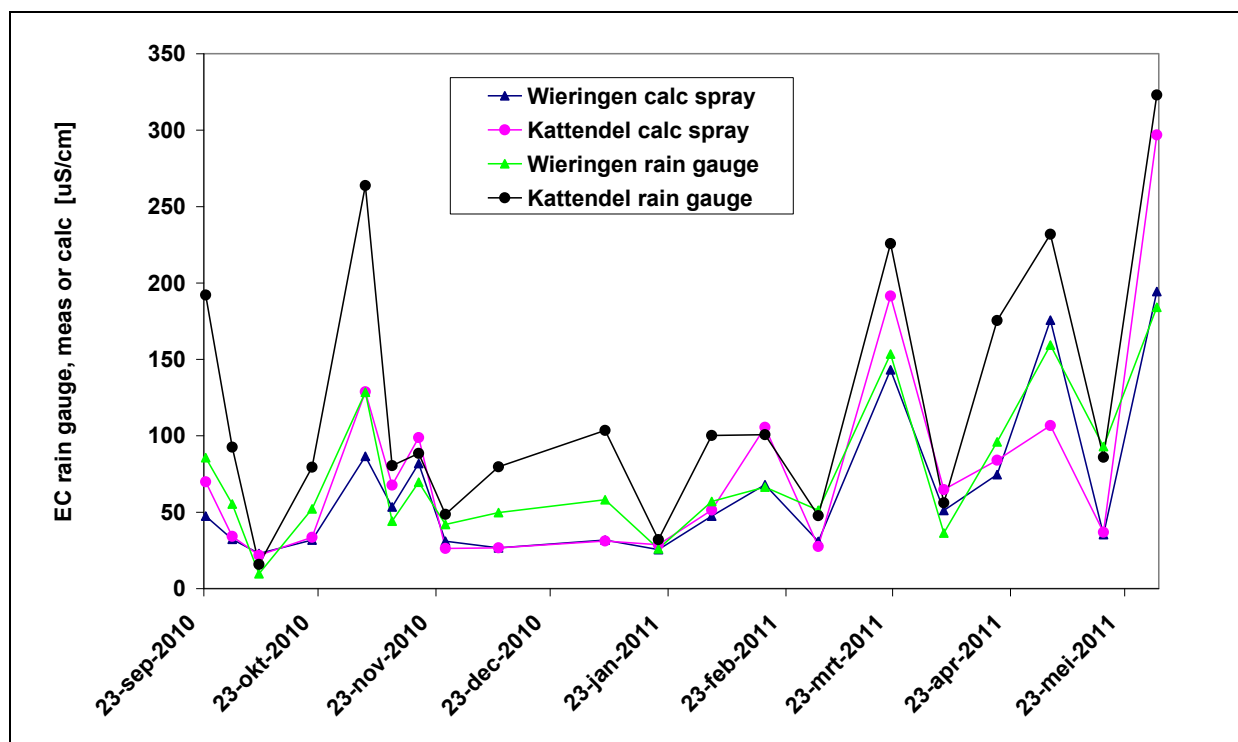


Figuur 5.2. Verloop in EC waarden zoals gemeten in de bulk regenvangers type KNMI en in de spray collectoren, op de locaties Wieringen en Kattendel. De meetwaarden voor spray zijn gemiddeld over 4 (Kattendel laag) en 10 (Wieringen) collectoren op locatie.

De beste fit werd verkregen door $a = 2.3$ en $c = 20$ te nemen voor Wieringen, en $a = 1.2$ en $c = 20$ voor Kattendel. Voor de neerslag is Overveen genomen, maar zou net zo goed (of liever) die ter plaatse genomen kunnen zijn (er is weinig verschil tussen Kattendel, Wieringen en Overveen; Garcia

Perez, 2011). Figuur 5.3 toont het resultaat, dat inderdaad een goede correlatie laat zien tussen meetwaarden en berekende waarden ($R=0.91$ voor Wieringen, $R=0.82$ voor Kattendel).

Een belangrijke opmerking hierbij is, dat de frequentere data van de spray collectoren gesynchroniseerd zijn met de regenvangers, door de resultaten van 2 individuele wekelijkse metingen op te tellen om resultaten te verkrijgen voor een tweewekelijkse periode (meest gehanteerde periode voor de regenvangers). Dit leverde een veel betere correlatie op tussen beide meetsystemen dan wanneer 2 individuele wekelijkse metingen van de spray collectoren gemiddeld zouden zijn.



Figuur 5.3. Verloop in gemeten en berekende EC waarden voor bulk regenwater op de locaties Wieringen en Kattendel. Berekende EC waarden op basis van meetwaarden voor spray, gemiddeld over 4 (Kattendel laag) en 10 (Wieringen) collectoren op locatie.

5.3 Voorspelling zout uit wind- en neerslagdata

Als het lukt om de EC-waarde of Cl-concentratie van atmosferische depositie te voorspellen in kustgebieden op basis van doorgaans frequent en langdurig gemeten parameters als windsnelheid, windrichting en neerslag, dan hebben we een belangrijke tool in handen om b.v. de voorspelde effecten van klimaatverandering op wind en regenval te vertalen in effecten op zoutdepositie. Een dergelijke tool is ontwikkeld door Stuyfzand (2010, p28-33), en wordt in onderstaande in gewijzigde vorm toegepast om EC-waarden voor spray collectoren te voorspellen. Een zeer goede benadering is verkregen met de volgende formule voor de berekende EC van een spraycollector ($EC_{SPRAY,CALC}$):

$$EC_{SPRAY,CALC} = a (1 + 0.01 P) \Sigma SALT + c \quad (5.8)$$

waarin: a = factor afhankelijk van vooral de windsnelheid en/of afstand tot de HWL [-]; P = hoeveelheid neerslag tijdens de meetperiode [mm/periode]; $\Sigma SALT$ = som van dagelijkse zoutdepositie zoals berekend uit windgegevens volgens Eq.5.9 (zie Stuyfzand, 2010); c = constante [-]. In eq.5.8 wordt vermenigvuldigd met P omdat de efficiëntie van de zoutvanger verbeterd als deze nat is, en omdat de neerslag zelf bijdraagt aan de zoutinput.

$$\Sigma SALT = \Sigma (f_W v_W^{3.4} \{550 [X_{WIND}]^{-0.45} + 0.1\}) \quad (5.9)$$

waarin:

f_W = correctiefactor om het EC-signaal zo goed mogelijk te laten overlappen met het gereconstrueerde verloop op basis van windgegevens, hier 0.001 [-]

v_W = dagwaarden van de windsnelheid op ca. 10 m hoogte [m/s];

X_{WIND} = afstand van de locatie tot de HWL gemeten langs de dagelijks gemiddelde windrichting [m]

Als de wind aflagend is, dus als $(90 - \arctan(a_C)) < W_D < (180 + \arctan(a_C))$, dan geldt (Figuur 5.4 voor betekenis $a_C = \alpha_C$; W_D = windrichting in N°E):

$$X_{WIND} = 200000 \text{ [m]} \quad (5.10A)$$

Als de wind aanlandig is, dan geldt:

$$X_{WIND} = \text{sqrt} [\{a_C (b_C - b_M) / (a_M - a_C) + b_C - Y_M\}^2 + \{(b_C - b_M) / (a_M - a_C) - X_M\}^2] \quad (5.10B)$$

met (zie Figuur 5.4):

X_M, Y_M = coördinaten van meetpunt op land [m RD];

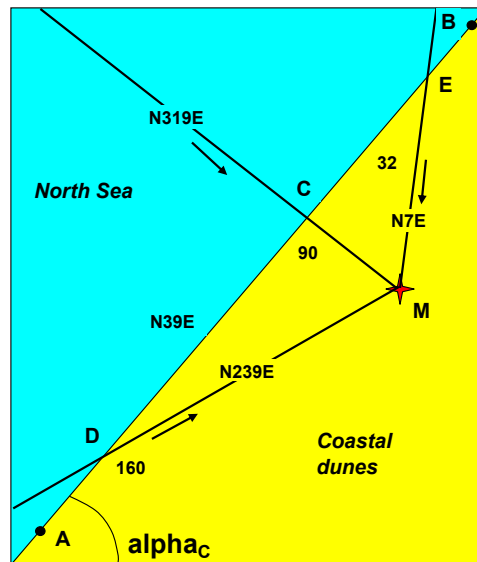
$a_M = 90 - \tan(W_D)$;

$b_M = Y_M - a_M X_M$.

$a_C = (Y_B - Y_A) / (X_B - X_A)$

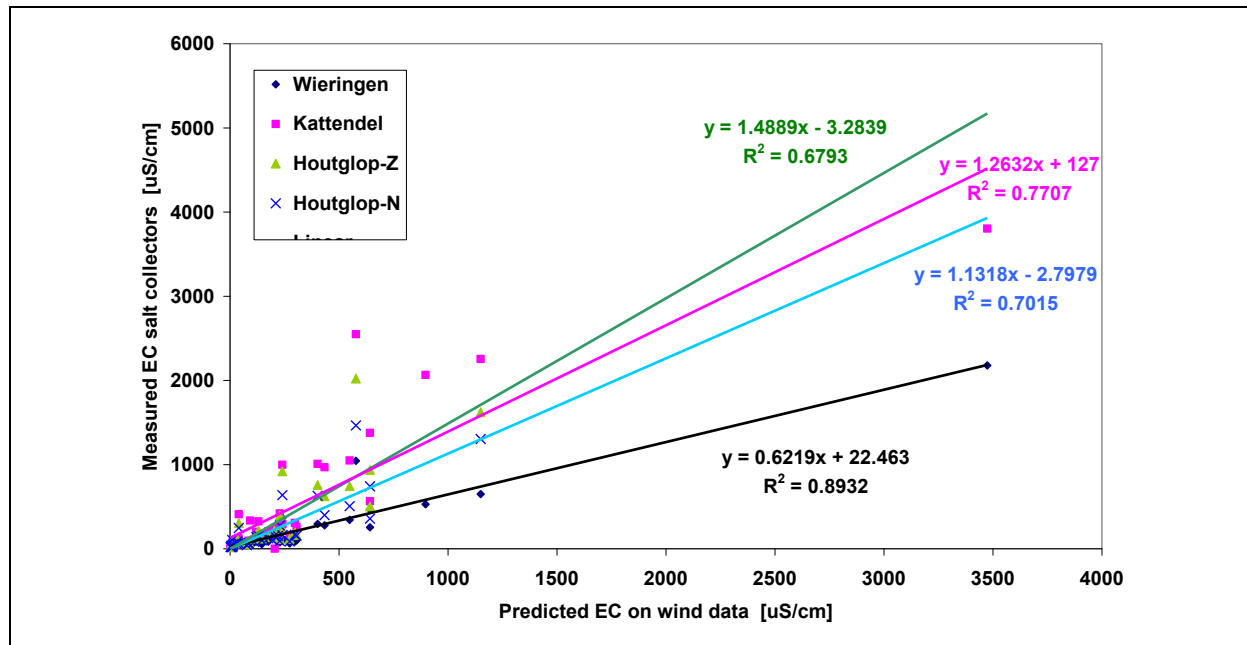
$b_C = Y_A - a_C X_A$

Gekozen is voor windgegevens van IJmuiden omdat deze geen beïnvloeding kennen door het duinlandschap. In het vervolg nemen we de lokale wind om juist het effect van het landschap mee te nemen. Bovendien biedt dat ook een vergelijkingsmogelijkheid voor en na de ingreep, omdat de lokale wind door de ingreep wel gaat veranderen.

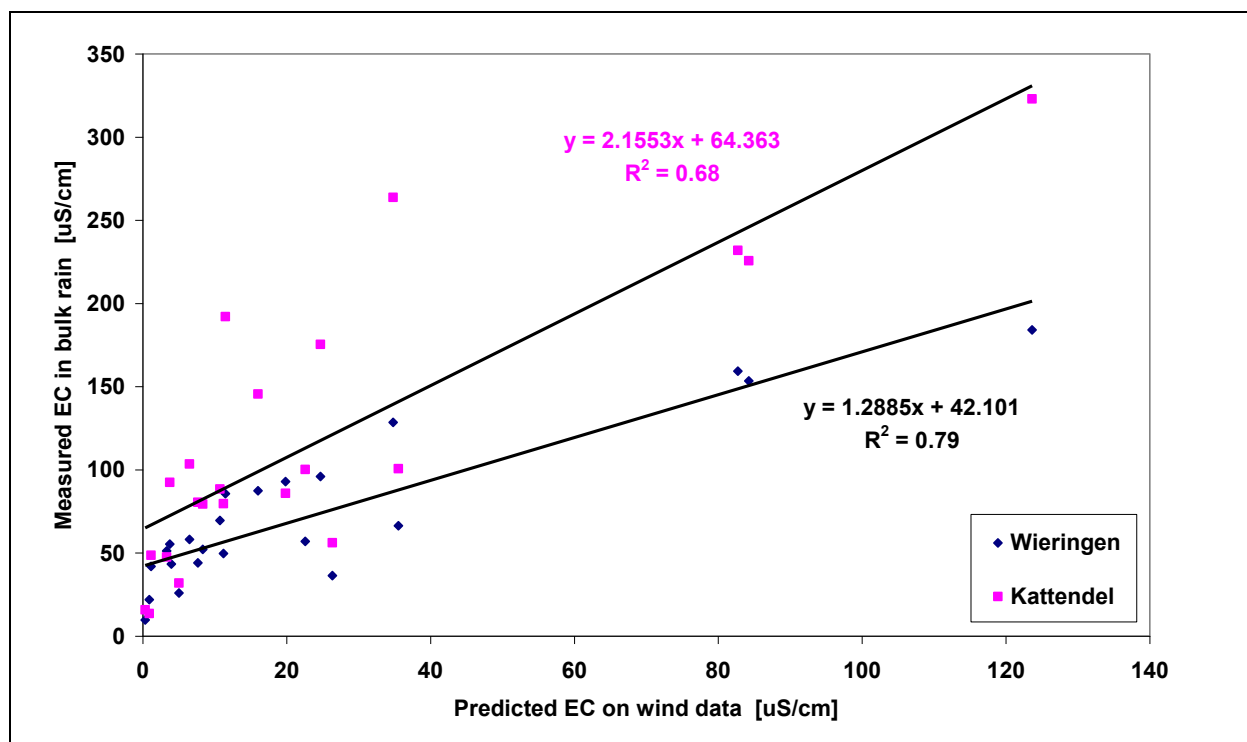


Figuur 5.4. Ruimtelijke relaties tussen de locatie van meetpunt M ten opzichte van een rechte kustlijn (tussen A en B) en 3 windrichtingen met de strijklengte over land vanaf de HWL tot het meetpunt, resp. EM (bij N7°E), CM (bij N319°E) en DM (bij N239°E).

De beste fit werd verkregen door de volgende waarden te nemen voor a en c: a = 0.622 en b = 23 voor Wieringen (R²=0.89); a = 1.263 en b = 127 voor Kattendel (R² = 0.77); a = 1.132 en b = -3 voor Houtglop Noord (R² = 0.70); a = 1.489 en b = -3 voor Houtglop Zuid (R² = 0.68). Figuur 5.5 toont het resultaat, dat inderdaad een goede correlatie laat zien tussen meetwaarden en berekende waarden. Nader onderzoek moet uitwijzen of er aan de gevonden regressieconstanten betekenis valt toe te dichten.



Figuur 5.5. Lineaire relatie tussen gemeten en berekende EC voor de spray collectoren in de periode 25-3-2010 t/m 16-8-2011. Berekende waarden op basis van wind en regen data, volgens Eq.5.8.



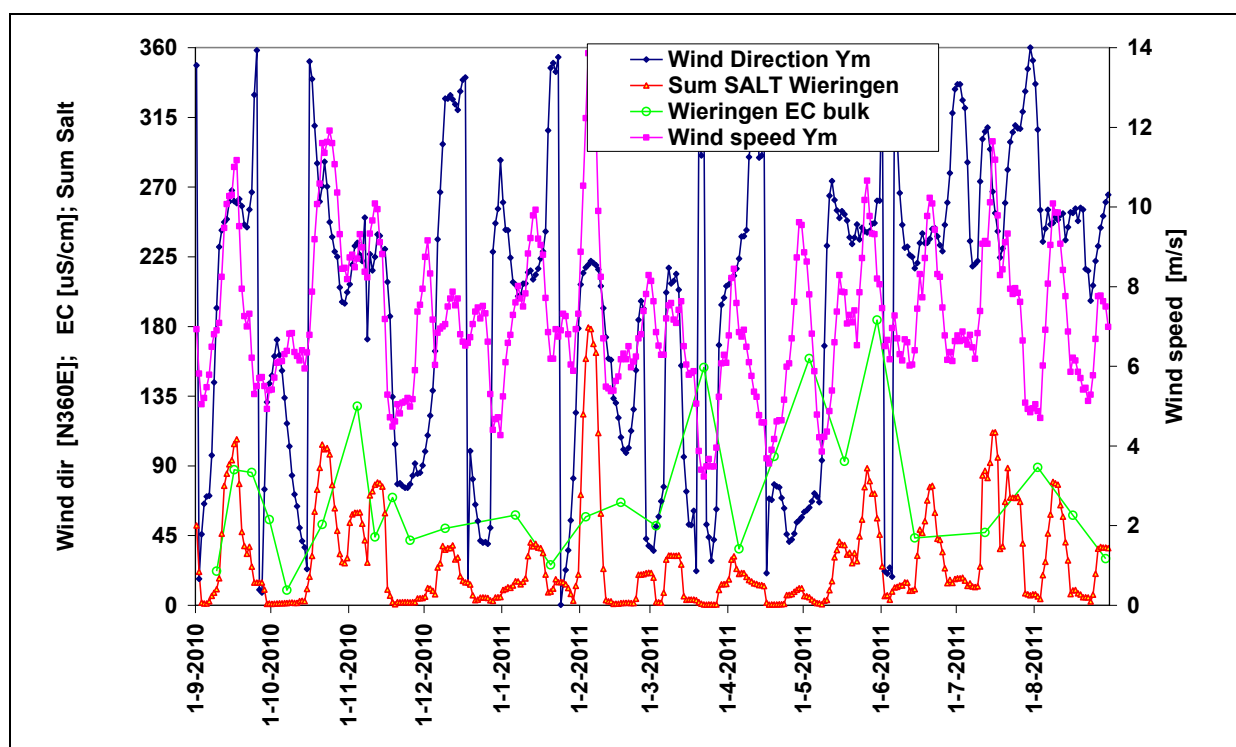
Figuur 5.6. Lineaire relatie tussen gemeten en berekende EC voor de regenvangers in de periode 1-9-2010 t/m 14-6-2011. Berekende waarden op basis van wind en regen data, volgens Eq.5.11.

Een zeer goede benadering is eveneens verkregen met de volgende formule voor de berekende EC van een bulk regenvanger ($EC_{BULK,CALC}$):

$$EC_{BULK,CALC} = a \sum SALT / P + c \quad (5.11)$$

De beste fit werd verkregen door de volgende waarden te nemen voor a en c: a = 1.289 en c = 42 voor Wieringen, en a = 2.155 en c = 64 voor Kattendel. Figuur 5.6 toont het resultaat, dat inderdaad een goede correlatie laat zien tussen meetwaarden en berekende waarden (R=0.89 voor Wieringen, R=0.82 voor Kattendel).

Het verloop van windgegevens van KNMI meteostation IJmuiden (7 dagen voortschrijdend gemiddeld om een rustig presentabel beeld te krijgen), de bijbehorende zoutdepositie (Sum SALT volgens Eq.5.9) en de meetwaarden van de EC voor Wieringen zijn in Figuur 5.7 gepresenteerd. Hierin is te zien hoe dagwaarden (na voortschrijdende middeling) van de windrichting en windsnelheid zich vertalen in dagwaarden van de zoutdepositie te Wieringen. De overeenkomst tussen berekende zoutdepositie en gemeten EC is redelijk, wanneer bedacht wordt dat bemonsterd regenwater een mengsel van de dagwaarden inhoudt en de hoeveelheid neerslag nog verdisconteerd moet worden.



Figuur 5.7. Verloop in voortschrijdend gemiddelde (7 dagen) van de dagelijkse windrichting en windsnelheid op KNMI meteostation IJmuiden, samen met de bijbehorende berekende $\Sigma SALT$ -waarde en de meetwaarden van de EC voor de bulk regenvanger te Wieringen.

5.4 Vergelijking 17 meetpunten en correlatiematrix

De gemiddelde samenstelling van bulk neerslag kan in Tabel 5.6 vergeleken worden voor 17 meetpunten die in de periode september 2010 t/m mei 2011 operationeel waren. De gegevens hierin zijn gecorrigeerd voor vogel-excrementbijdragen, terwijl die meetpunten zijn weggelaten die desondanks nog afwijkingen hierdoor vertoonden (AD2, HN2, HN4, HZ1, PO2, W2). Met de gegevens in Tabel 5.6 is een Pearson lineaire correlatiematrix berekend (via EXCEL tools 'data analysis'), met als resultaat na enige verfraaiing Tabel 5.7.

De meetresultaten laten een dominante invloed zien van een toenemende zeezout en stof bijdrage aan de samenstelling in kustwaartse richting. Regenvanger BD2 het dichtste bij de HWL vertoont

inderdaad de hoogste EC en concentraties Na, Mg, Cl, Br, B en Sr (zeezout) en Ca en Al (strandstof), Metingen op meetpunt OVE (voormalig pompstation Overveen) wijken iets af vanwege een afwijkend korte meetperiode in het vroege voorjaar. Opvallend is dat vele sporenelementen, afgezien van enkele uitschieters, in het algemeen een vrij kleine spreiding kennen (Tabel 5.6).

Uit de correlatiematrix volgen de volgende clusters: (1) zeezout (X-HWL, EC, Na, Mg, Cl, SO₄, (B), Br, Li, Mo, Sr, (Tl)); (2) vogelexcement-restanteffect na correctie (K, HCO₃, pH, NO₂, SiO₂, Cu); (3) continentaal Al- en Ca-rijk stof (Al, Ca, B, SiO₂, Cr, Cu, Ni); (4) Fe-rijk stof (Fe, SiO₂, pH, Cu); (5) industrieel stof (V, Cr, Cd en Eu); en (6) overig (Sc, Eu, Li en SO₄).

Bovenstaande, geïnterpreteerde clustering verdient nader onderzoek d.m.v. factor of cluster analyse. Het belang van een dergelijke analyse bestaat uit brondetectie van in regenwater opgeloste componenten.

Tabel 5.6. Gemiddelde samenstelling van bulk neerslag op 14 regenvangers in de periode september 2010 t/m mei 2011, gesorteerd op toenemende afstand tot de Noordzee HoogWaterLijn (X0HWL). De geel gemarkeerde cel markeert de maximum waarde (pH minimum). De KNMI bulk vangers zijn KB1 en WB2. N = aantal monsters waarover naar neerslag gewogen gemiddeld.

Site	Unit	BD2	BD1	AD1	K4	KB1	HN1	HN3	HZ2	HZ3	K3	K2	K1	HZ4	WB2	W1	PO1	OVE
N		15	16	14	12	22	4	4	4	4	19	12	19	17	22	20	7	4
X-HWL	m	85	86	151	223	225	225	225	225	225	228	265	272	515	710	719	1845	3556
EC	uS/cm	158	142	138	57	78	60	50	116	114	134	69	113	101	112	115	41	102
pH		5.6	5.3	5.2	5.2	4.8	4.8	5.1	5.7	5.7	4.9	5.3	5.1	5.3	4.8	5.8	5.4	4.9
Na	mg/L	14.4	11.9	10.1	8.7	11.8	8.9	6.9	7.3	6.9	10.7	10.3	7.3	4.5	7.0	5.2	3.3	3.2
K	mg/L	0.7	0.9	0.5	0.4	0.5	0.4	0.3	1.0	1.0	0.7	0.6	0.6	0.6	0.3	1.6	1.3	1.3
Ca	mg/L	2.5	2.3	1.4	1.5	1.3	1.4	2.0	1.6	1.5	1.4	1.8	1.4	1.1	0.9	1.3	1.7	1.7
Mg	mg/L	1.7	1.4	1.2	1.0	1.4	1.0	0.8	0.9	0.9	1.3	1.2	0.8	0.5	0.8	0.7	0.4	0.4
Fe	mg/L	0.003	0.006	0.010	0.005	0.007	0.007	0.003	0.004	0.002	0.010	0.004	0.006	0.005	0.007	0.004	0.008	0.012
Mn	mg/L	0.007	0.009	0.006	0.005	0.006	0.006	0.008	0.008	0.005	0.006	0.006	0.006	0.008	0.005	0.007	0.004	0.004
SiO ₂	mg/L	0.08	0.11	0.07	0.06	0.07	0.03	0.03	0.05	0.04	0.06	0.07	0.10	0.06	0.05	0.08	0.12	0.30
Cl	mg/L	26.5	21.4	18.0	15.4	20.9	16.0	12.4	13.2	13.1	19.8	18.2	13.0	8.0	12.4	10.2	5.8	7.4
SO ₄	mg/L	5.6	4.9	4.0	3.4	4.7	3.6	3.1	4.2	3.2	4.4	3.8	3.2	3.1	3.3	4.9	2.9	3.1
HCO ₃	mg/L	6.0	5.7	11.5	1.8	2.6	2.0	2.7	3.6	2.8	2.8	3.9	3.1	4.1	2.4	9.6	8.8	6.2
NO ₃	mg/L	2.2	2.1	2.0	1.8	2.8	2.4	2.4	2.6	2.8	2.1	1.8	2.1	2.3	2.6	1.9	2.3	2.6
NO ₂	mg/L	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.12	0.02	0.44
PO ₄	mg/L	0.10	0.10	0.10	0.01	0.05	0.02	0.00	0.10	0.10	0.10	0.01	0.10	0.10	0.10	0.10	0.05	0.10
Ag	ug/L	0.05	0.10	0.11	0.12	0.07	0.15	0.26	0.17	0.07	0.05	0.17	0.04	0.13	0.21	0.04	0.01	0.04
Al	ug/L	28	17	11	6	8	6	5	6	16	7	5	10	6	8	7	15	25
As	ug/L	0.8	0.2	0.4	0.6	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.2	0.5	0.5	0.6
B	ug/L	6.8	6.4	4.6	4.3	5.0	4.5	5.1	4.8	5.4	5.0	4.6	4.0	3.8	3.8	3.8	4.0	6.7
Ba	ug/L	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	2.6	2.9	2.1	1.2	1.5	1.5	1.6	2.0	1.2	0.9	2.8
Be	ug/L	0.003	0.003	0.003	0.005	0.006	0.004	0.005	0.007	0.005	0.004	0.006	0.004	0.004	0.005	0.004	0.001	0.002
Br	ug/L	72	51	49	41	58	37	34	35	50	58	52	41	25	34	32	31	25
Cd	ug/L	0.07	0.11	0.06	0.05	0.08	0.03	0.06	0.06	0.05	0.10	0.04	0.14	0.05	0.07	0.17	0.03	0.05
Co	ug/L	0.07	0.16	0.14	0.31	0.29	0.56	0.37	0.76	0.60	0.30	0.29	0.33	0.34	0.33	0.12	0.05	0.15
Cr	ug/L	0.13	0.20	0.09	0.10	0.14	0.05	0.01	0.02	0.07	0.09	0.07	0.13	0.09	0.18	0.10	0.15	0.20
Cu	ug/L	4.1	2.6	1.5	1.4	1.5	2.0	1.3	2.0	1.4	2.3	0.7	3.2	1.2	1.8	1.9	4.5	10.5
Eu	ug/L	0.09	0.12	0.14	0.08	0.13	0.01	0.01	0.03	0.00	0.09	0.07	0.08	0.07	0.11	0.11	0.08	0.05
Ho	ug/L	0.03	0.06	0.04	0.02	0.06	0.04	0.15	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.06	0.11
La	ug/L	0.01	0.04	0.05	0.06	0.09	0.05	0.04	0.11	0.12	0.03	0.02	0.04	0.10	0.06	0.04	0.01	0.01
Li	ug/L	0.34	0.37	0.26	0.29	0.31	0.24	0.21	0.19	0.24	0.29	0.40	0.25	0.31	0.22	0.28	0.08	0.10
Mo	ug/L	0.39	0.43	0.28	0.30	0.27	0.40	0.14	0.20	0.14	0.28	0.32	0.20	0.09	0.21	0.17	0.07	0.18
Ni	ug/L	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3
Pb	ug/L	0.5	7.5	8.4	1.3	1.1	2.4	6.1	3.2	1.0	2.0	0.7	1.7	0.7	0.9	0.6	0.6	1.1
Sc	ug/L	0.012	0.014	0.008	0.012	0.017	0.007	0.004	0.005	0.006	0.014	0.016	0.011	0.010	0.010	0.014	0.005	0.011
Sr	ug/L	19	16	12	11	13	11	12	11	10	12	13	9	7	8	9	7	6
Tl	ug/L	1.0	0.6	0.7	0.5	0.7	0.7	0.5	0.6	0.9	0.8	0.4	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4
V	ug/L	0.9	1.1	0.9	0.9	1.0	0.6	0.6	0.9	0.7	1.0	0.9	1.1	0.8	1.1	1.1	0.7	1.0
Yb	ug/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Zn	ug/L	6.3	8.5	6.7	6.3	6.9	7.0	9.6	6.1	10.3	11.3	6.8	9.0	7.0	7.0	6.1	8.4	10.7

Tabel 5.7. Correlatiematrix van de gemiddelde samenstelling van bulk neerslag op de 14 regenvangers in Tabel 5.6. De lineaire correlatiecoëfficiënten zijn als volgt gekleurd: licht groen = 0.5-0.8; donker groen = 0.8-1.0; turquoise = -0.5 tot -0.8; donker blauw = -0.8 tot -1.0.

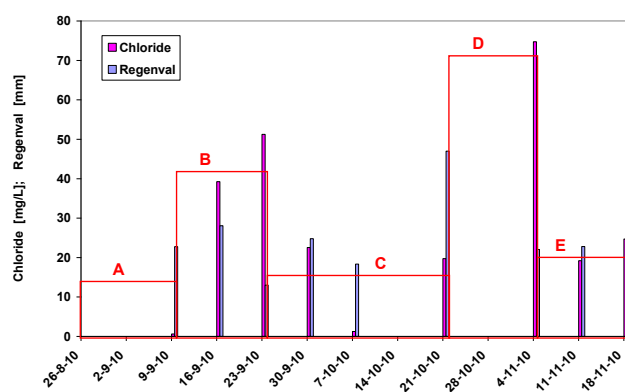
	X-HWL	EC	pH	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	SiO2	Cl	SO4	HCO3	NO3	NO2	PO4	Ag	Al	As	B
X-HWL	1.00																			
EC	-0.19	1.00																		
pH	-0.19	0.26	1.00																	
Na	-0.65	0.41	-0.06	1.00																
K	0.57	0.17	0.55	-0.45	1.00															
Ca	-0.05	0.16	0.33	0.44	0.13	1.00														
Mg	-0.64	0.43	-0.03	1.00	-0.41	0.45	1.00													
Fe	0.54	0.05	-0.66	-0.14	0.06	-0.29	-0.14	1.00												
Mn	-0.53	0.32	0.30	0.29	-0.11	0.26	0.28	-0.40	1.00											
SiO2	0.89	0.07	-0.16	-0.37	0.54	0.19	-0.36	0.55	-0.38	1.00										
Cl	-0.61	0.45	-0.04	1.00	-0.40	0.47	1.00	-0.12	0.28	-0.32	1.00									
SO4	-0.38	0.60	0.29	0.73	0.16	0.42	0.75	-0.16	0.46	-0.13	0.75	1.00								
HCO3	0.29	0.28	0.36	-0.15	0.57	0.15	-0.13	0.26	-0.05	0.34	-0.13	0.24	1.00							
NO3	0.24	-0.02	-0.13	-0.20	0.07	-0.18	-0.18	0.00	-0.18	0.08	-0.18	-0.18	-0.30	1.00						
NO2	0.88	0.04	-0.16	-0.44	0.51	0.01	-0.43	0.46	-0.32	0.88	-0.38	-0.15	0.21	0.21	1.00					
PO4	0.14	0.85	0.25	-0.07	0.41	-0.13	-0.04	0.17	0.14	0.25	-0.03	0.28	0.35	0.21	0.21	1.00				
Ag	-0.36	-0.27	-0.19	0.06	-0.82	-0.08	0.03	-0.27	0.36	-0.49	0.01	-0.24	-0.44	0.06	-0.29	-0.42	1.00			
Al	0.46	0.44	0.17	0.12	0.41	0.58	0.14	0.13	-0.26	0.64	0.18	0.25	0.35	0.19	0.48	0.43	-0.55	1.00		
As	0.22	0.13	0.33	-0.19	0.20	0.24	-0.19	-0.14	-0.13	0.32	-0.16	-0.11	0.16	-0.39	0.26	0.14	-0.39	0.38	1.00	
B	0.21	0.40	0.07	0.41	0.19	0.74	0.43	0.06	0.08	0.46	0.47	0.42	0.04	0.24	0.43	0.19	-0.20	0.77	0.11	1.00
Ba	0.20	-0.21	-0.25	-0.24	-0.14	-0.14	-0.26	0.04	0.07	0.09	-0.23	-0.32	-0.44	0.59	0.38	-0.14	0.53	-0.15	-0.27	0.17
Be	-0.52	-0.05	0.07	0.31	-0.40	-0.16	0.30	-0.42	0.30	-0.51	0.28	0.14	-0.60	0.15	-0.33	-0.22	0.54	-0.54	-0.26	-0.15
Br	-0.54	0.44	0.09	0.91	-0.26	0.46	0.93	-0.17	0.07	-0.28	0.92	0.68	-0.06	-0.11	-0.39	0.04	-0.20	0.28	-0.03	0.46
Cd	-0.16	0.48	0.18	0.08	0.30	-0.06	0.09	-0.05	0.36	0.03	0.10	0.46	0.22	-0.28	0.00	0.47	-0.34	-0.04	0.06	-0.10
Co	-0.34	-0.13	0.07	-0.07	-0.28	-0.29	-0.08	-0.33	0.16	-0.48	-0.09	-0.27	-0.65	0.42	-0.23	-0.10	0.49	-0.45	-0.21	-0.18
Cr	0.49	0.29	-0.29	0.01	0.26	0.07	0.02	0.46	-0.29	0.65	0.03	0.14	0.24	0.07	0.39	0.40	-0.50	0.58	-0.04	0.30
Cu	0.88	0.09	-0.18	-0.35	0.51	0.24	-0.33	0.52	-0.41	0.94	-0.29	-0.12	0.26	0.21	0.85	0.28	-0.48	0.73	0.37	0.53
Eu	-0.07	0.38	-0.15	0.34	0.02	-0.12	0.34	0.38	0.01	0.11	0.32	0.47	0.47	-0.35	-0.12	0.31	-0.34	0.07	-0.18	-0.10
Ho	0.15	-0.47	-0.01	-0.28	0.10	0.29	-0.27	-0.08	0.18	0.00	-0.28	-0.18	0.17	0.12	-0.04	-0.36	0.18	-0.10	-0.20	0.00
La	-0.40	0.06	0.24	-0.06	-0.17	-0.46	-0.07	-0.39	0.29	-0.50	-0.09	-0.10	-0.39	0.49	-0.31	0.16	0.30	-0.41	-0.31	-0.26
Li	-0.70	0.34	0.13	0.74	-0.37	0.22	0.73	-0.37	0.50	-0.43	0.72	0.58	-0.17	-0.46	-0.45	-0.07	0.14	-0.18	-0.07	0.10
Mo	-0.41	0.30	-0.19	0.84	-0.33	0.43	0.88	0.07	0.21	-0.13	0.84	0.62	-0.12	-0.32	-0.17	-0.14	0.06	0.17	-0.19	0.44
Ni	0.23	0.19	-0.20	0.22	0.17	0.49	0.21	0.29	0.16	0.43	0.24	0.27	0.11	0.00	0.27	0.13	-0.27	0.53	-0.06	0.55
Pb	-0.29	0.22	-0.06	0.27	-0.23	0.27	0.25	0.19	0.44	-0.13	0.26	0.11	0.28	-0.14	-0.17	0.03	0.34	-0.06	-0.31	0.21
Sc	-0.10	0.24	-0.18	0.47	0.00	0.00	0.48	0.15	0.06	0.16	0.48	0.54	-0.04	-0.34	0.06	0.05	-0.32	0.01	-0.07	0.12
Sr	-0.63	0.38	0.17	0.93	-0.32	0.69	0.93	-0.34	0.43	-0.34	0.93	0.73	-0.08	-0.24	-0.41	-0.11	0.12	0.22	-0.07	0.54
Ti	-0.51	0.58	0.21	0.52	-0.16	0.08	0.53	-0.25	0.04	-0.40	0.54	0.44	-0.05	0.18	-0.38	0.42	-0.30	0.28	0.13	0.18
V	0.12	0.53	-0.08	0.14	0.22	-0.11	0.15	0.28	0.08	0.36	0.15	0.41	0.13	-0.17	0.21	0.53	-0.30	0.16	-0.05	0.06
Yb	-0.22	0.16	-0.40	0.42	-0.27	-0.30	0.44	0.28	-0.25	-0.16	0.43	0.16	-0.42	0.14	-0.04	-0.01	-0.04	-0.13	-0.41	0.12
Zn	0.37	0.03	-0.25	-0.24	0.15	0.08	-0.21	0.33	-0.25	0.37	-0.20	-0.35	-0.18	0.28	0.36	0.16	-0.23	0.25	0.08	0.35

	Ba	Be	Br	Cd	Co	Cr	Cu	Eu	Ho	La	Li	Mo	Ni	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Yb	Zn
Ba	1.00																			
Be	0.43	1.00																		
Br	-0.39	0.22	1.00																	
Cd	-0.32	-0.01	0.08	1.00																
Co	0.67	0.67	-0.15	-0.28	1.00															
Cr	-0.30	-0.49	0.05	0.26	-0.64	1.00														
Cu	0.17	-0.54	-0.24	-0.06	-0.37	0.56	1.00													
Eu	-0.61	-0.19	0.30	0.46	-0.68	0.61	-0.06	1.00												
Ho	0.05	-0.25	-0.27	-0.03	-0.23	-0.16	0.04	-0.19	1.00											
La	0.39	0.58	-0.11	-0.07	0.73	-0.36	-0.51	-0.23	-0.27	1.00										
Li	-0.36	0.38	0.63	0.26	-0.07	-0.06	-0.57	0.35	-0.36	0.10	1.00									
Mo	-0.09	0.11	0.64	0.02	-0.08	0.12	-0.11	0.25	-0.37	-0.23	0.61	1.00								
Ni	0.02	-0.48	0.08	-0.01	-0.25	0.47	0.49	0.05	0.01	-0.39	0.02	0.54	1.00							
Pb	0.15	-0.07	0.09	0.05	-0.03	-0.13	-0.18	0.13	0.28	0.00	0.11	0.30	0.22	1.00						
Sc	-0.40	0.15	0.45	0.44	-0.41	0.46	-0.04	0.64	-0.39	-0.20	0.66	0.45	0.12	-0.25	1.00					
Sr	-0.20	0.25	0.85	0.05	-0.08	-0.09	-0.30	0.15	-0.10	-0.12	0.71	0.79	0.28	0.34	0.31	1.00				
Ti	-0.23	0.04	0.64	0.18	0.16	-0.10	-0.21	0.03	-0.36	0.22	0.24	0.29	0.02	-0.03	-0.03	0.45	1.00			
V	-0.20	0.05	0.09	0.69	-0.33	0.68	0.22	0.68	-0.41	-0.10	0.22	0.20	0.16	-0.07	0.64	0.01	-0.04	1.00		
Yb	0.09	0.26	0.41	0.01	0.25	0.10	-0.18	0.13	-0.51	0.22	0.30	0.46	-0.02	-0.04	0.43	0.18	0.28	0.18	1.00	
Zn	0.14	-0.27	-0.05	0.01	0.01	0.14	0.42	-0.31	0.24	-0.19	-0.34	-0.26	0.10	0.06	-0.14	-0.23	-0.03	-0.10	0.24	1.00

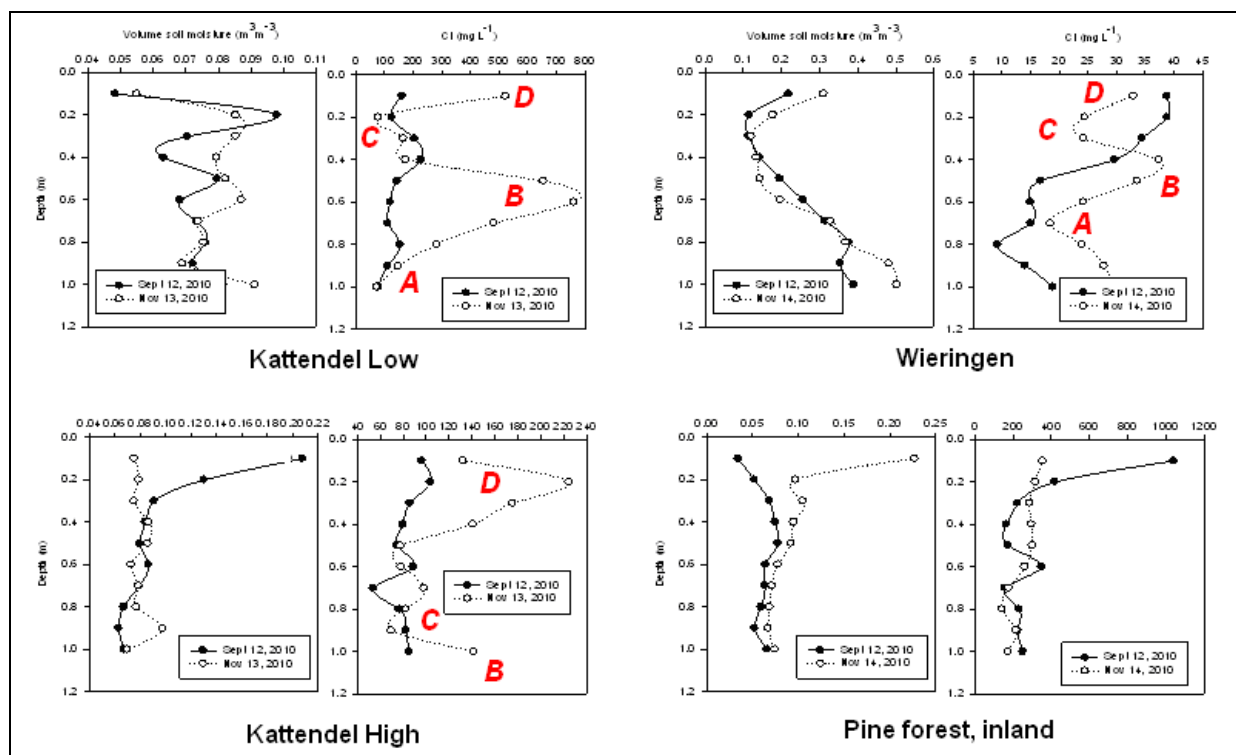
6 BODEMVOCHT EN ONDIEP GRONDWATER

6.1 Bodemvocht

Onderzoek aan bodemvocht (boven de grondwaterspiegel) is buitengewoon arbeidsintensief, maar kan zoals Wind (1952) destijds aantoonde zeer informatief uitpakken (zie ook Stuyfzand, 1993 p.213). De meetresultaten van Kumahor (2011), in het kader van voorliggend onderzoek, zijn voor Cl samengevat in Figuur 6.1 (inputsignaal van de neerslag in periode 26-8-2010 t/m 18-11-2010) en Figuur 6.2 (outputsignaal in bodemvochtprofiel op resp. 12-9-2010 en 13-11-2010).



Figuur 6.1. Verloop in neerslag en chloride concentratie voor KNMI bulk regenvanger Kattendel in de periode 25-8-2010 t/m 18-11-2010. Bijzondere episodes daarbinnen zijn gemarkeerd A t/m E. Chloride van episode A is geschat op basis van wind en neerslag data.



Figuur 6.2. Profielen van vochtinhoud en Cl-concentratie van bodemvocht in de bovenste meter onverzadigde zone op 4 locaties in het studiegebied, op 2 tijdstippen (gewijzigd naar Kumahor, 2011). Aangegeven zijn de veronderstelde posities van neerslagepisodes A t/m D.

Voor de locaties Kattendel Laag, Kattendel hoog en Wieringen lijkt het mogelijk de pieken en dalen in de input (neerslag; Figuur 6.1) terug te vinden in het bodemvochtprofiel (Figuur 6.2). Door kwantificering van de verplaatsingssnelheid van de gemerkte pieken bij de gemeten hoeveelheden bodemvocht en bruto neerslag, kunnen de grondwateraanvulling (R) en evapotranspiratie (E) voor de betreffende perioden worden vastgesteld. Zo vond Kumahor (2011) de volgende waarden voor R (% van bruto neerslag) en E (mm), voor de periode 20-9-2010 t/m 13-11-2010: R = 19 % en E = 190 mm voor Kattendel Laag, R = 31 % en E = 151 mm voor Kattendel Hoog, en R = 46 % en E = 156 mm voor Wieringen. Het voert te ver om de gevonden verschillen vergaand te interpreteren, omdat de meetperiode te kort is daarvoor.

In het geëxtraheerde bodemvocht zijn tevens alle in Tabel 2.2 genoemde bestanddelen gemeten. Deze blijken, in tegenstelling tot Cl, als gevolg van de toegepaste extractiemethode sterk verhoogd ten opzichte van het bovenste grondwater. Dit komt doordat de bij verdunning ontstane suspensie CO₂ en humuszuren oplost van organische bestanddelen van de bodemonsters, waarna deze zuren vervolgens kalk oplossen. De zo ontstane overmaat aan opgelost Ca leidt vervolgens tot desorptie van kationen van het adsorptiecomplex van de bodem die daardoor eveneens een sterk verhoogde concentratie te zien geven. Kortom voor vrijwel alle bestanddelen, met uitzondering van Cl, geldt dat de analyses op het via verdunning verkregen bodemvocht eerder een bodem- dan wateranalyse vertegenwoordigen; een bodemanalyse met milde extractie via water. De meetresultaten zijn nog in bewerking.

6.2 Algemene kenmerken van ondiep duingrondwater

Bijzonderheden

Ondiep grondwater is in tegenstelling tot bodemvocht in Hollands kustduinen zeer uitvoerig onderzocht (Stuyfzand, 1993). In de Kennemerduinen is dit echter slechts in zeer beperkte mate het geval geweest (Stuyfzand, 1987).

Duingrondwater neemt qua chemische samenstelling een zeer bijzondere plaats in, ook in Nederland. Dat komt volgens Stuyfzand (2010) vooral door: (a) de relatief hoge bijdrage van zeezouten via 'sea spray', (b) zeer grote fluctuaties in de tijd (vooral in de bovenste meters grondwater) als gevolg van grote fluctuaties in sea spray bijdrage en een relatief geringe dispersiviteit van duinzand (resultierend in propstroming, dus geringe vermenging), en (c) zeer grote ruimtelijke verschillen (vooral in de bovenste 20 meter) als gevolg van ruimtelijke verschillen in begroeiing (onbegroeid t/m dennen), diepte van de grondwaterspiegel beneden maaiveld (0-40 m), en samenstelling van de ondergrond (kalkloos en kalkrijk duinzand, veen, mariene klei).

Box 6.1 biedt een overzicht van de belangrijkste factoren van invloed op de chemische samenstelling van ondiep duingrondwater.

Eerder gevonden relaties met de kustafstand en begroeiingstype

Een vergroting van de afstand tot de Hoogwaterlijn Noordzee (X-HWL) resulteert in een tamelijk grote concentratiedaling voor met name Cl, Na, K, Mg, SO₄, Br en B (waarvan de concentraties in grondwater voor 30-100% stammen van sea spray; Stuyfzand, 1991, 1993). Dit effect wordt geaccentueerd naarmate de begroeiing hoger of dichter is, ten gevolge van toenemende evapotranspiratie en interceptiedepositie. De effecten zijn te kwantificeren met onderstaande relatie voor chloride waarvan het resultaat uit een eerdere studie is weergegeven in Figuur 6.3.

De Cl-concentratie van ondiep grondwater (Cl_G) is op basis van veel meetgegevens als volgt gekoppeld aan de kortste afstand tot de hoogwaterlijn HWL (X_{HWL} ; m), de correctiefactoren f_A en f_B , en het begroeiingstype (via de factor f_E), aannemende dat alle Cl afkomstig is van zeezout (Stuyfzand, 2010):

BOX 6.1 DE BELANGRIJKSTE FACTOREN VAN INVLOED OP GEBIEDSEIGEN DUINGRONDWATER (gewijzigd naar Stuyfzand, 1991; Stuyfzand & Lüers 2000).

- (a) *afstand tot de Noordzeekust.* Deze factor beïnvloedt de hoeveelheid gedeponeerd zeezout (landinwaarts afnemend) en onderstaande factoren b en c;
- (b) *begroeiingstype.* Dit bepaalt de verdampingsverliezen, en hoeveelheid interceptie van atmosferische aerosolen en gassen, opslag in biomassa, productie van CO₂, HCO₃⁻ en DOC, en stikstof-fixatie. De concentratie opgeloste stoffen van grondwater neemt toe volgens de reeks: kaal < mossen < grassen < duindoorn < eiken < dennen. De algemene volgorde voor nitraat is: snel groeiende dennen/eiken < kaal < eiken voorbij hun climaxstadium < mossen < duindoorns;
- (c) *kalkgehalte c.q. ontkalkingsdiepte.* Gebrek aan kalk of een grote ontkalkingsdiepte leidt tot lagere concentraties Ca²⁺ en HCO₃⁻. Bij een grotere ontkalkingsdiepte zien we meer atmosferisch CO₂-verlies en minder atmosferische depositie van NO_x- en SO₂ (sorptie reactie loopt niet af);
- (d) *interactie met veenlagen.* Duingrondwateren die duinveen passeerden, behoren tot de toppers wat betreft HCO₃⁻, Ca²⁺ en DOC, tot water met zowel de hoogste als laagste concentraties aan NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻, Fe²⁺, Mn²⁺ en SiO₂, en tot de minima wat betreft pH en Mg. Effecten van veenpassage hangen duidelijk af van het bereikte redoxniveau, dat vooral gedicteerd wordt door de positie van het veen ten opzichte van de grondwaterspiegel en door zijn dikte;
- (e) *dikte van de onverzadigde zone.* Een gemiddelde grondwaterstand binnen ca. 0,5 m-maaiveld (MV) kan tot anoxische omstandigheden (d.w.z. tenminste alle zuurstof en nitraat verdwenen) leiden door stagnatie van water in de humeuze bodemlaag. Bijgevolg ontstaan er soms hoge concentraties aan HCO₃⁻, DOC, NH₄⁺, Fe²⁺, Mn²⁺, PO₄³⁻ en SiO₂, en lage concentraties O₂, NO₃⁻ en SO₄²⁻. Waar de gemiddelde grondwaterstand dieper is dan 0,5 m-MV, domineren (sub)oxische omstandigheden (zuurstof- of nitraathoudend) in het gehele bodemprofiel en dientengevolge ook in het bovenste grondwater. Een langer verblijf in de (sub)oxische onverzadigde zone bij een diepere grondwaterstand bevordert duidelijk de verlaging van opgeloste organische koolstof;
- (f) *ouderdom van grondwater.* Variaties in atmosferische depositie (b.v. continentale versus mariene jaren) en verdamping (indampingsfactor voor de grondwateraanvulling) leiden tot grote verschillen in de grondwater-samenstelling op dezelfde plek;
- (g) *diepte van het meetpunt ten opzichte van maaiveld en/of de grondwaterspiegel.* Een grotere diepte kan b.v. een verdergaande afbraak van DOC afkomstig uit de strooisellaag aan maaiveld inhouden, alsmede een grotere vertraging van atmosferisch aangerijkte, weinig tot matig mobiele stoffen als zware metalen en PAK; en
- (h) *klimaat.* Veranderingen in temperatuur, neerslag, verdamping, periode met grootste bijdrage aan grondwateraanvulling, dominante windrichting, zeespiegelstand e.d. zijn van invloed op de grondwaterkwaliteit, omdat zij invloed uitoefenen op bovenstaande factoren. Een verandering van temperatuur heeft bovendien invloed op de ligging van mineraalevenwichten en de reactiekinetiek. De atmosferische CO₂-toename is te gering t.o.v. de bodemconcentraties om van directe betekenis voor de grondwaterkwaliteit te zijn.

$$Cl_G = f_E^{1.5} Cl_P = f_E^{1.5} f_B f_{LOC} \{550 [f_A X_{HWL}]^{-0.45} + 0.1\} \quad (6.1)$$

$$f_A = X_{N260E} / X_{HWL} \quad (6.2)$$

$$f_B = Cl_M / 16800 \quad (6.3)$$

$$f_E = P / (P - E) \quad (6.4)$$

waarin:

Cl_P = chloride in bulk regenwater [mg/L]

f_A = correctiefactor voor de langere afstand tot de HWL wanneer deze gemeten wordt langs de azimuth van 260° (X_{N260E}), waarlangs gemiddeld over het jaar de hardste wind (met snelheid >5 Beaufort) komt en waarmee de grootste vracht aan zeezouten wordt aangevoerd (Stuyfzand, 1986);

f_B = correctiefactor voor afwijkende gemiddelde Cl concentraties van kustnabij zeewater (Cl_M in mg/L) t.o.v een referentiewaarde (hier 16800 mg/L voor de kust nabij Zandvoort);

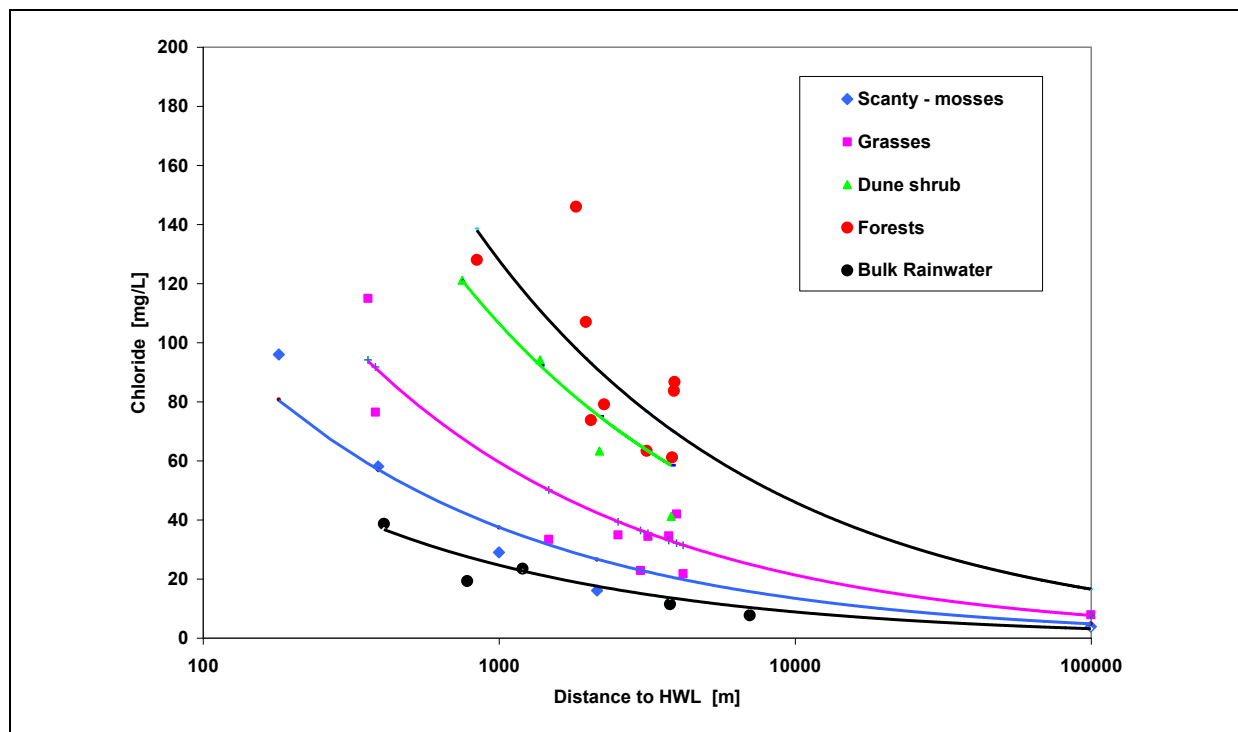
f_E = indampingsfactor volgens Eq.6.4,

f_{LOC} = een locatie-afhankelijke correctiefactor, voor buitensporig veel of weinig zeezoutdepositie (zoals resp. langs de ZW-rand van een aan veel wind blootgesteld bos, of diep in een groot bos dat op een windluwe plek staat). Deze factor kan a priori worden ingeschat, of wordt naderhand vastgesteld aan de hand van metingen van Cl_G.

P = jaartotaal van de neerslag [mm/jaar]; E = jaartotaal van de evapotranspiratie [mm/jaar]

Het jaartotaal van de evapotranspiratie kan geschat worden door hantering van door Stuyfzand (2010) opgestelde relaties met het jaartotaal van de bruto neerslag en vegetatietype.

De voorspelde curves in Figuur 6.3 matchen uitstekend met de meetwaarden voor de onderscheiden vegetatietypen, enkele relatief geringe afwijkingen daargelaten. Die afwijkingen zijn in veel gevallen toe te schrijven aan afwijkingen binnen de onderscheiden vegetatietypen (hoogte, expositie, dichtheid e.d.). Met locatie-afhankelijke correcties (niet toegepast in Figuur 6.3, zodat $f_{LOC} = 1$ in Eq.6.1) is het resultaat van voorspelling wellicht te verbeteren.



Figuur 6.3. Gemeten en met Eq.6.1 voorspelde gemiddelde Cl-concentraties in bulk regenwater en ondiep grondwater onder 4 begroeiingstypen, als functie van de afstand tot de HWL (langs N260oE). Meetgegevens grondwater in jaren 80 van 25 plots ondiep duingrondwater in Hollands kustduinen (data in Stuyfzand, 1993) en 3 plots op de Veluwe. Meetgegevens bulk regenwater (6 plots) ontleend aan Stuyfzand (1991).

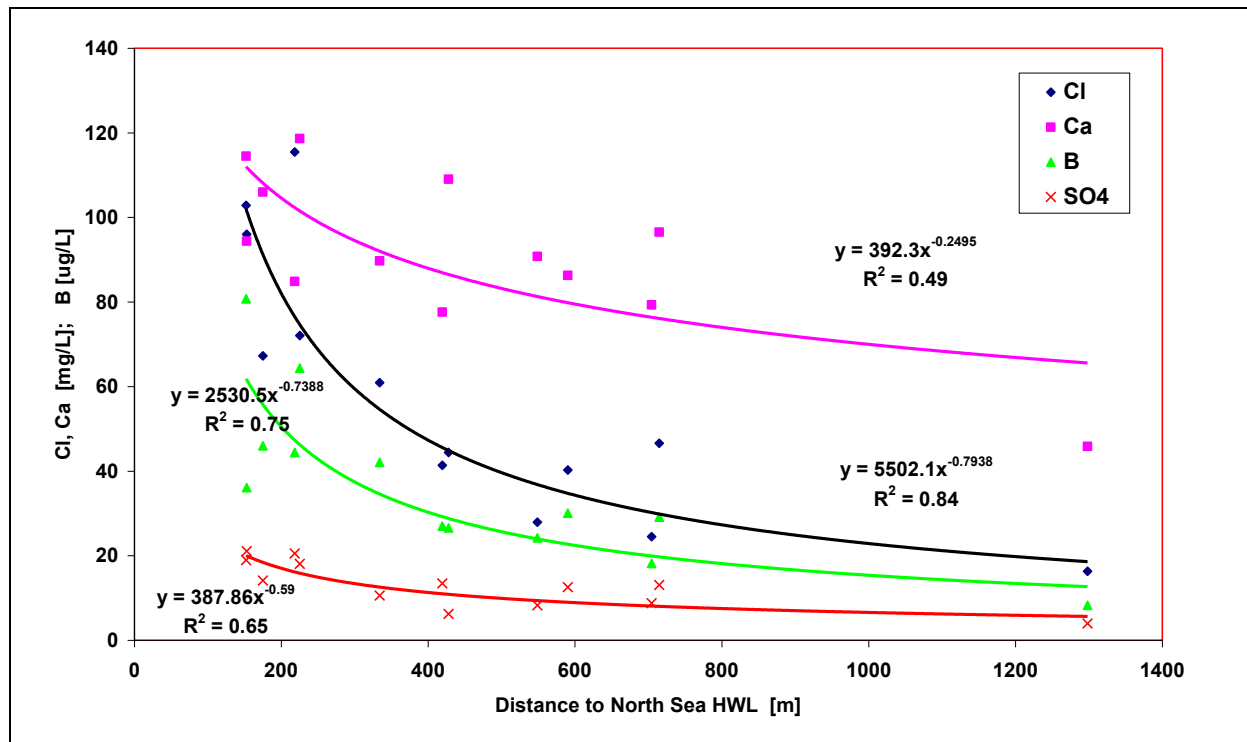
6.3 Eerste grondwater resultaten in de NW-kern

Tot begin oktober 2011 zijn in totaal 15 spiraalboringen uitgevoerd door Kumahor (2011) en Garcia-Perez (2011) op de in Figuur 2.3. Studiegebied met meetpunten bodemvocht (gele stippen). aangegeven locaties, waarbij de bovenste 1-2 meter van het grondwater bemonsterd is op 2-10 diepten. De 15 meetlocaties omvatten verschillen in vegetatietype en afstand tot de HWL. In Tabel 6.1 kunnen de gemiddelde chemische analyseresultaten hiervan (het zoute meetpunt D op het strand uitgesloten) vergeleken worden met die van gemiddeld regenwater. In Tabel 6.2 staat de gemiddelde samenstelling gerubriceerd voor 14 van de 15 meetpunten, waarbij opnieuw het zoute meetpunt D op het strand is uitgesloten. En in Figuur 6.4. Verband tussen de afstand tot de HoogWaterLijn en de concentraties van Cl, SO₄, Ca en B in ondiep duingrondwater onder schraal begroeid duinterrein. Gebaseerd op data in Tabel 6.2 waarbij meetpunt B (loofbos) uitgesloten. zijn de concentraties van Cl, SO₄, Ca en B uitgezet tegen de afstand tot de HWL.

Uit Tabel 6.1 kan worden opgemaakt dat de continentale bijdrage in duingrondwater aanzienlijk hoger is dan die in regenwater. Dat komt door oplossing van bodembestanddelen, vooral kalk (Ca, HCO₃ en Sr), silicaatmineralen (SiO₂, K, Mg, B, Co, Li, Ni, Yb) en ijzer(hydr)oxiden (Fe, Mn, As). Daardoor zijn de concentraties >50 maal hoger dan in regenwater voor Ca, HCO₃, SiO₂, Fe en Mn, en 5-50 maal hoger voor F, K, Mg, As, B, Co, Li, Ni, Sr en Yb. Voor zeezouten (Na, Cl en Br) en SO₄ geldt een factor van ca. 3.5. Bovenstaande betekent niet dat zeezouten in grondwater onder duinen langs de kust van weinig betekenis zouden zijn. In Tabel 6.1 gaat het nog altijd om een gemiddelde bijdrage van 21.5%, en er zijn uitschieters van 41% (G5).

Tabel 6.1. Overzicht van de gemiddelde samenstelling van de bovenste 1-2 m grondwater in het studiegebied, van bulk regenwater (locaties Kattendel en Wieringen) en van doorval onder een dennenbos. Turquoise cellen = hoogste waarde in grondwater; groene cellen = hoogste waarde in doorval; gele cellen = hoogste waarde in regenwater. RM, RC, RP = bijdrage aan TDS (Totaal opgeloste stoffen) door resp. Mariene bestanddelen, Continentale bestanddelen (of bodembestanddelen) en antropogene Pollutie.

Par.	Unit	Regenwater	Doorval	Grondwater	Par.	Unit	Regenwater	Doorval	Grondwater
n		44	79	57	Ag	ug/L	0.138	0.035	0.010
X-HWL	m	467	1674	525	Al	ug/L	8	46	9
Prec	mm/period	480	274		As	ug/L	0.2	0.5	3.9
EC-20	uS/cm	73	389	593	B	ug/L	4	32	36
pH		4.81	5.27	7.52	Ba	ug/L	2.0	6.2	3.1
Cl	mg/L	16.7	104.0	61.8	Be	ug/L	0.005	0.006	0.005
SO4	mg/L	4.0	23.9	13.9	Cd	ug/L	0.07	0.21	0.11
HCO3	mg/L	3	8	285	Co	ug/L	0.3	0.8	1.9
NO3	mg NO3/L	2.7	9.7	11.1	Cr	ug/L	0.16	0.32	0.30
PO4-t	mg PO4/L	0.099	0.260	0.094	Cu	ug/L	1.6	4.9	2.8
F	mg/L	0.02	0.07	0.10	Eu	ug/L	0.121	0.132	0.108
Br	ug/L	46	272	156	Ho	ug/L	0.044	0.036	0.021
Na	mg/L	9.4	56.2	38.3	La	ug/L	0.076	0.059	0.031
K	mg/L	0.4	6.5	2.0	Li	ug/L	0.3	1.5	5.1
Ca	mg/L	1.1	7.4	92.1	Mo	ug/L	0.2	0.6	0.5
Mg	mg/L	1.1	6.9	6.7	Ni	ug/L	0.1	0.6	1.5
Fe	mg/L	0.007	0.042	2.925	Pb	ug/L	1.0	3.6	1.3
Mn	mg/L	0.006	0.084	0.412	Sc	ug/L	0.014	0.010	0.020
NH4	mg NH4/L	0.694	2.412	0.077	Sr	ug/L	10	49	373
SiO2	mg SiO2/L	0.1	0.3	7.6	Tl	ug/L	0.6	1.0	0.3
%RM	%TDS	77.8	83.6	21.5	V	ug/L	1.1	1.0	0.4
%RC	%TDS	8.7	6.3	74.0	Yb	ug/L	0.015	0.014	0.296
%RP	%TDS	13.1	9.5	3.2	Zn	ug/L	7.0	23.2	18.3



Figuur 6.4. Verband tussen de afstand tot de HoogWaterLijn en de concentraties van Cl, SO4, Ca en B in ondiep duingrondwater onder schraal begroeid duinterrein. Gebaseerd op data in Tabel 6.2 waarbij meetpunt B (loofbos) uitgesloten.

Tabel 6.2. Gemiddelde samenstelling van de bovenste 1-2 m grondwater op 14 locaties in het studiegebied in de periode dec. 2010 -mei 2011, gesorteerd op opklimmende afstand tot de Noordzee HoogWaterLijn. De geel gemarkeerde cel markeert de maximum waarde (pH minimum). N = aantal monsters. Diverse sporenelementen en Fe gecorrigeerd voor filtratieproblemen.

Site	Unit	G6	G4	G3	G5	E	G2	G1	F	C	G8	G7	G	A	B
Veg		low												bare	forest
N		2	2	1	2	4	2	2	4	10	2	2	4	10	10
X-HWL	m	152	153	175	218	225	334	419	428	549	590	704	715	1298	1385
EC-20	uS/cm	802	675	601	667	717	573	489	615	487	556	438	544	228	913
pH		7.24	7.54	7.44	7.71	7.40	7.21	7.57	7.20	7.80	7.55	7.51	7.40	7.97	7.69
Na	mg/L	56.6	52.9	21.6	50.1	40.0	31.3	28.2	25.9	16.0	40.3	23.0	25.4	7.1	117.9
K	mg/L	3.0	1.9	4.7	2.9	3.0	2.1	1.6	1.4	1.9	1.1	0.9	1.0	1.1	1.4
Ca	mg/L	114.5	94.4	106.0	84.9	118.6	89.7	77.6	109.1	90.8	86.3	79.3	96.5	45.9	95.3
Mg	mg/L	12.1	10.0	6.4	10.6	9.1	8.1	6.2	5.7	2.1	6.1	3.7	4.7	2.3	6.7
Fe	mg/L	10.24	0.01	0.31	0.01	1.41	17.88	0.08	6.21	0.03	0.07	0.07	0.23	0.14	1.44
Mn	mg/L	1.515	0.116	0.099	0.097	1.136	0.591	0.017	0.791	0.070	0.070	0.522	0.591	0.015	0.137
SiO2	mg/L	13.1	8.8	8.4	7.1	7.7	10.1	5.9	8.9	5.3	4.8	6.3	6.9	4.5	8.1
Cl	mg/L	102.8	96.0	67.2	115.4	72.1	60.9	41.4	44.4	27.9	40.3	24.5	46.6	16.3	109.4
SO4	mg/L	19.0	21.1	14.2	20.5	18.1	10.6	13.4	6.2	8.3	12.6	8.8	13.1	4.0	24.6
HCO3	mg/L	346	260	230	198	404	268	213	371	275	290	261	307	127	442
NO3	mg/L	0.4	8.8	43.7	19.1	7.5	0.1	36.5	3.7	9.8	20.9	0.1	0.1	4.1	0.2
PO4-t	mg/L	0.169	0.108	0.039	0.165	0.036	0.079	0.017	0.009	0.041	0.005	0.015	0.013	0.179	0.443
F	mg/L	0.15	0.13	0.14	0.08	0.07	0.13	0.08	0.10	0.02	0.13	0.10	0.07	0.01	0.12
Al	ug/L	10	10	10	10	5.5	10	5.5	3.25	10	10	10	5.5	10	10
As	ug/L	17.4	2.2	2.9	1.6	1.4	6.1	1.5	3.9	1.9	2.0	1.4	2.0	1.7	8.0
B	ug/L	81	36	46	44	64	42	27	27	24	30	18	29	8	27
Ba	ug/L	2.2	0.1	2.2	0.4	3.6	5.2	3.3	4.6	5.4	2.2	2.4	4.5	1.6	5.4
Be	ug/L	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.004	0.006	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.008	0.027
Br	ug/L	272	241	25	447	130	91	122	164	64	80	62	106	60	317
Cd	ug/L	0.17	0.04	0.00	0.03	0.28	0.41	0.20	0.10	0.01	0.01	0.00	0.08	0.04	0.12
Co	ug/L	3.8	1.9	0.8	1.8	2.8	3.1	1.0	1.0	1.7	0.6	0.9	2.3	1.1	3.6
Cr	ug/L	0.1	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.6	0.7
Cu	ug/L	2.7	3.9	3.8	2.6	2.5	7.7	3.8	0.1	1.9	1.7	1.7	0.8	2.3	3.8
Eu	ug/L	0.08	0.12	0.02	0.03	0.26	0.13	0.18	0.25	0.03	0.03	0.03	0.26	0.03	0.07
Li	ug/L	9.8	5.5	4.7	7.5	8.2	6.4	4.6	4.9	3.2	3.3	2.9	4.0	1.6	5.5
Mo	ug/L	0.3	0.5	0.5	0.2	0.3	0.0	0.2	0.5	1.0	0.0	0.9	0.6	1.2	0.2
Ni	ug/L	3.6	0.9	0.6	0.5	1.1	1.1	0.0	0.1	1.3	0.8	0.8	0.9	0.6	8.7
Pb	ug/L	3.1	1.9	3.5	1.2	0.7	3.0	0.3	3.3	0.1	0.1	0.1	0.4	0.7	0.5
Sc	ug/L	0.006	0.003	0.012	0.003	0.022	0.018	0.017	0.042	0.030	0.015	0.015	0.016	0.023	0.055
Sr	ug/L	557	405	381	435	550	452	329	408	314	292	294	328	153	326
Tl	ug/L	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9	0.4	0.7	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
V	ug/L	0.3	0.1	0.5	0.1	0.1	1.4	0.3	0.1	0.4	0.1	0.1	0.2	0.3	2.1
Yb	ug/L	0.4	0.2	0.3	0.2	0.3	0.5	0.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.4
Zn	ug/L	12.9	5.4	11.0	3.6	43.0	64.8	30.2	22.5	5.7	11.3	13.9	18.9	4.2	9.0

Correctie voor filtratieproblemen

De meetresultaten moesten voor wat betreft Fe, Al, Ba, Be, Cr, Eu, La, Pb, Sc, V, Yb en Zn gecorrigeerd worden voor onvolkomenheden in de toegepaste filtratie over 0.45 µm. Dit gebeurde conform Stuyfzand (1993) als volgt, onder aanname dat de Al concentratie in basisch kalkrijk grondwater altijd <10 µg/L bedraagt vanwege extreem lage oplosbaarheid:

$$X_{FBC} = X_{MEAS} - \alpha_X (Al_{MEAS} - 10) \quad (6.5)$$

waarin: X_{FBC} = concentratie van X gecorrigeerd voor onvolkomen filtratie [µg/L]; X_{MEAS} = gemeten concentratie van X [µg/L]; α_X = correctiefactor voor X, zijnde de helling van de lineaire relatie tussen Al_{MEAS} en X_{MEAS} [-]; Al_{MEAS} = totaal aluminium in watermonster [µg/L].

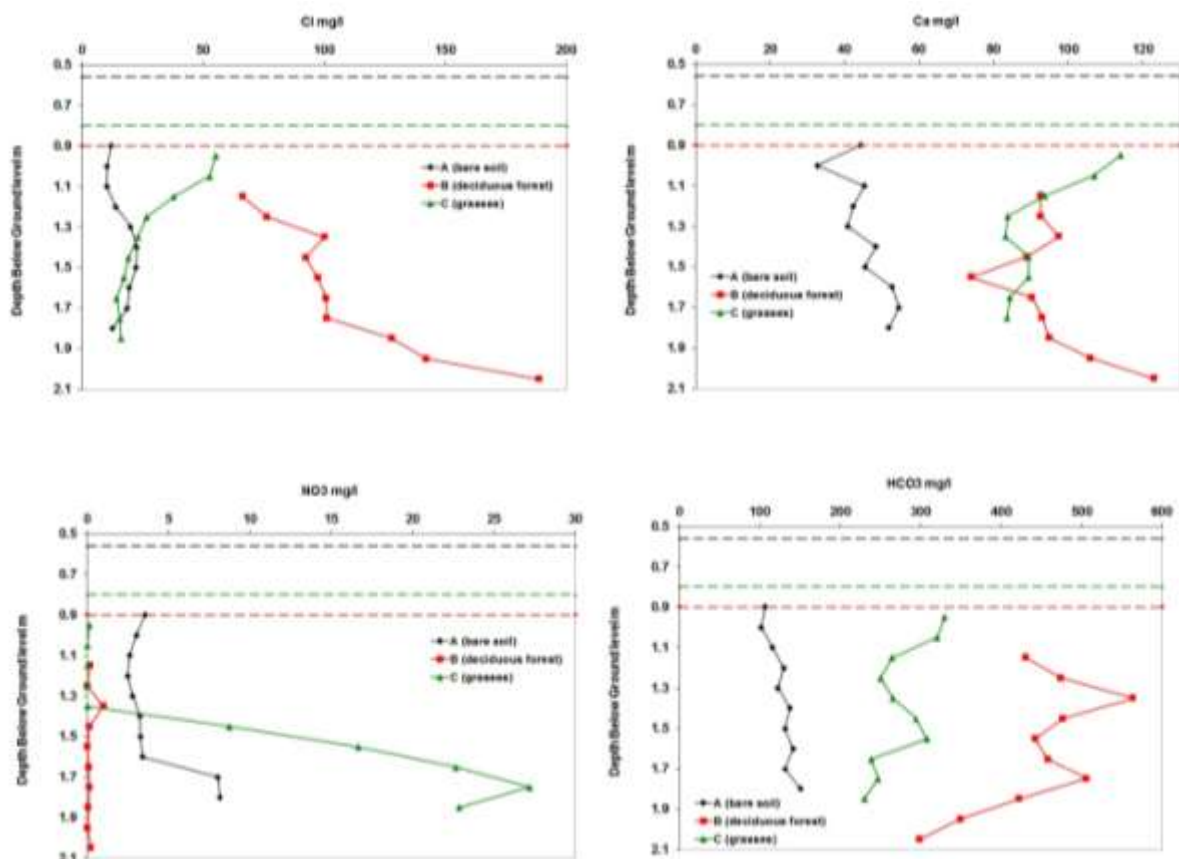
Invloed van de afstand tot de zee

Uit Figuur 6.4 kan worden afgeleid dat de elders gevonden inverse exponentiële relatie tussen Cl en X-HWL voor ondiep duingrondwater (Figuur 6.3) ook aanwezig is in de NW-kern. De vergelijking geldt voor relatief schraal begroeid duinterrein, en voor de periode waarin gemeten is. SO4, Ca en B vertonen een vergelijkbare relatie met X-HWL (Figuur 6.4), en zo ook de niet afgebeelde elementen Mg, Na, F, Br, Li en Sr. Het verloop van vooral Ca en Sr kan niet voor 100% gerelateerd worden aan zeezout, omdat de concentraties na correctie voor zeezout volgens Eq.5.4 nog steeds sterk positief zijn (Tabel 5.4). De landinwaartse afname van Ca en Sr onder schraal begroeid duinterrein moet derhalve gezocht worden in (a) een subtiele afname van de begroeiing qua dichtheid, hoogte en

expositie; (b) een afnemende N₂-fixatie; (c) een afnemend corroderend vermogen van infiltrerend regenwater verder van zee als gevolg van minder zeezout dat de ionsterkte verhoogt; en (d) mogelijk een afnemende depositie van atmosferische zuren t.g.v. schralere begroeiing, minder hygroscopisch zeezout en minder kalk in de bovenste bodemlaag.

Invloed van de begroeiing

De invloed van de begroeiing op de duinwaterkwaliteit volgt duidelijk uit de grote verschillen tussen de locaties A (kaal), B (loofbos) en C (schraal, d.w.z. voornamelijk duingrassen), zoals getoond in Tabel 6.2 en Figuur 6.5 (waarin het diepteverloop op de 3 locaties is weergegeven). We zien een toename van de concentraties aan zeezouten en opgelost calciumcarbonaat gaande van kaal naar schraal naar loofbos, dus bij een toename van de dichtheid en hoogte (dus ruwheid) van de begroeiing, conform Box.6.1. Onder loofbos zijn de NO₃ concentraties het laagst, mogelijk dankzij een sterke opslag in biomassa en denitrificatie in de strooisellaag. Onder gras zijn de NO₃ concentraties zeer variabel (bovenin nul, vanaf 1.4 m-MV oplopend tot 27 mg/L). Dergelijke variaties zijn waarschijnlijk het gevolg van laterale verschillen in begroeiing of veranderingen in grondwaterstand. De chloride toename met de diepte onder loofbos kan het gevolg zijn van laterale verschillen binnen het bos in interceptiedepositie of evapotranspiratie.



Figuur 6.5. Hydrochemische profielen op meetlocaties A, B en C waar een 1 m dikke laag ondiep duingrondwater bemonsterd is op 23 mei 2011 met de VU-spiraalboor (naar Garcia-Perez, 2011). De streeplijnen vertegenwoordigen de grondwaterstand ten tijde van boring (kleur van streeplijn gelijkgesteld aan bijbehorend hydrochemisch profiel).

Correlatiematrix

Met alle gegevens in Tabel 6.2 (dus incl. loofbos locatie B) is een Pearson lineaire correlatiematrix berekend (via EXCEL 'data analysis'), met als resultaat **Fout! Ongeldige bladwijzerverwijzing..** Door toevoeging van de loofbosgegevens met relatief veel zeezout op grote afstand tot de HWL, is de relatie tussen Cl en X-HWL aanzienlijk minder goed ($R = -0.30$) dan zonder ($R^2 = 0.84$; Figuur 6.4). In de correlatiematrix zijn de volgende clusters zichtbaar: (1) zeezout (Cl, X-HWL, EC, Na, Mg, SO₄, F, B, Br, Li, Sr); (2) kalkoplossing (EC, pH, Ca, HCO₃, Sr); (3) oplossing van silicaten en ijzer(hydr)oxiden (EC, pH, SiO₂, Mg, Fe, Mn, Cl, F, As, B, Co, Li, Yb); en (4) input van verontreinigingen via atmosferische depositie (Cd, Cu, V, Zn). Bovenstaande, geïnterpreteerde clustering verdient nader onderzoek d.m.v. factor of cluster analyse.

Tabel 6.3. Correlatiematrix van de gemiddelde samenstelling van ondiep duingrondwater op 15 meetpunten zoals vermeld in Tabel 6.2. De lineaire correlatiecoëfficiënten zijn als volgt gekleurd: licht groen = 0.5-0.8; donker groen = 0.8-1.0; turquoise = -0.5 tot -0.8; donker blauw = -0.8 tot -1.0.

	X-HWL	EC-20	pH	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	SiO ₂	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	PO ₄ -t	F	Al	As	B
X-HWL	1.00																		
EC-20	-0.24	1.00																	
pH	0.57	-0.40	1.00																
Na	0.23	0.84	-0.01	1.00															
K	-0.64	0.37	-0.24	0.01	1.00														
Ca	-0.58	0.75	-0.72	0.31	0.52	1.00													
Mg	-0.62	0.72	-0.46	0.49	0.52	0.55	1.00												
Fe	-0.26	0.22	-0.65	0.05	0.13	0.26	0.37	1.00											
Mn	-0.36	0.39	-0.72	0.06	0.20	0.65	0.46	0.54	1.00										
SiO ₂	-0.47	0.66	-0.72	0.37	0.47	0.67	0.73	0.70	0.71	1.00									
Cl	-0.30	0.86	-0.18	0.77	0.49	0.48	0.85	0.16	0.21	0.63	1.00								
SO ₄	-0.20	0.85	-0.06	0.83	0.36	0.45	0.74	-0.08	0.10	0.42	0.91	1.00							
HCO ₃	0.03	0.77	-0.48	0.62	-0.01	0.75	0.27	0.21	0.55	0.44	0.37	0.43	1.00						
NO ₃	-0.36	-0.12	0.14	-0.21	0.52	-0.03	0.02	-0.37	-0.48	-0.25	-0.02	0.06	-0.41	1.00					
PO ₄ -t	0.54	0.49	0.35	0.81	-0.02	-0.11	0.22	0.04	-0.11	0.22	0.59	0.55	0.26	-0.30	1.00				
F	-0.39	0.63	-0.64	0.47	0.35	0.52	0.64	0.42	0.28	0.68	0.55	0.51	0.34	0.13	0.13	1.00			
Al	0.13	0.00	0.41	0.21	0.16	-0.33	0.08	0.03	-0.33	0.02	0.22	0.20	-0.33	0.00	0.41	0.21	1.00		
As	-0.09	0.56	-0.42	0.47	0.22	0.40	0.52	0.60	0.62	0.81	0.49	0.34	0.41	-0.33	0.45	0.54	0.21	1.00	
B	-0.67	0.64	-0.56	0.26	0.70	0.74	0.83	0.41	0.71	0.76	0.63	0.54	0.38	0.03	0.02	0.51	0.01	0.62	1.00
Ba	0.31	0.13	-0.24	0.10	-0.23	0.25	-0.38	0.35	0.18	0.04	-0.25	-0.21	0.55	-0.30	0.05	-0.14	-0.36	0.12	-0.14
Be	0.71	0.40	0.35	0.77	-0.20	-0.14	-0.07	-0.08	-0.26	-0.01	0.34	0.42	0.36	-0.18	0.88	0.07	0.21	0.24	-0.23
Br	-0.10	0.65	0.05	0.70	0.14	0.19	0.67	0.02	0.09	0.38	0.85	0.73	0.23	-0.16	0.61	0.24	0.11	0.35	0.34
Cd	-0.21	0.25	-0.53	0.12	0.11	0.27	0.38	0.75	0.48	0.47	0.16	0.11	0.31	-0.23	0.03	0.18	-0.27	0.31	0.42
Co	0.01	0.68	-0.27	0.63	0.16	0.44	0.53	0.51	0.56	0.67	0.63	0.58	0.58	-0.55	0.59	0.26	0.12	0.70	0.59
Cr	0.89	-0.11	0.54	0.28	-0.28	-0.42	-0.53	-0.29	-0.41	-0.39	-0.17	-0.08	0.06	-0.06	0.59	-0.28	0.12	-0.11	-0.53
Cu	-0.17	0.17	-0.13	0.22	0.31	-0.06	0.35	0.56	-0.12	0.35	0.32	0.27	-0.14	0.12	0.27	0.38	0.43	0.21	0.22
Eu	-0.22	0.17	-0.56	-0.07	-0.12	0.45	0.15	0.18	0.48	0.22	-0.03	0.00	0.45	-0.21	-0.32	-0.06	-0.90	-0.07	0.18
Li	-0.58	0.76	-0.53	0.46	0.57	0.69	0.91	0.47	0.67	0.80	0.79	0.66	0.46	-0.10	0.23	0.48	-0.06	0.62	0.92
Mo	0.38	-0.66	0.49	-0.53	-0.28	-0.45	-0.71	-0.39	-0.19	-0.42	-0.60	-0.59	-0.38	-0.22	-0.14	-0.68	0.08	-0.30	-0.53
Ni	0.49	0.67	0.10	0.88	-0.06	0.20	0.17	0.09	0.09	0.32	0.53	0.59	0.61	-0.34	0.87	0.30	0.30	0.57	0.13
Pb	-0.51	0.28	-0.64	-0.04	0.58	0.46	0.47	0.63	0.39	0.77	0.33	0.02	0.07	0.07	-0.03	0.56	-0.03	0.49	0.49
Sc	0.64	0.18	0.10	0.35	-0.35	0.05	-0.44	0.02	-0.06	-0.13	-0.14	-0.12	0.55	-0.30	0.41	-0.21	-0.28	0.03	-0.39
Sr	-0.74	0.70	-0.69	0.27	0.61	0.83	0.83	0.50	0.73	0.79	0.64	0.52	0.50	-0.07	-0.05	0.49	-0.19	0.49	0.91
Ti	-0.29	0.08	-0.14	-0.06	0.21	0.22	0.23	-0.03	0.25	-0.06	0.01	0.16	0.16	0.23	-0.24	-0.18	-0.50	-0.22	0.33
V	0.46	0.42	-0.01	0.63	-0.04	0.02	0.02	0.41	-0.10	0.26	0.32	0.31	0.37	-0.24	0.71	0.27	0.27	0.36	-0.06
Yb	-0.21	0.50	-0.76	0.24	0.19	0.63	0.28	0.80	0.55	0.66	0.21	0.07	0.64	-0.32	0.04	0.45	-0.24	0.47	0.41
Zn	-0.27	0.05	-0.61	-0.13	0.07	0.25	0.19	0.69	0.40	0.30	-0.09	-0.12	0.22	-0.13	-0.28	0.16	-0.36	0.05	0.27

	B	Ba	Be	Br	Cd	Co	Cr	Cu	Eu	Li	Mo	Ni	Pb	Sc	Sr	Ti	V	Yb	Zn
B	1.00																		
Ba	-0.14	1.00																	
Be	-0.23	0.32	1.00																
Br	0.34	-0.29	0.34	1.00															
Cd	0.42	0.44	0.05	0.00	1.00														
Co	0.59	0.33	0.42	0.47	0.58	1.00													
Cr	-0.53	0.29	0.79	-0.14	-0.16	-0.01	1.00												
Cu	0.22	0.07	0.23	0.04	0.62	0.38	-0.01	1.00											
Eu	0.18	0.37	-0.19	-0.04	0.52	0.20	-0.23	-0.17	1.00										
Li	0.92	-0.08	-0.03	0.62	0.53	0.70	-0.48	0.29	0.27	1.00									
Mo	-0.53	-0.04	-0.13	-0.43	-0.52	-0.34	0.27	-0.43	-0.20	-0.63	1.00								
Ni	0.13	0.34	0.88	0.44	0.10	0.68	0.53	0.19	-0.18	0.27	-0.23	1.00							
Pb	0.49	-0.07	-0.22	0.09	0.27	0.17	-0.30	0.31	0.12	0.46	-0.24	-0.08	1.00						
Sc	-0.39	0.75	0.67	-0.05	0.10	0.16	0.69	-0.15	0.18	-0.23	0.08	0.55	-0.14	1.00					
Sr	0.91	0.01	-0.25	0.40	0.54	0.58	-0.62	0.23	0.39	0.94	-0.58	0.07	0.53	-0.25	1.00				
Ti	0.33	0.10	-0.12	-0.07	0.58	0.11	-0.14	0.15	0.53	0.35	-0.33	-0.19	-0.19	-0.04	0.39	1.00			
V	-0.06	0.56	0.81	0.17	0.42	0.57	0.55	0.60	-0.12	0.11	-0.31	0.77	0.10	0.59	-0.02	-0.15	1.00		
Yb	0.41	0.67	0.09	-0.03	0.70	0.55	-0.13	0.37	0.43	0.46	-0.46	0.28	0.56	0.38	0.58	0.08	0.53	1.00	
Zn	0.27	0.48	-0.16	-0.26	0.92	0.29	-0.23	0.54	0.54	0.32	-0.45	-0.16	0.24	0.06	0.43	0.57	0.28	0.69	1.00

7 PLANNING VAN HET VERVOLG

De windmetingen worden continu uitgevoerd tot eind december 2011. Afhankelijk van de planning van de ingreep, en de aard van de verzamelde gegevens kan dan beoordeeld worden of verdere metingen noodzakelijk zijn.

De zoutmetingen worden voorlopig doorgezet met een 2-wekelijkse opname. Zo mogelijk zal na een storm een wekelijkse opname worden uitgevoerd. Inmiddels is het meetnet iets aangepast, door niet meer met 5 potjes per locatie te bemonsteren, maar met 4. De vrijkomende potjes zijn in de zeereep en verder landwaarts geplaatst.

De vervolgmetingen aan regenwater concentreren zich op de locaties Kattendel en Wieringen, met KNMI vangers KB1 en WB2 en een tweewekelijkse meetfrequentie. Sinds 20 september 2011 is op de locatie Wieringen tevens een windafhankelijke regenvanger operationeel. Deze wordt gelijktijdig met de KNMI vangers bemonsterd.

Momenteel (medio september t/m eind oktober 2011) loopt een veldcampagne met de spiraalboor, waarmee op 20 locaties in het studiegebied hydrochemische diepteprofielen worden genomen, door vanaf de grondwaterspiegel tot 1.5 m daaronder 10 grondwatermonsters te nemen.

Om voor beide bulkregenvangers ook meteorologische gegevens te hebben is mast 3.1 op 27 september verplaatst van Houtglop-noord naar Wieringen. Deze nieuwe locatie geeft meer inzicht in de wind op een iets grotere afstand van de zee, en achter de tweede parabolenserie (verlengde Kattendel). Het is mogelijk deze mast ook op andere locaties in te zetten zodat een uitgebreider beeld van de ruimtelijke variatie in wind ontstaat.

Vanaf eind december 2011 zal de ingreep gefaseerd plaatsvinden. In 2011 worden de verschillende oppervlakken geklepeld en zullen de parabolen bij Wieringen en Cremermeer worden afgeplagd. Eind 2012 zullen de kerven worden aangelegd. In ieder geval na die tijd zullen gedurende circa twee jaar vervolgmetingen moeten worden uitgevoerd om het effect van de ingreep te kunnen bepalen. Omdat hier voorlopig nog geen voldoende financiële dekking voor is, zullen aanvullende bronnen moeten worden gezocht. Één mogelijkheid is om bij het Deskundigenteam Duin- en Kustlandschap van OBN een onderzoeksubsidie aan te vragen. Die zou op zijn vroegst in 2013 kunnen worden toegekend. De aanvraag moet voor eind 2011 bij OBN worden ingediend.

8 CONCLUSIES

De windmetingen geven goed inzicht in de ruimtelijke variatie: er zijn duidelijke verschillen tussen de verschillende locaties. Het patroon dat hieruit komt is consistent en lijkt onafhankelijk van de windsnelheid. De ingrepen zullen naar verwachting een effect hebben op dit patroon en zo aantoonbaar zijn. De wind in Kattendel wordt overduidelijk beïnvloed door het lokale reliëf (getrechterd), waardoor bijna alleen wind hetzij uit het zuidwesten, hetzij uit het noordoosten komt. De wind in Houtglop is veel minder beïnvloed en is qua patroon van windrichting vergelijkbaar met de wind bij IJmuiden.

De periode waarover gemeten is, oktober 2009 tot september 2011 heeft enkele windrijke perioden gekend, met incidenteel storm. Zware storm is niet voorgekomen. Wanneer de perioden onderling vergeleken worden (2009-2010 en 2010-2011) en met langjarige gegevens van IJmuiden, dan blijkt de windfrequentieverdeling representatief te zijn.

De zoutmetingen geven inzicht in de ruimtelijke variatie: er is een duidelijke gradiënt in zoutgehalte, het gehalte neemt af met toenemende afstand vanaf zee. Ook is er een duidelijk (exponentieel) verband met de windsnelheid: de relatie tussen windsnelheid en zoutinput op een bepaalde locatie geeft een redelijke correlatie voor alle locaties. De metingen met de zoutvangers zijn betrouwbaar. Voor de vijf potjes per locatie zijn de waarden over het algemeen zeer goed vergelijkbaar, er is zelden sprake van uitbijters.

Metingen van de regenwaterkwaliteit in de NW-kern in de periode 1 september 2010 t/m 30 mei 2011 met 20 bulk regenvangers laten een dominante invloed zien van zeezout, gevolgd door invloeden van vogel-excrementen, continentaal stof en in beperkte mate luchtverontreiniging. Na correctie voor vogel-excrementen vertoont de correlatiematrix van de dataset de volgende clustering van onderling sterk correlerende parameters, die als invloedsfactor scoren: (1) zeezout (afstand tot zee, EC, Na, Mg, Cl, SO₄, B, Br, Li, Mo, Sr, (Tl)); (2) vogel-excrement-restanteffect na correctie (K, HCO₃, pH, NO₂, SiO₂, Cu); (3) continentaal Al- en Ca-rijk stof (Al, Ca, B, SiO₂, Cr, Cu, Ni); (4) Fe-rijk stof (Fe, SiO₂, pH, Cu); (5) industrieel stof (V, Cr, Cd en Eu); en (6) overig (Sc, Eu, Li en SO₄).

Tussen de EC metingen met de bulk vangers en die met de spray collectoren zijn zeer bruikbare relaties gevonden (Eq.5.7) alleen na verdiscontering van de hoeveelheid regenval. Veel interessanter zijn evenwel de goede relaties tussen de EC metingen en de berekende EC waarden op basis van windgegevens (richting en snelheid) en regenvaldata: Eq 5.8 voor de spraycollectoren, en Eq.5.11 voor de bulk regenvangers. Met de beschikbare langdurige tijdreeksen van regen- en windgegevens kunnen we nu zeezout-tijdreeksen aanvullen en voorspellingen doen over toekomstige zoutdeposities bij diverse klimaatscenario's of scenario's van kustverbreding of kustafslag.

Metingen aan gestoken kernen van bodemvocht blijken herkenbare zoutpieken en zoutdalen te vertonen die aan neerslagdata gekoppeld kunnen worden. Daarmee zijn de grondwateraanvulling en derhalve ook de evapotranspiratie te kwantificeren. Nadeel van dergelijk onderzoek is dat het zeer veel werk is om de waterfase te scheiden.

Metingen aan de kwaliteit van ondiep duingrondwater (0-2 m onder de grondwaterspiegel) met de VU-spiraalboor laten vergelijkbare patronen zien als de regenmetingen, maar bevatten daarop gesuperponeerd natuurlijk ook de patronen van bodemreacties. De belangrijkste bodemreacties zijn, in volgorde van afnemend belang, kalkoplossing, oxidatie organische stof, oplossing van silicaten en ijzer(hydr)oxiden, en kationuitwisseling. De patronen worden gedomineerd door de zeewaarts toenemende zeezoutdepositie en landinwaarts toenemende begroeiing. In dit onderzoek, op de onderzochte meetpunten relatief dicht bij zee, is evenwel geen sprake van een duidelijke landinwaartse toename van de begroeiing, eerder van het tegenovergestelde.

Na correctie voor onvolkomenheden in de toegepaste filtratie van watermonsters over 0.45 μm vertoont de correlatiematrix van de dataset de volgende clustering van onderling sterk correlerende parameters, die als invloedsfactor scoren: (1) zeezout (Cl, X-HWL, EC, Na, Mg, SO₄, F, B, Br, Li, Sr); (2) kalkoplossing (EC, pH, Ca, HCO₃, Sr); (3) oplossing van silicaten en ijzer(hydr)oxiden (EC, pH, SiO₂, Mg, Fe, Mn, Cl, F, As, B, Co, Li, Yb); en (4) input van verontreinigingen via atmosferische depositie (Cd, Cu, V, Zn).

9 AANBEVELINGEN

Vanaf eind december 2011 zal de ingreep gefaseerd plaatsvinden. In 2011 worden de verschillende oppervlakken geklepeld en zullen de parabolen bij Wieringen en Cremermeer worden afgeplagd. Eind 2012 zullen de kerven worden aangelegd. In ieder geval na die tijd zullen gedurende circa twee jaar vervolgmetingen moeten worden uitgevoerd om het effect van de ingreep te kunnen bepalen.

Aanbevolen wordt om de metingen met de regenvangers voort te zetten zolang als nodig (1-2 jaar na de ingrepen). Metingen aan ondiep grondwater met de spiraalboor dienen herhaald te worden 0.5-1 jaar nadat de ingrepen zijn uitgevoerd. Als er nog veel tijd verstrijkt tussen heden en de ingrepen (>0.5-1 jaar), dan dient op enkele meetpunten opnieuw de grondwaterkwaliteit met de spiraalboor te worden opgenomen. Dankzij nauwkeurige inmeting van de meetpunten met GPS kunnen herhalingen op vrijwel dezelfde plek plaats vinden.

Om vogelxcrementen te voorkomen zullen de bulk regenvangers type KNMI worden uitgerust met een vogelafweer. Bovendien zal voortaan een propje glaswol in de trechtermond worden geplaatst ter preventie van instroom van stof in de collector.

De filtratie in het veld van grondwater zal voortaan geschieden met geprefabriceerde filtersets, waardoor kortsluitstroming uitgesloten wordt. Bovendien zal beter gelet worden op preventie van meebemonstering van slibdeeltjes uit de ondergrond opdat het filtreren geen zware klus wordt. Dit kan gerealiseerd worden door de Edelmanboring, bedoeld voor overbrugging van de onverzadigde zone, niet meer tot in het bovenste grondwater door te zetten. In plaats daarvan wordt eerst met de Edelman in een aparte boring op 0.5-1 m afstand een verkenning uitgevoerd tot in het grondwater. Vervolgens wordt op de gewenste bemonsteringsplek ernaast met de Edelman geboord tot net iets boven de top van de volcapillaire zone om daarna met de spiraalboor door te gaan.

Om het regen- en bodemwateronderzoek voort te kunnen zetten, zullen aanvullende bronnen moeten worden gezocht. Één mogelijkheid is om bij het Deskundigenteam Duin- en Kustlandschap van OBN een onderzoeksubsidie aan te vragen. Die zou op zijn vroegst in 2013 kunnen worden toegekend. De aanvraag moet voor eind 2011 bij OBN worden ingediend.

10 LITERATUUR

- Arens, S.M., Kaam-Peters, H.M.E. Van & Boxel, J.H. Van, 1995. Air flow over foredunes and implications for sediment transport. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20: 315-332.
- Arens, S.M., H.F. Everts, J.A. Klijn & N.P.J. de Vries, 2007. Guidelines for the monitoring programme “effects of Maasvlakte 2 on the dunes of Voorne and Goeree”; signals and noise: how to distinguish between Maasvlakte 2 generated effects and other effects? Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek RAP2006.09 in opdracht van RWS-RIKZ.
- Doomen, A., P. Van Bodegom, A. Meuleman, D. Assendorp & R. de Bruyne, 2006. Monitoring ecologie van het duingebied van Voorne en Goeree. Nulsituatie voor de aanleg van de Tweede Maasvlakte. Rapportnr. KWR 06.060, KIWA, Nieuwegein.
- García Pérez, C. 2011. Rain and groundwater quality in NW part of Zuid-Kennemerland National Park, The Netherlands. Thematic Research Project for Msc Hydrology, Internal VU student report, 53p.
- Gremmen, N.J.M. & O.F.R. Van Tongeren, 1999. De invloed van salt spray op veranderingen in de vegetatiestructuur in het duingebied van Voorne en Goeree tussen 1934 en 1989. Bureau Data Analyse Ecologie, Diever/Westervoort in opdracht van PMR Rotterdam.
- Gremmen, N.J.M. & O.F.R. Van Tongeren, 2000. Salt spray-onderzoek: Advies aangaande de vaststelling van een meetprogramma voor salt spraymetingen in Voorne en Goeree. Bureau Data Analyse Ecologie, Diever/Westervoort in opdracht van PMR Rotterdam.
- Kumahor, S.K., 2011. A baseline study of sea spray deposition and groundwater quality in north-west part of Zuid-Kennemerland National Park, Netherlands. Thematic Research Project for Msc Hydrology, Internal VU student report, 56p.
- Kiwa/VU, 2005. Ecological survey of the dune area of Voorne and Goeree. Project proposal for the Baseline Study Rotterdam Mainport (lot 7). Kiwa N.V. and Vrije Universiteit Amsterdam.
- Leeuw, G. de & M. Moerman, 1999. Zeezout in de lucht aan de kust bij Voorne: concentraties en aanvoer door de lucht in relatie tot de meteorologische omstandigheden. Fysisch en Elektronisch Laboratorium, TNO, Den Haag, i.o. Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten
- Malloch, A.J.C. 1997. Influence of salt spray on dry coastal ecosystems. In: E. van der Maarel (ed.) *Dry coastal ecosystems - General aspects*. *Ecosystems of the World*, 2C, pp. 411-420. Elsevier, Amsterdam.
- Marchand, M., M. Jansen, G. Van Holland en M. Stive, 1999. Veranderingen in de zoutnevel (salt spray) ten gevolge van een gewijzigd golfklimaat in de monding van het Haringvliet (RWS Zuid-Holland/WL | Delft Hydraulics voor Samenwerkingsverband Maasvlakte 2 Varianten).
- Maun, M.A. & J. Perumal, 1999. Zonation of vegetation on lacustrine coastal dunes: effects of burial by sand. *Ecology Letters* 2: 14-18.
- Ridder, T.B., J.H. Baard & T.A. Buishand 1984. De invloed van monstermethoden en analysetechnieken op gemeten chemische concentraties in regenwater. KNMI rapport TR-55, 42p.
- Stuyfzand, P.J. 1986. Macroparameters bij duininfiltratie; kwaliteitsveranderingen van oppervlaktewater bij kunstmatige infiltratie in de Nederlandse kustduinen. KIWA-Meded. 82, 336p.
- Stuyfzand, P.J. 1987. Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tussen Zandvoort en Wijk aan Zee; kaartbladen 24F en 25A. Kiwa rapport SWE 86.016, 203p.
- Stuyfzand, P.J. 1991. De samenstelling van regenwater langs Hollands kust. KIWA-rapport SWE-91.010, 70p.
- Stuyfzand, P.J. 1993. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Ph.D Thesis Vrije Univ. Amsterdam, published by KIWA, ISBN 90-74741-01-0, 366 p.

- Stuyfzand, P.J. 2010. Modellerings kwaliteit ondiep (duin)grondwater en ontkalking, inclusief effecten van klimaatverandering en kustuitbreiding: DUVELCHEM. KWR-rapport BTO 2010.031(s), 86p.
- Stuyfzand, P.J. & F. Lüers 2000. Balans van milieugevaarlijke stoffen in natuurterreinen met en zonder kunstmatige infiltratie. Kiwa-Meded. 126, 241p.
- Verdam, B., 2001. Onderzoek naar de zoutdepositie aan de monding van het Haringvliet en Nieuwe Maas. Rapportnr BL2001.1877.01, Buro Blauw B.V. Luchthygiëne, onderzoek en advies, Wageningen.
- Vertegaal, C.T.M., 1999. Effecten van salt spray(reductie) op natuurwaarden in de duinen: Literatuuroverzicht en analyse van leemten in kennis. PMR, rapport 119.
- Wind, R. 1952. Verslag van een onderzoek naar de invloed van de vegetatie op de kwaliteit van het duinwater. TNO-Meded. (12), Instit. Toegepast Biol. Onderz. Natuur, Mariendaal, Oosterbeek, 127 p.

BIJLAGE 1. WINDGEGEVENS VIA INTERNET

Website met de windgegevens voor het project Noordwestkern:

www.koenders-instruments.com

In de rechterbovenhoek klikken op THEMIS database.

Er opent zich een nieuwe pagina. Vul in:

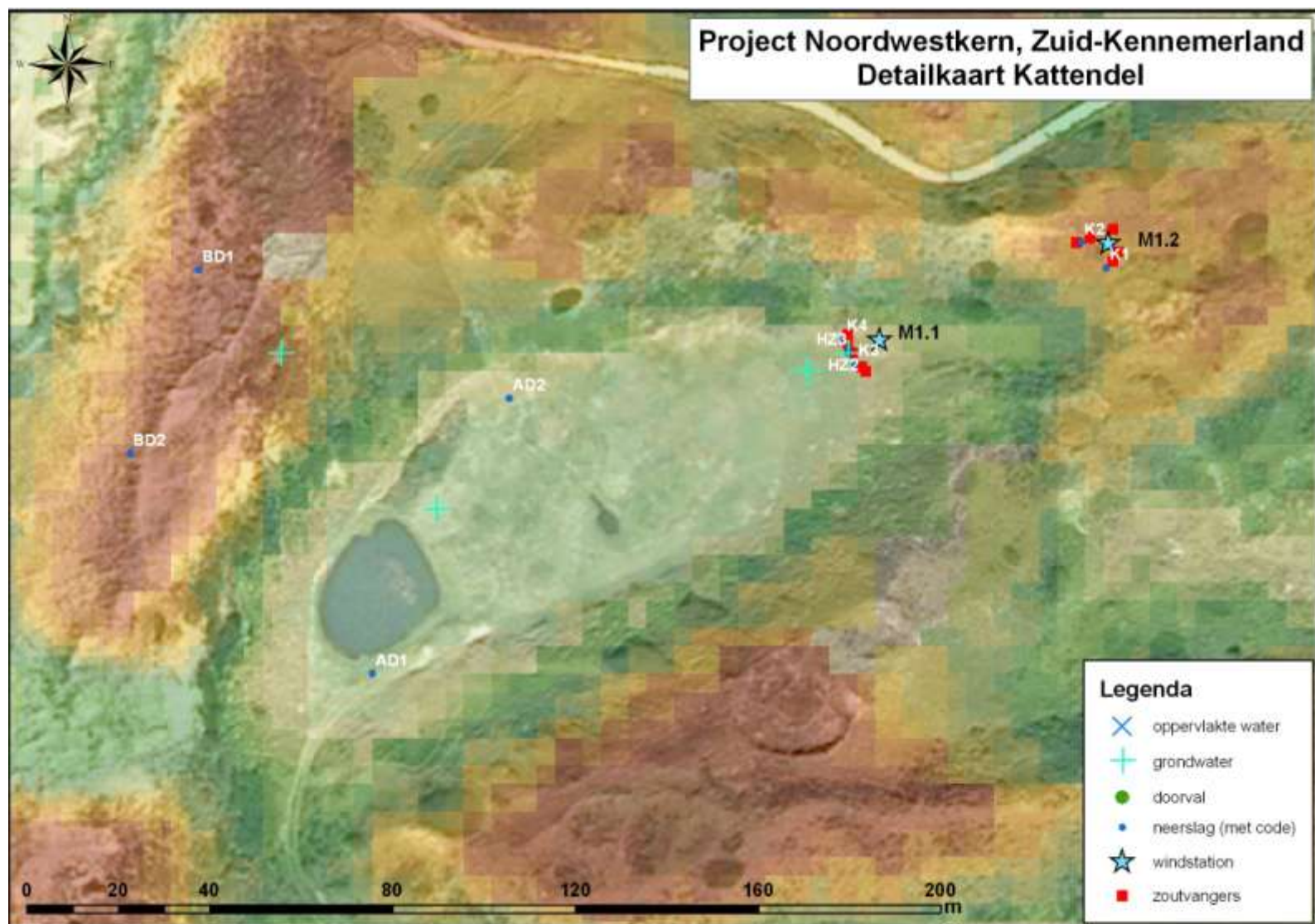
Loginnaam: PWN01

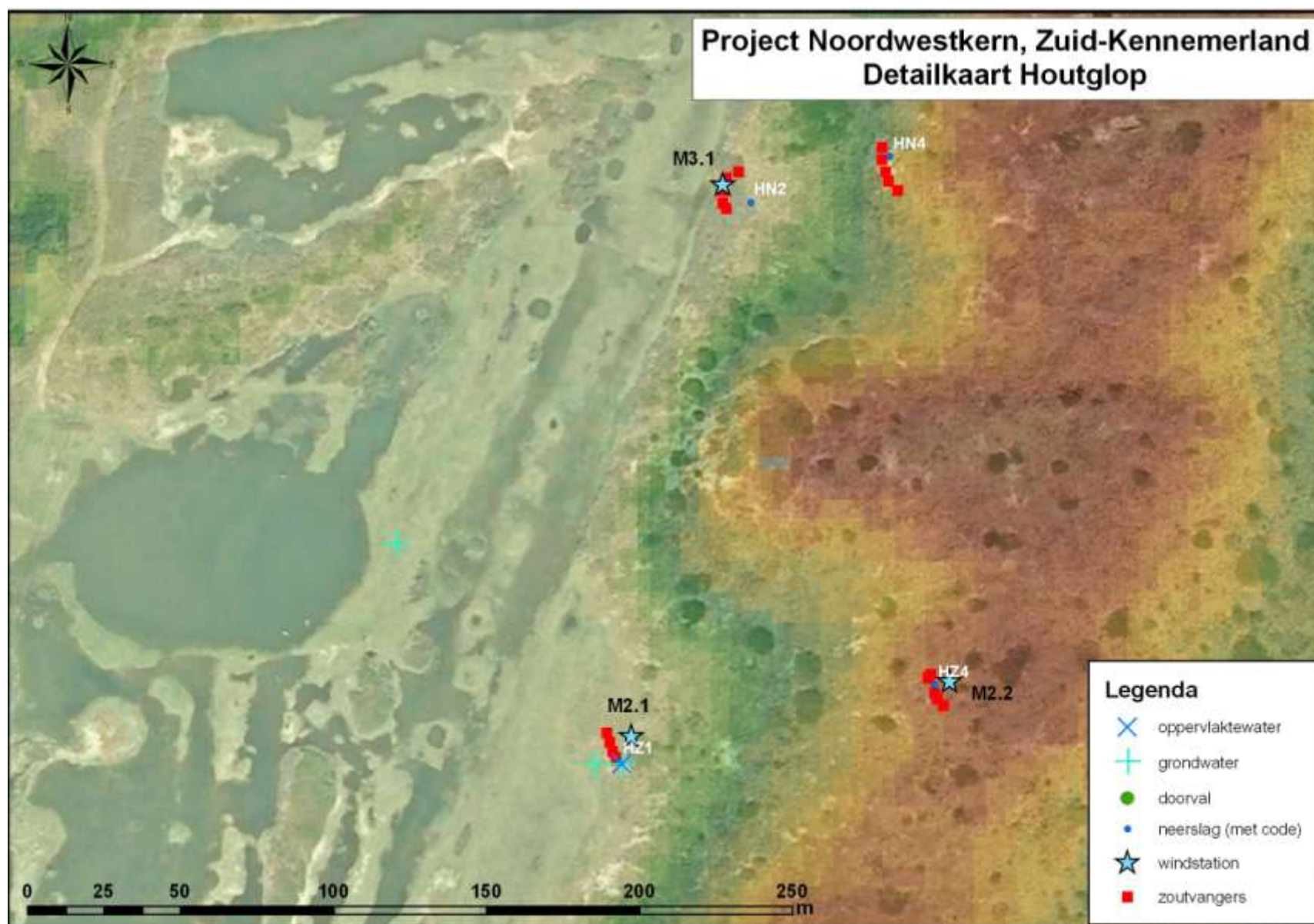
Wachtwoord: bmd2061

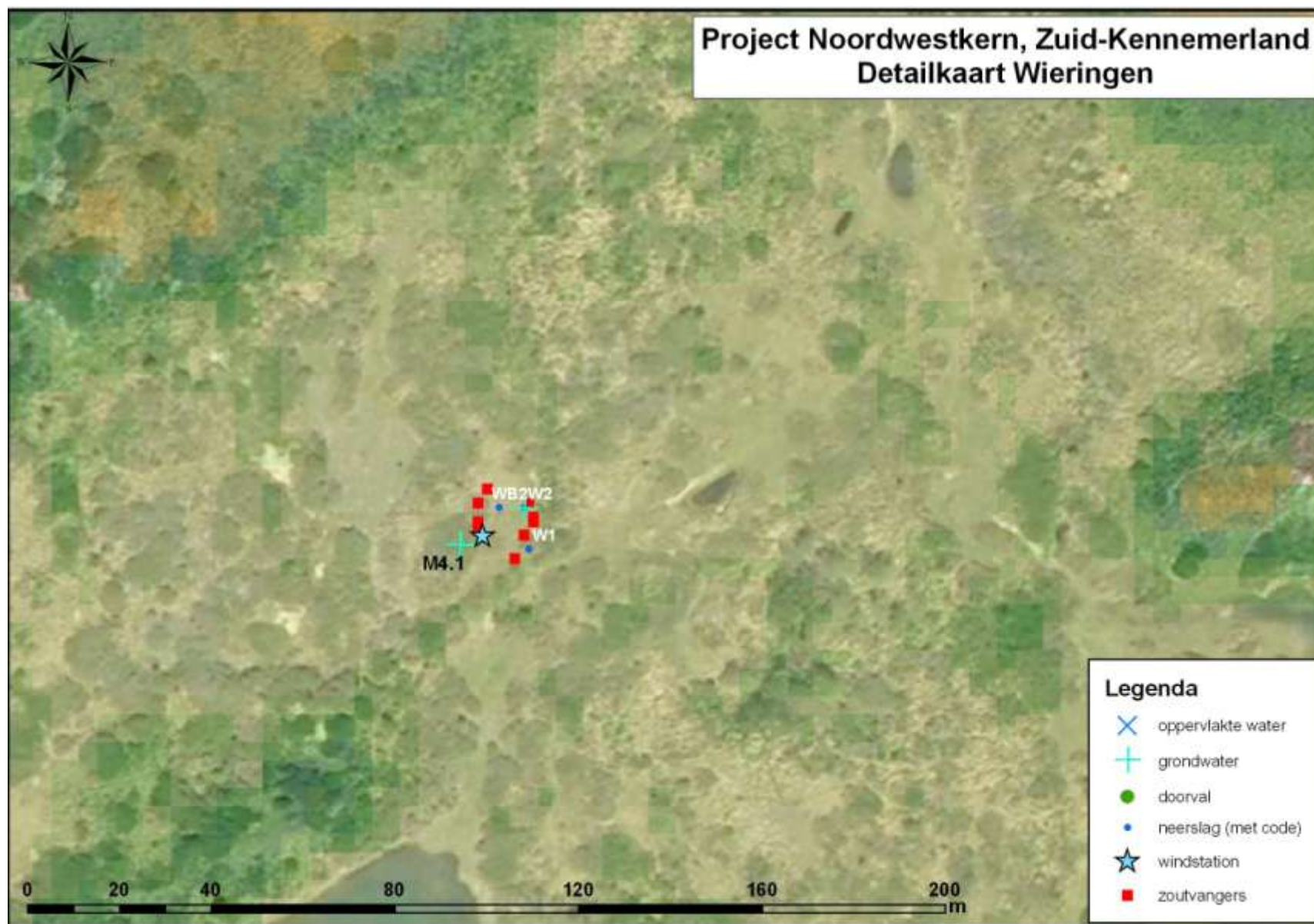
Er wordt een pagina geopend met links en rechts een menu. In het linkermenu staan onder “pages” de locaties onder elkaar. Klik op een van de straten en in het rechtermenu komt de grafiek te staan.

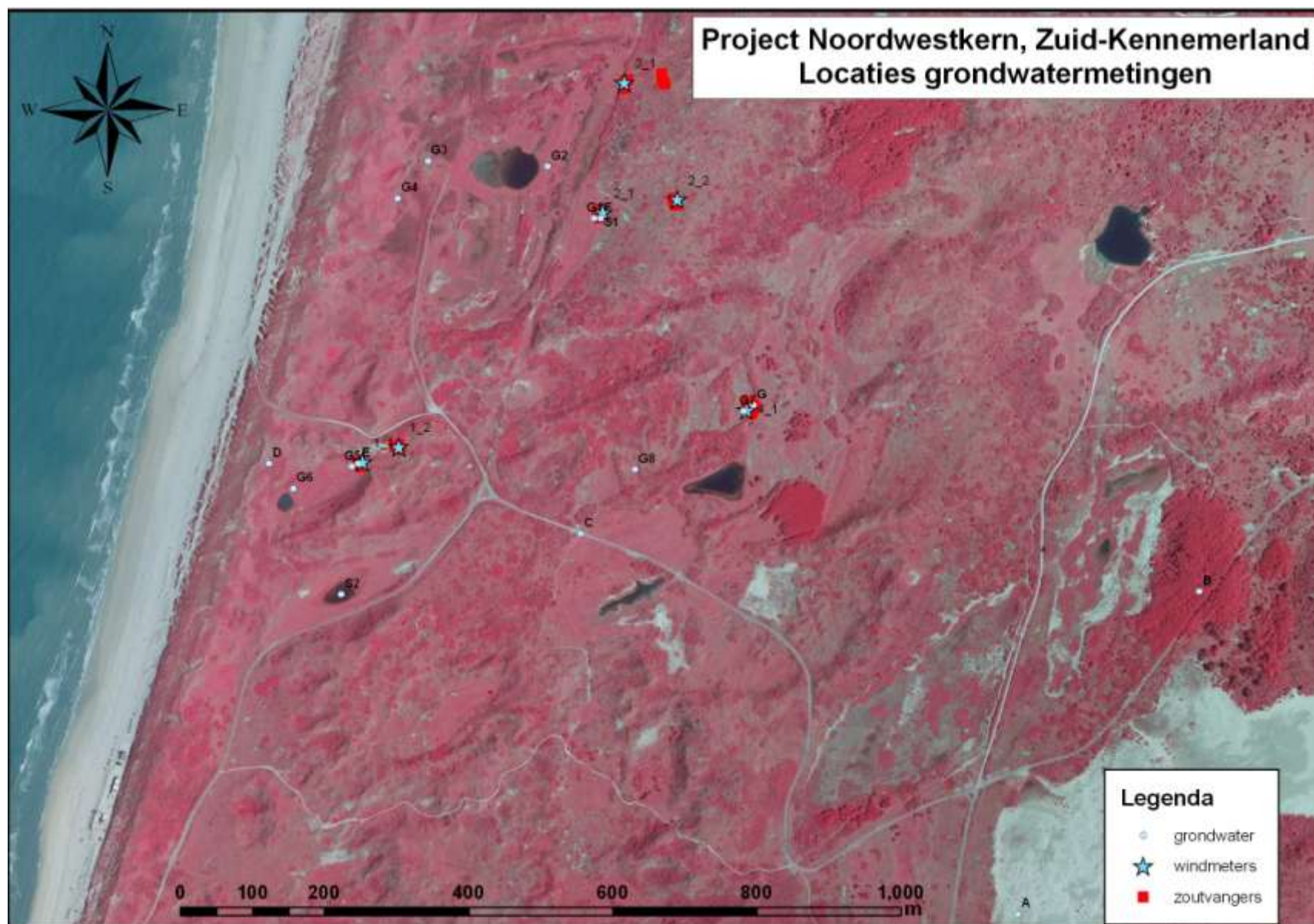
Boven in het menu kan een keuze gemaakt worden voor tijdspad, grafiek of tabellen.

BIJLAGE 2. DETAILKAARTJES INSTRUMENTARIUM









BIJLAGE 3. FREQUENTIETABELLEN WINDMETINGEN

	0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal		0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal
0	917	576						1493	0	1415	554					57	2026
22.5	670	759						1429	22.5	842	443					53	1338
45	1541	2770	96					4407	45	1694	1595	195				163	3647
76.5	2784	3655	22					6461	76.5	2827	4734	267				55	7883
90	1383	1619	13				1	3016	90	1511	1927	2				27	3467
112.5	394	341						735	112.5	449	350					7	806
135	439	668						1107	135	503	638					6	1147
157.5	1569	885						2454	157.5	1251	773					51	2075
180	1090	99						1189	180	1036	72					50	1158
202.5	2015	1284	77					3376	202.5	1602	995	48				167	2812
225	562	1044	643	99				2348	225	481	772	369	13			330	1965
247.5	1211	7495	3821	419	4			12950	247.5	811	6624	4273	774	13		992	13487
270	896	3880	206	5				4987	270	661	3045	520	46			344	4616
292.5	238	427	3					668	292.5	249	474	15				53	791
315	209	265	2					476	315	240	302	1				20	563
337.5	485	310	8				1	804	337.5	544	368					43	955
ND	856	320					6	1182	ND							6	6
totaal	17259	26397	4891	523	4	0	8	49082	totaal	16116	23666	5690	833	13	0	2424	48742

MAST 1.1. KATTENDEL ONDER

M1.1, aantal 10-minuutwaarden

Links 21-10-2009 t/m 27-09-2010

Rechts 27-09-2010 t/m 31-08-2011

	0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal		0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal
0	412	1056	25					1493	0	1162	859	5					2026
22.5	584	844	1					1429	22.5	781	557						1338
45	1274	2920	213					4407	45	1371	1957	319					3647
76.5	2126	4235	100					6461	76.5	2111	5155	617					7883
90	1900	1114	2					3016	90	2036	1429	2					3467
112.5	573	162						735	112.5	644	162						806
135	582	525						1107	135	642	505						1147
157.5	1034	1419	1					2454	157.5	861	1214						2075
180	812	377						1189	180	863	295						1158
202.5	1081	2165	130					3376	202.5	980	1781	50	1				2812
225	364	1252	622	108	2			2348	225	322	1041	583	19				1965
247.5	707	6020	4569	1432	210	12		12950	247.5	553	5065	5264	2214	390	1		13487
270	1119	3773	95					4987	270	1046	3252	318					4616
292.5	422	245	1					668	292.5	476	315						791
315	314	162						476	315	328	235						563
337.5	334	446	24					804	337.5	404	549	2					955
ND	1173						9	1182	ND							6	6
totaal	14811	26715	5783	1540	212	12	9	49082	totaal	14580	24371	7160	2234	390	1	6	48742

MAST 1.1. KATTENDEL BOVEN

M1.2, aantal 10-minuutwaarden

Links 21-10-2009 t/m 27-09-2010

Rechts 27-09-2010 t/m 31-08-2011

	0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal		0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal
0	463	1679	201	1				2344	0	1174	1437	64					2675
22.5	756	1028	51					1835	22.5	845	773	6					1624
45	1682	2913	15					4610	45	1740	2379	91					4210
76.5	1884	1432						3316	76.5	1994	2663	53					4710
90	1722	772						2494	90	1801	1115	1					2917
112.5	1171	600	2					1773	112.5	1471	571						2042
135	1267	609	3					1879	135	1184	568						1752
157.5	1336	1621	11	2				2970	157.5	1259	1369	1					2629
180	1168	1007	4					2179	180	1058	709	2					1769
202.5	630	2996	807	33				4466	202.5	607	2803	548	12				3970
225	535	3425	1571	133				5664	225	413	3878	2669	291				7251
247.5	510	2139	692	18				3359	247.5	390	2025	691	103				3209
270	470	2122	562	4				3158	270	325	1617	478	5				2425
292.5	451	1984	314	6				2755	292.5	268	1513	496	42				2319
315	325	2283	230	9				2847	315	307	2028	415	29				2779
337.5	307	1823	209	15				2354	337.5	370	1929	154	2				2455
ND	1070						9	1079	ND							6	6
totaal	15747	28433	4672	221	0	0	9	49082	totaal	15206	27377	5669	484	0	0	6	48742

MAST 2.1. HOUTGLOP ZUID ONDER

M2.1, aantal 10-minuutwaarden

Links 21-10-2009 t/m 27-09-2010

Rechts 27-09-2010 t/m 31-08-2011

	0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal		0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal
0	356	1584	453	3				2396	0	2309	1487	148	1				3945
22.5	398	874	130					1402	22.5	530	757	42					1329
45	719	2409	173					3301	45	560	1405	325					2290
76.5	1301	2245	50					3596	76.5	1237	2854	260					4351
90	1542	2364	66					3972	90	1151	3030	303					4484
112.5	634	1588	112					2334	112.5	551	1678	50					2279
135	645	1761	72					2478	135	645	1326	81					2052
157.5	855	1633	94					2582	157.5	730	1134	44					1908
180	921	1944	138	1				3004	180	844	1553	60	2				2459
202.5	389	1276	318	2				1985	202.5	374	1086	142	4				1606
225	188	2213	2139	376	26	5		4947	225	200	2174	2572	1035	145			6126
247.5	219	1965	1746	564	54			4548	247.5	256	1749	1972	680	79	1		4737
270	278	1864	1311	432	5	3		3893	270	202	1357	1166	314	22			3061
292.5	237	1894	969	150	5			3255	292.5	164	1295	977	295	63			2794
315	261	2373	728	33	1			3396	315	177	2209	803	152	26			3367
337.5	321	1352	231	34				1938	337.5	318	1459	168	3				1948
ND	46						9	55	ND							6	6
totaal	9310	29339	8730	1595	91	8	9	49082	totaal	10248	26553	9113	2486	335	1	6	48742

MAST 2.2. HOUTGLOP ZUID BOVEN

M2.2, aantal 10-minuutwaarden

Links 21-10-2009 t/m 27-09-2010

Rechts 27-09-2010 t/m 31-08-2011

	0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal		0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal
0	883	1484	6					2373	0								
22.5	729	706						1435	22.5								
45	2216	2974	1					5191	45								
76.5	2743	1031						3774	76.5								
90	1401	266						1667	90								
112.5	1355	347						1702	112.5								
135	1272	211						1483	135								
157.5	1673	579						2252	157.5								
180	2014	1295						3309	180								
202.5	716	2622	497	24				3859	202.5								
225	503	3442	1571	114	10			5640	225								
247.5	580	2840	778	27				4225	247.5								
270	502	2195	307	4				3008	270								
292.5	750	2804	134					3688	292.5								
315	473	1452	14					1939	315								
337.5	473	1462	48					1983	337.5								
ND	1547						7	1554	ND								
totaal	19830	25710	3356	169	10	0	7	49082	totaal								

MAST 3.1. HOUTGLOP NOORD ONDER

M3.1, aantal 10-minuutwaarden

Links 21-10-2009 t/m 27-09-2010

Rechts 27-09-2010 t/m 31-08-2011

	0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal		0-2	2-6	6-10	10-14	14-18	>18	ND	totaal
0									0	2821	1137	7					3965
22.5									22.5	640	413						1053
45									45	1220	1669	12					2901
76.5									76.5	2197	2967	66					5230
90									90	847	1112	2					1961
112.5									112.5	969	639						1608
135									135	979	877						1856
157.5									157.5	1008	712						1720
180									180	1216	578	1					1795
202.5									202.5	897	1298	14					2209
225									225	855	4719	1229					6803
247.5									247.5	651	2708	323	17				3699
270									270	431	1509	66					2006
292.5									292.5	509	1396	112					2017
315									315	434	1214	47					1695
337.5									337.5	505	1471	33					2009
ND									ND	6						6209	6215
totaal									totaal	16185	24419	1912	17	0	0	6209	48742

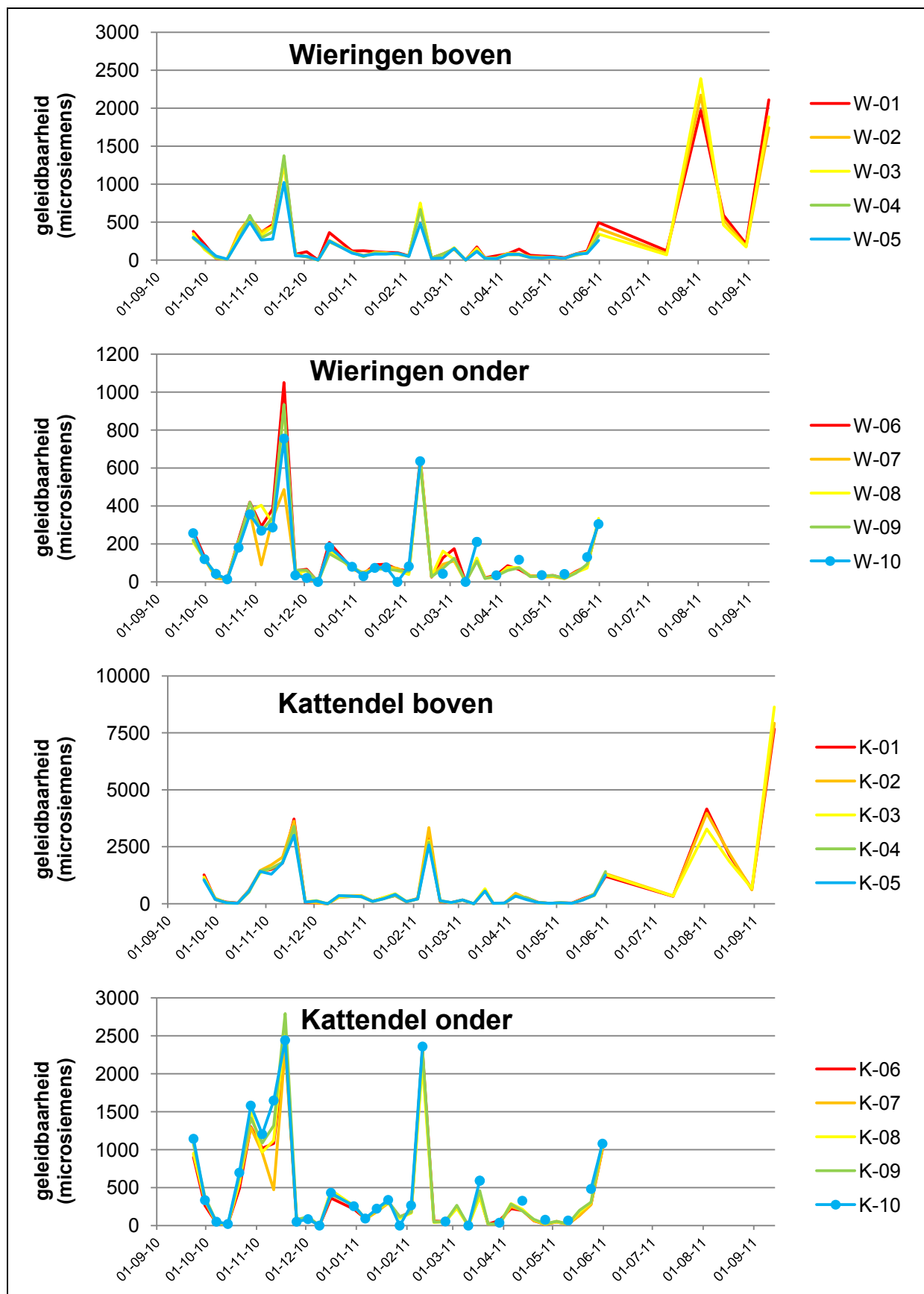
MAST 4.1. WIERINGEN

M4.1, aantal 10-minuutwaarden

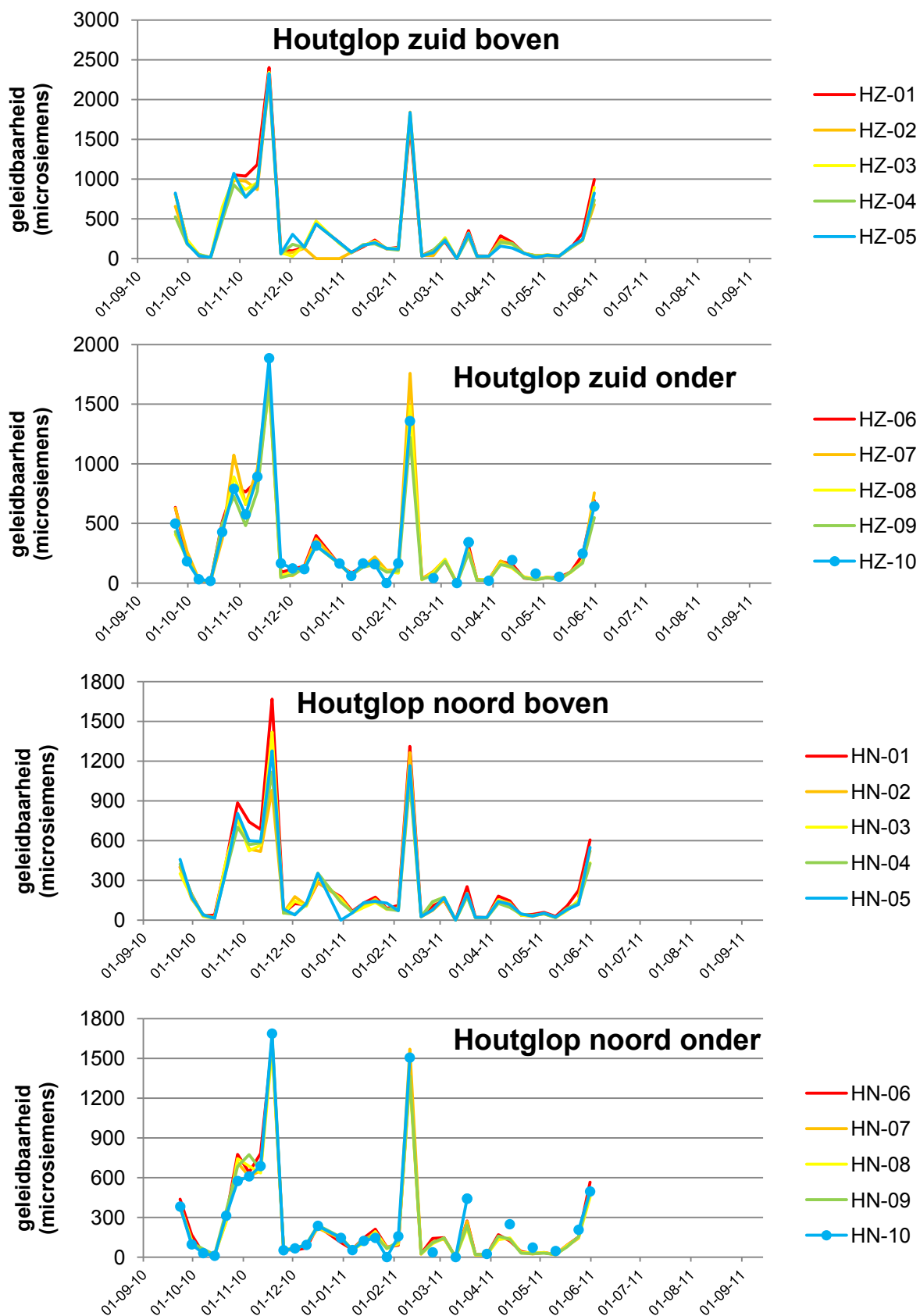
Links 21-10-2009 t/m 27-09-2010

Rechts 27-09-2010 t/m 31-08-2011.

BIJLAGE 4. ZOUTVANGRESULTATEN GEMIDDELD PER LOCATIE

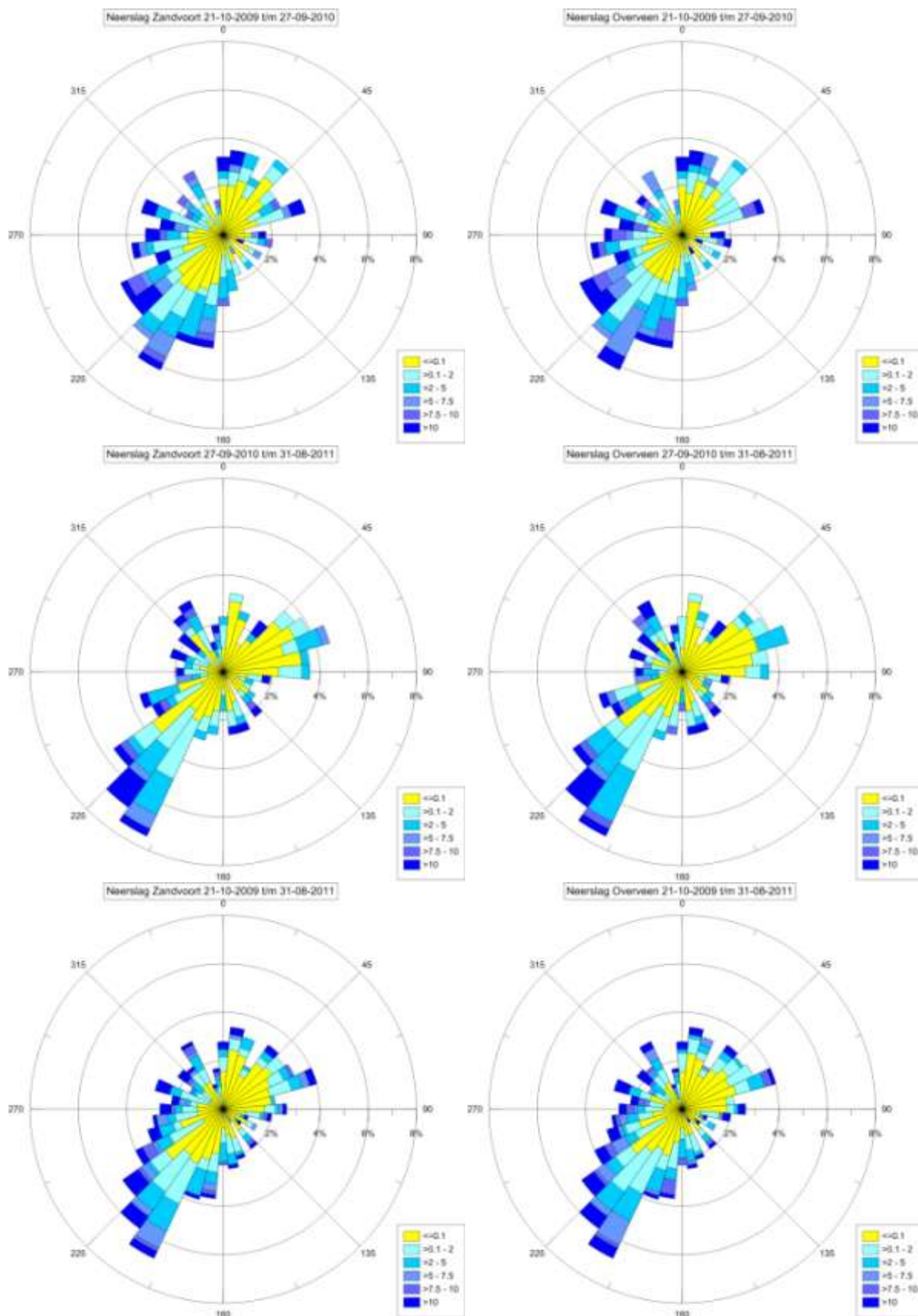


Resultaten van alle zoutvangers voor Wieringen en Kattendel.



Resultaten van alle zoutvangers voor Houtglop noord en zuid.

BIJLAGE 5. NEERSLAG EN WIND



Neerslagrozen voor Zandvoort (link) en Overveen (rechts) voor periode 1 (boven), periode 2 (midden) en totaal (onder). Windgegevens daggemiddelde windrichting IJmuiden.

