

EFFECTEN VAN SUPPLETIES OP DE GEOMORFOLOGISCHE EN GEOCHEMISCHE ONTWIKKELING VAN DUINEN: SAMENVATTING EN SYNTHESE

Onderstaande 'samenvatting en synthese' stoelt op navolgende rapporten:

Arens, S.M., S.P. van Puijvelde & C. Brière, 2010. Effecten van suppleties op duinontwikkeling; geomorfologie. Rapportage fase 2. Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek en Deltares RAP2010.03 in opdracht van Directie Kennis, LNV, 141 pp + bijlagen

Stuyfzand, P.J., S.M. Arens en A.P. Oost 2010. Geochemische effecten van zandsuppleties langs Hollands kust. KWR-rapport KWR 2010.048, 71p.

Aanleiding en achtergronden

Beïnvloeden suppleties de natuurwaarden van de duinen? Voor Rijkswaterstaat, als verantwoordelijke voor het kustonderhoud, is het van belang te onderzoeken wat de effecten van suppleties op andere functies zijn. Voor LNV, als verantwoordelijke voor het Natura2000 beleid, is enerzijds van belang of eventuele negatieve effecten van suppleties een bedreiging vormen voor instandhoudingsdoelstellingen, anderzijds of eventuele positieve effecten van suppleties juist een bijdrage leveren aan de instandhouding van habitats. Inzicht in de effecten maakt het in principe mogelijk om de mate en wijze van suppleren zo aan te passen dat negatieve effecten worden geminimaliseerd en positieve worden gemaximaliseerd.

Onderzoek naar de effecten op duinen heeft zich in eerste instantie gericht op de geomorfologie. Dit onderzoek is door zowel Rijkswaterstaat als LNV via het Deskundigenteam Duin&Kustlandschap van OBN gefinancierd. Vanuit LNV is het onderzoek uitgebreid met een geochemische component, waarbij de aandacht vooral uit is gegaan naar de kwaliteit van het suppletiezand in vergelijking met die van het natuurlijke duinzand, en wat er van het suppletiezand in de duinen terug te vinden is.

In de voltooid, eerste fase van het suppletieonderzoek is derhalve onderzoek gedaan naar eventuele geomorfologische en geochemische effecten, die uiteindelijk belangrijke abiotische randvoorwaarden vormen voor de ecologische ontwikkeling. Kortweg draaide het onderzoek om de volgende drie hoofdvragen:

- Komt er meer zand in de duinen?
- Zo ja, verandert de overstuiving van de zeereep?
- Zo ja, verandert de kwaliteit van het zand?

De volgende fase van het onderzoek zal zich richten op de vraag:

- Wat betekent dit allemaal voor de ecologie?

Het lijkt overduidelijk dat de aard van de zeereep langs de Nederlandse kust veranderd is. Op veel plaatsen zijn inmiddels embryonale duinen ontstaan (een belangrijk habitatype, 2110) en de steile afslagkliffen, in de jaren 1970-1980 zo kenmerkend voor grote delen van de kust, zijn bijna niet meer terug te vinden. Is er inderdaad sprake van een trendbreuk in de aanzanding van de zeereep? Valt deze samen met uitgevoerde suppleties? Is het geen gevolg van een veel milder stormklimaat sinds 1990? Verandert het zand zelf ook? Veranderingen in aanzanding en overstuiving hebben behalve op het ontstaan van embryonale duinen ook consequenties voor de vorming en ontwikkeling van witte duinen (habitatype 2120) en grijze duinen (habitatype 2130).

Wat gebeurt er met het zand? Ontwikkelt de zeereep op plaatsen met dynamisch kustbeheer zich wezenlijk anders dan op plaatsen zonder? Zijn er regionale verschillen? Veranderen de oppervlaktes en kwaliteit van de relevante habitattypen?

Wanneer door suppleren de kwaliteit van het zand op het strand verandert, bijvoorbeeld doordat de korrelgrootteverdeling verandert, of de mineraalinhoud van het zand, dan kan een verandering in

de overstuiving ervoor zorgen dat dit kwalitatief andere zand ook in de duinen terecht komt. Hoe langer de overstuivingsgradient is, hoe verder deze invloed kan reiken. Wanneer direct op het strand gesuppleerd wordt, zal dit effect veel groter zijn. Dan wordt immers direct het kwalitatief andere zand binnen het eolische systeem aangebracht. Bij vooroever-suppleties zal het effect minder duidelijk, mogelijk zelfs afwezig zijn. Eerdere studies hebben uitgewezen dat door een vooroever-suppletie het zand op het strand niet wezenlijk verandert.

Veranderingen in aanzanding en overstuiving

Het is nog niet voor 100% bewezen dat de aanzanding door suppleren veranderd is, maar indirect is het wel zeer aannemelijk dat er gemiddeld een toename van de aanzanding is. Voor een aantal studielocaties kan worden aangetoond dat de trend van aanzanding sinds suppleren aanmerkelijk is toegenomen. Er zijn echter ook locaties waar de trend verandert voordat gestart is met suppleren, of waar de trend verandert terwijl helemaal niet is gesuppleerd. Dit zou echter goed samen kunnen hangen met suppleties op andere locaties. Over de ruimtelijke verspreiding van suppletiezand is nog weinig bekend.

De combinatie met dynamisch zeerepbeheer zorgt in een groot deel van de onderzochte studielocaties voor een extra toename van dynamiek (zie Tabel A). Hierdoor komt een herverdeling van zand binnen de zeerep zelf op gang, wat de doorstuiving verder landwaarts bevordert. Dit betekent een verdere verbetering van de abiotische randvoorwaarden. Alleen bij Langeveld, Coepelduynen, Wassenaar en Voorne speelt dit niet, en evenmin in delen van gebieden op Ameland, Texel, Goeree, Schouwen en Walcheren. Hier wordt het meeste zand aan de voorzijde van de zeerep ingevangen. Herstel van een lange overstuivingsgradiënt, met daarmee mogelijkheden voor verder landwaarts gelegen habitats wordt daarmee in feite geblokkeerd.

Veranderingen in het zandbudget

In veel gebieden is ergens tussen 1990 en 2000 een omslag waar te nemen, waarbij erosie overgaat in aanzanding, of waar de mate van aanzanding sterk toeneemt (zie Tabel A). Alleen in Schoorl begint de verandering eerder, tussen 1986 en 1988. Op Voorne en Goeree, waar suppleren veel eerder is gestart (resp. 1973 en 1969), speelt de aanzanding over de gehele beschouwde periode al een rol. Er zijn meer gebieden waar de aanzanding al vanaf het begin speelt, geen verandering in de trend van aanzanding is, en waar een suppletie-effect niet waarschijnlijk is (in ieder geval geen effect van suppleties ter plaatse). Het gaat om Ameland west (hier is wel een veranderende trend door de specifieke zandhaakontwikkeling), Ameland oost (oostkant), Terschelling west (zandplaatverheling), Groote Keeten km 8-10, en Walcheren km 11-12.

Verschillende andere gebieden vertonen eveneens een gestage aanzanding en zijn wel gesuppleerd. Het is hier echter de vraag of aangroei en suppleties direct aan elkaar gerelateerd zijn, aangezien de trend geen verandering toont, ook niet op het moment van suppleren. Het betreft de gebieden Terschelling midden, Groote Keeten km 10-11, Langeveld (eenmalig gesuppleerd in 2002), Coepelduynen (gesuppleerd in 2006, maar sterker aanzandend sinds 1997), Schouwen km 10-11.

Dan zijn er diverse locaties waar het wel zeer aannemelijk is dat een verandering in aanzanding het gevolg is van suppleren en waar trendbreuken samenvallen met het begin van suppleren. De meest overtuigende locaties zijn Texel noord en midden en in mindere mate Bergen-Egmond, Wassenaar, Voorne, Goeree, Schouwen en Walcheren. Voor het middendeel van Schouwen geldt dat dit het enige gebied is waar een structureel negatieve trend door suppleren minder negatief is geworden.

In de meeste gebieden is de overstuiving van de zeereptop en achterkant sterk of sterker geworden. Bij Langeveld, Wassenaar en Voorne speelt overstuiving vooral aan de voorkant van de zeereep, bij Ameland west, Texel noord, Coepelduynen en Walcheren vangt ook de zeereptop meer zand in. Voor Ameland oost, Terschelling midden en west, Texel midden, Groote Keeten, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Goeree en Schouwen geldt ook dat de doorstuiving naar

achteren toe is genomen. Terschelling midden en west, Groote Keeten, Bergen-Egmond, de kerven bij Heemskerk en Castricum en Schouwen zijn daarbij de locaties waarbij de doorstuiving naar achteren het meest extreem is, en de overstuivingsgradiënt het langste is en het verst landwaarts doorwerkt. Bij Bergen-Egmond, de kerven bij Castricum en Heemskerk en op Schouwen speelt afslag daarbij een rol.

In sommige gebieden is er sprake van een grote ruimtelijke variatie in de volumeontwikkeling (Terschelling midden, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Schouwen), en moet deze per individuele raai worden beschouwd, in andere is de variatie minder en kan de ontwikkeling per km-vak worden gemiddeld (Groote Keeten, Wassenaar, Langeveld).

In vrijwel alle raaien lijkt sprake van een periodieke fluctuatie in de volumeontwikkeling, de fluctuatie lijkt minder te worden wanneer gesuppleerd wordt. In sommige gebieden is de temporele variatie groot, (Ameland west, Terschelling midden, Texel midden, Schoorl, Bergen-Egmond, Castricum, Heemskerk, Wassenaar, Goeree, Schouwen), in andere is de fluctuatie minder. Nader onderzocht zou moeten worden hoe deze periodiciteit is gerelateerd aan het bankgedrag, passeren van zandgolven of enige andere periodieke ontwikkeling op de onderwateroever.

Veranderingen in morfologie en overstuiving

Voor vrijwel alle gebieden geldt dat het totaal aan dynamische vormen (de som van embryonale duinen en erosieve vormen) in de tweede opname (2007 voor de meeste gebieden, 2008 voor Terschelling west) aanmerkelijk in oppervlak is toegenomen in vergelijking tot de eerste opname (1996 voor de meeste gebieden, 2000 voor Terschelling midden, Castricum en Wassenaar, 2003 voor Terschelling west). Voor alle gebieden met uitzondering van Schouwen is het oppervlak embryonaal duin toegenomen. Alleen voor Voorne en Walcheren geldt een afname van dynamische, erosieve vormen. Voor Langeveld en Wassenaar is het oppervlak aan erosieve vormen minimaal. Voor Coepelduynen is het oppervlak relatief groot omdat hier een groot deel van de binnenduinen mee is gekarteerd. Wanneer de dynamische structuren samen worden genomen geldt zonder uitzondering dat het oppervlak aan dynamische vormen in alle proefgebieden aanmerkelijk is toegenomen.

Het oppervlak aan embryonaal duin is tussen 1996 en 2007 enorm gegroeid. De grootste oppervlakken zijn te vinden op Ameland west, Terschelling en Groote Keeten, de kleinste langs de rest van de Noord-Hollandse kust en op Schouwen. De geringe oppervlakken bij Heemskerk en Schouwen hangen samen met de afslag daar. Voor de Hollandse kust is het grote areaal bij Groote Keeten een bijzonderheid. Er is geen verband met zandbudget (behalve dat het zandbudget positief moet zijn, in gebieden met afslag ontstaan geen embryonale duinen). Wel blijkt dat de gebieden die weinig of niet gesuppleerd zijn de grootste oppervlakken aan embryonale duinen herbergen. Op zich is dit logisch, omdat in gebieden waar autonome aangroei overheerst embryonale duinen sterker ontwikkeld zullen zijn. Ook wanneer alleen de gesuppleerde gebieden worden beschouwd, is er geen verband tussen zandbudget en oppervlak embryonale duinen per km kust.

De gebieden met de grootste oppervlakken aan erosieve vormen zijn Terschelling (met Terschelling midden als onbetwiste koploper, maar dit is onder invloed van ingrepen), de Noord-Hollandse locaties en Schouwen. Terschelling en Groote Keeten zijn gebieden waar een groot oppervlak aan erosieve structuren samengaat met een groot oppervlak aan embryonale duinen én een grote aanstuiving. De Zuid-Hollandse proefgebieden, met uitzondering van Goeree, herbergen de kleinste oppervlakken aan erosieve structuren.

Texel midden, en in mindere mate Texel noord, herbergen een groot aantal erosieve vormen, die evenwel een beperkt oppervlak beslaan. Dit kan erop duiden dat hier de overgang naar een meer dynamische zeereep recentelijk op gang is gekomen.

Ook voor het voorkomen van erosieve vormen geldt dat er geen verband is met het zandbudget. Weliswaar ontstaan in de gebieden met afslag veel erosieve structuren, maar a) zijn de gebieden met afslag niet tegelijk die met de laagste zandbudgetten (een achteruitgaande zeereep kan tegelijkertijd

hoger worden en meer zand bevatten), en b) hebben de gebieden met de grootste oppervlakken juist een sterk positief budget. Het grote oppervlak op Terschelling hangt samen met ingrepen, en moet in dit opzicht buiten beschouwing worden gelaten.

Er is een zwakke correlatie tussen het voorkomen van erosieve structuren en het oppervlak aan embryonale duinen, behalve voor gebieden met een sterke aanstuiving en extreme dynamiek (Terschelling, Grote Keeten).

TABEL A. Overzicht van zandsuppleties langs de Nederlandse kust, responstype van de zeereep en de morfologische veranderingen.

gebied	respons type	Suppleties m3/m			Zandbudget		embryonaal duin		erosieve vormen		doorstui-ving	relatie suppleties
					m3/m/j		ha/km		ha/km			
		strand	vooroever	overig	vóór 1990-1995	na 1990-1995	1996	2007	1996	2007		
Ameland 17-20	4	156	335	13	7.4	9.7	0	1.2	0.16	0.28	matig	+/-
Ameland 3-5	4	132	129		5.5	10.7	0.26	1.8	0.34	0.42	matig	0
Terschelling 15-20	5		269		12.3	8.1		2.49		7.4	veel	+
Terschelling 2-6	5				24.3	29.8	1.77	1.86	1.52	2.02	veel	0
Texel 18-24	3	1137	969		0.6	21.5	0	0.48	0.09	0.27	beperkt	++
Texel 11-15	4	642	689		-3.6	24.7	0	0.8	0.17	0.24	matig	++
Grote Keeten	5	205	248		23.3	19.3	1.09	1.87	0.57	1.08	veel	?
Schoorl	4-5	432	393		0.6	5.5	0.15	0.4	0.19	0.74	matig-veel	0
Bergen-Egmond	5	98	477		-6	9.7	0	0.33	0.85	1.17	veel	+
Castricum	3-4	150			-0.4	3.8	0.17	0.45	0.06	0.29	matig	0
Heemskerk	4-5	268			-2.8	7.4	0	0.03	0.21	0.8	matig-veel	+/-
Langeveld	3		429		5.5	8.1	0.14	1.02	0	0.02	beperkt	0
Coepelduynen	2		245	7	4.2	8.8	0.67	0.84			geen	+/-
Wassenaar	2	364	625		2.4	13.1	0.95	1.27	0.02	0.02	geen	++
Voorne	2	500		1137	10.3	7	0.56	1.35	0.02	0	geen	++
Goeree	2 en 4-5	2090		421	8.9	8.6	0	1.01	0.06	0.26	matig	++
Schouwen	3-5	989			-7.9	1.5	0.3	0.24	0.18	0.57	matig-veel	+
Walcheren	2-4	504	125	51	7.8	17.8	0.18	1.45	0.38	0.22	beperkt	+

Geel gemarkeerd: periode met meeste suppleties. ++ = overduidelijk; + = duidelijk; +/- = onduidelijk; 0 = geen enkele.

Responstypen van de zeereep

Op grond van het gedrag van het zand binnen de zeereep zijn 5 responstypen onderscheiden, waarvan de ruimtelijke verdeling langs de Nederlandse kust is aangegeven in Tabel A.. De overstuivingsgradiënt wordt van type 1 naar type 5 steeds uitgestrekter. Type 5 is wat dat betreft de ideale situatie, met een zeer uitgestrekte gradiënt, die tot ver landwaarts door kan lopen, en een open zeereep die als doorgeefluik voor dynamiek fungeert.

Type 1: Er is nauwelijks of geen dynamiek in de zeereep. Er is geen sprake van doorstuiving of ontwikkeling van embryonale duinen. Enige lichte vorm van aanstuiving bij de duinvoet is mogelijk. Potentie voor ontwikkeling van alle habitattypen is negatief.

Type 2: Er is met name sprake van dynamiek vóór de zeereep, door de ontwikkeling van embryonale duinen. Doordat de embryonale duinen het grootste deel van de dynamiek wegvangen is er geen dynamiek in de zeereep zelf. De doorstuiving is verwaarloosbaar. Potentie voor de ontwikkeling van habitattype 2110 is goed, bij doorgroeien van de embryonale duinen ontstaat habitattype 2120, witte duinen. Potentie voor onderhoud van grijze duinen achter de zeereep is matig tot slecht. Witte duinen op de zeereep zouden zich door een afname van de dynamiek kunnen ontwikkelen tot grijze duinen.

Type 3: Er is sprake van een matige tot forse dynamiek die leidt tot aanstuiving aan de voorzijde en ophoging van de top. De zeereep breidt daardoor uit. Embryonale duinen kunnen al dan niet voorkomen. De doorstuiving van de voorzijde over de top naar de achterzijde is verwaarloosbaar. Habitattype 2120 is goed ontwikkeld, 2110 is wel of niet aanwezig. De potentie voor onderhoud van grijze duinen is beperkt.

Type 4: Net als bij type 3 is er sprake van een matige tot forse dynamiek, maar nu strekt deze zich ook uit tot achter de zeereep. De potentie voor onderhoud van grijze duinen is dan ook matig tot goed. Habitattype 2120 is goed ontwikkeld, 2110 is wel of niet aanwezig.

Type 5: Het laatste type kent de grootste dynamiek door extreme aanstuiving of secundaire verstuiving, of een combinatie van beide. Afhankelijk van de mate van aanstuiving, of de rol die afslag speelt bij de mobilisatie van zand, zijn embryonale duinen wel of niet aanwezig. Door de ontwikkeling van kerven (parabolisering) en stuifkuilen is de doorstuiving naar achteren toe veel groter dan in de andere typen. Er is een grote potentie voor onderhoud van grijze duinen.

Geochemische effecten

Langs de Hollandse kust is, waar suppleties plaatsvonden, suppletiezand duidelijk herkenbaar (zie onder) en tot 120-230 m landwaarts van de HWL afgezet met dikten van 0.1 – 5 m. Het geochemische onderscheid tussen suppletiezand en 'natuurlijk' zand (uit het presuppletietijdperk) is in het Waddendistrict eenvoudiger dan in het Rhenodunale district.

In het Waddendistrict (Texel, Schoorl en Bergen aan Zee) vertoont suppletiezand dat over de zeereep heen gestoven is, ten opzichte van niet overstoven 'natuurlijk' duinzand, doorgaans significant hogere gehalten aan kalk, P, S, As, Co en Ni, significant lagere gehalten aan organische stof en een significant lagere C/N-verhouding. De beste tracer van suppletiezand is het hogere kalkgehalte.

In het Rhenodunale district (Wassenaar) vertoont suppletiezand dat over de zeereep heen gestoven is, ten opzichte van niet overstoven 'natuurlijk' duinzand, significant hogere gehalten aan Fe, Mn, Mg, P, S, As, Co, Cr, Ni, Pb, Sn, Th, U, V, W en Zn, significant lagere gehalten aan Na- en K-silicaten, lagere gehalten aan organische stof (niet significant) en aan kalk (wel significant), en een lagere C/N-verhouding (niet significant). De beste tracer van suppletiezand is de combinatie van een hoger gehalte aan Fe, P, Co, V en Zn met een lager kalkgehalte.

In noordelijke richting (van Wassenaar naar Texel) vertoont het suppletiezand een systematische afname in het gehalte aan kalk, Na- en Ca-silicaten, P, Ti met diverse geassocieerde natuurlijke zeldzame aarden, Fe, As, Cd, Co, Ni, V en Zn.

Recent overstoven zand zonder suppletie (De Hors en Groote Keeten) wijkt af van gesuppleerd zand elders in het Waddendistrict, door een lager gehalte aan vooral Fe, P, Cu, Pb, V en lanthaniden. De verschillen zijn niet getoetst op statistische significantie.

Vigerende bodemkwaliteitsnormen zijn nergens overschreden dus ook niet in gesuppleerd zand; alle toetsbare gehalten bevinden zich onder de achtergrondwaarde. Organische microverontreinigingen (PAK, vluchtige chlooraromaten, BTEX-verbindingen en EOX) waren in wel en niet gesuppleerd strand- en duinzand (bemonsterd vanaf 0.1 m-MV en dieper) niet aantoonbaar.

Overige belangwekkende geochemische waarnemingen

Oorspronkelijk duinzand van het Rhenodunale type (zonder overstuiving met gesuppleerd zand) vertoont bij Wassenaar significant hogere gehalten aan kalk, Na-, K- en Ca-silicaten, Fe, Mn, P, Ti, en vrijwel alle spore-elementen, in vergelijking met duinzand van het Waddendistrict. De C/N-verhouding is daarentegen lager (maar niet significant). Genoemde verschillen zijn grotendeels in lijn met eerdere waarnemingen, maar nu voor een veel groter aantal elementen vastgelegd.

De a priori indeling van zand in titaniumklassen blijkt zeer effectief in het scheiden van zand (wel en niet gesuppleerd) met aanzienlijke natuurlijke, aan Ti gerelateerde verschillen in gehalte aan vooral Mn, lanthaniden (+ Sc en Y), Cr, Th, U, V en Zr.

Na, Mg en S (als SO₄) vertonen dicht bij de Hoog Water Lijn (HWL) zeer significante bijdrages van indrogend zeezout (max. resp. ca. 40, 20 en 60 %).

Recent overstoven zand zonder suppletie (De Hors en Groote Keeten) wijkt af van het lokale duinzand zonder recente overstuiving, door een hoger gehalte aan Na-silicaat (niet significant), anorganisch P (niet significant) en S (wel significant), een significant lager gehalte aan organische stof en Cu, en een niet-significant lager gehalte aan Pb.

De mate van doorstuiving volgens de geochemie

De geochemische resultaten laten zien dat de mate van doorstuiving zoals volgend uit de geomorfologische klassificatie van zeereep-responstypen gedeeltelijk overeenkomt met de mate van doorstuiving zoals afgeleid uit de geochemische resultaten. Voor responstypen 4 (Texel, Schoorl) en 5 (Groote Keeten, Bergen Egmond) is de doorstuiving inderdaad goed zichtbaar, maar de verschillen tussen responstype 4 en 5 zijn minder duidelijk. Voor responstype 3 (Wassenaar) zou de doorstuiving beperkt tot niets moeten zijn, maar blijkt deze geochemisch toch wel op te treden zij het in mindere mate (minder ver en minder dik) dan bij responstypen 4 en 5. Dit pleit ervoor om ook ondieper dan 0.1 m –MV te gaan bemonsteren om de landwaartse doorstuivingsgrens langs geochemische weg beter vast te stellen.

Gevolgen voor de korrelgrootteverdeling

Gesuppleerd zand (op strand en over zeereep gestoven) is overal grover dan ‘natuurlijk’ duinzand zonder overstuiving met gesuppleerd zand (gemiddelde en mediaan). Dit verschil is op de locaties Westerduinen en Wassenaar significant, op de locaties Schoorl en Bergen aan Zee niet. Dit heeft waarschijnlijk geen gevolgen voor de verstufbaarheid en geomorfologische ontwikkeling, mogelijk enig effect op de fysische bodemeigenschappen en ecologie.

Gesuppleerd zand bevat overal significant minder lutum (<2 µm) en slib (<16 µm). Ook de fracties <32 en <64 zijn significant kleiner, terwijl percentiel P10 significant groter is. Een lager gehalte aan lutum maakt de verstufbaarheid groter.

De sorteringsgraad (waarvoor P60/P10 of P90/P10 maatgevend) van gesuppleerd zand is in het Waddendistrict significant iets beter dan niet-gesuppleerd zand (lagere waarde), bij Wassenaar is het verschil statistisch niet aantoonbaar. Dit effect is waarschijnlijk niet relevant voor geomorfologie en ecologie.

Van het gesuppleerde zand is dat bij de Westerduinen het grofste en dat bij Bergen / Schoorl het fijnste. De variatie past binnen de natuurlijke variatie in korrelgrootte langs de Nederlandse kust.

Overige waarnemingen aan de korrelgrootteverdeling

Oorspronkelijk duinzand (zonder overstuiving met gesuppleerd zand) is bij Wassenaar (Rhenodunaal type) iets fijner dan in het Waddendistrict. Dit verschil is statistisch significant.

Recent overstoven zand zonder suppletie (De Hors en Groote Keeten) is weliswaar iets grover en minder lutumrijk dan niet recent overstoven zand, maar de verschillen zijn statistisch niet significant.

Suppletiezand met een verhoogd titaangehalte heeft op de locatie Wassenaar (kalkrijk suppletiezand) een significant fijnere korrelgrootte met meer lutum dan suppletiezand met normaal titaangehalte. In het Waddendistrict geldt voor kalkloos zand zonder suppletie dat een (sterk) verhoogd titaangehalte samengaat met een significant grovere korrelgrootte en minder lutum.

De gemiddelde korrelgrootte (gewogen naar gewichtspercentage) is zwak negatief gecorreleerd met de afstand tot de hoogwaterlijn (X-HWL), alleen op de locaties Groote Keeten en Wassenaar. Dit betekent dat er tijdens het transport landwaarts een selectie op korrelgrootte plaatsvindt, doordat de fijne korrels verder worden geblazen dan de grove. Elders is geen relatie aantoonbaar. Het lutumgehalte correleert daarentegen op vrijwel alle locaties positief met X-HWL.

Kalkgehalte en overstuiving

De geochemische analyse geeft een goede aanvulling op de geomorfologische analyse van overstuiving. De fijne overstuiving is moeilijk of niet te detecteren met de bestaande hoogtemetingen, maar wel op basis van kalkgehalten (Waddendistrict) en mogelijk ook op basis van de combinatie van het gehalte aan Fe, P, Co, V, Zn en kalk (Rhenodunale district). Wanneer het vermoeden van depositie bestaat, maar dit op grond van de jarkusgegevens niet te kwantificeren is, blijkt op grond van het kalkgehalte wel of er sprake is van overstuiving. In zones waar het vermoeden van overstuiving

bestaat blijkt het kalkgehalte nabij het oppervlak hoger dan het kalkgehalte van het onderliggende, oudere sediment. Dit gaat vooral op in de kalkarme duinen. Op grond van de kalkgehalten krijgen we daarmee een indicatie van de zone waar overstuiving een rol speelt. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat de ondiepste bemonsterde laag zich altijd op circa 10 cm bevond, zodat het echte landoppervlak buiten schot is gebleven. De echte toplaag is vaak lastig te bemonsteren door aanwezigheid van organische stof of dichte wortellagen. Op grond van het kalkgehalte van de ondiepste monsters wordt het volgende duidelijk:

- In de Westerdünen op Texel speelt overstuiving over de gehele zeereep. De achterliggende zone is niet bemonsterd.
- Bij Grote Keeten speelt overstuiving tot aan de achterkant van de zeereep een rol. Ook op een tweede rug achter de zeereep is aan een verhoogd kalkgehalte aan het oppervlak nog een invloed merkbaar. Aan de landwaartse kant daarvan lijkt de rol van overstuiving uitgespeeld. In totaal bestrijkt de overstuivingszone hier, inclusief de zeereep, ongeveer 200 m. Dit lijkt weinig, gezien het feit dat deze zeereep vrij “open” is, gekerfd, met stuifkuilen, en een hoge mate van dynamiek. De zeereep is echter ook aangroeiend, loopt vanaf het strand flauw op, en door deze vorm van reliëf zal het “sproei”effect, waarbij zand tegen de zeereep op gestuwd wordt en daardoor hoog in de lucht komt, beperkt zijn.
- Bij Schoorl neemt het kalkgehalte achter de zeereep zeer snel af. De achterliggende, hogere duinen zijn vrijwel geheel ontkalkt. Aan de hand van het kalkgehalte aan het oppervlak, lijkt de rol van overstuiving met kalkhoudend zand al binnen 270 m uitgespeeld. Ook hier dus een vrij beperkte zone, wat waarschijnlijk samenhangt met een vrij gesloten zeereep met dichte, vitale helmbegroeiing en beperkte secundaire verstuiving.
- Bij Bergen-Egmond hebben we te maken met een veel hogere zeereep, met veel secundaire verstuiving, een steile voorkant, en daardoor, zoals verwacht een verdere doorvoer van kalkhoudend zand. De overstuiving lijkt hier een zone van 300 m te bestrijken.
- Bij Wassenaar is het overstuivende zand juist kalkarmer dan het zeer kalkrijke, onderliggende zand. Het is lastig het kalkgehalte hier als een proxy voor de overstuiving te gebruiken. Het is hier echter ook minder relevant. Overstuiving met kalkhoudend zand is in de kalkarme duinen een belangrijke ecologische gradiënt, in het kalkrijke duin blijkbaar niet. Hier is dus vooral de mate van overstuiving met betrekking tot bedekking van planten van belang, en deze is goed af te leiden uit de Jarkusgegevens.

Vervolg

Om meer inzicht in de fijne overstuiving te krijgen moet deze in een vervolgtraject in het veld worden gemeten en bemonsterd.

Het is op grond van de huidige gegevens nog niet goed mogelijk de responstypen en geomorfologische variatie in de zeereep geochemisch te onderscheiden, omdat voornamelijk vooral vergelijkbare gebieden zijn bemonsterd, namelijk waar zo groot mogelijke effecten verwacht werden. Daarom moeten in een vervolgtraject ook transecten in andere zeereeptypen worden bemonsterd, waarna het mogelijk zal zijn de verschillende typen ook geochemisch te karakteriseren. Belangrijk punt is de bemonstering van een aantal transecten waar de zeereep “op slot” zit, omdat dan kan worden aangetoond of de overstuiving over en achter de zeereep hier wel of geen rol speelt en of de grijze duinen al dan niet “in gevaar” zijn.

Het is op grond van de huidige gegevens ook nog niet mogelijk een statistische betrouwbare uitspraak te doen over de effecten van verschillen in suppletiehistorie op de geochemie. Daartoe is de steekproef van transecten te beperkt; er is te veel variatie in suppletiehistorie. In een vervolgonderzoek zou daarom een uitgebreidere selectie aan suppletietypen en –historie moeten worden bemonsterd.