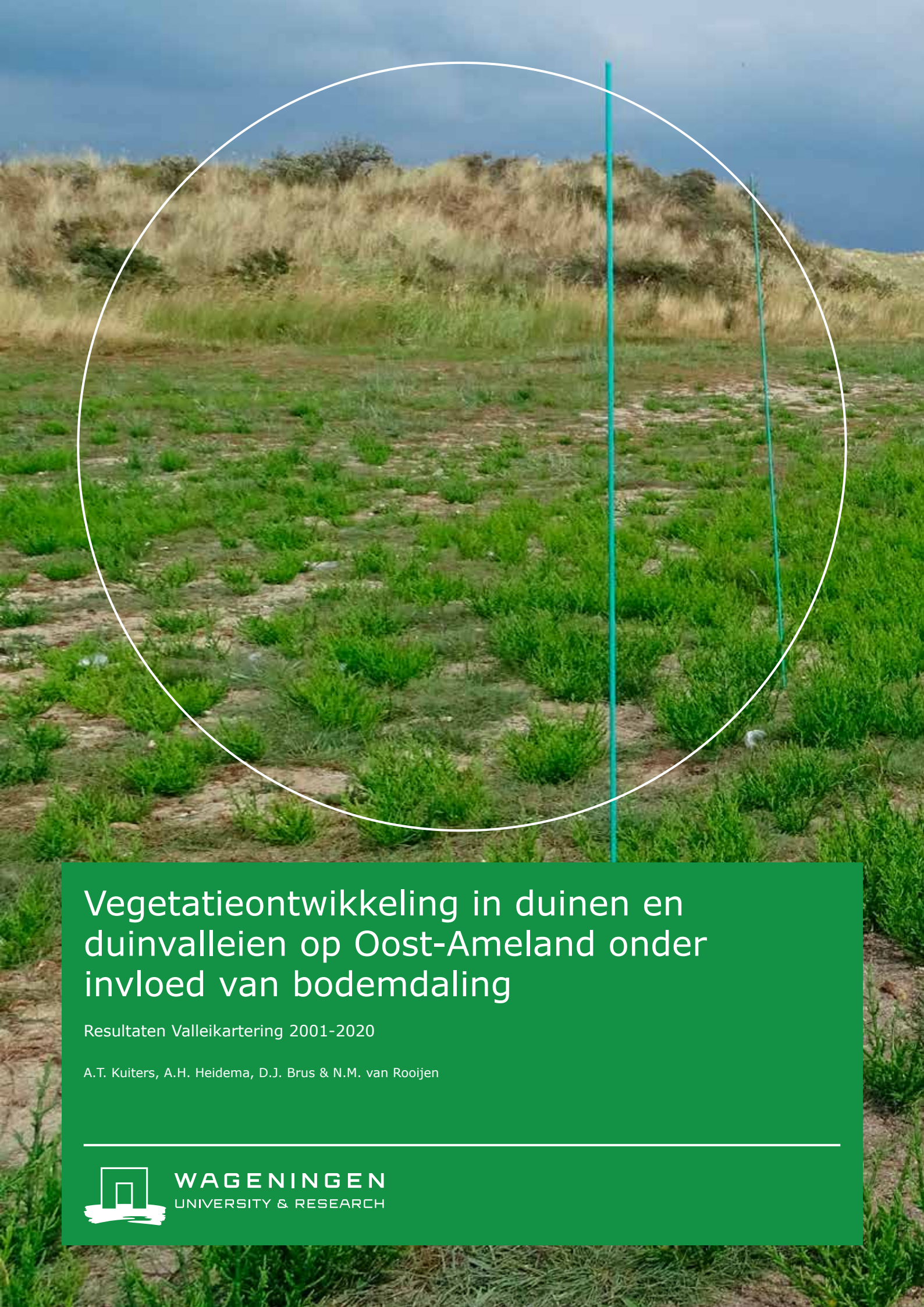




Vegetatieontwikkeling in duinen en duinvalleien op Oost-Ameland onder invloed van bodemdaling

Resultaten Valleikartering 2001-2020

A.T. Kuiters, A.H. Heidema, D.J. Brus & N.M. van Rooijen



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Vegetatieontwikkeling in duinen en duinvalleien op Oost-Ameland onder invloed van bodemdaling

Resultaten Valleikartering 2001-2020

A.T. Kuiters, A.H. Heidema, D.J. Brus & N.M. van Rooijen

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland (projectnummer 5200045586).

Wageningen Environmental Research
Wageningen, januari 2022

Gereviewd door:
Dr. Judith Sitters, onderzoeker (WENR)

Akkoord voor publicatie:
Dr. Nina Smits, teamleider Vegetatie-, Bos- en Landschapsecologie

Rapport 3142
ISSN 1566-7197



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Kuiters, A.T., A.H. Heidema, D.J. Brus & N.M. van Rooijen, 2022. *Vegetatieontwikkeling in duinen en duinvalleien op Oost-Ameland onder invloed van bodemdaling; Resultaten Valleikartering 2001-2020*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3142. 58 blz.; 25 fig.; 2 tab.; 34 ref.

Sinds de start van de gaswinning op Oost-Ameland in 1986 worden de effecten op natuurwaarden gemonitord in opdracht van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Vanaf 2001 vormt het onderzoek naar vegetatieveranderingen in duinvalleien dicht bij het centrum van de bodemdalingsschotel onderdeel van het monitoringsprogramma. Daarbij wordt tweejaarlijks op zeventig vaste en zeventig 'zwervende' punten de vegetatie opgenomen om vast te stellen welke veranderingen er zijn opgetreden en in welke mate deze mogelijk samenhangen met de optredende bodemdaling als gevolg van gaswinning en de vernatting die dat tot gevolg heeft. De veranderingen worden onder meer zichtbaar gemaakt in de vorm van kanskaarten van verschuivingen in het ruimtelijk voorkomen van habitattypen. In onderhavig rapport zijn de resultaten beschreven van de valleikartering over de periode 2001-2020.

Trefwoorden: bodemdaling, duinvalleien, vernatting, verzilting, habitattypen, Natura 2000

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/560521> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wageningen Environmental Research Rapport 3142 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Loek Kuiters

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Methoden	13
2.1 Meetpunten	13
2.2 Vegetatieopnamen	13
2.3 Abiotische data	14
2.3.1 Veldscores	14
2.3.2 Indicatiewaarden	14
2.3.3 Bodemchemische bepalingen	15
2.3.4 Grondwaterstanden	15
2.3.5 Overvloeding	15
2.4 Analysemethoden	15
2.4.1 Veranderingen in hoogte maaiveld	15
2.4.2 Trends in indicatiewaarden	16
2.4.3 Ruimtelijke variatie	16
2.4.4 Kansrijkdom voorkomen habitattypen	16
3 Resultaten	19
3.1 Veranderingen in hoogte maaiveld	19
3.1.1 Meetnauwkeurigheid Z-coördinaat	19
3.1.2 Netto verandering hoogte maaiveld	20
3.2 Indicatiewaarden	21
3.2.1 Vochtindicatie	21
3.2.2 Zoutindicatie	22
3.2.3 Stikstofindicatie	24
3.3 Grondwaterstanden	25
3.4 Bodemchemie	27
3.4.1 Accumulatie van organische stof in de bodem	28
3.5 Vegetatieveranderingen	29
3.5.1 Soortendiversiteit	29
3.5.2 Multivariate analyse	30
3.6 Voorkomen indicatieve soorten	32
3.7 Trends in areaal habitattypen	35
3.7.1 Puntmetingen	35
3.7.2 Kansrijkdomkaarten	36
3.8 Kwaliteit habitattypen	38
4 Conclusies en discussie	40
4.1 Arealen habitattypen in relatie tot bodemdaling en vernatting	40
4.2 Verzilting	40
4.3 Lokaal hoogtemodel	41
4.4 Bodemchemie	41
Literatuur	43
Bijlage 1 Bodemchemie vaste PQ's	45

Bijlage 2	Soortenlijst 2001-2020	48
Bijlage 3	Correlatiecoëfficiënten van abiotische variabelen	57

Verantwoording

Rapport: 3142

Projectnummer: 5200045586

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: onderzoeker

naam: Dr. Judith Sitters

datum: 15/11/2021

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Dr.ir. Nina A.C. Smits

datum: 21/12/2021

Woord vooraf

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van en begeleid door de Begeleidingscommissie monitoring bodemdaling Ameland. We willen It Fryske Gea bedanken voor de bereidwillige medewerking aan het onderzoek en voor de gastvrijheid om op hun terrein het onderzoek te mogen uitvoeren. De 'valleikartering', waarvan in dit rapport de resultaten worden samengevat voor de periode 2001-2020, is vanaf de start in 2001 tot en met 2014 uitgevoerd door Pieter Slim, Gerard Dirkse en Han van Dobben. Zij hebben de basis gelegd voor de waardevolle dataset die daaruit is voortgekomen en waarop wij konden voortbouwen.

Samenvatting

Vanaf het begin van de gaswinning op Oost-Ameland in 1986 worden de effecten op natuurwaarden gemonitord in opdracht van de Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Vanaf 2001 vormt het onderzoek naar vegetatieveranderingen in duinvalleien in de bodemdalingsschotel onderdeel van het monitoringsprogramma. Daarbij wordt tweejaarlijks op zeventig vaste en zeventig 'zwervende' punten de vegetatie opgenomen om vast te stellen welke veranderingen er zijn opgetreden en in welke mate deze mogelijk samenhangen met de optredende bodemdaling als gevolg van gaswinning en de vernatting die dat tot gevolg heeft. De veranderingen worden onder meer zichtbaar gemaakt in de vorm van kanskaarten in het ruimtelijk voorkomen van habitattypen.

Sinds de start van de valleikartering in 2001 zijn er aanzienlijke veranderingen opgetreden in de vegetatie van duinen en duinvalleien. Het globale beeld is er een van aanzienlijke dynamiek. De overwegende trend is vooral vernatting resulterend in een geleidelijke uitbreiding van het habitatype Vochtige duinvalleien (H2190). Eerdere tijdreeksanalyses van peilbuizen in het gebied laten zien dat de toenemende vernatting niet het gevolg is van een toename in de netto neerslag. Deze fluctueerde sterk van jaar tot jaar, maar er was geen sprake van een trendmatige verandering over de meetperiode. Sinds de start van de bodemdaling in 1986 bedroeg de verhoging van de grondwaterstand (GLG) gemiddeld 16 cm. De zeespiegelstijging bedroeg gedurende deze periode 6-7 cm en kan dus slechts een deel van de vernatting verklaren. Het grootste deel van de vernatting (9-10 cm) kan derhalve worden toegeschreven aan bodemdaling. Deze bedroeg gedurende de meetperiode (2001-2020) in het onderzoeksgebied gemiddeld 18 cm.

Multivariate analyse wees uit dat bodemvocht de belangrijkste factor was die het verschil in soortensamenstelling van de vegetatie in de proefvlakken in het onderzoeksgebied verklaarde. Daarmee heeft bodemdaling effect op het ruimtelijk voorkomen van habitattypen. Bodemvocht bleek sterk positief gecorreleerd aan diverse andere bodemfactoren, met name organisch stofgehalte en elementen als stikstof, fosfaat, kalium, natrium en zwavel. Andere belangrijke verklarende variabelen waren kleigehalte van de bodem en de voor planten beschikbare hoeveelheid fosfaat (P-Olsen).

Op basis van vochtindicatiewaarden kon worden geconcludeerd dat proefvlakken die boven 2,35 m +NAP lagen grotendeels buiten de invloedssfeer van het grondwater lagen (laag vochtgetal). Deze proefvlakken waren bijgevolg ook minder gevoelig voor de effecten van bodemdaling. Daar zagen we echter wel een stijging van het stikstofgetal in de tijd, wat erop wijst dat de vegetatie onder invloed van stikstofdepositie steeds minder soorten herbergt met een laag stikstofgetal. Dit bleek ook uit de gestage achteruitgang van karakteristieke soorten van het habitatype Grijze duinen (H2130) in de tijd.

De hoge vloed van 2006 en 2007 en de daaropvolgende lange droge periode heeft geresulteerd in een sterke uitbreiding van zilte begroeiingen (habitatype H1330) in 2008 in de westelijk gelegen duinvalleien (aan de westkant van het fietspad), maar vooral ook aan de oostkant van het onderzoeksgebied. In de jaren daarna nam deze verzilting weer geleidelijk af door uitspoeling met regenwater. Deze tijdelijke verzilting heeft op veel plekken geleid tot een afname van het habitatype Grijze duinen (H2130) en van Duindoornstruwelen (H2160). Deze ontwikkelingen benadrukken het belang van 'events' (stochastisch optredende extreme weersinvloeden) voor de dynamiek van duinvalleivegetaties. Sinds 2018 lijkt er weer sprake van geleidelijke verzilting. Dit blijkt uit de toename in voorkomen van kweldersoorten en de daarmee samenhangende uitbreiding van het areaal Zilte graslanden (H1330) in het onderzoeksgebied. De droge zomers van de laatste jaren met een sterke verlaging van de grondwaterstanden in het late najaar op het moment dat hoge vloed het gebied onder zeewater zetten, zouden hierbij een rol kunnen spelen.

Zoals vermeld in eerdere integrale rapportages, ontbrak tot nog toe inzicht in het organisch stofgehalte in de bodem in relatie tot de vegetatieontwikkeling in de duinvalleien (Van Dobben et al., 2011; Kuiters et al., 2017). Het organisch stofgehalte is een belangrijke factor bij de bodemvorming en daarmee voor de vegetatieontwikkeling. De bodemchemische metingen van 2020 maken duidelijk dat in de natte duinvalleien

organische stof in de bodem is geaccumuleerd tot ca. 12 kg/m². Dit stemt goed overeen met de waarden die voor valleien op Oost-Ameland al eerder zijn gevonden door onderzoekers van de Universiteit Groningen. Dat deze waarden aanzienlijk lager liggen dan de waarden die in goed ontwikkelde zoete duinvalleien worden gevonden, zoals op Schiermonnikoog (ca. 20 kg/m²), laat zien dat de invloed van zeewater de accumulatie van organische stof en daarmee de veroudering van de valleien remt.

Zeewater is rijk aan sulfaat. Wanneer sulfaatrijk zeewater de bodem binnendringt die rijk is aan organische stof, wordt al snel alle zuurstof verbruikt, waarna vervolgens sulfaat wordt gereduceerd door micro-organismen. Daarbij wordt organisch materiaal afgebroken door micro-organismen en komen minerale stikstof en fosfaat beschikbaar voor de vegetatie. Sulfaatrijk zeewater stimuleert daarmee de mineralisatie van organische stof in duinvalleibodems, waarbij minerale stikstof en fosfaat beschikbaar komen. Vermoedelijk is dit proces verantwoordelijk voor de gestage uitbreiding van riet- en zeebiesvegetaties als gevolg van het vooral langer inunderen na stormvloeden met zeewater. Deze ontwikkeling is vooral zichtbaar in de meest oostelijke valleien dicht bij het instroompunt van zeewater vanuit de Waddenzee.

1 Inleiding

Sinds de start van de gaswinning op Oost-Ameland in 1986 worden de effecten van bodemdaling op de vegetatie in duinen, duinvalleien en kwelders gemonitord. Aanvankelijk gebeurde dit aan de hand van permanente kwadraten, gelegen op tien transecten die ongeveer noord-zuid waren georiënteerd en vrijwel het gehele bodemdalingsgebied omvatten: van de Kooiduinen in het westen tot De Hon in het oosten (Dankers et al., 1987). Voor duinen en duinvalleien ging het om in totaal 66 proefvlakken van 2x2 m, gelegen langs vijf transecten. Voor de kwelders (Neerlands Reid en De Hon) ging het om 95 proefvlakken in de overige vijf transecten. Over de resultaten van deze vegetatiemonitoring is uitgebreid gerapporteerd in de zesjaarlijkse integrale rapportages (1995, 2000, 2005, 2011 en 2017). Na 2013 is de meetreeks voor duinen en duinvalleien op verzoek van de Begeleidingscommissie monitoring bodemdaling niet meer opgenomen. De monitoring van enkele kweldertransecten is wel voortgezet en is recentelijk uitgebreid met een nieuwe set aan proefvlakken (Van Puijenbroek et al., 2020).

Voor de monitoring van duinvegetaties is in 2001 een nieuwe meetreeks opgezet, dicht bij het centrum van de bodemdalingsschotel, de zogenaamde 'valleikartering'. Aanleiding was het optreden van sterfte van duindoorn- en meidoornstruweel in 1994 in meerdere duinvalleien (Slim, 1997; Eysink et al., 2000). Het betrof vooral struweel op de laagste locaties in de duinvalleien binnen een nauwe range van 135-157 cm +NAP. Vernatting als gevolg van bodemdaling en de daarmee samenhangende langdurige inundatie was de waarschijnlijkste oorzaak (Slim, 1997; Krol, 2021). De valleien waar struweelsterfte was opgetreden, bestreken circa 25 ha en waren gelegen in het centrum van de bodemdalingsschotel. Besloten werd om ook de directe omgeving bij deze intensievere monitoring te betrekken, waarmee het onderzoeksgebied uitkwam op in totaal 70 ha (Slim et al., 2011; Figuur 1).



Figuur 1 Onderzoeksgebied op Oost-Ameland met de 35 'dominostenen' en 4 meetpunten per dominosteen. De groene stippen met nummers 1-70 zijn vaste proefvlakken, de rode stippen met nummers 801-870 zijn de gelote proefvlakken van 2020. De gearceerde gebieden zijn geplagd/afgegraven in 2005 (linker gebied) en 2015 (rechter gebied).

De valleien zijn gelegen ter hoogte van het Oerd en de Oerderduinen en bestrijken een gebied van het Spijkerpad aan de westkant tot aan de NAM-locatie aan de oostzijde. Van noord naar zuid is in het onderzoeksgebied een zonering aanwezig van helmbegroeiingen in de zeereep naar droge duingraslanden en

natte duinvalleien tot zilte vegetaties aan de wadkant. Op veel plaatsen komen deze begroeiingen voor in mozaïek met duindoornstruweel of kruipwilgstruweel. De duinvalleien op Oost-Ameland ten westen van de NAM-locatie inunderen vooral 's winters meerdere malen met zeewater door de open verbinding met de Waddenzee. Bij springtij of stormvloed stroomt hier zeewater ver de duinvalleien in tot voorbij het Spijkerpad. Daarnaast is een deel van de valleien 's winters langdurig geïnundeerd als gevolg van een hoge grondwaterstand (Krol, 2021).

De verwachting was dat als gevolg van bodemdaling frequentie en duur van overstroming met zeewater zou toenemen (Dankers et al., 1987; Schouten, 1999), met gevolgen voor de duinvallei- en struweelbegroeiingen in deze valleien. Ook zouden de grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld toenemen als gevolg van bodemdaling. Inmiddels is duidelijk dat de maaiveldhoogte van de valleien niet overal evenredig daalt met de diepe bodemdaling, maar dat er vooral achter de zeereep gedeeltelijk compensatie optreedt als gevolg van instuivend zand afkomstig uit de zeereep (Krol, 2021). Dit proces van instuiving is plaatselijk nog versterkt als gevolg van de aanleg eind 2011 van drie kerven in de zeereep (Riksen et al., 2016). Daarnaast vindt bodemophoging plaats als gevolg van bodemvorming en strooisel- en humusaccumulatie. Verder is zowel in 2005 als in 2011 een aantal duinvalleien geplagd om verruiging terug te dringen en lokaal uitgangssituaties te creëren voor nieuwe duinvalleivorming.

De uitdaging is dus om bij de vegetatiemonitoring van duinen en duinvalleien het effect van bodemdaling, op- en overstuiving, bodemvorming en beheer (plaggen) van elkaar te onderscheiden. In de integrale rapportage van 2017 zijn de resultaten beschreven over de periode 2001-2016 (Kuiters et al., 2017). In onderhavige rapportage worden de resultaten over de periode 2001-2020 beschreven.

2 Methoden

2.1 Meetpunten

De meetreeks 'Valleikartering' bestaat uit 140 meetpunten. Bij de keuze van de opnamelocaties is representativiteit en objectiviteit nagestreefd. Voor de representativiteit is het onderzoeksgebied met een totale oppervlakte van 70 ha opgedeeld in 35 deelgebieden van 2 ha (in de vorm van 'dominostenen'; 100 x 200 m; Figuur 1). Binnen ieder deelgebied is een gelijk aantal opnamelocaties gekozen (n=4). Daarmee wordt bereikt dat alle delen van het terrein met dezelfde intensiteit worden bemonsterd. De afstand tussen het meest westelijk gelegen en het meest oostelijk gelegen punt bedraagt 1870 m. Er is sprake van een gradiënt in bodemdaling van west naar oost, tot aan het centrum van de bodemdalingsschotel. Van de 140 meetpunten zijn 70 punten permanent, de andere 70 punten zijn 'zwervend' en worden iedere meetronde opnieuw geloot. Met deze zogenaamde 'zwervende punten' wordt informatie verkregen over de variatie die op korte afstand kan voorkomen, van belang voor de statistische habitatkartering (zie paragraaf 2.4.4).

De X- en Y-coördinaten van de 70 permanente opnamelocaties zijn in 2001 volgens de methode van een ongelijnd systematische steekproef getrokken uit een verzameling Rijksdriehoekcoördinaten. De 'zwervende' meetpunten worden gekozen volgens de methode van een gestratificeerde aselechte steekproef. De zwervende meetpunten lagen in 2004 en 2006 op dezelfde locaties, maar voor de meetjaren daarna op gelote plekken. De 140 meetpunten worden tweejaarlijks opgenomen. Tot nu toe bestrijkt de waarnemingsreeks bijna 20 jaar en bestaat uit tien meetmomenten: 2001, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 en 2020.

De methode is zodanig opgezet dat met de meetgegevens een vlakdekkende vegetatiekartering kan worden gemaakt. Voorafgaand aan iedere opnameronde worden de opnamelocaties in het veld gelokaliseerd door middel van RTK-DGPS, met een nauwkeurigheid van circa 1 cm.

2.2 Vegetatieopnamen

Op iedere opnamelocatie wordt een proefvlak uitgezet van 4 m². Deze is cirkelvormig met een straal van 1,13 m. Iedere vegetatieopname bestaat uit een lijst met de daar voorkomende soorten vaatplanten¹, mossen en korstmossen. De abundantie van iedere soort wordt geschat volgens een negendelige schaal van de 4^e Bosstatistiek (Dirkse, 1998; Tabel 1).

Tabel 1 Opnameschaal voor de abundantie van plantensoorten in een proefvlak (Dirkse 1998; 4^e Bosstatistiek).

Score	Bedekkingspercentage
1	<0,1
2	0,1-<1
3	1-<5
4	5-<10
5	10-<25
6	25-<50
7	50-<75
8	75-<90
9	<90-100

¹ Naamgeving volgens Heukels' Flora van Nederland, 23^e druk, 2005.

Het veldwerk wordt doorgaans uitgevoerd in de maanden augustus en september. In die maanden is het groeiseizoen zover voortgeschreden dat de meeste soorten nog goed zijn te herkennen en ook de late kiemers zijn dan aanwezig. Tegelijkertijd is het broedseizoen van vogels ten einde en is het gebied toegankelijk. Aanvankelijk werden de vegetatieopnamen met de hand vastgelegd op een speciaal opnameformulier; in latere jaren is een handpalmcomputer (PDA/Trimble) gebruikt. De opnamen zijn zo veel mogelijk door twee onderzoekers gezamenlijk gemaakt, om fouten te vermijden en zo min mogelijk soorten over het hoofd te zien. Van soorten die in het veld niet onmiddellijk op naam konden worden gebracht (vooral mossen en korstmossen), werden exemplaren meegenomen voor nadere determinatie door een expert.

Opslag en verwerking van de gegevens vonden plaats met het dataverwerkingsprogramma TURBOVEG (Hennekens et al., 2001). Alle opnamen zijn opgenomen in de Landelijke Vegetatiedatabank in beheer bij Wageningen Environmental Research (WENR; Hennekens et al., 2016; www.synbiosys.alterra.nl/LVD2).

2.3 Abiotische data

Van ieder proefvlak zijn iedere meetronde ook abiotische data verzameld om zicht te krijgen op de relatie tussen de vegetatieontwikkeling en de veranderingen in milieucondities. Dit is op een drietal manieren gedaan die elkaar aanvullen, te weten a) kwalitatieve veldscores voor bodemvochtigheid en bodemtype (alle meetjaren); b) indicatiewaarden voor vocht, zout en stikstof (alle meetjaren); c) bodemchemische bepalingen (in 2020 en alleen voor de zeventig vaste meetpunten). Verder is van ieder proefvlak elke meetronde de maaiveldhoogte (Z-coördinaat) vastgesteld met RTK-DGPS, geijkt op het geodetisch referentiepunt 02C87 (peilmerk aan noordzijde Neerlands Reid; zie verder paragraaf 3.1.1).

2.3.1 Veldscores

Bij het opnemen van de proefvlakken wordt gewerkt met een kwalitatieve visuele veldscore voor de bodemvochtigheid (droog, vochtig, nat). Daarnaast is voor ieder meetpunt ook het bodemtype vastgesteld (zand, kleiig, venig) door een bodemprofiel uit te steken naast het proefvlak en visueel te beoordelen.

2.3.2 Indicatiewaarden

Om inzicht te krijgen in veranderingen in de abiotiek in de tijd is ook gebruik gemaakt van indicatiewaarden, de zogenaamde Wamelink-indicatiegetallen (Wamelink et al., 2005; 2011). De gedachte achter het systeem van indicatiewaarden is dat iedere plantensoort op basis van voorkomen een bepaalde milieuconditie indiceert. De Wamelink-indicatiewaarden zijn gebaseerd op een bestand van ca. 6500 vegetatieopnamen met gemeten waarden voor grondwaterstanden en bodemchemie. Het principe daarbij is dat per soort voor elke abiotische variabele een gemiddelde waarde over alle voorkomens van de soort is berekend (WW-getal).

De Wamelink-indicatiewaarden zijn uitsluitend gebaseerd op empirische metingen, in tegenstelling tot de zogenaamde Ellenberg-indicatiewaarden (Ellenberg et al., 1991), ontwikkeld voor vegetaties van Centraal-Europa, met een ordinale schaal met waarden van 0 tot 9 (en 0-12 voor vocht) waarbij de indicatiewaarden niet alleen op veldmetingen zijn gebaseerd, maar ook op expertkennis.

Met het gebruik van indicatiewaarden kan op basis van een vegetatieopname met de samenstellende soorten een uitspraak worden gedaan over de milieucondities van de plek van de opname, zonder dat er bodemchemische analyses worden gedaan. In onze analyses zijn indicatiewaarden gebruikt voor vocht (WW-vocht), zout (WW-Cl) en stikstof (WW-NO₃).

Van iedere vegetatieopname zijn de indicatiewaarden berekend door middeling van de indicatiewaarden van de afzonderlijke plantensoorten in een opname, waarbij slechts rekening gehouden wordt met aanwezigheid van soorten en niet met hun abundanties (zoals ook in eerdere rapportages is gedaan).

2.3.3 Bodemchemische bepalingen

Bij de meetronde in 2020 is bij de zeventig vaste proefvlakken een bodemprofiel gestoken en is een aantal bodemchemische analyses uitgevoerd, te weten: vochtgehalte, organisch stofgehalte, pH-CaCl₂, pH-H₂O, stikstoftotaal (N-tot), fosfaattotaal (P-tot), voor planten beschikbaar fosfaat (P-Olsen), calcium, natrium en zwavel. Bij het steken van de bodemprofielen is gebruikgemaakt van een cilindrische roestvrijstalen buis met een diameter van 11 cm en een hoogte van 15 cm. Van ieder proefvlak is de gehele humuslaag bemonsterd, omdat we vooral geïnteresseerd waren in de organisch stofgehalten van de bodem. De keuze om alleen van vaste proefvlakken bodemchemische bepalingen uit te voeren, is omdat dit over een x aantal jaren op dezelfde plekken nog eens kan worden herhaald.

De verschillen in organisch stofgehalten tussen de proefvlakken zijn samengevat per habitattype. Tevens is gekeken naar de opbouwsnelheid van organische stof in het bodemprofiel door onderscheid te maken tussen proefvlakken in duinvalleien die vijf jaar geleden zijn geplagd (2015), vijftien jaar geleden zijn geplagd (2005) of een ongestoorde ontwikkeling hadden doorgemaakt en van het habitattype H2190 (Vochtige duinvalleien) waren.

2.3.4 Grondwaterstanden

In het onderzoeksgebied liggen in totaal vijftien peilbuizen waarvan de grondwaterstand maandelijks wordt opgenomen. Aan de hand van een zestal representatieve peilbuizen is een analyse gemaakt van grondwaterstandveranderingen in de tijd. Voor deze peilbuizen zijn gegevens beschikbaar vanaf 1989. De laatste jaren worden de standen alleen opgenomen tussen maart en oktober door het Natuurcentrum Ameland en It Fryske Gea. Ofschoon de datareeksen op diverse manieren kunnen worden gepresenteerd, hebben we ervoor gekozen om de trend in de GLG weer te geven. Dat is de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand in de zomerperiode (jun-aug), wanneer de grondwaterstanden uitzakken als gevolg van een netto neerslagtekort. Dit is voor de vegetatie de relevantste parameter. Voor elk van de zes peilbuizen is op de data een lineaire regressieanalyse uitgevoerd om na te gaan of er sprake was van een significante trend in de tijd.

2.3.5 Overvloeding

De frequentie en duur van overvloeding van de duinvalleien in het onderzoeksgebied worden jaarlijks vastgesteld op zestien vaste meetpunten door het Natuurcentrum Ameland. Voor een nadere toelichting op de methode wordt verwezen naar Krol (2021).

2.4 Analysemethoden

De valleikartering is specifiek opgezet om areaalveranderingen in habitattypen te kunnen vaststellen. Vegetatieopnamen van elke meetronde zijn eerst geclassificeerd met behulp van het programma ASSOCIA (Van Tongeren et al., 2008). Daarbij is een indeling gebruikt van de Vegetatie van Nederland (Schaminée et al. 1998). De aangetroffen plantenassociaties zijn vervolgens vertaald naar habitattypen, volgens de Interpretation Manual of European Habitat types (EC 2007). Daarbij is gebruikgemaakt van een vertaaltabel (Van Dobben et al., 2011), waarbij opnamen zijn toegewezen aan habitattypen van duinen, duinvalleien, duinstruwelen en kwelders. Door het relatieve voorkomen van habitattypen te vergelijken tussen meetjaren, kunnen verschuivingen in het ruimtelijke voorkomen van habitattypen in het gebied in de tijd worden gekwantificeerd.

2.4.1 Veranderingen in hoogte maaiveld

Op basis van de jaarlijkse hoogtemetingen (Z-coördinaat) in de zeventig vaste proefvlakken is een analyse gemaakt van de bodemdaling in het onderzoeksgebied in de periode 2001-2020. Deze data zijn ook gebruikt voor het maken van het DEM (*Digital Elevation Model*) ten behoeve van de habitatkartering (paragraaf 2.4.4).

2.4.2 Trends in indicatiewaarden

Verschuivingen in de abiotische omstandigheden kunnen worden afgeleid uit verschuivingen in floristische samenstelling van de proefvlakken aan de hand van indicatiewaarden. Met behulp van lineaire regressie is de aanwezigheid van trends in indicatiewaarden voor vocht, zout en stikstof vastgesteld. De lineaire regressies zijn uitgevoerd met het programma GENSTAT, versie 18 (Payne et al., 2007).

2.4.3 Ruimtelijke variatie

Met behulp van gradiëntanalyse (CCA) zijn de vegetatieopnamen van een meetjaar op basis van de floristische samenstelling geordend in een multidimensionale ruimte, waarbij de assen abiotische gradiënten vertegenwoordigen. Daarbij is gebruikgemaakt van het programma CANOCO (Jongman et al., 1995; Ter Braak & Šmilauer, 2002). De eerste twee assen zijn ecologisch geduid op basis van het 'soortenplot'. Als verklarende abiotische variabelen zijn meegenomen: X-coördinaat (als maat voor de afstand tot het centrum van de bodemdalingsschotel), Y-coördinaat (als maat voor de afstand tot de zeereep), Z-coördinaat (maaiveldhoogte), bodemtype (zand, kleiig, weinig), %bodemvocht, organisch stofgehalte bodem en enkele andere bodemchemische parameters zoals calcium, natrium, zwavel, stikstof (N-totaal), N-NO₃, fosfaat (P-totaal), beschikbaar fosfaat (P-Olsen) en pH (CaCl₂). Deze analyse geeft inzicht in de belangrijkste abiotische factoren die een rol spelen bij het voorkomen van de verschillende vegetatie- en habitattypen in het onderzoeksgebied.

Er is gebruikgemaakt van multivariate analyse met *interactive forward selection* waarbij stapsgewijs steeds de verklarende variabele aan het model wordt toegevoegd die de meeste variatie verklaart. Veel abiotische factoren zijn echter aan elkaar gecorreleerd. Zo bleek %bodemvocht positief gecorreleerd aan organisch stofgehalte, stikstof (N-totaal), fosfaat (P-totaal), kalium, natrium en zwavel. Daarom zijn slechts variabelen aan het model toegevoegd die een correlatie hadden van <0,65 met alle op dat moment reeds in het model opgenomen variabelen. Voor de correlatietabel wordt verwezen naar Bijlage 3.

In deze rapportage zijn voor de zeventig vaste PQ's de vegetatiedata voor 2020 geanalyseerd, waarbij in tegenstelling tot eerdere jaren ook een aantal bodemchemische variabelen kon worden meegenomen, waaronder organisch stofgehalte. Aangezien we in 2020 ook konden beschikken over %vochtmetingen in het bodemprofiel, hoefden we in de analyses dit keer geen gebruik te maken van de visuele veldscores voor bodemvochtigheid.

Voor de gradiëntanalyses van eerdere meetjaren wordt verwezen naar de integrale rapportages van 2005, 2011 en 2017 (De Vlas, 2005; 2011; 2017).

2.4.4 Kansrijkdom voorkomen habitattypen

Er is een statistische habitatkartering uitgevoerd met gebruikmaking van een mixed multinomiaal logistisch regressiemodel. Hiermee worden de habitatveranderingen in de tijd ruimtelijk inzichtelijk gemaakt. De regressiemethode maakt gebruik van gebiedsdekkende hulpinformatie die van invloed kan zijn op de vegetatie. Een belangrijke informatiebron is de digitale hoogtekartaart (DEM = *Digital Elevation Model*) en de informatie die daaruit kan worden afgeleid. De volgende variabelen zijn gebruikt als kandidaat verklarende variabelen:

Jaar van observatie

Het gaat hier om de jaren 2001, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 en 2020. Dit is een kwalitatieve variabele met tien niveaus.

X-coördinaat (afstand tot centrum van de bodemdalingsschotel)

Bij iedere meetronde is van het centrum van de 140 proefvlakken, waar vegetatieopnamen zijn gemaakt, de X-coördinaat ingemeten met RTK-DGPS.

Y-coördinaat (afstand tot de zeereep)

Bij iedere meetronde is van het centrum van de 140 proefvlakken, waar vegetatieopnamen zijn gemaakt, de Y-coördinaat ingemeten met RTK-DGPS.

Z-coördinaat (maaielveldhoogte in meter +NAP)

Bij iedere meetronde is van het centrum van de 140 proefvlakken, waar vegetatieopnamen zijn gemaakt, de Z-coördinaat ingemeten met RTK-DGPS. De DEM's voor de afzonderlijke meetjaren zijn aangepast door met *ordinary kriging* het geïnterpoleerde verschil tussen de nieuwe gemeten hoogtes en de DEM-hoogtes in de vorige meetronde bij het DEM van de vorige meetronde op te tellen. Op deze manier wordt het DEM iedere meetronde bijgesteld. In het DEM van 2016 is rekening gehouden met de verandering in hoogte van het maaiveld als gevolg van plaggen in een deel van het onderzoeksgebied in het najaar van 2015 (Kuiters et al., 2017).

Daarbij zijn de volgende stappen gevolgd:

1. Er is een DEM gemaakt voor het niet-geplagde deel. Het DEM is van toepassing op het gebied dat in 2015 niet is geplagd. Het DEM2020 is geactualiseerd, uitgaande van het DEM2018 en de Z-metingen van 2020.
2. Er is een DEM gemaakt voor het geplagde deel. De verschilwaarden tussen 31 Z-metingen² uit 2016 in het geplagde gebied en het DEM2014 zijn geïnterpoleerd door *ordinary kriging*. Deze waarden zijn opgeteld bij het DEM2014 voor het geplagde deel van het onderzoeksgebied. Het DEM2020 is geactualiseerd, uitgaande van het DEM2018 en de Z-metingen van 2020.
3. Vervolgens zijn de resultaten van 1 en 2 gecombineerd. Voor het deel van het onderzoeksgebied waar najaar 2015 is geplagd, zijn de gridcelwaarden van methode 2 genomen; waar niet is geplagd zijn de gridcelwaarden van methode 1 als resultaat gebruikt (dynamisch: waarden op een bepaalde locatie fluctueren over de tijd).

Relatieve maaiveldhoogte in cirkels met een straal van 5, 10 en 25 m

Om de positie van een locatie ten opzichte van de directe omgeving te bepalen, is de relatieve maaiveldhoogte berekend. Hierbij wordt voor elk rasterpunt van het DEM bepaald wat het verschil is tussen de hoogte in het rasterpunt en de gemiddelde hoogte van alle punten die zich bevinden in een cirkel rondom het punt. Hiermee wordt onderscheid gemaakt tussen lokale duintoppen en laagten, welke niet als zodanig worden herkend in de absolute maaiveldhoogte. Voor de straal van de cirkel zijn drie waarden genomen, te weten 5, 10 en 25 m. Bij de kleinste straal van 5 m komen de effecten van kleine geomorfologische kenmerken in het gebied tot uiting, terwijl deze bij de grootste straal van 25 m worden weggefilterd en het accent op grotere geomorfologische structuren ligt (dynamisch: waarden op een bepaalde locatie fluctueren over de tijd).

Indicator die aangeeft of locatie wel of niet onder water staat bij bepaalde zeespiegelstand (flood)

Voor drie niveaus van het zeewater (1,90 m, 2,20 m en 2,50 m boven NAP) is berekend welk deel van het onderzoeksgebied bij deze waterstand onder water kan stromen. Het instroompunt ligt aan de kant van de Waddenzee, in het zuidoosten van het gebied. Regelmatige, maar ook incidentele overstroming met zoutwater heeft invloed op de vegetatiesamenstelling. Om die reden worden kaarten van deze hulpvariabele meegenomen in de kartering. Berekening van de instroomgebieden is vrij eenvoudig te realiseren met GIS, op voorwaarde dat een voldoende nauwkeurig DEM beschikbaar is (dynamisch: waarden op een bepaalde locatie fluctueren over de tijd). Voor de werkelijk opgetreden inundaties, zoals door NCA jaarlijks vastgesteld op een zestiental meetpunten, wordt verwezen naar Krol (2021).

Aspect

'Aspect' is een kwalitatieve variabele die een functie is van de hellingshoek en de oriëntatie van een helling. Er zijn drie klassen onderscheiden, te weten N (oriëntatie tussen N315E en N45E), Z (oriëntatie tussen N135E en N225E) en overig (X). Bij een hellingshoek van 3 graden of minder is de klasse X, ongeacht de oriëntatie. De aspectwaarden zijn gebaseerd op de aspectkaart en de kaart van de hellingshoek, beide afgeleid van het DEM.

Zowel de puntgegevens van habitattypen als de beschikbare hulpinformatie zijn gebruikt om tot habitatkaarten voor de afzonderlijke meetjaren te komen. De kaarten zijn gemaakt met een mixed multinomiaal logistisch regressiemodel, met zowel *fixed* als *random* effecten. Hieronder wordt de theorie kort

² Naast 6 vaste meetpunten kon gebruik worden gemaakt van 25 extra meetpunten die zijn ingemeten in het kader van onderzoek, gestart in najaar 2016, naar de vegetatieontwikkeling in het geplagde deel van de duinvallei. De punten zijn ingemeten door NCA in samenwerking met WENR.

uitgelegd en vervolgens de praktische toepassing. Voor meer details verwijzen we de geïnteresseerde lezer naar Brus et al. (2014; 2016).

Indien er geen herhaalde observaties zouden zijn op dezelfde plot, zou het voorkomen van de habitattypen gemodelleerd kunnen worden met een multinomiaal logistisch regressie model (MNL) zonder random effect. In zo'n model wordt de kans op voorkomen van habitattypen gerelateerd aan omgevingskenmerken, ruimtelijke coördinaten en jaar van opname (zie hierboven). Eén willekeurig gekozen habitatype wordt als baselinetype genomen. De logaritme van de ratio van de kans op habitat j tot de kans op het baselinetype wordt gemodelleerd als een lineaire combinatie van de geselecteerde verklarende variabelen:

$$\log\left(\frac{p_{ij}}{p_{i1}}\right) = \sum_{p=0}^p x_{ip} \beta_{pj}$$

Echter, in ons geval zijn er zowel permanente plots met herhaalde waarnemingen als zwervende plots met slechts één waarneming. Voor de permanente plots is het niet realistisch om aan te nemen dat de herhaalde observaties onafhankelijk zijn. Om hiermee rekening te houden, mogen de regressiecoëfficiënten voor een gegeven habitatype in het nieuwe MNL-model – in tegenstelling tot die in een gewoon MNL-model – verschillen tussen de locaties. Het is echter niet haalbaar om de regressiecoëfficiënt voor elke locatie te schatten. Wel kan de regressiecoëfficiënt van elke locatie gezien worden als een random getrokken waarde uit een normale verdeling met gemiddelde nul. Om dit te bewerkstelligen, worden in het nieuwe model random intercepts (u_{ij}) toegevoegd. Dit nieuwe mixed multinomiaal logistische regressiemodel (MMNL) wordt dan:

$$\log\left(\frac{p_{itj|u_i}}{p_{it1|u_i}}\right) = \sum_{p=0}^p x_{itp} \beta_{pj} + u_{ij} = \beta_{0j} + u_{ij} + \sum_{p=1}^p x_{itp} \beta_{pj}$$

met $p_{itj|u_i}$ de conditionele kans op habitat j op locatie i en tijd t, geconditioneerd op de vector met random intercepts u_i . De aanname is nu dat, gegeven de locatiespecifieke regressiecoëfficiënten, de herhaalde waarnemingen op de permanente plots onafhankelijk zijn. In dit model moeten niet alleen de regressiecoëfficiënten voor elk habitatype worden geschat, maar ook de varianties van de random intercepts en hun covarianties. Schattingen kunnen worden verkregen via simulatie, waarbij een groot aantal trekkingen uit de verdeling van de intercepts wordt gedaan, de kans op deze interceptwaarden wordt berekend en vervolgens een gemiddelde van deze kansen wordt genomen. Voor zes habitats leidt dit tot vijf interceptvarianties en tien covarianties.

Praktische toepassing: in verband met numerieke stabiliteit zijn alle kwantitatieve hulpvariabelen gestandaardiseerd, dat wil zeggen verminderd met het gemiddelde (over alle jaren) en vervolgens gedeeld door de standaardafwijking (over alle jaren). Vervolgens werd een *stepwise regression* uitgevoerd, startend met zowel een vol als een leeg model. Hieruit werd het beste MNL-model geselecteerd, waarbij het Akaike's Informatie Criterium (AIC) als selectiecriteria werd gebruikt. Het AIC is een functie van de *likelihood* van het model en het aantal regressiecoëfficiënten. Het AIC moet zo laag mogelijk zijn. Wanneer twee modellen een gelijke *likelihood* hebben maar een verschillend aantal regressiecoëfficiënten, dan wordt het model met het kleinste aantal regressiecoëfficiënten geselecteerd als het beste model. In het uiteindelijke model kwamen de volgende covarianties voor: jaar van observatie (als kwalitatieve variabele, factor), X-coördinaat, Y-coördinaat, absolute maaiveldhoogte, relatieve maaiveldhoogte in cirkels met een straal van 10 en 25 m en 'flood' bij een zeewaterstand van 2,20 m +NAP.

Deze hulpvariabelen zijn vervolgens gefit in een MMNL-model als 'fixed effects' en 'random intercepts'. Met de geschatte regressiecoëfficiënten van het MMNL-model zijn vervolgens voor de knooppunten van een fijn grid voor elk van de zes habitattypen de kansen op voorkomen geschat voor de verschillende jaren (2001, 2004, 2006, ... 2020). Als voorspelling van het habitatype in een bepaald jaar op een bepaald knooppunt is vervolgens het habitatype met de grootste kans genomen. De oppervlakte van een bepaald habitatype in een bepaald jaar is voorspeld met het gemiddelde van de kansen van dit habitatype over alle knooppunten van het discretisatiegrid voor dat jaar.

3 Resultaten

3.1 Veranderingen in hoogte maaiveld

3.1.1 Meetnauwkeurigheid Z-coördinaat

Bij het inmeten van de zeventig vaste en zeventig zwervende proefvlakken is naast de X- en Y-coördinaat ook de Z-coördinaat bepaald van ieder proefvlak. Anders dan andere jaren, waarin we samen met een geodeet eerst gedurende enkele dagen alle proefvlakken inmeten en markeerden, hebben we in 2020 per meetdag proefvlakken van die dag ingemeten, waarbij we aan het begin van een meetdag eerst een vast peilmerk (02C87) opmaten als check van de juiste X-, Y- en Z-waarde (Figuur 2). Door dit alle meetdagen te doen, werd informatie verkregen over de nauwkeurigheid (*accuracy*) in de gemeten coördinaten. Met name voor de Z-coördinaat is dat relevant, omdat de meetonnauwkeurigheid daarvan doorgaans het grootst is. Bovendien is maaiveldhoogte een relevante variabele als het gaat om het monitoren van de effecten van bodemdaling.



Figuur 2 Peilmerk 02C87 (RD-coördinaten: 187027.38; 608369.95) aan de noordkant van Neerlands Reid, naast het fietspad, dat iedere meetdag werd gebruikt om de meetnauwkeurigheid te bepalen.

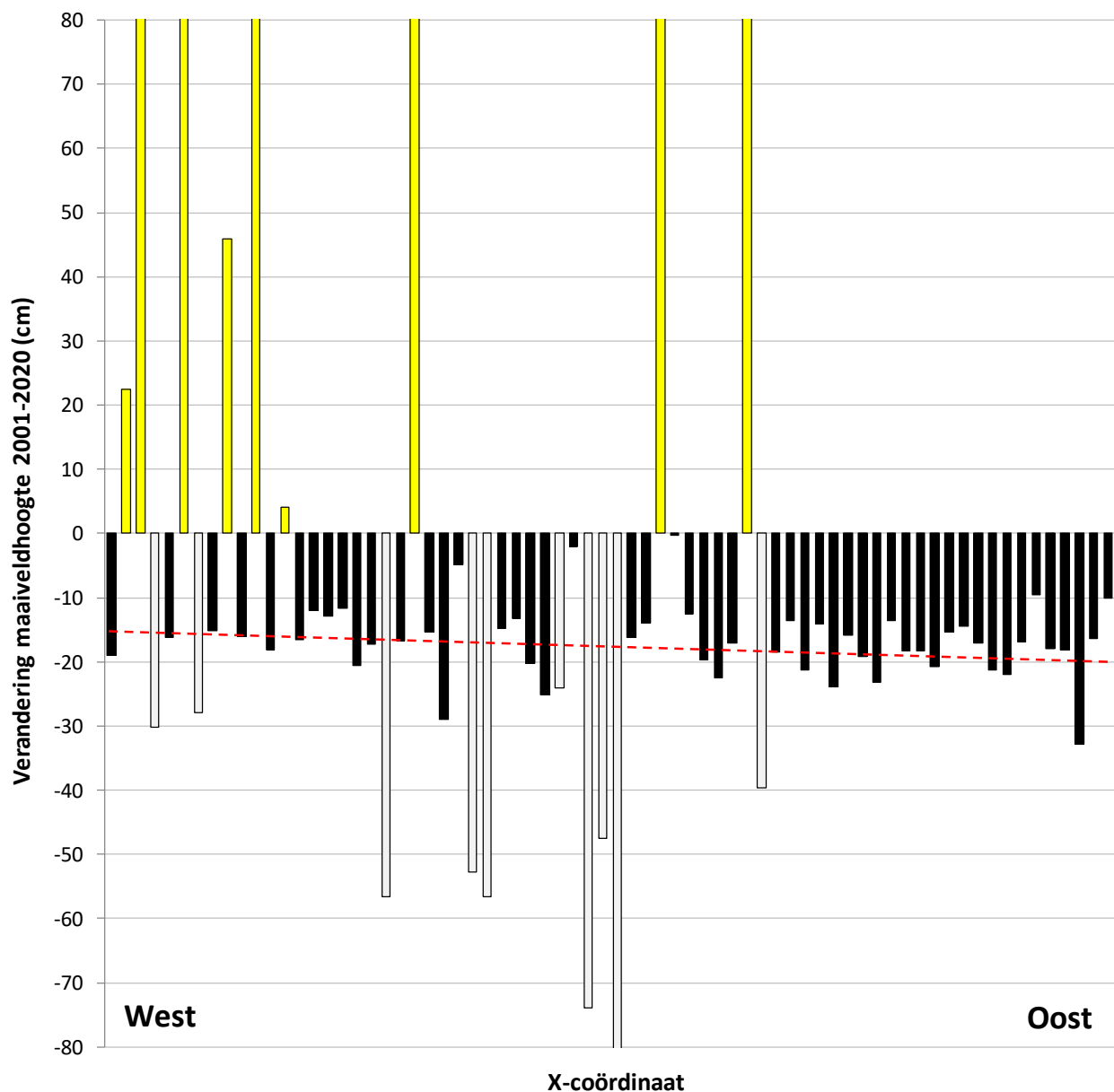
Over tien meetdagen bedroeg de gemiddelde gemeten hoogte van de bout 2,075 m +NAP met een standaardfout van 0,0033 m (n=10). De spreiding bedroeg 3,3 cm, al met al een acceptabele meetonnauwkeurigheid.

Conclusie: De meetonnauwkeurigheid in de hoogte van het maaiveld bedroeg 0,3 cm.

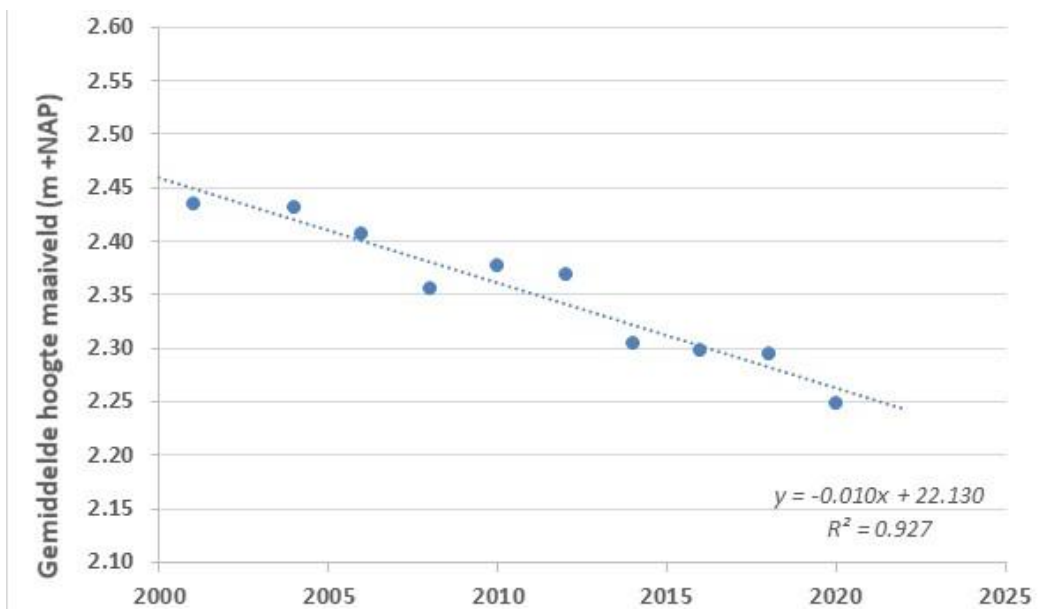
3.1.2 Netto verandering hoogte maaiveld

Van de zeventig vaste proefvlakken is de verandering in maaiveldhoogte bepaald met regressie door alle meetpunten van het maaiveld tussen 2001 en 2020 (tien meetpunten). Op basis van de regressievergelijking is de bodemdaling van ieder proefvlak bepaald over de periode van negentien jaar. In vrijwel alle gevallen kon de bodemdaling het beste worden gefit met een lineair model ($R^2 > 0,90$).

- Van 47 proefvlakken was het maaiveld >10 cm gedaald. De gemiddelde bodemdaling bedroeg $18,0 \pm 4,3$ cm in de periode 2001-2020, wat neerkomt op een gemiddelde bodemdaling van $0,95$ cm/jaar. Aan de westkant van het onderzoeksgebied was de daling iets minder groot dan aan de oostkant (rode stippellijn in Figuur 3).
- Van tien proefvlakken was het maaiveld gedaald, vooral als gevolg van plaggen/afgraven van de duinvalleien in 2005 of 2015, waarbij de daling soms opliep tot ruim 90 cm (Figuur 3).
- Van negen proefvlakken was het maaiveld gestegen door opstuiving of overstuiving. Proefvlak 3, gelegen aan de strandzijde van de zeereep, was het meest opgestoven, met een stijging van het maaiveld van 495 cm.
- Van vier proefvlakken was het maaiveld niet of slechts weinig gedaald.



Figuur 3 Verandering in maaiveldhoogte van de 70 vaste plots in het onderzoeksgebied over de periode 2001-2020 als gevolg van opstuiving/overstuiving (geel), plaggen/afgraven (grijs) en bodemdaling (zwart). De y-as is afgesneden bij -80 of +80 cm. De 70 proefvlakken staan van links naar rechts afgebeeld met oplopende X-coördinaat (van west naar oost).



Figuur 4 Verandering in de gemiddelde maaiveldhoogte van de vaste proefvlakken ($n=47$) met bodemdaling die niet waren geplagd.

Kijken we naar de gemiddelde maaiveldhoogte van de 47 dalende vaste proefvlakken (niet geplagd), dan zien we dat er een vooralsnog monotone daling is opgetreden ($P < 0,001$) en er nog geen aanwijzingen zijn dat de bodemdaling aan het maaiveld aan het afvlakken is (Figuur 4).

Conclusie: De daling van het maaiveld bedroeg over de periode 2001-2020 gemiddeld 9,5 mm per jaar. Er was nog geen zichtbare afvlakking opgetreden.

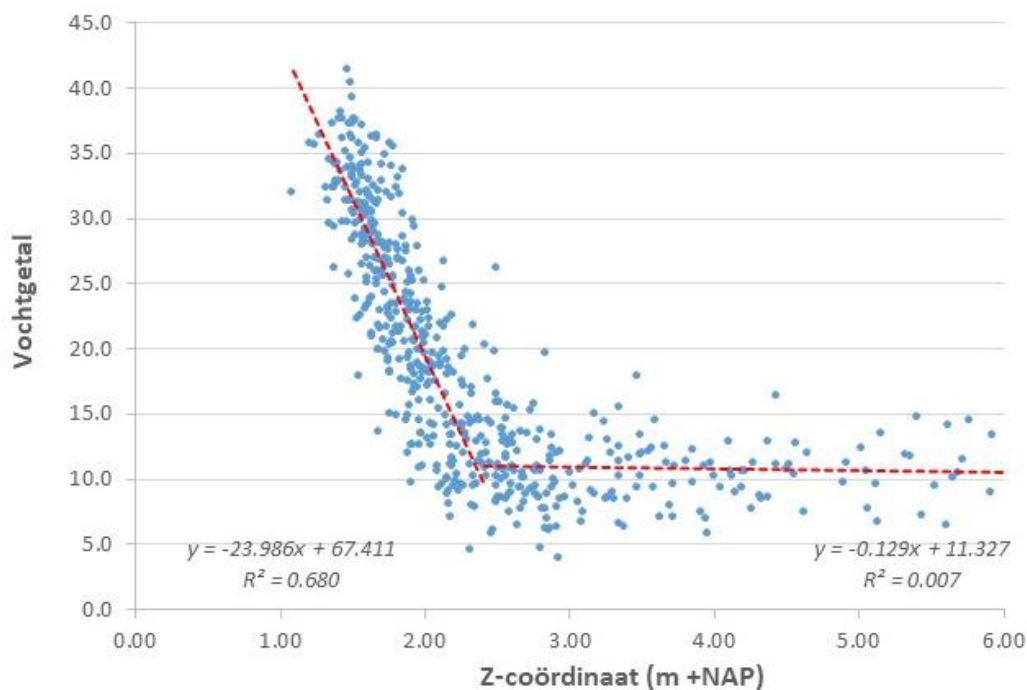
3.2 Indicatiewaarden

3.2.1 Vochtindicatie

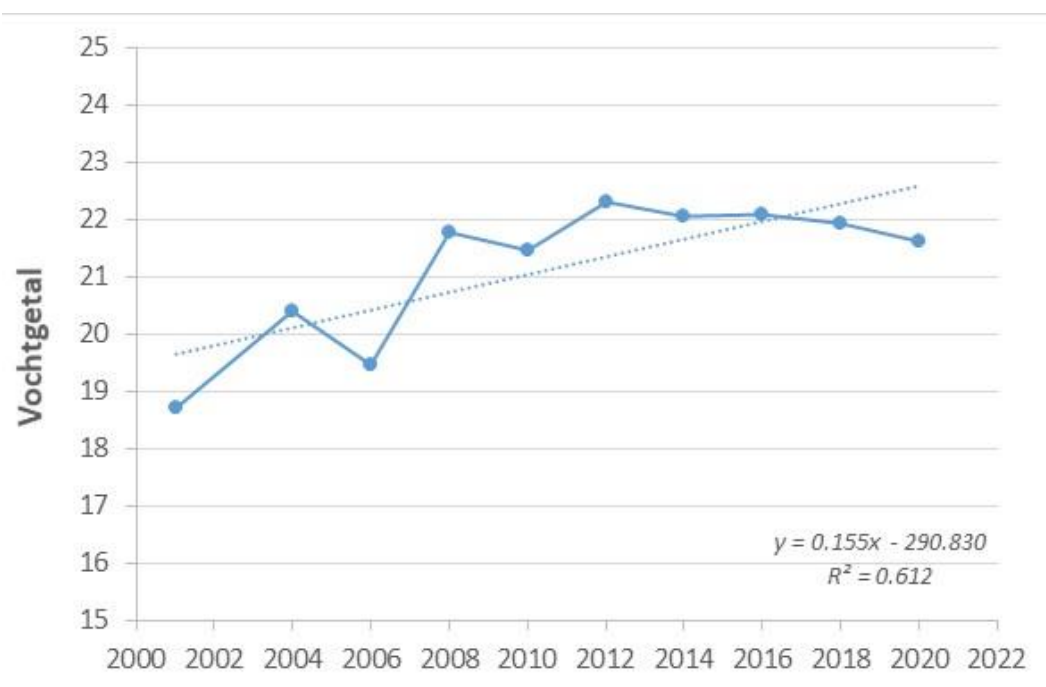
Eerst is gekeken naar de relatie tussen de hoogte van een proefvlak en het vochtgetal. Daarvoor zijn de data gebruikt van de vaste proefvlakken uit 2001 en alle zwervende proefvlakken van de meetjaren 2004-2020 ($n=584$). Geplagde proefvlakken zijn buiten beschouwing gelaten.

Nadat bleek dat de relatie tussen vochtgetal en de Z-coördinaat niet significant verschilde tussen meetjaren, zijn alle meetjaren samengenomen in één figuur. Het resultaat staat in Figuur 5. Daaruit valt af te leiden dat beneden een maaiveldhoogte van 2,35 m +NAP het vochtgetal toeneemt bij afnemende hoogte van het maaiveld. Boven 2,35 m is het vochtgetal niet meer afhankelijk van de hoogte van het maaiveld. Met andere woorden: 2,35 m +NAP is een kritische drempelwaarde waar beneden de vegetatie onder invloed staat van het grondwater of van perioden van overfloeding. Boven 2,35 m wordt de vegetatiesamenstelling niet beïnvloed door de beschikbaarheid van bodemvocht.

Vervolgens is de vraag of het vochtgetal van de vaste proefvlakken veranderd is in de tijd onder invloed van bodemdaling. Daarbij is vooral gekeken naar de proefvlakken die aan de linkerkant lagen van Figuur 5, met een maaiveldhoogte in 2001 van 2,50 m +NAP of lager. Zoals te zien in Figuur 6, is er inderdaad vernatting opgetreden in de lageregelegen proefvlakken ($P=0,007$). Deze vernatting is vooral opgetreden in de periode 2001-2012; daarna fluctueert het gemiddelde vochtgetal, maar vertoont geen trend. De laatste jaren lijkt weer eerder verdroging dan vernatting te zijn opgetreden, mogelijk als gevolg van een aantal droge zomers (2018, 2019).



Figuur 5 Relatie tussen het indicatiegetal voor vocht (WW-vocht) en de hoogte van het maaiveld (Z-coördinaat) (n=584).



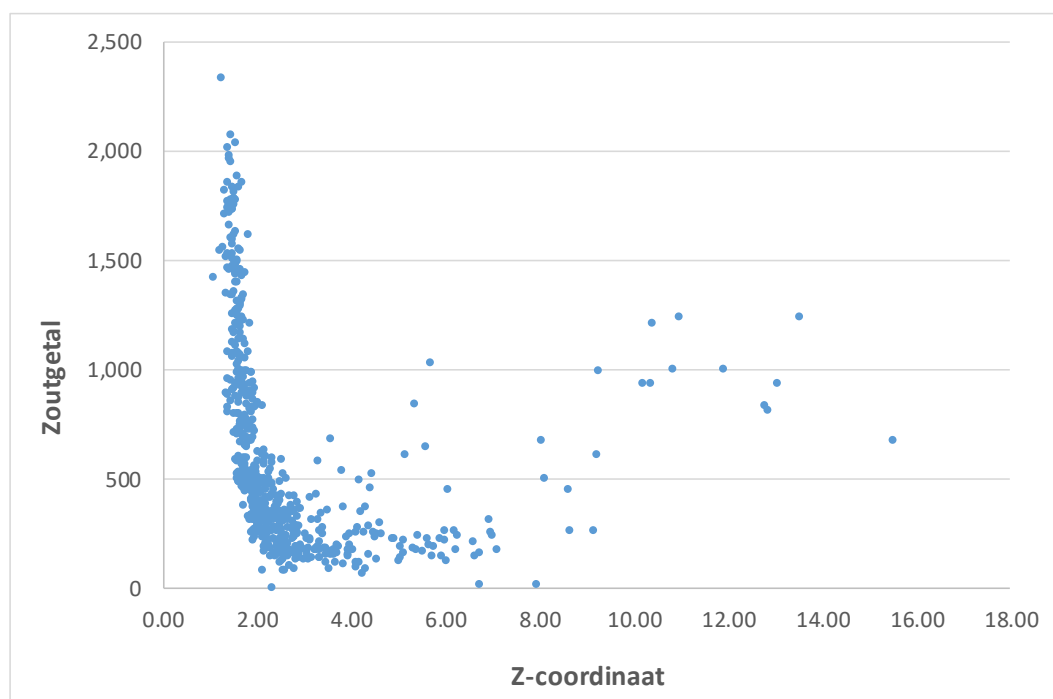
Figuur 6 Verandering van vochtindicatiewaarden (WW-vocht) van de vaste proefvlakken die in 2001 op <2,50 m +NAP lagen en waar bodemdaling is opgetreden (n=35).

3.2.2 Zoutindicatie

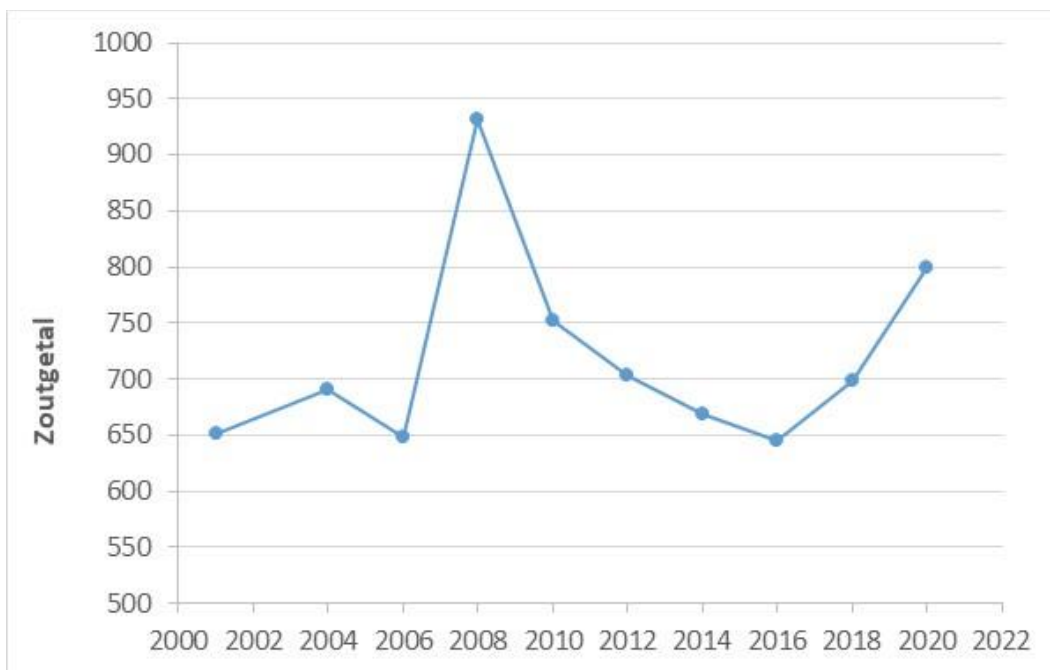
Het zoutgetal is sterk gecorreleerd aan het vochtgetal (correlatiecoëfficiënt = 0,78). Daardoor laat de relatie tussen zoutgetal en maaiveldhoogte (Z-coördinaat) een vergelijkbare curve zien (Figuur 7) als bij de relatie tussen vochtgetal maaiveldhoogte (Figuur 5). Opvallend is wel dat bij hogere Z-waarden soms ook een hoog zoutgetal voorkomt. Dat betreft met name proefvlakken in de zeereep die zijn blootgesteld aan *salt spray*.

Ook voor het zoutgetal is nagegaan of er veranderingen in de tijd zijn opgetreden. Daarvoor zijn weer de proefvlakken geselecteerd die in 2001 <2,50 m +NAP lagen en waar bodemdaling is opgetreden. Opvallend is de piek in 2008 (Figuur 8). Zoals ook in eerdere integrale rapportages is beschreven (De Vlas, 2011; 2017), was deze tijdelijke verzilting het gevolg van een opeenvolging van bijzondere gebeurtenissen. De hoge vloeden van 2006 en 2007 en de daaropvolgende lange droge periode resulteerden in een sterke uitbreiding van zilte begroeiingen in 2008, zowel in de westelijk gelegen duinvallei aan de westkant van de fietsenstalling, maar vooral ook aan de oostkant. Het slechten van een tweetal drempels in 2005 heeft bijgedragen aan de toestroom van zout water bij deze hoge vloeden naar de westkant van het onderzoeksgebied. Vanaf dat moment raakte dit deel van de vallei gemiddeld eenmaal per jaar geïnundeerd met zeewater. Hoge vloeden hebben ook aan de oostzijde van het gebied geresulteerd in een tijdelijke uitbreiding van zilte begroeiingen. In de jaren daarna nam deze verzilting weer geleidelijk af door uitspoeling met regenwater.

Wat verder opvalt in Figuur 8, is dat vanaf 2018 weer sprake is van een geleidelijke verzilting van de lagergelegen proefvlakken (<2,50 m +NAP). Ook dit kan samenhangen met droge zomers, waardoor het grondwater diep is weggezakt op moment dat in het najaar de eerste stormvloeden de valleien onder water zetten en het zoute water de bodem kan binnendringen.



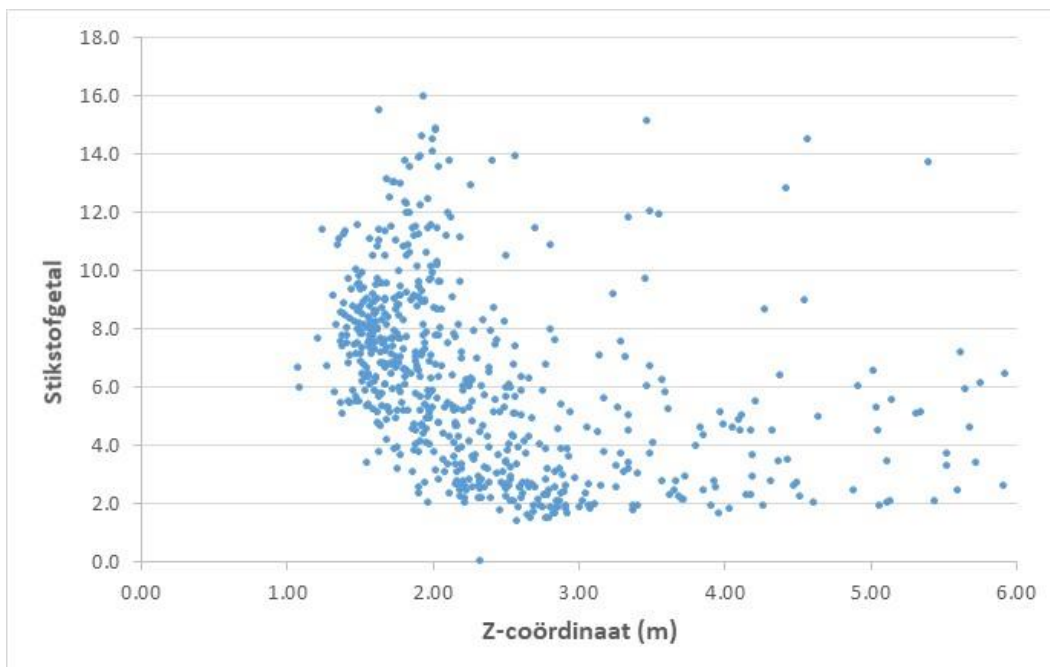
Figuur 7 Relatie tussen het indicatiegetal voor zout (WW-zout) en de hoogte van het maaiveld (Z-coördinaat) (n=584).



Figuur 8 Verandering van zoutindicatie (WW-zout) van de vaste proefvlakken die in 2001 op <2,50 m +NAP lagen en waar bodemdaling is opgetreden (n=35).

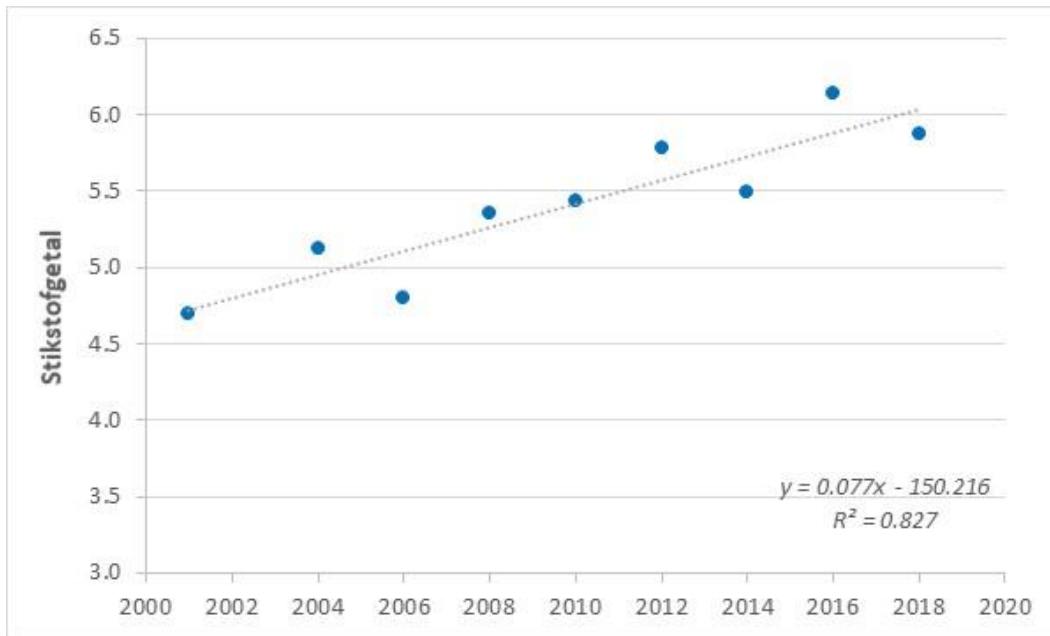
3.2.3 Stikstofindicatie

Ook bij stikstofindicatie is gekeken of er een relatie met de hoogte van het maaiveld was (Figuur 9). Die was er, maar veel minder duidelijk dan bij vochtindicatie. Ook bij hoger gelegen plots vinden we soms een hoge stikstofindicatie van de vegetatie.



Figuur 9 Relatie tussen het indicatiegetal voor stikstof (WW-NO₃) en de hoogte van het maaiveld (Z-coördinaat) (n=584).

Een toename van het stikstofgetal kan deels het gevolg zijn van vernatting. Het stikstofgetal en het vochtgetal bleken aan elkaar gecorreleerd (correlatiecoëfficiënt = 0,64). Om eventuele veranderingen in de tijd van het stikstofgetal op te sporen, veroorzaakt door stikstofdepositie en niet doordat de bodem is vernat door bodemdaling, zijn alleen de vaste proefvlakken geselecteerd waarvan in de hele periode (2001-2020) de maaiveldhoogte op >2,50 m +NAP is gebleven. Immers, in dat bereik is er geen relatie tussen maaiveldhoogte en vocht (Figuur 5). De resultaten voor de trend van het stikstofgetal in de tijd staan in Figuur 10.



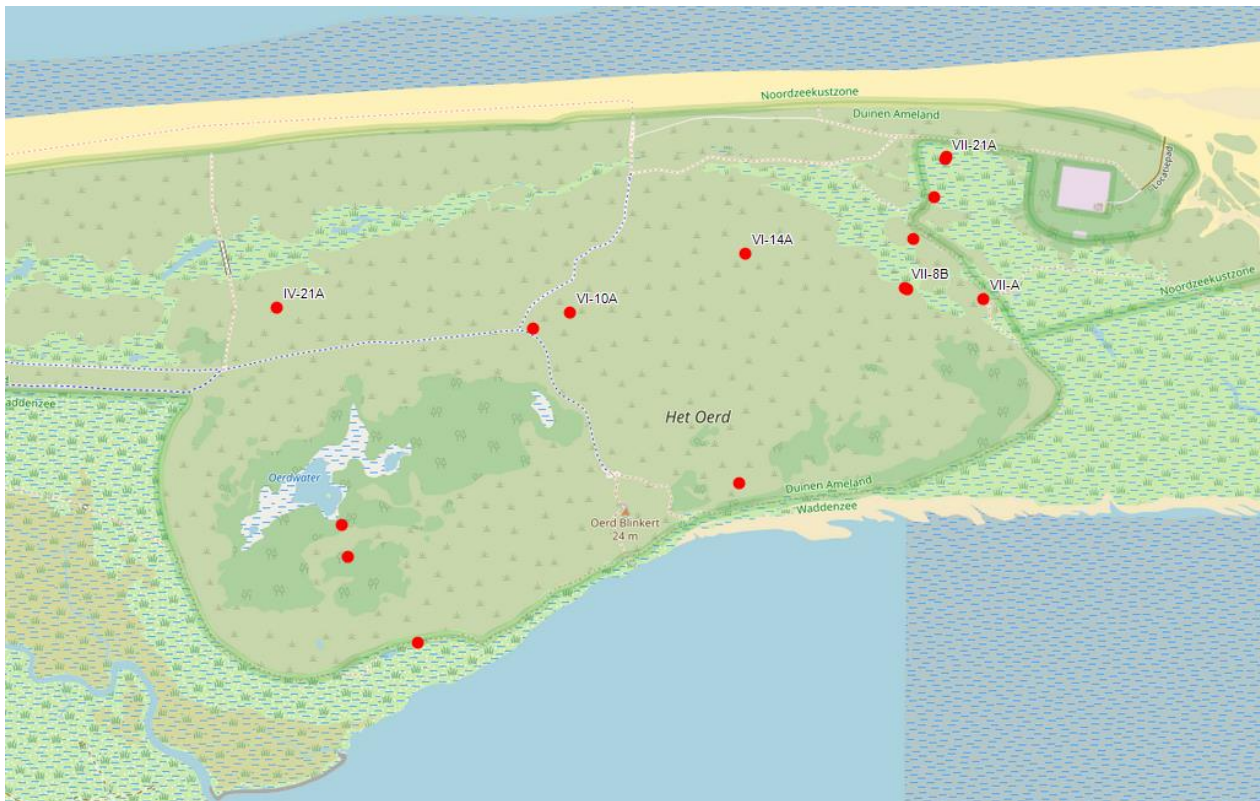
Figuur 10 Verandering van stikstofindicatie (WW-NO₃) van de vaste proefvlakken op >2,50 +NAP (n=29).

Uit Figuur 10 komt naar voren dat er een significante toename was in de stikstofindicatie in de vaste proefvlakken >2,50 m +NAP ($P < 0,001$). Dit houdt ongetwijfeld verband met de hoge stikstofdepositie, ook op de Waddeneilanden, waardoor karakteristieke soorten van droge duingraslanden (habitattype H2130 Grijze duinen) met een lage stikstofindicatie geleidelijk achteruitgaan (zie verder paragraaf 3.5.1).

3.3 Grondwaterstanden

De grondwaterstand in duinvalleien is afhankelijk van een groot aantal factoren, waarvan de belangrijkste zijn zeespiegelniveau, omvang van de zoetwaterbel drijvend op het zoute water, aanwezigheid van eventuele kleilagen dieper in het bodemprofiel en het reliëf. Na fikse regenbuien kunnen grote kortetermijnfluctuaties optreden in het grondwaterniveau, aangezien het regenwater snel wegzakt in duinzand. Verder is er sprake van seizoenfluctuaties, waarbij de grondwaterstand stijgt bij een neerslagoverschot gedurende het winterhalfjaar. In het zomerhalfjaar zakt de grondwaterstand weer uit doordat er sprake is van een neerslagtekort als gevolg van relatief hoge verdamping en minder neerslag. In onderstaande analyse is vooral gekeken naar langjarige trends in het grondwaterniveau in het onderzoeksgebied.

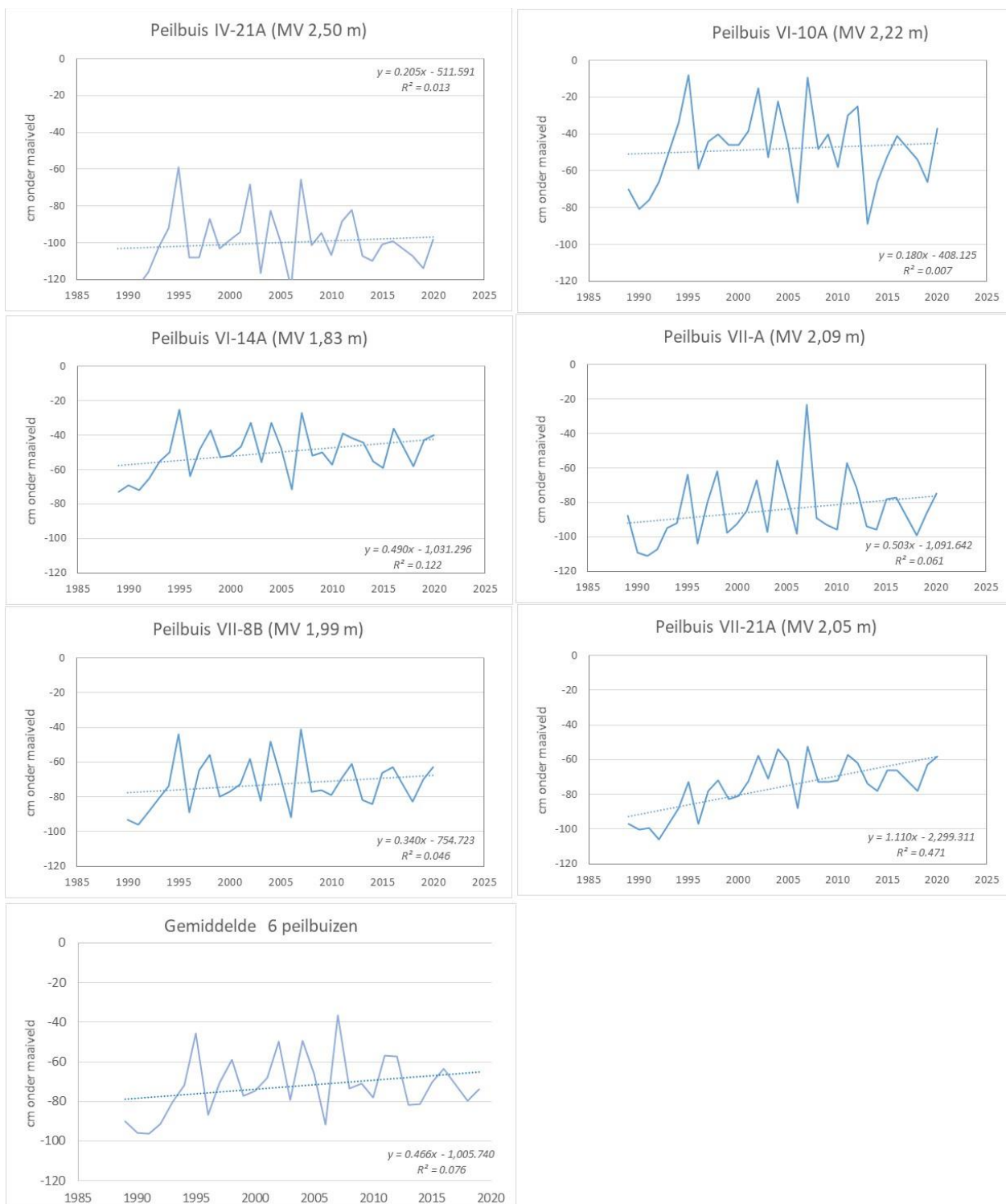
In Figuur 11 staat weergegeven welke peilbuizen zijn gekozen om de trends in grondwaterstanden te analyseren. Tussen de hoge grondwaterstanden in de winter en de lage grondwaterstand in de late zomer kan een verschil van 80-100 cm zitten. De GLG van zes peilbuizen, zoals jaarlijks gemeten in de periode 1986-2020, staan weergegeven in Figuur 12.



Figuur 11 Ligging van peilbuizen in het onderzoeksgebied. De zes buizen met code zijn gebruikt voor analyse van grondwaterstandveranderingen in de periode 1986-2020.

Van jaar tot jaar treden er aanzienlijke verschillen op in de GLG, waarbij de GLG varieert van minder dan 10 cm onder maaiveld in hele jaren tot meer dan 120 cm onder maaiveld in droge jaren.

De overalltrend is er een van stijgend grondwater, al zijn de regressies van de afzonderlijke peilbuizen vanwege de sterke jaar op jaar fluctuaties vrijwel nergens significant (Figuur 12). Alleen bij Peilbuis VII-21A is de trend significant ($P < 0,001$). De stijging van de GLG, gemiddeld over alle peilbuizen, bedraagt in de periode 1986-2020 in totaal 16 cm. Onder het duinmassief van de Oerderduinen is de stijging wat lager (4-7 cm) en in de laaggelegen valleien aan de oostzijde, dicht bij het centrum van de bodemdalingsschotel, wat hoger (17-38 cm). De zeespiegelstijging (6,8 cm over de periode van 34 jaar) kan slechts een deel van de vernatting verklaren. Daarmee is het waarschijnlijk dat het overige deel het gevolg is van de opgetreden bodemdaling, waardoor het maaiveld wat dichterbij de zoetwaterbel is komen te liggen.



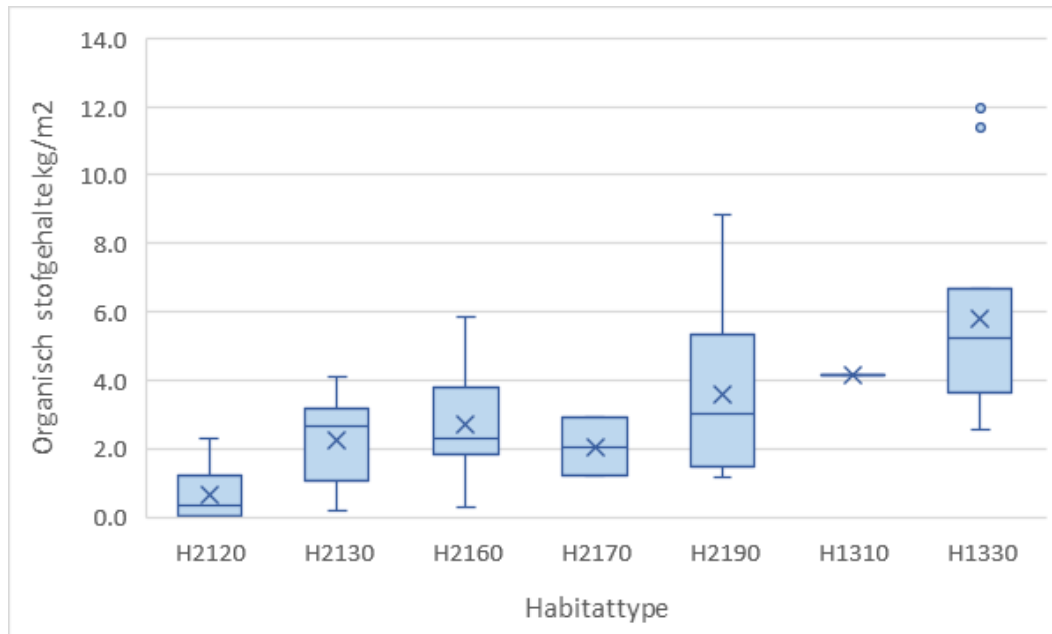
Figuur 12 Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG in cm beneden maaiveld) van een zestal peilbuizen en hun gemiddelde in het onderzoeksgebied in de periode 1989-2020.

3.4 Bodemchemie

In 2020 is van de zeventig vaste PQ's het organisch stofgehalte bepaald in de bodem, evenals de veldvochtigheid (%), en zijn enkele aanvullende bodemchemische bepalingen uitgevoerd, waaronder pH H₂O, pH 0,01 M CaCl₂, totaalgehalten van Na, Ca, S, P en N en P-Olsen (voor planten beschikbare fosfaat). De analyseresultaten staan weergegeven in Bijlage 1.

3.4.1 Accumulatie van organische stof in de bodem

Het organisch stofgehalte varieerde van $<0,05 \text{ kg/m}^2$ in Witte duinen (H2120) in de zeereep tot 12 kg/m^2 in Zilte graslanden (H1330) (Figuur 13).



Figuur 13 Boxplots van het organisch stofgehalte in de bodem in relatie tot het habitatype. (H2120 Witte duinen, H2130 Grijze duinen, H2160 Duindoornstruwelen, H2170 Kruipwilgstruwelen, H2190 Vochtige duinvalleien, H1310 Zilte pionierbegroeiingen, H1330 Zilte graslanden.)

De geaccumuleerde hoeveelheid organische stof in de duingraslanden bedraagt gemiddeld $2\text{--}3 \text{ kg/m}^2$, waarbij de humuslaag $>8 \text{ cm}$ dik kan zijn (Figuur 14). In natte duinvalleien komt gemiddeld 4 kg/m^2 geaccumuleerde organische stof voor tot een maximum van 9 kg/m^2 . In de zilte valleien met kwelderachtige begroeiing is dat met gemiddeld 6 kg/m^2 nog wat hoger. De maximumwaarde voor geaccumuleerde organische stof in de laagst gelegen proefvlakken ($<1,55 \text{ m} + \text{NAP}$) bedraagt ca. 12 kg/m^2 .

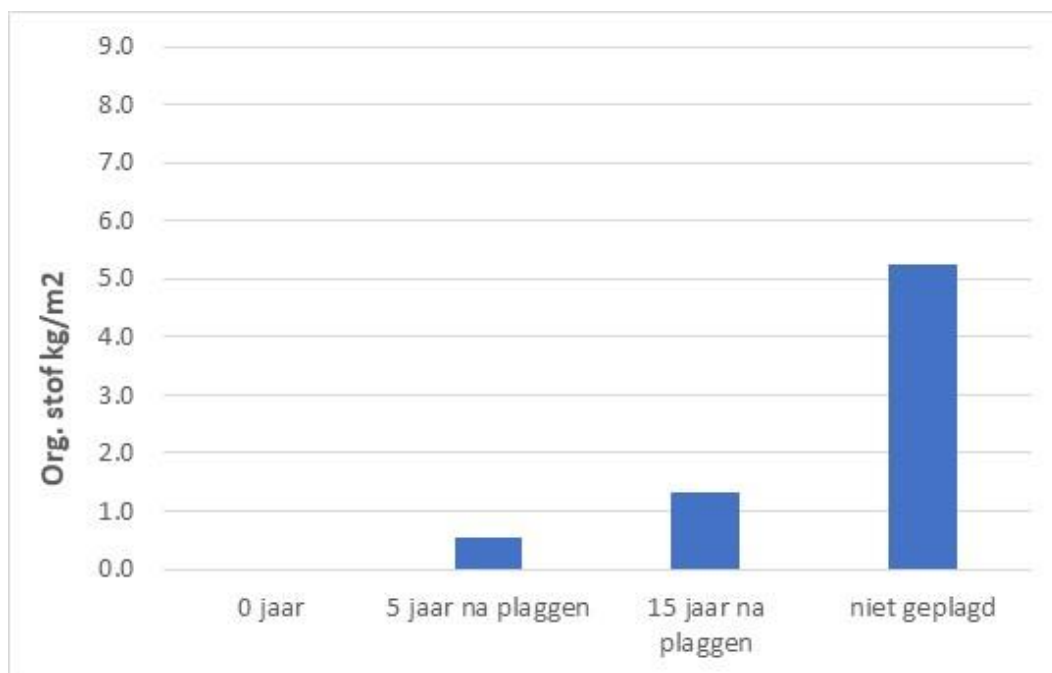


Figuur 14 Humusprofiel in droog duingrasland (PQ01; habitatype H2130).

Het vochtgehalte en de meeste elementconcentraties (calcium uitgezonderd) waren positief gecorreleerd met de hoeveelheid organische stof in het bodemprofiel (Bijlage 3). Daarmee is het organisch stofgehalte een belangrijke bodemparameter die naast vochtgehalte ook de beschikbaarheid van nutriënten voor de vegetatie beïnvloedt. Verder waren natrium en zwavel in de bodem sterk positief aan elkaar gecorreleerd, wat samenhangt met de invloed van sulfaatrijk zeewater in de laaggelegen valleien.

Alleen de pH was negatief gecorreleerd met organische stof in de bodem (Bijlage 3), wat samenhangt met de aanwezigheid van meer humuszuren bij hogere organisch stofgehalten. De pH (0,01 M CaCl₂) van duingraslanden (H2130) bedroeg gemiddeld 6,5-7,2, van vochtige duinvalleien (H2190) 5,5-6,7 en van zilte graslanden in de valleien (H1330) 5,7-7,1.

Tevens is gekeken naar de snelheid van opbouw van organische stof in de bodem in duinvalleien na plaggen. Aan de oostkant van het Spijkerpad is een groot deel van de vallei in 2005 geplagd (vijftien jaar geleden). PQ04 en PQ07 zijn twee vaste plots die in deze geplagde vallei liggen. Aan de oostkant van het pad naar de fietsenstalling is een groot deel van de vallei geplagd in 2015 (vijf jaar geleden). Daar liggen de vaste plots PQ26, PQ27, PQ34, PQ36 en PQ46. Het organisch stofgehalte in de geplagde plots is vergeleken met vaste plots in de duinvalleien (habitattype H2190) die niet zijn geplagd (PQ19, PQ30, PQ 43, PQ47). Figuur 15 laat zien dat de opbouw van organische stof in duinvalleien betrekkelijk langzaam verloopt en dat het tientallen jaren duurt voordat zich een humusprofiel heeft ontwikkeld met 5-8 kg/m² organische stof, het niveau van de ongeplagde valleien in het gebied.



Figuur 15 Organisch stofgehalte in de bodem in duinvalleien 5 en 15 jaar na plaggen en in niet-geplagde proefvlakken.

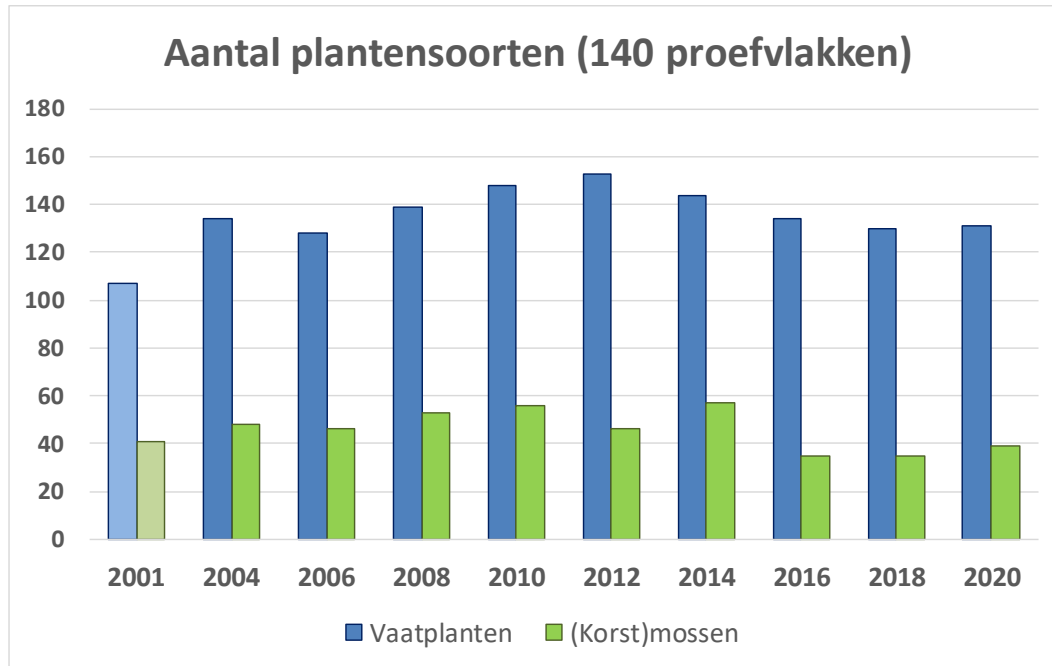
3.5 Vegetatieveranderingen

3.5.1 Soortendiversiteit

In totaal werden er in de 140 proefvlakken in 2020 131 soorten vaatplanten en 39 soorten mossen en korstmossen aangetroffen (Bijlage 2). Het aantal waargenomen soorten per meetjaar is de laatste jaren min of meer stabiel (Figuur 16). Wel werden er in 2020 vier nieuwe soorten vaatplanten en vier nieuwe (korst)mossoorten aangetroffen, die in eerdere meetjaren nog niet waren gezien:

Kandelaartje (*Saxifraga tridactylites*)
 Bezemkruiskruid (*Senecio inaequidens*)
 Dagkoekoeksbloem (*Silene dioica*)
 Echte koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*)

Klein boomzonnetje (*Athallia cerinella*),
 Muurzonnetje (*Athallia holocarpa*),
 Open rendiermos (*Cladonia portentosa*)
 Dun schaduwmos (*Hyperphyscia adglutinata*).



Figuur 16 Totale aantal soorten vaatplanten en (korst)mossen aangetroffen per meetjaar in alle proefvlakken samen. In 2001 zijn 70 proefvlakken opgenomen, in alle jaren daarna 140 proefvlakken.

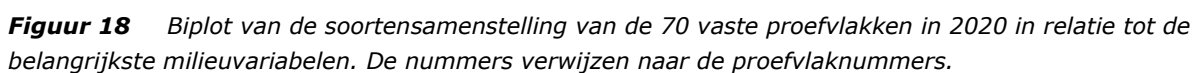
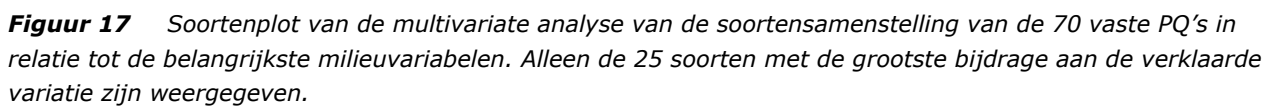
3.5.2 Multivariate analyse

Er is een multivariate analyse uitgevoerd met *stepwise forward selection* om na te gaan welke factoren het meest verklarend zijn voor het verschil in soortensamenstelling tussen de vaste PQ's. Deze analyse is uitgevoerd voor de data van 2020 (voor de andere meetjaren wordt verwezen naar integrale rapportages van 2000, 2005, 2011 en 2017 (Eysink et al., 2000; De Vlas, 2005; 2011; 2017). De resultaten staan samengevat in Tabel 2 en Figuur 17 en 18. Bodemvochtigheid bleek de belangrijkste verklarende variabele, naast kleigehalte van de bodem en P-Olsen (voor planten beschikbaar fosfaat).

Tabel 2 Bijdrage van afzonderlijke variabelen aan de verklaring van verschillen in soortensamenstelling van de 70 vaste PQ's in 2020.

Variabele	% Verklarend	Bijdrage	F-waarde	P	Significantie
Vocht%	7,3	11,7	5,0	0,002	**
Bodem_kleilig	4,2	6,8	3,0	0,002	**
P-Olsen	2,8	4,5	2,0	0,020	*
Calcium	2,4	3,9	1,8	0,042	*
Bodem_venig	2,4	3,8	1,7	0,036	*
pH (CaCl ₂)	2,2	3,5	1,6	0,020	*
NO ₃	2,1	3,4	1,6	0,048	*
Totaal	23,4	37,6			

Significantieniveaus: * < 0,05; ** < 0,01; *** < 0,001

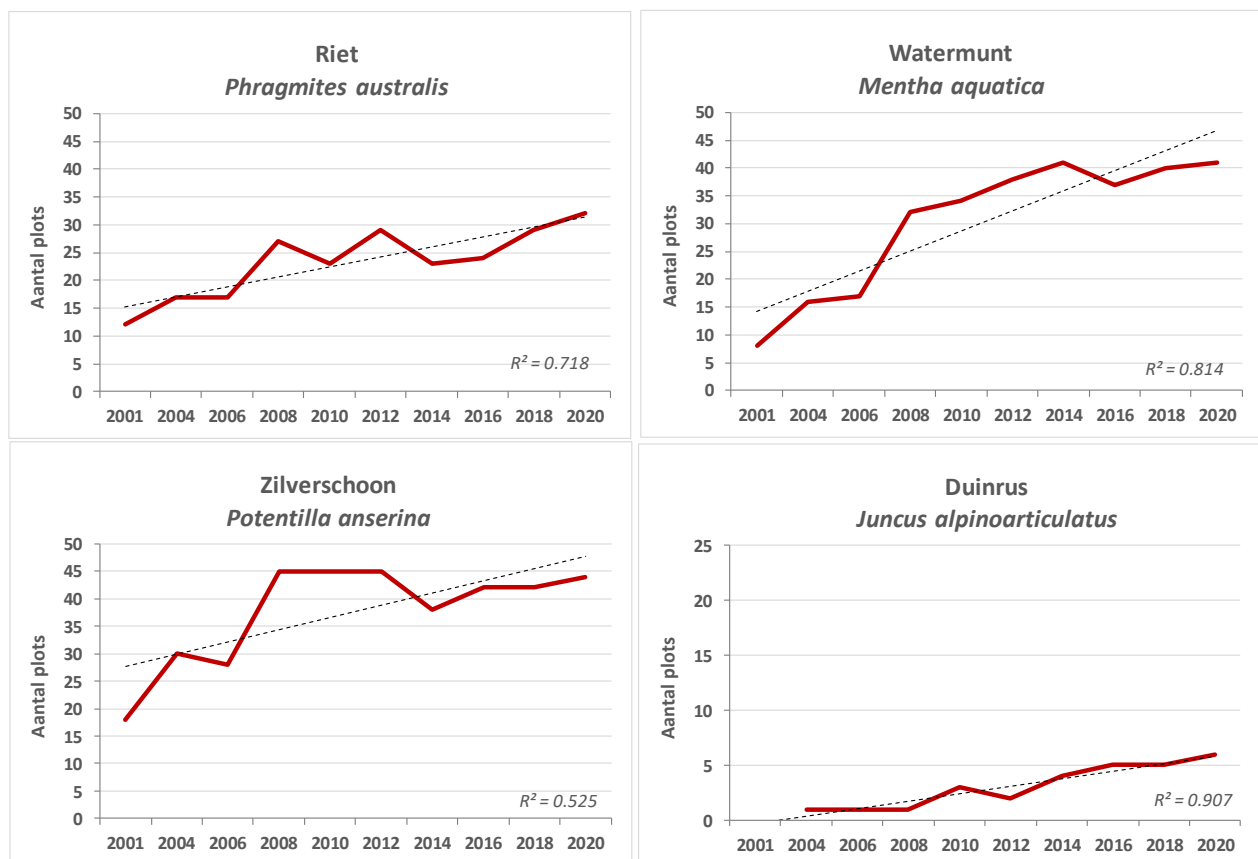


De x-as in het soortenplot vertegenwoordigt vooral een vochtgradiënt van droog (links) naar nat (rechts), terwijl de y-as vooral een gradiënt in voedselrijkdom weergeeft van lage kwelder naar hoge kwelder (rechterkant van het plot) en van zeereep naar duingrasland/duinstruweel (linkerkant van het plot).

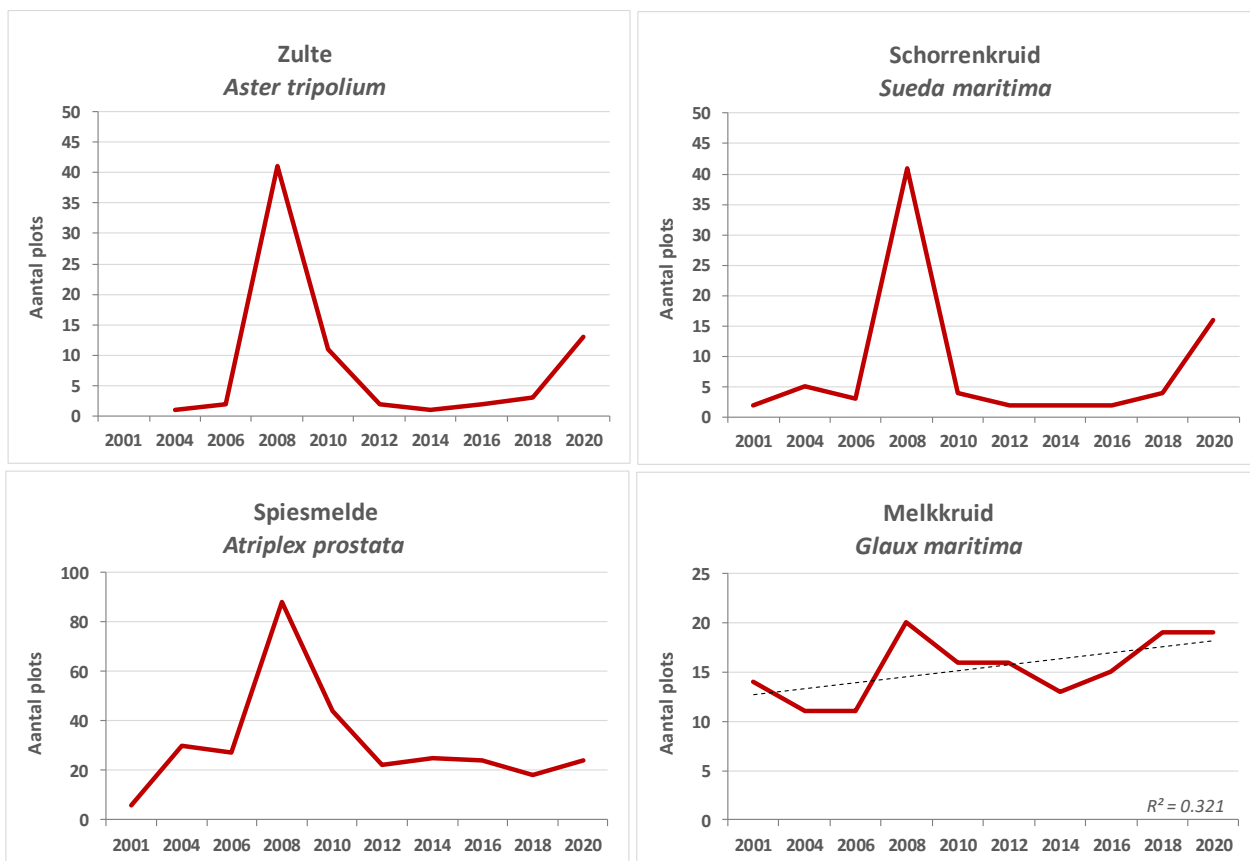
3.6 Voorkomen indicatieve soorten

Trends in het ruimtelijk voorkomen van een aantal soorten die indicatief zijn voor natte duinvalleien, kwelders en droog duingrasland zijn weergegeven in Figuur 19, 20 en 21.

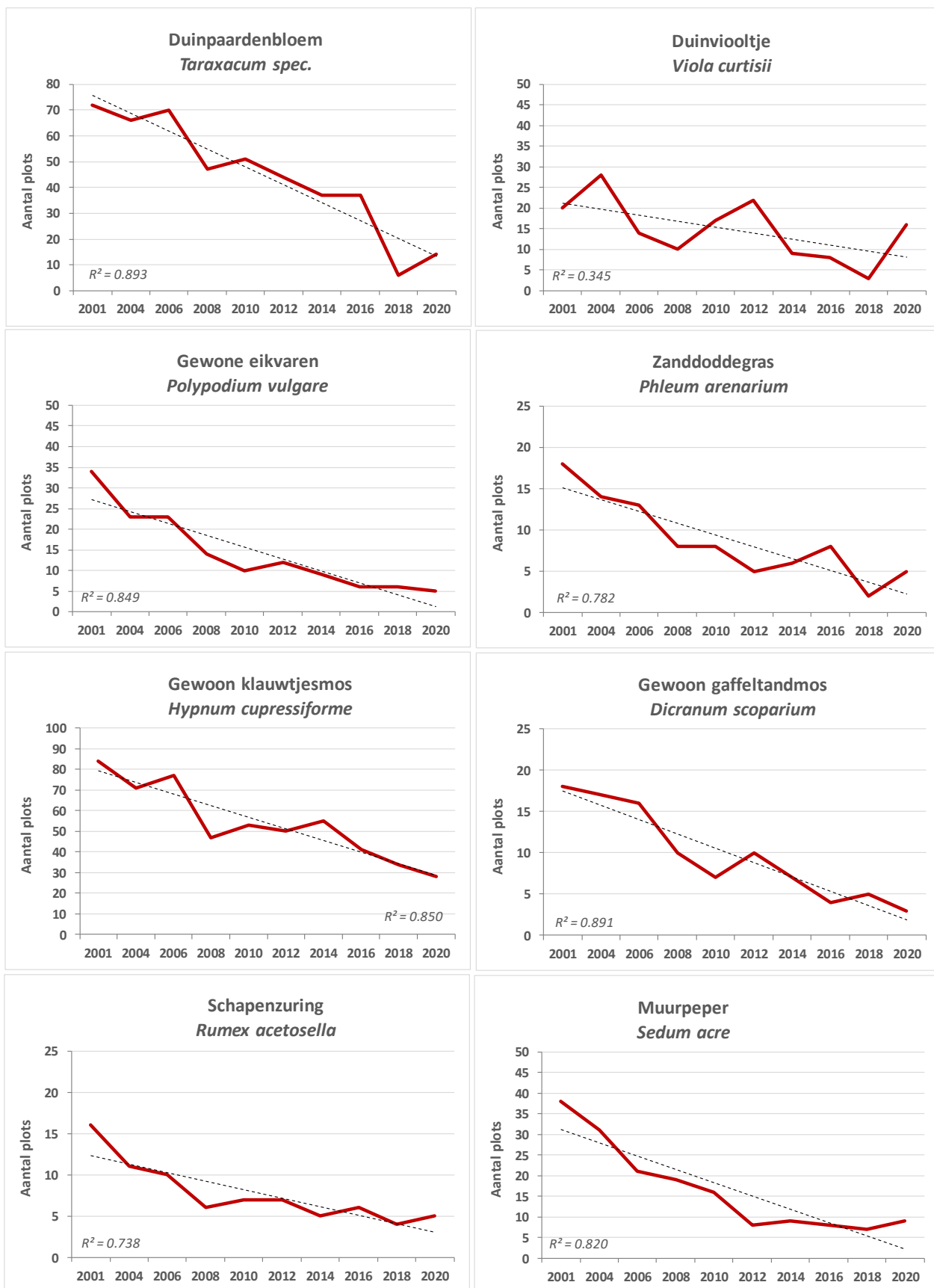
- Enkele plantensoorten die indicatief zijn voor Vochtige duinvalleien (H2190) laten een positieve trend in de tijd zien (Figuur 19), wat erop wijst dat de oppervlakte van dit habitatype in de tijd toeneemt (zie ook paragraaf 3.7).
- Het voorkomen van enkele kweldersoorten laat een piek zien rond 2008 (Figuur 20), om in de jaren daarna weer geleidelijk af te nemen. De piek hangt samen met de tijdelijke verzilting in 2007 als gevolg van overvloedig van de duinvalleien, gevolgd door een lange droge periode waardoor de bodem tijdelijk sterk verzilte. Op veel plaatsen is daardoor de vegetatie omgeslagen van een natte duinvalleivegetatie met veel fioringras (*Agrostis stolonifera*) naar meer kwelderachtige vegetatietypen. Sinds 2018 zien we weer een geleidelijke toename van kweldersoorten, wat wijst op een geleidelijke verzilting van de duinvalleien.
- Voor enkele karakteristieke soorten van Grijze duinen (H2130) treedt een overwegend neerwaartse trend op (Figuur 21). Dit lijkt vooral het gevolg van een hoge stikstofdepositie (zie paragraaf 3.2.3).



Figuur 19 Voorkomen van een aantal plantensoorten van natte duinvalleien in de periode 2001-2020.



Figuur 20 Voorkomen van een aantal kweldersoorten in de periode 2001-2020.



Figuur 21 Voorkomen van een aantal karakteristieke soorten van droog duingrasland (Grijze duinen H2130) in de periode 2001-2020.

3.7 Trends in areaal habitattypen

Voor ieder meetjaar is het areaal van habitattypen op twee manieren vastgesteld:

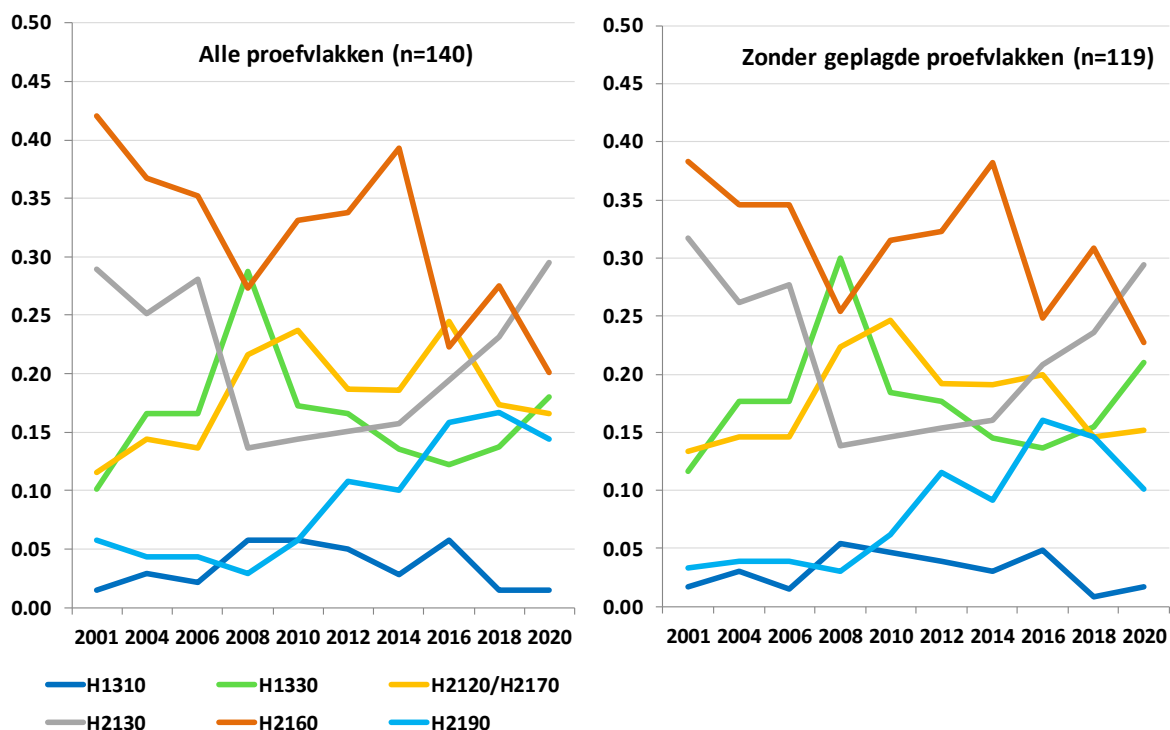
- Op basis van puntmetingen (140 proefvlakken);
- Op basis van een kansrijkdomkaart in het voorkomen van habitattypen met gebruikmaking van een lokaal hoogtemodel (DEM) en informatie over het voorkomen van habitatype op de 140 meetpunten, wat een vlakdekkende valleikartering oplevert (paragraaf 2.4.4).

3.7.1 Puntmetingen

Ieder meetjaar zijn er op 140 plekken vegetatieopnamen gemaakt en is op basis van het vegetatietype binnen een proefvlak aan de hand van een vertaaltabel een habitatype toegekend. Door de meetjaren onderling te vergelijken, worden trends zichtbaar in het voorkomen van habitattypen in de tijd (Figuur 22).

Duindoornstruwelen (H2160) was bij aanvang van deze meetreeks het meest voorkomende habitatype in het onderzoeksgebied. Dat areaal is binnen twintig jaar meer dan gehalveerd. De tijdelijke verzilting in 2008 weerspiegelt zich in een tijdelijke toename van zilte graslandvegetaties (H1330) en een tijdelijke afname van het type Grijze duinen (H2130) en Duindoornstruwelen (H2160). Met de geleidelijke ontzilting die na 2008 optreedt, zien we weer een afname van zilte graslandvegetaties (H1330) en een toename van zowel Duindoornstruwelen (H2160) als Grijze duinen (H2130). Daardoorheen loopt een vernatting van het onderzoeksgebied wat zich weerspiegelt in een geleidelijke toename van het type Vochtige duinvallen (H2190). De laatste jaren is die trend gestopt en zien we weer een geleidelijke verzilting (toename H1330). Dit zagen we ook al bij de trend in voorkomen van indicatieve soorten van zilte vegetaties (paragraaf 3.6, Figuur 20).

Weglaten van de geplagde proefvlakken levert grotendeels een vergelijkbaar beeld op (rechter figuur in Figuur 22).



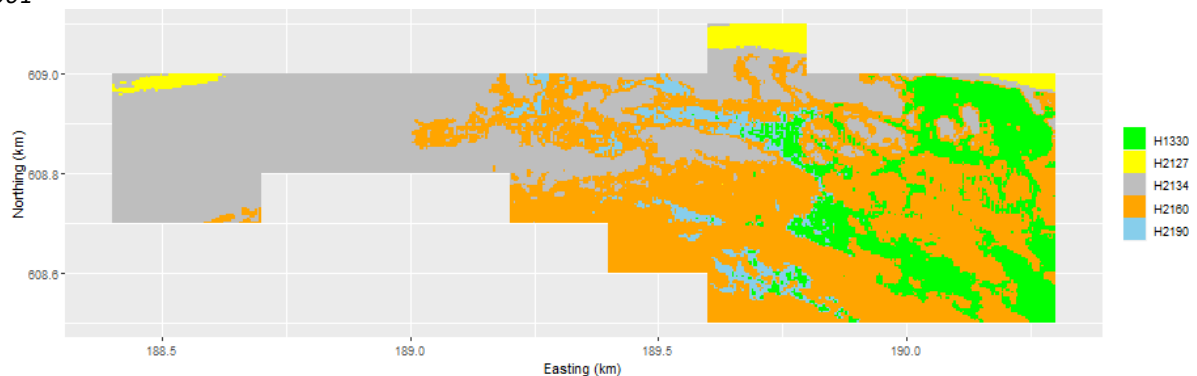
Figuur 22 Trends in het areaal van habitattypen in het onderzoeksgebied gebaseerd op de puntwaarnemingen van de 140 proefvlakken (links) en zonder de geplagde proefvlakken (rechts).

3.7.2 Kansrijkdomkaarten

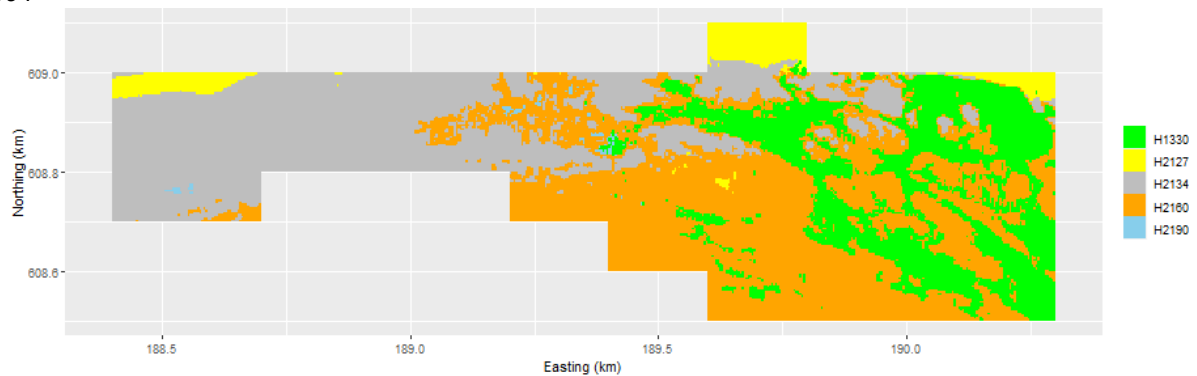
De kanskaarten in het ruimtelijk voorkomen van de zes habitattypen per waarnemingsjaar zijn weergegeven in Figuur 23. Deze zijn in belangrijke mate gebaseerd op het lokale hoogtemodel (DEM) en de daarmee samenhangende overvloedingskansen. De verschuivingen in het ruimtelijk voorkomen komen sterk overeen met de trends gebaseerd op puntwaarnemingen (Figuur 22). Meest opvallend zijn:

- Geleidelijke uitbreiding van Vochtige duinvalleien (H2190), eerst aan de westzijde van het onderzoeksgebied, later ook aan de oostzijde;
- Tijdelijke uitbreiding van het type Zilte pionierbegroeiingen (H1310), vooral aan de westzijde tot 2010, gevolgd door een afname in de jaren daarna;
- Toename van het type Zilte graslanden (H1330), vooral aan de oostzijde tot 2010;
- Gefragmenteerd raken en afname van het type Grijze duinen (H2130) tot 2014, daarna een geleidelijke toename;
- Duindoornstruwelen (H2160) raken in de loop der jaren gefragmenteerd, vooral aan de oostzijde.

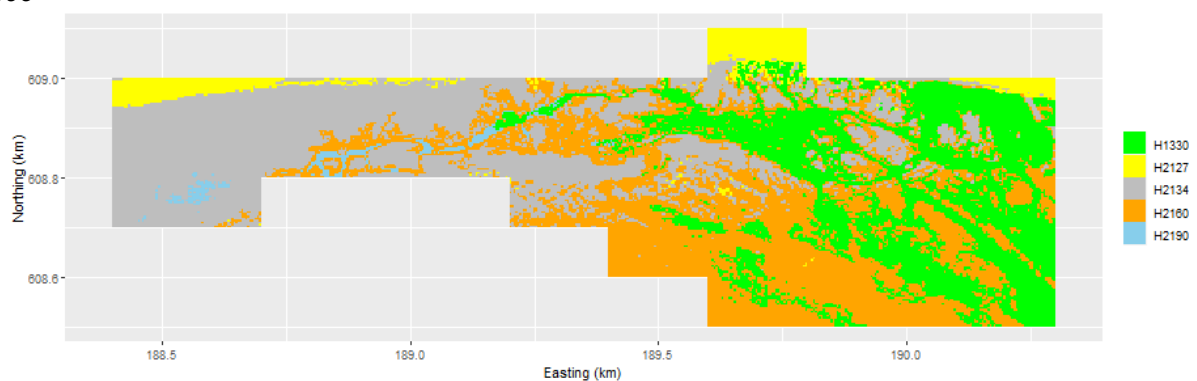
2001



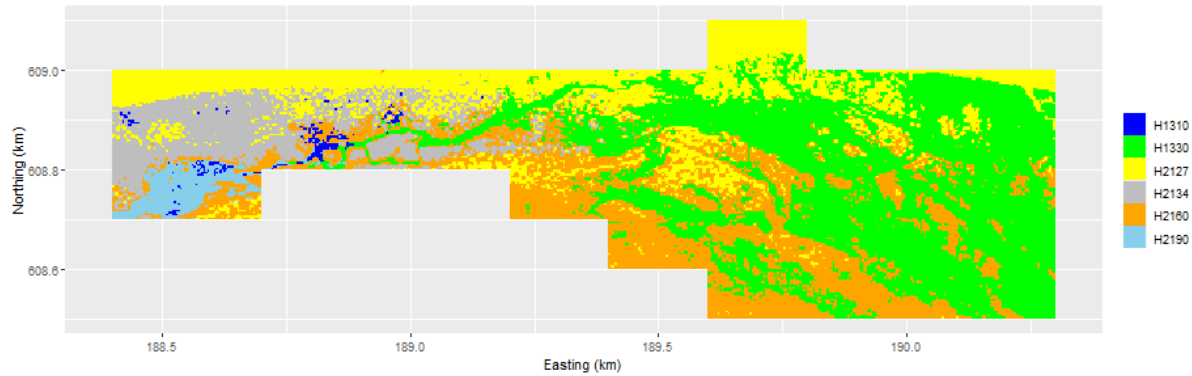
2004



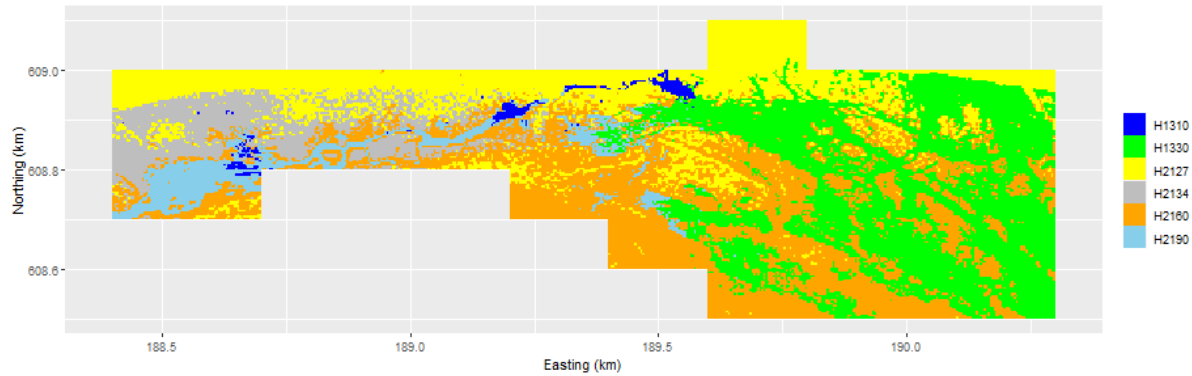
2006



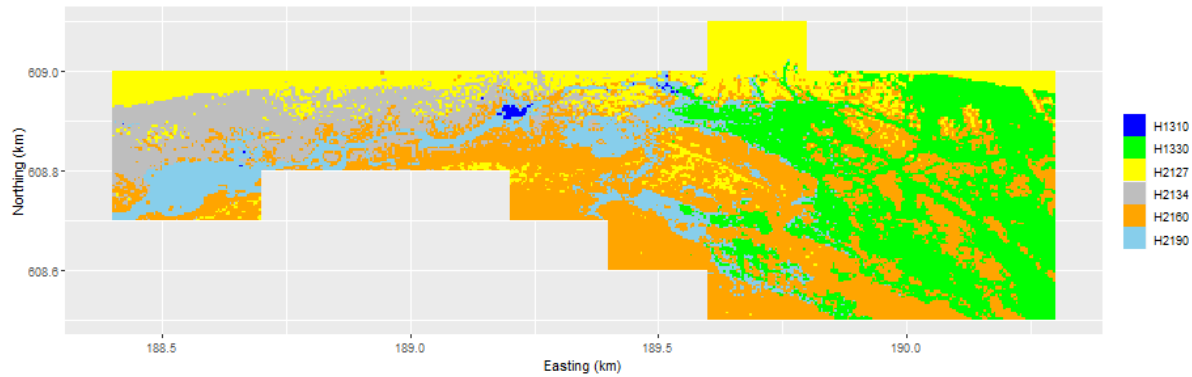
2008



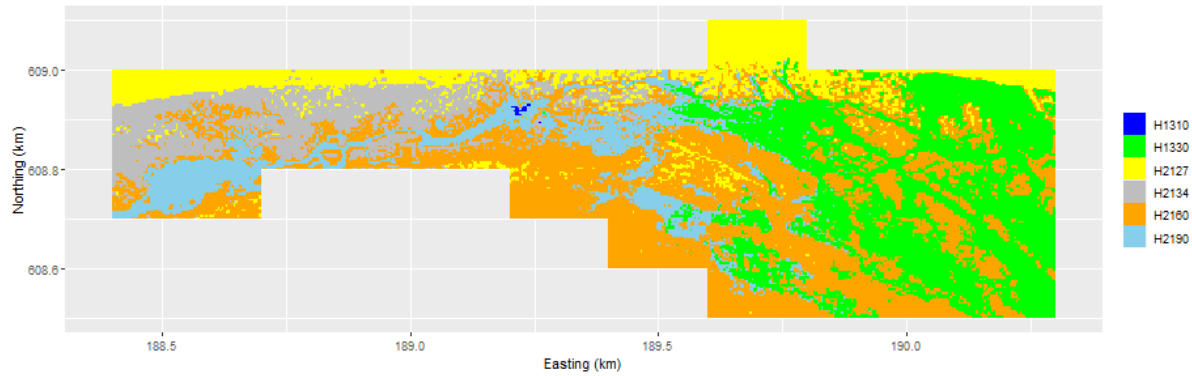
2010



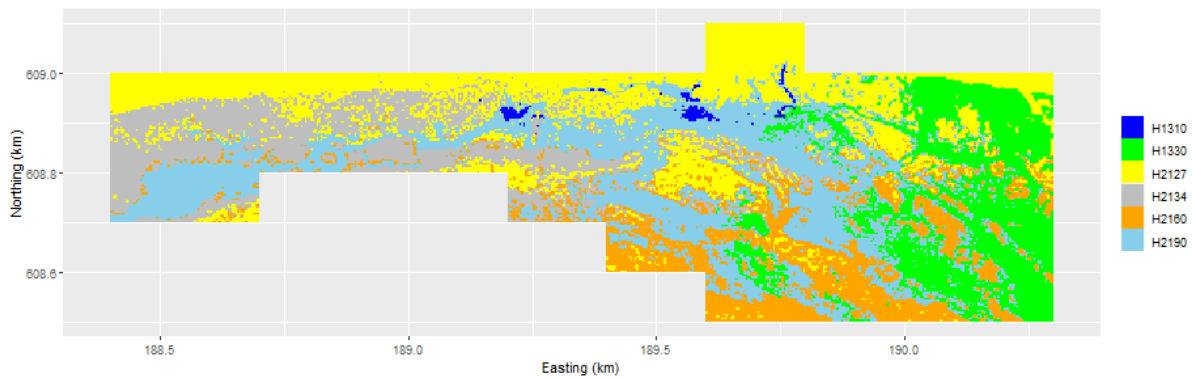
2012



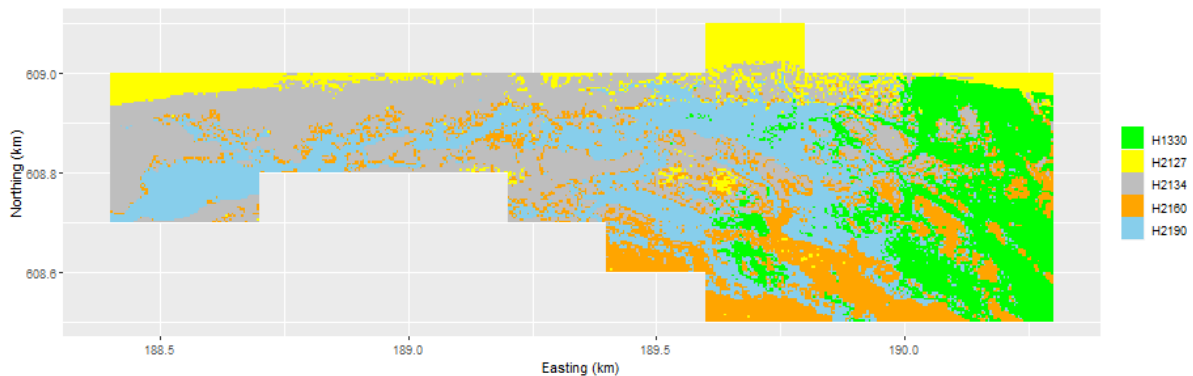
2014



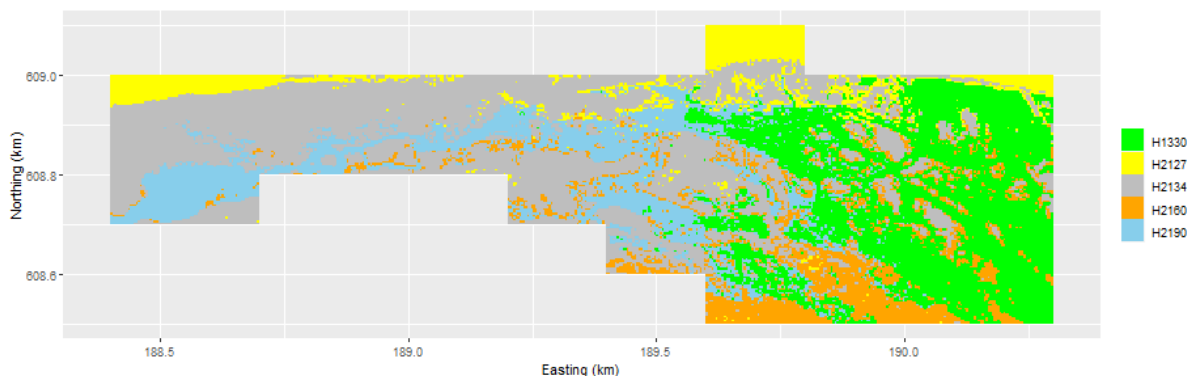
2016



2018



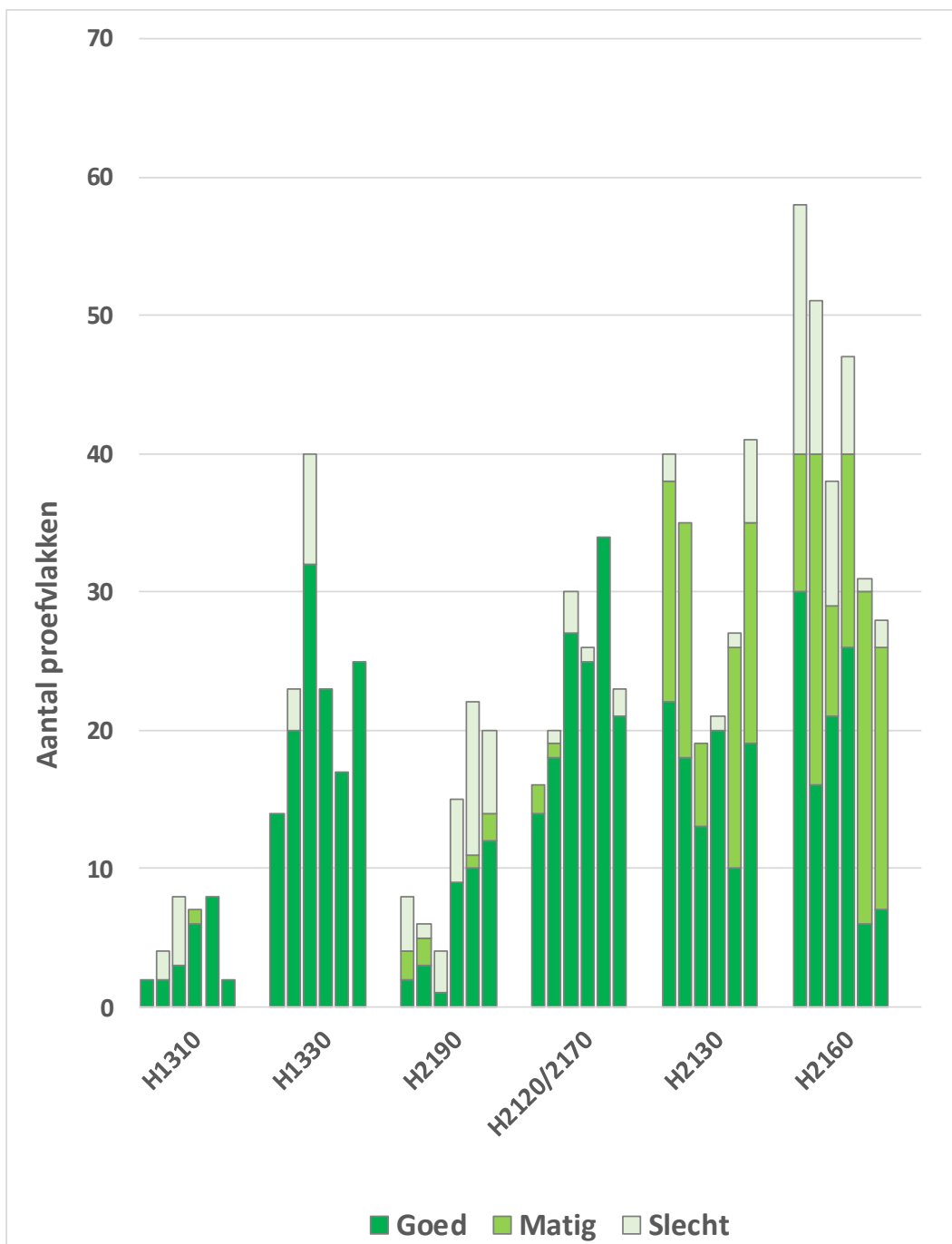
2020



Figuur 23 Kansrijkdomkaarten voor het ruimtelijk voorkomen van habitattypen in het onderzoeksgebied in de periode 2001-2020, zoals berekend met een mixed multinomiaal logistisch regressiemodel. Habitatype H2127 is een combinatie van de H2120/H2170 en habitatype H2134 een combinatie van H2130/H2140.

3.8 Kwaliteit habitattypen

De kwaliteit van habitattypen wordt (onder meer) afgemeten aan de samenstellende vegetatietypen. Aan ieder proefvlak is op basis van de soortensamenstelling aan de hand van het programma ASSOCIA een vegetatietype toegekend. Door middel van een vertaaltabel is het vegetatietype vertaald naar een habitatype, waarbij sommige vegetatietypen staan voor een goede kwaliteit van het habitatype, andere voor een matige of slechte kwaliteit (dit op basis van het profieldocument van een habitatype). Voor alle jaren is voor ieder proefvlak gekeken of de kwaliteit van het toegekende habitatype goed, matig of slecht was. Het resultaat staat voor een aantal meetjaren weergegeven in Figuur 24.



Figuur 24 Kwaliteit van de habitattypen in de periode 2001-2020. Iedere staaf staat voor een meetjaar, in volgorde 2001, 2004, 2008, 2012, 2016 en 2020.

Duidelijk te zien is dat de kwaliteit van de zilte typen (H1310 en H1330) in vrijwel alle jaren overwegend goed is. Het habitattype Vochtige duinvalleien (H2190) neemt na 2008 in oppervlakte toe, waarbij ook de kwaliteit toeneemt.

Wat de droge typen betreft: de in de zeereep samen voorkomende typen Witte duinen (H2120) en Kruipwilstruwelen (H2170) zijn overwegend van goede kwaliteit. Het type Grijze duinen (H2130) is voor een groot deel van matige kwaliteit en dat is in de tijd weinig veranderd. Het type neemt sinds 2012 wel toe qua areaal (maar niet in kwaliteit), na een afname in de periode 2001-2008 als gevolg van de tijdelijke verziltingspiek in 2008. Het type Duindoornstruwelen (H2160) neemt in de tijd zowel in areaal als in kwaliteit af, met name na 2012.

4 Conclusies en discussie

4.1 Arealen habitattypen in relatie tot bodemdaling en vernatting

Sinds de start van de valleikartering in 2001 zijn er veranderingen opgetreden in het ruimtelijk voorkomen van habitattypen. Het globale beeld is er een van aanzienlijke dynamiek. De overwegende trend is vooral vernatting, resulterend in een geleidelijke uitbreiding van het habitatype Vochtige duinvalleien (H2190). De sterke afname van Duindoornstruwelen (H2160) na 2014 lijkt een gevolg van de afname in vestiging van nieuwe individuen, een proces dat al sinds 2004 gaande is (Van den Dool, 2016; DeCuyper et al., 2020).

Tijdreeksanalyses van peilbuizen in het gebied (Kuiters et al., 2017) hebben duidelijk gemaakt dat de toenemende vernatting niet het gevolg is van trendmatige toename in de netto neerslag. Deze fluctueerde sterk van jaar tot jaar, maar er was geen sprake van een trendmatige verandering over de hele meetperiode. Sinds de start van de bodemdaling in 1986 bedroeg de verhoging van de grondwaterstand (GLG) gemiddeld 16 cm. De zeespiegelstijging bedroeg gedurende deze periode 6,8 cm en kan dus slechts een deel van de vernatting verklaren. Het grootste deel van de vernatting moet derhalve worden toegeschreven aan bodemdaling.

Daarmee samenhangend is vooral de overstromingsduur na stormvloed met zeewater uit de Waddenzee in de laaggelegen valleien over de jaren toegenomen (Krol, 2021). Ook speelt een rol dat in 2005 door It Fryske Gea herstelmaatregelen zijn uitgevoerd aan de westkant van het onderzoeksgebied, waarbij een groot deel van de duinvallei is geplagd, waardoor het maaiveld is verlaagd (met soms meer dan 40 cm). Toen is ook een tweetal drempels in de valleien verwijderd, waardoor instromend zeewater vrije toegang kreeg tot een groter deel van de valleien. Bodemvocht (en daarmee hoogte van het maaiveld) bleek de belangrijkste factor die het verschil in vegetatiesamenstelling tussen de proefvlakken verklaarde. Daarmee heeft bodemdaling effect op het ruimtelijk voorkomen van habitattypen.

4.2 Verzilting

De hoge vloed van 2006 en 2007 en de daaropvolgende lange droge periode (Krol, 2011) heeft geresulteerd in een sterke uitbreiding van zilte begroeiingen in 2008 (met name van H1330), in de westelijk gelegen duinvallei (aan de westkant van het fietspad), maar vooral aan de oostkant. Het slechten van een tweetal drempels in 2005 heeft bijgedragen aan de toestroom van zoutwater bij deze hoge vloed aan de westkant van het onderzoeksgebied. Vanaf dat moment raakte dit deel van de vallei gemiddeld eenmaal per jaar geïnundeerd met zeewater (Krol 2011). Hoge vloed hebben ook aan de oostzijde van het gebied geresulteerd in een tijdelijke uitbreiding van zilte begroeiingen. In de jaren daarna nam deze verzilting weer geleidelijk af door uitspoeling met regenwater. Deze tijdelijke verzilting heeft op veel plekken geleid tot een afname van het type Grijze duinen (H2130) en van Duindoornstruwelen (H2160). Deze ontwikkelingen benadrukken het belang van 'events' (stochastisch optredende extreme weersinvloeden) voor de dynamiek van duinvalleivegetaties. Sinds 2018 lijkt er weer sprake van geleidelijke verzilting. Dit blijkt zowel uit een toename van kweldersoorten als de daarmee samenhangende uitbreiding van het areaal Zilte graslanden (H1330). Droge zomers met een sterke verlaging van de grondwaterstanden in het late najaar op het moment dat hoge vloed het gebied onder zeewater zetten, zouden hierbij een rol kunnen spelen.

4.3 Lokaal hoogtemodel

De serie habitat(kansrijkdom)kaarten over de periode 2001-2020 illustreren op gedetailleerde wijze de dynamiek in duinvalleivegetaties. De kaarten moeten vooral vergelijkenderwijs tussen meetjaren worden geïnterpreteerd en maken trends in ruimte én tijd zichtbaar. Ze zijn berekend op basis van puntwaarnemingen in het voorkomen van habitattypen, waarbij interpolatiefouten mogelijk zijn. De hulpvariabelen die zijn gebruikt, zijn grotendeels gebaseerd op het digitale hoogtemodel van het onderzoeksgebied (DEM). Dit is gebaseerd op een digitaal hoogtebestand (AHN3), aangevuld en gekalibreerd met de tweejaarlijkse hoogtemetingen in de proefvlakken. Onzekerheden spelen echter altijd een rol. Niettemin wordt met iedere meetronde het hoogtemodel steeds verder verbeterd met de hoogtemetingen van zeventig nieuwe (zwervende) proefvlakken en kalibratie van de hoogte van de zeventig vaste proefvlakken. Inmiddels is binnen het onderzoeksgebied van 70 ha na tien meetrondes van 630 unieke punten de precieze hoogte ingemeten (zwervende proefvlakken). Dit komt neer op negen meetpunten per 100x100m. Daarnaast wordt van zeventig vaste punten tweejaarlijks de hoogte opnieuw ingemeten waarmee de bodemdaling op maaiveldhoogte wordt vastgesteld. Met het toenemend aantal punten waarvan de precieze hoogte bekend is, worden ook de habitat-kansrijkdomkaarten steeds beter. Ook de hulpvariabele 'flood' (overstromingskans) is gebleken belangrijk te zijn voor de kansschattingen in het voorkomen van habitattypen. De door het NCA in het veld bepaalde overstromingsdagen (inundatiefrequentie en -duur met zeewater) zijn daarbij van belang.

4.4 Bodemchemie

Zoals vermeld in eerdere rapportages ontbrak tot nog toe inzicht in het organisch stofgehalte in de bodem in relatie tot vegetatietypen en vegetatieontwikkeling in de duinvalleien (Van Dobben et al., 2011; Kuiters et al., 2017). De opbouw van een organisch bodemprofiel is een belangrijke factor in de ontwikkeling van duinen en duinvalleien. De metingen van 2020 maken duidelijk dat in de natte valleien organische stof is geaccumuleerd tot ca. 12 kg/m². Dit stemt goed overeen met de waarden die voor valleien op Oost-Ameland al eerder zijn gevonden door Woudwijk (2011), Rohani et al. (2014) en Grootjans (2017). Dat deze waarden aanzienlijk lager liggen dan de waarden die in goed ontwikkelde zoete valleien worden gevonden, zoals op Schiermonnikoog (ca. 20 kg/m²), laat zien dat de invloed van zeewater de accumulatie van organische stof en daarmee de veroudering van valleien remt.

Zeewater is rijk aan sulfaat. Wanneer sulfaatrijk zeewater een bodem binnendringt die rijk is aan organische stof, dan wordt al snel alle zuurstof verbruikt, waarna vervolgens sulfaat wordt gereduceerd door micro-organismen. Daarbij wordt organisch materiaal afgebroken door micro-organismen en komen minerale stikstof en fosfaat beschikbaar voor de vegetatie (Smolders et al., 2006). Sulfaatrijk zeewater stimuleert daarmee de mineralisatie van duinvalleibodems die rijk zijn aan organische stof. Vermoedelijk is dit proces verantwoordelijk voor de snelle ontwikkeling van riet- en zeebiesvegetaties in de zilte valleien als gevolg van het vaker en langer inunderen met zeewater in het bodemdalingsgebied. Deze ontwikkeling is vooral zichtbaar in de oostelijke valleien dicht bij het instroompunt van zeewater vanuit de Waddenzee (Figuur 25).



Figuur 25 Rietvegetaties zoals die op bepaalde plekken tot ontwikkeling zijn gekomen in zilte duinvalleien op Oost-Ameland (foto: augustus 2020).

Het vochtgehalte in de bodem is in de multivariate analyses gebleken de belangrijkste verklarende factor te zijn voor verschillen in vegetatiesamenstelling, waarbij die factor nauw gecorreleerd bleek aan de hoeveelheid organische stof in de bodem: hoe meer organische stof in de bodem, hoe natter de bodem en vice versa.

Literatuur

- Brus, D.J., P.A. Slim, A.H. Heidema & H.F. van Dobben (2014). Trend monitoring of the areal extent of habitats in a subsiding coastal area by spatial probability sampling. *Ecological Indicators* 45: 313-319.
- Brus, D.J., P.A. Slim, G. Gort, A.H. Heidema & H. van Dobben (2016). Monitoring habitat types by the mixed multinomial logit model using panel data. *Ecological Indicators* 67: 108-116.
- Dankers, N., K.S. Dijkema, G. Londo & P.A. Slim (1987). De ecologische effecten van bodemdaling op Ameland. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem, Leersum, Texel. 90 p.
- Decuyper, M., R. van den Dool, P.A. Slim, A.T. Kuiters, J.M. Jansen & U. Sass-Klaassen (2020). Population dynamics of *Hippophae rhamnoides* shrub in response of sea-level rise and insect outbreaks. *PloS ONE* 15(5):e0233011. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233011>.
- De Vlas, J. (2005). Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 18 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen.
- De Vlas, J. (2011). Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 23 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2011.
- De Vlas, J. (2017). Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 30 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen, 2017.
- Dirkse, G.M. (1998). The validity of general purpose flora-based classification of vegetation. IBN Scientific Contributions 14. Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, IBN-DLO, Wageningen.
- EC (2007). Interpretation Manual of European Union Habitats. European Commission, DG Environment, Nature & Biodiversity, Brussels.
- Ellenberg, H., H.E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner & D. Pauliszen (1991). Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 1-248.
- Eysink, W.D., K.S. Dijkema, H.F. van Dobben, P.A. Slim, C.J. Smit, J. de Vlas, M.E. Sanders, J. Wiertz & E.P.A.G. Schouwenberg (2000). Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; evaluatie na 13 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland, Assen. 217 p. + 7 bijlagen.
- Grootjans, A.P. (2017). Verwachte effecten bodemdaling op natte duinvalleien (Intermezzo). In: Kuiters, A.T. et al. (2017). Vegetatiedynamiek in duinen en duinvalleien op Oost-Ameland. Hoofdstuk 6.
- Hennekens, S.M. & J.H.J. Schaminée (2001). TURBOVEG, a comprehensive database management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science* 12: 589-591.
- Hennekens, S.M., M. Boss & A.M. Schmidt (2016). Landelijke Vegetatie Databank: technische documentatie, Status A (No. 74). Statutory Research Tasks Unit for Nature & the Environment.
- Jongman, R.H.G., C.J.F. ter Braak & O.F.R. van Tongeren (1995). Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press.
- Krol, J. (2011). Monitoring van inundatie in duinvalleien op Oost-Ameland 2001-2011. In: J. de Vlas (red.). Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 23 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen (2011); 169-207.
- Krol, J. (2021). Tussenverslag overstromingsonderzoek valleien op Oost-Ameland. Seizoen 2020-2021. Natuurcentrum Ameland. 24 p.
- Kuiters, L., D. de Vries, D. Brus, N. Heidema, R. Huiskes, P. Slim, H. van Dobben & J. Krol (2017). 6. Vegetatiedynamiek in duinen en duinvalleien op Oost-Ameland. In: J. de Vlas (ed.). Monitoring effecten van bodemdaling op Oost-Ameland: evaluatie na 30 jaar gaswinning; september 2017; pp. 375-482.
- Payne, R.W., D.A. Murray, S.A. Harding, D.B. Baird & D.M. Soutar (2007). GenStat for windows (10th Edition) introduction. VSN International, Hemel Hempstead.
- Riksen, M.J.P.M., D. Goossens, H.P.J. Huiskes, J. Krol & P.A. Slim (2016). Constructing nodges in foredunes: Effect on sediment dynamics in the dune hinterland. *Geomorphology* 253: 340-352.
- Rohani, S., B. Dullo, W. Woudwijk, P. de Hoop, A. Kooijman & A.P. Grootjans (2014). Accumulation rates of soil organic matter in wet dune slacks on the Dutch Wadden Sea islands. *Plant Soil* 380: 181-191.
- Schaminée, J.H.J., E.J. Weeda & V. Westhoff (1998). De Vegetatie van Nederland. Deel 4: Plantengemeenschappen van de kust en van binnenlandse pioniermilieus. Opulus Press. 346 p.
- Schouten, D. (1999). Overstromingsrisico duinvalleien Ameland-Oost. NAM, Assen.

-
- Slim, P.A. (1997). Vooronderzoek duindoornsterfte duingebied Oost-Ameland. Rapport 307. DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Wageningen. 61 p.
- Slim, P.A., D.J. Brus, G.B.M. Heuvelink, A.H. Heidema, G.M. Dirkse & H.F. van Dobben (2011). Vegetatiemonitoring en geostatistische vegetatiekartering duinvalleien Oost-Ameland 2001-2010. In: J. de Vlas (red.). Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost; Evaluatie na 23 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen (2011); 235-321.
- Smolders, A.J.P., L.P.M. Lamers, E.C.H.E.T. Lucassen, G. van der Velde & J.G.M. Roelofs (2006). Internal eutrophication: 'How it works and what to do about it', a review. *Chemistry and Ecology* 22: 93-111.
- Ter Braak, C.J.F. & P. Šmilauer (2002). CANOCO reference manual and CANODRAW for Windows users' guide: software for canonical community ordination. Microcomputer Power, Ithaca. 500 p.
- Van den Dool, R. (2016). MSc Thesis, Wageningen University. Population dynamics of the shrub Sea-buckthorn on eastern Ameland, the Netherlands, as indicator of the impact of gas extraction and future climate change. Wageningen.
- Van Dobben H.F., P.A. Slim, G.W.W. Wamelink & G.M. Dirkse (2011). Vegetatieveranderingen in de duinen en hoge kwelder op Oost-Ameland. In: J. de Vlas (red.). Monitoring effecten van bodemdaling op Ameland-Oost. Evaluatie na 23 jaar gaswinning. Begeleidingscommissie Monitoring Bodemdaling Ameland. Assen (2011); pp. 323-364.
- Van Puijenbroek, M.E.B. & C. Sonneveld (2020). Nieuw monitoringsmeetnet kwelders Ameland-Oost. Jaarrapportage veldwerk 2019. Wageningen University & Research rapport C022/20. Den Helder. 26 p.
- Van Tongeren, O., N. Gremmen & S.M. Hennekens (2008). Assignment of relevés to pre-defined classes by supervised clustering of plant communities using a new composite index. *Journal of Vegetation Science* 19: 525-536.
- Wamelink, G.W.W., P.W. Goedhart, H.F. van Dobben & F. Berendse (2005). Plant species as predictors of soil pH: Replacing expert judgement with measurements. *Journal of Vegetation Science* 16: 461-470.
- Wamelink, G.W.W., P.W. Goedhart, A.H. Malinowska, J.Y. Frissel, R.J.M. Wegman, P.A. Slim & H.F. van Dobben (2011). Ecological ranges for the pH and NO₃ of syntaxa: a new basis for the estimation of critical loads for acid and nitrogen deposition. *Journal of Vegetation Science* 22: 741-749.
- Woudwijk, W. (2011). The effect of soil subsidence on the accumulation rate of organic matter in wet dune slacks. Master thesis Centre for Energy and Environmental Studies. EES 2011-120M. 50 p.

Bijlage 1 Bodemchemie vaste PQ's

	destructie H2SO4- H2O2-Se	destructie HNO3-HCL (aqua regia)	destructie HNO3-HCL (aqua regia)	destructie HNO3-HCL (aqua regia)	extractie 0,01M CaCl2	pH-H2O		gloeiverlies	P-Olsen	vochtbepaling (vers)		
	SFA-N/Pt	ICP-OES	ICP-OES	ICP-OES	pH-meter	pH-meter	LECO-CHN	moefloven	SFA-CaCl2	droogstoof		
PQ	Nt	Ca	Na	S	pH	pH	C-elementair	organisch he stof (105-550°C)	P	vocht (vers-40°C) [% o.b.v. veldvocht]	org.stof kg/m2	C/N
nr.	[g/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]		[bij 20±1°C]	[g/kg]	[%]	[mg/kg]	0,3		
aantoonbaar	0,3	40	100	30				0,3	2	0,3		
1	1,1	1209	41	169	5,77	6,44	17,2	3,4	2,6	7	3,21	15,6
2	0,4	2339	31	112	6,93	7,62	8,02	1,5	3,6	1,8	2,72	20,1
4	0,7	3697	535	328	7,41	8,35	12,4	2,2	4,8	21,9	1,19	17,7
5	0,6	2924	50	159	6,98	7,74	11,4	2,1	3,1	2,2	2,0%	19,0
6	0,1	3808	33	75	7,35	9,01	1,06	0,2	1,2	1,2	1,3%	10,6
7	1,4	7434	207	409	7,54	8,37	22,9	3,4	3,8	27,9	1,48	16,4
8	0,3	1480	27	73	6,95	7,43	3,88	0,8	1,4	2	1,9%	12,9
9	0,1	3304	6	78	6,57	8,58	1,78	0,3	2,8	4,2	4,1%	17,8
10	0,3	1935	2	70	6,99	7,87	3,86	0,9	3,2	0,9	0,8%	12,9
11	0	3399	4	80	7,01	7,29	1,54	0,5	4,8	0,5	0,4%	0,51
12	2,2	1256	348	294	5,94	7,11	30,7	5,4	7,3	13,4	12,8%	14,0
13	0,2	4221	9	111	7,21	8,25	5,03	0,9	16	1,4	1,2%	25,2
14	1,1	1072	9	165	5,92	6,46	15,2	3,3	3	5,4	5,1%	13,8
15	0,7	1652	32	164	6,9	7,55	10,5	2,1	3,7	6	5,8%	15,0
16	0,9	1968	13	144	6,48	6,92	12,2	2,3	8,1	2,5	2,2%	13,6
17	0,5	1837	8	153	6,77	7,37	9,51	2	2,2	4,2	3,9%	19,0
18	1,3	734	230	197	5,05	6,94	22	4,2	4,6	6,7	6,1%	16,9
19	0,7	1285	813	364	6,41	7,21	14	2,4	2,8	24,5	24,3%	20,0

	destructie H2SO4- H2O2-Se	destructie HNO3-HCL (aqua regia)	destructie HNO3-HCL (aqua regia)	destructie HNO3-HCL (aqua regia)	extractie 0,01M CaCl2	pH-H2O	gloeiverlies	P-Olsen	vochtbepal- ing (vers)				
	SFA-Ni/Pt	ICP-OES	ICP-OES	ICP-OES	pH-meter	pH-meter	LECO-CHN	moefloven	SFA-CaCl2	droogstof			
PQ	Nt	Ca	Na	S	pH	pH	C- elementa- ir	organisc he stof (105- 550°C)	P	vocht (vers- 40°C) [% o.b.v. veldvoch- tig]	%vocht	org.stof kg/m2	C/N
nr.	[g/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[bij 20±1°C]	[g/kg]	[%]	[mg/kg]	0,3				
aantoonbaar	0,3	40	100	30				0,3	2	0,3			
21	1.1	825	122	149	6.14	7.26	13.6	2.9	3.7	7.9	7.5%	2.19	12.4
22	0.1	4064	6	79	7.24	8.95	1.11	0.1	1	1.3	1.3%	0.05	11.1
23	1.9	15817	480	304	7.23	8.05	34.2	5.7	15.6	7.3	6.5%	2.91	18.0
24	2.6	1474	1010	488	6.41	7.18	34.5	6.4	6	32.4	31.9%	5.88	13.3
25	0.2	3825	2	85	7.14	8.66	2.49	0.4	2	0.3	0.3%	0.55	12.5
26	0.4	1930	2	66	6.85	7.3	3.28	0.8	4	7.2	7.1%	0.22	8.2
27	0.3	5288	7	57	6.14	8.12	2.87	0.5	4.8	0.4	0.3%	0.38	9.6
28	2.2	1244	325	304	6.11	7.63	27.7	5.3	6.4	13.9	13.5%	3.64	12.6
29	1.1	1903	635	328	6.87	7.67	16.1	2.7	4.8	18.3	18.0%	3.83	14.6
30	1.6	743	353	234	6.24	7.54	22.9	4	9.3	9.4	9.0%	3.02	14.3
31	1.4	15506	126	271	6.98	7.51	19.6	3	29.6	2.9	2.5%	2.29	14.0
32	2	1432	455	254	6.32	7.56	27.4	4	7.9	4.9	4.4%	3.54	13.7
33	0.2	3964	43	117	7.11	8.17	4.94	0.8	2.5	2	1.8%	0.90	24.7
34	0.3	3162	19	63	6.62	8.54	3.28	0.6	3	0.5	0.3%	0.59	10.9
36	0.3	2684	5	50	7.15	8.36	2.04	0.4	2.8	0.4	0.4%	0.33	6.8
37	1.5	802	231	176	6.37	7.63	19.4	3.5	5.1	6.8	6.4%	2.96	12.9
38	0.6	2192	25	125	6.95	8.18	5.31	1.1	2.6	2.2	2.1%	0.74	8.9
39	0.2	3527	34	79	-	9.26	1.11	0.2	1.3	0.4	0.3%	0.19	5.6
40	2.9	1229	461	328	5.75	6.99	38.9	6.1	12.1	10.4	9.9%	3.70	13.4
41	1.6	1860	10	217	6.54	7.07	21.3	3.8	6.4	9.8	9.4%	3.13	13.3
42	1.2	660	248	162	5.92	7.62	16.5	2.9	4.5	2.1	1.8%	2.46	13.8
43	2.8	2099	1043	535	6.29	7.49	37.6	6.4	27.8	27.2	26.6%	5.34	13.4
44	2.2	1736	971	438	6.72	7.46	25.7	4.7	5	21	20.6%	5.32	11.7
45	0.1	3794	50	76	7.22	8.96	1.12	0.1	1	2.9	2.7%	0.04	11.2

	destructie H2SO4- H2O2-Se	destructie HNO3-HCL (aqua regia)	destructie HNO3-HCL (aqua regia)	destructie HNO3-HCL (aqua regia)	extractie 0.01M CaCl2	pH-H2O		gloeiverlies	P-Olsen	vochtbepaling (vers)			
	SFA-Ni/Pt	ICP-OES	ICP-OES	ICP-OES	pH-meter	pH-meter	LECO-CHN	moefloven	SFA-CaCl2	droogstoof			
PQ	Nt	Ca	Na	S	pH	pH	C- elementa ir	organisc he stof (105- 550°C)	P	vocht (vers- 40°C) [% o.b.v. veldvocht tig]	%vocht	org.stof kg/m2	C/N
nr.	[g/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]		[bij 20±1°C]	[g/kg]	[%]	[mg/kg]				
aantoonbaar	0.3	40	100	30				0.3	2	0.3			
46	0.3	531	49	49	6.08	6.94	3.48	0.8	1.1	2	1.9%	0.81	11.6
47	4.5	2889	2342	1095	6.3	6.8	74.4	11.8	14.1	46.4	45.6%	8.85	16.5
48	6.5	4080	6760	3322	5.75	5.96	140	24.1	24.4	51.1	49.7%	11.41	21.5
49	1	886	194	153	6.18	7.72	14	2.4	3.7	2	1.7%	2.29	14.0
50	0.6	1416	69	110	6.76	7.58	6.27	1.3	2.1	6.2	6.1%	1.96	10.5
51	1.5	7661	89	248	6.33	7.06	20.4	3.2	10.2	7.6	7.2%	2.31	13.6
52	10.4	4955	8595	6069	6.04	6.2	156	27.5	18.7	67.7	66.4%	5.22	15.0
53	1	639	234	158	6.49	7.79	13.3	2.2	3.3	12	11.7%	2.45	13.3
54	2.6	1244	390	481	5.8	7.05	35.7	5.7	7.2	22.6	22.0%	4.10	13.7
55	0.7	1566	71	194	6.71	7.58	9.91	1.9	3.5	8.1	7.8%	2.28	14.2
56	2.5	965	443	353	5.52	6.93	42.9	6.8	9	15.9	15.3%	4.26	17.2
57	1.4	914	382	281	6.34	7.6	23.1	3.7	5.9	9.5	9.1%	3.18	16.5
58	1.6	723	331	213	6.11	7.55	21.5	3.8	5	13.8	13.3%	3.38	13.4
59	5.4	2697	6175	3954	5.03	5.29	89.3	16	14.4	59	58.1%	5.47	16.5
60	1.3	1526	2546	904	6.54	7.5	15.2	2.2	4	34.1	33.9%	2.56	11.7
61	3.5	2011	6472	2987	5.85	5.95	52.7	9.7	11.5	54.6	53.9%	5.39	15.1
62	2.8	1518	850	573	7.02	8.22	36	5.2	8.8	18.2	17.6%	3.66	12.9
63	0.9	765	112	185	6.26	7.25	10.6	1.9	4.2	6.5	6.2%	1.58	11.8
64	3.7	4644	3049	970	7.09	7.57	54.6	9	33.6	35	34.2%	6.70	14.8
65	0.6	1044	338	212	6.89	7.7	8.71	1.8	4.1	11	10.8%	2.79	14.5
66	2.7	1852	2606	876	6.87	7.31	33.6	5.1	13.5	35.4	34.9%	4.99	12.4
67	9	4983	16236	4763	6.69	6.77	170	30.7	48.1	66.2	64.8%	11.97	18.9
68	0.6	2962	116	108	6.59	7.55	7.23	1.3	6.1	2.1	1.9%	1.97	12.1
69	2.1	2072	4369	1583	7.02	7.56	27.2	4.5	13.1	42.6	42.3%	4.16	13.0
70	0.9	1935	33	142	6.53	7.1	10.2	2	6.4	5.4	5.1%	1.92	11.3

Per abus zijn PQ 3, 20 en 35 niet bemonsterd.

Bijlage 2 Soortenlijst 2001-2020

Soort	Triviale naam	2001	2001	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
<i>Agrostis capillaris</i>	Gewoon struisgras	2	4	2			1	2	1		4	
<i>Agrostis stolonifera</i>	Fioringras	9	18	33	33	51	50	49	43	42	34	34
<i>Aira praecox</i>	Vroege haver	11	22	22	15	8	8	6	13	11	12	12
<i>Amandinea punctata</i>	Vliegenstrontjesmos	1	2	1	3	7	12	15	14	17	8	
<i>Amblystegium serpens</i>	Gewoon pluisdraadmos	3	6	6	6	2	1	3	3	1		
<i>Amblystegium varium</i>	Oeverpluisdraadmos									1		
<i>Ammophila arenaria</i>	Helm	31	62	64	64	61	55	55	56	47	50	50
<i>Aneura pinguis</i>	Echt vetmos						1	1				
<i>Angelica sylvestris</i>	Gewone engelwortel							1	4	1	2	1
<i>Anisomeridium polypori</i>	Schoorsteentje						3					
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Gewoon reukgras							1				
<i>Anthriscus sylvestris</i>	Flutenkruid								1			
<i>Arabidopsis thaliana</i>	Zandraket									1		1
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	Gewone zandmuur	20	40	34	26	24	16	24	21	24	14	17
<i>Artemisia maritima</i>	Zeealsem					5						
<i>Arthonia radiata</i>	Amoebekorst							1	1	2	5	5
<i>Arthonia spadicea</i>	Inkspatkorst										1	
<i>Arthropyrrenia punctiformis</i>	Gewone stipjes									2		
<i>Asparagus officinalis s. officinalis</i>	Tuinasperge	3	6	6	5	4	6	6	8	3	7	4
<i>Aster tripolium</i>	Zulte			1	2	41	11	2	1	2	3	13
<i>Atriplex littoralis</i>	Strandmelde					12	2	2	1	1	1	
<i>Atriplex portulacoides</i>	Gewone zoutmelde			3		44	1	5	1	1	3	6
<i>Atriplex prostrata + A. longipes</i>	Spiesmelde + Gesteelde spiesmelde	3	6	30	27	88	44	22	25	24	18	24
<i>Bacidia chlorotricula</i>	Glade knoopjeskorst					1				2	2	
<i>Bacidia delicata</i>	Soredieuze knoopjeskorst					1				1		
<i>Bacidia neosquamulosa</i>	Nieuwe knoopjeskorst									1		
<i>Bacidia species</i>	Knoopjeskorst (G)							1	1	1	1	1
<i>Barbula convoluta</i>	Gewoon smaragdsteeltje						1					
<i>Barbula unguiculata</i>	Kleismaragdsteeltje			1	3			1	2			
<i>Blysmus rufus</i>	Rode bies					1	1					
<i>Bolboschoenus maritimus s. compactus</i>	Heen	2	4	10	9	14	13	13	14	13	15	14

Soort	Triviale naam	2001	2001	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
<i>Brachythecium albicans</i>	Bleek dikkopmos	5	10	9	13	11	21	20	20	4	6	3
<i>Brachythecium mildeanum</i>	Moerasdikkopmos	1	2	2								
<i>Brachythecium rutabulum</i>	Gewoon dikkopmos	22	44	32	40	25	35	25	32	24	32	28
<i>Bromus hordeaceus s. hordeaceus</i>	Zachte dravik s.s.	3	6	7	4	2	3	2	1		2	8
<i>Bryum algovicum</i>	Netknikmos						1				2	10
<i>Bryum argenteum</i>	Zilvermos			1					1			1
<i>Bryum capillare</i>	Gedraaid knikmos	3	6	3	1	1	2		1	5	1	
<i>Bryum dichotomum</i>	Grofkorrelknikmos									2	5	1
<i>Bryum species</i>	Knikmos (G)								14			
<i>Bryum warneum</i>	Kwelderknikmos							1		1		
<i>Cakile maritima</i>	Zeeraket	1	2	3	1	2					1	1
<i>Calamagrostis epigejos</i>	Duinriet	45	90	91	103	100	90	100	109	101	93	91
<i>Calamophila baltica (x) species</i>	Noordse helm				2	2	3	3	3	2	2	2
<i>Calliergonella cuspidata</i>	Gewoon puntmos	4	8	7	9	4	4	12	7	3	5	3
<i>Athalia cerinella</i>	Klein boomzonnetje											2
<i>Athalia holocarpa</i>	Muurzonnetje											1
<i>Caloplaca obscura</i>	Gewone kraterkorst					1	1					
<i>Campylopus introflexus</i>	Grijs kronkelsteeltje			1					1			
<i>Candelariella reflexa</i>	Poedergeelkorst								1			
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Gewoon herderstasje	2	4	5	2	6	1	1		1	1	1
<i>Cardamine hirsuta</i>	Kleine veldkers	36	72	61	56	42	36	24	49	16	14	7
<i>Cardamine pratensis</i>	Pinksterbloem	1	2	1				2	1			
<i>Carex acutiformis</i>	Moeraszegge	1	2									
<i>Carex arenaria</i>	Zandzegge	45	90	91	95	78	85	85	94	74	71	81
<i>Carex distans</i>	Zilte zegge	3	6	11	12	14	9	10	20	9	12	11
<i>Carex extensa</i>	Kwelderzegge					3	2					1
<i>Carex flacca</i>	Zeegroene zegge			8	8	6	5	10	11	3	4	7
<i>Carex hirta</i>	Ruige zegge										1	
<i>Carex nigra</i>	Zwarte zegge									1	1	
<i>Carex oederi s. oederi</i>	Dwergzegge			1	2	1	4	5	4	5	4	5
<i>Carex riparia</i>	Overzegge						1	1	1		1	
<i>Centaureum erythraea</i>	Echt duizendguldenkruid							1		1		
<i>Centaureum litorale</i>	Strandduizendguldenkruid	1	2	2	1	1	6	3	1	1	5	5
<i>Centaureum pulchellum</i>	Fraai duizendguldenkruid	3	6	4	5	2	6	7	5	6	5	5
<i>Cerastium diffusum</i>	Schreve hoornbloem	7	14	5	6	4	5	1	1			
<i>Cerastium fontanum s. vulgare</i>	Gewone hoornbloem	29	58	63	46	46	45	59	51	51	36	22
<i>Cerastium semidecandrum</i>	Zandhoornbloem	14	28	21	19	13	15	15	16	1	16	31

Soort	Triviale naam	2001	2001	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
<i>Cerastodon purpureus</i>	Gewoon purpersteeltje	3	6			5	6	1	2			2
<i>Chamerion angustifolium</i>	Wilgenroosje	10	20	15	14	17	13	15	19	8	18	8
<i>Chenopodium album</i>	Melganzenvoet			1								3
<i>Chenopodium rubrum</i>	Rode ganzenvoet					2					1	2
<i>Cirsium arvense</i>	Akkerdistel	32	64	63	77	59	66	55	73	60	64	46
<i>Cirsium palustre</i>	Kale jonker	20	40	35	33	24	33	23	32	29	16	10
<i>Cirsium vulgare</i>	Speerdistel	18	36	33	22	20	33	17	21	13	11	9
<i>Cladonia chlorophaea</i>	Fijn bekermos	9	18	2								
<i>Cladonia fimbriata</i>	Kopjes-bekermos	1	2	3	2	3	2	1				
<i>Cladonia foliacea</i>	Zomersneeuw	2	4	2	3	2	2					
<i>Cladonia furcata</i>	Gevorht heidestaartje	12	24	22	6	9	15	5	14	3		1
<i>Cladonia humilis</i>	Patatzak-bekermos	1	2	2	2	1		1				
<i>Cladonia pocillum</i>	Duinbekermos			1		2	1		1		1	
<i>Cladonia portentosa</i>	Open rendiermos											1
<i>Cladonia ramulosa</i>	Rafelig bekermos						1					1
<i>Cladonia rangiformis</i>	Vals rendiermos			5	17	11	8	6	3	1	9	8
<i>Cladonia scabriuscula</i>	Ruw heidestaartje	8	16	4	6	10	5	6	6	10		1
<i>Cochlearia danica</i>	Deens lepelblad	20	40	26	5	33	11	13	11	3	11	18
<i>Convolvulus sepium</i>	Haagwinde			2	2	1	2	4	5	5	7	6
<i>Conyza canadensis</i>	Canadese fijnstraal						2	2				1
<i>Corynephorus canescens</i>	Buntgras	2	4	5	4	3	3	3	2	1	1	
<i>Crataegus monogyna</i>	Eenstijlige meidoorn	2	4	6	8	4	5	10	7	3	4	3
<i>Cryphaea heteromalla</i>	Vliermos					1			1			
<i>Dactylis glomerata</i>	Kropaar										1	
<i>Dicranum scoparium</i>	Gewoon gaffeltandmos	9	18	17	16	10	7	10	7	4	5	3
<i>Didymodon tophaceus</i>	Stomp dubbeltandmos			1								
<i>Dimerella pineti</i>	Valse knoopjeskorst					1						
<i>Drepanocladus aduncus</i>	Moerassikkelmos	3	6	2	9		6	13	4			
<i>Drepanocladus polygamus</i>	Goudsikkelmos								1	1		
<i>Dryopteris carthusiana</i>	Smalle stekeleven	6	12	9	3	1	1	1	1	1	1	
<i>Dryopteris dilatata</i>	Brede stekeleven	1	2		1	3	3	2	3	2	1	1
<i>Dryopteris filix-mas</i>	Manneijesvaren	3	6	7	7	4	5	3	3	1	1	2
<i>Eleocharis palustris</i>	Gewone waterbies										2	1
<i>Eleocharis quinqueflora</i>	Armbloemige waterbies					1	1	1	3	1	1	1
<i>Eleocharis unguiculmis</i>	Slanke waterbies	3	6	9	7	10	10	9	5	1	4	2
<i>Elytrigia atherica</i>	Strandweek	24	48	53	60	71	67	63	69	55	56	62
<i>Elytrigia juncea s. boreoatlantica</i>	Biestarwegras			3	6	4	5	3	1	1		

Soort	Triviale naam	2001	2001	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
<i>Elytrigia repens</i>	Kweek				4	3	3	3	3	2	1	1
<i>Elytrigia x obtusiuscula</i>	Elytrigia x obtusiuscula				1	1	2	1			1	
<i>Elytrigia x oliveri</i>	Elytrigia x oliveri					1		3				
<i>Epiobium ciliatum</i>	Beklierde basterdwederik	1	2	1								
<i>Epiobium hirsutum</i>	Harig wilgenroosje	1	2	2	3		3	3	5	4	4	
<i>Epiobium montanum</i>	Bergbasterdwederik			16	16	1	16	5	7			
<i>Epiobium obscurum</i>	Donkergroene basterdwederik	5	10	10	7		16	4	10	1		
<i>Epiobium palustre</i>	Moerasbasterdwederik	7	14	15	5	7	14	18	3	8	1	1
<i>Epiobium parviflorum</i>	Viltige basterdwederik				2		3				1	
<i>Epiobium species</i>	Basterdwederik (G)								5		2	1
<i>Epipactis palustris</i>	Moeraswespenorchis			1	1		2	1				
<i>Erodium cicutarium</i>	Gewone en Duinreigersbek	7	14	15	13	10	9	1	8	3		2
<i>Erophila verna</i>	Vroegeling											1
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Koninginnenkruid	6	12	9	9	29	29	30	41	17	28	24
<i>Euphrasia stricta</i>	Stijve ogentroost	3	6	6	5	3	3	4	4	7	4	5
<i>Eurhynchium striatum</i>	Geploid snavelmos				1		1					
<i>Evernia prunastri</i>	Elkenmos				1							
<i>Fallopia dumetorum</i>	Heggenduizendknop			1		1			1			1
<i>Festuca filiformis</i>	Fijn schapengras										5	5
<i>Festuca rubra</i>	Rood zwenkgras s.s.	53	106	109	112	103	112	110	108	112	82	101
<i>Fruillania dilatata</i>	Helmroestmos					1	1					
<i>Galeopsis bifida</i>	Gespleten hennepnetel	2	4	6	7	8	16	15	15	9	7	6
<i>Galium aparine</i>	Kleefkruid	3	6	4	4	6	10	11	15	7	9	4
<i>Galium mollugo</i>	Glad walstro	31	62	70	73	47	54	55	51	58	54	51
<i>Galium palustre</i>	Moeraswalstro	3	6	8	7	11	15	18	12	15	17	5
<i>Galium uliginosum</i>	Ruw walstro			4								
<i>Galium verum</i>	Geel walstro					1			1			1
<i>Geranium molle</i>	Zachte ooievaarsbek	5	10	10	9	9	6	8				4
<i>Geranium pusillum</i>	Kleine ooievaarsbek									1		
<i>Geranium robertianum</i>	Robertskruid					1	1	1	1	1		
<i>Glaux maritima</i>	Melkkruid	7	14	11	11	20	16	16	13	15	19	19
<i>Gnaphalium luteo-album</i>	Bleekgele droogbloem										3	1
<i>Hennediella heimii</i>	Ziltmos					1	3	1	1			
<i>Hieracium umbellatum</i>	Schermhavikskruid		4		5		2	2	2			
<i>Hippophae rhamnoides</i>	Duindoorn	22	44	54	47	51	50	55	73	50	57	51
<i>Holcus lanatus</i>	Gestreepte witbol	15	30	33	32	30	32	40	33	26	35	46
<i>Homalothecium lutescens</i>	Smaragdmos										1	

Soort	Triviale naam	2001	2001	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	Gewone watermavel	3	6	8	8	12	10	12	13	13	11	10
<i>Hyperphyscia adglutinata</i>	Dun schaduwmos											1
<i>Hypnum cupressiforme</i>	Gewoon klauwtjesmos (G)	42	84	71	77	47	53	50	55	41	34	28
<i>Hypnum jutlandicum</i>	Heideklauwtjesmos	7	14	13	1	4	2	3	4			
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewoon biggenkruid	1	2	6	10	6	5	8	9	1	3	5
<i>Iris pseudacorus</i>	Gele Ijs						1	1				
<i>Jacobaea vulgaris s. dunensis</i>	Duinkruiskruid	31	62	51	78	40	70	71	71	62	32	52
<i>Juncus alpinointiculatus</i>	Duinrus en Alpenrus			1	1	1	3	2	4	5	5	6
<i>Juncus alpinointiculatus x articulatus</i>	Juncus alpinointiculatus x articulatus								1			
<i>Juncus ambiguus</i>	Zilte greppelrus	2	4		2	2	4	2				
<i>Juncus articulatus</i>	Zomprus				2	8	4	5	5	1	6	9
<i>Juncus balticus</i>	Noordse rus			1	1	1	2	7	4	4	3	5
<i>Juncus bufonius</i>	Greppelrus			1	4	1		2	3	2	3	
<i>Juncus gerardii</i>	Zilte rus	9	18	25	23	24	19	29	19	13	19	22
<i>Juncus maritimus</i>	Zeerus			1	1	3	2	7	2	2	4	6
<i>Kindbergia praelonga</i>	Fijn laddermos	29	58	48	53	52	58	57	64	45	48	26
<i>Lecania cyrtella</i>	Boomglimschotelkje					1	2		5	3	9	5
<i>Lecanora charotera</i>	Witte schotelkorst	1	2	2	1	3	1	5	5	3	6	5
<i>Lecanora expallens</i>	Bleekgroene schotelkorst								1			
<i>Lecanora hagenii</i>	Kleine schotelkorst	2	4	4	3	10	13	8	14	9	19	15
<i>Lecanora symmicta</i>	Bolle schotelkorst			2	1	1	3	4				1
<i>Lecidella elaeochroma</i>	Gewoon purperschaaltje	1	2	3	5	15	23	30	38	4	22	28
<i>Leontodon autumnalis</i>	Vertakte leeuwentand							1			1	4
<i>Leontodon saxatilis</i>	Kleine leeuwentand	27	54	44	43	48	53	43	48	39	26	40
<i>Lepraria lobificans</i>	Gelobde poederkorst								1			1
<i>Leptobryum pyriforme</i>	Slankmos										1	1
<i>Leptodictyum riparium</i>	Beekmos									1	3	1
<i>Leymus arenarius</i>	Zandhaver						2		1	3		
<i>Limonium vulgare</i>	Lamsoor	2	4	1	1	1	1	2		7		
<i>Linaria vulgaris</i>	Vlasbekje	17	34	34	38	37	40	36	34	27	31	41
<i>Linum catharticum</i>	Geelhartje	10	20	20	16	5	14	16	21	24	7	5
<i>Liparis loeselii</i>	Groenknolorchis			3		1	1	2	3	1	1	1
<i>Lolium perenne</i>	Engels raai gras				1		1	2	1			
<i>Loncera periclymenum</i>	Wilde kamperfoelie						1	1	1			2
<i>Lophocolea bidentata</i>	Gewoon kantmos	12	24	9	15	3	2	2	2		1	1
<i>Lophocolea heterophylla</i>	Gedrongen kantmos	5	10	5		2	4					
<i>Lotus corniculatus</i> + <i>L. 'Sativus'</i>	Gewone en Rechte rolklaver	2	4	7	6	3	2	5	3	6	4	5

Soort	Triviale naam	2001	2001	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
<i>Lotus pedunculatus</i>	Moerasrolklaver										1	
<i>Luzula campestris</i>	Gewone veldbies	16	32	47	39	20	25	31	30	27	17	20
<i>Lycopus europaeus</i>	Wolfspoet	4	8	11	10	12	15	16	14	9	9	8
<i>Melanixia subaurifera</i>	Verstop-schildmos										1	
<i>Mentha aquatica</i>	Watermunt	4	8	16	17	32	34	38	41	37	40	41
<i>Metzgeria fruticulosa</i>	Blauw boomvorkje							1				
<i>Metzgeria furcata</i>	Bleek boomvorkje	1	2	1	1	1	1	1	1			
<i>Micarea denigrata</i>	Vulkaanoojie							1				
<i>Micarea prasina</i>	Houtoojie					1						
<i>Moehringia trinervia</i>	Drienerfmuur			1		3	5	6	12	4	3	3
<i>Myosotis arvensis</i>	Akker-vergeet-mij-nietje			2								
<i>Myosotis laxa s. cespitosa</i>	Zompvergeet-mij-nietje			9	1		6	1	4			
<i>Myosotis ramosissima</i>	Ruw vergeet-mij-nietje	22	44	21	14		4	3	3			
<i>Odontites vernus</i>	Rode, Vroege en Akkergenttroost	9	18	13	18	28	20	23	19	30	24	20
<i>Oenanthe lachenalli</i>	Zilt torkruid			3		2	6	2	1	3	1	2
<i>Oenothera biennis</i>	Middelste teunisbloem						1					
<i>Oenothera oakesiana</i>	Duuteunisbloem								1	1	2	
<i>Oenothera parviflora</i>	Kleine teunisbloem				1	2	1	1				
<i>Oenothera species</i>	Teunisbloem (G)										1	1
<i>Ophioglossum vulgatum</i>	Addertong			2	1						1	
<i>Orthotrichum affine</i>	Gewone haarmuts	3	6		1	2	3	1	2			
<i>Orthotrichum diaphanum</i>	Grijze haarmuts	3	6	2	2	3	2	1	3			1
<i>Orthotrichum pulchellum</i>	Gekroesde haarmuts			1	3	2	3				1	
<i>Parmelia subaurifera</i>	Verstop-schildmos									1		
<i>Parmelia sulcata</i>	Gewoon schildmos	1	2		1	1			1			
<i>Parnassia palustris</i>	Parnassia			1				2	1	1		1
<i>Peltigera rufescens</i>	Klein leermos	4	8	4	7	2	5	1	1		1	
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	Rond schaduwmos	1	2	2	1	2	2	1	2			
<i>Phileum arenarium</i>	Zanddoddegras	9	18	14	13	8	8	5	6	8	2	5
<i>Phragmites australis</i>	Riet	6	12	17	17	27	23	29	23	24	29	32
<i>Physcia adscendens</i>	Kapjesvingermos	3	6	2	1	2	6	9	12	10	9	11
<i>Physcia tenella</i>	Heksenvingermos	5	10	3	2	6	6	2	4	1	1	7
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	Glazend platinos	1	2	1	1							
<i>Plantago coronopus</i>	Hertshoornweegbree	5	10	7	5	12	3	4	5	3	5	4
<i>Plantago lanceolata</i>	Smalle weegbree					1						
<i>Plantago major s. major</i>	Grote weegbree s.s.				1	2		1	1	1		1
<i>Plantago maritima</i>	Zeeweegbree	4	8	5	5	4	3	4	2	1	2	1

Soort	Triviale naam	2001	2001	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
<i>Poa annua</i>	Straatgras	4	8	2	3	1	1	1	1			
<i>Poa pratensis</i>	Veldbeemdgras	44	88	92	97	75	87	86	96	70	58	46
<i>Poa trivialis</i>	Ruw beemdgras	3	6	11	2	3	4	10	8	1		
<i>Polygala serpyllifolia</i>	Liggende vleugeltjesbloem	1	2	1			1					
<i>Polygala vulgaris</i>	Gewone vleugeltjesbloem s.l.			5	4		2		2	1	2	3
<i>Polygonum aviculare</i>	Gewoon varkensgras			1				1	1	3	2	
<i>Polypodium vulgare</i>	Gewone eikvaren	17	34	23	23	14	10	12	9	6	6	5
<i>Polytrichum formosum</i>	Fraai haarmos			1	1		1					
<i>Polytrichum juniperum</i>	Echt zandhaarmos						2					
<i>Potentilla anserina</i>	Zilver schoon	9	18	30	28	45	45	45	38	42	42	44
<i>Prunella vulgaris</i>	Gewone brunel						1	1	1	1	2	1
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	Groot laddermos	5	10	9	13	7	10	13	12	14	10	8
<i>Puccinellia maritima</i>	Gewoon kweldergras					1		1		1		
<i>Pulicaria dysenterica</i>	Heelblaadjes								1	1		
<i>Pyrola rotundifolia</i>	Rond wintergroen	1	2	2	3	1	4	2	1			1
<i>Ranalisia farinacea</i>	Melig takmos										1	
<i>Ranunculus acris</i>	Scherpe boterbloem			2	2							1
<i>Ranunculus flammula</i>	Egelboterbloem									2		
<i>Ranunculus repens</i>	Kruipende boterbloem	1	2	2	1	2	1	1	1			
<i>Rhynchosostegium confertum</i>	Boomsnavelmos				2	1	1		2			
<i>Rhynchosostegium megapolitanum</i>	Duinsnavelmos	6	12	2	7	9	7	20	13			
<i>Rhytidadelphus squarrosus</i>	Gewoon haakmos	10	20	13	17	9	17	18	13	20	16	9
<i>Rhytidadelphus triquetrus</i>	Pluimstaartmos			1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Rosa canina s.l.</i>	Hondsroos	6	12	12	11	13	14	14	16	5	7	5
<i>Rosa rugosa</i>	Rimpelroos										1	
<i>Rubus caesius</i>	Dauwbraam	22	44	42	45	39	49	53	55	43	53	54
<i>Rubus sec. Corylifolii</i>	Wasbraam	3	6	5	12	4	5	16	11	3		
<i>Rubus sec. Rubus</i>	Zwarte braam	6	12	10	8	11	6	2	5	1		
<i>Rubus species</i>	Braam (G)							1		8	13	11
<i>Rumex acetosa</i>	Veldzuring			2								1
<i>Rumex acetosella</i>	Schapenzuring	8	16	11	10	6	7	7	5	6	4	5
<i>Rumex crispus</i>	Kruizuring	14	28	30	26	53	40	36	29	19	22	24
<i>Sagina maritima</i>	Zeevetmuis	1	2									
<i>Sagina nodosa</i>	Sterlijke vetmuis	9	18	13	8	15	18	14	13	4	4	7
<i>Sagina procumbens</i>	Liggende vetmuis	1	2	2		1		2				
<i>Salicornia europaea</i>	Kortarige zeekraal			3	5	9	4	2	3	2	5	7
<i>Salix cinerea</i>	Grauwe en Rossige wilg			1		2	5	4	1	2	1	

Soort	Triviale naam	2001	2001	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
<i>Salix repens</i>	Kruipwilg	5	10	17	15	10	15	18	17	14	17	17
<i>Sanbucus nigra</i>	Gewone vlier	4	8	14	11	11	8	13	26	3	8	5
<i>Samolus valerandi</i>	Waterpunge				1	4	2	2	4	3	1	2
<i>Saxifraga tridactylites</i>	Kandelaarĳe											1
<i>Scoliosporum chlorococcum</i>	Boomspiraalkorst					1		1			10	1
<i>Scutellaria galericulata</i>	Blauw glidkruid	4	8	4	1	5	7	9	7	8	4	3
<i>Sedum acre</i>	Muurpeper	19	38	31	21	19	16	8	9	8	7	9
<i>Senecio inaequidens</i>	Bezemkruiskruid											3
<i>Senecio sylvaticus</i>	Boskruiskruid	10	20	29	25	19	18	11	11	4	9	13
<i>Senecio vulgaris</i>	Klein kruiskruid	3	6	4		4	2	5		2		1
<i>Silene dioica</i>	Dagkoekeksbloem											1
<i>Silene flos-cuculi</i>	Echte koekeksbloem											1
<i>Sisymbrium specios</i>	Raket (G)											1
<i>Solanum dulcamara</i>	Bitterzoet	4	8	9	6	14	13	11	14	3	2	6
<i>Solanum nigrum s. nigrum</i>	Zwarte nachtschade s.s.					2		1				
<i>Sonchus arvensis</i>	Akkermelkdistel s.l.											
<i>Sonchus arvensis v. maritimus</i>	Zeemelkdistel	36	72	77	53	93	73	56	55	41	34	37
<i>Sonchus asper</i>	Gekroesde melkdistel					14	4		2			2
<i>Sonchus oleraceus</i>	Gewone melkdistel				1		1	3	1			
<i>Spargularia salina</i>	Zilte schijnspurrie			1	5			2	2	2	3	2
<i>Stellaria media</i>	Vogelmuur	17	34	25	19	26	6	8	8	6	1	2
<i>Stellaria pallida</i>	Duinvogelmuur										1	
<i>Suaeda maritima</i>	Schorrenkruid	1	2	5	3	41	4	2	2	2	4	16
<i>Syntrichia papillosa</i>	Knikkersterreĳe						1					
<i>Syntrichia ruralis v. arenicola</i>	Groot duinsterreĳe	11	22	36	35	31	30	26	32	15	14	15
<i>Syntrichia ruralis var. calcicola</i>	Klein duinsterreĳe								1	3	1	
<i>Taraxacum species</i>	Paardenbloem (G)	36	72	66	70	47	51	44	37	37	6	14
<i>Thalictrum species</i>	Ruit (G)											
<i>Thlaspi arvense</i>	Boerenkers					1						
<i>Tortula subulata</i>	Langkapselsterreĳe	3	6	1	2	1	1	1	3			1
<i>Trifolium fragiferum</i>	Aardbeĳklaver			1	2	1	1	1	1	2	4	2
<i>Trifolium pratense</i>	Rode klaver							1				
<i>Trifolium repens</i>	Witte klaver	5	10	7	6	1	4	6	2	8	2	4
<i>Triglochin maritima</i>	Schorrenzoutgras			1			1	1	1	1		
<i>Triglochin palustris</i>	Moeraszoutgras	1	2	2	1	1	1	2		1		1
<i>Tripleurospermum maritimum</i>	Reukeloze kamille					3	1	4	4		7	5
<i>Uloa phyllantha</i>	Broedkroesmos	1	2	1	2	1	1	1	1			

Soort	Triviale naam	2001	2001	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020
<i>Urtica dioica</i>	Grote brandnetel	16	32	38	38	28	35	30	35	20	19	20
<i>Urtica urens</i>	Kleine brandnetel	1	2			1	1					
<i>Veronica arvensis</i>	Veldereprijs	9	18	23	12	8	5	22	7	3	8	1
<i>Veronica officinalis</i>	Mannetjesereprijs	23	46	36	37	15	26	24	22	20	18	13
<i>Vicia cracca</i>	Vogelwikke			1	1	1	1	1	1	1	2	
<i>Vicia lathyrroides</i>	Lathyruswikke	2	4		7	6	2	3	2			
<i>Vicia sativa s. nigra + s. seget.</i>	Smalle + Vergeten wikke s.s.	3	6	6	9	9	4	11	4	4	1	4
<i>Viola canina</i>	Hondsvioletje	5	10	11	9	5	4	6	7	8	3	5
<i>Viola curtisii</i>	Duinviooltje	10	20	28	14	10	17	22	9	8	3	16
<i>Xanthoria parietina</i>	Groot dooiermos	4	8	9	8	19	25	17	29	14	24	37
<i>Xanthoria polycarpa</i>	Klein dooiermos	1	2	1	4	4	9	6	5		8	3
<i>Xanthorhiza physciae</i>	Xanthorhiza physciae									1		
<i>Zygodon viridissimus</i>	Echt iepenmos						2					
Totaal aantal soorten		148	182	174	192	204	199	203	170	166	170	
Aantal (korst(mossen))		41	48	46	53	56	46	57	35	35	39	
aantal vaatplanten		107	134	128	139	148	153	144	134	130	131	

Bijlage 3 Correlatiecoëfficiënten van abiotische variabelen

VARIABELLE	X-coord	Y-coord	Z-coord	Inclinatie	Bodem_zandig	Bodem_venig	Bodem_kleilig	%Bodemvocht	Org.stof kg/m2	N-tot	P-tot	Ca	K	Na	S	pH_CaCl2	N-NH4	N-NO3	P-PO4	pH_H2O	P_Olsen
X-coord	1.000																				
Y-coord	-0.329	1.000																			
Z-coord	-0.309	0.223	1.000																		
Inclinatie	-0.210	0.166	0.701	1.000																	
Bodem_zandig	-0.334	0.245	0.222	0.307	1.000																
Bodem_venig	0.297	-0.362	-0.175	-0.191	-0.646	1.000															
Bodem_kleilig	0.292	-0.091	-0.208	-0.282	-0.747	0.309	1.000														
%Bodemvocht	0.403	-0.287	-0.385	-0.503	-0.823	0.677	0.623	1.000													
Org.stof kg/m2	0.386	-0.308	-0.381	-0.433	-0.665	0.589	0.453	0.802	1.000												
N-tot	0.407	-0.386	-0.306	-0.374	-0.768	0.714	0.371	0.865	0.831	1.000											
P-tot	0.331	-0.294	-0.227	-0.315	-0.680	0.656	0.320	0.744	0.775	0.870	1.000										
Ca	-0.095	-0.037	0.216	0.159	-0.080	0.087	-0.023	0.031	-0.017	0.113	0.403	1.000									
K	0.396	-0.315	-0.253	-0.315	-0.781	0.789	0.341	0.833	0.742	0.902	0.849	0.103	1.000								
Na	0.378	-0.258	-0.247	-0.324	-0.827	0.782	0.453	0.847	0.745	0.863	0.825	0.111	0.965	1.000							
S	0.350	-0.266	-0.247	-0.325	-0.868	0.774	0.490	0.870	0.670	0.916	0.799	0.123	0.916	0.922	1.000						
pH_CaCl2	-0.242	0.370	0.265	0.230	0.277	-0.155	0.372	-0.260	-0.387	-0.374	-0.161	0.370	-0.191	-0.189	-0.294	1.000					
N-NH4	0.286	-0.424	-0.306	-0.310	-0.665	0.503	0.264	0.712	0.773	0.865	0.759	0.163	0.693	0.639	0.707	-0.413	1.000				
N-NO3	0.230	-0.343	-0.094	-0.030	0.033	0.154	-0.220	0.163	0.154	0.340	0.281	0.105	0.122	0.060	0.183	-0.110	0.336	1.000			
P-PO4	0.115	-0.414	-0.132	-0.081	-0.100	0.094	-0.103	0.143	0.387	0.422	0.364	0.134	0.205	0.208	0.204	-0.429	0.575	0.517	1.000		
pH_H2O	-0.236	0.405	0.411	0.351	0.542	-0.421	-0.434	-0.567	-0.636	-0.598	-0.480	0.183	-0.467	-0.477	-0.564	0.734	-0.622	-0.300	-0.406	1.000	
P_Olsen	0.345	-0.286	-0.190	-0.247	-0.518	0.520	0.214	0.616	0.729	0.728	0.885	0.414	0.709	0.726	0.616	-0.076	0.665	0.299	0.453	-0.358	1.000

In vet: correlatiecoëfficiënten >0,70 (zie paragraaf 2.4.3 voor uitleg over de selectie van variabelen bij de multivariate analyse); als een variabele voor >0,70 is gecorrleerd aan een factor die al in het model is opgenomen, dan is deze weggelaten.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 3142
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Rapport 3142
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

