Geochemische effecten van zandsuppleties in Nederland

Langs de kust van Ameland tot Walcheren

Prof. dr. Pieter J. Stuyfzand[1,2]
dr. Sebastiaan.M. Arens[3]
dr. Albert P. Oost[4]
drs. Paul K. Baggelaar[5]

[1] KWR Watercycle Research Institute
[2] VU University Amsterdam
[3] Arens Bureau voor Strand- en Duinonderzoek
[4] Deltares
[5] Icastat Statistisch Adviesbureau



Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie





Watercycle Research Institute

Bosschap, bedrijfschap voor bos en natuur, augustus 2012





vrije Universiteit amsterdam

© 2012 Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Rapport nr. 2012/OBN167-DK
Den Haag, 2012

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap onder vermelding van code 2012/OBN167-DK en het aantal exemplaren.

Oplage	150 exemplaren
Samenstelling	P. J. Stuyfzand, S.M. Arens, A. P. Oost, P. K. Baggelaar.
Druk	Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij
Productie	Bosschap, bedrijfschap voor bos en natuur Bezoekadres : Princenhof Park 9, Driebergen Postadres : Postbus 65, 3970 AB Driebergen Telefoon : 030 693 01 30 Fax : 030 693 36 21 E-mail : algemeen@bosschap.nl

Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (O+BN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

Kustveiligheid en natuurbeheer zijn met elkaar verbonden. Natuurlijke processen kunnen bijdragen aan de veiligheid door bijvoorbeeld de ontwikkeling van nieuwe duinen. Sinds een aantal jaren bestaat het kustonderhoud uit zandsuppleties gecombineerd met dynamisch kustbeheer. Het is duidelijk dat grootschalig suppleren het kustsysteem verandert, maar de precieze effecten op de geochemie en de ecologie van de duinen waren onduidelijk. Voor de Nederlandse kust liggen veel Natura 2000 gebieden met bijzondere habitattypen waar zandsuppletie een effect op zou kunnen hebben. Het gaat dan om H2110 Embryonale duinen, H2120 Witte duinen, H2130 Grijze duinen en H2190 Vochtige duinvalleien.

Om meer duidelijkheid te krijgen over de effecten van suppletie zijn daarom vanuit Rijkswaterstaat en OBN enkele onderzoeken gestart. In OBN verband is een viertal onderzoeksrapporten uitgegeven. Voor u ligt het rapport "OBN167-DK Geochemische effecten van zandsuppleties in Nederland, langs de kust van Ameland tot Walcheren". Dit is een uitbreiding van het onderzoek "OBN141-DK Geochemische effecten van zandsuppleties langs Hollands kust". Een tweede onderzoek is "OBN166-DK Ecologische effecten van zandsuppletie op de duinen langs de Nederlandse kust". Daarnaast is er ook het rapport "OBN142-DK Effecten van suppleties op duinontwikkeling, rapportage geomorfologie".

Het voorliggende rapport gaat in op de vraag of er verschillen zijn in de geochemische samenstelling en korrelgrootte tussen natuurlijk duinzand en materiaal dat via zandsuppleties terechtkomt op het strand en in de duinen. Het onderzoek concludeert dat het suppletiezand anders is, met het risico op mogelijke effecten op de natuur in de duinen, zoals eutrofiëring, toename van zware metalen en verdroging. Wanneer bij suppletie zorgvuldig wordt gekeken naar de zandsamenstelling die past bij het van nature aanwezige zand, dan kan zandsuppletie ook positieve effecten hebben op de natuur in de duinen. Zo kunnen suppleties zorgen voor meer dynamiek in de duinen door doorstuiving van vers, schoon zand. Meer leest u hierover in de paragrafen 6.7, 6.8 en 6.9.

Ik wens u veel leesplezier.

Drs. E.H.T.M. Nijpels
Voorzitter Bosschap

Dankwoord

Voorliggend rapport is een vervolg op de eerste verkenning van geochemische effecten van zandsuppleties langs Hollands kust (Texel t/m Wassenaar), gerapporteerd door Stuyfzand et al. (2010). In dit vervolg zijn de resultaten van die verkenning integraal meegenomen om tot het bijna landsdekkende beeld (Ameland t/m Walcheren) te komen. Daarbij zijn in de uitwerking diverse verbeteringen aangebracht, vooral t.a.v. navolgende: (a) de zandklassificatie (uitgebreid), (b) correcties voor ingedampt bodemvocht (fout in Eq.1 hersteld en correcties toegepast op o.a. totaal Na, K en Mg), en (c) de bepaling van het kalkgehalte (verfijnd mede door additie van pyrolyse/Leco als derde methode). Verder is een normalisatieprocedure met spiderplots geïntroduceerd, en zijn de meetgegevens veel breder geëtaleerd o.a. door de meetresultaten kustlangs en per meetraai te presenteren en aan onderzoek te onderwerpen.
Nuttig commentaar van prof. dr. J.M. Verstraten op Stuyfzand et al. (2010) heeft gestimuleerd tot verduidelijking en uitbreiding van materiaal en methoden (Ch.2), de toevoeging van een clusteranalyse en verscherping van enkele eerdere conclusies.
Diverse aanbevelingen voor nader onderzoek resteren als gevolg van een brede, complexe vraagstelling met een zeer bescheiden onderzoeksbegroting waarvan >50% is opgegaan aan het grote aantal uitvoerige sedimentanalyses. Dat grote aantal biedt een prachtige database als uitgangspunt voor toekomstig onderzoek.

De monstervoorbewerking, analyse van de korrelgrootteverdeling en in ca 50% van de monsters de analyse van de chemische samenstelling zijn uitgevoerd door of onder supervisie van navolgende heren van de Faculteit Aard- en Levenswetenschappen van VU University Amsterdam:

- Ing. Martin Konert van het Sedimentologische Laboratorium: voorbewerking van alle monsters voor zowel korrelgrootteverdeling als geochemie, en analyse van alle monsters op korrelgrootteverdeling, kalk, organische stof, organische koolstof en stikstof;
- Dr. Pieter Vroon en drs. Bas van der Wal van het Geochemische Laboratorium: HF / HNO_3 extractie en analyse via ICP-MS op ca 50% van de monsters; en
- De heer John Visser van het Water Laboratorium: analyse van het HF / HNO_3 extract via ICP-OES.

Wij danken hen voor hun deskundige inzet.
De overige 50% van de monsters is geanalyseerd door ACME Laboratories in Vancouver (Canada), terwijl 30 monsters geanalyseerd zijn op organische microverontreinigingen door Omegam (Amsterdam).

Het project werd gefinancierd door het ministerie van EL&I in het kader van het OBN project 'Vervolgonderzoek suppleties: uitbreiding geochemische effecten naar landsdekkend beeld'. Daarnaast zijn de bemonstering, zandanalyses en uitwerking met betrekking tot Ameland gefinancierd door Rijkswaterstaat Waterdienst in het kader van project 4040309-2000 / Kustlijnzorg.
Wij danken drs. Rienk Slings (PWN) en ir. Petra Damsma (Rijkswaterstaat Waterdienst) voor hun nuttige commentaar op het manuscript. Veel dank zijn wij verschuldigd aan twee leden van het OBN Deskundigen Team Duin- en Kustlandschap, die het project in goede banen hebben geleid en het manuscript van nuttig commentaar hebben voorzien: dr. Evert-Jan Lammerts (Staatsbosbeheer) en dr. Anton M.M. van Haperen (Staatsbosbeheer).

De veelgebezigde term Renodunaal (zie b.v. Wikipedia) is in dit rapport vervangen door Rhenodunaal. Reden is dat de latinistische naam Renodunaal feitelijk verkeerd is, omdat met Reno Rijn bedoeld wordt, terwijl in het Latijn de rivier Rijn wordt aangeduid met Rhenus, ook wel Flumen Rhenum. De Reno is een rivier in de Po-vlakte die boven Ravenna uitmondt in de Adriatische Zee. En die bedoelen we niet!

De auteurs, augustus 2012

Samenvatting en conclusies

Aanleiding

Voorliggend rapport vormt het eindresultaat van het geochemische (en sedimentologische) deel van een serie OBN-projecten waarin de effecten worden geëvalueerd van zandsuppleties langs de Nederlandse kust op resp. de geomorfologie (dynamiek), geochemie en ecologie van strand, zeereep en aangrenzend duin. Dit rapport is een vervolg op de eerste verkenning van geochemische effecten van zandsuppleties langs Hollands kust (Texel t/m Wassenaar), gerapporteerd door Stuyfzand et al. (2010). In dit vervolg zijn de resultaten van die verkenning integraal meegenomen om tot het bijna landsdekkende beeld (Ameland t/m Walcheren) te komen. De resultaten van het geomorfologische onderdeel zijn vastgelegd in Arens et al. (2010), en die van het ecologische onderdeel zijn thans in bewerking (De Vries et al., 2012).

De centrale vraag die hier wordt beantwoord, is of er wezenlijke verschillen in geochemische gesteldheid en korrelgrootteverdeling zijn tussen natuurlijk duinzand, en materiaal dat via zandsuppleties geaccumuleerd is op strand, zeereep en achterliggend duin. Een belangrijke deelvraag hierbij is of er significante verschillen zijn tussen vooroeversuppleties, strandsuppleties en duinverzwaringen.

Aanpak

Op basis van gebiedskennis zijn langs Hollands kust 12 proefgebieden geselecteerd met uiteenlopende suppletiegeschiedenis en met inbegrip van duin zonder suppletie-effecten. Het betreft de volgende proefgebieden: Ameland, Vlieland, Texel, Groote Keeten, Schoorl, Bergen aan Zee, Heemskerk, Wassenaar, Monster, Voorne, Schouwen en Walcheren. In elk proefgebied zijn 1-3 meetraaien bemonsterd. Referentiegebieden zonder directe invloeden van zandsuppleties zijn Vlieland West, De Hors, Groote Keeten, Verklikkerduinen op Schouwen en Oranjezon op Walcheren. In de overige gebieden werden duidelijke invloeden van zandsuppleties verwacht met overstuiving van zeereep door gesuppleerd zand.

In totaal zijn 683 bodemmonsters genomen langs 22 meetraaien loodrecht op de kust vanaf de laag- of hoogwaterlijn doorgaans tot 400 m landinwaarts. Deze monsters zijn geanalyseerd op korrelgrootteverdeling en gehalte aan organische stof, kalk, organisch C en totaal N, hoofd- en spore-elementen (n=52). De bemonstering geschiedde na het graven van een 0.5–1.5 m diep smal gat met een schop of na het afschrapen van een steilwand in een stuifkuil.

Via kwantitatief geomorfologisch onderzoek met behulp van laseraltimetrie en JARKUS-gegevens is aangegeven welke monsters 100% zeker beïnvloed zijn door recente overstuiving en welke niet. De vegetatie, korrelrootteverdeling en geochemie fungeerden daarbij als extra indicator.

Met een nieuwe indeling in zandtypen op basis van herkomst (Waddendistrict, Rhenodunaal), overstuivingstype of -locatie (wel of geen overstuiving, type suppletiezand, strand of duin), kalk- en titaniumklasse (Fig.A), is getoetst op significante verschillen tussen monsters met en zonder suppletie, tussen monsters van verschillende typen suppletie, en dito zonder suppletie. De toetsing geschiedde paarsgewijs op 18 te vergelijken zandklasseparen middels de verdelingsvrije Wilcoxon-rangsom-toets (tweezijdig). Vervolgens is via clusteranalyse de relatieve verwantschap onderzocht van 14 a priori onderscheiden zandklassen en die van 70 grotendeels geochemische parameters.

Voor petrochemische berekeningen met de geochemische data en voor uitwerking van korrelgrootte-analyses is gebruik gemaakt van het programma GEOCHEMCAL 5.4.

Algemene opmerkingen

Het onderscheid tussen gesuppleerd zand en 'natuurlijk' zand, op het strand en in de zeereepduinen, is niet overal eenvoudig gebleken om de volgende redenen:

- de heterogeniteit van de Noordzeebodem in ruimte en tijd doet vermoeden dat elke zandsuppletie een betrekkelijk unieke samenstelling kent;
- sedimenttransport langs de kust en op het strand kan gesuppleerd zand elders doen belanden dan op de plek van suppletie, terwijl tijdens overstuiving dikwijls naast suppletiezand ook 'natuurlijk' zand bijgemengd wordt vanuit stuifkuilen;
- tijdens en na overstuiving wordt elk zandtype geselecteerd op korrelgrootte en dichtheid van de korrels, alsmede onderworpen aan gelijke processen van bodemvorming zodat gelijksoortige gradiënten ontstaan die oorspronkelijke verschillen doen vervagen.

Niettemin zijn voldoende verschillen waargenomen. In navolgende krijgen algemene conclusies de nadruk; voor details – en dat zijn er vele – wordt doorverwezen naar de inhoudsopgave en naar paragraaf 6.5, waar elk van de 22 transecten apart besproken wordt.

Dankzij voorliggend onderzoek is voor het eerst een geïntegreerde en consistente database van de korrelgrootteverdeling (56 klassen van 0.15-2000 µm) èn chemische samenstelling (60 elementen!) van strand- en duinzanden (683 monsters) langs de Nederlandse kust tot stand gekomen.

Geochemische effecten

Langs de Nederlandse kust is, waar suppleties plaatsvonden, suppletiezand veelal 150-250 m landinwaarts van de HWL afgezet met dikten van 0.1 – 5 m (Fig.B). Het geochemische onderscheid tussen suppletiezand en 'natuurlijk' zand (uit het presuppletietijdperk) bleek in het Waddendistrict eenvoudiger dan in het Rhenodunale district. In navolgende onderscheiden we 4 zandsoorten (Fig.A): strandzand met suppleties (S_S = R5+W5), strandzand zonder suppleties (S_O = R9+W9), duinzand van verstoven suppletiemateriaal (D_S = W2+W3+R3+R4) en oorspronkelijk duinzand zonder suppletie-bestanddelen (D_O = W0+W1+R0+R1).

Gemiddeld over de hele linie kan gesteld worden dat het gehalte aan kalk, Na-silicaat, Mg-silicaat, Fe, P, As, Ba, Co, Cs, Ni en Zn significant hoger is in zand bestaande uit suppletiemateriaal dan in zand bestaande uit zand zonder suppletie-bestanddelen ($S_S > S_O$; $D_S > D_O$), terwijl voor organisch materiaal en N geldt dat $D_O > D_S > S_S \approx S_O$. Het contrast is t.a.v. kalk en P het grootst in kalkarm Noord-Holland. Voor genuanceerder onderscheid zij verwezen naar par.5.12.

De verschillen tussen overstoven duinzand van strandsuppleties en dito van vooroeversuppletie zijn alleen bij Bergen gemeten (W3 versus W2), en daar geheel verwaarloosbaar. Duinzanden ontstaan door duinverzwaring (R4) en strandsuppleties (R3 en W3) kunnen alleen in de omgeving van Scheveningen op zinvolle wijze vergeleken worden. Daar blijkt dat R4 significant hoger scoort qua organische stof, kalk, Sr en Ni, maar lager ten aanzien van Fe, P, Co, Hf, Pb, Sn, V, Zn en Zr.

In de meeste gevallen kan niet eenduidig gezegd worden dat suppletiezand ecologisch ongunstiger van samenstelling is dan natuurlijk strand- of duinzand. De verschillen beslaan namelijk meerdere kwaliteitsparameters met uiteenlopende waardering die ook nog afhangt van de locatie. Zo zijn de doorgaans hogere P-gehalten mogelijk overal negatief i.v.m. een verhoogde eutrofiëringskans, hogere kalkgehalten positief vooral langs ontkalkte kusten, hogere gehalten aan As, Co, Ni en Zn overal negatief, maar de veelal lagere Pb gehalten overal positief.

Vigerende bodemkwaliteitsnormen zijn nergens overschreden dus ook niet in gesuppleerd zand; alle toetsbare gehalten bevinden zich onder de streefwaarde. 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.

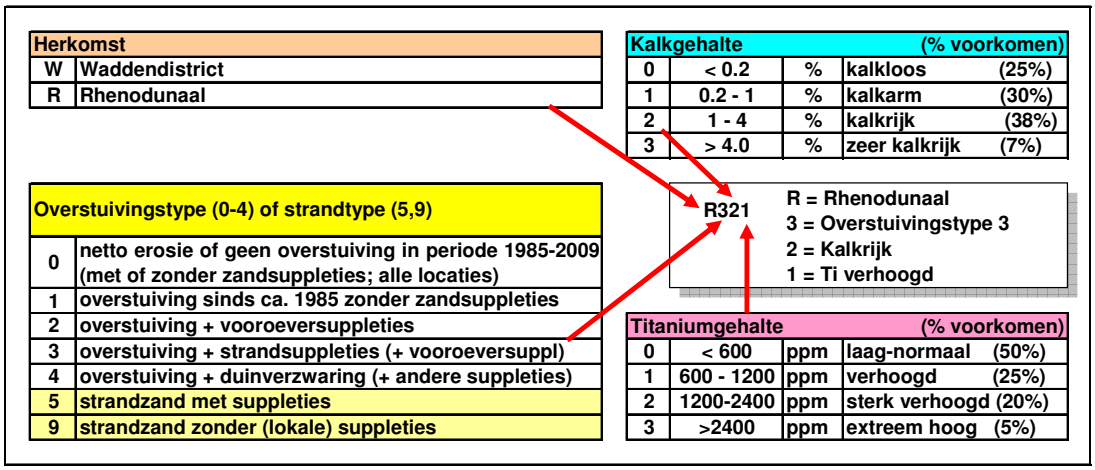


FIG. A. Klassificatie van duin- en strandzand in zandtypen op basis van herkomst, overstuivingstype met/zonder suppletie, kalk- en titaniumgehalte. Zandklassen (n=2x7) zijn alleen gebaseerd op herkomst en overstuivings- of strandtype.`Er zijn 73 zandtypen onderscheiden.
Gebruikte groepering van aanwezige zandklassen:
S_S = R5+W5 = strandzand met suppleties
S_O = R9+W9 = strandzand zonder suppleties
D_S = W2+W3+R3+R4 = duinzand van verstoven suppletiemateriaal
D_O = W0+W1+R0+R1 = oorspronkelijk duinzand zonder suppletie-bestanddelen

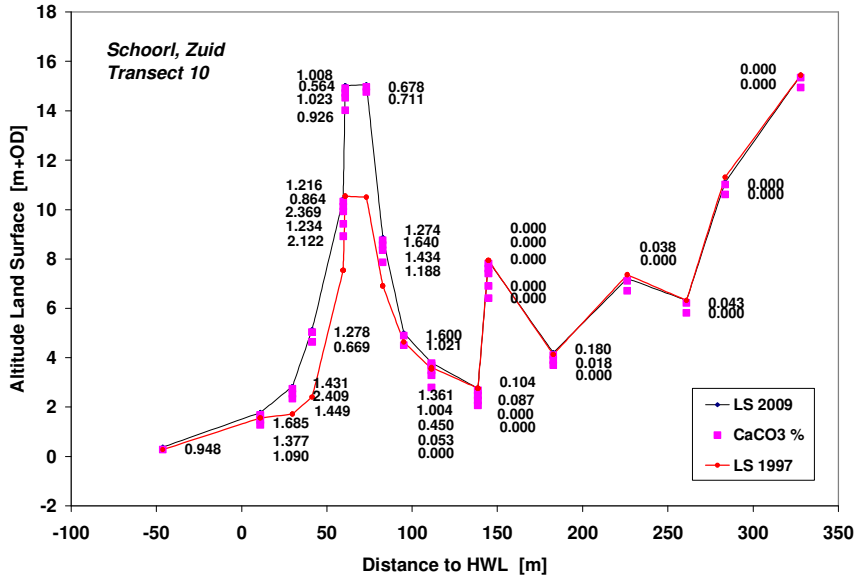


FIG. B. Typisch beeld van overstuiving van een ontkalkte zeereepzone met relatief kalkrijk gesuppleerd Noordzeezand, zoals bij Schoorl aangetroffen. Kalkgehalten in 2009 gemeten. LS = landoppervlak; HWL = HoogWaterLijn.

Effecten op korrelgrootteverdeling

Gemiddeld over de hele linie kan gesteld worden (o.a. Fig.C) dat zand bestaande uit suppletiemateriaal (S_S en D_S) iets grover is dan zand zonder suppletie-bestanddelen ($S_S \approx S_O \geq D_S > D_O$; verschillen statistisch niet significant), terwijl het lutumgehalte lager is ($D_O > D_S > S_S > S_O$). Voor genuanceerder onderscheid zij verwezen naar par.4.6. Het verschil is in kalkarm Noord-Holland het kleinst (Fig.C).

De verschillen tussen overstoven duinzand van strandsuppleties en dito van vooroeversuppletie zijn alleen bij Bergen gemeten (W3 versus W2), en daar geheel verwaarloosbaar. Duinzanden ontstaan door duinverzwaring (R4) en strandsuppleties (R3 en W3) kunnen alleen in de omgeving van Scheveningen op zinvolle wijze vergeleken worden. Daar blijkt R4 significant grover en minder lutum en silt te bevatten.
De fijnste strandzanden (S = S_S+S_O) zijn te vinden op Ameland, en de fijnste duinzanden (zowel D_S als D_O) op Ameland en Vlieland (Fig.C). De grofste strandzanden (S) zijn aanwezig bij Groote Keeten (8), op Walcheren en Texel.
De hoogste lutum (en silt) gehalten treffen we aan in strandzand bij Schouwen West (20) en op Ameland, in overstoven duinzand van zandsuppleties bij Bergen (11-13), en in oorspronkelijk duinzand op Texel (6-7) en bij Bergen (12-13). De laagste lutum (en silt) gehalten komen voor in strandzand bij Texel (6) en Walcheren West (22), in duinzand (zowel D_S als D_O) bij Heemskerk (14) en Walcheren West (22).

Zeezout
Dicht bij de Hoog Water Lijn (HWL) en vooral zeewaarts daarvan zijn de Na, Mg en S (als SO_4) gehalten sterk beïnvloed door indrogend zeezout (max. bijdrage aan totaal gehalte. resp. ca. 60, 30 en 85 %). Voor de meeste andere elementen is de invloed van indrogend zeezout of regenwater i.h.a. verwaarloosbaar.

Kalk
Het kalkgehalte vormt de basis van de klassieke indeling in het kalkarme Waddendistrict (raaien 1-13) en kalkrijke Rhenodunale district (raaien 14-22). De verschillen zijn echter veel omvangrijker want oorspronkelijk duinzand van het Rhenodunale type zonder overstuiving met gesuppleerd zand (R1, R01 en R00) vertoont tevens significant hogere gehalten aan organische stof, N, CEC, kalk, Sr, Ca-silicaat, P, As, Be, Cd, Cu en Eu, en lagere gehalten aan Mn, Ti, Hf, Lu, Nb, V en Zr, in vergelijking met duinzand van het Waddendistrict (W1, W01 en W00).
De tweedeling zien we in minder extreme mate terug (Fig.D) in duinzand van suppleties (D_S) en strandzand (S; met of zonder suppleties). De kalkgehalten van S, D_S en oorspronkelijk duinzand (D_O) verhouden zich i.h.a. als volgt: S ≈ D_S > D_O.
Een vergaande ontkalking achter de zeereep is zichtbaar in het Rhenodunale district bij Monster (17), Walcheren Oost en West (21-22). De hoogste kalkgehalten zien we bij Voorne (18) en Heemskerk (14), de laagste bij Vlieland-Texel (4-7). Enkele elementen volgen het kalkpatroon, vooral Sr en in mindere mate Ni en As, terwijl het meest dominante SiO_2 logischerwijs zo ongeveer het tegenovergestelde patroon etaleert. De gehalten aan Na- en K-silicaat volgen die van kalk redelijk goed.
In bovenstaande is geen onderscheid gemaakt tussen vorm (schelp(fragment), gesteentefragment, fossiel, precipitaat) en korrelgrootte van de kalk. Dat kan qua kalkbeschikbaarheid voor de vegetatie verschillend uitpakken.

Titanium
Titanium is vooral aanwezig in mineralen als rutiel (TiO_2) en ilmeniet ($Fe(II)TiO_3$). De Ti-gehalten van S, D_S en D_O verhouden zich i.h.a. als volgt: D_O > D_S > S_S > S_O. De hoogste gehalten zijn te vinden bij Ameland (1, 2) gevolgd door Vlieland (3, 4), en de laagste gehalten bij Schouwen Verklikkerduinen (19) gevolgd door Texel Zuid (6-7) en Groote Keeten (8). Lage Ti-gehalten treffen we ook aan bij Heemskerk (14) en Walcheren West (22). Het Ti-patroon (Fig.D) wordt zeer nauw gevolgd door veel elementen, hetgeen Ti als gidselement en onderdeel van de zandklassificatie rechtvaardigt. Zo zien we een geheel vergelijkbaar beeld voor Mn, Cr, vrijwel alle zeldzame aarden, Be, Ta, Th, U, Hf en Zr.

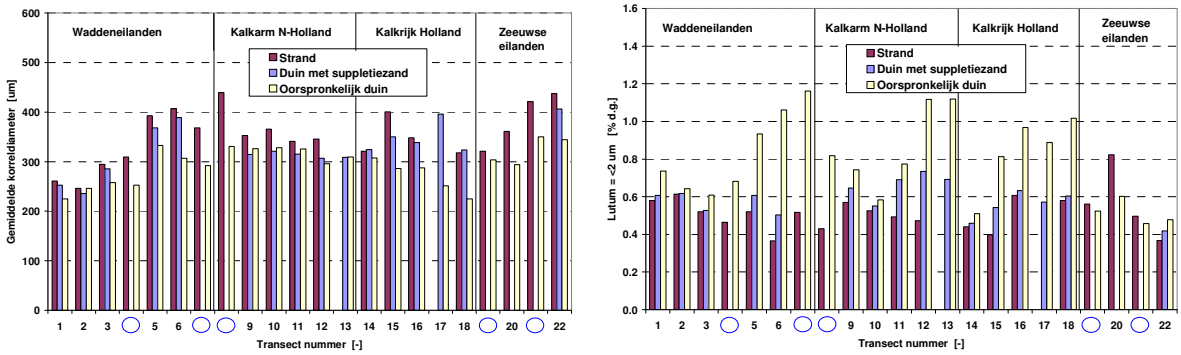


FIG.C. Verandering in gemiddelde korreldiameter en kleigehalte van strandzand, duinzand bestaande uit suppletiemateriaal en oorspronkelijk duinzand (zonder suppletiemateriaal) gaande van Ameland Oost (#1) naar Walcheren West (#22). Blauw-omcirkelde transectnummers waar geen suppleties.

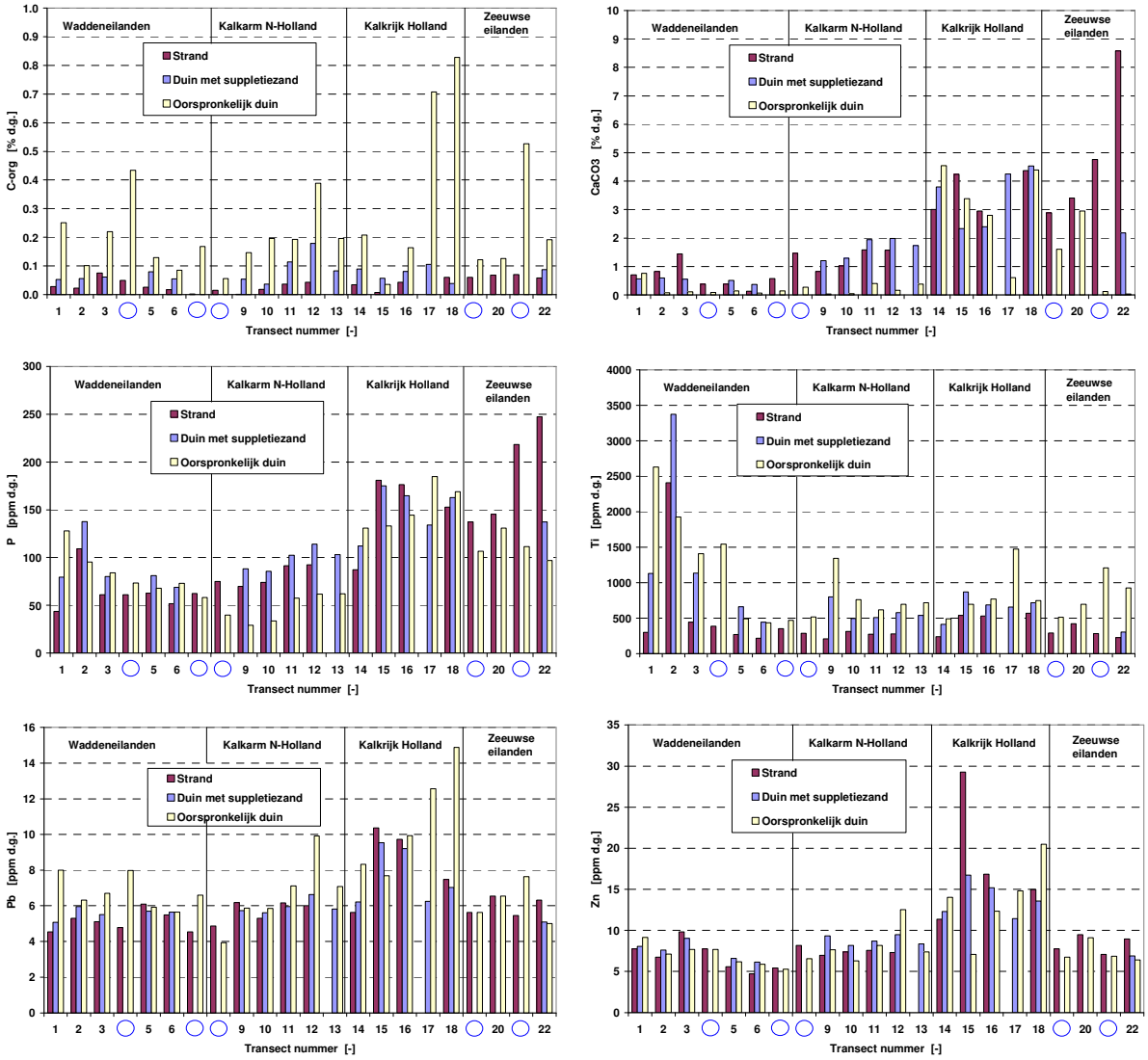


FIG. D. Verandering in gemiddelde geochemische samenstelling van strandzand, duinzand bestaande uit suppletiemateriaal en oorspronkelijk duinzand (zonder suppletiemateriaal) gaande van Ameland Oost (#1) naar Walcheren West (#22). Blauw-omcirkelde transectnummers waar geen suppleties.

Organische stof
Organische stof laat de hoogste gehalten zien (Fig.D) bij Monster (17) en Voorne (18). De laagste gehalten zijn vooral ten noorden van Schoorl in het Waddendistrict (8, 5-6 en 2) gemeten.
Het organische stofpatroon vindt zijn kopie in N, CEC, P, Pb, Cd, Cu en Zn. N is grotendeels onderdeel van organische stof, P gedeeltelijk, de CEC in belangrijke mate erdoor bepaald, en de zware metalen Pb, Cd, Cu en Zn zijn waarschijnlijk grotendeels atmosferisch van origine en in de bodem aan OS gebonden. De organisch stofgehalten van S, D_S en D_O verhouden zich i.h.a. als volgt: $D_O > D_S > S$.

Kwarts
De hoogste kwarts (SiO_2) gehalten zijn gevonden tussen Groote Keeten en Schoorl (8-10) en bij Walcheren Oost (21). Deze zanden bevatten >92% SiO_2, zeer weinig kalk (0.5-1.1%) en Al (<0.85%), en ook weinig Na-, K-, Ca- en Mg-silicaten en weinig spore-elementen. Deze zanden behoren tot de schoonste van Nederland.

Silicaatmineralen
De hoogste gehalten aan Na- en K-silicaat zien we bij Heemskerk (14), Monster (17) en Voorne (18), wat samenvalt met de hoogste kalkgehalten. De laagste gehalten aan Na- en K-silicaat zijn gevonden op Walcheren (21, 22) en bij Groote Keeten (8) en Schoorl (9). Opvallend is de toename van beide ten noorden van Groote Keeten. Het beschreven patroon wordt nauw gevolgd door Ba, Ce en Rb.
Ca-silicaten etaleren de hoogste gehalten bij Ameland (1, 2) en Heemskerk (14), en zijn verder redelijk hoog vanaf en ten zuiden van Monster (17-22). De laagste gehalten zijn te vinden vanaf Texel t/m Bergen (5-13). Mg-silicaten zijn het meest prominent aanwezig tussen Wassenaar en Voorne (15-18) en het minst op Walcheren (21-22).

Goud (Au)
Een leuke bijvangst van dit onderzoek was de goudanomalie op Walcheren (transect 21, lokatie Oranjezon). Op 6 van de 7 onderzochte meetpunten in een strook van ca. 250 bij 100 m zijn op een diepte van 0.1-1.0 m beneden maaiveld goudgehalten waargenomen van 1.2-72 maal de onderste analysegrens (<0.5 ppm). Rond de piek van 36.8 ppm is nog gezocht met een metaaldetector naar een eventuele lokale bron. Deze werd niet gevonden. Nader onderzoek is gewenst.

Zeeuwse eilanden afwijkend van Rhenodunaal
Van Haperen (2009) poneerde de volgende stelling: 'Het renodunaal district bereikt zijn zuidgrens bij de haringvlietmonding'. Onze gegevens bevestigen dat daar inderdaad een overgang optreedt, waarbij de Zeeuwse eilanden ten opzichte van de kalkrijke Rhenodunale zone tussen Voorne en Bergen significant lagere gehalten vertonen aan Na, K en Mg silicaten, Al, Fe, Mn, Ba, Co, Cs, Ga, Gd, lanthaniden, Ni, Pb, Rb, V en Zn.In dit rapport zijn de Zeeuwse eilanden echter voor de eenvoud nog tot het Rhenodunale district gerekend.

Tracers van suppletiezand
Uit bovenstaande valt af te leiden dat de beste algemene tracer van suppletiezand bestaat uit een combinatie van: Ca of kalk (eventueel ook pH; niet getest), Sr, P en Co in het Waddendistrict; en Fe, P, As, Co, Ni en Zn in het Rhenodunale district. Dit recept werkt echter niet op alle locaties omdat geen suppletie gelijk is en ook het natuurlijke duinzand langs de kust variaties kent (Fig.C en D). In dat geval moeten (a) andere elementen meegenomen worden, (b) inversies of afwezigheid van inversies in het geochemische bodemprofiel het bewijs leveren (vooral t.a.v. kalk en Pb), en (c) de korrelgrootteparameters erbij betrokken worden. De geochemische analyse biedt zodoende een goede aanvulling op de geomorfologische analyse van overstuiving, vooral wanneer het een dunne overstuiving betreft die gemist wordt in altimetrische observaties.

Kansen voor beheerders
De beste kansen voor natuurbeheerders doen zich natuurlijk voor, in relatie tot zandsuppleties, waar suppleties gekoppeld kunnen worden aan maatregelen die de landinwaartse doorstuiving bevorderen van vers, kwalitatief schoon zand. Dergelijke maatregelen kunnen bestaan uit het kerven van de zeereep, stimuleren van stuifkuilen, afzien van helmbeplanting e.d.
De keuze van geschikte locaties voor dergelijke maatregelen zal vooral afhangen van Natura2000 doelstellingen, andere belangen (zoals kustverdediging), de beschikbare ruimte en de beslaglegging door andere functies. Genoemde maatregelen kunnen op veel plaatsen toegepast worden langs de hele kust. Verwezen wordt naar De Vries et al. (2012) voor nadere keuzes.

Aanbevelingen vervolgonderzoek
Onderstaande aanbevelingen zijn in volgorde van afnemend belang voor onderzoek naar de geochemische effecten van zandsuppleties:

- Uitloogtests van gesuppleerd en niet-gesuppleerd zand met enerzijds zuur oxisch regenwater en anderzijds kalkrijk anoxisch grondwater, om te zien of gesuppleerd zand in genoemde milieus meer of minder nutriënten en zware metalen afgeeft.
- Vaststelling van de bindingsvormen van fosfor, dat in de meeste gesuppleerde zanden verhoogde gehalten vertoont.
- Aanvulling van het onderzoek (op identieke wijze) met de nog niet onderzochte kustonderdelen van Nederland: Schiermonnikoog, Terschelling, Goeree en Zeeuws Vlaanderen.
- Enkele transecten verder landinwaarts onderzoeken doch met meer focus op de bovenste bodemlaag (ondieper dan 10 cm-MV), om de landinwaartse grens van recente instuiving vast te stellen. Dat kan met een toegesneden tracerpakket, terwijl ook speciale zandvangers ingezet kunnen worden voor dit doel.
- Analyse op andere OMIVE dan in dit onderzoek, waarbij focus op die componenten die in kustwater een verhoogde concentratie etaleren of etaleerden en niet vluchtig of makkelijk afbreekbaar zijn (b.v. minerale olie, PCB,s en organotin-verbindingen). Daarbij focus op de fijne fractie (<63 µm) omdat daarin de trefkans veel hoger is.
- Het meten van pH-H_2O, EC-H_2O en droogrest in een duplo van alle 683 monsters (monsterarchief VU), ter vaststelling van de kalk-pH relatie en de invloed van de samenstelling van ingedampt bodemvocht of grondwater.
- Analyse van een selectie van de nog aanwezige monsters op korrelvorm (eenvoudig meetbaar met nieuwe apparaat VU), ter verkenning van eventuele verschillen in korrelvorm.
- Onderzoek naar de omvang en ontstaanswijze van de goudanomalie op Walcheren.

Inhoudsopgave

Voorwoord **3**

Dankwoord **5**

Samenvatting en conclusies **7**

1 Inleiding **19**

1.1 Aanleiding en achtergronden 19

1.2 Doelen 20

1.3 Onderzoeksstrategie 20

1.4 Nadere algemene informatie over zandsuppleties langs Hollands kust 21

2 Materiaal en methoden **23**

2.1 De meetlocaties 23

2.2 Bemonstering en geochemische analyse 41

2.3 Positie- en hoogtebepalingen 43

2.4 Dataverwerking algemeen 44

2.5 Zandklassificatie 46

2.6 Geochemische berekeningen 47

2.6.1 Correctie voor ingedampt bodemvocht 47
2.6.2 Correctie BOM, vergelijking met CORG en de C/N-ratio 49
2.6.3 Correcties bij de kalkbepaling 49
2.6.4 Schatting van Ca-silicaat 51
2.6.5 Schatting van Na-, K- en Mg-silicaat 51
2.6.6 Berekening SiO_2 als restterm 52
2.6.7 Berekening zware mineralen en kleimineralen fractie 52
2.6.8 Inschatting organisch en mineraal S en P 53
2.6.9 Inschatting carbonaatgebonden en ander P en Sr 53

2.7 Normalisatie en spiderplots 54

2.8 Luminescentie datering 54

3 Indeling in en kartering van zandtypen **55**

3.1 Indeling 55

3.2 Kartering 55

4 Korrelgrootteverdeling **59**

4.1 Korrelgrootteverdeling van de hele dataset 59
4.2 Korrelgrootteverdeling per meetraai 60
4.3 Korrelgrootteverdeling per zandklasse 60
4.4 Een relatie met de afstand tot de hoogwaterlijn? 68
4.5 Statistische toetsing van korrelgrootteverschillen 69
4.6 Conclusies effecten suppleties op korrelgrootteverdeling 70

5 Geochemie 73

5.1 Beschrijvende statistiek van de hele dataset 73
5.2 Gemiddelde samenstelling per meetraai 76
5.3 Zandklassen en hun geochemische samenstelling 83
5.4 Statistische significantie van geochemische verschillen 85
5.5 Geochemisch verloop langs de transecten 89
5.6 Correlatiematrix 100
5.7 Clusteranalyse van parameters 103
5.8 Enkele X/Y-plots 105
5.9 Enkele bijzondere monsters 112
5.10 Organische microverontreinigingen 114
5.11 Toetsing op bodemnormen 114
5.12 Conclusies geochemische effecten van zandsuppleties 115

6 Discussie 117

6.1 Vergelijking korrelgrootteverdeling strand- en duinzand met en zonder suppleties, met eerder onderzoek 117
6.1.1 De oorspronkelijke situatie 117
6.1.2 Situatie in de duinen zonder suppleties 119
6.1.3 De situatie met suppleties 119
6.2 Vergelijking geochemie duinzand zonder suppleties met eerder onderzoek 120
6.3 Geochemische verschillen in suppletiezand, in ruimte en tijd 121
6.4 Effecten van suppleties op de geomorfologische ontwikkeling van duinen 123
6.4.1 Veranderingen in zandbudget, aanzanding, overstuiving en morfologie 123
6.4.2 Responstypen van de zeereep 124
6.5 Sedimentologische en geochemische effecten van suppleties 125
6.5.1 Enkele complicaties op rij 125
6.5.2 Effecten op korrelgrootteverdeling 125
6.5.3 Effecten op geochemie 126
6.5.4 Algemene tracers van suppletiezand 127
6.6 Status quo langs de 22 transecten 128
6.7 Potentiële ecologische effecten 132
6.8 Opties voor verbetering zandsuppleties ten behoeve van de natuur 132

6.9 Kansen voor beheerders 133

7 Literatuur 135

Bijlagen

Bijlage 1: Historie van zandsuppleties op de 12 onderzoekslocaties 139
Bijlage 2: Specificatie analysemethoden VU 143
Bijlage 3: Spearman correlatiematrix 145
Bijlage 4: . Veranderingen in zandsamenstelling langs de kust 147

1 Inleiding

1.1 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 het toenmalige Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) en voor het huidige Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie (ELI), 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 van suppleties op duinen kent, voor zover uitgevoerd en begeleid door leden van het Deskundigenteam Duin & Kustlandschap van OBN, 3 onderdelen: de geomorfologie, geochemie en ecologie. Eerstgenoemde is, met financiering door zowel Rijkswaterstaat als OBN, inmiddels afgerond en gerapporteerd door Arens et al. (2010). Het ecologische onderdeel, met financiering door ELI via Bosschap, verkeerde bij het ter perse gaan van voorliggend rapport in de rapportagefase. Het geochemische onderdeel, met financiering door EL&I via Bosschap, is in 2 fasen uitgevoerd. De eerste fase omvatte een verkenning van de geochemische effecten langs Hollands kust (Texel t/m Wassenaar) en is gerapporteerd door Stuyfzand et al. (2010). Dit zogenaamde 'vooronderzoek suppleties' heeft dankzij een uitvoerige meetcampagne op 6 locaties langs 11 meetraaien aangetoond, dat er significante geochemische en sedimentologische verschillen zijn tussen suppletiezand dat over de zeereep heen gestoven is, en het oorspronkelijke duinzand.
Gebrek aan informatie over de situatie op o.a. de Friese Waddeneilanden, de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden, alsmede vragen over verschillen tussen vooroeversuppleties, strandsuppleties en duinverzwaringen rechtvaardigden een tweede fase van onderzoek. Dit onderzoek (fase 2) is, na offrering door KWR Watercycle Research Institute met het Bureau voor Strand- en Duinonderzoek als onderaannemer, eind maart 2011 aan dit consortium gegund door Bosschap.

Gevolgen voor duinbeheer
Effecten van suppleren zijn van groot belang voor duinbeheerders. In alle duingebieden spelen vragen met betrekking tot dynamiek en verstarring. Voor beheerders is het essentieel te weten of effecten van hun beheer eventueel teniet gedaan worden door suppleren, of waar dankzij een toename van dynamiek juist gebruik gemaakt kan worden van natuurlijke processen. Verder is het van groot belang om inzicht te krijgen in eventuele veranderingen in het ecosysteem door een effect van suppletiezand op nutriënten, kalk en sporenelementen, die zeer belangrijke standplaatsfactoren vormen voor de strand- en duinbegroeiing. Zonder inzicht in deze verschillende effecten van suppleren, en de tijd- en ruimteschaal waarop deze spelen zijn beheerders eigenlijk niet in staat het beheer voor hun gebieden te optimaliseren.
Voorliggend rapport heeft betrekking op de geochemische aspecten van zandsuppleties. De ecologische consequenties hiervan komen in dit rapport niet diepgaand aan de orde. Wel worden potentiële gevolgen aangestipt.

1.2 Doelen

Hoofddoel van het geochemische onderzoek is om aan de hand van 683 bodemmonsters met uitvoerige geochemische analyse incl. analyse van de korrelgrootteverdeling, aan te geven of er wezenlijke verschillen in geochemische gesteldheid zijn tussen enerzijds natuurlijk strand- en duinzand, en anderzijds materiaal dat via zandsuppletie geaccumuleerd is op strand, zeereep en achterliggend duin.
Een deelvraag hierbij is of er significante verschillen zijn tussen vooroeversuppleties, strandsuppleties en duinverzwaringen.
Een secundair doel van het onderzoek is het vastleggen van alle basisgegevens in een Excel databestand, dat de resultaten van de eerste met de tweede meetcampagne integreert tot een bijna landsdekkende beeld van de geochemische gesteldheid van strand- en duinzand in de zeereepzone (Ameland t/m Walcheren).

1.3 Onderzoeksstrategie

Op basis van gebiedskennis zijn langs Hollands kust 12 proefgebieden geselecteerd met uiteenlopende suppletiegeschiedenis en met inbegrip van duin zonder suppletie-effecten. Het betreft de volgende proefgebieden: Ameland, Vlieland, Texel, Groote Keeten, Schoorl, Bergen aan Zee, Heemskerk, Wassenaar, Monster, Voorne, Schouwen en Walcheren. In elk proefgebied zijn 1-3 meetraaien bemonsterd, 22 raaien in totaal. Vlieland West, De Hors, Groote Keeten, de Verklikkerduinen op Schouwen en Oranjezon op Walcheren zijn referentiegebieden waar geen directe invloeden van zandsuppleties te verwachten waren. In de meeste overige gebieden werden duidelijke invloeden van zandsuppleties verwacht, waarbij gesuppleerd zand over de zeereep heengestoven is doorgaans met dikten > 0.1 m tot tenminste ca. 50 m daarachter.
In totaal zijn 683 bodemmonsters genomen langs 22 meetraaien loodrecht op de kust (vanaf de hoogwaterlijn doorgaans tot 400 m landinwaarts). Deze monsters zijn geanalyseerd op korrelgrootteverdeling en gehalte aan organische stof, kalk, organisch C en N, hoofd- en spore-elementen (n=52) in een HF / HNO_3 extract bepaald via ICP-MS en ICP-OES, of in een Li-boraat extract bepaald via XRF en ICP-MS. De bemonstering geschiedde via horizontale steekkernen na het graven van een 0.5–1.5 m diep smal gat met een schop of na het afschrapen van een steilwand in een stuifkuil.
Via kwantitatief geomorfologisch onderzoek met behulp van laseraltimetrie en JARKUS-gegevens is aangegeven welke monsters 100% zeker beïnvloed zijn door recente overstuiving en welke niet. De vegetatie en het kalkgehalte fungeerden daarbij als extra indicator.
Na een nieuwe indeling in zandtypen op basis van herkomst (Waddendistrict, Rhenodunaal), overstuivingstype of –locatie (wel of geen overstuiving, wel/geen suppletiezand, strand of duin), kalk- en titaniumklasse, is getoetst op significante verschillen tussen monsters met en zonder suppletie, tussen monsters met verschillende typen suppletie, en monsters zonder suppletie. De toetsing geschiedde paarsgewijs op 18 te vergelijken deelpopulaties middels de verdelingsvrije Wilcoxon-rangsom-toets (tweezijdig). Vervolgens is via clusteranalyse de relatieve verwantschap onderzocht van 14 a priori onderscheiden zandklassen en die van 70 grotendeels geochemische parameters.
Voor petrochemische berekeningen met de geochemische data en voor uitwerking van korrelgrootte-analyses is gebruik gemaakt van het programma GEOCHEMCAL 5.4. De petrochemische berekeningen leiden tot vertaling van de geochemische analyses in mineraalgehalten (zoals kalk, enkele vooraanstaande aluminiumsilicaten en kwarts), en specificatie van de bijdrage van o.a. organisch materiaal aan totaal zwavel en totaal fosfor, en van kalk aan totaal fosfor en totaal strontium.

1.4 Nadere algemene informatie over zandsuppleties langs Hollands kust

Zandsuppleties hebben vooral na 1990, toen het beleid tot het handhaven van de basiskustlijn werd vastgesteld, een belangrijke vlucht genomen. Tegenwoordig bedragen de totale suppletievolumina ca. $12*10^6$ m^3/jr. Toch werden ook voor die tijd al duin-, strand- en vooroeversuppleties uitgevoerd, met name in het Zeeuwse. Oorspronkelijk vond een fors deel van de suppleties plaats op het strand. Na het baanbrekende onderzoek dat in NOURTEC werd gedaan naar de effectiviteit van vooroeversuppleties (o.a. bij Terschelling in 1993) werd vanaf 1997 in toenemende mate op de vooroever gesuppleerd. Omdat het waarschijnlijk zo is dat een fors deel van het transport op de vooroever vooral kustparallel verloopt en op het strand en in de duinen meer kustdwars (o.a. Eisma, 1968), mag verwacht worden dat qua korrelgrootte en geochemische beïnvloeding vooroeversuppleties een geheel andere invloed uitoefenen op de geochemie van de kust dan strandsuppleties.

2 Materiaal en methoden

2.1 De meetlocaties

De 12 meetlocaties (Ameland, Vlieland, Texel, Groote Keeten, Schoorl, Bergen aan Zee, Heemskerk, Wassenaar, Monster, Voorne, Schouwen en Walcheren) met in totaal 22 transecten ongeveer loodrecht op de kust (Tabel 2.1, Fig.2.1), zijn uitgekozen op basis van navolgende criteria:

- Historie van zandsuppletie goed gedocumenteerd (zie Bijlage 1);
- Veranderingen in kust en zeereepduinen gekwantificeerd via gegevens van RWS (laseraltimetrie en Jarkusgegevens);
- Aanwezigheid van locaties zonder enige en met duidelijk manifeste zandsuppleties;
- Op locaties met zandsuppleties aanwezigheid van zones in de zeereepduinen zonder aanwijsbare gevolgen van zandsuppleties;
- Bereikbaarheid en toestemming van beherende instantie in uitvoeren veldcampagne.

De ligging van de 22 meetraaien met in totaal 269 meetpunten (en 683 monsters) is in detail weergegeven in Fig.2.2-2.17. De 12 locaties en 22 meetraaien zijn gesorteerd van noord naar zuid en van oost naar west.

TABEL 2.1. Overzicht van de 22 meetraaien op 12 locaties, met enkele kenmerken. RSP = Rijks Strand Paal; Geel gekleurde locaties = zonder zandsuppleties. Baseline $CaCO_3$ = lokaal achter-grondniveau zonder suppleties (in enkele situaties deels ontkalkt). Rec. eol. dep. = (sub)recente overstuiving in m t.o.v. hoogwaterlijn.

Transect			Samples		Sand	Rec. eol.	Baseline	VU sample No.	Numbering
No.	Location	RSP	No.	date	suppletion	dep [cm]	CaCO3	(code Martin)	on map
1	Ameland East, Buren	17.7	27	28-aug-2010	B+F	200	1.2	150552 - 150578	1-1 / 1-14
2	Ameland West, Hollum	3.3	37	27-aug-2010	B	250	0	150515 - 150551	2-1 / 2-18
3	Vlieland, Midden	47.5	32	30-mei-2011	B+F	250	0-0.3	153862 - 153893	3-1 / 3-20
4	Vlieland, West	43.85	27	31-mei-2011	no	170	0	153835 - 153861	4-1 / 4-9
5	Texel, Westerduinen (N)	14.5	22	28-jun-2009	B+F	215	0.1-0.3	96 - 116; 364	5-1 / 5-10
6	Texel, Westerduinen (Z)	13.92	26	28-jun-2009	B+F	215	0.1-0.2	70 - 95	6-1 / 6-9
7	Texel, De Hors	5.2-12.7	37	27-jun-2009	no	680	0.4-0.6	33 - 69	7-1 / 7-16
8	Groote Keeten	8.8	32	25-jun-2009	no #	200	0-0.3	1 - 32	8-1 / 8-15
9	Schoorl (N)	28.82	47	02-sep-2009	B+F	150	0-0.5	267 - 313	9-1 / 9-15
10	Schoorl (Z)	29.3-29.54	51	02-sep-2009	B+F	145	0-0.2	314 - 363; 365	10-1 / 10-17
11	Bergen aan Zee (N)	34.1	31	19-aug-2009	F	250	0-1.2	117 - 147	11-1 / 11-15
12	Bergen aan Zee (M)	34.37	15	19-aug-2009	B+F	170	0-0.4	179 - 193	12-1 / 12-6
13	Bergen aan Zee (Z)	34.63	31	19-aug-2009	B+F	200	0.5-0.8	148 - 178	13-1 / 13-13
14	Heemskerk NHD	47.6	28	09-jun-2011	B $	60	0.8-4.2	153921 - 153948	14-1 / 14-10
15	Wassenaar (N)	95.25	28	26-aug-2009	B+F	275	3.2-4.6	239 - 266	15-1 / 15-11
16	Wassenaar (Z)	95.75-95.9	45	26-aug-2009	B+F	150	2-5.6	194 - 238	16-1 / 16-14
17	Monster, Zandmotor, Solleveld	109.39	27	20-jun-2011	D+B+F	550	0-2	153894 - 153920	17-1 / 17-9
18	Voorne	10.1	29	26-jul-2011	D+B	390	0.4-7.5	153949 - 153977	18-1 / 18-12
19	Schouwen Verklikkerduinen	7.89	24	27-jul-2011	no	650	1.2-1.8	153978 - 154001	19-1 / 19-8
20	Schouwen Meeuwenduinen	14.55	35	27-jul-2011	B	150	0.9-4.6	366, 154002 - 154035	20-1 / 20-12
21	Walcheren East, paal 7	7.1	23	28-jul-2011	no	150	0-0.3	154065 - 154087	21-1 / 21-7
22	Walcheren West, paal 10	10.28	29	28-jul-2011	D+B+F	190	0-0.1	154036 - 154064	22-1 / 22-9

B = beach; D = Dune; F = Foreshore # = in 2009 first suppletion (forehore) $ = only in 2005

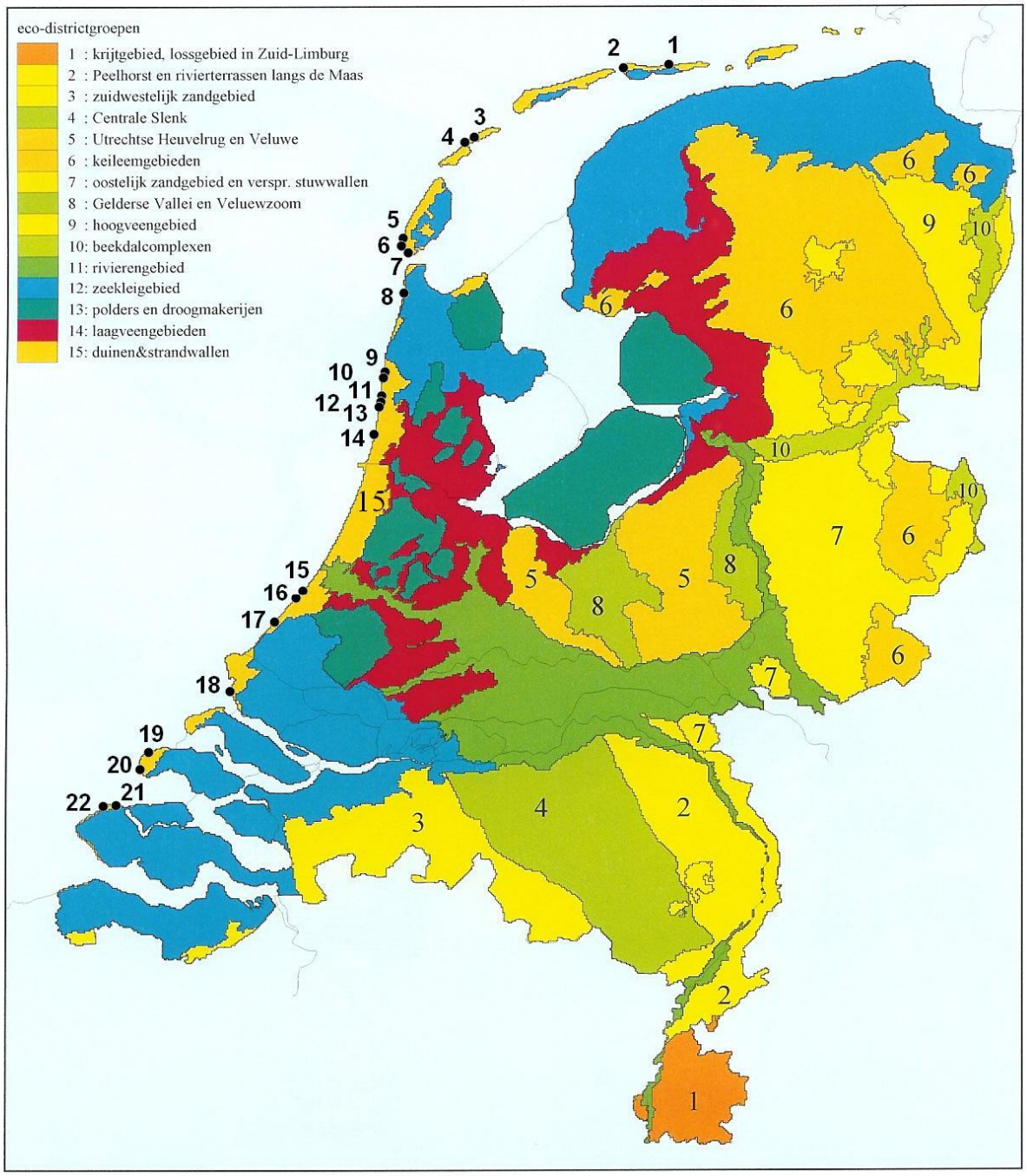


FIG. 2.1. Overzichtskaart van Nederland, met de ligging van de vet-genummerde 22 transecten die in Tabel 2.1 gespecificeerd zijn.

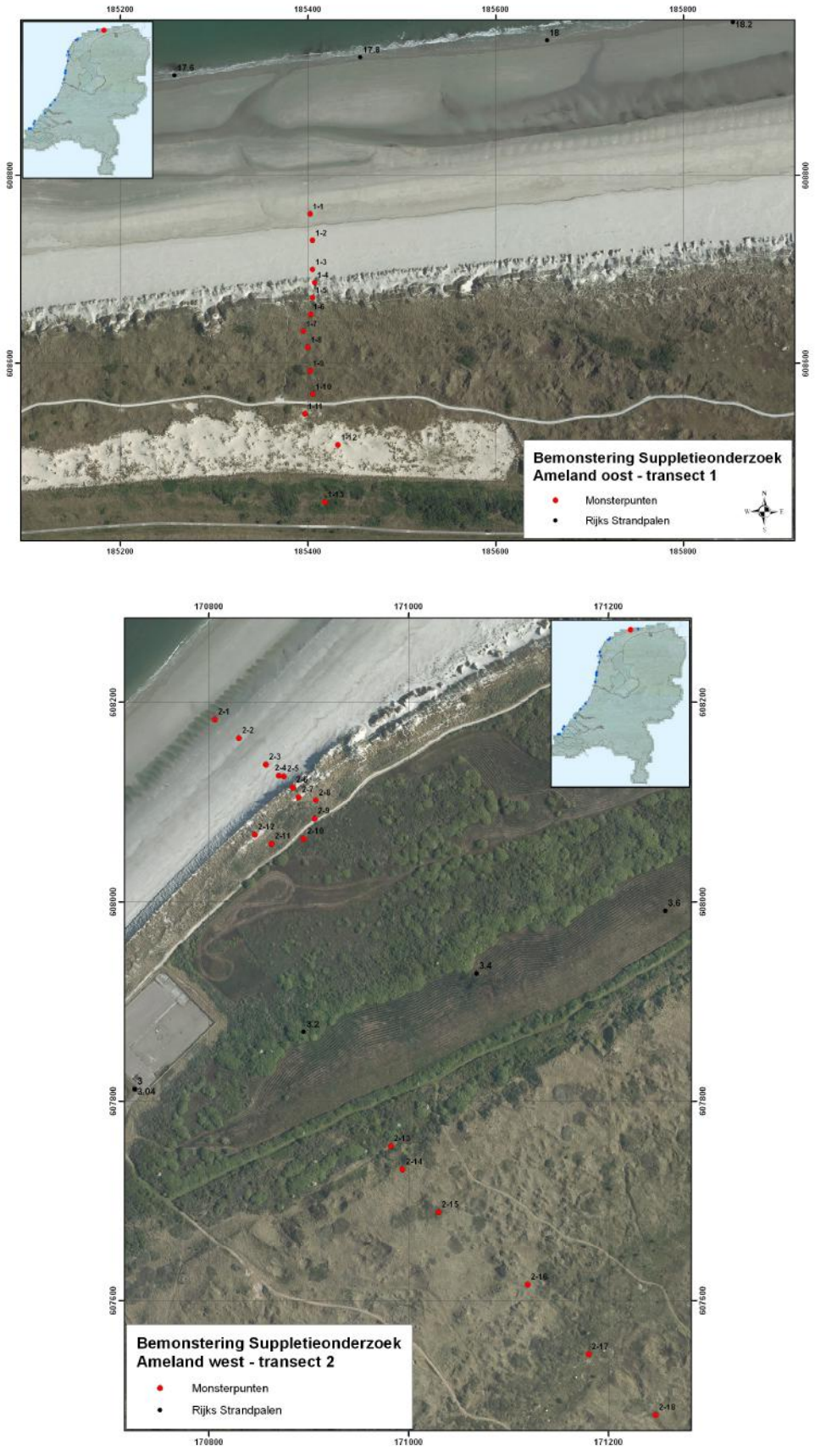


FIG. 2.2. Locaties Ameland West en Oost met transecten 1 en 2.

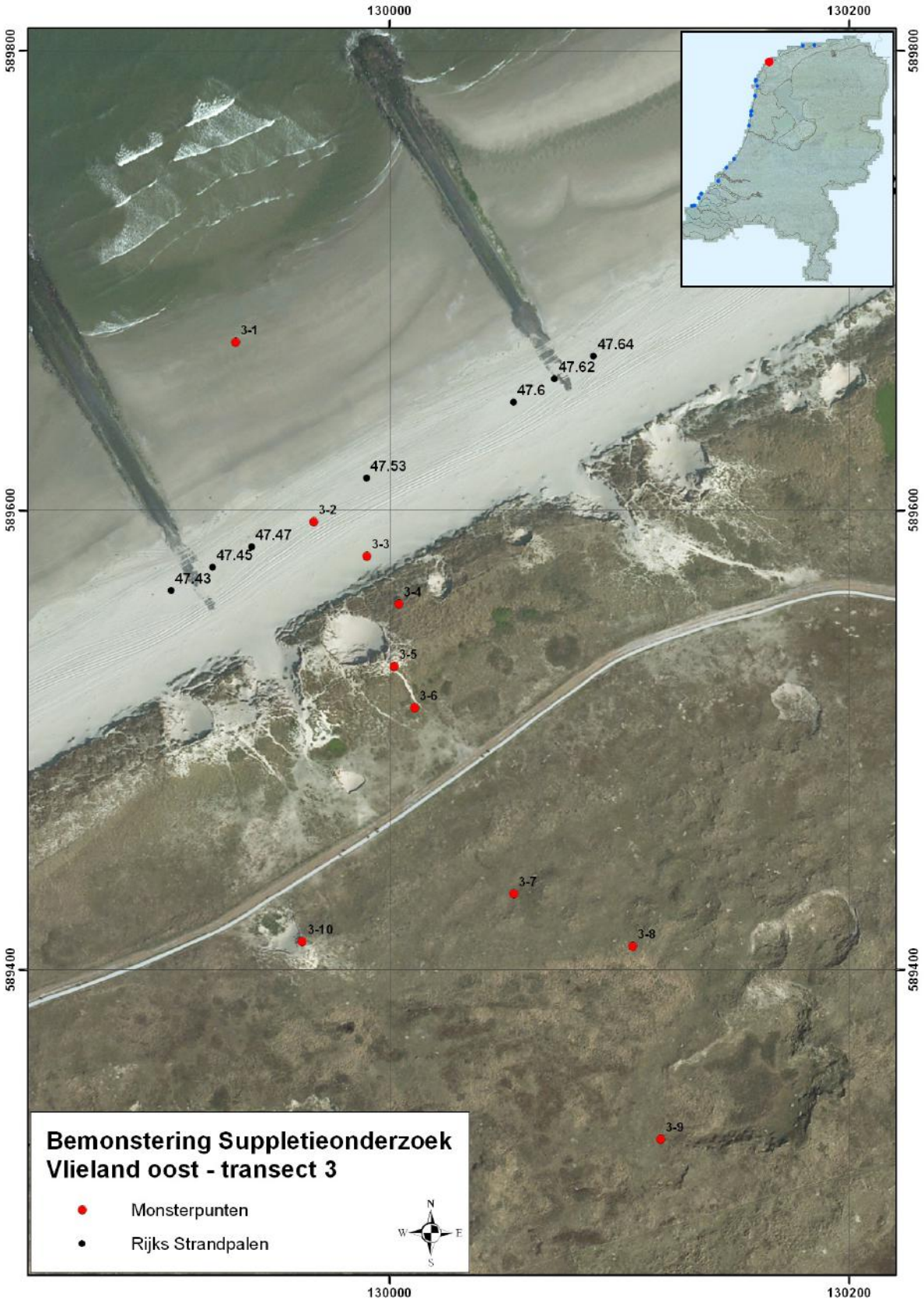


FIG. 2.3. Locatie Vlieland Oost met transect 3.

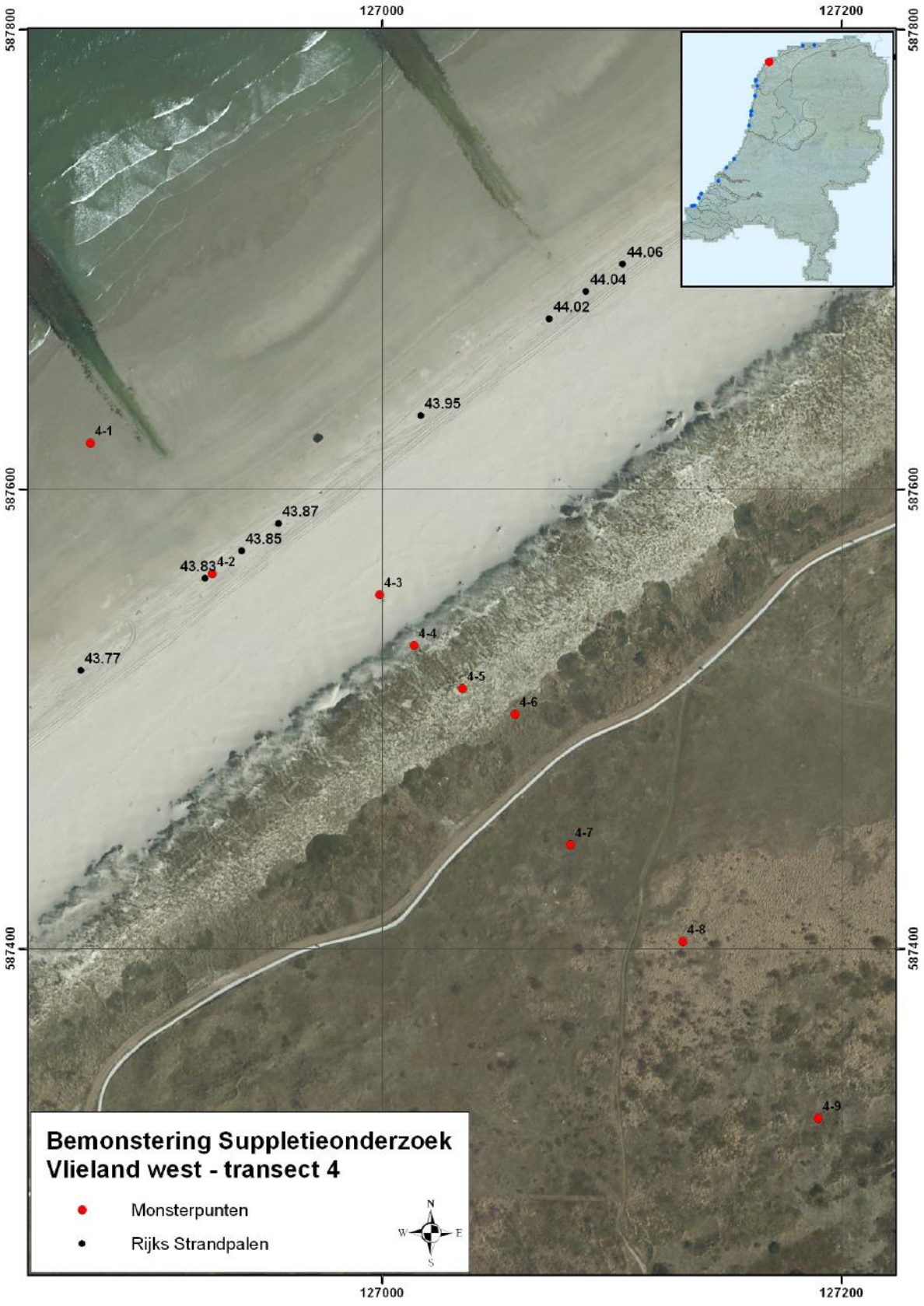


FIG. 2.4. Locatie Vlieland West met transect 4.

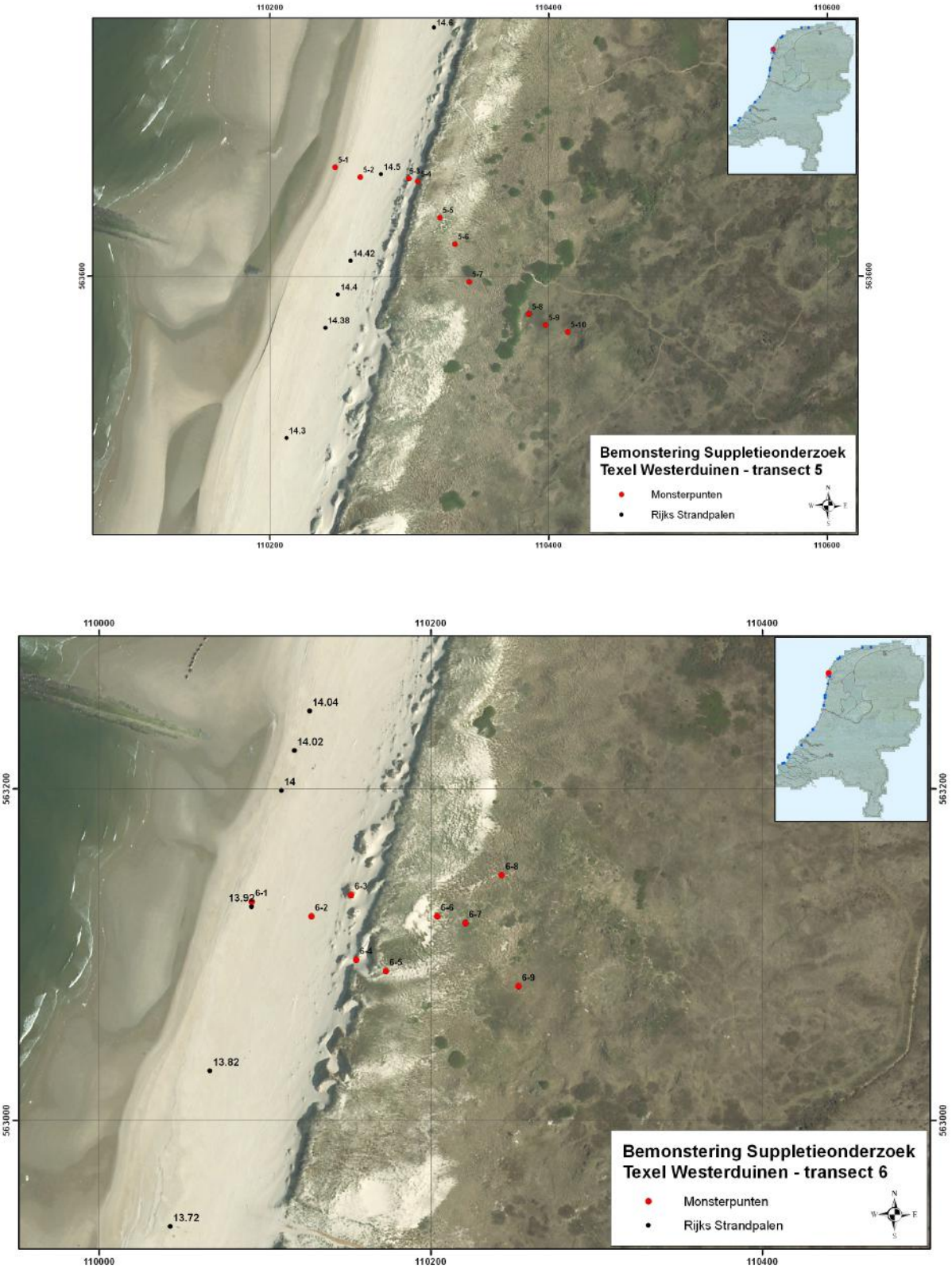


FIG. 2.5. Locaties op Texel Westerduinen Noord en Zuid, met transecten 5 en 6.



FIG. 2.6. Locatie De Hors op Texel, met transect 7.

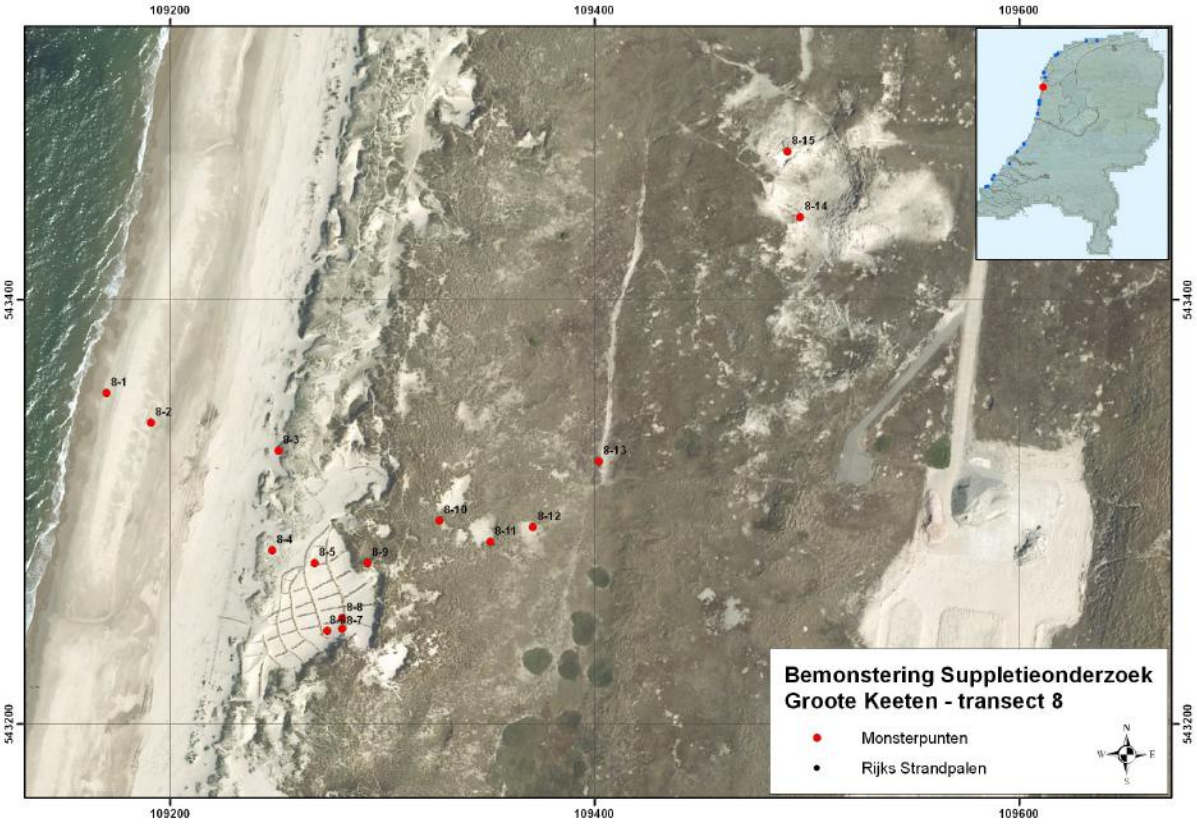


FIG. 2.7. Locatie Groote Keeten, Noord-Holland, met transect 8.

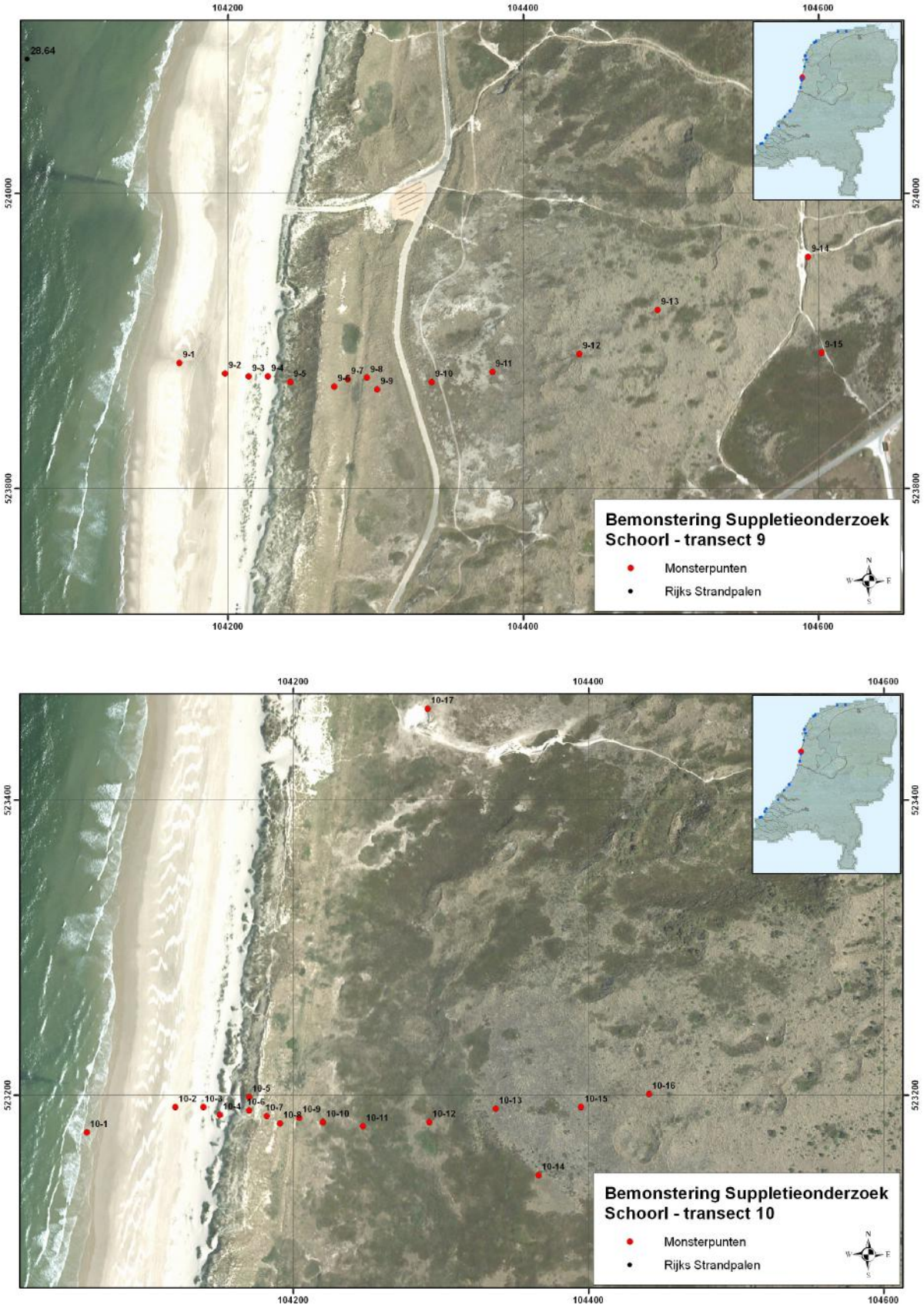


FIG. 2.8. Locatie Schoorl, Noord-Holland, met transecten 9 en 10.

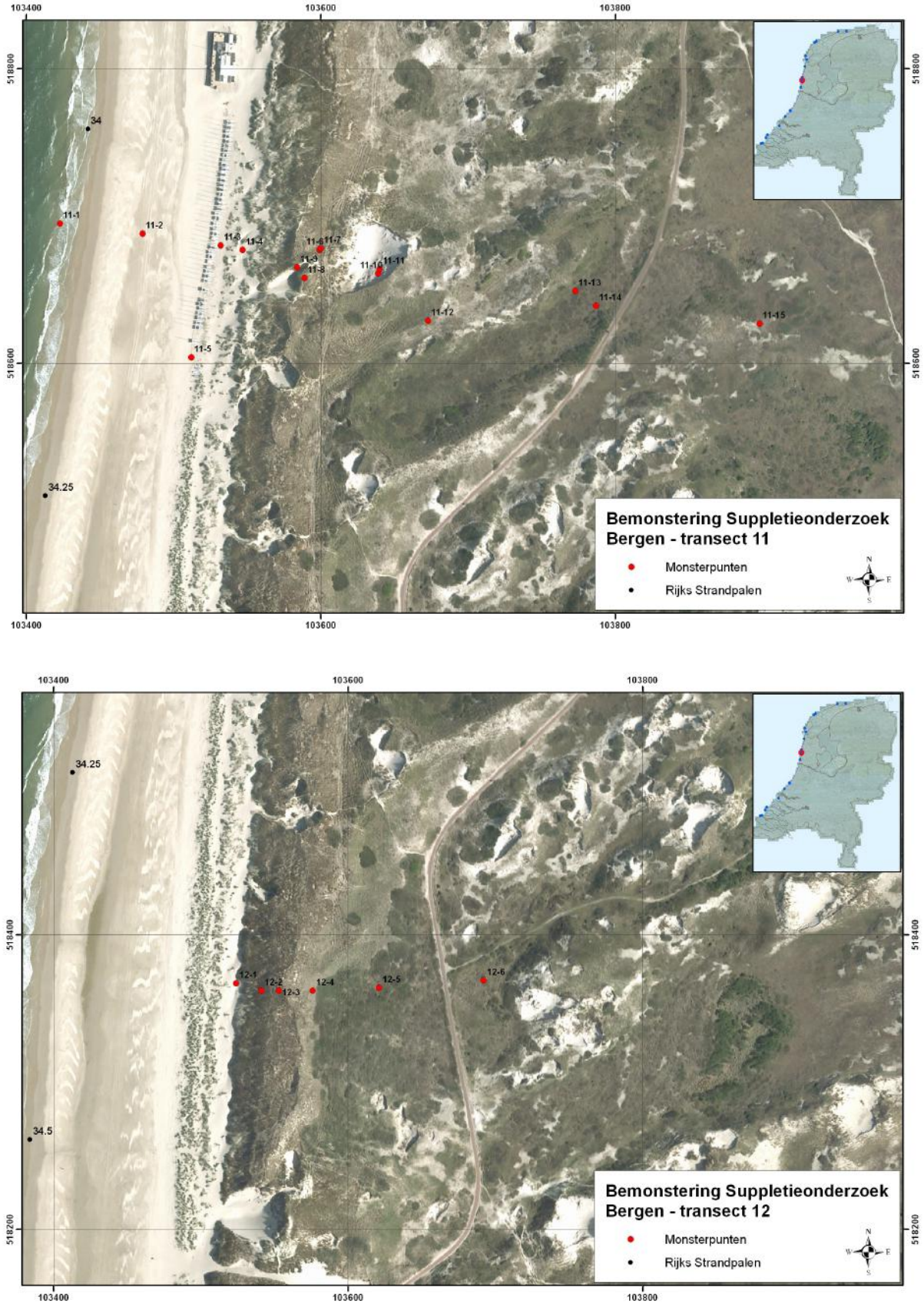


FIG. 2.9. Locatie Bergen aan Zee, Noord-Holland, met transecten 11 en 12.

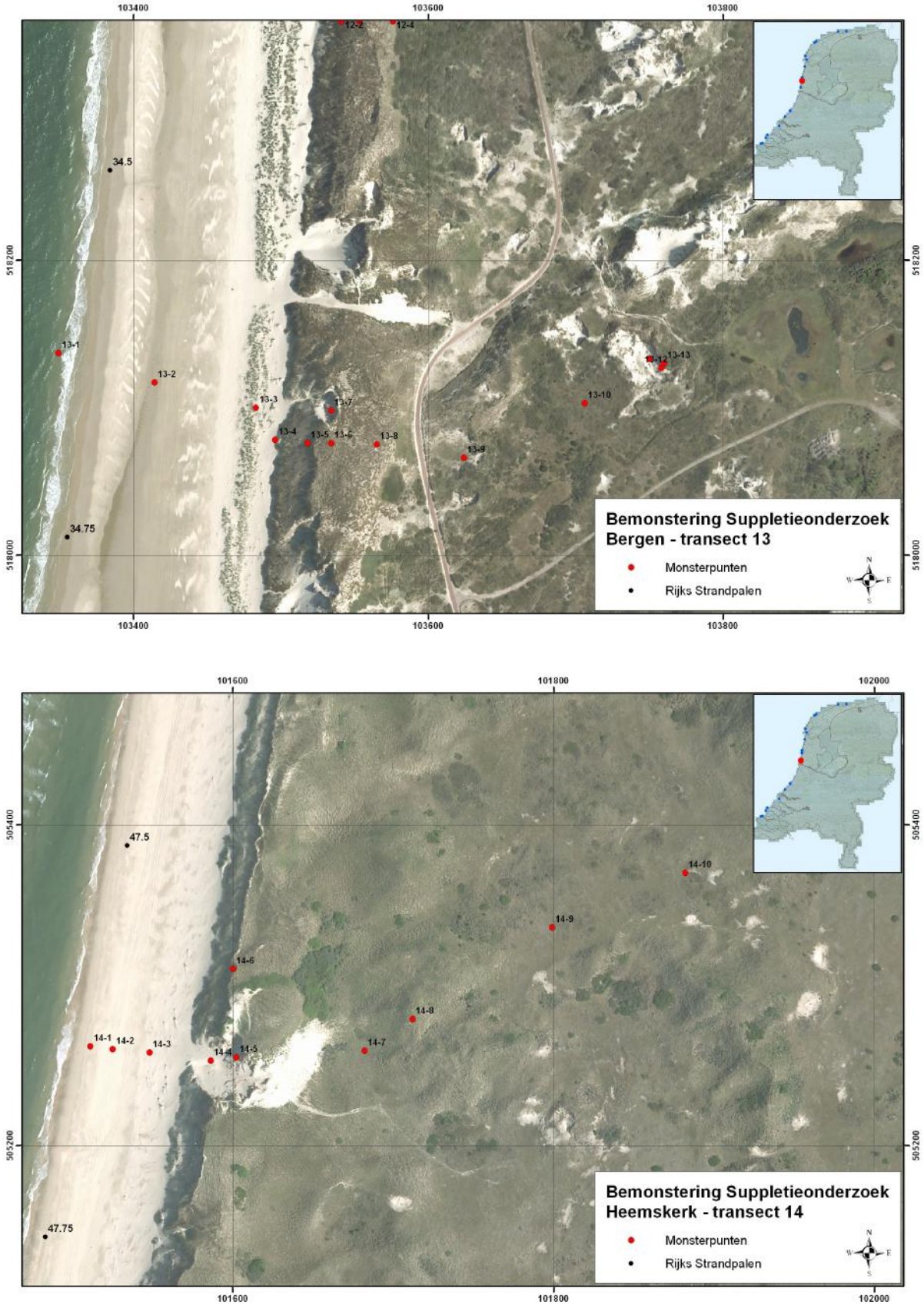
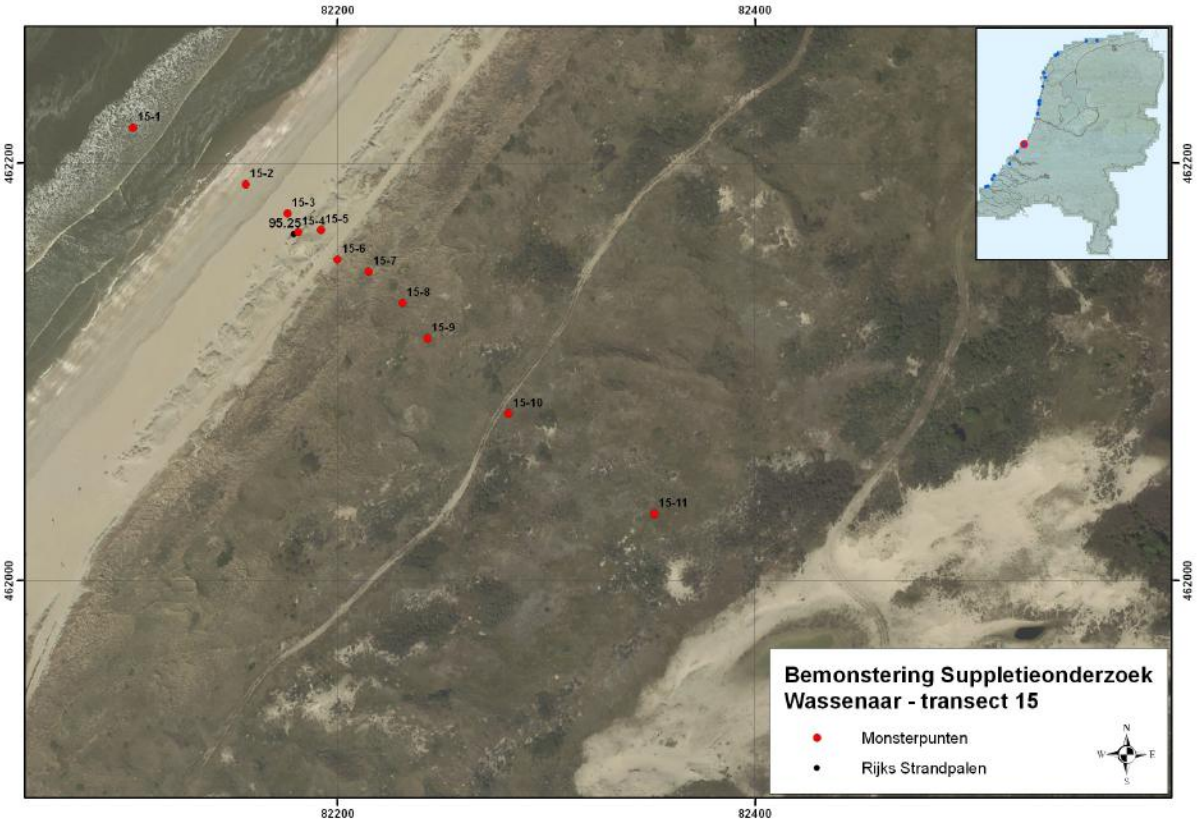


FIG. 2.10. Locaties Bergen en Heemskerk, Noord-Holland, met transecten 13 en 14



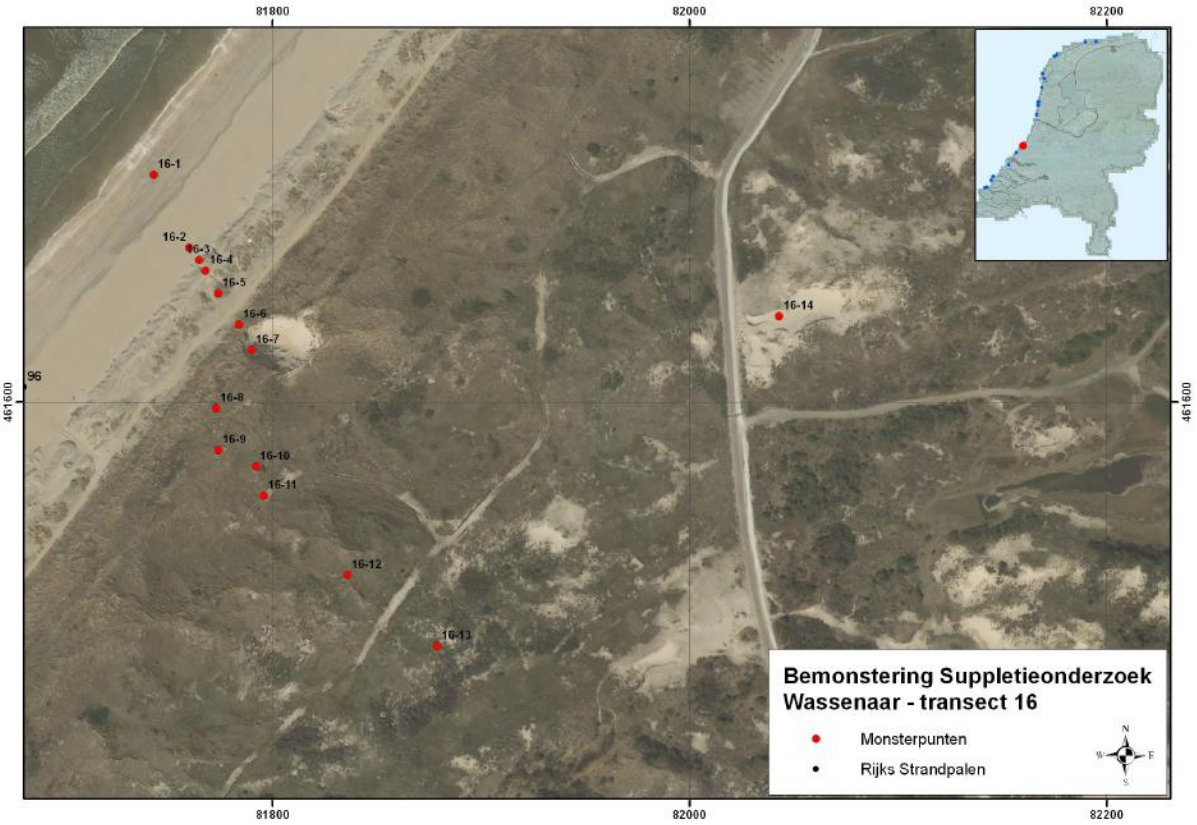


FIG. 2.11. Locatie Wassenaar, Zuid-Holland, met transecten 15 en 16.

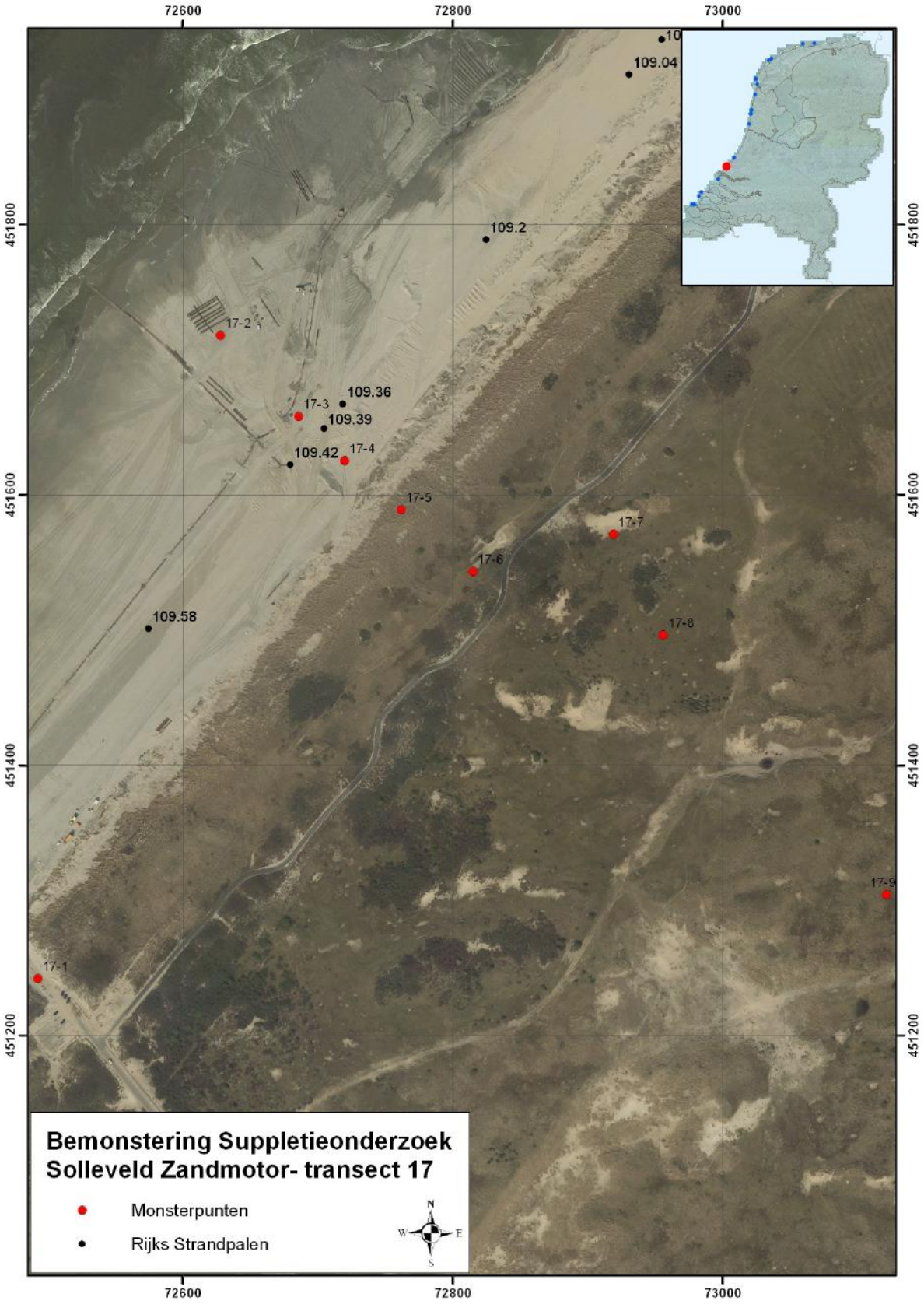


FIG. 2.12. Locatie Monster (Solleveld, bij zandmotor), Zuid-Holland, met transect 17.

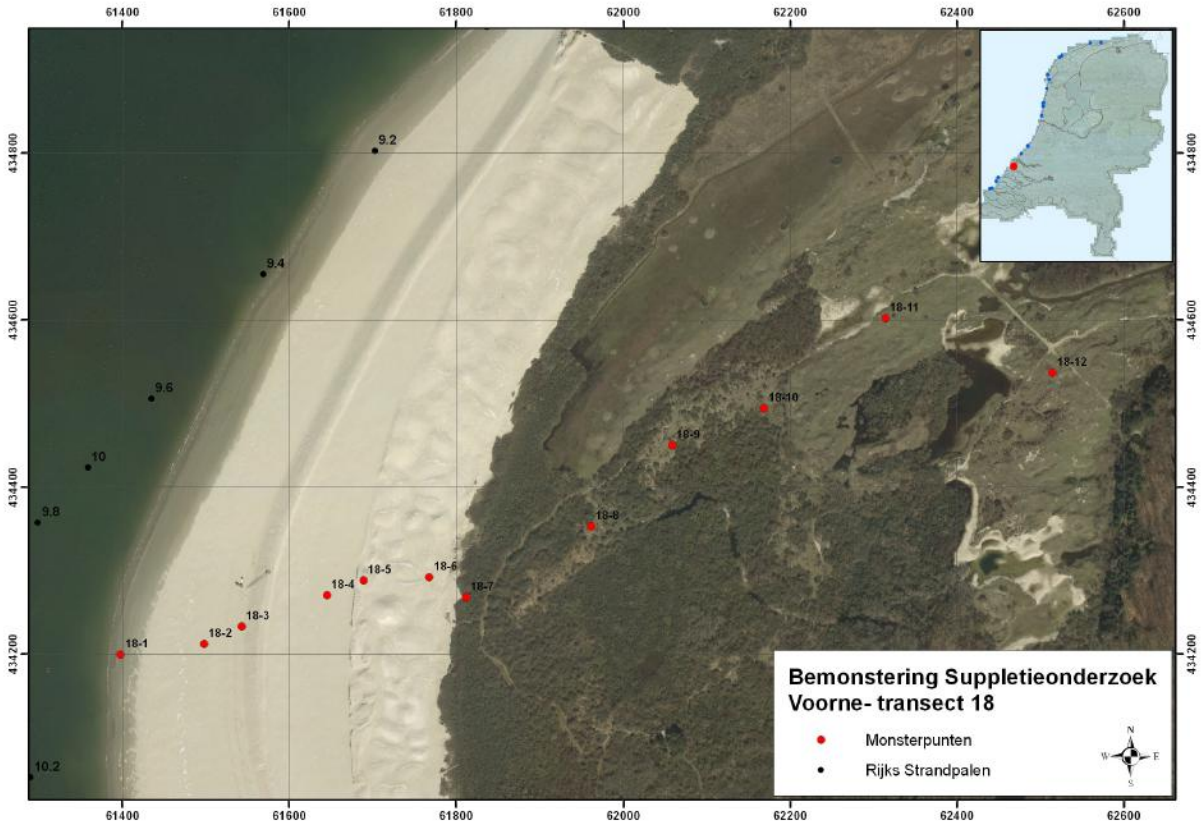


FIG. 2.13. Locatie Voorne, Zuid-Holland, met transect 18.

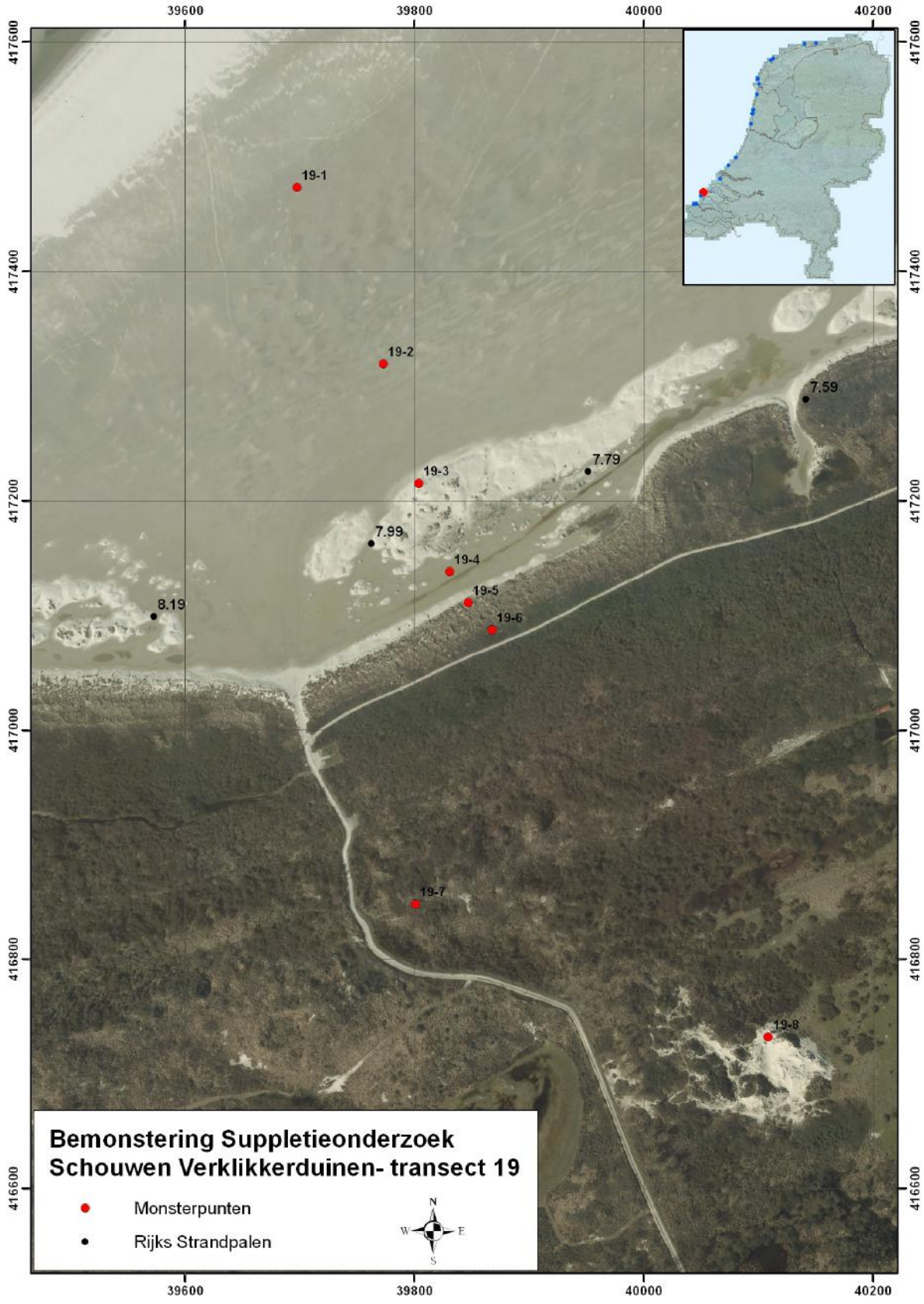


FIG. 2.14. Locatie Schouwen Verklikkerduinen, Zeeland, met transect 19.

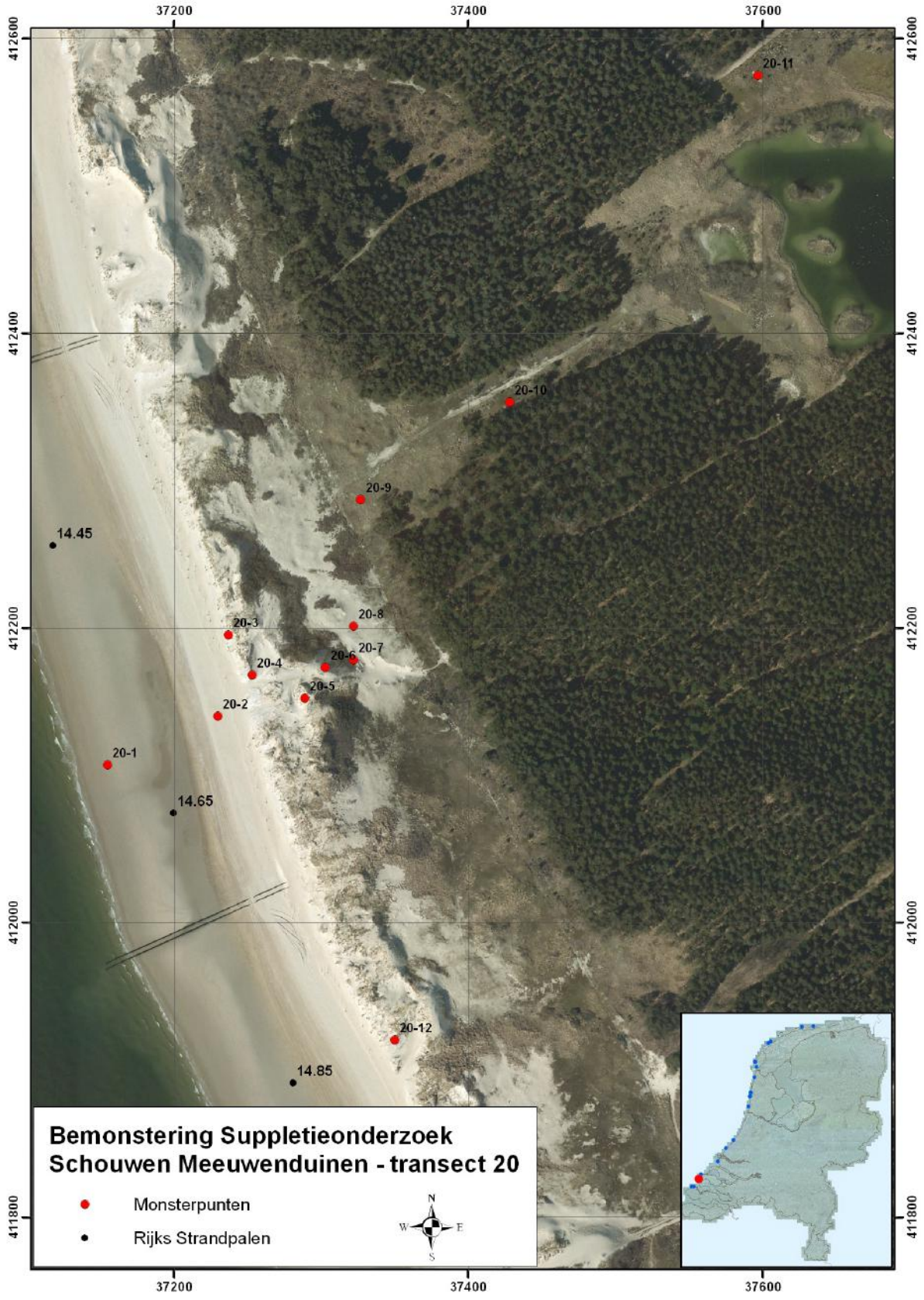


FIG. 2.15. Locatie Schouwen Meeuwenduinen, Zeeland, met transect 20.

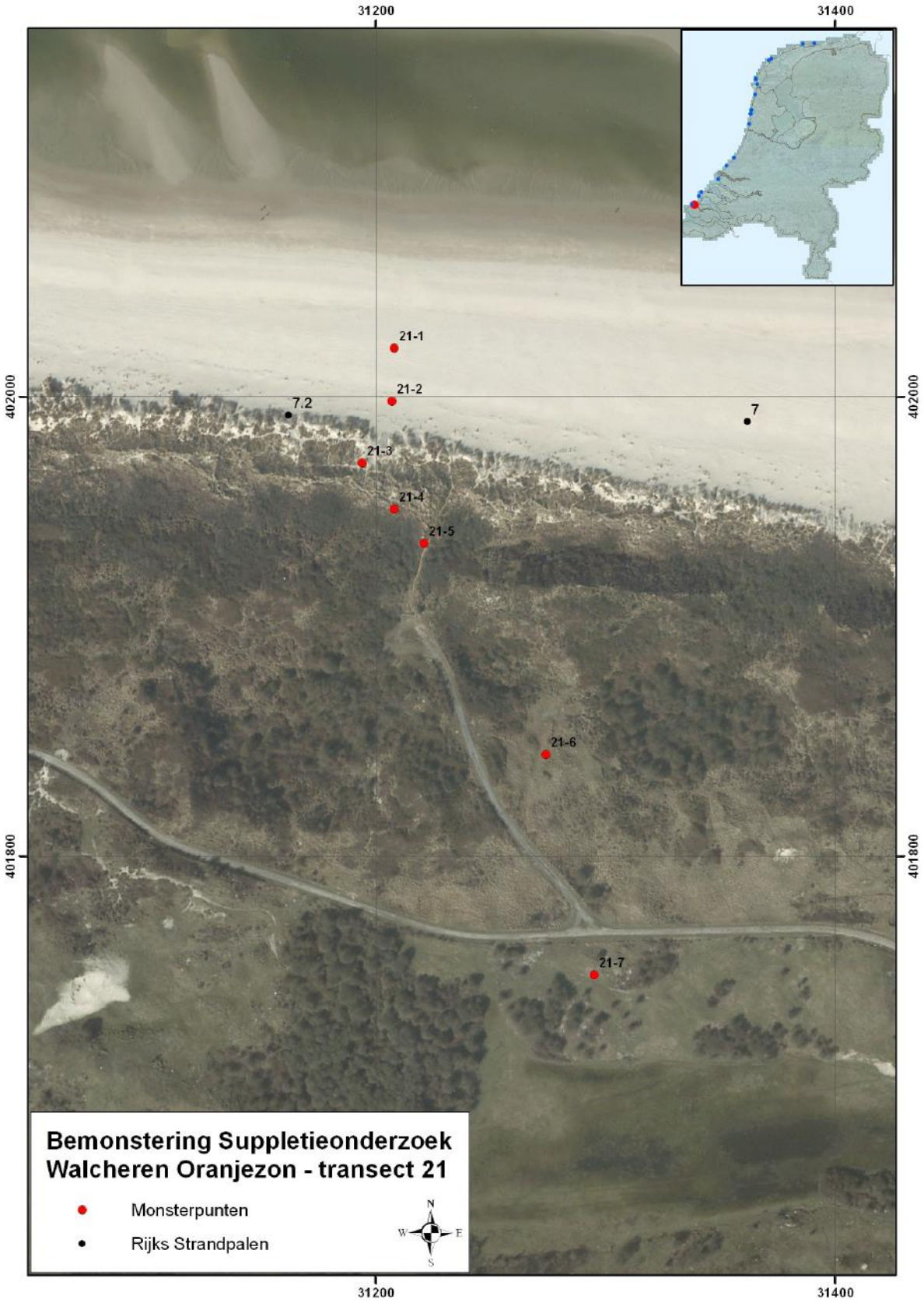


FIG. 2.16. Locatie Walcheren Oranjezon, Zeeland, met transect 21.

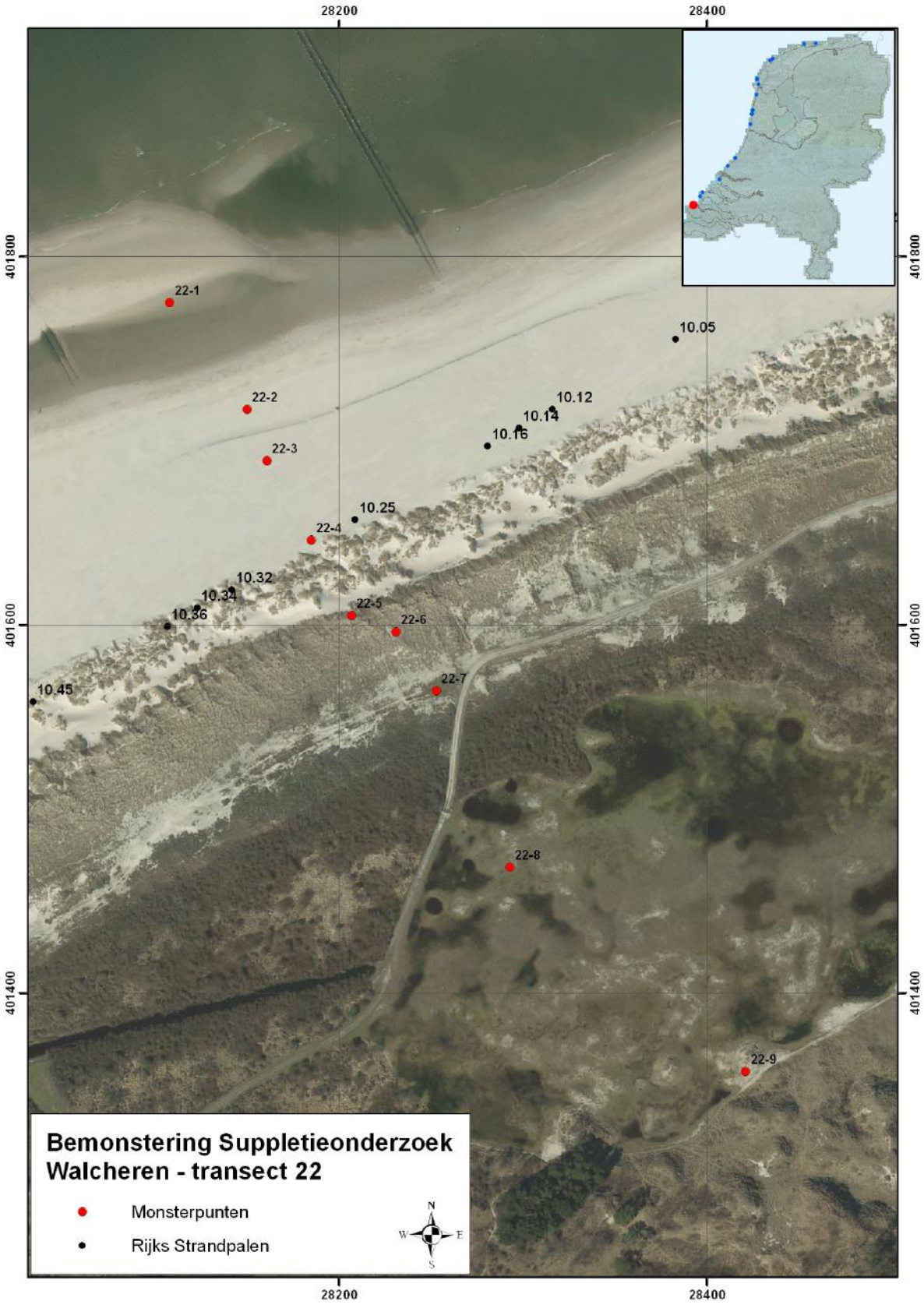


FIG. 2.17. Locatie Walcheren, Zeeland, met transect 22.

2.2 Bemonstering en geochemische analyse

Bemonstering
De bemonstering geschiedde na het graven van een 0.5 – 1.5 m diep smal gat met een schop (Fig.2.18), of na het afschrapen van een steilwand in een stuifkuil (Fig.2.19), doorgaans op 0.1, 0.3, 0.5 en 1.0 m diepte en in sommige steilwanden op max. 6 m diepte (zie Fig.5.11-5.14 voor bemonsteringsdiepte langs de 22 transecten). Het monster werd genomen door een PE-buisje van 60 cc handmatig de wand van de kuil of steilwand in te drukken na wegschrapen van een dun oppervlaktelaagje, totdat deze 100% gevuld was met zand. Dit gebeurde op alle locaties (n=269) in duplo, waarvan 40 locaties in triplo. Elk buisje werd met een schroefdop afgesloten.
Van elk meetpunt zijn de coördinaten met GPS ingemeten en van veel locaties zijn foto's genomen. Een zeer beknopte beschrijving is gemaakt van de locale begroeiing en van het bodemprofiel (zie Bijlage 3 op CD-ROM).
De bemonstering geschiedde in 3 fasen: in 2009 zijn de meetlocaties Texel, Groote Keeten, Schoorl, Bergen aan Zee en Wassenaar bemonsterd, in 2010 volgde Ameland en in 2011 kwamen Vlieland, Heemskerk, Monster, Voorne, Schouwen en Walcheren aan bod.

Geochemische analyses en korrelgroottebepaling
De uitgevoerde analyses, bijbehorende analysemethoden en laboratoria zijn in Tabel 2.2 aangegeven. In totaal zijn 683 bodemmonsters onderzocht, met verdeling over de transecten volgens Tabel 2.1. In Bijlage 2 zijn de analysemethoden (excl. die van OMIVE) nader gepreciseerd. Belangrijke kanttekeningen volgen in het laatste onderdeel van deze paragraaf.



FIG. 2.18. Impressies van de bemonstering via kuilen: Links = meetpunt 315 (De Hors, Texel); Rechts = meetpunt 105 (Westerduinen, Texel).



FIG. 2.19. Impressie van de bemonstering via een steilwand in stuifkuil, op meetpunt 710 te Bergen aan Zee. Het profiel vertoont een successie van vele overstoven duinbodems.

TABEL 2.2. Overzicht van toegepaste analysemethoden voor bepaling van de aangegeven bodemkenmerken.

	Method	Parameters analyzed	Lab	Samples analyzed
All	Grain size by Laser	56 grain size classes from 0.15-2000 um	VU-FALW	683
	Thermogravimetric Analysis (TGA)	105 (H2O), LOI 330 (MOM), LOI 550 (BOM), LOI 1000 (CaCO3)		683
	Pyrolysis, gas detection	organic C, total N		683
Samples 2009	HF-extract, ICP-OES	19 elements (Al, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Si, S, P, Ti, As, B, Ba, Be, Sc, Sr, V, Zn)		366
	HF-extract, ICP-MS	39 elements (Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, In, La, Li, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Re, Rh, Sm, Sn, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, W, Y, Yb, Zr)		366
	Aceton/hexane extraction, HP-LC + UV-fluorescence detection	10 PAHs: naft, phen, anth, fluor, baa, chrys, bkf, bap, bgp, ip	Omegam	30
	GC	Benzene, toluene, ethylbenzene, xylene (BTEX)		30
	Methanol extraction, GC-MS	12 Volatile Chloro-Aliphatics		30
	Acetone/hexane-extr., Microcoulometry	Extractable Organic Halogens (EOX)		30
Samples 2010-2011	Combustion + IR detection (Leco)	total C, total S	ACME	317 + 52 #
	LiBO2 fusion, XRF	12 elements (Al, Si, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Ti, P, Ba, Cr)		317 + 52 #
	Aqua Regia extract, ICP-MS	14 elements (Ag, As, Au, Bi, Cd, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, Zn)		317 + 52 #
	LiBO2 fusion, ICP-MS	31 elements (Ba, Be, Ce, Co, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr)		317 + 52 #

#: 317 sampled in 2010-2011 + 52 sampled in 2009, reanalyzed in 2011 for comparison of analytical methods ACME and VU

De monstervoorbewerking, bestaande uit drogen, homogenisatie, splitten en malen van een deelmonster, is uitgevoerd door het sedimentologie laboratorium van de Faculteit Aard- en Levenswetenschappen (FALW) van VU University Amsterdam. Dat laboratorium analyseerde alle monsters tevens op korrelgrootteverdeling, organische stof, kalk en organisch C en N. De 366 monsters uit 2009 zijn na HF/HNO_3 extractie geanalyseerd op elementsamenstelling via ICP-OES en ICP-MS, door het geochemische laboratorium en water laboratorium van FALW-VU, terwijl 30 monsters uit die partij geanalyseerd zijn op organische microverontreinigingen door Omegam (Amsterdam).
De monsters van 2010 en 2011 zijn geochemisch geanalyseerd door ACME Laboratories in Vancouver (Canada), op totaal C en S via Leco, LOI 1000 (Loss on Ignition bij 1000°C), en elementsamenstelling via enerzijds XRF en ICP-MS na extractie met $LiBO_2$ / Li_3BO_7 en anderzijds via ICP-MS na extractie met koningswater.
Hoewel de VU-laboratoria niet officieel geaccrediteerd zijn, beschikken zij over een grondig systeem van kwaliteitsborging, door meting van internationale standaarden en duplo's na elke batch van 10-20 monsters, en door driftregistratie. OMEGAM (Amsterdam) en ACME zijn officieel geaccrediteerd.

Kanttekeningen
De korrelgrootte-analyse via laser technologie resulteert in een systematische afwijking t.o.v. de traditionele korrelgrootte-analyse via zeven en bezinktijd. Om de metingen met laser te kunnen vergelijken met de traditionele dienen zij gecorrigeerd te worden volgens een recept uitgeschreven door Konert & Vandenberghe (1997).
Deze korrelgroottecorrectie pakt als volgt uit voor enkele belangrijke fracties: traditioneel <2 (lutum), <16 (slib), <32, <64, <210 µm worden in laserklassen resp.: <8, <22, <32, <74, <250 µm.
Met de ThermoGravimetrische Analyse (TGA) zijn de gloeiverliezen bepaald bij resp. 330, 550 en 1000°C, ten opzichte van het drooggewicht bij 105°C. De vertaling hiervan in de gehalten aan resp. makkelijk oxideerbaar organisch materiaal (MOM), bulk organisch materiaal (BOM), zijnde de som van MOM en moeilijk oxideerbaar organisch materiaal (zogenaamd 'black carbon'), en totaal carbonaten uitgedrukt als kalk ($CaCO_3$) vergt correcties voor bijdragen van verlies aan structureel gebonden water. Zie hiervoor par.2.6.
Idealiter is BOM na correctie voor waterverliezen gelijk aan 2 C_{ORG}.(organisch koolstof) bepaald via pyrolyse en CO_2 detectie (Stuyfzand & Meima, 2000). Door verschillen in analytische nauwkeurigheid waarbij met TGA storende complicaties optreden, is dit vooral bij lage gehalten dikwijls niet het geval (zie par.2.6).
De totaal elementgehalten van de monsters van 2009 zijn bepaald in een $HF\text{-}HNO_3$ extract door analyse met ICP-MS en ICP-OES. Bij deze methode wordt storend SiO_2 bijna volledig afgevoerd, hetgeen tot zeer lage SiO_2 gehalten bij kwantitatieve analyse leidt (ppm i.p.v. %). Omdat SiO_2 een hoofdelement vormt, is het gehalte via berekening vastgesteld (zie par.2.4).
De totaal elementgehalten van de monsters van 2010 en 2011 zijn bepaald op andere wijze dan die van 2009 (zie Tabel 2.2). Dat heeft tot enkele verschillen in resultaten geleid, die gekwantificeerd zijn door heranalyse van 52 monsters uit de partij van 2009 door ACME. Die 52 monsters zijn zodanig geselecteerd dat een zo breed mogelijk spectrum aan geochemische eigenschappen werd verkregen. De verschillen in analyseuitkomsten zijn verdisconteerd via lineaire regressie om een homogene dataset van 683 monsters te krijgen (zie par.2.4).

2.3 Positie- en hoogtebepalingen

De positie (X,Y) van alle meetpunten is ingemeten met een handheld GPS, merk Garmin met een positionele nauwkeurigheid van ca 5m. De maaiveldshoogte ervan anno 1997 en 2009 is bepaald aan de hand van de positiebepalingen en laseraltimetrie gegevens van Rijkswaterstaat.
De lokatiekaarten met alle meetpunten (Fig.2.2-2.17) zijn vervaardigd met behulp van ArcGis met als ondergrond een luchtfoto van Rijkswaterstaat van 2007 of later.

2.4 Dataverwerking algemeen

Harmonisatie chemische datasets 2009 en 2010-2011
Verschillen in analyse- of extractiemethode kunnen grote invloed hebben op de analyseresultaten. Omdat de totaal elementgehalten van de monsters van 2010 en 2011 zijn bepaald op andere wijze dan die van 2009 (zie Tabel 2.2), zijn 52 monsters uit de partij van 2009 (met analyseresultaten van VU) opnieuw geanalyseerd door ACME. De steekproef van 52 monsters (ca 15% van de VU-dataset) is zodanig gekozen dat een zo breed mogelijk spectrum aan geochemische eigenschappen werd verkregen.
De resultaten van beide laboratoria stemmen grosso modo uitstekend overeen, ondanks verschillen in extractie- of analysemethode. Er zijn geringe systematische verschillen die ook in de lijn der verwachting liggen: gemiddeld iets hogere waarden voor $LiBO_2$ dan voor HF (voor Hf en Zr geldt een groot verschil), en hogere uitkomsten voor HF dan voor koningswater.
Bovendien gelden lagere onderste analysegrenzen voor HF dan voor $LiBO_2$ t.a.v Be, Bi, Cd, Mo, Sn, V en W, en voor HF dan voor Leco t.a.v. S.
De verschillen in analyseuitkomsten zijn waar nodig verdisconteerd via lineaire regressie om een homogene dataset van 683 monsters te krijgen. In 29 gevallen zijn de VU data iets opgehoogd, in 8 gevallen juist de ACME data, en in 15 gevallen zijn de data onveranderd (zie Tabel 2.3). Bij verdiscontering via lineaire regressie is alleen vermenigvuldigd met de richtingscoëfficiënt (a in: Y = aX + c of Y = aX), na optische controle van de X/Y-plot.

Geochemie en korrelgrootte
De resultaten van bodemanalyses zijn deels verwerkt met behulp van GEOCHEMCAL (Stuyfzand, 2000), een Excel spreadsheet programma voor opslag, correctie, berekening, presentatie en interpretatie van geochemische analyses en korrelgrootte-analyses. Met GEOCHEMCAL is het o.a. mogelijk om petrochemische berekeningen uit te voeren die leiden tot vertaling van de geochemische analyses in mineraalgehalten (zoals kalk, enkele vooraanstaande aluminiumsilicaten en kwarts), en specificatie van de bijdrage van o.a. organisch materiaal aan totaal zwavel en totaal fosfor, en van kalk aan totaal fosfor en totaal strontium.
Geen van de zandmonsters bevatte relevante hoeveelheden gravel (deeljes > 2mm; in alle gevallen <5%) zodat er geen grindcorrectie nodig was. De zandmonsters zijn niet geanalyseerd op droogrest.

Datacontrole
De dataset is gecontroleerd op uitbijters en fouten, door:
(1) inspectie van extreme waarden. Voor elk element is de verhouding onderzocht tussen de maximum waarde (percentiel 100; P100) en de op 1 en 2 na hoogste waarde (resp. P{100[n-1]/n} en P{100[n-2]/n}; met n = totale aantal monsters), en dito m.b.t. de minimum waarde (P0, P{100/n} en P{200/n}). Waarden >2 zijn beschouwd als uitbijter. Vervolgens is gekeken of deze uitbijters ruimtelijk ingebed zijn in een anomalie ingenomen door meerdere meetpunten, en zo ja gehandhaafd en zo niet vervangen door de meest waarschijnlijke waarde op basis van aangrenzende meetpunten met vergelijkbare samenstelling. Er zijn hiermee slechts enkele uitbijters gevonden, die pasten of aangepast konden worden.
(2) controle van de XRF-analyses op hoofdelementen, waarvan de som uitgedrukt in oxides voor siliclastisch materiaal moet liggen tussen 95 en 105%. Dit bleek in slechts 5 van de 369 analyses niet het geval, waarbij de waarde tussen 92 en 95% lag. Er waren geen aanwijsbare redenen om deze licht-afwijkende monsters te elimineren.

TABEL 2.3. Vergelijking van de VU en ACME analyseresultaten voor 52 monsters uit de dataset van 2009 (gemiddelde, standaardafwijking, minimum en maximum), en de lineaire regressie tussen beide met de in groen aangeduide relaties waarmee de datasets van 2009 en 2010-2011 geharmoniseerd zijn. Rood cursief = regressie door nulpunt geforceerd. XRF = $LiBO_2$ extractie gevolgd door XRF analyse; AR = Aqua Regia (koningswater).

Anal Method		Par.	Unit	VU	ACME	VU	ACME	VU = a ACME + c			ACME = a VU + c			VU	ACME	VU	ACME
VU	ACME			mean		sdev		R2	a	c	R2	a	c	min		max	
TGA	TGA	LOI 1000	%	1.20	1.37	0.92	1.32	0.82	0.63	0.33	0.82	1.296	-0.19	0.15	0.10	4.06	7.96
HF	XRF	Al	ppm	9220	10420	2462	2785	0.97	0.87	148.50	0.97	1.114	145.90	4700	4976	13600	15935
HF	XRF	Na	ppm	2726	2749	1049	1003	0.95	1.02	-78.17	0.95	0.933	205.21	976	1039	5510	4674
HF	XRF	K	ppm	4859	5414	1397	1516	0.98	0.91	-71.41	0.98	1.073	199.50	2540	2989	8510	8385
HF	XRF	Ca	ppm	6785	7081	6772	7054	1.00	0.96	-5.11	1.00	1.041	20.83	340	357	31100	31733
HF	XRF	Mg	ppm	766	898	415	458	0.94	0.88	-22.06	0.94	1.068	79.02	156	241	2130	2352
HF	XRF	Fe	ppm	3821	3929	2376	2642	0.99	0.90	296.78	*0.99*	*1.050*	*0.00*	831	839	11900	13499
HF	XRF	Mn	ppm	140	168	131	143	0.97	0.90	-10.19	0.97	1.075	16.50	20	39	649	697
Calc	XRF	Si	ppm	443160	438233	11521	12797	0.80	0.81	89979	0.80	0.994	-2381	409056	402465	459258	458558
HF	Leco	S	ppm	61.0	109.6	43.9	40.9	0.67	0.88	-35.70	0.67	0.765	62.95	14.0	100.0	260.2	300.0
HF	XRF	P	ppm	100.9	100.3	61.9	65.4	0.95	0.92	8.18	*0.95*	*1.004*	*0.00*	20.0	21.9	318.6	349.1
HF	XRF	Ti	ppm	851	1113	744	837	0.95	0.87	-114.40	*0.93*	*1.218*	*0.00*	180	180	2970	3357
HF	AR	As	ppm	3.2	2.1	2.1	1.9	0.72	0.95	1.19	0.72	0.758	-0.29	0.9	0.3	12.6	11.4
HF	XRF, LiBO2	Ba	ppm	130.9	127.8	33.9	31.9	0.60	0.82	25.61	0.60	0.729	32.31	75.5	76.0	235.0	212.0
HF	LiBO2	Be	ppm	0.27	1.05	0.09	0.69	0.01	-0.01	0.28	0.01	-0.597	1.21	0.11	0.50	0.51	2.00
HF	AR	Bi	ppm	0.04	0.05	0.03	0.00	0.00	-0.97	0.09	0.00	0.000	0.05	0.00	0.05	0.13	0.05
HF	AR	Cd	ppm	0.03	0.07	0.05	0.06	0.86	0.71	-0.02	0.86	1.203	0.03	0.00	0.05	0.23	0.30
HF	LiBO2	Ce	ppm	17.9	17.9	14.3	14.4	0.95	0.97	0.50	0.95	0.982	0.35	5.0	5.7	61.7	68.1
HF	LiBO2	Co	ppm	1.09	1.03	0.56	0.64	0.82	0.80	0.27	0.82	1.030	-0.10	0.29	0.10	3.57	3.90
HF	XRF	Cr	ppm	20.9	31.4	21.1	28.9	0.81	0.66	0.27	*0.79*	*1.368*	*0.00*	3.0	3.4	101.4	130.0
HF	LiBO2	Cs	ppm	0.57	0.54	0.18	0.20	0.87	0.85	0.11	0.87	1.021	-0.04	0.28	0.20	1.05	1.00
HF	AR	Cu	ppm	1.50	0.73	0.78	0.48	0.40	1.03	0.75	0.40	0.391	0.15	0.45	0.20	3.37	2.40
HF	LiBO2	Dy	ppm	0.94	1.00	0.65	0.69	0.95	0.91	0.03	0.95	1.043	0.02	0.32	0.30	3.12	3.36
HF	LiBO2	Er	ppm	0.59	0.73	0.45	0.53	0.95	0.82	-0.01	0.95	1.157	0.05	0.18	0.25	2.44	2.44
HF	LiBO2	Eu	ppm	0.22	0.21	0.11	0.12	0.95	0.88	0.03	0.95	1.077	-0.02	0.07	0.08	0.53	0.65
HF	LiBO2	Ga	ppm	1.89	2.03	0.53	0.53	0.88	0.94	-0.02	0.88	0.938	0.26	0.96	1.10	3.07	3.20
HF	LiBO2	Gd	ppm	0.99	1.01	0.67	0.72	0.94	0.90	0.08	0.94	1.046	-0.03	0.33	0.32	3.11	3.81
HF	LiBO2	Hf	ppm	0.95	5.97	0.80	7.04	0.94	0.11	0.29	0.94	8.504	-2.14	0.35	0.80	4.01	29.30
HF	LiBO2	Ho	ppm	0.19	0.24	0.14	0.17	0.95	0.82	0.00	0.95	1.164	0.01	0.06	0.08	0.73	0.74
HF	LiBO2	La	ppm	9.1	9.3	7.2	7.3	0.95	0.96	0.08	0.95	0.987	0.39	2.5	3.0	30.7	34.7
HF	LiBO2	Lu	ppm	0.09	0.13	0.08	0.11	0.92	0.66	0.00	0.92	1.387	0.01	0.03	0.03	0.44	0.49
HF	AR	Mo	ppm	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	-0.33	0.04	0.00	0.000	0.05	0.01	0.05	0.06	0.05
HF	LiBO2	Nb	ppm	3.0	3.1	2.7	2.6	0.91	0.99	-0.02	0.91	0.915	0.30	0.8	0.8	13.9	9.7
HF	LiBO2	Nd	ppm	7.1	7.1	5.3	5.5	0.96	0.94	0.40	0.96	1.014	-0.10	2.0	2.2	22.8	25.8
HF	AR	Ni	ppm	2.5	1.9	1.2	1.0	0.82	1.08	0.44	0.82	0.760	0.01	0.8	0.5	7.1	5.8
HF	AR	Pb	ppm	8.0	3.7	4.2	3.0	0.93	1.36	2.91	0.93	0.684	-1.74	2.9	1.0	20.3	14.7
HF	LiBO2	Pr	ppm	1.97	2.05	1.52	1.62	0.95	0.92	0.10	0.95	1.043	-0.01	0.56	0.66	6.50	7.80
HF	LiBO2	Rb	ppm	22.4	20.5	6.3	6.0	0.96	1.02	1.60	0.96	0.940	-0.61	12.1	11.1	38.8	34.4
HF	AR	Sb	ppm	0.46	0.06	0.17	0.03	0.05	1.27	0.39	0.05	0.041	0.04	0.23	0.05	1.09	0.20
HF	LiBO2	Sm	ppm	1.24	1.25	0.89	0.95	0.95	0.92	0.09	0.95	1.038	-0.04	0.37	0.37	4.05	4.71
HF	LiBO2	Sn	ppm	0.65	0.79	0.34	0.53	0.51	0.46	0.29	0.51	1.104	0.07	0.18	0.50	1.47	3.00
HF	LiBO2	Sr	ppm	47.9	51.4	27.6	30.4	0.99	0.90	1.46	0.99	1.099	-1.26	15.7	15.6	159.0	167.0
HF	LiBO2	Ta	ppm	0.29	0.28	0.31	0.26	0.19	0.53	0.14	0.19	0.368	0.18	0.07	0.05	1.58	1.00
HF	LiBO2	Tb	ppm	0.16	0.18	0.10	0.12	0.95	0.86	0.00	0.95	1.112	0.00	0.05	0.06	0.46	0.62
HF	LiBO2	Th	ppm	2.42	2.44	1.82	1.90	0.94	0.93	0.15	0.94	1.010	0.00	0.76	0.80	8.07	9.70
HF	AR	Tl	ppm	0.43	0.05	0.14	0.00	0.00	1.32	0.36	0.00	0.000	0.05	0.19	0.05	0.75	0.05
HF	LiBO2	Tm	ppm	0.09	0.12	0.07	0.09	0.93	0.77	0.00	0.93	1.201	0.01	0.03	0.03	0.40	0.39
HF	LiBO2	U	ppm	0.50	0.65	0.26	0.46	0.93	0.54	0.14	0.93	1.703	-0.20	0.24	0.20	1.41	2.50
HF	LiBO2	V	ppm	7.3	11.9	4.4	8.1	0.70	0.46	1.84	0.70	1.524	0.83	2.0	4.0	27.5	41.0
HF	LiBO2	W	ppm	0.31	0.44	0.21	0.30	0.38	0.43	0.12	0.38	0.881	0.17	0.08	0.25	1.11	1.70
HF	LiBO2	Y	ppm	6.0	6.4	4.3	4.5	0.96	0.93	0.00	0.96	1.027	0.27	2.0	2.2	22.4	19.5
HF	LiBO2	Yb	ppm	0.61	0.82	0.49	0.67	0.94	0.72	0.02	0.94	1.307	0.02	0.19	0.21	2.72	3.00
HF	AR	Zn	ppm	11.4	8.6	7.5	6.9	0.89	1.03	2.63	0.89	0.869	-1.36	2.2	1.0	33.5	31.0
HF	LiBO2	Zr	ppm	38.3	234.6	34.4	284.9	0.93	0.12	10.94	0.93	7.996	-71.52	13.0	28.9	171.6	1133.8

R2 < 0.5 | selected correction equation | strongly deviating min or max

(3) controle van de diverse kalkmeetwaarden (zie par.2.6.3), die idealiter vergelijkbare waarden opleveren. Het betreft kalk via pyrolyse/Leco (Eq.3A), kalk via TGA (Eq.3B) en kalk maximum via Ca (Eq.3C). Op basis van een algoritme (zie par.2.6.3) is een keuze gemaakt voor het meest waarschijnlijke kalkgehalte. Er zijn geen monsters geëlimineerd op grond van verschillen, omdat de verschillen in de meeste gevallen zeer klein en van strukturele aard zijn. Enkele foute analyses zijn niettemin opgespoord mede dankzij duplo-bepalingen (analyse door zowel VU als ACME).

(4) controle via 2 bepalingen van het organische stofgehalte, te weten $BOM_{550,COR}$ via TGA incl. correctie (Eq.2 in par.2.6.2) en C_{ORG} via pyrolyse-Leco. De verhouding tussen beide bedraagt idealiter 2 (Stuyfzand & Meima, 2000). Er zijn geen monsters geëlimineerd op grond van verschillen, omdat de verschillen in de meeste gevallen van strukturele aard zijn. Enkele foute analyses zijn niettemin opgespoord mede dankzij duplo-bepalingen (analyse door zowel VU als ACME). Vooral in het lage bereik is C_{ORG} aanzienlijk nauwkeuriger.

Enkele administratieve fouten zijn verder opgespoord en rechtgezet. Enkele missende analyses in monsters 405B en 305A zijn als geschatte waarden opgenomen ter completering van de dataset.

Statistische analyse
Eenvoudige statistische bewerkingen (zoals beschrijvende statistiek), X/Y-plots en een Pearson correlatiematrix zijn uitgevoerd met standaard routines in Excel waarvan sommige in het hulpprogramma 'Data Analysis', aanwezig zijn onder de knop 'Tools'.
Door het vooraf klassificeren van zandtypen op basis van specifieke kenmerken (par.2.5), is de hele populatie van 683 monsters gesplitst in 14 zandklassen die onderling vergeleken konden worden met de verdelingsvrije Wilcoxon-rangsom-toets. Deze toets is het verdelingsvrije equivalent van de t-toets. In tegenstelling tot de t-toets stelt deze geen voorwaarden aan het soort kansverdeling waar de meetwaarden uit afkomstig zijn, wat de toets ook robuust maakt tegen uitschieters. Als de meetwaarden afkomstig zijn uit een normale kansverdeling is zijn onderscheidend vermogen slechts weinig minder dan dat van de t-toets, terwijl het zelfs al bij geringe afwijkingen van normaliteit duidelijk groter is dan dat van de t-toets. Aangezien geochemische gegevens vaak een scheve kansverdeling kennen is de Wilcoxon-rangsom-toets beter geschikt om te toetsen op verschillen dan de t-toets. De t-toets richt zich overigens op het verschil in (rekenkundige) gemiddelden, terwijl de Wilcoxon-rangsom-toets zich richt op het verschil in medianen. Bij een scheve kansverdeling is de mediaan een geschiktere centrummaat dan het gemiddelde. De Wilcoxon-rangsom-toets levert exact hetzelfde resultaat als de Mann-Whitney-U-toets.
Vervolgens is met SPSS een clusteranalyse uitgevoerd ter groepering van onderling sterk gerelateerde parameters om de grote diversiteit aan geochemische karakteristieken te linken aan waarschijnlijke mineralogische verschillen of processen. Een tweede clusteranalyse richtte zich op onderscheid tussen de 14 zandklassen.

2.5 Zandklassificatie

Alle bemonsterde duin- en strandzanden zijn zo objectief mogelijk ingedeeld op basis van 4 criteria, in volgorde (Fig.2.20):

- ***Globale herkomst*** (Waddendistrict of Rhenodunaal), waarbij de indeling eerdere karteringen volgt van het kalkgehalte, veldspaat- en toermalijngehalte en het algemene aspect (kleur, begroeiing etc.). Fig.2.21 geeft een overzicht van de verschillende patronen in, onder en boven de overgangszone van Rhenodunaal naar Waddendistrict, bij Bergen aan Zee. De herkomst bepaalt de samenstelling van het moedermateriaal, waarbij zich belangrijke verschillen voordoen vooral in kalk-, ijzer- en mineraalgehalte (Eisma, 1968), maar ook in tal van elementgehalten (dit onderzoek).
- ***Overstuivingstype met/zonder suppletie***, op basis van een combinatie van gegevens, te weten: (a) registratie van locaties en typen zandsuppleties (duinverzwaring, strandsuppletie, vooroeversuppletie, geen suppleties; voor een overzicht zie Bijlage I); (b) verandering in maaiveldsligging anno 2009 versus 1985/1997 (overstuiving of erosie) zoals vastgesteld met laseraltimetrie en Jarkusdata; en (c) positie van het meetpunt ten opzichte van de HoogWaterLijn (strand indien vóór de zeereep en NAP-diepte <1.5xHWL; potentieel overstuivingsgebied indien daarboven of achter zeereep gelegen). In het kader van deze studie is dit een cruciaal criterium.
- ***Kalkgehalte***. Het kalkgehalte heeft vergaande consequenties voor de ecologie en waterkwaliteit, en voor (groten)deels aan kalk gebonden bestanddelen zoals Sr en P (Fig.5.26). Gekozen is voor kalkgrenzen bij 0,2, 1 en 4% (Fig.2.20). Ecologen leggen de bovengrens van (vrijwel) kalkloos bij 0.2% (Grootjans et al., 1995), in het Waddendistrict ligt de bovengrens van het kalkgehalte van duinzand nabij 1% en in de vastelandsduinen van het Rhenodunale district bevat het kalkrijke zand doorgaans 3-4% kalk. In het Waddendistrict zijn inversies in kalkgehalte vaak als teken van overstuiving met suppletiezand herkenbaar.

- ***Titaniumgehalte (totaal)***. De gehalten van Fe, Mn en veel spore-elementen zijn zeer sterk gerelateerd aan het titaniumgehalte (par.5.8). Grenzen zijn gelegd bij 600, 1200 en 2400 ppm op basis van de cumulatieve frequentieverdeling (Fig.2.20 en Fig.5.1).

De resulterende code verklaart zich aan de hand van een voorbeeld: R321 = Rhenodunaal zand bestaande uit overstoven strandsuppletiemateriaal (eventueel tevens met vooroeversuppletiemateriaal), kalkrijk en met verhoogd titaniumgehalte.

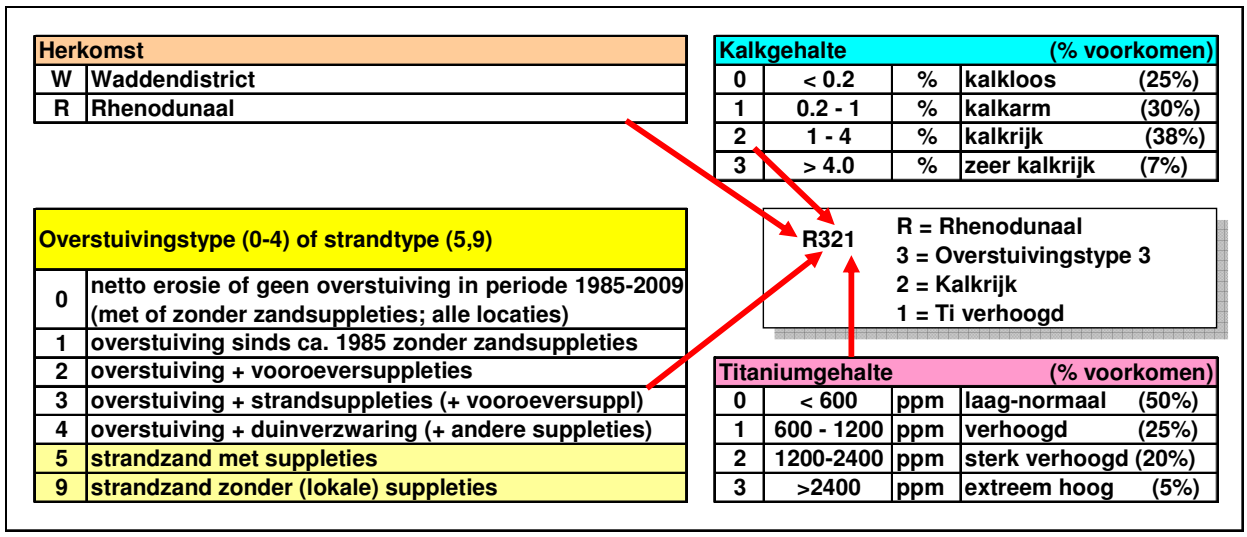


FIG. 2.20. Klassificatie van duin- en strandzand op basis van herkomst, overstuivingstype (met/zonder suppletie), kalk- en titaniumgehalte. Gewijzigd naar Stuyfzand et al. (2010).

2.6 Geochemische berekeningen

2.6.1 Correctie voor ingedampt bodemvocht

De meeste zandmonsters waren te droog om op eenvoudige wijze de bijdrage van interstitieel water aan de analyseresultaten vast te stellen. Bovendien is de samenstelling van dat ingesloten water (meestal bodemvocht, nabij de HWL soms grondwater) onbekend. Alleen voor de meetpunten beneden de HWL valt de bijdrage van ingedampt bodemvocht te schatten onder aanname dat het Noordzeewater betreft, en wel volgens:

$$X_{H2O} = X_{GW} (1 - f_{DW}) / f_{DW} \qquad (1)$$

Met: X_{H2O} = concentratie van X in zandmonster voor zover ontleend aan ingedampt grondwater of bodemvocht tijdens drogen [ppm d.g.]; X_{GW} = concentratie van X opgelost in grondwater of bodemvocht ten tijde van monstername [mg/L]; f_{DW} = fractie drooggewicht [-].

Invulling in Eq.1 van typische meetwaarden voor kustnabij Noordzeewater, zoet duinwater en 15% hangwater in zand (dus f_{DW} = 0.85) levert de in Tabel 2.3 vermelde bijdrages daarvan aan de totaal-analyse voor resp. strand- en duinzand. De bijdrages aan zout strandzand zijn voor Na, Mg en SO_4 zeer significant (30-83%), terwijl de bijdrage van zoet hangwater alleen voor NO_3 enigszins significant is. Dit zijn zo ongeveer de maximale bijdrages van ingedampt bodemvocht. Die voor strandzand gelden uitsluitend voor meetpunten beneden de HWL.

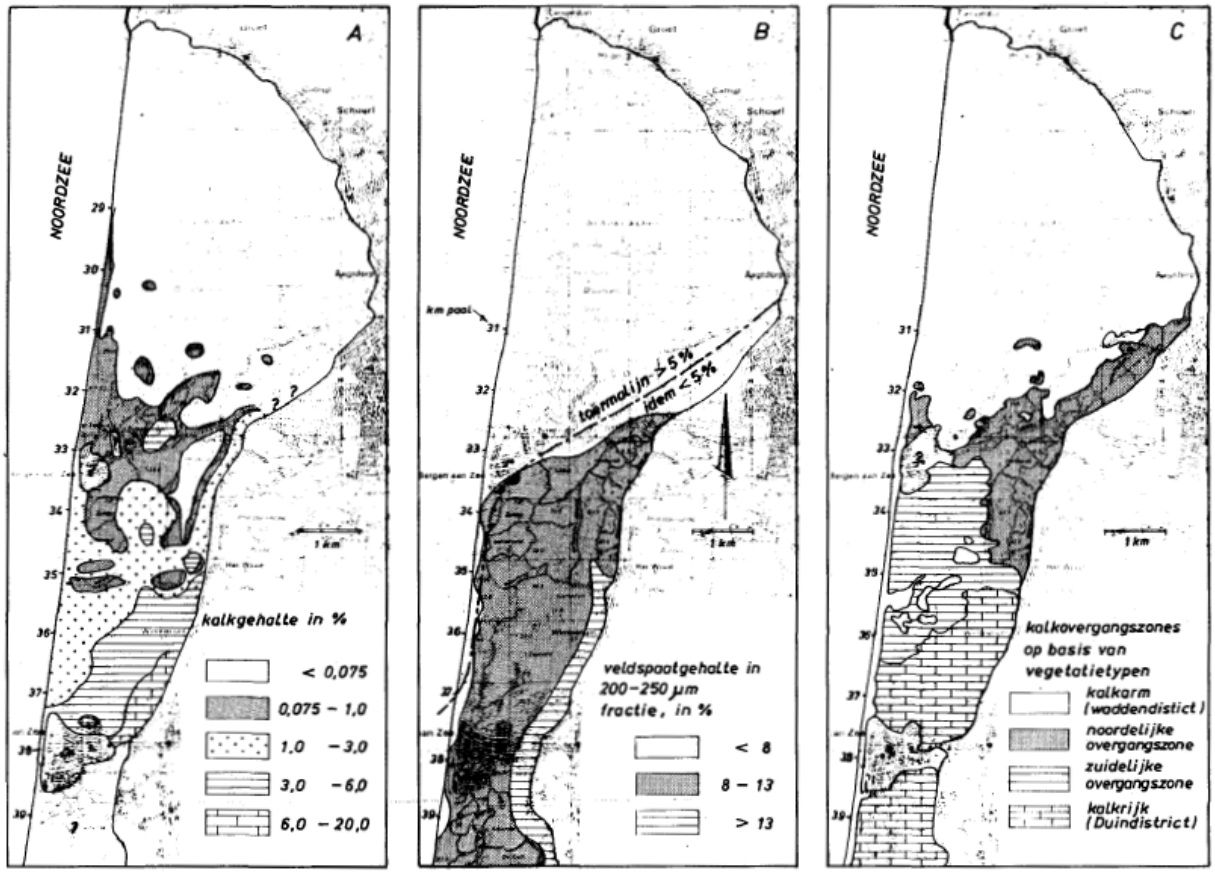


FIG. 2.21. Ruimtelijk patroon van (A) het kalkgehalte van de bovenste 30 cm duinzand volgens Bijhouwer (1926); (B) het veldspaat- en toermalijngehalte volgens Eisma (1968); en (C) kalkovergangszones op basis van vegetatietypen volgens Doing (1964). Naar Stuyfzand (1989).

TABEL 2.3. Voorbeeld van berekening bijdrage van ingesloten zee- en duinwater aan uitkomst geochemische totaal-analyse. In te voeren data in geel gekleurde cellen. Zandgehalten aan S, N, P omgerekend in aangegeven oxiden.

Par	Noordzeewater				Zoet duinwater			
	Nzee	X-H2O	Zand	%Contrib	Zoet	X-H2O	Zand	%Contrib
	mg/L	ppm		H2O	mg/L	ppm		H2O
Na	9400	1659	2825	58.7	70	12	2825	0.4
K	345	61	5020	1.2	3	0.5	5020	0.0
Ca	350	62	5252	1.2	90	16	5252	0.3
Mg	1120	198	664	29.8	7	1	664	0.2
SO4	2355	416	500	83.1	30	5	500	1.1
NO3	4	0.7	90	0.8	30	5.3	90	5.9
PO4	0.5	0.09	260	0.03	0.6	0.11	45	0.2
B	4.61	0.81	13	6.3	0.02	0.004	10	0.04
Sr	7.93	1.40	87	1.6	0.41	0.071	60	0.12
f_{DW}	0.85				0.85			

Water	vol %	25.7	15.0	% gew	rho-bulk	kg/L	1.71
por	vol %	45			rho-solid	kg/L	2.65

2.6.2 Correctie BOM, vergelijking met CORG en de C/N-ratio

Bulk Organisch Materiaal (BOM) is conform Breeuwsma (1986) gecorrigeerd voor verlies aan structureel gebonden water, volgens:

$$BOM_{550,COR} = BOM_{550} - 0.07\ L \qquad (2)$$

Met: $BOM_{550,COR}$ = gecorrigeerd BOM gehalte [% d.g.]; L = gehalte lutum, i.e. deeltjes < 2 µm [% d.g.].
NB: Parameter L dient bepaald te zijn met de pipetanalyse (bezinking in waterkolom). Als de resultaten van de laserbeam methode worden gebruikt, dan dient de fractie <8 µm genomen te worden, ter verdiscontering van de discrepantie tussen beide methoden (Konert & Vandenberghe, 1997).
In de meeste gevallen zijn de meetwaarden van MOM en BOM in duin- en strandzand te hoog, omdat zij erg dicht tegen de (onderste) rapportagegrens (RG) aan liggen en brak tot zout water bevatten of door verdamping verloren hebben. Dat zout maakt de monsters hygroscopisch zodat waterverliezen moeilijk te voorkomen zijn.
De BOM-waarden zijn daardoor meestal (vooral in de lage range) significant hoger dan 2 C_{ORG}. Laatsgenoemde is dan ook gehanteerd als beste maat voor BOM (Stuyfzand & Meima, 2000).
Bij de bepaling van de C/N-verhouding op gewichtsbasis zijn alleen meetwaarden meegenomen die uitkwamen boven 2xRG (Rapportagegrens), dus wanneer C_{ORG} ≥0.02 % en N ≥0.002 %.

2.6.3 Correcties bij de kalkbepaling

Het kalkgehalte ($CaCO_3$) is op 3 manieren bepaald: via verbranding en CO_2 gasanalyse (pyrolyse / Leco), via verbranding en gewichtsverliesbepaling (thermogravimetrie, TGA) en via analyse op totaal calcium.
De eerste methode (toegepast op 369 monsters) vergt analyse van een ontkalkt en niet-ontkalkt deelmonster, zodat het totale carbonaatgehalte uitgedrukt als kalk berekend wordt volgens:

$$(CaCO_3)_{CO2} = 8.333\ (C_{TOT} - C_{ORG}) \qquad (3A)$$

waarin: C_{TOT} = totaal koolstof in monster zonder voorafgaande ontkalking [% d.g.]; C_{ORG} = organisch koolstof in monster na voorafgaande ontkalking [% d.g.]; 8.333 = molecuulgewicht kalk / atoomgewicht koolstof [-].

De TGA-analyse (toegepast op alle 683 monsters; dubbele analyse door VU en ACME in 369 monsters) levert ook een zeer goede schatting op van het totale carbonaatgehalte uitgedrukt als kalk ($kalk_{TGA}$). Die waarden zijn evenwel behept met een zekere overschatting, omdat er in het traject van 550 – 1000 °C niet alleen gewichtsverlies optreedt door verlies aan CO_2 (te vermenigvuldigen met 2.274) maar ook door verlies aan structureel gebonden water. De met TGA bepaalde kalkgehalten zijn als volgt hiervoor gecorrigeerd (alle waarden in % drooggewicht):

$$(CaCO_3)_{TGA} = kalk_{TGA} - 0.07 - f\ (BOM_{550,COR} - 2\ C_{ORG}) \qquad (3B)$$

Hierin is de factor 0.07 gelijk aan de laagste meetwaarde van $kalk_{TGA}$ in monsters met C_{ORG} < 0.01 % en met beoordeling als zijnde absoluut kalkloos. Verondersteld is verder dat het verlies aan structureel gebonden water in het traject van 550 – 1000 °C evenredig is met dat van 105 – 550 °C (blijkend uit het verschil tussen $BOM_{550,COR}$ en 2 C_{ORG}.).
De evenredigheidsfactor f is via trial en error gesteld op 1, door de resulterende kalkgehalten te toetsen op 2 criteria: (1) aldus gecorrigeerde waarden dienen zo min

mogelijk negatieve kalkwaarden op te leveren; en (2) de resulterende kalkwaarden dienen zo vaak mogelijk lager te zijn dan de bovengrens van het kalkgehalte $(CaCO_3)_{MAX}$.
Laatstgenoemde wordt als volgt bepaald, en vormt de derde methode van kalkbepaling (toegepast op alle 683 monsters; 52 dubbele analyses door VU en ACME):

$$(CaCO_3)_{MAX} = 2.5\ (Ca_{TOT} - Ca_{EXCH}) \qquad (3C)$$

Met Ca_{TOT} = totaal Ca bepaald na extractie met HF / HNO_3 of met $LiBO_2$ / $Li_2B_4O_7$ [% d.g.]; Ca_{EXCH} = uitwisselbaar Ca [% d.g.].
De term Ca_{EXCH} kan met de beschikbare gegevens als volgt berekend worden:

$$Ca_{EXCH} = 0.002004\ \beta_{CA}\ CEC_{CALC} \qquad (4)$$

Waarin: 0.002004 = omrekeningsfactor van meq Ca/kg naar % d.g.; β_{CA} = fractie Ca in uitwisselcomplex [-]; CEC_{CALC} = berekende kationuitwisselcapaciteit [meq/kg d.g.].

De CEC wordt berekend met een modificatie van de relatie volgens Appelo & Postma (2005), zijnde CEC = 7L + 35 C_{ORG}, waarbij de factor 7 verlaagd is tot 5.6 op basis van de mineralogische samenstelling van Nederlandse rivierklei volgens Locher & de Bakker (1987 p.98), de CEC-waarden van kleimineralen volgens Appelo & Postma (2005) en de pH-afhankelijkheid van de organische fractie volgens Scheffer & Schachtschabel (2002).

$$CEC_{CALC} = 5.6\ L + 5.1\ (pH - 1.16)\ C_{ORG} \qquad (5)$$

Gebrek aan pH data noopt tot inschatting ervan met de volgende empirische relatie:

$$\begin{array}{ll} pH = 7.5 & \text{als } CaCO_3 > 0.5\ \% \\ pH = 4.0 & \text{als } CaCO_3 < 0.1\ \% \\ pH = 15\ CaCO_3 + 6.25\ (0.5\text{-}CaCO_3) & \text{als } 0.1 < CaCO_3 < 0.5\ \% \end{array} \qquad (6)$$

Tenslotte dient β_{CA} nog geschat te worden via een empirische relatie:

$$\beta_{CA} = -0.002916\ pH^5 + 0.091593\ pH^4 - 1.1136\ pH^3 + 6.4838\ pH^2 - 17.716\ pH + 18.23 \qquad (7)$$

Uiteindelijk zijn bovenstaande 2-3 methoden gebruikt om het meest waarschijnlijke kalkgehalte ($CaCO_3$) te bepalen via onderstaand algoritme (NA = not available):

If $(CaCO_3)_{CO2}$ = NA andif $(CaCO_3)_{TGA} > (CaCO_3)_{MAX}$ then
$CaCO_3 = 0.9\ (CaCO_3)_{MAX}$
If $(CaCO_3)_{CO2}$ = NA andif $(CaCO_3)_{TGA} \leq (CaCO_3)_{MAX}$ then
$CaCO_3 = (CaCO_3)_{TGA}$
Elseif $(CaCO_3)_{CO2} > (CaCO_3)_{MAX}$ andif $(CaCO_3)_{TGA} > (CaCO_3)_{MAX}$ then
$CaCO_3 = 0.9\ (CaCO_3)_{MAX}$
Elseif $(CaCO_3)_{CO2} < (CaCO_3)_{MAX}$ andif $(CaCO_3)_{TGA} < (CaCO_3)_{MAX}$ then
$CaCO_3 = 0.5\ [(CaCO_3)_{CO2} + (CaCO_3)_{TGA}]$
Elseif $(CaCO_3)_{CO2} < (CaCO_3)_{MAX}$ andif $(CaCO_3)_{TGA} \geq (CaCO_3)_{MAX}$ then
$CaCO_3 = (CaCO_3)_{CO2}$
Elseif $(CaCO_3)_{CO2} \geq (CaCO_3)_{MAX}$ andif $(CaCO_3)_{TGA} < (CaCO_3)_{MAX}$ then
$CaCO_3 = (CaCO_3)_{TGA}$

Op dit algoritme zijn diverse alternatieven denkbaar, maar die vergen meer gebiedskennis of subjectiviteit.

2.6.4 Schatting van Ca-silicaat

Ca-silicaat uitgedrukt als anortiet (Ca_{SIL} = $CaAl_2Si_2O_8$) is als volgt berekend, met alle meetwaarden in % drooggewicht:

$$Ca_{SIL} = 6.94\ (Ca_{TOT} - Ca_{CACO3} - Ca_{EXCH} - Ca_{H2O}) \quad (8)$$

Ca_{CACO3} = $CaCO_3$ / 2.5, waarin $CaCO_3$ volgens bovenstaand algoritme.
In Eq.8 is Ca_{H2O} (ingedampt interstitieel water; max = 16-62 ppm, zie Tabel 2.3) op nul gesteld.

2.6.5 Schatting van Na-, K- en Mg-silicaat

Na-silicaat uitgedrukt als albiet (Na_{SIL} = $NaAlSi_3O_8$), K-silicaat uitgedrukt als kaliveldspaat (K_{SIL} = $KAlSi_3O_8$) en Mg-silicaat uitgedrukt als biotiet (Mg_{SIL} = $KFeMg_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$) zijn als volgt berekend, met alle waarden in % drooggewicht:

$$Na_{SIL} = 11.406\ (Na_{TOT} - Na_{CO3} - Na_{EXCH} - Na_{H2O}) \quad (9)$$

$$K_{SIL} = 7.118\ (K_{TOT} - Mg_{SIL} / 11.478 - K_{EXCH} - K_{H2O}) \quad (10)$$

$$Mg_{SIL} = 9.23\ (Mg_{TOT} - Mg_{CO3} - Mg_{EXCH} - Mg_{H2O}) \quad (11)$$

$$Mg_{EXCH} = 0.001215\ \beta_{MG}\ CEC_{CALC} \quad (12)$$

$$\beta_{MG} = -0.001967pH^5 + 0.057134\ pH^4 - 0.6328\ pH^3 + 3.3091\ pH^2 - 8.099\ pH + 7.52 \quad (13)$$

Uitwisselbaar Na (Na_{EXCH}) en K (K_{EXCH}) zijn hierin verwaarloosd en op nul gesteld.
De termen Na_{H2O}, K_{H2O} en Mg_{H2O} zijn als volgt ingeschat met S als indicator van de hoeveelheid zeezout, en met resp. de Na/S-, K/S- en Mg/S-verhouding in oceaanwater als vermenigvuldigingsfactor:

$$Na_{H2O} = 11050 / 926\ (S_{TOT} - S_{ORG} - 0.01) \quad (14)$$

$$K_{H2O} = 410 / 926\ (S_{TOT} - S_{ORG} - 0.01) \quad (15)$$

$$Mg_{H2O} = 1322 / 926\ (S_{TOT} - S_{ORG} - 0.01) \quad (16)$$

Aanname is dat S_{TOT} de zeewaterbijdrage vertegenwoordigt na aftrek van organisch S (S_{ORG} zie Eq.25) en een drempelwaarde van 0.01 (100 ppm; voornamelijk atmosferische depositie). IJzersulfiden als bron van S kunnen in vrijwel alle monsters verwaarloosd worden vanwege geelkleuring en gebrek aan H_2S geur.
De bijdragen van Na_{CO3} en Mg_{CO3} aan resp. Eq.9 en 11 (in % d.g.) zijn, hoewel zeer gering, ingeschat op basis van de gemiddelde kalksamenstelling ($Sr_{0.002}Na_{0.024}Mg_{0.002}Ca(CO_3)_{1.016}(H_2PO_4)_{0.0004}$) volgens Stuyfzand (1993), met $CaCO_3$ in % d.g.:

$$Na_{CO3} = 5.51\ 10^{-3}\ CaCO_3 \quad (17)$$

$$Mg_{CO3} = 4.85\ 10^{-4}\ CaCO_3 \quad (18)$$

2.6.6 Berekening SiO2 als restterm

Het totale SiO_2-gehalte, voornamelijk bestaande uit kwarts en diverse (aluminium)silicaten, is als volgt berekend uit het totaal van alle geanalyseerde componenten (alles in % d.g.):

$$SiO2_{TOT} = 100 - (1.889\ Al + 1.348\ Na + 1.205\ K + 1.399\ (Ca - 0.4\ CaCO_3) + CaCO_3 + 1.658\ Mg + 1.43\ Fe + 1.291\ Mn + 2.996\ S + 2.291\ P + 1.668\ Ti + \Sigma\ REE + \Sigma\ Litho_{TE} + \Sigma\ Chalco_{TE} + \Sigma\ Sidero_{TE}) \quad (19)$$

Met Σ REE = som van de Rare Earth Elements, d.w.z. van alle lanthaniden (Σ Lanth) + Sc + Y; $\Sigma\ Litho_{TE}$ = som van de lithofiele (silicaatgesteente-minnende) spore-elementen (TE = Trace Element) m.u.v. alle REE, At, halogenen en het als hoofdelement beschouwde Ti; $\Sigma\ Chalco_{TE}$ = som van de chalcofiele (zwavelminnende) spore-elementen; $\Sigma\ Sidero_{TE}$ = som van de siderofiele (ijzerminnende) spore-elementen:

$$\Sigma\ Litho_{TE} = f_{TE}\ (B + Ba + Be + Cr + Cs + Hf + Li + Nb + Rb + Sr + Ta + Th + U + V + W + Zr) \quad (20)$$

$$\Sigma\ Lanth = f_{TE}\ (La + Ce + Pr + Nd + Pm + Sm + Eu + Gd + Tb + Dy + Ho + Er + Tm + Yb + Lu) \quad (21)$$

$$\Sigma\ REE = \Sigma\ Lanth + f_{TE}\ (Sc + Y) \quad (22)$$

$$\Sigma\ Chalco_{TE} = f_{TE}\ (Ag + As + Bi + Cd + Cu + Ga + Ge + Hg + In + Pb + Po + Sb + Se + Sn + Te + Tl + Zn) \quad (23)$$

$$\Sigma\ Sidero_{TE} = f_{TE}\ (Au + Co + Ir + Mo + Ni + Os + Pd + Pt + Re + Rh + Ru) \quad (24)$$

Met: f_{TE} = conversiefactor voor elk spore-element afzonderlijk, van element naar oxidevorm [-]. Bovenstaande indeling van de elementen is gebaseerd op Goldschmidt (zie b.v. White, 1995-2009; Wedepohl, 1978).
Uit het totale SiO_2 gehalte (bepaald of berekend) is vervolgens het gehalte aan kwarts (plus opaal) berekend met:

$$SiO2_{KWARTS} = SiO2_{TOT} - Na_{SIL} / 3.112 - K_{SIL} / 3.303 - Ca_{SIL} / 4.953 - Mg_{SIL} / 5.327 \quad (25)$$

2.6.7 Berekening zware mineralen en kleimineralen fractie

De som van zware mineralen (dichtheid > 2.8 kg/L) is als volgt berekend, ervan uitgaande dat deze som tenminste uit TiO_2, zirkoon ($ZrSiO_4$) en een ijzeraluminiumsilicaat bestaat zoals biotiet ($KFeMg_2AlSi_3O_{12}H_2$), terwijl ijzerhuidjes ($Fe(OH)_3$) een te lage dichtheid hebben:

$$\Sigma\ zware\ mineralen = 1.668\ Ti + 2.009\ Zr + 8.037\ (Fe - Fe(OH)_3\ /1.914) \quad (26)$$

In bovenstaande is het gehalte aan ijzerhuidjes ontleend aan gegevens in Stuyfzand (1993).
Het gehalte aan kleimineralen is gelijkgesteld aan 0.8 maal de lutumfractie op basis van gegevens in Breeuwsma (1987).

2.6.8 Inschatting organisch en mineraal S en P

De minerale S en P gehalten (S_{MIN} en P_{MIN}) kunnen berekend worden uit de totaal analyses van S en P door hiervan af te trekken de bijdragen van interstitieel water (X_{H2O}) en BOM (C_{ORG}), en door de bijdrage van geadsorbeerd S en P te verwaarlozen. Daarbij dient BOM geschematiseerd te worden als $(CH_2O)_{106}(NH_3)_{16}(H_3PO_4)_X(H_2S)_Y$, met best passende waarden X = Y = 0.5 als overstuivings- of strandtype > 0 (zie par.2.5), anders X = Y = 0.25:

$$S_{MIN} = S_{TOT} - 126\ C_{ORG} - S_{H2O} \quad \text{als overstuivings- of strandtype > 0} \quad (27A)$$

$$S_{MIN} = S_{TOT} - 63\ C_{ORG} - S_{H2O} \quad \text{als overstuivings- of strandtype = 0} \quad (27B)$$

$$P_{MIN} = P_{TOT} - 122\ C_{ORG} - P_{H2O} \quad \text{als overstuivings- of strandtype > 0} \quad (28A)$$

$$P_{MIN} = P_{TOT} - 61\ C_{ORG} - P_{H2O} \quad \text{als overstuivings- of strandtype = 0} \quad (28B)$$

Waarin: S_{MIN}, S_{TOT}, S_{H2O}, P_{MIN}, P_{TOT} en P_{H2O} in ppm, en C_{ORG} in % d.g.
De gehalten aan S_{H2O} en P_{H2O} zijn bij gebrek aan gegevens verwaarloosd. Voor meetpunten beneden de HWL kan S_{H2O} absoluut niet verwaarloosd worden. De S bijdrage kan oplopen tot ca. 85% (zie Tabel 2.3) ! Het organisch gebonden deel van S en P (ppm) is dus gelijk aan resp. 63-126 C_{ORG} en 61-122 C_{ORG} (C_{ORG} in % d.g).
Het verschil in X en Y tussen overstuivings- en strandtype 1-9 (zie Tabel 2.20) enerzijds en overstuivingstype 0 anderzijds schuilt in de dominante aard van het organische materiaal, resp. marien en terrigeen (Perdue & Koprivnjak, 2007).
Bij S_{MIN} valt in de huidige situatie te denken aan mineralen als gips ($CaSO_4.2H_2O$; na indamping), pyriet (FeS_2), bariet ($BaSO_4$), jarosiet ($KFe^{3+}{}_3(OH)_6(SO_4)_2$) en jurbaniet ($AlSO_4(OH)\ 5H_2O$). Onder P_{MIN} zijn in voorliggende situatie mineralen waarschijnlijk zoals P-houdende kalk, apatiet ($Ca_5(PO_4)_3(OH)_2$), P-houdende hydroxiden van driewaardig Fe (zoals ferrihydriet $Fe(OH)_3$ en goethiet FeOOH) en Al ($Al(OH)_3$, gibsiet), en Al-silicaten waaronder granaat en veldspaten. N.B.: bij P_{MIN} en S_{MIN} zijn geadsorbeerde vormen inbegrepen.

2.6.9 Inschatting carbonaatgebonden en ander P en Sr

De P en Sr gehalten zijn gecorrigeerd voor bijdragen van kalk op basis van een gemiddelde kalksamenstelling volgens Stuyfzand (1993; $Sr_{0.002}Na_{0.024}Mg_{0.002}Ca(CO3)_{1.016}(H2PO4)_{0.0004}$) door te nemen, met $CaCO_3$ in % d.g.:

$$P_{OTHER} = P_{MIN} - 1.238\ CaCO_3 \quad (29)$$

$$Sr_{OTHER} = Sr_{TOT} - 17.6\ CaCO_3 \quad (30)$$

Waarin: P_{OTHER} = P in mineralen anders dan kalk [ppm]; Sr_{OTHER} = Sr in mineralen anders dan kalk, waarschijnlijk als bijmenging in Ca-houdende silicaatmineralen en in apatiet [ppm].
Bij Sr_{OTHER} is niet gecorrigeerd voor Sr_{EXCH} en Sr_{H2O} die derhalve verwaarloosd zijn.

2.7 Normalisatie en spiderplots

Het is in de geochemie gebruikelijk (White, 1995-2009) om de gehalten aan spore-elementen, en meer in het bijzonder die van de zeldzame aarden, te normaliseren door ze te delen door het gehalte ervan in een bepaalde standaard. Als standaard wordt dikwijls gekozen voor een bepaalde of gemiddelde chondriet (silicaatrijke meteoriet zonder sporen van smelten of differentiatie), een bepaald gesteente (b.v. kleischalie) of de gemiddelde samenstelling van de continentale aardkorst of aardbodem.
Een zogenaamde 'spiderplot' ontstaat wanneer de logaritme van de genormaliseerde gehalten van een aantal spore-elementen (eventueel incl. enkele hoofdelementen) geplot wordt tegen de elementen na opklimmende sortering van deze elementen. Een voorbeeld staat in Fig.2.21, waarbij de elementsortering geschiedde op basis van de gemiddelde uitkomsten voor de 22 meetraaien.

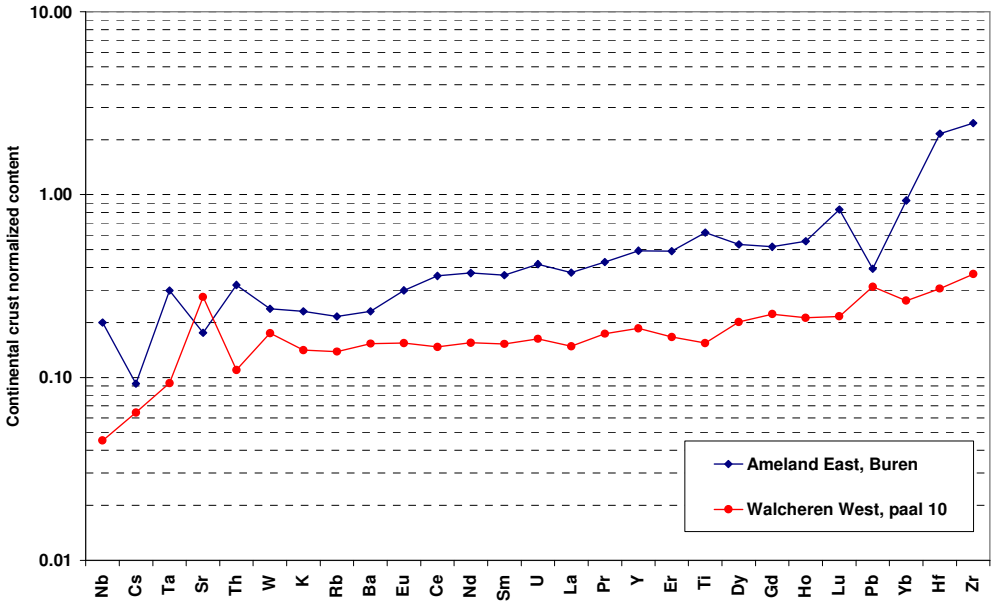


FIG. 2.21. Spiderplot van alle zandmonsters van de locaties Ameland Oost en Walcheren West.

2.8 Luminescentie datering

Alle monsters van meetlocatie 2 (De Hors en omgeving) zijn genomen op dezelfde meetpunten als waar Van Heteren et al. (2006) bodemmonsters dateerden via luminescentie techniek (zie ook Ballarini et al., 2003). De resulterende datering geeft de ouderdom van het sediment sinds laatste afzetting onder volledige lichtuitsluiting.

3 Indeling in en kartering van zandtypen

3.1 Indeling

Alle 683 bemonsterde duin- en strandzanden zijn ingedeeld op basis van 4 criteria, conform het in par.2.5 en Fig.2.20 gepresenteerde zandklassificatiesysteem. Dit resulteerde in het onderscheiden van 73 zandtypen met indeling in 14 hoofdklassen op basis van herkomst en overstuivings- of strandtype (Tabel 3.1). , De focus van dit hoofdstuk is gericht op de 14 zandklassen uit Tabel 3.2.
Op basis van Tabel 3.2 worden in het vervolg (Ch4 en Ch5) navolgende situaties vergeleken:

1. Wel en niet gesuppleerd strandzand, voor zowel Waddendistrict (W9-W5) als Rhenodunaal distrikt (R9-R5);
2. Niet gesuppleerd strandzand versus overstuiving zonder suppleties, voor zowel Waddendistrict (W9-W1) als Rhenodunaal distrikt (R9-R1);
3. Wel gesuppleerd strandzand versus overstuiving met strandsuppleties, voor zowel Waddendistrict (W5-W3) als Rhenodunaal distrikt (R5-R3);
4. Overstuiving met duinverzwaring versus overstuiving met strandsuppleties, alleen mogelijk in Rhenodunale district (R4-R3);
5. Overstuiving met strandsuppleties versus overstuiving met vooroeversuppleties, alleen mogelijk in Waddendistrict (W3-W2);
6. Overstuiving met strandsuppleties versus overstuiving zonder suppleties, voor zowel Waddendistrict (W3-W1) als Rhenodunaal distrikt (R3-R1);
7. Overstuiving met strandsuppleties versus kalkarm tot zeer kalkrijk duinzand zonder overstuiving, voor zowel Waddendistrict (W3-W01) als Rhenodunaal distrikt (R3-R01);
8. Overstuiving met strandsuppleties versus kalkloos duinzand zonder overstuiving, voor zowel Waddendistrict (W3-W00) als Rhenodunaal distrikt (R3-R00);
9. Gesuppleerd strandzand in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W5-R5);
10. Overstuiving met strandsuppleties in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W3-R3);
11. Kalkarm tot zeer kalkrijk duinzand zonder overstuiving in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W01-R01);
12. Kalkloos duinzand zonder overstuiving in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W00-R00).

Binnen elk van de onderscheiden 14 zandklassen onderscheiden zich zandtypen op basis van verschillen in kalk- en titaniumgehalte. Deze verschillen krijgen aandacht in Ch.5.

3.2 Kartering

De ruimtelijke verdeling van alle 73 zandtypen, met kleurindeling volgens de 14 hoofdklassen, is voor elk van de 22 meetraaien weergegeven in Fig.3.1. De monsternummers zijn op enkele uitzonderingen na gerangschikt op afstand tot de HWL (landinwaarts toenemend) en daarbinnen van ondiep naar diep.
Uit Fig.3.1 valt o.a. het volgende op te merken:

- de scheiding tussen het Waddendistrict en Rhenodunale district bevindt zich in dit onderzoek tussen raai 13 (Bergen Zuid) en 14 (Heemskerk), waarbij Bergen (11-13) zoals bekend een overgangszone vormt.
- ontkalkt duinzand komt alleen achter de zeereep voor, relatief weinig bij meetraai 1 (Ameland Oost), veel bij meetraaien 2-10 (Ameland West – Schoorl Zuid), en in het Rhenodunale district alleen bij meetraaien 17 (Monster/Zandmotor), 21 en 22 (Walcheren).

- Meetraai 20 (Schouwen Meeuwenduinen) vertoont ondanks strandsuppleties nauwelijks overstuiving daarvan.
- De hoogste kalkgehalten op lokaties zonder overstuiving zien we bij Heemskerk (14), Voorne (18) en Schouwen (20), en op lokaties met duinverzwaring (17, 18 en 22). De relatief hoge kalkgehalten bij Schouwen en Walcheren stammen o.a. van fossiele schelpenbanken in strandafzettingen (mond. meded. Van Haperen).
- De hoogste titaniumgehalten (klasse 3) komen voor in niet-overstoven duinzand in het Waddendistrict, terwijl zij alleen daar tevens in suppletiezand voorkomen.

TABEL 3.1. Indeling van de 683 zandmonsters in 14 zandklassen (W00-W9, R00-R9) en 73 zandtypen volgens het klassificatiesysteem in Fig.2.20. De zandklassen onderscheiden zich alleen op basis van herkomst (Wadden- of Rhenodunaal district) en overstuivings- of strandtype. De zandtypen onderscheiden zich daarbinnen op grond van kalk- en titaniumgehalte.

WADDENDISTRICT								RHENODUNAAL DISTRICT							
W9		W3		W2		W01		R9		R4		R1		R01	
W911	1	W323	2	W221	6	W023	3	R930	3	R431	9	R121	5	R021	23
W910	7	W322	5	W220	9	W022	3	R920	6	R430	6	R120	9	R020	40
W900	1	W321	11			W020	1	R910	1	R421	4	R112	2	R012	6
		W320	43	W1		W013	4			R420	12	R111	3	R011	3
W5		W313	7	W111	2	W012	12	R5		R410	8	R110	4	R010	2
W523	1	W312	16	W110	23	W011	14	R531	1						
W521	2	W311	18	W103	1	W010	23	R530	8	R3		R01		R00	
W520	10	W310	33	W102	2			R521	3	R331	1	R033	1	R002	8
W513	2	W300	7			W00		R520	11	R330	1	R032	2	R001	14
W512	2					W003	9			R323	1	R031	4		
W511	1					W002	38			R322	2	R030	14		
W510	7					W001	31			R321	22	R022	7		
W500	2					W000	54			R320	22				

TABEL 3.2. Indeling van de 683 zandmonsters in 14 zandklassen volgens het klassificatiesysteem in Fig.2.20. Daarbij zijn zandmonsters onderscheiden alleen op basis van herkomst (Wadden- of Rhenodunaal district) en overstuivings- of strandtype.

WADDENDISTRICT			RHENODUNAAL DISTRICT		
	Aantal			Aantal	
W9	11	Strandzand zonder suppletie	R9	10	Strandzand zonder suppletie
W5	27	Strandzand met suppletie	R5	23	Strandzand met suppletie
W3	142	Overstuiving + strandsuppleties	R4	39	Overstuiving + duinverzwaring
W2	15	Overstuiving + vooroeversuppleties	R3	49	Overstuiving + strandsuppletie
W1	28	Overstuiving zonder suppleties	R1	23	Overstuiving zonder suppleties
W01	60	Kalkhoudend, erosie / geen overstuiving	R01	102	Kalkhoudend, erosie / geen overstuiving
W00	132	Kalkloos, erosie / geen overstuiving	R00	22	Kalkloos, erosie / geen overstuiving
Som	415		Som	268	

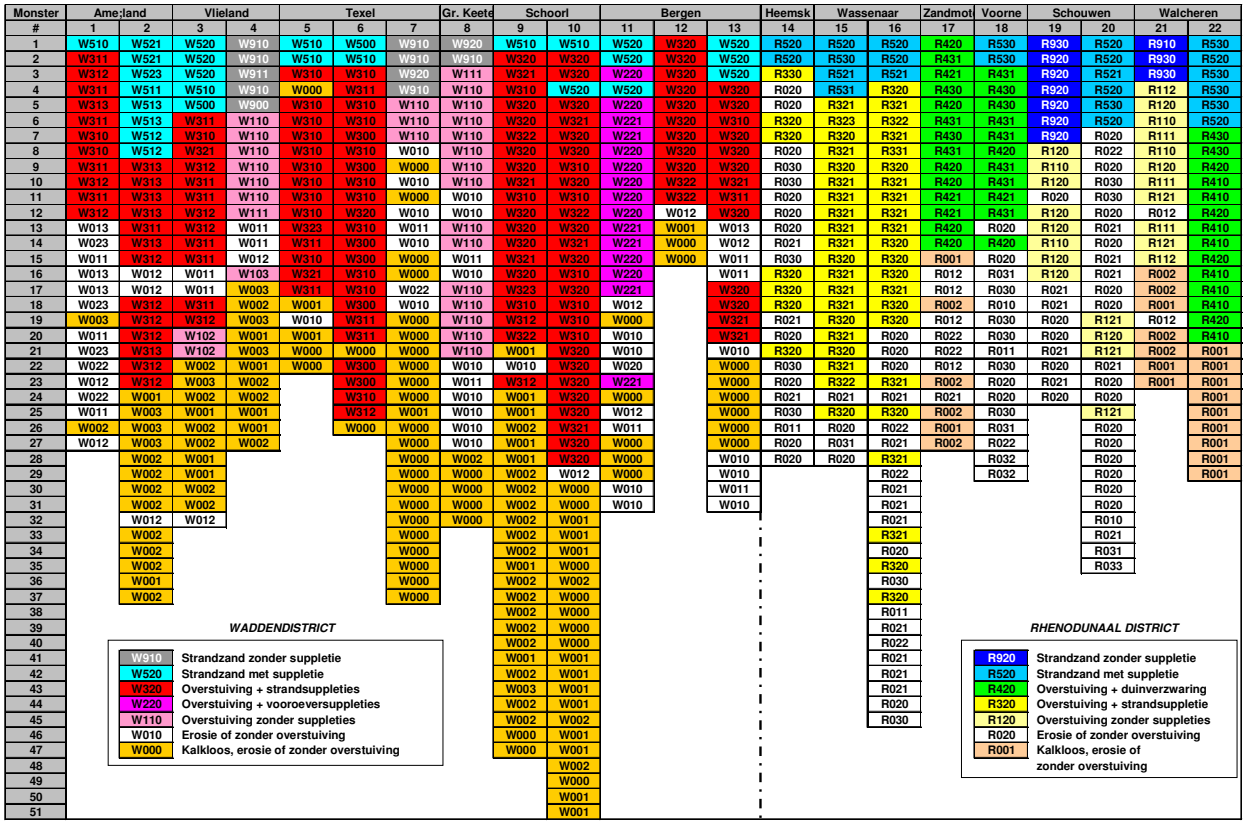


FIG. 3.1. Ruimtelijke verdeling van 73 zandtypen, met indeling in 14 verschillend gekleurde zandklassen, langs de 22 meetraaien van Ameland t/m Walcheren.

4 Korrelgrootteverdeling

4.1 Korrelgrootteverdeling van de hele dataset

Alle individuele analyseresultaten van de korrelgrootteverdeling zijn gelist in het databestand 'Geochemie kustzand Stuyfzand2012.XLS', downloadbaar van www.kwrwater.nl (zoek in 'publications', en daar in 'rapporten').
Belangrijke kengetallen van de bemonsterde lokaties en gemiddelde korrelgrootteverdeling voor het hele databestand van 683 monsters strand- en duinzand zijn gepresenteerd in Tabel 4.1. Daarbij dient bedacht te worden dat de aangegeven <-waarden (<2, <16 µm etc.) corresponderen met iets hogere laserklassen (<8, <22 µm etc.) conform kanttekeningen in par.2.2. Dergelijke verschuivingen gelden niet voor de percentielen (P10, P50, P60, P90), gemiddelde en modus; zij hebben direct betrekking op de ongecorrigeerde laser-resultaten.
Het zand kan volgens Locher & de Bakker (1987) gekarakteriseerd worden als eentoppig, tamelijk goed gesorteerd, leem- en grindarm, matig grof zand. Daarbij zij opgemerkt dat kalk (grotendeels bestaande uit schelp(fragment)en, maar ook uit kalksteenkorrels, microfossielen en precipitaat; Eisma, 1968; Van Haperen, 2009) en organische stof verwijderd zijn vóór de bepaling. Uit de verdeling volgt verder dat deze een positieve scheefheid en kurtosis (gepiektheid) kent, en dat bijgevolg het volgende geldt: mediaan ≈ logaritmische gemiddelde < modus < rekenkundig gemiddelde.

TABEL 4.1. Kengetallen van de gemiddelde korrelgrootteverdeling voor het hele databestand van 683 monsters strand- en duinzand langs de Nederlandse kust.
X-HWL = afstand meetpunt tot HoogWaterLijn; MV = MaaiVeld; Sedimentatie = in periode 1997-2009 (negatief = erosie); St.Dev = standaarafwijking; CV = coëfficiënt van variatie; Skew = scheefheid; Kurt = kurtosis (mate van gepiektheid).

	Unit	Min	Gemidd.	Max	n	St.Dev	CV [%]	Skew	Kurt
Locatiekenmerken									
Diepte	**m-MV**	**0.01**	**0.44**	**6.0**	**683**	**0.59**	**133**	**5.6**	**43.2**
	m+NAP	**-0.8**	**7.2**	**20.5**	**683**	**4.9**	**68**	**0.6**	**-0.5**
X-HWL	**m**	**-89**	**250**	**2883**	**683**	**347**	**139**	**3.4**	**15.5**
2009 MV	**m+NAP**	**-0.5**	**7.6**	**20.6**	**683**	**4.9**	**65**	**0.6**	**-0.5**
Sedimentatie	**m**	**-7.2**	**0.6**	**9.2**	**683**	**1.9**	**321**	**0.0**	**4.6**
1997 MV	**m+NAP**	**-2.0**	**7.0**	**20.3**	**683**	**5.0**	**72**	**0.8**	**-0.1**
Korrelgrootteverdeling									
<2	**%**	**0.2**	**0.7**	**3.8**	**683**	**0.3**	**47**	**4.0**	**28.2**
<16	**%**	**0.3**	**0.9**	**7.0**	**683**	**0.6**	**67**	**3.9**	**25.1**
<32	**%**	**0.3**	**1.1**	**8.2**	**683**	**0.8**	**72**	**3.8**	**21.7**
<64	**%**	**0.5**	**1.7**	**10.8**	**683**	**1.2**	**71**	**3.2**	**13.9**
<210	**%**	**5.4**	**42.9**	**91.8**	**683**	**18.9**	**44**	**0.4**	**-0.5**
P10	**um**	**58**	**174**	**273**	**683**	**29**	**17**	**0.5**	**1.2**
P50 (mediaan)	**um**	**178**	**274**	**459**	**683**	**46**	**17**	**0.6**	**0.3**
P60	**um**	**190**	**297**	**507**	**683**	**51**	**17**	**0.5**	**0.3**
P90	**um**	**246**	**426**	**874**	**683**	**86**	**20**	**0.6**	**1.2**
P60/P10		**1.5**	**1.7**	**4.7**	**683**	**0.2**	**12**	**6.0**	**78.7**
P90/P10		**1.8**	**2.5**	**7.3**	**683**	**0.4**	**17**	**3.1**	**29.8**
Rekenk. Gemiddelde	**um**	**203**	**315**	**559**	**683**	**55**	**17**	**0.5**	**0.5**
Modus	**um**	**210**	**299**	**595**	**683**	**52**	**17**	**1.0**	**1.5**
Log. Gemidd = 2^{-phi}	**um**	**167**	**278**	**493**					
Gemidd. phi		**1.02**	**1.85**	**2.58**	**683**	**0.3**	**15**	**0.4**	**-0.4**
Stand. Dev phi		**0.49**	**0.66**	**1.36**	**683**	**0.1**	**19**	**0.8**	**0.8**
Skewness phi		**-0.29**	**2.97**	**8.07**	**683**	**3.1**	**104**	**0.2**	**-1.8**
Kurtosis phi		**3.28**	**32.81**	**107.55**	**683**	**32.5**	**99**	**0.4**	**-1.5**

phi = $-^{2}$log(korrelgrootte in mm)

4.2 Korrelgrootteverdeling per meetraai

Voor elke meetraai is de gemiddelde korrelgrootteverdeling bepaald om structurele veranderingen langs de Nederlandse kust in beeld te brengen. Het resultaat staat voor 17 kengetallen in Tabel 4.2, voor 4 kengetallen (P10, P50 = mediaan, P90 en rekenkundig gemiddelde) in Fig.4.1, terwijl de gemiddelde korrelgrootteverdeling voor elke meetraai is weergegeven in Fig.4.2 (normale schaal) en Fig.4.3 (dubbel-log schaal). Tenslotte is de ruimtelijke verdeling van de lutumfractie en gemiddelde korrelgrootte in kaart gebracht voor alle 683 monsters, door deze in een matrix te sorteren op achtereenvolgens meetraai, afstand tot de zee en diepteligging ten opzichte van maaiveld. Fig.4.4 toont het resultaat.

Uit al het gepresenteerde materiaal kunnen de volgende conclusies getrokken worden, met tussen haakjes de betreffende meetraai-nummers:

- gemiddeld de grofste zanden zijn aangetroffen op Texel (5, 6) en Walcheren (21, 22).
- gemiddeld de fijnste zanden bevinden zich op Ameland (1, 2), Vlieland (3, 4) en Voorne (18).
- gemiddeld het meeste klei en slib bevatten de zanden van Texel Zuid (7), terwijl die van Walcheren (21, 22) het laagste gehalte hieraan vertonen.
- de zanden van Ameland (1, 2) gevolgd door die van Walcheren (21, 22) en Heemskerk (14) vertonen gemiddeld de beste sortering, die van Texel de Hors (7) en Wassenaar (15-16) de slechtste.
- de zanden van Texel t/m Wassenaar (5-16 met uitzondering van Heemskerk = 14) benaderen het beste een log-normale korrelgrootteverdeling zichtbaar aan de lage scheefheid en kurtosis (voor phi), terwijl die van Ameland (1, 2), Vlieland (3, 4), Heemskerk (14) en Monster t/m Walcheren (17-22) duidelijk schever en gepiekter zijn.

4.3 Korrelgrootteverdeling per zandklasse

Voor elk van de 14 onderscheiden zandklassen (zie Tabel 3.2) is de gemiddelde korrelgrootteverdeling bepaald om structurele verschillen hiertussen in beeld te brengen. Het resultaat staat voor 18 kengetallen in Tabel 4.3, samen met enkele lokatiekenmerken. De gemiddelde korrelgrootteverdeling voor elke zandklasse is weergegeven in Fig.4.5 (normale schaal) en Fig.4.6 (dubbel-log schaal).
Uit het gepresenteerde trekken we de volgende conclusies:

- R4 en R5 vormen gemiddeld de grofste zandklasse, W01 en R01 (gevolgd door W00) de fijnste.
- gemiddeld het meeste klei en slib bevatten de zandklassen W01 en W00 (gevolgd door R01), terwijl zandklasse R1 (gevolgd door W9 en W5) het laagste gehalte hieraan vertoont.
- zandklassen R1 en R00 vertonen gemiddeld de beste sortering, zandklasse R3 (gevolgd door W9) de slechtste.
- zandklassen W2 en R3 benaderen het beste een log-normale korrelgrootteverdeling zichtbaar aan de lage scheefheid en kurtosis (voor phi), terwijl zandklassen R1 en R00 duidelijk het scheefst en meest gepiekt verdeeld zijn.

TABEL 4.2. Kengetallen van de gemiddelde korrelgrootteverdeling van strand- en duinzand voor de 22 meetraaien langs de Nederlandse kust. N.B.: exclusief verwijderde kalk en organische stof.

Trans	Locatie	<2	<16	<32	<64	<210	P10	P50	P60	P90	Sortering		Gemidd	Modus	Gemidd	St. dev	Skew	Kurt
#		%					um				P60/P10	P90/P10	um		phi eenheid			
1	Ameland East, Buren	0.7	0.8	0.9	1.4	75.3	147	211	226	299	1.54	2.04	237	229	2.31	0.77	6.63	66.79
2	Ameland West, Hollum	0.6	0.7	0.8	1.2	74.0	153	216	230	297	1.51	1.95	243	250	2.27	0.75	6.82	72.38
3	Vlieland, Mid	0.6	0.7	0.7	1.2	57.9	161	239	257	359	1.60	2.22	274	260	2.12	0.76	6.04	64.10
4	Vlieland, West	0.6	0.8	0.9	1.5	59.2	160	237	255	344	1.59	2.15	267	259	2.15	0.76	6.35	67.33
5	Texel, Westerduinen (N)	0.7	1.1	1.4	2.2	28.5	187	311	340	502	1.86	2.75	361	341	1.57	0.56	0.21	4.30
6	Texel, Westerduinen (Z)	0.5	0.8	0.9	1.5	24.3	201	327	358	536	1.79	2.67	384	352	1.49	0.57	0.17	4.32
7	Texel, De Hors	1.1	1.6	1.9	3.0	46.8	153	262	288	435	1.93	2.92	306	282	1.80	0.57	0.13	3.91
8	Groote Keeten	0.7	1.1	1.3	2.1	34.6	178	293	322	484	1.81	2.71	344	312	1.64	0.57	0.10	4.10
9	Schoorl (N)	0.7	0.9	1.0	1.6	37.6	177	278	302	441	1.71	2.50	322	298	1.72	0.53	0.16	4.23
10	Schoorl (Z)	0.6	0.7	0.8	1.4	36.8	178	281	305	448	1.72	2.52	326	300	1.70	0.54	0.15	4.21
11	Bergen aan Zee (N)	0.7	1.0	1.1	1.7	37.8	176	277	301	441	1.72	2.51	322	299	1.72	0.53	0.13	4.27
12	Bergen aan Zee (M)	0.8	1.3	1.5	2.4	43.1	166	265	287	415	1.74	2.52	304	294	1.79	0.53	0.22	4.37
13	Bergen aan Zee (Z)	0.9	1.3	1.5	2.4	41.5	167	269	293	433	1.78	2.63	313	289	1.76	0.54	0.16	4.29
14	Heemskerk	0.5	0.6	0.7	1.1	36.3	189	276	296	399	1.56	2.11	313	292	1.91	0.75	6.52	72.26
15	Wassenaar (N)	0.6	0.9	1.0	1.9	35.7	170	295	327	500	1.92	2.94	348	328	1.65	0.61	0.14	3.86
16	Wassenaar (Z)	0.8	1.2	1.5	2.5	44.1	158	271	299	450	1.89	2.85	317	296	1.77	0.58	0.17	3.85
17	Zandmotor, Solleveld Monster	0.7	1.0	1.1	1.7	45.4	169	281	310	458	1.82	2.67	327	319	1.95	0.89	5.00	45.77
18	Voorne	0.8	1.1	1.2	2.0	60.4	154	234	253	351	1.65	2.28	269	257	2.20	0.86	5.46	50.48
19	Schouwen Verklikkerduinen	0.5	0.6	0.7	1.0	40.5	178	270	293	404	1.64	2.27	312	292	1.94	0.77	5.74	62.39
20	Schouwen Meeuwenduinen	0.6	0.8	0.9	1.5	44.3	172	268	291	406	1.71	2.39	306	296	1.98	0.80	5.60	57.94
21	Walcheren East, paal 7	0.4	0.5	0.6	0.8	14.9	233	339	364	484	1.57	2.08	380	380	1.62	0.73	7.13	84.04
22	Walcheren West, paal 10	0.4	0.5	0.6	0.8	14.1	237	351	377	506	1.59	2.13	394	389	1.58	0.73	6.93	81.64

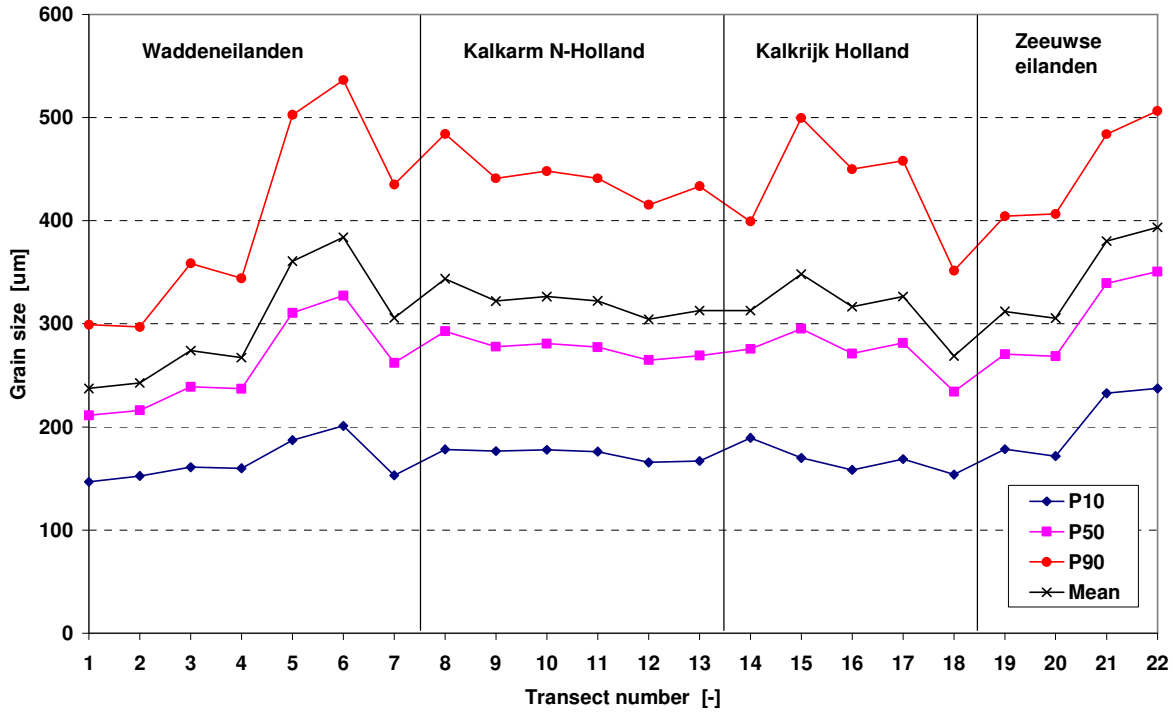


FIG. 4.1. Gemiddelde korrelgrootteverdeling voor de 22 meetraaien langs de Nederlandse kust. PX = percentielwaarde voor X (P10 = 10% van korrels ≤ aangegeven korrelgrootte). Mean = rekenkundig gemiddelde.

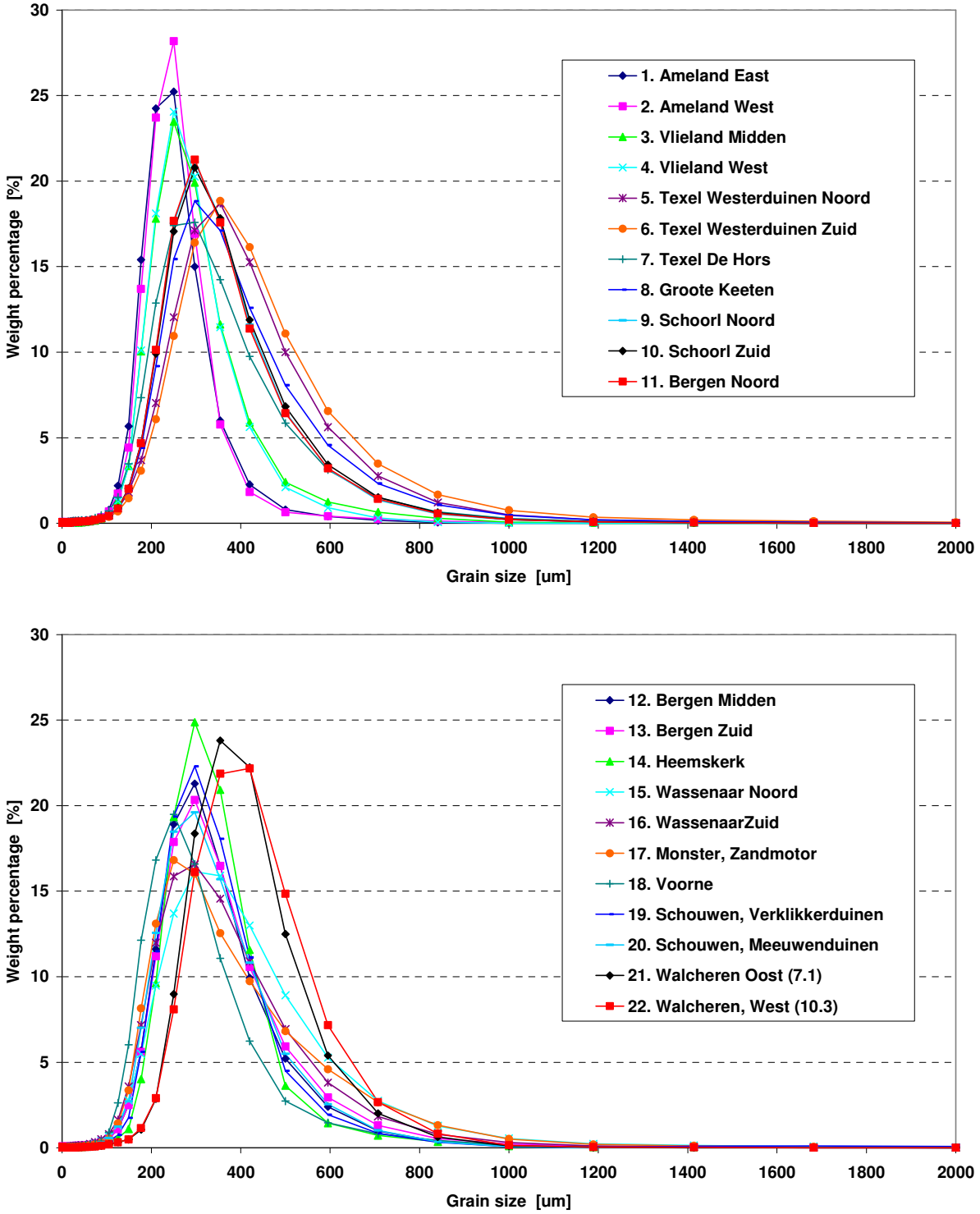


FIG. 4.2. Gemiddelde korrelgrootteverdeling voor de 22 meetraaien langs de Nederlandse kust. N.B.: exclusief verwijderde kalk en organische stof.

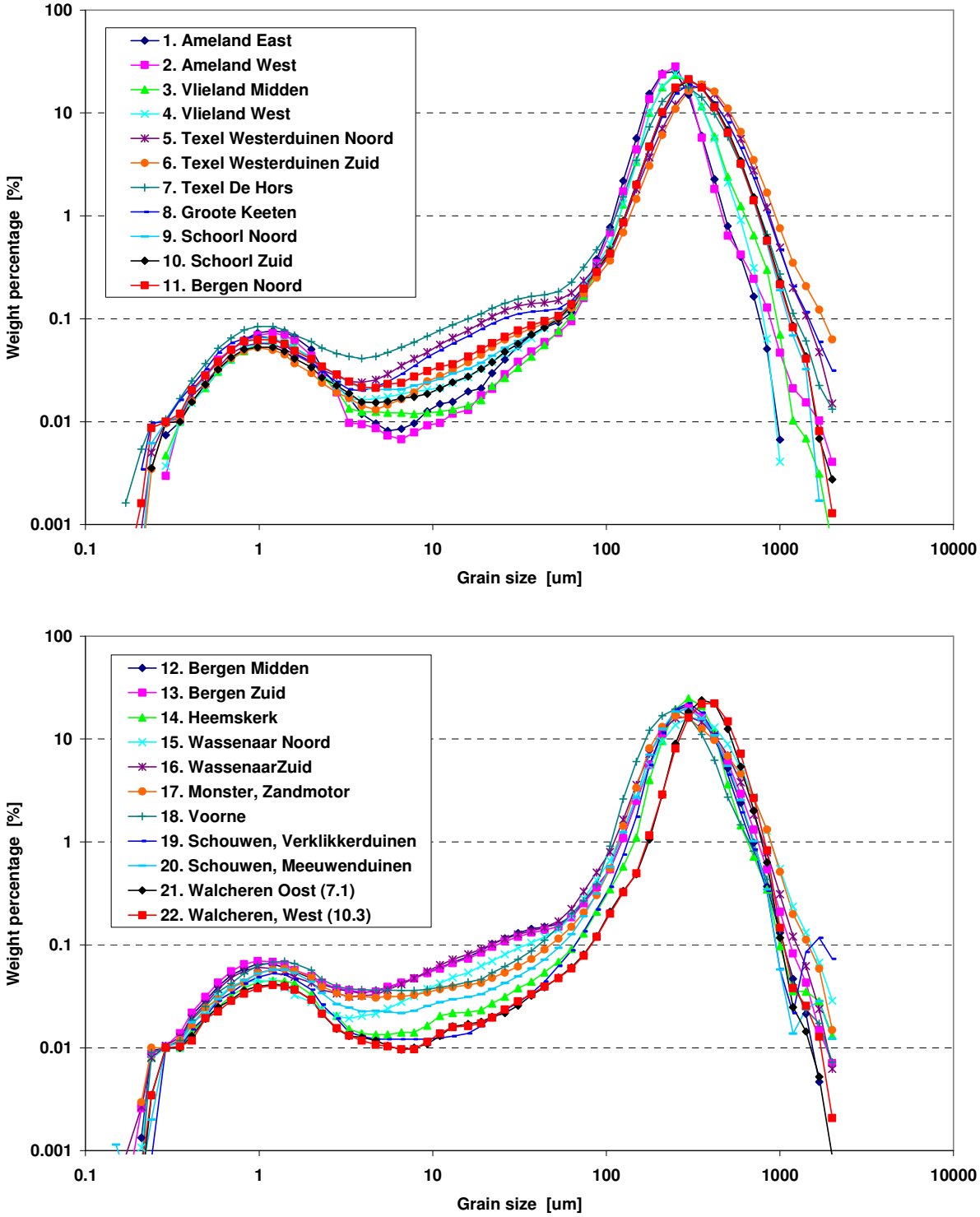
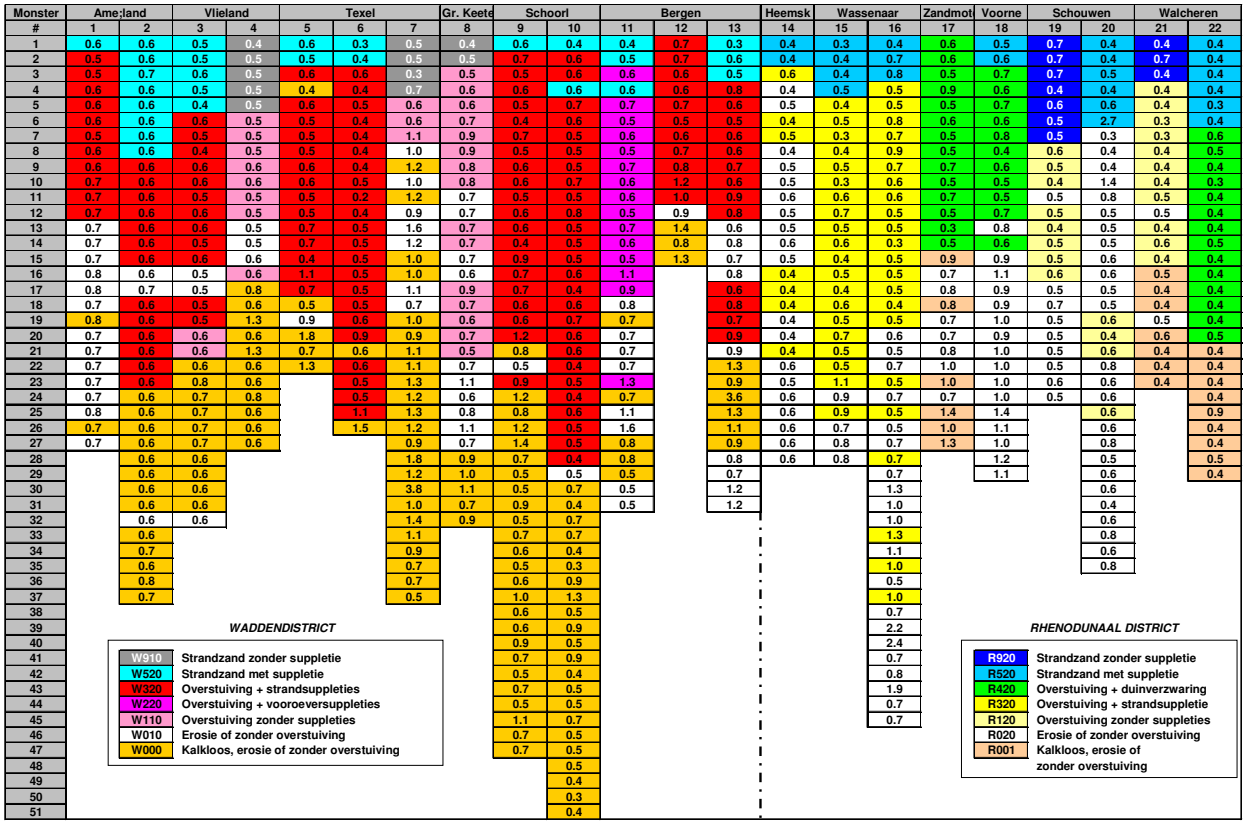


FIG. 4.3. Als Fig.4.2 maar nu op dubbel-log schaal, ter accentuatie van verschillen rond 1 µm. Gemiddelde korrelgrootteverdeling voor de 22 meetraaien langs de Nederlandse kust. N.B.: exclusief verwijderde kalk en organische stof.



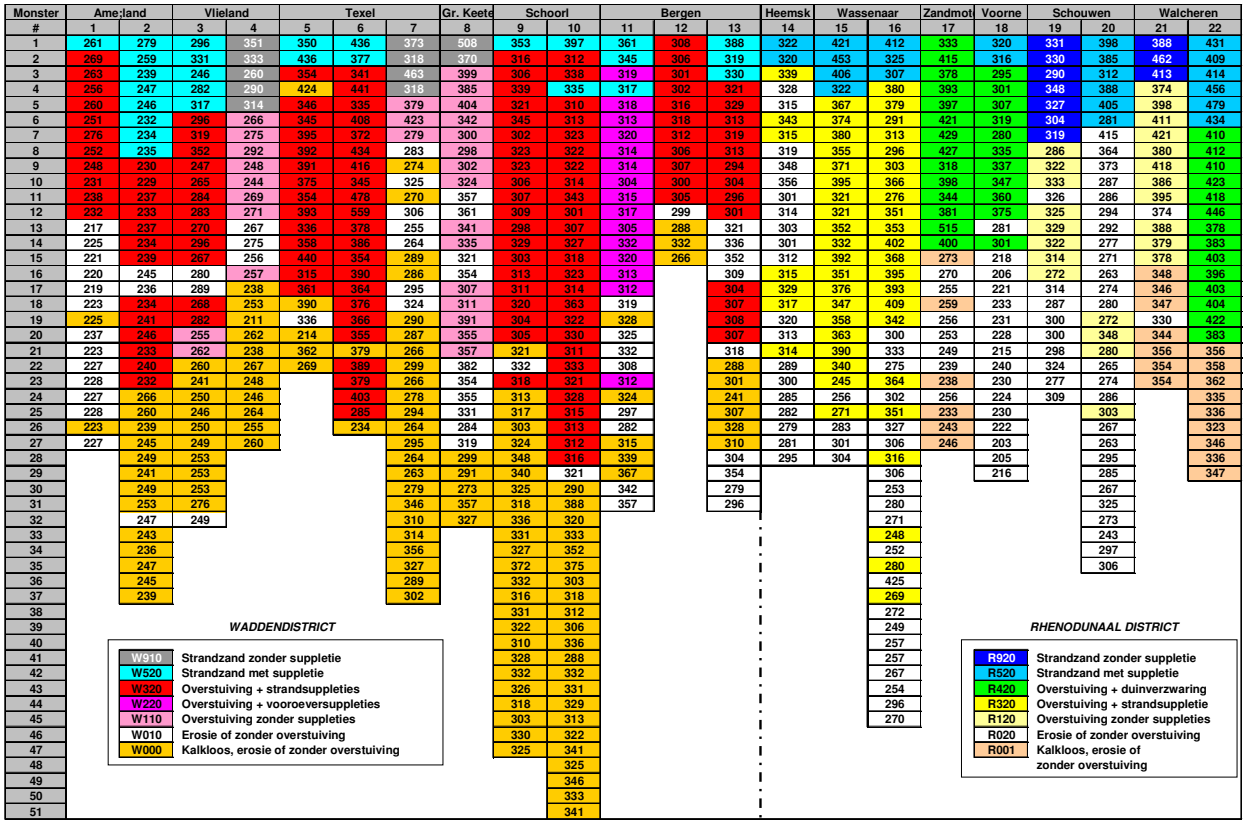
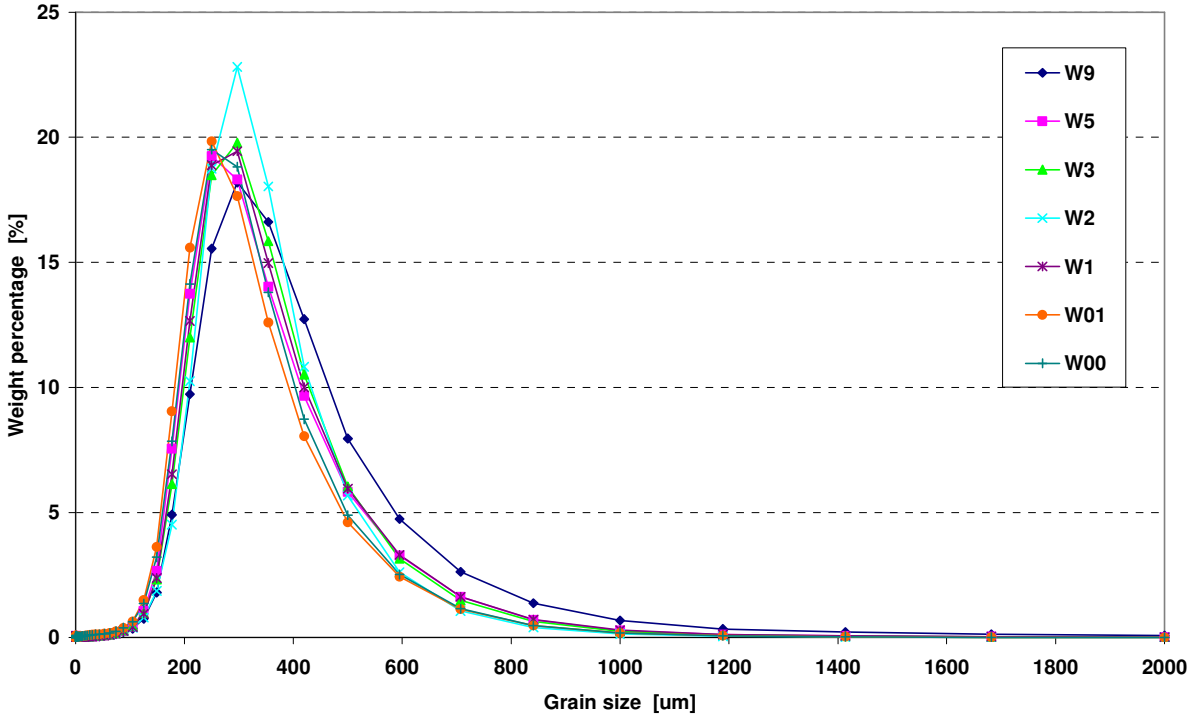


FIG. 4.4. Ruimtelijke verdeling van de lutumfractie (%; boven) en rekenkundig gemiddelde korrelgrootte (µm; onder) van strand- en duinzand langs de 22 meetraaien van Ameland t/m Walcheren, met indeling in 14 verschillend gekleurde zandklassen.

TABEL 4.3. Overzicht van kengetallen van de korrelgrootteverdeling voor de 14 zandklassen. Turquoise = op strand; roodbruin = overstuiving met suppleties; wit = overstuiving zonder suppleties; lichtgeel = zonder overstuiving (eventueel met erosie). X-HWL = afstand tot de hoogwaterlijn; Sedim = netto sedimentatie in periode 1997-2009/2011 (als <0 dan erosie); Mean CV = gemiddelde variatiecoëfficiënt= 100 σ / x_{GEMIDD} [%].

Zand	Aantal	Diepte		X-HWL	Sedim	<2	<16	<32	<64	<210	P10	P50	P60	P90
klasse	monsters	cm-MV	m+NAP	m	m	%					um			
W9	11	24	0.4	9	0.1	0.48	0.57	0.6	1.0	34.3	185	302	331	499
W5	27	28	0.6	28	-0.4	0.53	0.64	0.7	1.1	46.1	177	270	293	419
W3	142	38	9.1	100	1.6	0.60	0.78	0.9	1.4	42.1	177	275	298	428
W2	15	23	10.0	71	1.9	0.69	0.91	1.0	1.6	38.4	178	274	295	422
W1	28	34	8.0	146	2.0	0.65	0.82	0.9	1.4	43.4	175	273	297	433
W01	60	84	6.7	325	-0.7	0.78	1.13	1.3	2.2	52.8	159	252	274	396
W00	132	48	6.8	509	-0.1	0.84	1.21	1.4	2.2	49.3	161	257	280	406
R9	10	26	2.1	235	0.3	0.54	0.68	0.7	1.1	28.9	201	307	334	467
R5	23	29	0.7	-20	0.1	0.55	0.72	0.8	1.2	24.0	208	329	358	514
R4	39	32	7.4	195	2.6	0.53	0.67	0.7	1.1	23.3	209	331	361	515
R3	49	31	9.3	83	1.6	0.57	0.88	1.1	1.9	34.8	175	293	322	479
R1	23	32	6.8	279	0.8	0.43	0.50	0.5	0.8	23.6	216	318	342	458
R01	102	58	8.5	344	-0.6	0.73	1.00	1.1	1.9	52.7	159	248	268	377
R00	22	34	4.4	380	0.0	0.62	0.81	0.9	1.4	34.6	193	285	307	410
Mean CV	683	90	66	113	50	35	46	49	50	42	14	14	14	17

Zand	Aantal	Diepte		X-HWL	Sedim	Sortering		Gemidd	Modus	Log. Gem	Gemidd	St. dev	Skew	Kurt
klasse	monsters	cm-MV	m+NAP	m	m	P60/P10	P90/P10	um			phi eenheid			
W9	11	24	0.4	9	0.1	1.78	2.67	355	331	309	1.70	0.67	2.91	34.91
W5	27	28	0.6	28	-0.4	1.65	2.35	313	294	273	1.87	0.66	3.28	36.47
W3	142	38	9.1	100	1.6	1.68	2.40	317	300	288	1.79	0.59	1.80	20.97
W2	15	23	10.0	71	1.9	1.65	2.37	315	297	300	1.74	0.50	0.16	4.45
W1	28	34	8.0	146	2.0	1.69	2.45	317	292	283	1.82	0.62	2.33	27.13
W01	60	84	6.7	325	-0.7	1.72	2.48	291	270	261	1.94	0.64	2.52	27.27
W00	132	48	6.8	509	-0.1	1.77	2.56	297	278	270	1.89	0.62	1.86	20.97
R9	10	26	2.1	235	0.3	1.67	2.33	351	335	292	1.78	0.80	5.92	62.53
R5	23	29	0.7	-20	0.1	1.74	2.52	379	366	324	1.63	0.74	4.41	50.87
R4	39	32	7.4	195	2.6	1.75	2.51	379	371	313	1.67	0.81	5.78	61.91
R3	49	31	9.3	83	1.6	1.86	2.77	341	318	311	1.68	0.62	1.11	14.31
R1	23	32	6.8	279	0.8	1.59	2.13	359	352	304	1.72	0.72	6.66	78.82
R01	102	58	8.5	344	-0.6	1.70	2.39	284	270	242	2.05	0.75	4.49	46.14
R00	22	34	4.4	380	0.0	1.60	2.15	320	318	268	1.90	0.79	6.47	69.59
Mean CV	683	90	66	113	50	8	13	15	14	13	13	13	85	79



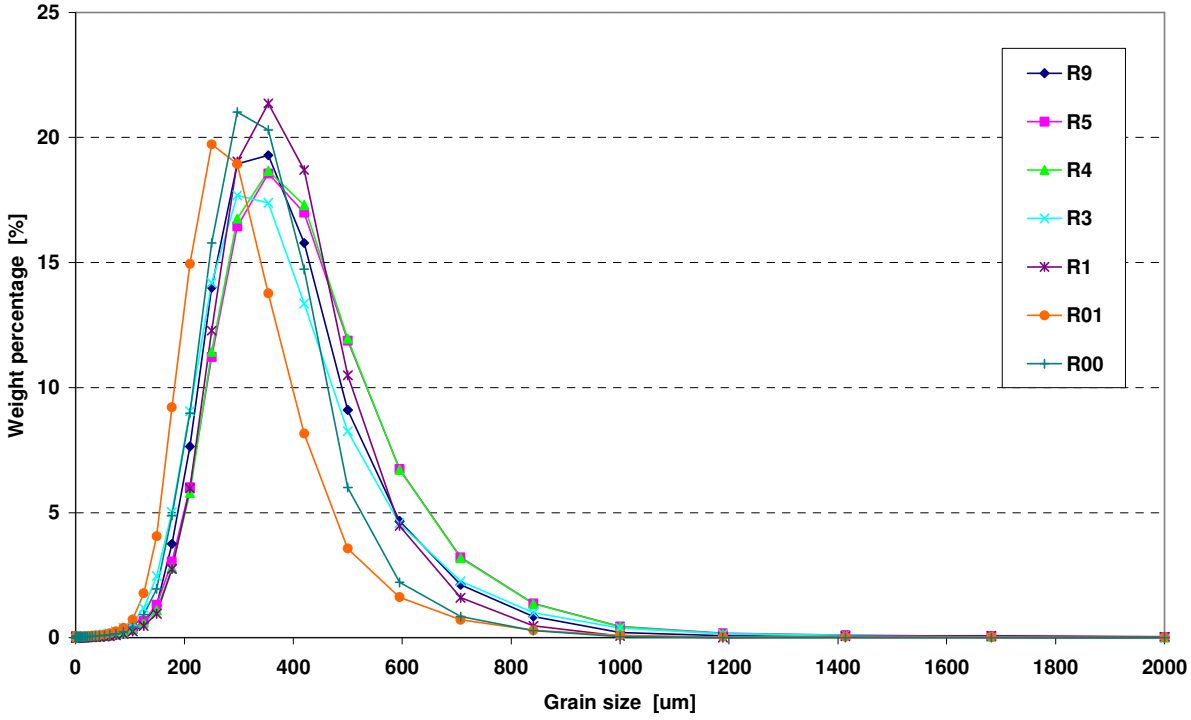
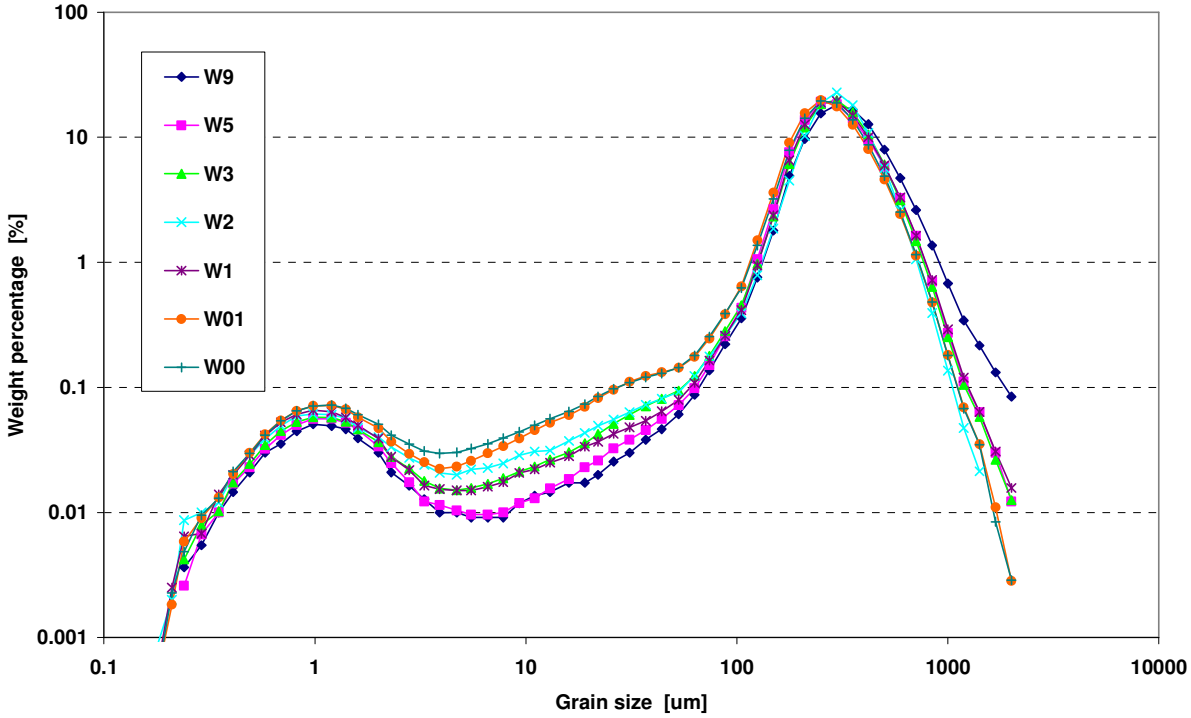


FIG. 4.5. Gemiddelde korrelgrootteverdeling voor de 14 zandklassen langs de Nederlandse kust. N.B.: exclusief verwijderde kalk en organische stof.



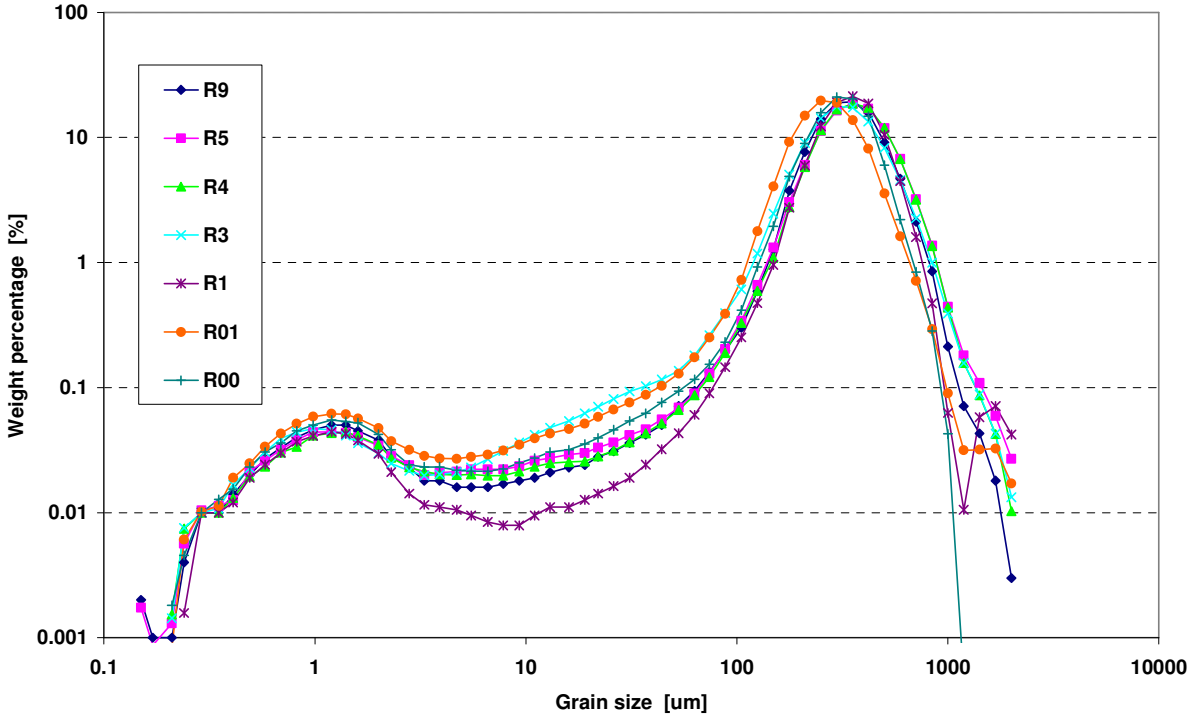


FIG. 4.6. Als Fig.4.5 maar nu op dubbel-log schaal, ter accentuatie van verschillen rond 1 µm. Gemiddelde korrelgrootteverdeling voor de 14 zandklassen langs de Nederlandse kust. N.B.: exclusief verwijderde kalk en organische stof.

4.4 Een relatie met de afstand tot de hoogwaterlijn?

In Fig.4.7 zijn de gemiddelde korrelgrootte en het lutumgehalte uitgezet tegen de afstand tot de HWL, voor de 4 aangegeven deelgebieden langs de kust. Dit zijn de enige parameters die in de correlatiematrix (Tabel 4.4) een interessant lineair verband vertonen, ook al zijn zij erg zwak.
De gemiddelde korrelgrootte neemt iets af met toenemende afstand tot de HWL. Dit is het duidelijkst waarneembaar bij de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden. Het patroon correspondeert met de algemene kennis (Krumbein & Sloss, 1963), dat de korrelgrootte exponentieel afneemt met toenemende afstand tot het brongebied (hier het strand). Op locaties waar de transecten fossiele zeerepen aansnijden, met name op West Ameland (2), Zuid Texel (7), Schouwen en Walcheren is dit patroon dus verstoord door verplaatsing van het brongebied tijdens de sedimentatiehistorie. Een andere complicatie is, dat op luwe strandgedeelten meer slib uit zeewater kan bezinken. Dit alles maakt het moeilijk om gesuppleerd zand op korrelgrootte alleen te onderscheiden van niet gesuppleerd zand.
Met toenemende afstand tot de HWL neemt het klei- en slibgehalte vaag toe, hetgeen eveneens verband kan houden met zowel suppleties (die relatief slibarm zijn) als een natuurlijke gradiënt landinwaarts.

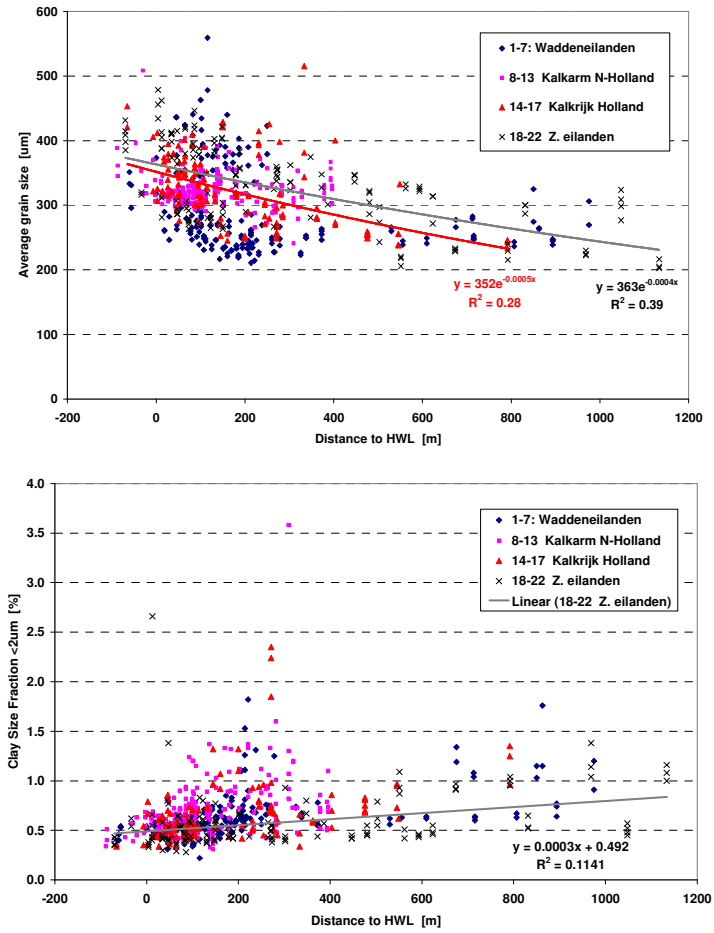


FIG. 4.7 Verband tussen de gemiddelde korrelgrootte en kleifractie (<2 um) en de afstand tot de hoogwaterlijn (HWL) voor strand- en duinzand in 4 deelgebieden langs de Nederlandse kust van Ameland t/m Walcheren.

TABEL 4.4. Pearson lineaire correlatiematrix voor 17 korrelgrootteparameters en 2 lokatiekenmerken. Kleuring van cellen met R-waarden: Groen: R ≥ 0.95 of ≤ -0.95; Turquoise: R =0.9-0.95 of –(0.9-0.95); Oranjebruin: R = 0.75-0.9 of –(0.75-0.9).

	M1 phi	M2 phi	M3 phi	M4 phi	<2	<16	<32	<64	<210	P10	P50	P60	P90	P60/P10	P90/P10	Mean	Mode	Depth	X-HWL
M1 phi	1.00																		
M2 phi	0.54	1.00																	
M3 phi	0.54	0.78	1.00																
M4 phi	0.45	0.70	0.99	1.00															
<2	0.31	0.00	-0.24	-0.30	1.00														
<16	0.21	-0.06	-0.30	-0.35	0.96	1.00													
<32	0.20	-0.08	-0.31	-0.36	0.93	1.00	1.00												
<64	0.22	-0.08	-0.33	-0.38	0.88	0.97	0.98	1.00											
<210	0.94	0.32	0.26	0.18	0.42	0.32	0.31	0.35	1.00										
P10	-0.74	-0.11	0.11	0.20	-0.65	-0.61	-0.60	-0.64	-0.87	1.00									
P50	-0.92	-0.21	-0.19	-0.12	-0.44	-0.35	-0.34	-0.37	-0.96	0.90	1.00								
P60	-0.93	-0.21	-0.24	-0.16	-0.42	-0.33	-0.31	-0.34	-0.95	0.86	1.00	1.00							
P90	-0.94	-0.29	-0.43	-0.37	-0.31	-0.22	-0.20	-0.22	-0.89	0.71	0.93	0.96	1.00						
P60/P10	-0.31	-0.19	-0.53	-0.55	0.57	0.67	0.68	0.66	-0.15	-0.26	0.16	0.21	0.38	1.00					
P90/P10	-0.42	-0.27	-0.65	-0.66	0.47	0.57	0.58	0.56	-0.23	-0.20	0.23	0.29	0.50	0.97	1.00				
Mean	-0.94	-0.23	-0.27	-0.20	-0.43	-0.34	-0.33	-0.36	-0.95	0.85	0.99	1.00	0.97	0.21	0.31	1.00			
Mode	-0.84	-0.14	-0.12	-0.05	-0.40	-0.31	-0.30	-0.33	-0.89	0.84	0.95	0.94	0.86	0.16	0.20	0.92	1.00		
Depth	0.07	0.02	0.06	0.07	-0.07	-0.10	-0.10	-0.10	0.07	-0.03	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07	-0.09	1.00	
X-HWL	0.26	0.11	0.01	-0.02	0.39	0.34	0.33	0.32	0.29	-0.34	-0.29	-0.28	-0.24	0.16	0.11	-0.28	-0.28	-0.02	1.00

M1, M2, M3, M4 phi = resp. mean, stand. Deviation, skewness and kurtosis for data in phi scale (phi = $-^2$log[grain size; mm]).

4.5 Statistische toetsing van korrelgrootteverschillen

In Tabel 4.5 zijn de resultaten van statistische toetsing via de Wilcoxon-rangsom-toets (tweezijdig) gepresenteerd. Het betreft toetsing van de nulhypothese dat zandtype 1 niet significant verschilt qua mediane korrelgroottekarakteristieken van zandtype 2. De in een cel vermelde p-waarde geeft de kans op de betreffende combinatie van meetwaarden van de twee zandklassen onder de nulhypothese dat de medianen van de twee zandklassen gelijk zijn. Een waarde dicht bij nul betekent dat de nulhypothese verworpen kan worden. Hier wordt de nulhypothese verworpen bij $p < 0,05$.
De toetsing is uitgevoerd voor de volgende 18 zich onderscheidende situaties:

1. Wel en niet gesuppleerd strandzand, voor zowel Waddendistrict (W9-W5) als Rhenodunaal distrikt (R9-R5);
2. Niet gesuppleerd strandzand versus overstuiving zonder suppleties, voor zowel Waddendistrict (W9-W1) als Rhenodunaal distrikt (R9-R1);
3. Wel gesuppleerd strandzand versus overstuiving met strandsuppleties, voor zowel Waddendistrict (W5-W3) als Rhenodunaal distrikt (R5-R3);
4. Overstuiving met duinverzwaring versus overstuiving met strandsuppleties, alleen mogelijk in Rhenodunale district (R4-R3);
5. Overstuiving met strandsuppleties versus overstuiving met vooroeversuppleties, alleen mogelijk in Waddendistrict (W3-W2);
6. Overstuiving met strandsuppleties versus overstuiving zonder suppleties, voor zowel Waddendistrict (W3-W1) als Rhenodunaal distrikt (R3-R1);
7. Overstuiving met strandsuppleties versus kalkarm tot zeer kalkrijk duinzand zonder overstuiving, voor zowel Waddendistrict (W3-W01) als Rhenodunaal distrikt (R3-R01);
8. Overstuiving met strandsuppleties versus kalkloos duinzand zonder overstuiving, voor zowel Waddendistrict (W3-W00) als Rhenodunaal distrikt (R3-R00);
9. Gesuppleerd strandzand in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W5-R5);
10. Overstuiving met strandsuppleties in Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W3-R3);
11. Kalkarm tot zeer kalkrijk duinzand zonder overstuiving in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W01-R01);
12. Kalkloos duinzand zonder overstuiving in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W00-R00).

Uit de rechterkolommen van Tabel 4.5 volgt dat de parameter '<2' gemiddeld het meest discriminerend werkt, en de gemiddelde korrelgrootte het minste. In 14 van de 18 getoetste situaties zijn er 1-4 korrelgrootteparameters die een voldoende groot verschil opleverden ($p<0.05$) om te kunnen stellen dat voor elk van deze paren geldt dat zij een statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid) verschil vertonen. We noemen alleen de 4 paren die geen significant verschil in korrelgroottekenmerken over de hele linie vertonen: W9-W5, W5-W3, W3-W1, R3-R00. Als we het kriterium verscherpen tot $p<0.005$, dan breidt de groep zonder onderscheid zich uit met: R9-R5, R9-R1, W3-W2 en W01-R01.
De 4 paren met het breedst onderbouwde onderscheid bestaat uit W00-R00, W3-W00, W3-W01 en R5-R3.

TABEL 4.5. Statistische toetsing via. de Wilcoxon-rangsom-toets (tweezijdig), van de nulhypothese dat de mediaan van zandtype 1 niet significant verschilt van de mediaan van zandtype 2, voor 18 verschillende situaties (paren van zandklassen). Intens geel gekleurde parameter = sterkste discriminator (>55% van paren met p<0.005). # = aantal.
Nulhypothese verworpen met 95% betrouwbaarheid als p < 0.05 (blauw gearceerd in de tabel)

	Vergeleken paar zandklassen																		#	p < 0.05		p < 0.005	
	W9	R9	W9	R9	W5	R5	R4	W3	W3	R3	W3	R3	W3	R3	W5	W3	W01	W00					
Parameter	W5	R5	W1	R1	W3	R3	R3	W2	W1	R1	W01	R01	W00	R00	R5	R3	R01	R00		#	%	#	%
X-HWL	0.439	0.000	0.000	0.475	0.000	0.000	0.000	0.073	0.014	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.004	0.980	0.568	18	13	72%	11	61%
Depth	0.600	0.724	0.627	0.644	0.211	0.756	0.575	0.114	0.230	0.639	0.000	0.001	0.156	0.259	0.646	0.209	0.060	0.402	18	2	11%	2	11%
<2	0.076	0.050	0.000	0.020	0.084	0.012	0.591	0.126	0.084	0.002	0.000	0.000	0.000	0.467	0.020	0.012	0.012	0.001	18	12	67%	6	33%
<16	0.118	0.164	0.001	0.012	0.074	0.001	0.037	0.049	0.131	0.000	0.000	0.177	0.000	0.080	0.087	0.293	0.023	0.002	18	10	56%	6	33%
P50	0.094	0.357	0.122	0.731	0.720	0.005	0.000	0.683	0.685	0.028	0.002	0.000	0.002	0.732	0.001	0.000	0.247	0.001	18	9	50%	7	39%
Mean diam	0.148	0.357	0.165	0.663	0.876	0.008	0.000	0.786	0.839	0.101	0.005	0.000	0.007	0.087	0.002	0.000	0.195	0.004	18	8	44%	5	28%
# korrelpar.	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	108				
#(p < 0.05)	0	1	2	2	0	4	3	1	0	3	4	3	4	0	3	3	2	4		54		37	
%(p < 0.05)	0%	25%	50%	50%	0%	100%	75%	25%	0%	75%	100%	75%	100%	0%	75%	75%	50%	100%			50%		
#(p < 0.005)	0	0	2	0	0	1	2	0	0	2	3	3	3	0	2	2	0	4					34%

4.6 Conclusies effecten suppleties op korrelgrootteverdeling

Zandklassen met en zonder suppletie in het ***Waddendistrict*** onderscheiden zich gemiddeld als volgt:

- gesuppleerd strandzand (W5) verschilt niet statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid) van niet-gesuppleerd strandzand (W9). In de steekproef is eerstgenoemde gemiddeld wel iets fijner en bevat iets meer lutum en silt.
- gesuppleerd strandzand (W5) verschilt niet statistisch significant van duinzand overstoven van suppleties (W3), maar bevat gemiddeld iets minder lutum en silt.
- vanaf suppleties overstoven duinzand (W3) verschilt nauwelijks van natuurlijk duinzand met recente overstuiving (W1).
- vanaf suppleties overstoven duinzanden (W3 en W2) zijn grover en bevatten minder lutum en silt dan de natuurlijke duinzanden zonder recente overstuiving (W00 en W01). Dit verschil is statistisch significant.
- duinzand ontstaan uit suppleties op het strand (W3) verschilt nauwelijks van dito op de vooroever (W2), maar W3 vertoont desondanks een significant lager slibgehalte.

Zandklassen met en zonder suppletie in het ***Rhenodunale district*** onderscheiden zich gemiddeld als volgt:

- gesuppleerd strandzand (R5) verschilt statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid) van niet-gesuppleerd strandzand (R9) alleen door een iets hoger lutumgehalte. De verschillen zijn verder uiterst gering. Situatie vrijwel analoog aan Waddendistrict.
- gesuppleerd strandzand (R5) en zand in duinverzwaring (R4) verschillen nauwelijks van elkaar. Het is overigens zeer de vraag of het wel zand van de duinverzwaring zelf betreft en niet eerder overstoven zand deels afkomstig van de lokale strandsuppletie.

- gesuppleerd strandzand (R5) verschilt statistisch significant van duinzand overstoven van suppleties (R3) door een lager lutum- en siltgehalte en beduidend grovere korrel. Het lagere lutum- en siltgehalte is analoog aan de situatie in het Waddendistrict.
- zand in duinverzwaring (R4) verschilt significant van duinzand overstoven van suppleties (R3) door minder silt en een grovere korrel.
- duinzand overstoven van suppleties (R3) en afkomstig van duinverzwaring (R4) verschilt significant van natuurlijk duinzand met recente overstuiving (R1) door meer lutum en silt en een grovere korrel. R3 en R4 zijn dus slechter gesorteerd.
- zandklassen R3 en R4 zijn grover en bevatten minder lutum en silt dan de natuurlijke duinzanden zonder recente overstuiving (R00 en R01). Dit verschil is evenwel niet statistisch significant. Situatie analoog aan Waddendistrict.

5 Geochemie

5.1 Beschrijvende statistiek van de hele dataset

Alle analyseresultaten van het geochemische onderzoek zijn gelist in het databestand 'Geochemie kustzand Stuyfzand2012.XLS', downloadbaar van www.kwrwater.nl (zoek in 'publications', en daar in 'rapporten').
De gemiddelde geochemische samenstelling van alle 683 monsters strand- en duinzand langs de Nederlandse kust is weergegeven in Tabel 5.1, samen met belangrijke kengetallen van de bemonsterde lokaties en de spreiding in samenstelling voor het hele databestand.
Het gemiddelde zand kan gekarakteriseerd worden als een kalkrijk, veldspatenhoudend kwartszand, relatief arm aan organische stof, kleimineralen en spore-elementen. De spreiding in samenstelling volgt niet alleen uit Tabel 5.1, waarin o.a. de variatiecoëfficiënten standaardafwijking gepresenteerd zijn, maar ook uit de cumulatieve freqentieverdeling van de hoofdbestanddelen (Fig.5.1) en nevenbestanddelen (Fig.5.2) van de 683 monsters duin- en strandzand van Ameland t/m Walcheren.
Fig.5.3 toont een Spiderplot met de gemiddelde, minimum en maximum waarden van de genormaliseerde concentraties van diverse spore-elementen waaronder de zeldzame aarden. Hieruit volgt dat de minima en gemiddelden over de hele linie beneden de concentraties van de gemiddelde continentale aardkorst liggen, en dat de maxima daar in veel gevallen (Cs, K, Rb en Ba uitgezonderd) 1-15 keer boven liggen. Hf en Zr vertonen de hoogste genormaliseerde concentratie.
Het percentage waarnemingen beneden de onderste analyse grens (MDL) kan uit Tabel 5.1 worden opgemaakt (%n<). Voor C_{ORG}, N, BOM_{330}, kalk, As, Cr en Ta geldt 1-10%, voor C/N, S, Be, Bi, Cd, Mo, Sn, Tl, V en W 10-50%, voor Au 50-90%, en voor Ag, Hg en Se >90%. Voor alle overige parameters geldt <1%. In de meeste gevallen waren het de ACME-analyses die de bulk van %n< opeisten.

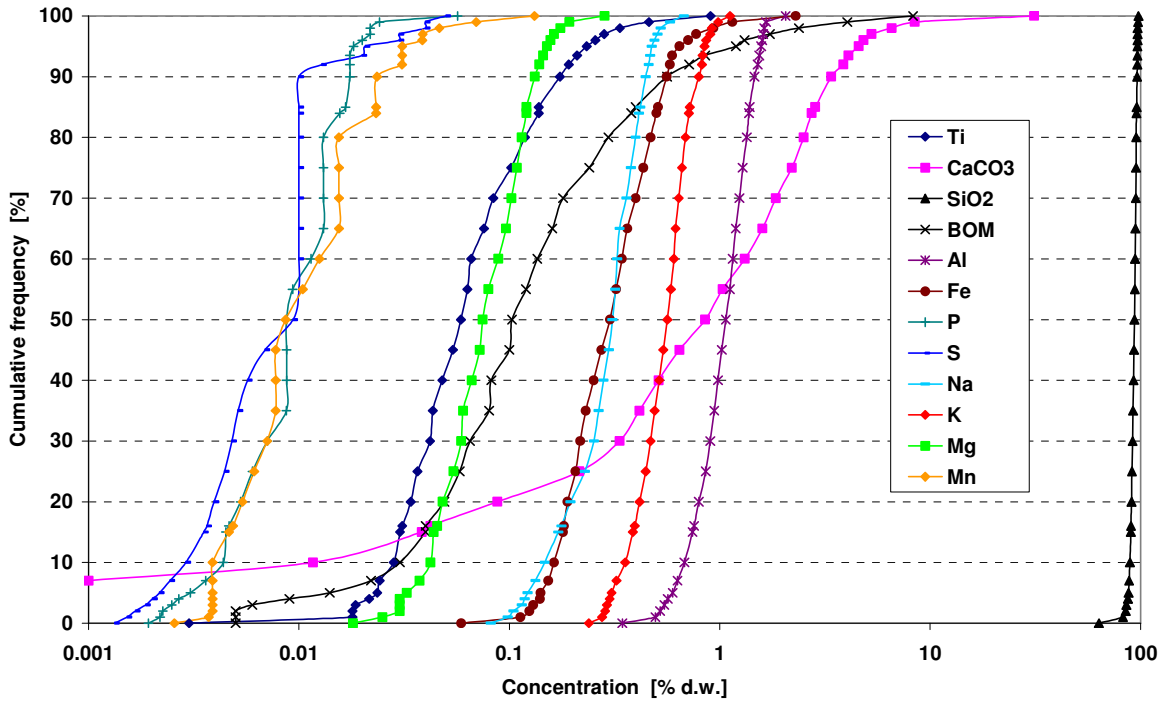


FIG..5.1. Cumulatieve freqentieverdeling van de hoofdbestanddelen van de 683 monsters duin- en strandzand van Ameland t/m Walcheren.

TABEL 5.1. Gemiddelde geochemische samenstelling van 683 monsters strand- en duinzand langs de Nederlandse kust. MDL = minimum detectie limiet (elementen in rood, blauw, zwart = resp. alleen ACME, alleen VU, beide waarbij VU links, ACME rechts); n< = aantal monsters <MDL; X-HWL = afstand meetpunt tot HoogWaterLijn; MV = MaaiVeld; Sedimentatie = in periode 1997-2009 (negatief = erosie); St.Dev = standaarafwijking; CV = coëfficiënt van variatie; Skew = scheefheid; Kurt = kurtosis (mate van gepiektheid).

	Unit	MDL	Min	Mean	Max	n	St.Dev	CV [%]	Skew	Kurt	n <	%n <
Locatiekenmerken												
Diepte	m-MV	0.01	0.01	0.44	6.0	683	0.59	133	5.6	43.2	0	0
	m+NAP	0.1	-0.8	7.2	20.5	683	4.9	68	0.6	-0.5	0	0
X-HWL	m	5	-89	250	2883	683	347	139	3.4	15.5	0	0
2009 MV	m+NAP	0.1	-0.5	7.6	20.6	683	4.9	65	0.6	-0.5	0	0
Sedimentatie	m	0.1	-7.2	0.6	9.2	683	1.9	321	0.0	4.6	0	0
1997 MV	m+NAP	0.1	-2.0	7.0	20.3	683	5.0	72	0.8	-0.1	0	0
Geochemische samenstelling												
C-org	%	0.01, 0.02	<0.01	0.15	4.15	683	0.37	247	6.5	50.6	45	7
N	%	0.001	<0.001	0.01	0.31	683	0.03	200	6.9	58.8	17	2
C/N	%-basis		1.1	9.2	53.1	501	5.2	57	1.9	10.2	182	27
BOM330	%	0.05	<0.05	0.22	6.20	683	0.48	220	7.6	68.3	30	4
BOM550	%	0.1	<0.1	0.41	7.74	683	0.68	168	6.3	49.6	0	0
CEC	meq/kg	0.5	2.0	8.4	126.2	683	10.4	123	6.5	55.4	0	0
CaCO3	%	0.01	<0.01	1.5	31.2	683	2.3	154	6.9	77.9	67	10
Na-Sil	%	0.05	<0.05	3.3	6.1	683	1.2	36	-0.2	-0.6	3	0
K-Sil	%	0.05	1.3	3.5	7.2	683	1.1	30	0.4	-0.1	0	0
Ca-Sil	%	0.05	<0.05	1.0	5.9	683	0.8	78	1.6	3.9	3	0
Mg-Sil	%	0.05	0.16	0.74	2.61	683	0.35	48	1.1	2.0	0	0
SiO2	%	0.5	57.9	89.0	95.8	683	4.0	5	-1.4	6.7	0	0
Al	ppm	50	3441	10709	20594	683	2946	28	0.1	-0.6	0	0
Na	ppm	100	816	3035	6751	683	1103	36	0.2	-0.2	0	0
K	ppm	100	2390	5631	11207	683	1618	29	0.4	-0.1	0	0
Ca	ppm	50	340	7563	130147	683	9648	128	6.7	74.0	0	0
Mg	ppm	50	181	828	2834	683	383	46	1.0	1.9	0	0
Fe	ppm	100	591	3433	23011	683	2053	60	2.9	16.6	0	0
Mn	ppm	10, 100	26	133	1317	683	119	90	3.5	20.6	0	0
S	ppm	10, 200	<20	88	500	683	74	84	3.1	11.6	276	40
P	ppm	10, 40	<20	103	567	683	55	53	1.5	7.7	1	0
Ti	ppm	20, 100	<100	847	9053	683	837	99	3.6	20.5	1	0
Ag	ppm	0.1	<0.1	<0.1	0.05	369	0.00	0	-1.0	-2.0	369	100
As	ppm	1, 0.5	<1	3.1	18.9	683	1.6	52	2.9	18.3	9	1
Au	ppm	0.5	<0.5	0.72	36.8	369	2.03	282	15.6	275.1	237	64
B	ppm	2	4	13	54	366	8	66	2.1	5.3	0	0
Ba	ppm	10, 1	72	140	236	683	32	23	0.2	-0.3	0	0
Be	ppm	0.1, 1	0.11	0.51	4.0	683	0.48	94	3.1	11.3	230	34
Bi	ppm	0.002, 0.1	<0.002	0.04	0.33	683	0.02	53	4.1	46.8	317	46
Cd	ppm	0.002, 0.1	<0.002	0.02	0.23	683	0.02	108	5.5	36.4	307	45
Ce	ppm	1, 0.1	5.0	14.1	107.9	683	10.0	71	3.3	18.1	0	0
Co	ppm	0.1, 0.2	0.1	0.9	4.1	683	0.5	48	1.6	5.4	0	0
Cr	ppm	1, 7	3	31	698	683	44	144	6.9	83.2	60	9
Cs	ppm	0.1	<0.5	0.6	1.4	683	0.2	37	0.6	0.0	2	0
Cu	ppm	0.1	0.4	1.2	11.9	683	0.6	51	8.7	139.2	0	0
Dy	ppm	0.1, 0.05	0.3	0.9	5.9	683	0.6	65	3.2	16.3	0	0
Er	ppm	0.1, 0.03	0.19	0.6	5.2	683	0.5	76	3.8	22.5	0	0
Eu	ppm	0.01, 0.02	0.06	0.20	0.91	683	0.09	44	2.2	9.7	0	0
Ga	ppm	0.5	0.7	2.0	4.7	683	0.5	26	0.5	0.7	0	0
Gd	ppm	0.1, 0.05	0.3	0.9	5.4	683	0.5	61	3.1	15.1	0	0
Hf	ppm	0.1	0.2	4.7	85.1	683	7.5	161	5.2	37.0	0	0
Hg	ppm	0.01	<0.01	<0.01	0.04	369	0.004	71	5.3	30.8	341	92
Ho	ppm	0.05, 0.02	0.06	0.20	1.53	683	0.14	70	3.6	20.8	0	0
In	ppm	0.01	0.01	10.0	34.3	366	6.1	61	0.8	1.5	0	0
La	ppm	1, 0.1	2.5	7.3	54.3	683	5.1	69	3.2	17.0	0	0
Li	ppm	1	6.3	8.4	12.6	366	1.2	14	1.0	0.7	0	0
Lu	ppm	0.01	0.02	0.11	1.16	683	0.10	93	4.2	27.0	0	0
Mo	ppm	0.01, 0.1	<0.01	0.03	0.4	683	0.03	80	5.1	62.4	304	45
Nb	ppm	0.1	0.3	2.4	27.5	683	2.4	100	4.0	25.4	0	0
Nd	ppm	1, 0.3	2.0	5.8	43.2	683	4.0	69	3.4	19.2	0	0
Ni	ppm	0.1	0.6	2.3	7.1	683	1.1	47	1.2	1.5	0	0
Pb	ppm	1, 0.1	2.9	6.8	35.2	683	3.7	54	4.1	22.6	0	0
Pr	ppm	0.1, 0.02	0.6	1.6	12.4	683	1.1	69	3.5	19.7	0	0
Rb	ppm	1, 0.1	9.7	22.1	42.4	683	6.1	28	0.3	-0.4	0	0
Rh	ppm	1	2.3	24.9	100.4	366	13.9	56	1.2	2.7	0	0
Sb	ppm	0.1	0.2	0.4	2.3	683	0.1	27	7.6	119.7	0	0
Sc	ppm	0.1	0.3	1.0	6.3	366	0.7	67	2.9	14.5	0	0
Se	ppm	0.5	<0.5	<0.5	1.1	369	0.1	47	4.2	17.7	342	93
Sm	ppm	0.1, 0.05	0.4	1.0	7.3	683	0.7	63	3.4	18.9	0	0
Sn	ppm	0.1, 1	0.3	0.7	11.0	683	0.6	92	9.9	136.7	302	44
Sr	ppm	10, 0.5	16	57	725	683	46	82	8.5	109.3	0	0
Ta	ppm	0.05, 0.1	<0.1	0.2	2.3	683	0.2	108	3.7	18.8	69	10
Tb	ppm	0.05, 0.01	0.06	0.15	0.95	683	0.09	60	3.2	16.6	0	0
Th	ppm	0.1, 0.2	0.5	1.9	16.7	683	1.4	70	4.0	27.1	0	0
Tl	ppm	0.1	<0.1	0.25	0.75	683	0.21	83	0.4	-1.2	317	46
Tm	ppm	0.02, 0.01	0.03	0.09	0.89	683	0.08	92	4.0	24.5	0	0
U	ppm	0.1	0.20	0.57	4.4	683	0.40	70	4.0	24.5	0	0
V	ppm	1, 8	3.5	9.6	41	683	5.3	56	1.5	3.8	150	22
W	ppm	0.01, 0.5	0.06	0.26	5.69	683	0.26	99	14.6	290.1	253	37
Y	ppm	1, 0.1	1.7	5.3	41.1	683	3.9	73	3.4	18.2	0	0
Yb	ppm	0.1, 0.05	0.2	0.7	6.8	683	0.6	89	4.1	25.5	0	0
Zn	ppm	1	1.8	9.3	65.3	683	5.5	60	3.6	22.5	0	0
Zr	ppm	5, 0.1	15	192	3621	683	324	169	5.4	40.2	0	0

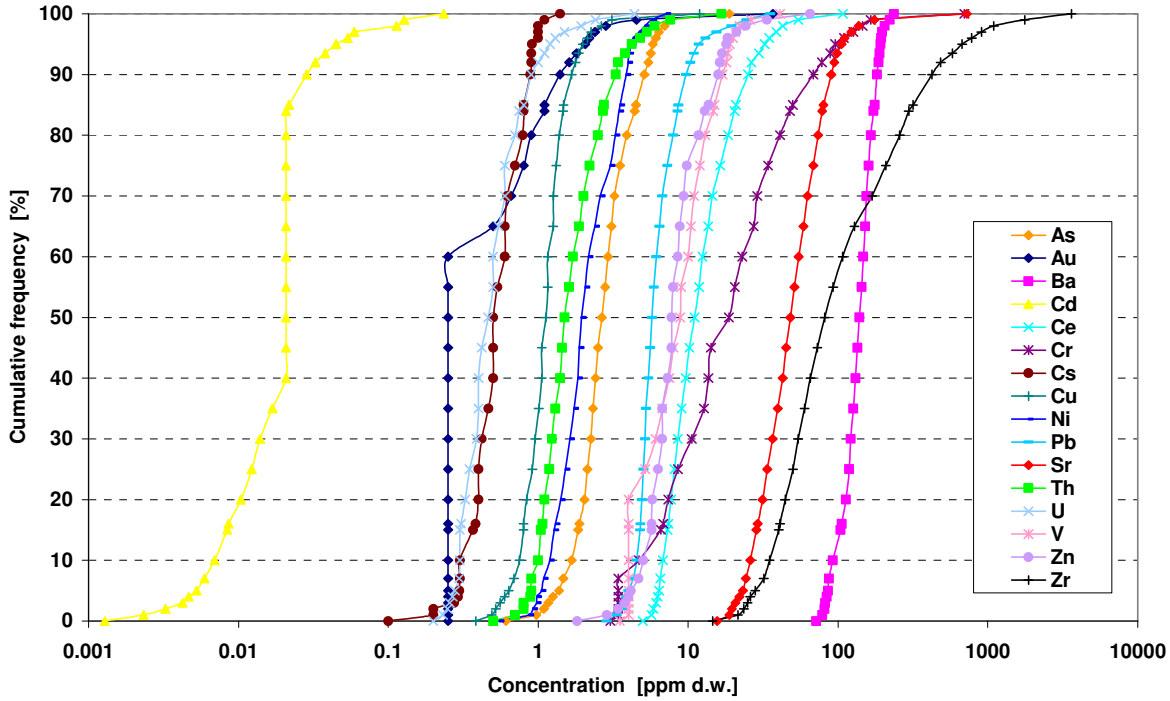


FIG..5.2. Cumulatieve freqentieverdeling van de nevenbestanddelen van de 683 monsters duin- en strandzand van Ameland t/m Walcheren.

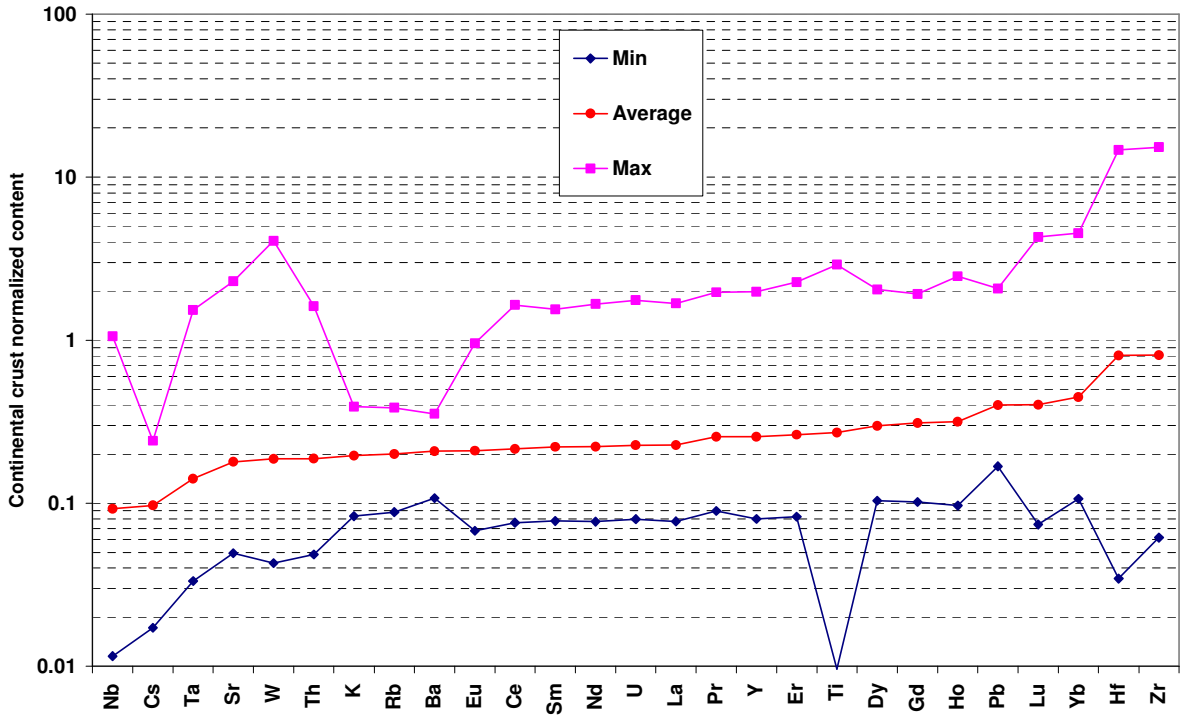


FIG. 5.3. Spiderplot van minimum, gemiddelde en maximum waarden van alle 683 monsters duin- en strandzand van Ameland t/m Walcheren. Normalisatie van meetwaarden op basis van gemiddelde aardkorst.

5.2 Gemiddelde samenstelling per meetraai

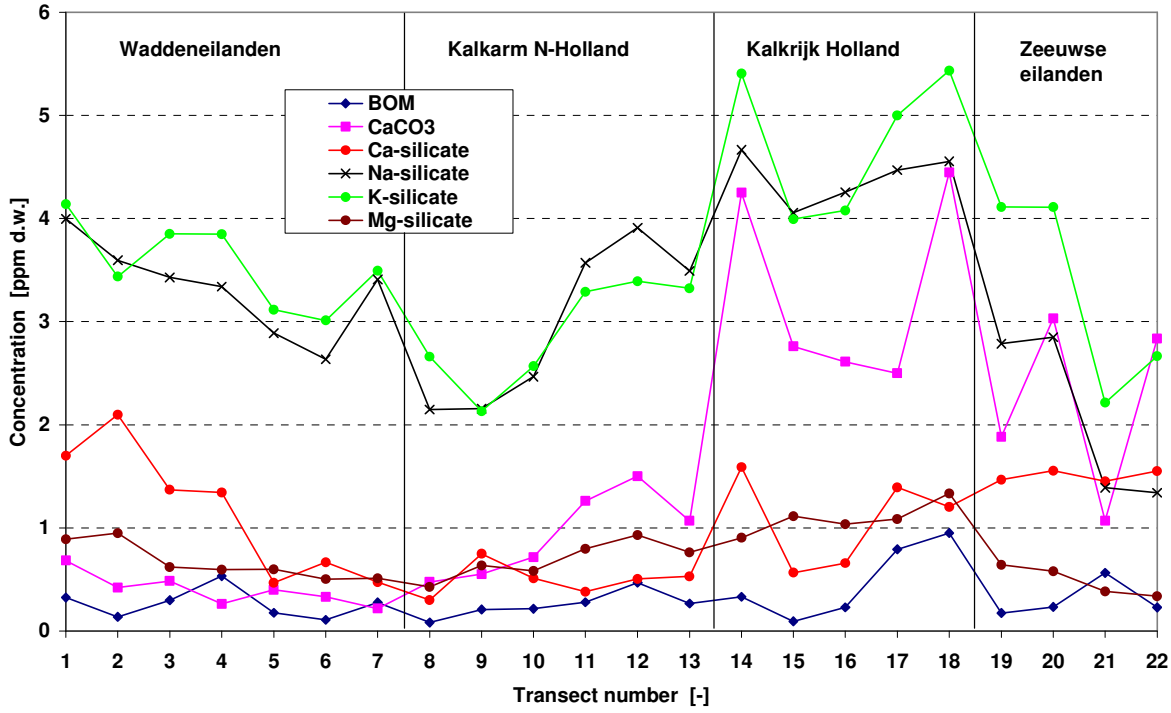
Voor elke meetraai is de gemiddelde geochemische samenstelling bepaald om structurele veranderingen langs de Nederlandse kust in beeld te brengen. Het resultaat staat in Tabel 5.2, terwijl het verloop ervan langs de kust is gepresenteerd voor hoofdbestanddelen in Fig.5.4 en voor nevenbestanddelen in Fig.5.5.
Fig.5.6 toont een Spiderplot met de gemiddelde waarden van de genormaliseerde concentraties van diverse spore-elementen waaronder de zeldzame aarden. Tenslotte is de ruimtelijke verdeling van de gehalten aan kalk, P, Pb en Ti in kaart gebracht voor alle 683 monsters, door deze in een matrix te sorteren op achtereenvolgens meetraai, afstand tot de zee en diepteligging ten opzichte van maaiveld. Fig.5.7 toont het resultaat voor kalk en P, Fig.5.8 voor Pb en Ti.
Hoe de gehalten langs de Nederlandse kust veranderen van strandzand, duinzand bestaande uit suppletiemateriaal en oorspronkelijk duinzand (zonder suppletiemateriaal), wordt getoond in Bijlage 4.

TABEL 5.2. Gemiddelde chemische samenstelling van strand- en duinzand voor elk van de 22 meetraaien langs de Nederlandse kust. Geelgekleurde transecten = zonder suppleties; roodbruin gekleurde cellen = top 3 concentraties of waarden. NB: gehalten lager dan MDL uit Tabel 5.1 zijn resultaat van middeling waarbij <MDL verdisconteerd als MDL/2.

Trans	Location	Diepte	X-HWL	C-org	N	C/N	BOM550	CEC	CaCO3	Na-Sil	K-Sil	Ca-Sil	Mg-Sil	SiO2	Al	Fe	Mn	S	P	Ti
#		cm-MV	m	%			corr %	meq/kg			%						ppm			
1	Ameland East, Buren	44	162	0.16	0.02	9.6	0.39	9.0	0.68	4.0	4.1	1.7	0.9	87.3	13108	5264	245	107	105	1932
2	Ameland West, Hollum	42	372	0.07	0.01	8.4	0.22	5.8	0.42	3.6	3.4	2.1	0.9	87.8	13073	6715	356	114	113	2537
3	Vlieland, Mid	104	138	0.15	0.02	5.6	0.42	6.6	0.49	3.4	3.9	1.4	0.6	89.3	11275	3534	166	138	79	1192
4	Vlieland, West	35	170	0.27	0.03	6.8	0.62	8.9	0.26	3.3	3.8	1.3	0.6	89.5	11161	3298	158	156	70	1181
5	Texel, Westerduinen (N)	32	142	0.09	0.01	7.9	0.18	7.2	0.40	2.9	3.1	0.5	0.6	91.6	9587	2537	78	55	76	578
6	Texel, Westerduinen (Z)	54	131	0.05	0.01	7.2	0.19	5.3	0.33	2.6	3.0	0.7	0.5	92.1	8826	2222	64	49	68	424
7	Texel, De Hors	35	1220	0.14	0.01	19.3	0.32	9.6	0.22	3.4	3.5	0.5	0.5	91.1	10448	1899	65	41	58	444
8	Groote Keeten	42	132	0.04	0.00	13.5	0.12	6.3	0.48	2.1	2.7	0.3	0.4	93.2	7627	1871	79	50	46	437
9	Schoorl (N)	42	152	0.10	0.01	13.9	0.25	6.8	0.55	2.2	2.1	0.7	0.6	92.6	8287	3666	191	41	55	1089
10	Schoorl (Z)	41	117	0.11	0.01	10.7	0.30	6.4	0.72	2.5	2.6	0.5	0.6	92.3	8518	2469	104	50	62	607
11	Bergen aan Zee (N)	53	132	0.14	0.01	11.2	0.26	8.7	1.26	3.6	3.3	0.4	0.8	89.7	10573	2883	96	50	82	532
12	Bergen aan Zee (M)	29	121	0.24	0.01	15.0	0.48	11.8	1.50	3.9	3.4	0.5	0.9	88.6	11716	3437	113	48	100	608
13	Bergen aan Zee (Z)	37	155	0.13	0.01	13.6	0.25	9.4	1.07	3.5	3.3	0.5	0.8	89.8	10704	2988	107	42	82	600
14	Heemskerk	70	143	0.17	0.02	9.5	0.62	8.8	4.25	4.7	5.4	1.6	0.9	82.4	13993	3522	100	125	123	452
15	Wassenaar (N)	38	74	0.05	0.01	6.8	0.29	5.4	2.76	4.1	4.0	0.6	1.1	85.9	13081	5030	130	76	170	796
16	Wassenaar (Z)	44	130	0.11	0.01	9.0	0.35	9.2	2.61	4.3	4.1	0.7	1.0	85.9	13250	4460	130	70	156	712
17	Zandmotor, Solleveld Monster	34	410	0.40	0.03	7.5	0.93	14.6	2.50	4.5	5.0	1.4	1.1	84.3	14564	4686	158	122	158	1048
18	Voorne	31	512	0.48	0.04	7.5	1.15	20.8	4.45	4.6	5.4	1.2	1.3	81.7	15201	4532	158	155	166	721
19	Schouwen Verklikkerduinen	41	614	0.09	0.01	9.8	0.40	6.4	1.88	2.8	4.1	1.5	0.6	88.9	9408	1982	47	108	113	350
20	Schouwen Meeuwenduinen	47	119	0.12	0.01	10.2	0.47	8.2	3.03	2.8	4.1	1.6	0.6	87.2	10145	2626	84	132	133	647
21	Walcheren East, paal 7	36	117	0.28	0.02	9.9	0.66	8.4	1.07	1.4	2.2	1.5	0.4	92.9	6166	3081	133	126	152	904
22	Walcheren West, paal 10	33	146	0.11	0.01	8.4	0.47	5.6	2.84	1.3	2.7	1.5	0.3	90.9	5966	2349	85	138	147	481

Trans	Location	As	Au	Ba	Be	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb
#		ppm																		
1	Ameland East, Buren	2.5	0.39	153	0.87	0.02	24	1.1	76	0.54	1.2	1.5	1.1	2.6	1.5	12.5	0.34	12.1	0.22	5.2
2	Ameland West, Hollum	2.3	0.58	137	0.97	0.02	31	1.2	83	0.43	1.1	1.9	1.5	2.6	1.8	19.0	0.44	15.9	0.30	7.6
3	Vlieland, Mid	2.7	0.80	139	0.77	0.02	19	0.9	68	0.45	1.3	1.1	0.8	2.1	1.0	7.7	0.24	9.6	0.15	3.2
4	Vlieland, West	2.3	0.25	134	1.17	0.02	16	0.7	46	0.43	1.4	1.0	0.7	2.0	1.0	8.0	0.22	8.9	0.14	3.2
5	Texel, Westerduinen (N)	2.3	0.25	132	0.25	0.01	12	0.9	13	0.53	1.0	0.7	0.5	1.8	0.7	2.2	0.16	6.5	0.08	1.6
6	Texel, Westerduinen (Z)	2.3	0.25	128	0.24	0.01	10	0.9	9	0.48	0.8	0.6	0.4	1.6	0.6	2.3	0.13	5.2	0.07	1.3
7	Texel, De Hors	1.8	0.54	141	0.26	0.02	9	0.7	9	0.51	0.8	0.5	0.4	1.9	0.6	1.7	0.13	5.0	0.06	1.3
8	Groote Keeten	1.7	0.34	112	0.18	0.02	8	0.6	9	0.41	0.6	0.5	0.4	1.5	0.5	2.9	0.13	4.3	0.07	1.3
9	Schoorl (N)	2.0	0.69	98	0.21	0.02	16	0.8	26	0.36	1.4	0.9	0.8	1.7	0.8	5.9	0.23	8.5	0.15	2.9
10	Schoorl (Z)	2.1	0.32	124	0.22	0.02	11	0.7	16	0.44	1.1	0.6	0.5	1.6	0.6	3.5	0.16	5.8	0.09	1.8
11	Bergen aan Zee (N)	2.8	0.48	138	0.27	0.02	10	0.9	16	0.54	1.1	0.6	0.5	1.9	0.6	2.4	0.15	5.4	0.08	1.6
12	Bergen aan Zee (M)	3.2	0.50	141	0.31	0.03	12	1.1	20	0.59	1.3	0.8	0.5	2.2	0.7	2.6	0.17	6.2	0.09	1.9
13	Bergen aan Zee (Z)	2.7	0.25	138	0.28	0.02	11	0.9	19	0.56	1.2	0.7	0.5	2.0	0.7	2.9	0.16	5.7	0.09	2.0
14	Heemskerk	5.0	0.47	188	0.64	0.02	9	0.9	38	0.81	1.1	0.7	0.4	2.5	0.7	1.2	0.14	4.6	0.06	1.2
15	Wassenaar (N)	5.5	0.75	165	0.36	0.02	16	1.7	25	0.83	1.5	1.0	0.6	2.3	1.1	4.3	0.22	8.1	0.11	2.4
16	Wassenaar (Z)	4.8	0.71	165	0.38	0.02	14	1.5	21	0.83	1.4	0.9	0.6	2.3	1.0	3.1	0.20	7.4	0.10	2.2
17	Zandmotor, Solleveld Monster	3.8	0.53	185	0.59	0.04	20	0.9	45	0.93	1.1	1.2	0.7	2.7	1.2	4.9	0.24	10.0	0.12	2.8
18	Voorne	4.4	0.63	189	0.81	0.05	15	1.5	36	0.96	1.9	1.0	0.6	2.7	1.1	2.6	0.20	7.3	0.09	2.1
19	Schouwen Verklikkerduinen	3.0	0.28	150	1.08	0.02	9	0.6	11	0.65	1.1	0.6	0.3	1.5	0.6	1.3	0.12	4.5	0.05	1.0
20	Schouwen Meeuwenduinen	3.4	0.83	146	0.51	0.02	12	0.9	38	0.62	1.6	0.7	0.5	1.9	0.8	2.9	0.16	6.1	0.08	1.7
21	Walcheren East, paal 7	3.1	3.44	86	0.81	0.02	16	0.7	32	0.25	1.1	0.9	0.6	1.2	0.9	3.7	0.19	8.0	0.10	2.4
22	Walcheren West, paal 10	4.5	0.52	102	0.55	0.02	10	0.7	20	0.37	1.1	0.6	0.4	1.3	0.6	1.8	0.13	4.8	0.06	1.2

Trans	Location	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sm	Sr	Ta	Tb	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
#		ppm																		
1	Ameland East, Buren	10	2.0	6.7	2.7	24	1.7	55	0.45	0.25	3.3	0.1	0.19	1.0	14.4	0.33	10.2	1.4	9	583
2	Ameland West, Hollum	13	1.6	6.0	3.5	20	2.2	53	0.67	0.31	4.3	0.1	0.24	1.3	14.3	0.56	12.7	1.8	7	813
3	Vlieland, Mid	7	1.9	6.3	1.9	21	1.2	50	0.26	0.18	2.5	0.1	0.13	0.7	10.7	0.28	6.9	0.9	9	316
4	Vlieland, West	7	1.7	6.7	1.8	21	1.1	40	0.29	0.16	2.3	0.1	0.12	0.7	9.0	0.32	6.3	0.8	8	336
5	Texel, Westerduinen (N)	5	2.0	5.8	1.4	20	0.9	35	0.13	0.12	1.7	0.4	0.05	0.4	8.5	0.19	3.8	0.5	6	81
6	Texel, Westerduinen (Z)	4	1.8	5.6	1.1	19	0.7	33	0.11	0.10	1.4	0.4	0.05	0.4	7.0	0.16	3.2	0.4	6	76
7	Texel, De Hors	4	1.8	6.2	1.1	22	0.7	34	0.15	0.10	1.3	0.4	0.04	0.4	6.4	0.17	3.1	0.4	5	62
8	Groote Keeten	3	1.4	3.9	0.9	17	0.6	29	0.11	0.09	1.2	0.3	0.05	0.3	5.9	0.17	3.0	0.4	7	111
9	Schoorl (N)	6	1.8	5.8	1.8	15	1.0	33	0.17	0.16	2.2	0.3	0.10	0.5	10.3	0.23	5.9	0.9	8	237
10	Schoorl (Z)	4	1.9	5.7	1.2	17	0.8	35	0.13	0.11	1.5	0.4	0.06	0.4	7.9	0.19	3.8	0.5	7	137
11	Bergen aan Zee (N)	4	2.7	6.5	1.2	22	0.8	48	0.15	0.11	1.5	0.4	0.05	0.4	9.0	0.22	3.7	0.5	8	90
12	Bergen aan Zee (M)	5	3.2	7.5	1.4	24	0.9	54	0.15	0.13	1.7	0.5	0.06	0.5	11.1	0.25	4.4	0.6	10	99
13	Bergen aan Zee (Z)	4	2.7	6.4	1.2	23	0.8	46	0.16	0.12	1.5	0.5	0.06	0.4	9.7	0.23	4.2	0.5	8	109
14	Heemskerk	4	3.8	7.6	1.1	31	0.8	116	0.09	0.12	1.4	0.1	0.06	0.4	7.6	0.23	4.0	0.4	13	39
15	Wassenaar (N)	6	3.7	9.4	1.8	28	1.2	76	0.21	0.18	2.3	0.6	0.07	0.7	17.6	0.34	5.4	0.7	17	163
16	Wassenaar (Z)	6	3.3	9.6	1.7	28	1.1	74	0.25	0.17	2.0	0.6	0.07	0.6	14.5	0.30	5.1	0.6	14	115
17	Zandmotor, Solleveld Monster	9	4.2	9.3	2.3	30	1.5	84	0.28	0.19	2.5	0.1	0.12	0.8	10.6	0.32	7.1	0.8	13	178
18	Voorne	6	3.9	11.4	1.7	33	1.2	98	0.18	0.18	1.9	0.1	0.09	0.6	13.3	0.25	5.6	0.6	17	106
19	Schouwen Verklikkerduinen	4	1.5	5.5	1.0	24	0.7	62	0.10	0.10	1.2	0.1	0.06	0.4	5.0	0.24	3.6	0.4	7	62
20	Schouwen Meeuwenduinen	5	1.9	6.5	1.4	23	1.0	78	0.14	0.14	1.5	0.1	0.07	0.5	4.9	0.24	4.5	0.5	9	119
21	Walcheren East, paal 7	6	1.1	6.2	1.7	13	1.1	49	0.29	0.15	1.8	0.1	0.09	0.5	6.0	0.26	5.4	0.6	7	167
22	Walcheren West, paal 10	4	1.2	5.3	1.1	15	0.7	87	0.14	0.10	1.1	0.1	0.06	0.4	4.7	0.24	3.8	0.4	7	87



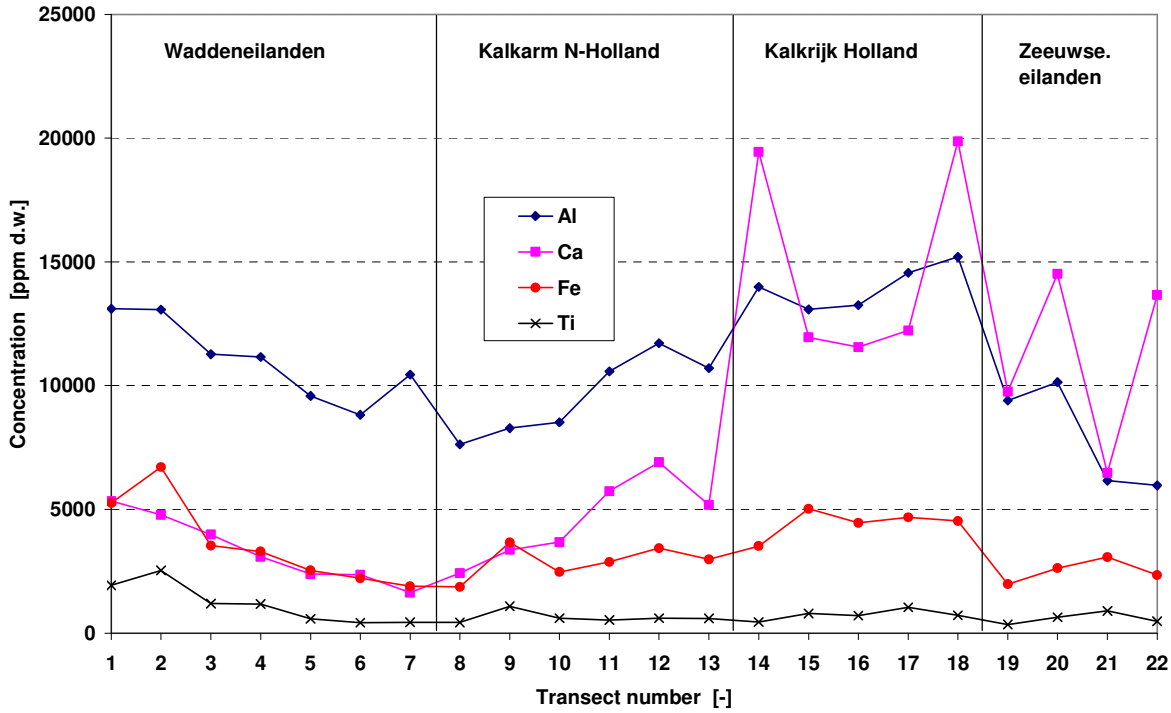


FIG. 5.4. Gemiddelde geochemische samenstelling van strand- en duinzand voor elk van de 22 meetraaien langs de Nederlandse kust: hoofdbestanddelen. BOM = Bulk Organisch Materiaal.

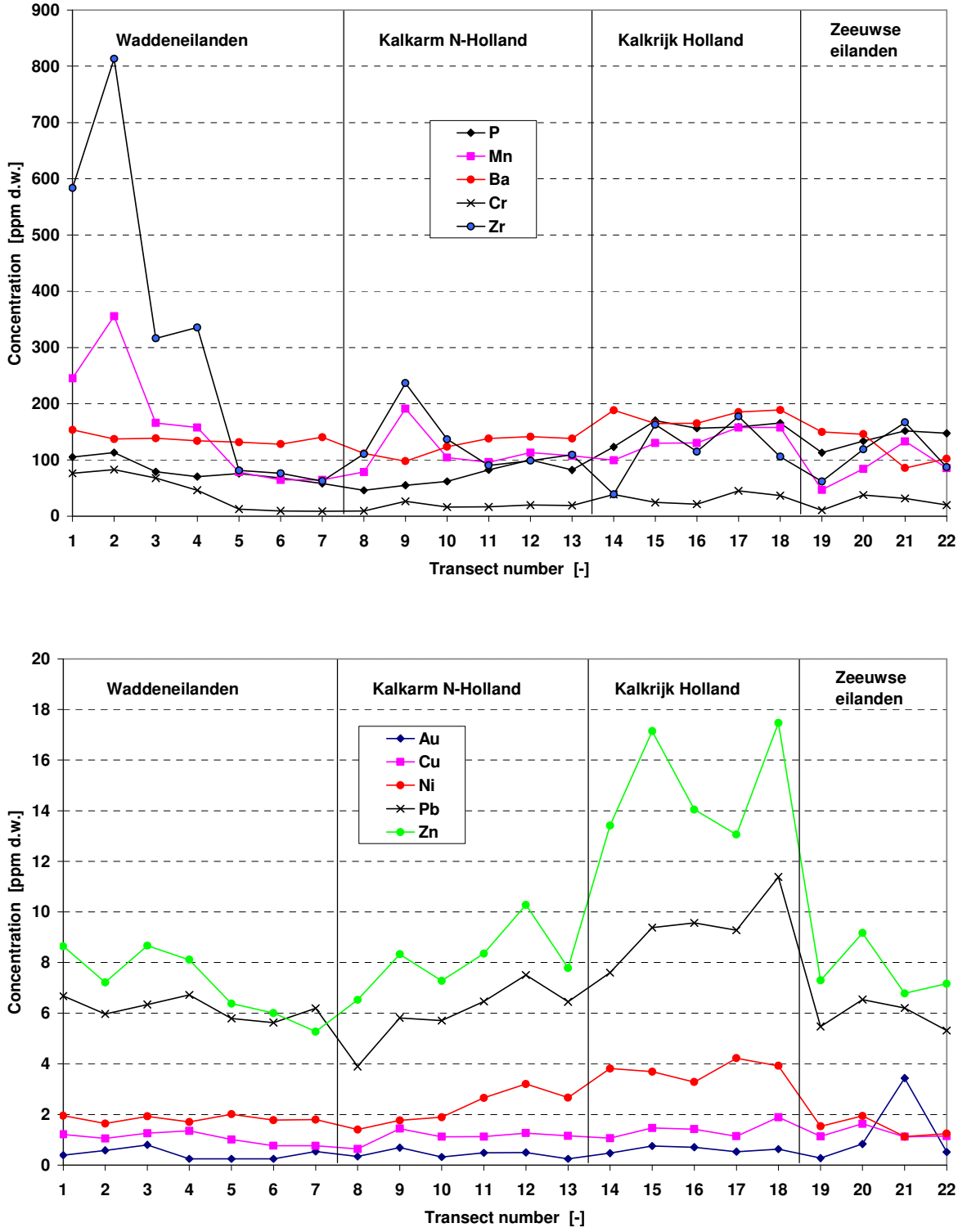


FIG. 5.5. Gemiddelde geochemische samenstelling van strand- en duinzand voor elk van de 22 meetraaien langs de Nederlandse kust: nevenbestanddelen.

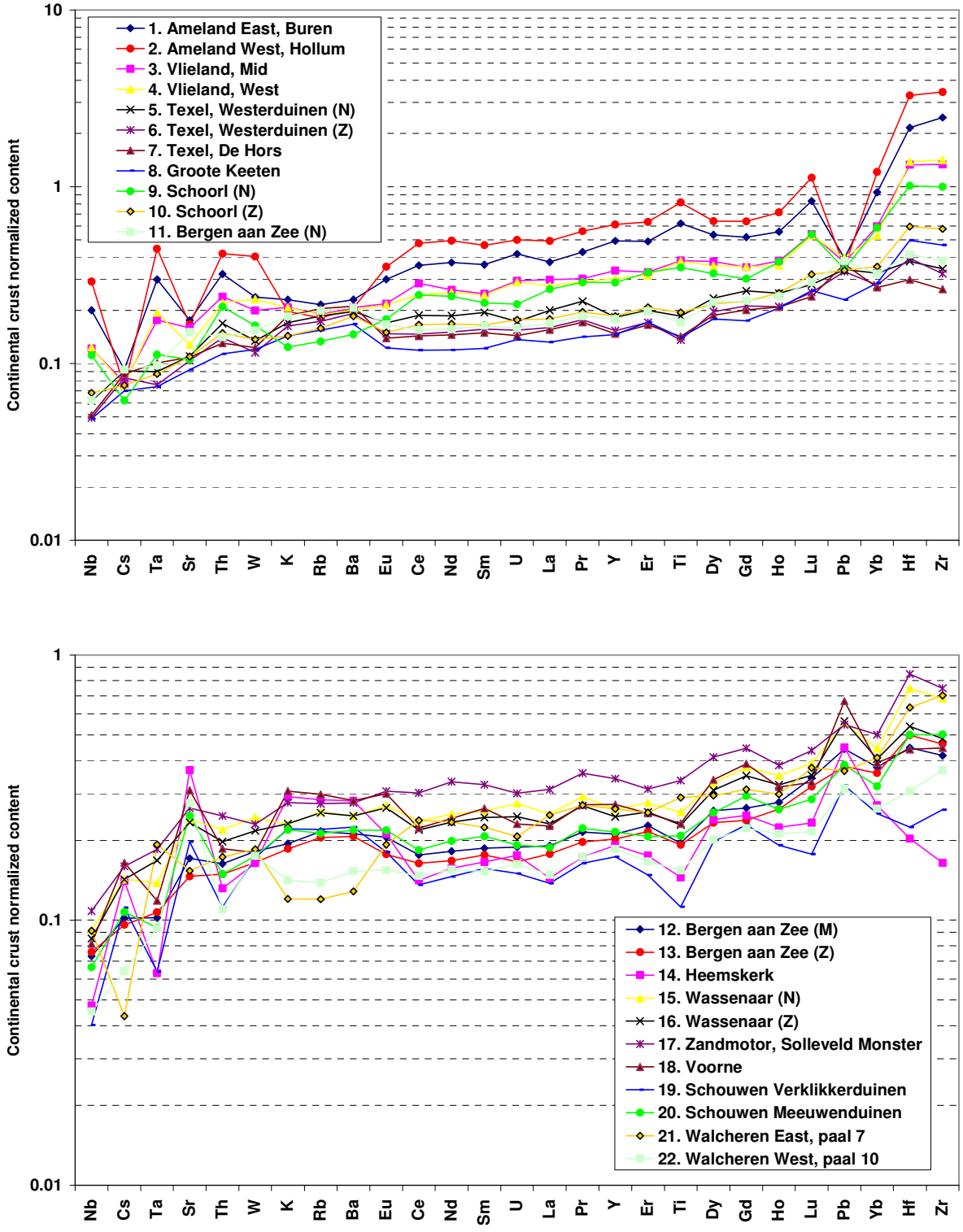
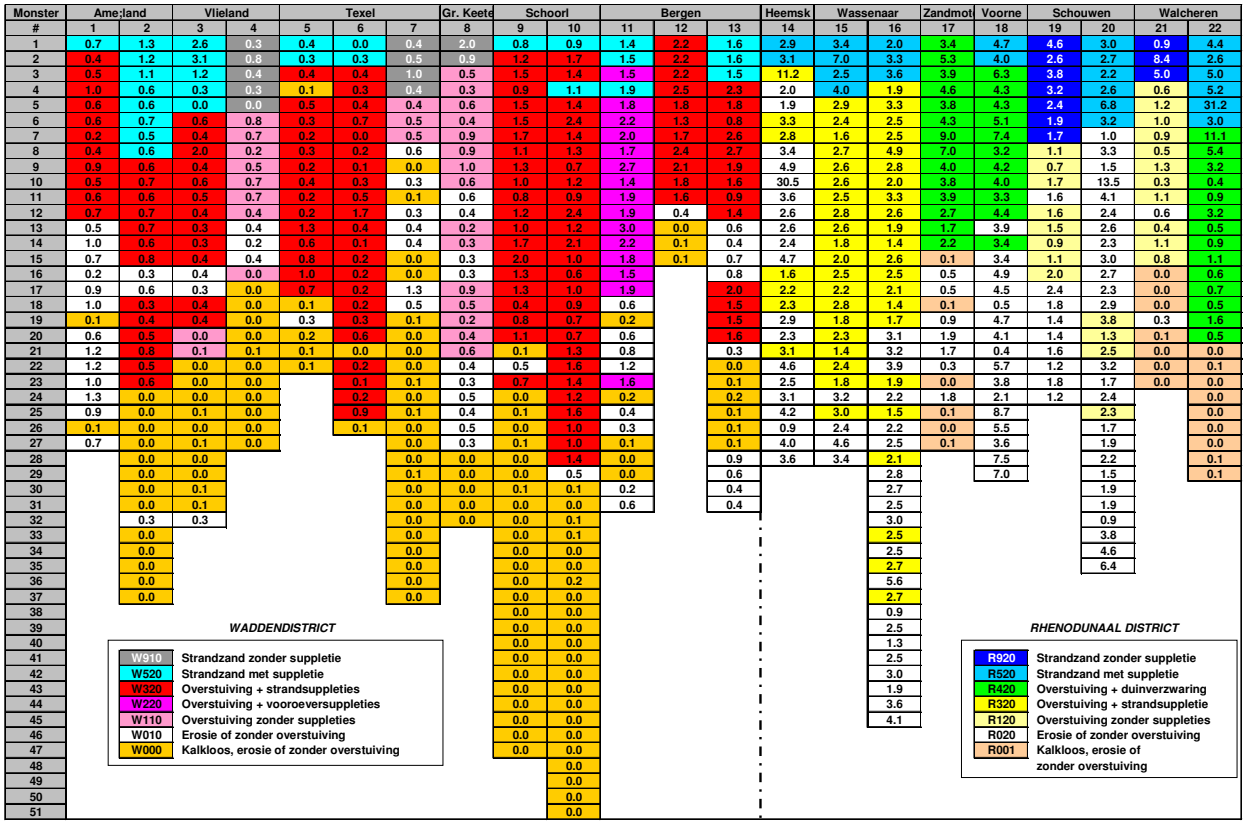


FIG. 5.6. Spiderplot van gemiddeld duin- en strandzand voor de 22 meetraaien van Ameland t/m Walcheren. Normalisatie van meetwaarden op basis van gemiddelde aardkorst.



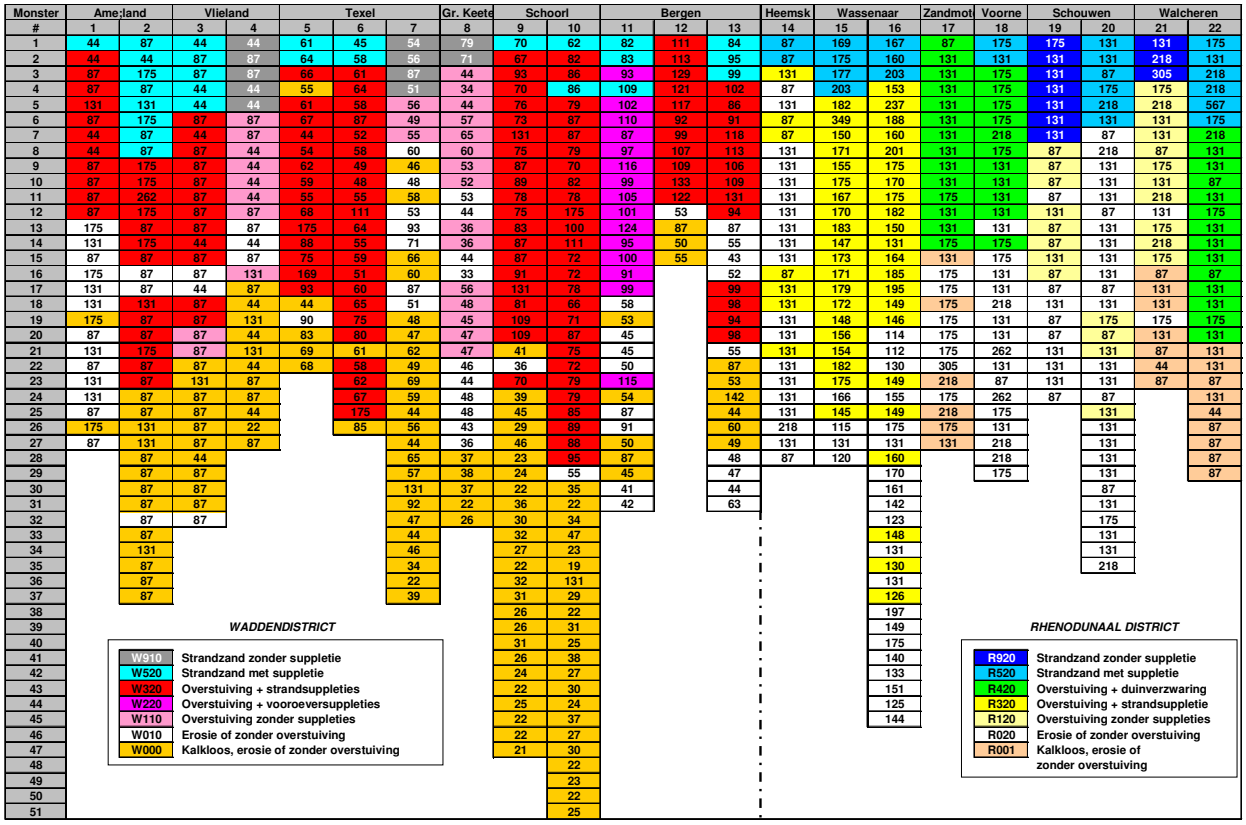
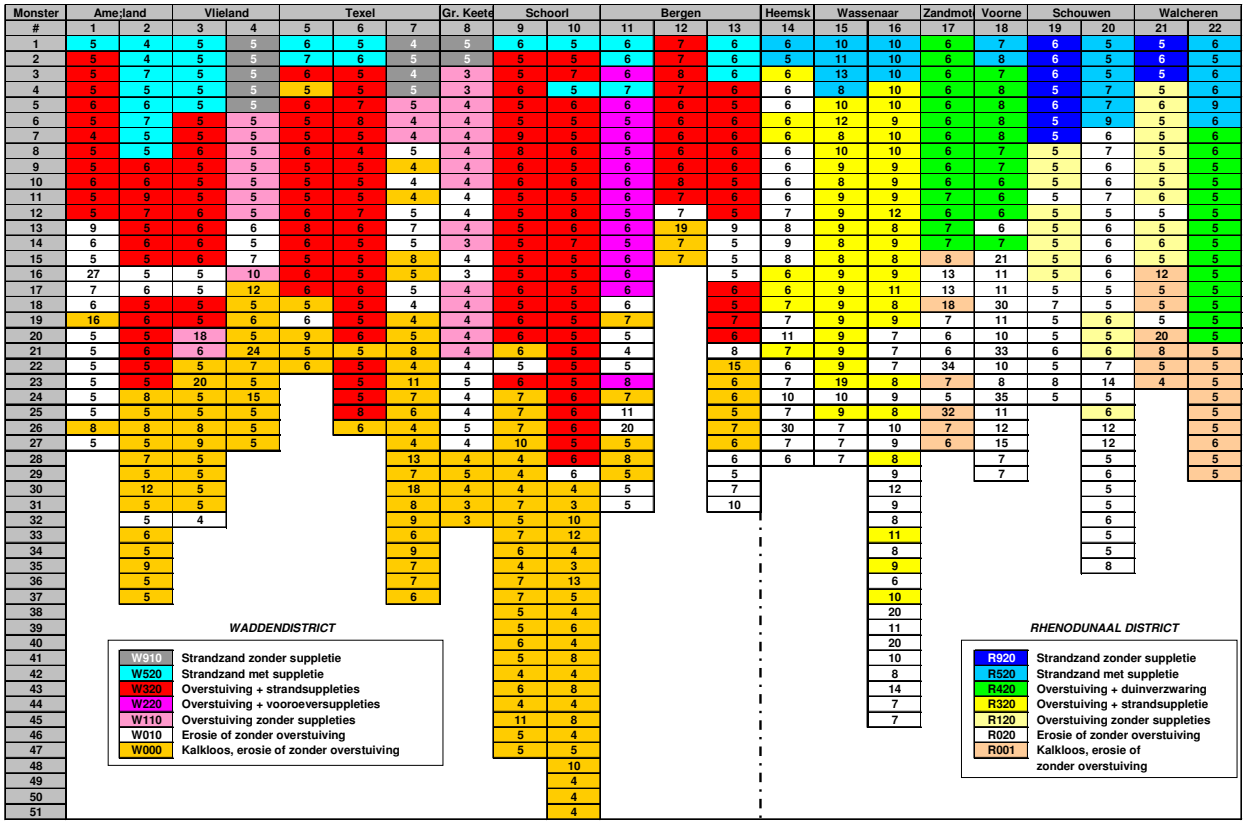


FIG. 5.7. Ruimtelijke verdeling van de kalkgehalten (%; boven) en P-gehalten (ppm; onder) van strand- en duinzand langs de 22 meetraaien van Ameland t/m Walcheren, met indeling in 14 verschillend gekleurde zandklassen.



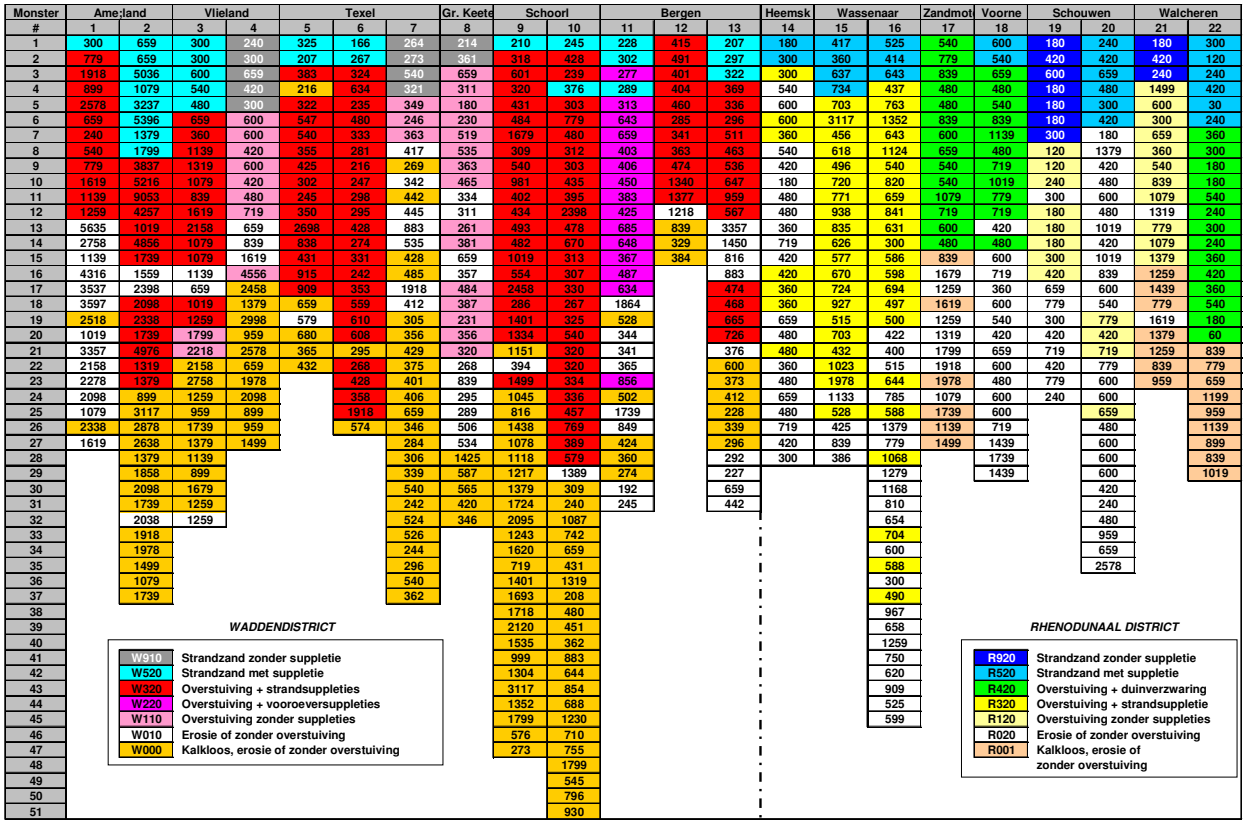


FIG. 5.8. Ruimtelijke verdeling van de Pb-gehalten (ppm; boven) en Ti-gehalten (ppm; onder) van strand- en duinzand langs de 22 meetraaien van Ameland t/m Walcheren, met indeling in 14 verschillend gekleurde zandklassen.

Uit al het gepresenteerde materiaal kunnen de volgende conclusies getrokken worden, met tussen haakjes de betreffende meetraai-nummers:

- Enkele verschillen tussen meetraaien zijn te verklaren door een gemiddeld geringere diepteligging van de monsters t.o.v. maaiveld of een geringere afstand tot de HWL. Een geringere diepteligging leidt doorgaans tot een hoger gehalte aan organische stof en Pb (vergelijk 3 met 4, en 11 met 12), en een geringere afstand tot de HWL tot een lager gehalte aan organische stof en hoger S gehalte (vergelijk 15 met 16, en 19 met 20). De verschillen zijn evenwel gering.
- Verschil in analysemethoden tussen VU en ACME hebben geleid tot verschillen in MDLs (Tabel 5.1) die vooral nadelig uitpakten voor S, met relatief hoge waarden voor de meetraaien bemonsterd in 2011 met analyse door ACME resulterend in een hogere MDL (Tabel 5.1). Hiervoor kon niet gecorrigeerd worden. Als we de ACME resultaten halveren ontstaat een beter passend beeld, waarbij het zuiden wat hoger scoort dan het noorden, hetgeen in lijn is met de noordwaartse afname van de atmosferische S-depositie.
- De kalkovergangszone ligt bij Bergen aan Zee (1-1.5%); ten noorden ervan in het Waddendistrict is het kalkgehalte laag (0.2-0.7%), ten zuiden ervan in het Rhenodunale district hoog (1.9-4.5%) met uitzondering van Walcheren Oost (1.1%), waar de ontkalking achter de zeereep ver is voortgeschreden (moedermateriaal al kalkarm, herwerkt oud duinzand, zie van Haperen, 2009). Deze vergaande ontkalking zien we in het Rhenodunale verder alleen nog bij Walcheren West (21) en bij de Zandmotor (17; ook oude duinen). De hoogste kalkgehalten zien we bij Voorne (18) en Heemskerk (14), de laagste bij Vlieland-Texel (4-7). De Zeeuwse eilanden vertonen gemiddeld iets lagere kalkgehalten dan kalkrijk Holland (conform Van Haperen, 2009). Enkele elementen volgen het kalkpatroon, vooral Sr en in mindere mate Ni en As, terwijl het meest dominante SiO_2 logischerwijs zo ongeveer het tegenovergestelde patroon etaleert (wanneer kalk hoog, SiO_2 laag). De gehalten aan Na- en K-silicaat volgen die van kalk redelijk goed.
- Titanium vertoont de hoogste gehalten bij Ameland (1, 2) gevolgd door Vlieland (3, 4), en de laagste gehalten bij Schouwen Verklikkerduinen (19) gevolgd door Texel Zuid en Groote Keeten (6-8). Lage Ti-gehalten treffen we ook aan bij Heemskerk (14) en Walcheren West (22). Het Ti-patroon wordt zeer nauw gevolgd door veel elementen, hetgeen Ti als gidselement en onderdeel van de zandklassificatie rechtvaardigt. Zo zien we een geheel vergelijkbaar beeld voor Mn, Cr, vrijwel alle REE, Be, Ta, Th, U, Hf en Zr. Genoemde volgorde geldt dan ook voor de meeste elementen in de Spiderplots (Fig.5.6).
- Organische stof (OS, C_{ORG}, BOM) laat de hoogste gehalten zien, met daaraan geassocieerd hoge waarden voor N, CEC, P, Pb, Cd, Cu en Zn, bij de Zandmotor en Voorne (17-18). De laagste gehalten zijn vooral ten noorden van Schoorl in het Waddendistrict (8, 5-6 en 2) gemeten. N is grotendeels onderdeel van OS, P gedeeltelijk, de CEC in belangrijke mate erdoor bepaald (Eq.5), en de zware metalen Pb, Cd, Cu en Zn zijn waarschijnlijk grotendeels atmosferisch van origine en in de bodem aan OS gebonden.
- De hoogste SiO_2-gehalten zijn gevonden tussen Groote Keeten en Schoorl (8-10) en bij Walcheren Oost (21). Deze zanden bevatten >92% SiO_2, zeer weinig kalk (0.5-1.1%) en Al (<0.85%), en ook weinig Na-, K-, Ca- en Mg-silicaten.
- De hoogste gehalten aan Na- en K-silicaat zien we bij Heemskerk, Zandmotor en Voorne (14, 17 en 18), wat samenvalt met de hoogste kalkgehalten. De laagste gehalten aan Na- en K-silicaat zijn gevonden op Walcheren (21, 22) en bij Groote Keeten en Schoorl (8-9). Opvallend is de toename van beide ten noorden van Groote Keeten. Het beschreven patroon wordt nauw gevolgd door Ba, Ce en Rb.
- Ca-silicaten etaleren de hoogste gehalten bij Ameland (1, 2) en Heemskerk (14), en zijn verder redelijk hoog vanaf en ten zuiden van de Zandmotor (17-22). De laagste gehalten zijn te vinden vanaf Texel t/m Bergen (5-13).
- Mg-silicaten zijn het meest prominent aanwezig tussen Wassenaar en Voorne (15-18) en het minst op Walcheren.

5.3 Zandklassen en hun geochemische samenstelling

Voor elk van de 14 onderscheiden zandklassen is de gemiddelde samenstelling bepaald om structurele verschillen hiertussen in beeld te brengen. Het resultaat staat voor 55 kwaliteitsparameters in Tabel 5.3, samen met enkele lokatiekenmerken en met de variatiecoëfficiëntvoor de hele populatie van 683 monsters.

TABEL 5.3. Overzicht van de samenstelling van de 14 zandklassen. Turquoise = op strand; roodbruin = overstuiving met suppleties; wit = overstuiving zonder suppleties; lichtgeel = zonder overstuiving.

Zand	Aantal	Diepte	X-HWL	C-org	N	C/N	BOM550	CEC	CaCO3	Na-Sil	K-Sil	Ca-Sil	Mg-Sil	SiO2	Al	Fe	Mn	S	P	Ti
klasse	monsters	cm-MV	m	%			corr %	meq/kg	%						ppm					
W9	11	24	9	0.03	0.007	4.0	0.29	4.2	0.65	3.04	3.66	0.86	0.59	90.1	9998	1738	51	237	64	354
W5	27	28	28	0.04	0.008	4.6	0.26	4.8	1.03	3.67	3.71	1.07	0.78	88.6	11301	3238	127	176	82	933
W3	142	38	100	0.07	0.008	8.3	0.20	6.3	0.97	3.21	3.09	0.89	0.79	90.0	10462	3493	137	63	90	923
W2	15	23	71	0.11	0.009	10.5	0.23	8.5	1.94	4.13	3.41	0.40	1.01	88.0	11852	3270	93	45	102	509
W1	28	34	146	0.08	0.009	6.2	0.20	6.2	0.48	2.82	3.23	0.66	0.55	91.5	9319	2451	102	65	58	680
W01	60	84	325	0.12	0.010	10.3	0.27	8.8	0.56	3.08	3.25	0.97	0.70	90.3	10516	3788	180	61	73	1235
W00	132	48	509	0.22	0.017	12.4	0.45	9.5	0.038	2.71	3.02	0.82	0.48	91.9	9542	3187	162	51	57	1027
R9	10	26	235	0.06	0.007	8.8	0.56	5.8	3.45	2.16	3.53	2.47	0.64	87.9	8084	2147	47	160	161	288
R5	23	29	-20	0.05	0.008	6.9	0.61	5.4	4.89	2.70	3.73	1.52	0.77	85.4	9939	3690	87	262	178	401
R4	39	32	195	0.08	0.012	5.9	0.39	6.2	3.59	2.99	4.19	1.37	0.90	86.4	10743	3515	109	100	143	546
R3	49	31	83	0.07	0.009	7.4	0.32	6.3	2.57	4.02	4.06	0.68	1.06	86.3	12898	4828	126	66	161	721
R1	23	32	279	0.11	0.011	8.6	0.33	6.4	1.04	1.77	2.96	1.24	0.47	92.1	7125	2599	102	100	138	571
R01	102	58	344	0.29	0.025	9.3	0.72	14.0	3.16	4.08	4.70	1.28	0.89	85.0	12991	3510	120	108	142	730
R00	22	34	380	0.47	0.034	11.6	0.94	12.1	0.037	2.81	3.28	1.12	0.48	91.3	9606	3411	146	118	119	1139
Mean CV	683	90	113	140	114	43	99	69	73	35	25	67	38	3	24	47	67	45	36	72

Zand	Diepte	As	Ba	Be	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb
klasse	cm-MV	ppm																		
W9	24	2.3	143	0.63	0.017	7.2	0.6	29.8	0.48	0.9	0.5	0.3	0.14	1.8	0.5	1.5	0.10	3.9	0.05	1.0
W5	28	2.6	147	0.72	0.014	14.5	0.8	22.1	0.55	1.0	0.8	0.6	0.19	2.1	0.8	6.8	0.20	7.4	0.12	2.6
W3	38	2.7	131	0.45	0.013	15.2	1.0	32.9	0.49	1.1	0.9	0.7	0.20	2.0	0.9	5.3	0.21	7.9	0.12	2.7
W2	23	3.5	144	0.32	0.017	10.0	1.0	17.5	0.60	1.1	0.7	0.4	0.17	2.1	0.7	1.8	0.15	5.3	0.07	1.5
W1	34	1.9	125	0.55	0.020	11.2	0.7	22.0	0.44	0.9	0.7	0.5	0.15	1.8	0.7	4.5	0.16	6.1	0.09	2.0
W01	84	2.1	133	0.40	0.023	17.2	0.9	41.6	0.46	1.1	1.1	0.8	0.21	2.1	1.0	7.8	0.25	9.0	0.15	3.5
W00	48	1.9	122	0.38	0.024	14.8	0.7	31.7	0.42	1.2	0.9	0.7	0.17	1.9	0.8	6.5	0.22	7.9	0.14	2.9
R9	26	4.2	136	1.05	0.021	8.2	0.7	11.6	0.59	1.2	0.6	0.3	0.17	1.3	0.6	1.2	0.12	4.0	0.05	0.9
R5	29	6.4	153	0.46	0.019	9.4	1.3	27.8	0.68	1.7	0.6	0.4	0.20	1.9	0.7	1.5	0.14	4.8	0.06	1.2
R4	32	4.4	156	0.56	0.021	11.7	1.1	31.0	0.77	1.2	0.8	0.5	0.21	2.1	0.8	2.0	0.16	6.0	0.07	1.5
R3	31	5.4	164	0.39	0.019	14.4	1.6	28.6	0.81	1.4	0.9	0.6	0.24	2.3	1.0	3.7	0.20	7.4	0.10	2.2
R1	32	3.1	111	0.82	0.021	12.7	0.6	23.8	0.41	1.1	0.7	0.5	0.17	1.2	0.8	2.5	0.16	6.4	0.08	1.8
R01	58	3.8	168	0.64	0.034	13.9	1.0	31.6	0.76	1.4	0.9	0.5	0.24	2.3	0.9	2.9	0.18	7.1	0.09	2.0
R00	34	2.4	117	0.77	0.030	18.4	0.6	32.6	0.47	1.3	1.0	0.7	0.23	1.8	1.0	5.2	0.23	9.2	0.12	2.8
Mean CV	90	25	20	74	61	55	41	114	28	39	50	54	35	23	48	113	52	54	64	73

Zand	Diepte	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
klasse	cm-MV	ppm																		
W9	24	3.1	1.9	4.7	0.8	22.6	0.6	0.5	42	0.10	0.08	1.1	0.04	0.3	5.9	0.19	2.7	0.3	7.0	57
W5	28	5.9	2.1	5.5	1.6	23.1	1.0	0.6	52	0.23	0.14	1.9	0.09	0.6	9.9	0.31	5.2	0.7	7.3	271
W3	38	6.1	2.3	5.7	1.7	20.0	1.1	0.6	47	0.23	0.16	2.1	0.09	0.6	10.2	0.28	5.5	0.7	8.0	216
W2	23	4.1	3.3	6.0	1.2	23.6	0.8	0.6	59	0.15	0.12	1.5	0.05	0.4	10.6	0.22	3.7	0.5	8.7	64
W1	34	4.5	1.7	5.0	1.3	19.4	0.8	0.6	36	0.16	0.12	1.6	0.07	0.5	7.2	0.26	4.2	0.6	7.2	182
W01	84	6.8	1.9	6.1	1.9	20.1	1.2	0.6	42	0.29	0.17	2.4	0.12	0.7	10.6	0.26	6.8	0.9	8.0	336
W00	48	5.8	1.5	6.7	1.6	18.2	1.0	0.7	31	0.23	0.15	2.1	0.10	0.6	8.7	0.22	5.8	0.8	6.8	270
R9	26	3.6	1.5	5.6	1.0	21.5	0.7	0.5	100	0.08	0.10	1.0	0.05	0.4	7.2	0.23	3.5	0.3	7.6	54
R5	29	4.1	2.8	7.6	1.1	24.3	0.8	0.6	126	0.11	0.12	1.3	0.06	0.5	9.8	0.25	3.8	0.4	14.4	58
R4	32	5.1	3.7	6.1	1.4	25.3	1.0	0.5	90	0.14	0.14	1.6	0.07	0.5	9.3	0.25	4.6	0.4	10.4	74
R3	31	6.0	3.7	8.9	1.7	27.5	1.1	0.8	74	0.24	0.16	2.1	0.07	0.6	16.0	0.33	5.0	0.6	15.4	137
R1	32	5.0	1.3	5.2	1.4	17.2	0.9	0.5	45	0.20	0.13	1.5	0.08	0.4	5.0	0.26	4.6	0.5	7.0	121
R01	58	5.9	2.8	9.1	1.6	28.1	1.1	0.7	85	0.18	0.15	1.8	0.08	0.5	8.8	0.26	5.1	0.6	12.4	113
R00	34	7.7	1.5	8.3	2.1	18.8	1.3	1.1	35	0.32	0.17	2.1	0.11	0.6	5.9	0.33	6.5	0.8	8.7	223
Mean CV	90	54	29	32	54	23	50	55	40	88	47	54	62	52	49	58	52	62	37	116

Waddendistrict

Uit Tabel 5.3 trekken we voor het Waddendistrict de volgende conclusies:

- Gesuppleerd zand (W5, W3, W2) onderscheidt zich eenduidig van niet-gesuppleerd zand (W9, W1, W01 en W00) door hogere gehalten aan kalk (1-1.9 versus 0.04-0.65), Sr (47-59 versus 31-42), As (2.6-3.5 versus 1.9-2.3), Na-silicaat (3.2-4.1 versus 2.7-3.1), Mg-silicaat (0.8-1 versus 0.5-0.7), P (82-102 versus 57-73), Cs (0.5-0.6 versus 0.4-0.5) en Ni (2.1-3.3 versus 1.5-1.9).
- De verschillen tussen overstoven duinzand met strandsuppleties (W3) en dito met vooroeversuppletie (W2) zijn alleen al qua kalk- en Ti-gehalte vrij groot, maar worden vrijwel volledig gedicteerd door lokatieverschillen. Zandklasse W2 komt n.l. alleen voor in meetraai 11 bij Bergen aan Zee, terwijl W3 voorkomt van Bergen t/m Ameland (1-13) en er systematische verschillen zijn tussen b.v. Bergen en de Waddeneilanden. Daarom is separaat gekeken naar verschillen tussen W3 en W2 bij Bergen in meetraaien 11-13 (Tabel 5.4). De verschillen blijken dan geheel verwaarloosbaar.

Rhenodunale district
Uit Tabel 5.3 trekken we voor het Rhenodunale district de volgende conclusies:

- Gesuppleerd zand (R5, R4, R3) onderscheidt zich eenduidig van niet-gesuppleerd zand (R9, R1, R01 en R00) door: hogere gehalten aan Fe (3515-4828 versus 2147-3510), P (143-178 versus 119-161), As (4.4-6.4 versus 2.4-4.2), Co (1.1-1.6 versus 0.6-1.0), Ni (2.8-3.7 versus 1.3-2.8), V (9.3-16 versus 5.0-8.8) en Zn (10.4-15.4 versus 7.0-12.4); lagere gehalten aan Be (0.46-0.56 versus 0.64-1.05); en een lagere C/N ratio (5.9-7.4 versus 8.6-11.6).
- De verschillen tussen duinzand ontstaan door duinverzwaring (R4) en overstoven duinzand met strandsuppleties (R3) zijn alleen al qua kalk- en Ti-gehalte vrij groot, maar worden, net zoals de verschillen tussen W3 en W2, overschaduwd door locatieverschillen. Zandklasse R4 komt alleen in het zuiden voor bij meetraaien 17, 18 en 22, terwijl R3 alleen in het noorden bij meetraaien 14-16 is aangetroffen en er systematische verschillen zijn tussen het noorden en zuiden. Het meeste gelijkenis tussen lokaties met enerzijds R4 en anderzijds R3 bestaat tussen Wassenaar (15-16) en Zandmotor (17). Die zijn derhalve vergeleken in Tabel 5.4, met als resultaat dat R4 duidelijk hoger scoort qua organische stof, kalk, Sr en Ni, maar lager ten aanzien van Fe, P, Co, Hf, Pb, Sn, V, Zn en Zr.

Waddendistrict en Rhenodunale district
Uit Tabel 5.3 trekken we voor beide districten de volgende conclusies:

- Gesuppleerd strandzand (W5, R5) onderscheidt zich eenduidig van niet-gesuppleerd strandzand (W9, R9) door: hogere gehalten aan kalk, Na-, K- en Mg-silicaten, Al, Fe, Mn, P, Ti en de meeste spore-elementen, en lagere gehalten aan SiO2.
- Kalkhoudend duinzand zonder overstuiving (W01, R01) onderscheidt zich van kalkloos duinzand zonder overstuiving (W00, R00) door: hogere gehalten aan kalk, Sr, Na-, K-, Ca- en Mg-silicaten, Al, Fe, P, As, Ba, Co, Cs, Ga, Ni, Rb, V en Zn; lagere gehalten aan organische stof, SiO_2 en Sn; en een lagere C/N ratio.

Waddendistrict versus Rhenodunale district
Uit Tabel 5.3 concluderen we de volgende verschilpunten, waarbij telkens 'pairwise' gekeken is, d.w.z. dat b.v. R5 versus W5 hetzelfde beeld oplevert als R9 versus W9:

- De strandzanden klasse R5 en R9 onderscheiden zich van klasse W5 en W9 door hogere waarden van organische stof, C/N, CEC, kalk, Sr, Ca-silicaat, Fe, P, As, Cd, Co, Cs, Cu, Eu, Pb en Zn, en lagere gehalten aan Na-silicaat, SiO_2, Al, Mn, Ti, Ga, Hf, Nb, Ta, Th en Zr.
- Zandklassen R3 en R4 (overstuiving met strandsuppletie en duinverzwaring) onderscheiden zich van zandklassen W2 en W3 (overstuiving met vooroever- en strandsuppletie) door hogere waarden van BOM, kalk, Sr, K-silicaat, Fe, P, As, Ba, Cd, Co, Cs, Cu, Eu, Ni, Pb, Rb en Zn, en lagere waarden voor C/N, CEC en SiO_2. Een belangrijk deel van de verschillen tussen de strandzanden komen derhalve terug in de verschillen tussen de overstuivingen met suppletiezand.
- Zandklassen zonder suppletie-invloeden R1, R01 en R00 onderscheiden zich van dito W1, W01 en W00 door hogere waarden van organische stof, N, CEC, kalk, Sr, Ca-silicaat, P, As, Be, Cd, Cu en Eu, en lagere gehalten aan Mn, Ti, Hf, Lu, Nb, V en Zr.

TABEL 5.4. Verschillen in samenstelling tussen zandklassen W3 en W2 bij Bergen aan Zee (meetraaien 11-13), en van zandklassen R4 en R3 in de omgeving van Scheveningen (meetraaien 15-17). R4 = duinverzwaring; R3,W3 = overstuiving met op strand gesuppleerd zand; W2 = overstuiving met op vooroever gesuppleerd zand.

Zand	Aantal	Diepte		X-HWL	Sedim	<2	<16	<32	<64	<210	P10	P50	P60	P90	Sortering	Gemidd	Gemidd	St. dev	Skew	Kurt
klasse	monsters	cm-MV	m+NAP	m	m	%					um				P60/P10	um	phi eenheid			
W3	15	23	10.0	71	1.9	0.7	0.9	1.0	1.6	38	178	274	295	422	1.65	315	1.74	0.50	0.16	4.4
W2	24	28	13.3	96	1.1	0.7	1.1	1.3	2.1	41	172	270	291	414	1.69	308	1.76	0.51	0.27	4.5
R4	14	32	7.0	277	3.3	0.6	0.8	0.8	1.3	26	190	337	375	576	1.98	396	1.65	0.90	4.44	42.0
R3	42	33	9.3	80	1.8	0.6	0.9	1.1	2.0	36	170	293	324	491	1.91	344	1.66	0.60	0.18	3.9

Zand	Aantal	Diepte	X-HWL	C-org	N	C/N	BOM550	CEC	CaCO3	Na-Sil	K-Sil	Ca-Sil	Mg-Sil	SiO2	Al	Fe	Mn	S	P	Ti
klasse	monsters	cm-MV	m	%			corr %	meq/kg	%						ppm					
W3	15	23	71	0.11	0.01	10.5	0.23	8.5	1.9	4.13	3.41	0.40	1.01	88.0	11852	3270	93	45	102	509
W2	24	28	96	0.13	0.009	13.1	0.26	9.1	1.85	4.03	3.29	0.49	1.00	88.2	11755	3389	103	42	108	557
R4	14	32	277	0.11	0.016	5.2	0.47	7.4	4.25	3.70	4.68	1.36	1.25	83.9	13095	4406	133	100	134	655
R3	42	33	80	0.07	0.009	6.9	0.30	6.4	2.37	3.94	3.91	0.49	1.10	86.7	12879	5119	132	61	170	772

Zand	Aantal	As	Ba	Be	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb
klasse	monsters	ppm																		
W3	15	3.5	144	0.32	0.017	10.0	1.0	17.5	0.60	1.1	0.7	0.44	0.17	2.1	0.7	1.8	0.15	5.3	0.07	1.5
W2	24	3.4	139	0.33	0.015	10.9	1.1	18.9	0.58	1.1	0.7	0.48	0.19	2.1	0.7	2.0	0.16	5.8	0.08	1.7
R4	14	4.6	183	0.57	0.021	14.0	1.1	39.8	0.99	1.0	0.9	0.53	0.24	2.5	1.0	2.5	0.18	7.4	0.08	1.9
R3	42	5.6	162	0.38	0.019	15.4	1.7	25.0	0.81	1.4	0.9	0.62	0.25	2.3	1.0	4.1	0.21	8.0	0.10	2.4

Zand	Aantal	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
klasse	monsters	ppm																		
W3	15	4.1	3.3	6.0	1.2	23.6	0.8	0.6	59	0.15	0.12	1.5	0.05	0.4	10.6	0.22	3.7	0.5	8.7	64
W2	24	4.5	3.3	6.2	1.3	23.2	0.9	0.6	58	0.15	0.13	1.6	0.06	0.4	11.2	0.25	4.0	0.5	8.9	76
R4	14	6.3	5.4	6.2	1.6	29.5	1.2	0.6	104	0.20	0.15	2.0	0.09	0.6	11.9	0.28	5.5	0.5	11.4	86
R3	42	6.4	3.7	9.4	1.8	27.3	1.2	0.9	68	0.27	0.17	2.2	0.07	0.7	17.5	0.34	5.3	0.6	15.9	155

5.4 Statistische significantie van geochemische verschillen

Toetsing via de Wilcoxon-rangsom-toets

In Tabel 5.5 zijn de resultaten van statistische toetsing via de Wilcoxon-rangsom-toets (tweezijdig) gepresenteerd. Het betreft toetsing van de nulhypothese dat zandtype 1 niet significant verschilt qua mediane geochemische samenstelling en andere karakteristieken van zandtype 2. De in een cel vermelde p-waarde geeft de kans op de betreffende combinatie van meetwaarden van de twee zandklassen onder de nulhypothese dat de medianen van de twee zandklassen gelijk zijn. Een waarde dicht bij nul betekent dat de nulhypothese verworpen kan worden. Hier wordt de nulhypothese verworpen bij $p < 0,05$. De toets is uitgevoerd voor de volgende, 18 zich onderscheidende situaties:

- Wel en niet gesuppleerd strandzand, voor zowel Waddendistrict (W9-W5) als Rhenodunaal distrikt (R9-R5);
- Niet gesuppleerd strandzand versus overstuiving zonder suppleties, voor zowel Waddendistrict (W9-W1) als Rhenodunaal distrikt (R9-R1);
- Wel gesuppleerd strandzand versus overstuiving met strandsuppleties, voor zowel Waddendistrict (W5-W3) als Rhenodunaal distrikt (R5-R3);
- Overstuiving met duinverzwaring versus overstuiving met strandsuppleties, alleen mogelijk in Rhenodunale district (R4-R3);
- Overstuiving met strandsuppleties versus overstuiving met vooroeversuppleties, alleen mogelijk in Waddendistrict (W3-W2);
- Overstuiving met strandsuppleties versus overstuiving zonder suppleties, voor zowel Waddendistrict (W3-W1) als Rhenodunaal distrikt (R3-R1);
- Overstuiving met strandsuppleties versus kalkarm tot zeer kalkrijk duinzand zonder overstuiving, voor zowel Waddendistrict (W3-W01) als Rhenodunaal distrikt (R3-R01);
- Overstuiving met strandsuppleties versus kalkloos duinzand zonder overstuiving, voor zowel Waddendistrict (W3-W00) als Rhenodunaal distrikt (R3-R00);
- Gesuppleerd strandzand in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W5-R5);
- Overstuiving met strandsuppleties in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W3-R3);
- Kalkarm tot zeer kalkrijk duinzand zonder overstuiving in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W01-R01);
- Kalkloos duinzand zonder overstuiving in het Waddendistrict versus dito in Rhenodunale district (W00-R00).

Uit de rechterkolom van Tabel 5.5 kan het volgende geconcludeerd worden over het gemiddeld discriminerend vermogen van de parameters:

- Relatief gering als %p[<0.005] <25%: Corg, N, Mn, Ti, Cr, alle REE (m.u.v. Eu), Nb, Ta, U, CEC, Sr-other en diepte;
- Relatief sterk als %p[<0.005] >55%: X-HWL, BOM, Ca, P, S, As, Be, Co, Ni, Sr, CaCO3, Al-rest en S_{INORG}. Van deze 13 parameters zijn de volgende 9 benoemd tot primaire geochemische discriminatoren voor de zandklassen: BOM, Ca, P, S, As, Be, Co, Ni en Sr. Zij berusten louter op een enkele chemische analyse (zonder berekening zoals in geval van $CaCO_3$);
- Matig als niet gering noch sterk: alle overige parameters.

In alle 18 getoetste situaties zijn er meerdere (6-58 van de 70) parameters die een voldoende groot verschil opleverden ($p<0.05$) om te kunnen stellen dat voor elk van de 18 paren geldt dat zij een statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid) verschil vertonen. Als we het kriterium verscherpen tot $p<0.005$ dan stoelt alleen het onderscheid tussen W9 en W5 nog op slechts één enkele parameter (Pb), maar alle andere paren kunnen hun onderscheiding bogen op 6-37 van de 53 beschouwde chemische parameters (op 1 na onderste rij in Tabel 5.5). Paren die zich onderscheiden met het meeste parameters (>30) zijn W3-R3, R3-R00 en R5-R3.

Clusteranalyse van zandklassen

De relatieve verwantschap van de 14 zandklassen is via clusteranalyse in beeld gebracht. Als afstandsmaat is gekozen de gekwadrateerde Euclidische afstand, en de clustermethode is ingezet als hiërarchisch agglomeratief, met Average Linkage Between Groups.

Voor elke zandklasse is eerst per combinatie van zandklasse en parameter de mediaan bepaald. De clusteranalyse gaat uit van de matrix van 14 zandklassen en 70 medianen. Na het berekenen van de mediaan per zandklasse is per parameter gestandaardiseerd, tot gemiddelde nul en standaardafwijking 1. Hiërarchisch agglomeratief houdt in dat wordt gestart met evenveel clusters als zandklassen (hier dus 14) en dat vervolgens stapsgewijs de meest nabijliggende clusters worden samengevoegd, tot er nog maar één cluster is. Average Linkage Between Groups houdt in dat de afstand tussen twee clusters wordt bepaald als het gemiddelde van alle afstanden die voor alle zandklassenparen kunnen worden berekend, met per paar een zandklasse uit de ene cluster en een zandklasse uit de andere cluster.

We beoordelen vooral op basis van het dendrogram en het agglomeratieschema bij hoeveel clusters we het clusteren stoppen. Dat is als we vinden dat in de volgende stap té ver van elkaar gelegen clusters worden samengevoegd.

Er is hier geen aantal clusters gekozen. De resultaten zijn slechts indicatief bedoeld. Uit het dendrogram en de proximity matrix kan worden afgelezen welke zandklassen in de 70-dimensionale parametermediane-ruimte het dichtst bij elkaar liggen.

Het resultaat van zandklasseclustering is weergegeven in Fig.5.9 en 5.10.

Dicht bij elkaar liggen bijvoorbeeld W01 en W00, W3 en W2, W9 en W5. R00 ligt daarentegen het verst van andere klassen.

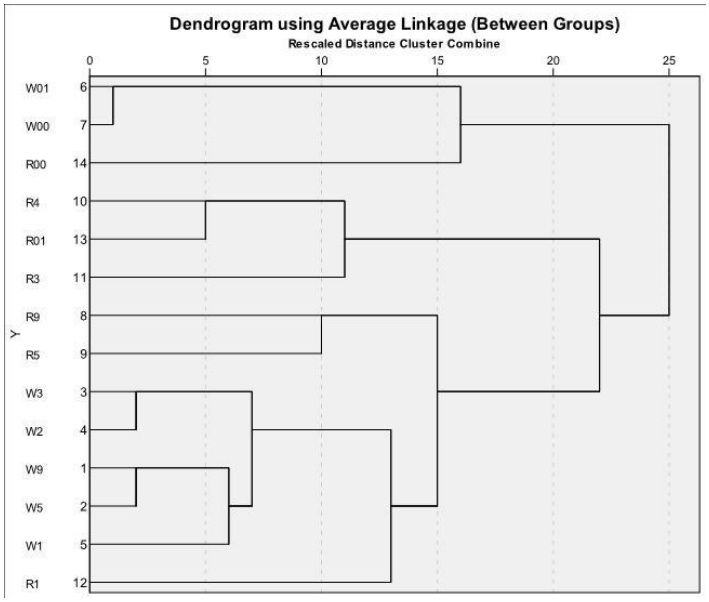


FIG. 5.9. Dendrogram voor de 14 zandklassen (lees van links naar rechts). Een verticale lijn voegt twee clusters samen tot een grotere cluster. De positie op de X-as van zo'n verticale lijn geeft aan hoe ver de twee verbonden clusters van elkaar liggen. De X-as is geschaald (en dimensieloos), zodanig dat de maximale afstand altijd 25 bedraagt (laatste clustering).

Case	1:W9	2:W5	3:W3	4:W2	5:W1	6:W01	7:W00	8:R9	9:R5	10:R4	11:R3	12:R1	13:R01	14:R00	Cluster
1:W9	0	22	63	82	43	154	182	90	120	199	261	99	180	356	1
2:W5	22	0	46	51	60	118	151	60	84	145	197	93	115	313	
3:W3	63	46	0	21	38	53	75	103	116	121	143	71	93	210	2
4:W2	82	51	21	0	71	85	116	111	107	97	108	127	76	275	
5:W1	43	60	38	71	0	92	103	131	191	219	271	87	180	295	3
6:W01	154	118	53	85	92	0	13	176	191	141	164	127	86	130	4
7:W00	182	151	75	116	103	13	0	201	233	186	212	130	120	109	
8:R9	90	60	103	111	131	176	201	0	76	139	235	97	120	315	5
9:R5	120	84	116	107	191	191	233	76	0	72	128	133	97	294	6
10:R4	199	145	121	97	219	141	186	139	72	0	77	197	41	238	7
11:R3	261	197	143	108	271	164	212	235	128	77	0	260	89	269	8
12:R1	99	93	71	127	87	127	130	97	133	197	260	0	187	177	9
13:R01	180	115	93	76	180	86	120	120	97	41	89	187	0	205	7
14:R00	356	313	210	275	295	130	109	315	294	238	269	177	205	0	10

FIG. 5.10. Proximity Matrix voor paren van zandklassen, en in rechter kolom resultaten van clustering. De weergegeven getallen vertegenwoordigen de som van de gekwadrateerde verschillen (Squared Euclidean Distance) over alle parameters (hier over de parametermedianen).

TABEL 5.5. Statistische toetsing via de Wilcoxon-rangsom-toets (tweezijdig), van de nulhypothese dat de mediaan van zandtype 1 niet significant verschilt van de mediaan van zandtype 2, voor 18 verschillende situaties (paren van zandklassen). Intens geel gekleurde parameters: sterkste discriminatoren (>55% van alle paren met p<0.005). # = aantal. Nulhypothese verworpen met 95% betrouwbaarheid als p < 0.05 (blauw gearceerd in tabel)

	Vergeleken paar zandklassen																		#	p < 0.05		p < 0.005	
	W9	R9	W9	R9	W5	R5	R4	W3	W3	R3	W3	R3	W3	R3	W5	W3	W01	W00					
Parameter	W5	R5	W1	R1	W3	R3	R3	W2	W1	R1	W01	R01	W00	R00	R5	R3	R01	R00		#	%	#	%
X-HWL	0.439	0.000	0.000	0.475	0.000	0.000	0.000	0.073	0.014	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.004	0.980	0.568	18	13	72%	11	61%
Depth	0.600	0.724	0.627	0.644	0.211	0.756	0.575	0.114	0.230	0.639	0.000	0.001	0.156	0.259	0.646	0.209	0.060	0.402	18	2	11%	2	11%
<2	0.076	0.050	0.000	0.020	0.084	0.012	0.591	0.126	0.084	0.002	0.000	0.000	0.000	0.467	0.020	0.012	0.012	0.001	18	12	67%	6	33%
<16	0.118	0.164	0.001	0.012	0.074	0.001	0.037	0.049	0.131	0.000	0.000	0.177	0.000	0.080	0.087	0.293	0.023	0.002	18	10	56%	6	33%
P50	0.094	0.357	0.122	0.731	0.720	0.005	0.000	0.683	0.685	0.028	0.002	0.000	0.002	0.732	0.001	0.000	0.247	0.001	18	9	50%	7	39%
Size	0.148	0.357	0.165	0.663	0.876	0.008	0.000	0.786	0.839	0.101	0.005	0.000	0.007	0.087	0.002	0.000	0.195	0.004	18	8	44%	5	28%
BOM	0.652	0.652	0.004	0.000	0.001	0.000	0.004	0.661	0.002	0.209	0.445	0.001	0.000	0.158	0.000	0.000	0.000	0.026	18	12	67%	11	61%
C-org	0.334	0.117	0.174	0.744	0.435	0.570	0.686	0.016	0.694	0.116	0.002	0.001	0.000	0.000	0.099	0.174	0.015	0.028	18	7	39%	4	22%
N	0.392	0.634	0.975	0.248	0.856	0.419	0.015	0.213	0.091	0.967	0.930	0.032	0.000	0.000	0.040	0.000	0.000	0.014	18	8	44%	4	22%
LOI 330	0.923	0.104	0.095	0.113	0.058	0.001	0.065	0.964	0.015	0.257	0.535	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18	9	50%	8	44%
Al	0.082	0.176	0.303	0.124	0.055	0.003	0.502	0.001	0.017	0.000	0.852	0.408	0.003	0.002	0.316	0.000	0.000	0.286	18	8	44%	7	39%
Na	0.595	0.009	0.000	0.002	0.000	0.163	0.046	0.000	0.017	0.000	0.272	0.126	0.000	0.002	0.846	0.000	0.000	0.981	18	12	67%	9	50%
K	0.797	0.457	0.051	0.089	0.000	0.124	0.187	0.002	0.780	0.000	0.354	0.002	0.088	0.002	0.869	0.000	0.000	0.637	18	7	39%	7	39%
Ca	0.122	0.769	0.138	0.000	0.607	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	18	14	78%	13	72%
Mg	0.342	0.099	0.001	0.007	0.072	0.566	0.840	0.000	0.000	0.000	0.024	0.001	0.000	0.000	0.340	0.000	0.000	0.661	18	11	61%	9	50%
Fe	0.013	0.003	0.333	0.927	0.009	0.008	0.000	0.044	0.000	0.000	0.601	0.000	0.274	0.000	0.006	0.000	0.181	0.144	18	12	67%	7	39%
Mn	0.473	0.002	0.034	0.027	0.001	0.000	0.324	0.724	0.022	0.088	0.021	0.267	0.025	0.031	0.043	0.001	0.187	0.623	18	11	61%	4	22%
S	0.572	0.039	0.001	0.015	0.000	0.000	0.000	0.002	0.959	0.000	0.032	0.000	0.000	0.000	0.014	0.111	0.000	0.000	18	15	83%	11	61%
P	0.130	0.420	0.360	0.301	0.132	0.479	0.006	0.001	0.000	0.066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18	11	61%	10	56%
Ti	0.449	0.079	0.080	0.114	0.022	0.000	0.038	0.461	0.091	0.089	0.023	0.884	0.004	0.000	0.711	0.112	0.088	0.063	18	6	33%	3	17%
As	0.079	0.003	0.015	0.001	0.937	0.096	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18	15	83%	14	78%
Ba	0.809	0.422	0.012	0.004	0.002	0.178	0.362	0.002	0.312	0.000	0.251	0.551	0.041	0.001	0.599	0.000	0.000	0.165	18	9	50%	7	39%
Be	0.300	0.001	0.154	0.326	0.029	0.003	0.000	0.396	0.036	0.000	0.028	0.000	0.000	0.000	0.747	0.000	0.000	0.000	18	13	72%	10	56%
Bi	0.158	0.805	0.431		0.059	0.059	0.000	0.177	0.347	0.008	0.649	0.000	0.953	0.003	0.195	0.020	0.000	0.000	17	7	41%	5	29%
Cd	0.099	0.179	0.749		0.840	0.158	0.000	0.734	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.012	0.000	0.041	0.104	17	10	59%	8	47%
Ce	0.176	0.247	0.073	0.462	0.003	0.000	0.078	0.264	0.001	0.113	0.166	0.434	0.134	0.002	0.326	0.029	0.744	0.009	18	6	33%	4	22%
Co	0.057	0.000	0.553	0.070	0.013	0.107	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.061	18	13	72%	11	61%
Cr	0.910	0.069	0.639	0.080	0.004	0.269	0.346	0.702	0.042	0.589	0.335	0.562	0.338	0.067	0.019	0.013	0.904	0.107	18	4	22%	1	6%
Cs	0.060	0.207	0.095	0.015	0.006	0.192	0.350	0.000	0.005	0.000	0.049	0.218	0.000	0.000	0.063	0.000	0.000	0.471	18	10	56%	7	39%
Cu	0.393	0.621	0.696	0.109	0.148	0.027	0.020	0.273	0.002	0.000	0.768	0.190	0.248	0.147	0.003	0.000	0.000	0.330	18	7	39%	5	28%
Dy	0.469	0.337	0.185	0.765	0.002	0.000	0.358	0.809	0.005	0.045	0.215	0.609	0.271	0.066	0.056	0.000	0.608	0.047	18	6	33%	4	22%
Er	0.062	0.317	0.011	0.550	0.001	0.000	0.012	0.888	0.006	0.054	0.121	0.066	0.023	0.027	0.430	0.002	0.284	0.334	18	8	44%	3	17%
Eu	0.246	0.080	0.719	0.694	0.145	0.001	0.188	0.781	0.001	0.000	0.932	0.811	0.004	0.102	0.007	0.000	0.000	0.001	18	8	44%	7	39%
Ga	0.051	0.007	0.574	0.518	0.259	0.001	1.000	0.021	0.004	0.000	0.687	0.332	0.040	0.001	0.302	0.000	0.001	0.111	18	9	50%	6	33%
Gd	0.198	0.399	0.160	0.872	0.002	0.000	0.209	0.786	0.001	0.018	0.636	0.568	0.622	0.467	0.006	0.000	0.077	0.003	18	7	39%	5	28%
Hf	0.039	0.230	0.003	0.062	0.040	0.000	0.001	0.043	0.898	0.072	0.000	0.067	0.000	0.001	0.243	0.217	0.000	0.663	18	10	56%	7	39%
Ho	0.071	0.354	0.029	0.712	0.001	0.000	0.029	0.895	0.003	0.040	0.102	0.122	0.033	0.052	0.402	0.001	0.607	0.254	18	8	44%	4	22%
La	0.334	0.202	0.122	0.395	0.001	0.000	0.066	0.231	0.002	0.069	0.121	0.251	0.093	0.002	0.711	0.062	0.326	0.032	18	5	28%	4	22%
Lu	0.031	0.093	0.015	0.152	0.004	0.000	0.002	0.558	0.050	0.116	0.019	0.037	0.003	0.005	0.513	0.038	0.009	0.685	18	12	67%	4	22%
Nb	0.130	0.182	0.018	0.034	0.006	0.000	0.001	0.517	0.064	0.289	0.035	0.119	0.010	0.005	0.402	0.034	0.092	0.339	18	9	50%	2	11%
Nd	0.385	0.164	0.174	0.335	0.003	0.000	0.301	0.358	0.002	0.064	0.279	0.523	0.289	0.008	0.126	0.006	0.608	0.003	18	6	33%	4	22%
Ni	0.809	0.005	0.028	0.058	0.105	0.015	0.413	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054	0.000	0.000	0.386	18	12	67%	10	56%
Pb	0.003	0.013	0.195	0.017	0.470	0.017	0.000	0.055	0.000	0.000	0.006	0.001	0.948	0.000	0.000	0.000	0.000	0.549	18	13	72%	9	50%
Pr	0.166	0.240	0.108	0.491	0.002	0.000	0.054	0.316	0.001	0.046	0.257	0.346	0.218	0.013	0.255	0.012	0.942	0.010	18	7	39%	3	17%
Rb	0.723	0.203	0.008	0.022	0.002	0.107	0.782	0.000	0.523	0.000	0.495	0.557	0.003	0.000	0.413	0.000	0.000	0.806	18	9	50%	7	39%
Sm	0.198	0.141	0.303	0.323	0.002	0.000	0.255	0.483	0.000	0.020	0.454	0.605	0.910	0.179	0.036	0.001	0.192	0.004	18	7	39%	5	28%
Sn	0.200	0.086	0.734		0.220	0.000	0.000	0.034	0.017	0.000	0.249	0.000	0.012	0.000	0.772	0.000	0.164	0.545	17	9	53%	6	35%
Sr	0.058	0.544	0.066	0.000	0.134	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.009	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.248	18	13	72%	11	61%
Ta	0.710	0.087	0.562	0.013	0.000	0.000	0.003	0.855	0.017	0.464	0.039	0.019	0.153	0.024	0.836	0.009	0.011	0.018	18	11	61%	3	17%
Tb	0.076	0.054	0.111	0.440	0.003	0.000	0.048	0.931	0.000	0.016	0.581	0.272	0.710	0.559	0.068	0.000	0.327	0.041	18	7	39%	4	22%
Th	0.138	0.032	0.155	0.072	0.001	0.000	0.030	0.434	0.000	0.001	0.359	0.004	0.267	0.456	0.969	0.006	0.316	0.185	18	8	44%	5	28%
Tm	0.208	0.240	0.065	0.050	0.024	0.008	0.632	0.614	0.093	0.416	0.041	0.069	0.025	0.000	0.041	0.001	0.885	0.074	18	7	39%	2	11%
U	0.258	0.146	0.390	0.580	0.012	0.006	0.094	0.591	0.002	0.000	0.701	0.001	0.889	0.823	0.017	0.000	0.697	0.014	18	8	44%	4	22%
V	0.005	0.318	0.394	0.062	0.406	0.001	0.000	0.068	0.000	0.000	0.310	0.000	0.001	0.000	0.658	0.000	0.051	0.001	18	10	56%	9	50%
W	0.438	0.124	0.887	0.321	0.940	0.000	0.000	0.700	0.130	0.000	0.939	0.000	0.085	0.000	0.036	0.000	0.004	0.002	18	9	50%	8	44%
Y	0.085	0.421	0.095	0.566	0.014	0.000	0.455	0.795	0.011	0.151	0.167	0.888	0.162	0.002	0.025	0.001	0.710	0.058	18	6	33%	3	17%
Yb	0.039	0.357	0.024	0.081	0.003	0.000	0.005	0.770	0.011	0.116	0.054	0.124	0.007	0.002	1.000	0.018	0.091	0.547	18	9	50%	3	17%
Zn	0.846	0.002	0.938	0.182	0.069	0.014	0.000	0.043	0.052	0.000	0.114	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.032	18	12	67%	9	50%
Zr	0.062	0.769	0.002	0.070	0.040	0.000	0.001	0.040	0.754	0.444	0.000	0.197	0.000	0.000	0.381	0.281	0.000	0.514	18	9	50%	7	39%
CEC	0.077	0.014	0.001	0.251	0.265	0.072	0.782	0.014	0.098	0.870	0.000	0.000	0.000	0.122	0.311	0.889	0.492	0.908	18	6	33%	4	22%
CaCO3	0.094	0.318	0.618	0.000	0.669	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.277	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.683	18	12	67%	11	61%
Ca-Sil	0.822	0.013	0.089	0.001	0.327	0.000	0.000	0.051	0.052	0.000	0.549	0.000	0.242	0.000	0.062	0.200	0.003	0.001	18	9	50%	8	44%
Na-Sil	0.115	0.337	0.651	0.302	0.004	0.000	0.013	0.000	0.025	0.000	0.373	0.181	0.001	0.002	0.024	0.000	0.000	0.977	18	11	61%	8	44%
K-Sil	0.949	0.739	0.063	0.207	0.001	0.119	0.387	0.027	0.402	0.001	0.098	0.000	0.948	0.004	0.861	0.000	0.000	0.678	18	7	39%	6	33%
Mg-Sil	0.053	0.337	0.374	0.242	0.869	0.001	0.775	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.984	0.000	0.001	0.575	18	10	56%	9	50%
Al-rest	0.664	0.004	0.325	0.088	0.007	0.000	0.000	0.001	0.178	0.000	0.282	0.000	0.319	0.000	0.582	0.000	0.003	0.000	18	11	61%	10	56%
SiO2	0.077	0.299	0.068	0.000	0.004	0.961	0.109	0.000	0.007	0.000	0.162	0.019	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.689	18	11	61%	8	44%
S-inorg	0.629	0.015	0.000	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.653	0.000	0.118	0.000	0.000	0.007	0.025	0.656	0.000	0.000	18	13	72%	10	56%
P-other	0.166	0.422	0.028	0.207	0.547	0.425	0.009	0.050	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	18	12	67%	9	50%
Sr-other	0.403	0.493	0.068	0.001	0.012	0.013	0.090	0.289	0.106	0.460	0.149	0.335	0.355	0.087	0.969	0.570	0.259	0.189	18	3	17%	1	6%
#	70	70	70	67	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	1257				
#(p < 0.05)	6	18	22	20	40	51	40	30	45	46	31	39	46	52	32	58	42	32		650		458	
%(p < 0.05)	9%	26%	31%	30%	57%	73%	57%	43%	64%	66%	44%	56%	66%	74%	46%	83%	60%	46%			52%		
#(p < 0.005) $	1	7	6	6	22	32	20	13	27	26	9	21	25	35	10	37	27	13					36%
#(p < 0.005) $$	0	4	3	3	4	3	3	6	4	7	4	6	7	8	2	8	6	1					

$ = parameterselectie (n=49): BOM t/m Zr

$$ = parameterselectie (n=9): BOM, Ca, P, S, As, Be, Co, Ni, Sr.

5.5 Geochemisch verloop langs de transecten

Kalkgehalten langs de transecten

De kalkgehalten van alle monsters zijn in elk transect geplot als functie van hun positie t.o.v. de maaiveldhoogte en de afstand tot de HoogWaterLijn (X-HWL), van noord naar zuid in resp. Fig.5.11 (raaien 1-6; Waddeneilanden), Fig.5.12 (raaien 7-12; kalkarme duinen), Fig.5.13 (raaien 13-18; Noord- en Zuid-Holland) en Fig.5.14 (raaien 19-22, Zeeland).
In alle 22 transecten is niet alleen de huidige maaiveldspositie weergegeven maar tevens die van vóór de start van de eerste zandsuppleties die daadwerkelijk tot overstuiving hebben geleid, namelijk die sinds 1997. Het verschil in maaiveldspositie is gebruikt om zones te markeren waar zandsuppleties over het relatief oude landschap heengestoven zijn, en waar dit niet gebeurde (erosie of geen veranderingen). Dit heeft in belangrijke mate bijgedragen aan de zandklassificatie, naast verschillen in kalkgehalte tussen wel en niet gesuppleerd zand vooral in het Waddendistrict en op Walcheren (par. 2.5). Inversies in kalkgehalte (hoog op laag) zijn vaak indicatief voor recente overstuiving met materiaal uit de zeereep, maar niet altijd. Als de verschillen zeer klein zijn, kunnen b.v. meetfouten parten spelen.
Commentaar bij de gepresenteerde figuren wordt geleverd in het onderschrift.

Enkele parameters als functie van X-HWL

Correlaties van bodembestanddelen of elementgehalten met de afstand tot de HWL zijn voor de database als geheel zeer slecht, zoals blijkt uit de Pearson correlatiematrix in Fig.5.20-5.21. Op individueel transectniveau kan dit verband echter aanzienlijk verbeteren, omdat allerlei complicaties dan afnemen. De ruimtelijke plots in Fig.5.7 en 5.8 tonen dat er duidelijke relaties te vinden zijn, des te meer naarmate verschillen in diepte (bodemvorming) van monsters op dezelfde locatie geëlimineerd zouden worden. In het kader van deze studie is dit te bewerkelijk. Voor P en S geldt dat de nauwkeurigere VU-analyses een betere resolutie geven, zodat gekozen is voor het maken van plots voor deze elementen die louter de VU-meetpunten omvatten (Fig.5.17).
In Fig.5.15-5.19 zijn enkele plots gepresenteerd die onderstaande conclusies toelaten voor de vermelde lokaties:

- Kalk (Fig.5.15) en Sr (Fig.5.18) vertonen in het Waddendistrict een duidelijke toename zeewaarts als gevolg van overstuiving met gesuppleerd kalkrijk (en dus ook Sr-rijk) zand in combinatie met een landinwaarts toenemende ouderdom van het landschap met voortschrijdende uitloging. Dit verloop is in het algemeen in het Rhenodunale district slechts zwak aanwezig, waarbij de afname landinwaarts vooral verklaard wordt door ontkalking. Dit is b.v. duidelijk het geval bij de Zandmotor en op Walcheren. Het landschap achter de zeereep is daar direct veel ouder (Oude duinen) omdat het sterk geërodeerde kusten zijn. Als we Sr corrigeren voor de kalkbijdrage dan verdwijnt de afhankelijkheid van HWL vrijwel volledig (Fig.5.18).
- Op de meeste locaties neemt het organische stofgehalte landinwaarts toe (Fig.5.15), als gevolg van bodemvorming. De positieve relatie met HWL is evenwel zeer zwak, wat in belangrijke mate komt door verschillen in diepte van bemonstering en variaties in bodemontwikkeling (duintop versus duinvallei).
- De C/N-verhouding neemt landinwaarts ook toe (Fig.5.16), mogelijk t.g.v.: (a) een verschuiving van grotendeels mariene naar terrestrische organische stof (ca. 6 naar gemiddeld 14); (b) een afname van anorganisch N (NH_4, NO_3, geadsorbeerd NH_4) landinwaarts; en (c) een grotere nauwkeurigheid van de bepaling bij hogere C en N gehalten.
- Gesuppleerd zand (9-10, 11-13, 15-16) en niet-gesuppleerd zand (8) laten zeer duidelijk een zeewaarts toenemend P-totaal gehalte zien (Fig.5.18). Dit negatieve, exponentiële verband met HWL verbetert voor Wassenaar en Groote Keeten wanneer P gecorrigeerd wordt voor bijdragen van organische stof en kalk (Fig.5.18), voor de overige locaties wordt het verband minder fraai. Vanaf Texel naar het noorden, en bezuiden Wassenaar met uitzondering van Walcheren, is de relatie tussen P en HWL veel zwakker zo niet slecht.

- Op de meeste locaties neemt S-totaal zeewaarts exponentieel toe (Fig.5.18), als gevolg van een toenemende bijdrage van meebemonsterd bodemvocht dat (deels) uit zeewater bestaat.
- Alleen bij Wassenaar vertoont gesuppleerd zand zeewaarts een duidelijke toename van Fe die wellicht verband houdt met zandsuppletie (Fig.5.18). Voor Bergen geldt een vergelijkbaar maar veel zwakker verband, en elders is genoemd verband afwezig. Op sommige locaties is zelfs sprake van een zwakke Fe-toename landinwaarts zoals bij Groote Keeten en Schoorl. Daaraan ligt veelal een toename van zware mineralen ten grondslag (getuige Ti).
- Gesuppleerd zand (9-10, 11-13, 15-16, 17, 18 en 22) en niet-gesuppleerd zand (8, 19) laten zeer duidelijk een zeewaarts toenemend Ni gehalte zien (Fig.5.19). Dit negatieve, exponentiële verband met HWL is het sterkst tussen Voorne en Schoorl en waar suppleties plaatsvonden. Zink (Fig.5.19) volgt het beeld van Ni in gedempte mate.

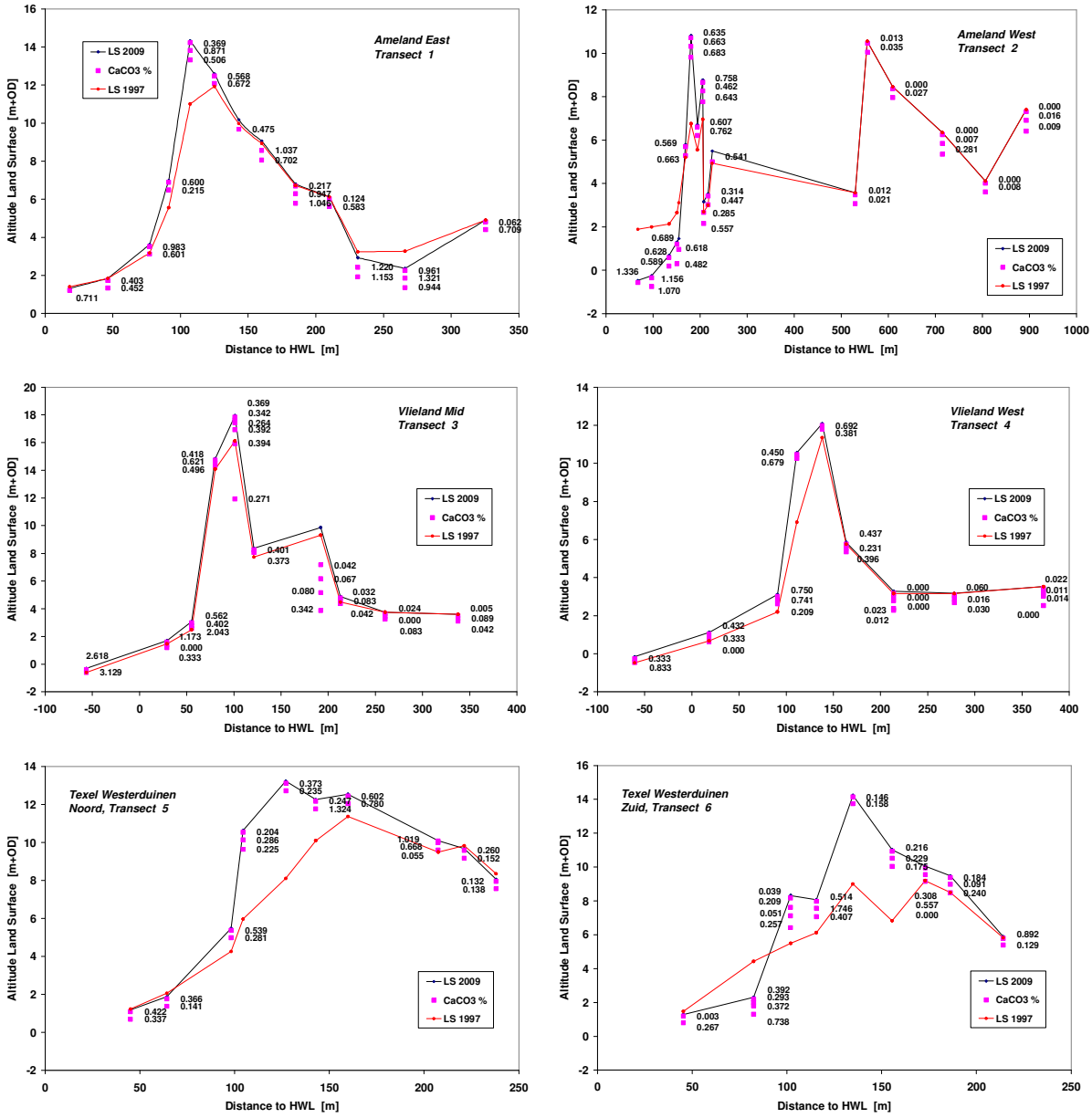


FIG. 5.11 Plot van kalkgehalten (% d.g.) langs de transecten 1-6 (Waddeneilanden). Transecten 1-3, 5 en 6 met suppletie, transect 4 zonder.

Commentaar:
Recente overstuiving (sinds 1997) is vastgesteld op basis van verhoging van maaiveld, afwijkend hoge kalkgehalten en inversies in kalkgehalte (hoog op laag). Dit leidt voor transecten 1-6 tot overstuivingsafstanden t.o.v HWL (Hoog Water Lijn) van resp. 200, 250, 250, 170, 215 en 215 m.
NB: Oorspronkelijk kalkgehalte in transect 1 verrassend hoog, en kalkgehalte bij transect 6 verrassend laag op strand (0.003) en verrassend hoog aan de achterkant (0.892%).
Oorspronkelijk kalkgehalte (d.w.z. de huidige achtergrond met inbegrip van enige ontkalking) bij meetraaien 2-6 bedraagt 0-0.3 %.

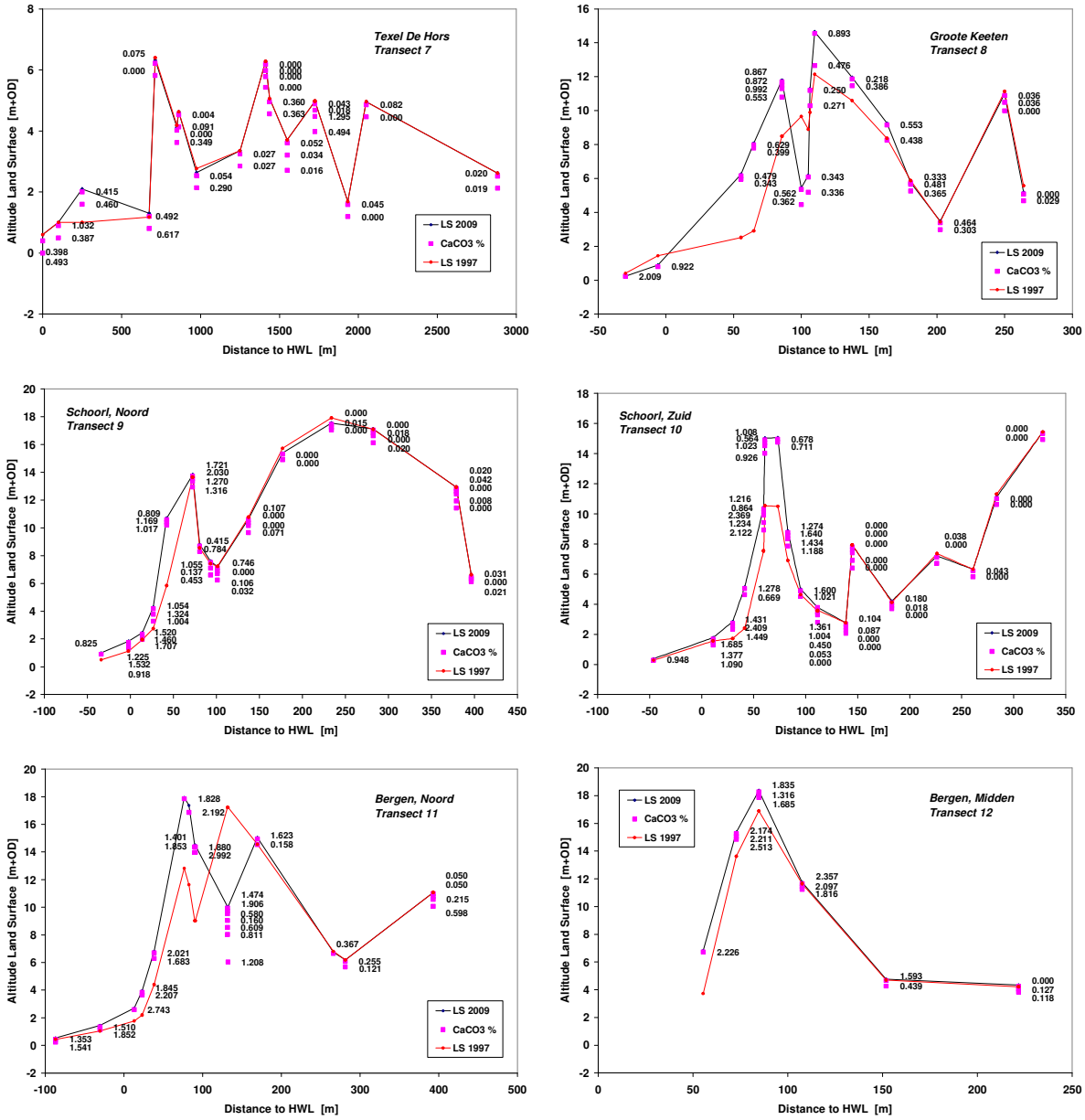


FIG. 5.12. Plot van kalkgehalten (% d.g.) langs de transecten 7-12 in kalkarme duinen. Transecten 9-12 met suppletie, transecten 7-8 zonder.

Commentaar:
Recente overstuiving (sinds 1997) is vastgesteld op basis van verhoging van maaiveld, afwijkend hoge kalkgehalten en inversies in kalkgehalte (hoog op laag). Dit leidt voor transecten 7-12 tot overstuivingsafstanden t.o.v HWL (Hoog Water Lijn) van resp. 680, 175, 101, 139, 250 en 170 m.
N.B.: Het kalkgehalte wijst erop dat de fijne overstuiving in transect 8 bij het op 1 na laatste meetpunt (3 diepten) nog een rol kan spelen en bij de laatste (2 diepten) niet meer. Oorspronkelijk kalkgehalte (d.w.z. de huidige achtergrond met inbegrip van enige ontkalking) bij meetraaien 7-10 + 12 bedraagt 0-0.6 %, bij meetraai 11 bedraagt het 0-1.2%.

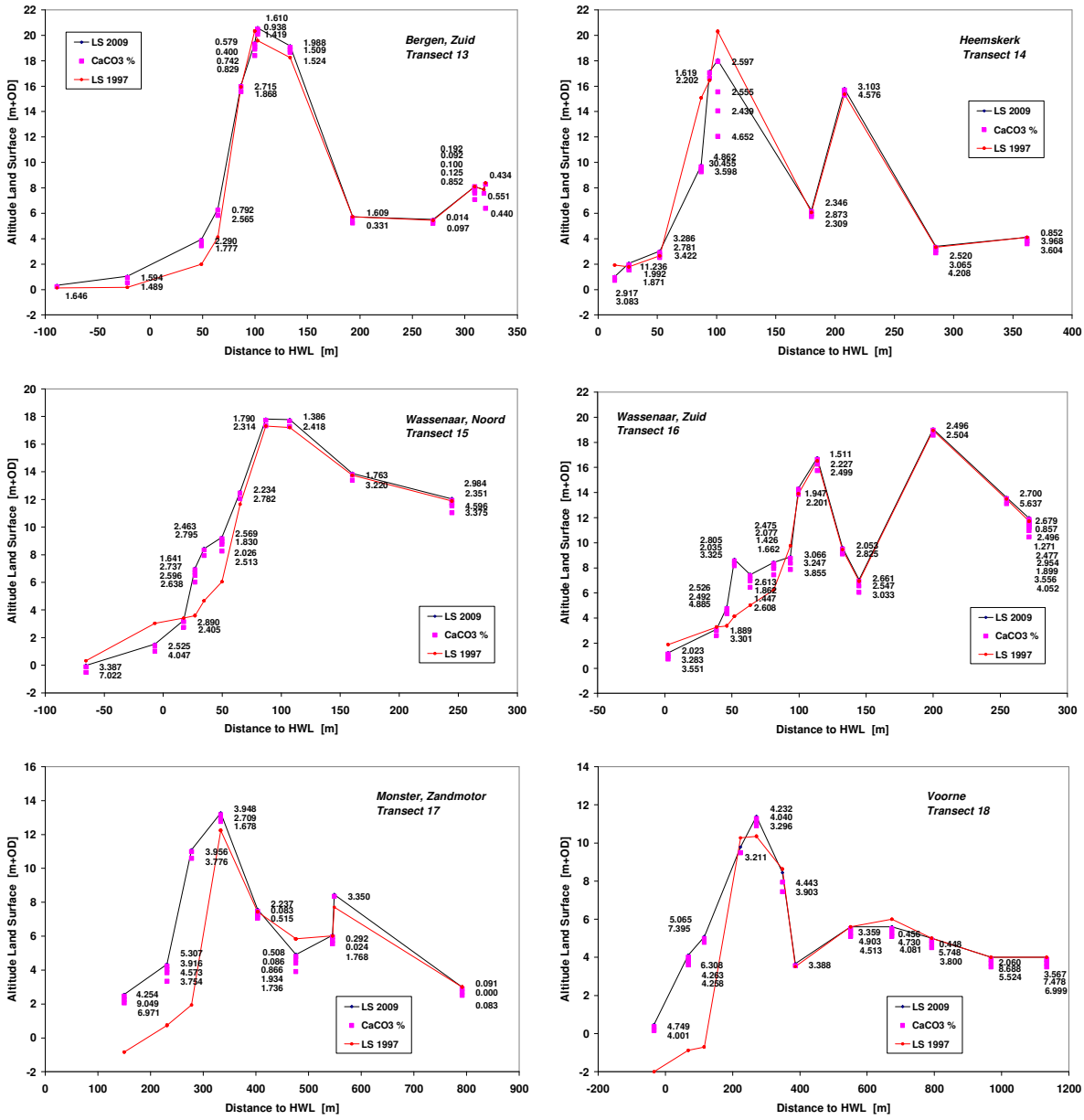


FIG. 5.13. Plot van kalkgehalten (% d.g.) langs de transecten 13-18 in duinen van Noord- en Zuid-Holland. Alle transecten met suppletie,maar transect 14 vrijwel zonder overstuiving.

Commentaar:
Recente overstuiving (sinds 1997) is vastgesteld vooral op basis van verhoging van maaiveld, en alleen bij transect 13 tevens door afwijkend hoge kalkgehalten en inversies in kalkgehalte (hoog op laag). Dit leidt voor transecten 13-18 tot overstuivingsafstanden t.o.v HWL (Hoog Water Lijn) van resp. 200, 60, 275, 150, 550 en 390 m.
Oorspronkelijk kalkgehalte (d.w.z. de huidige achtergrond met inbegrip van enige ontkalking) bij meetraaien 13 bedraagt 0.5-0.8 %, bij meetraaien 14-18 bedraagt het 0-7.5 %.

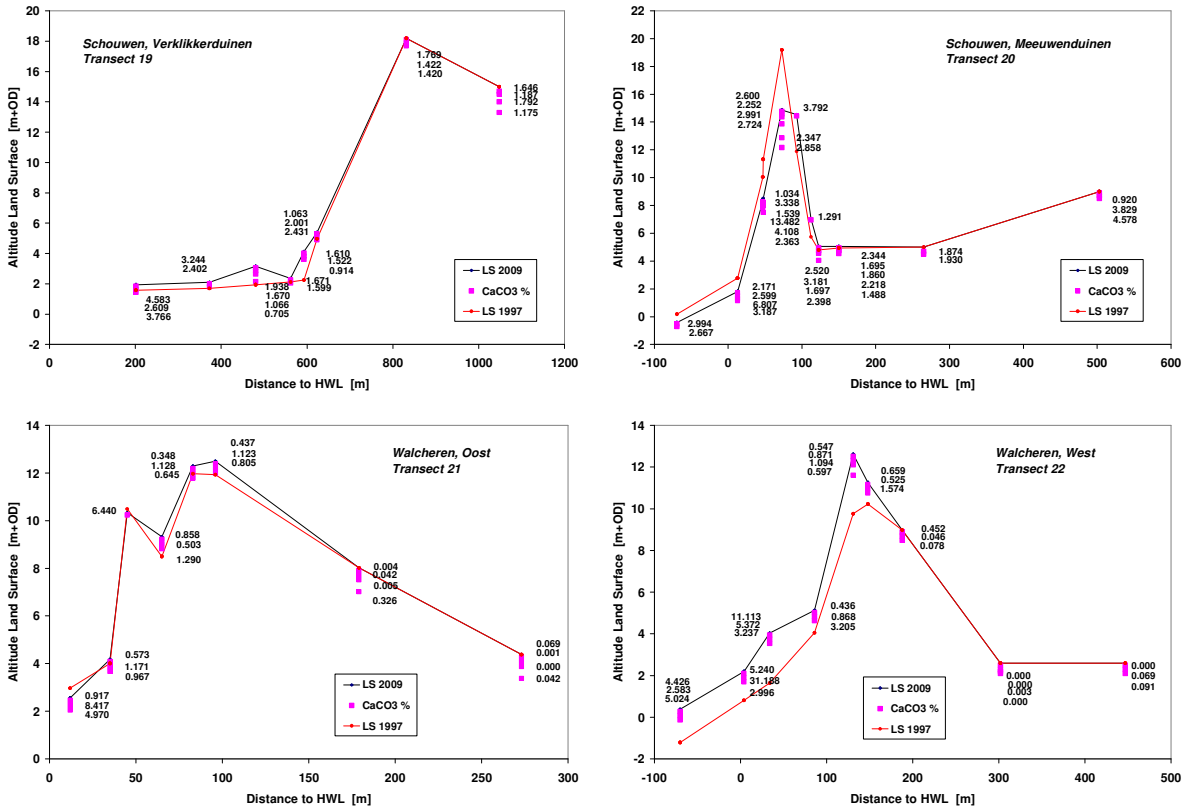


FIG. 5.14. Plot van kalkgehalten (% d.g.) langs de transecten 19-22 in kalkrijke duinen van Zeeland.
Transecten 20 en 22 met suppletie, transecten 19 en 21 zonder.
N.B.: Rol van kalk loopt relatief ver door (300-400m), mogelijk vanwege hoge en steile zeereep en secundaire verstuiving vanuit de zeereep; wel complicaties tgv kalk-overgangszone.

Commentaar:
Recente overstuiving (sinds 1997) is vastgesteld vooral op basis van verhoging van maaiveld, en alleen op Walcheren (21-22) tevens door afwijkend hoge kalkgehalten en inversies in kalkgehalte (hoog op laag). Dit leidt voor transecten 19-22 tot overstuivingsafstanden t.o.v HWL (Hoog Water Lijn) van resp. 650, 150, 150 en 190 m. Op Schouwen is sprake van een netto verplaatsing van de zeereep landinwaarts over een afstand van 5-10 m, waarbij achter de zeereep enige overstuiving plaats vond.
Oorspronkelijk kalkgehalte (d.w.z. de huidige achtergrond met inbegrip van enige ontkalking) bij meetraaien op Schouwen (19-20) bedraagt 0.9-4.6 %, bij meetraaien op Walcheren (21-22) bedraagt het 0-0.3 %.

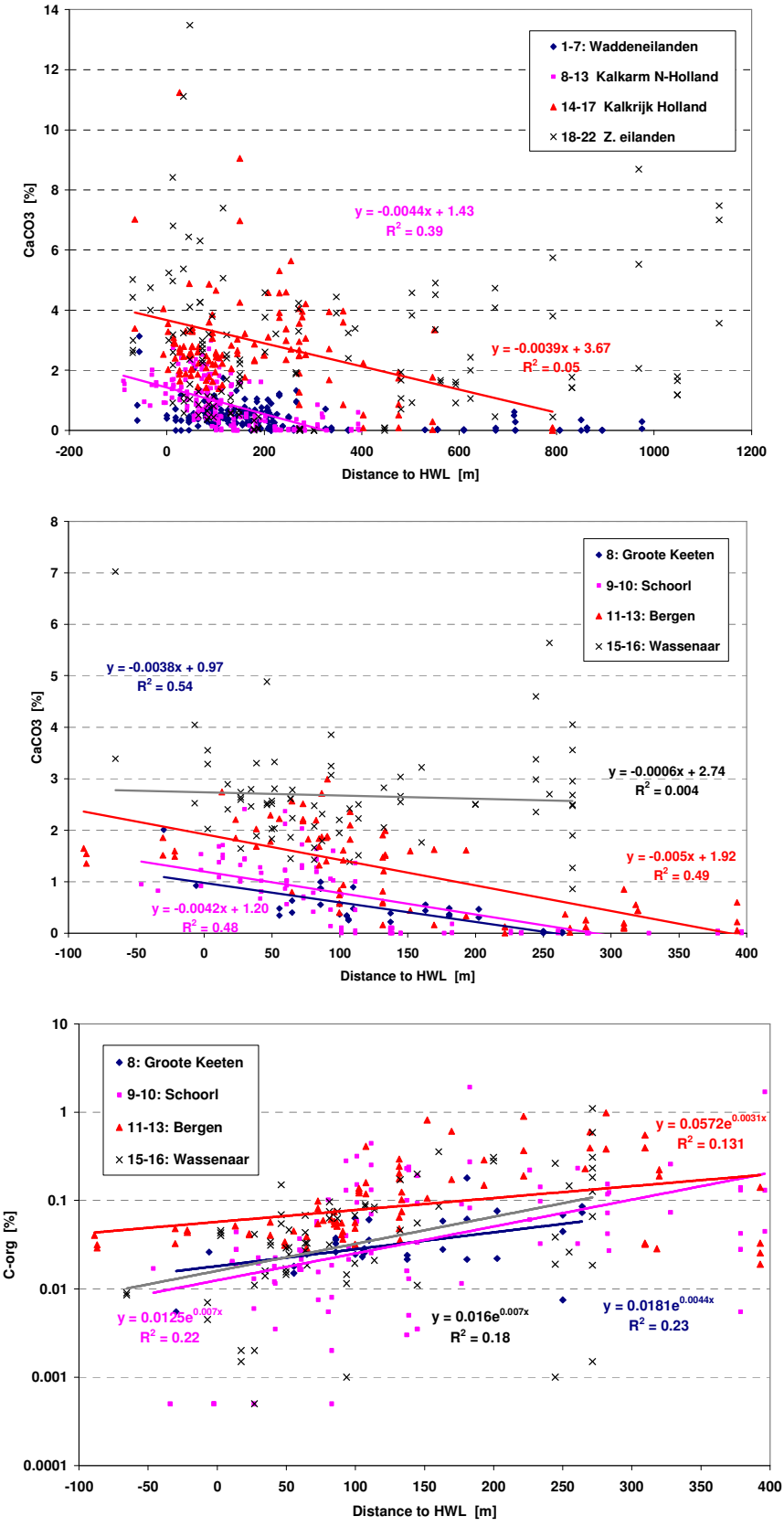
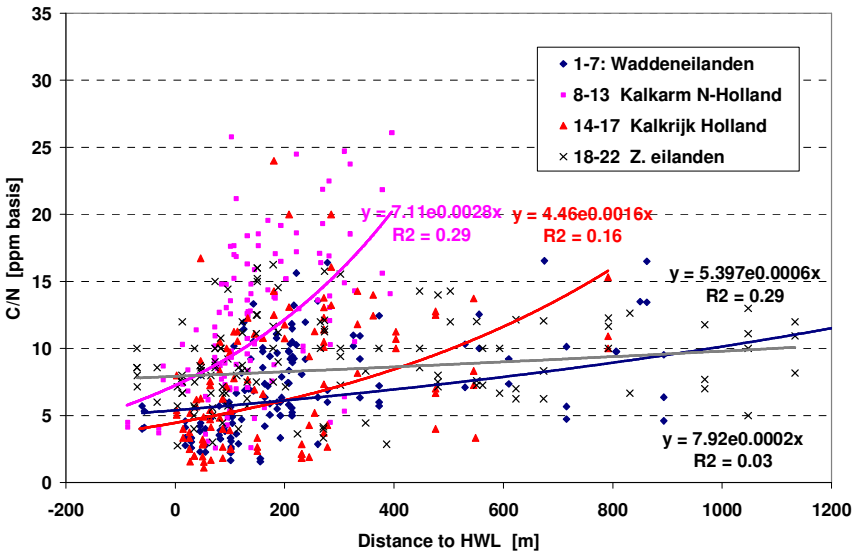
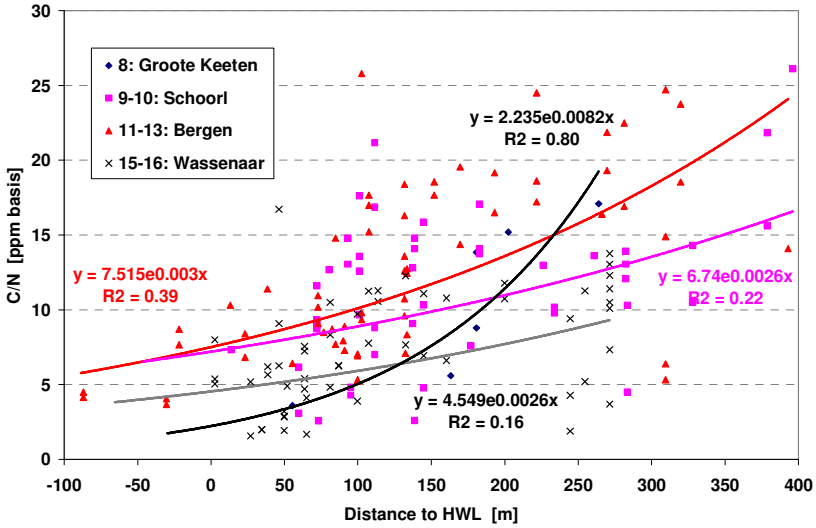


FIG. 5.15. Plot van kalk (voor de 4 deelgebieden en voor 4 lokaties in Holland), en van organische koolstof (voor 4 lokaties in Holland) tegen de afstand tot de HWL.





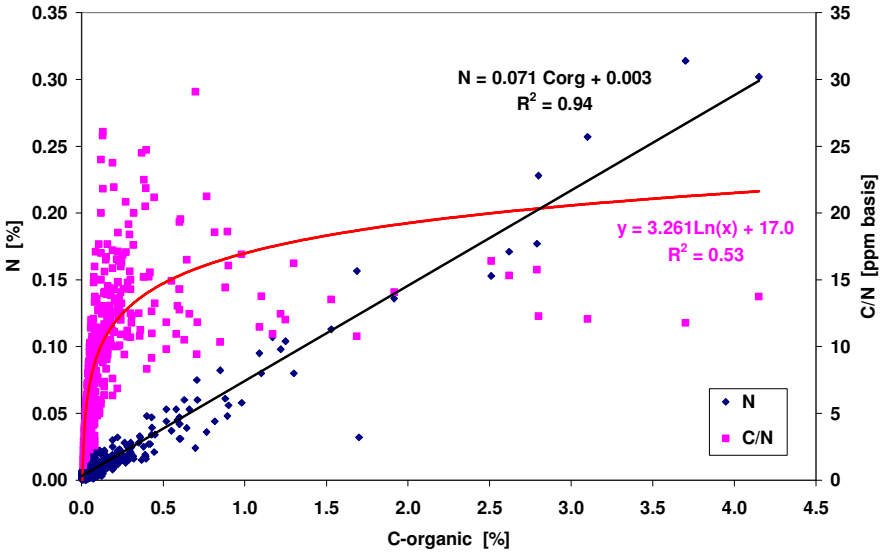


FIG. 5.16. Plot van de C/N-verhouding (C-organisch, N-totaal) tegen de afstand tot de HWL voor 4 deelgebieden en voor 4 lokaties in Holland, en van organische koolstof, N en C/N voor de hele dataset.

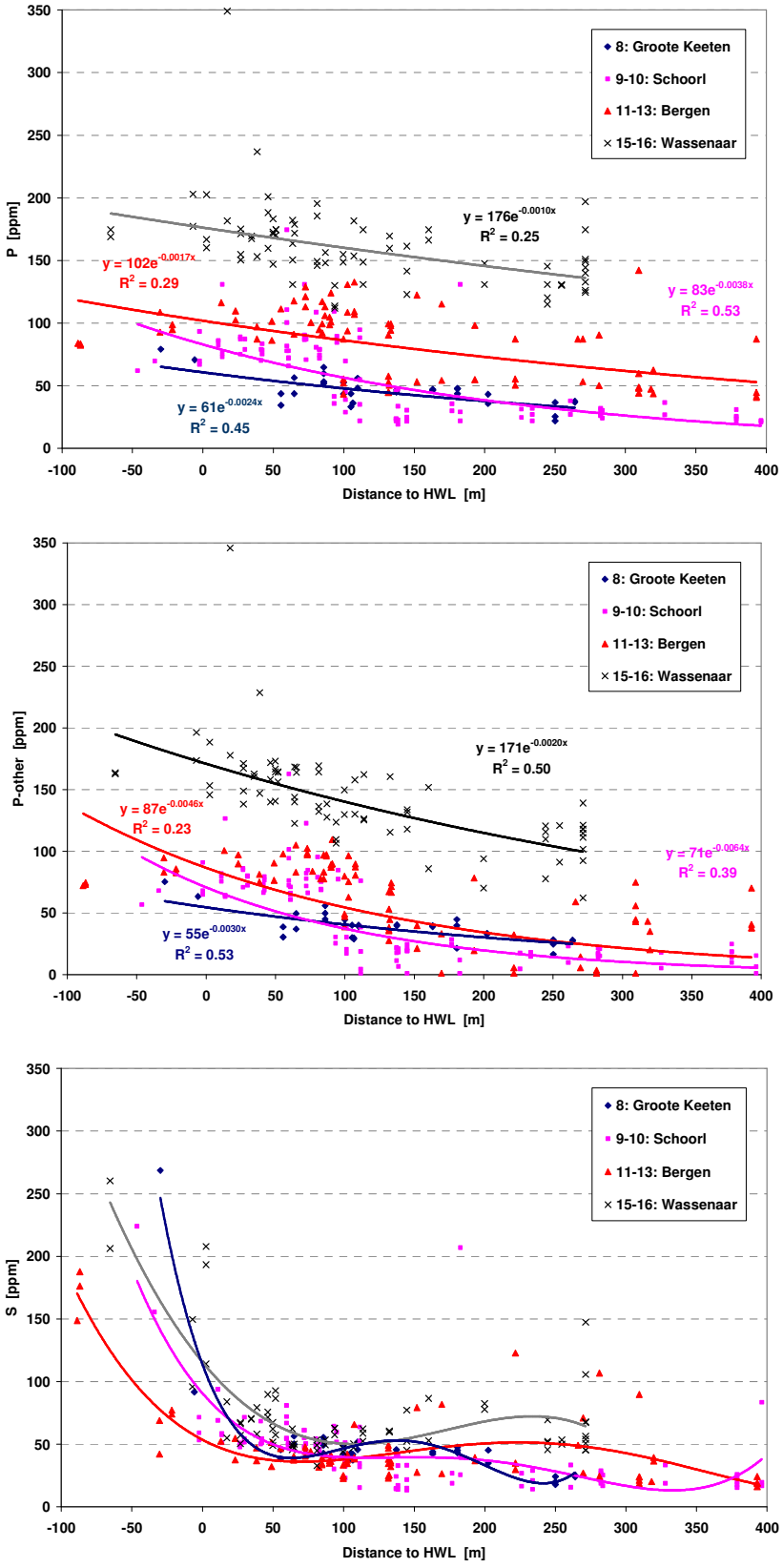


FIG. 5.17. Plot van P-totaal, P-other en S-totaal tegen de afstand tot de HoogWaterLijn (HWL) op 4 locaties in Holland. P-other = P gecorrigeerd voor bijdragen van organische stof (Eq.25) en kalk (Eq.26).

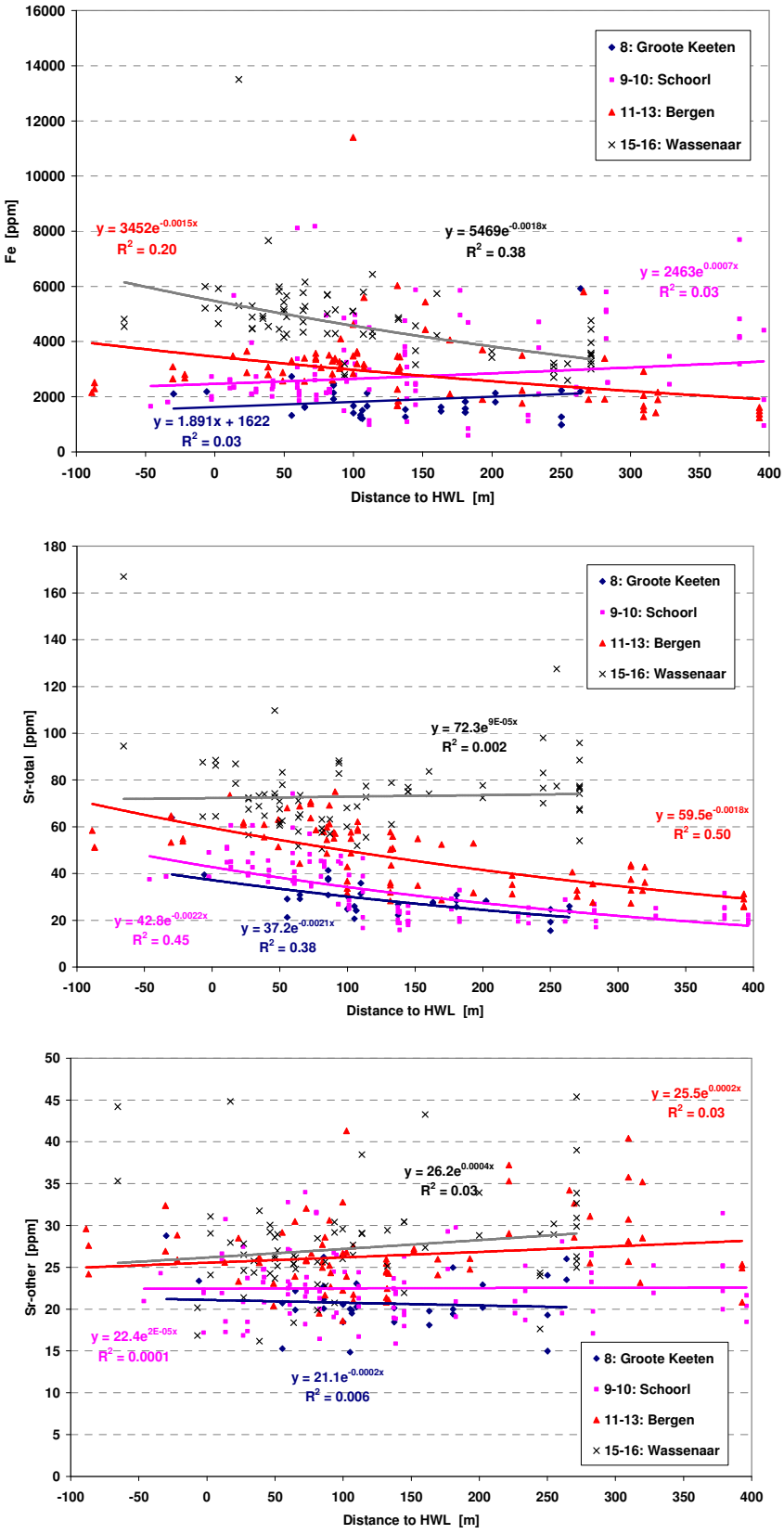


FIG. 5.18. Plot van Fe, Sr-totaal en Sr-other tegen de afstand tot de HoogWaterLijn (HWL) op 4 locaties in Holland. Sr-other = Sr gecorrigeerd voor bijdrage van kalk (Eq.27).

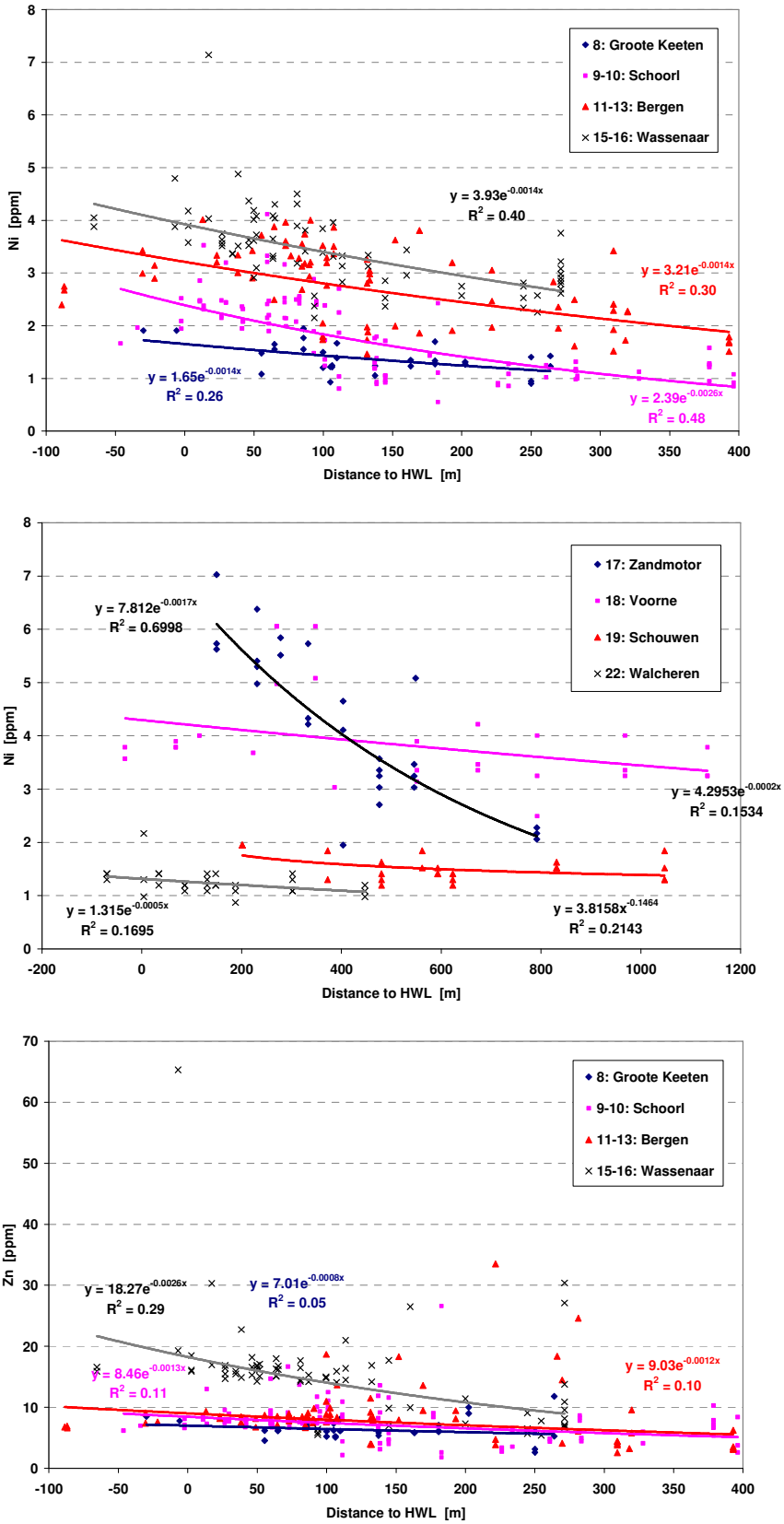


FIG. 5.19. Plot van Ni en Zn tegen de afstand tot de HWL voor 4 locaties in Holland, en van Ni tevens op 4 locaties in Zuid-Holland en Zeeland.

5.6 Correlatiematrix

Pearson's lineaire correlatiematrix voor alle 683 monsters is weergegeven in 2 delen, in resp. Fig.5.20 (hoofdcomponenten en korrelgrootteverdeling) en Fig.5.21 (spore-elementen). In Bijlage 3 is Spearman's rangcorrelatiecoëfficiënt gepresenteerd ter vergelijking. Deze relatiemaat is verdelingsvrij en ook robuust tegen uitschieters. Bovendien beperkt deze zich niet tot lineaire relaties, maar geldt voor allerlei soorten monotone relaties. De verschillen tussen beide correlatiematrices zijn klein, maar in incidentele gevallen wel relevant.
Wij beperken ons tot een bespreking van de Pearson correlatiematrix. Hieruit laten zich 6 clusters destilleren met onderling grote lineaire afhankelijkheid (Fig.5.22-5.23). Deze figuren zijn het resultaat van een uitgevoerde clusteranalyse en worden derhalve besproken in de volgende paragraaf.
We zien dat een grote groep zware metalen onderling sterk correleert rond de hoofdelementen Fe , Mn en Ti, dat de hoofdelementen Al, Na, K, Ca, Mg en SiO_2 met veel minder elementen correleren, en dat organische stof, korrelgrootteparameters, P en S met nog minder elementen correlaties vertonen.

Berekende mineralen zoals kalk en Na-silicaat doen het in de correlatiematrix niet beter dan de onderliggende elementen Ca en Na. Het enige element dat significante negatieve correlaties vertoont met diverse andere is SiO_2, hetgeen zich verklaart doordat zeer hoge SiO_2 gehalten samengaan met zeer hoge kwartsgehalten en kwarts relatief zeer zuiver is.
De correlatiematrix heeft bijgedragen aan een selectie van parameters voor X/Y-plots (bivariate (scatter) plots).

FIG. 5.20. Pearson lineaire correlatiematrix, deel 1: hoofdcomponenten, 3 korrelgrootteparameters en 2 lokatiekenmerken. Onderaan staan de getelde relaties met aangegeven correlatiecoëfficiënten (R).
Kleuring van cellen met R-waarden: Groen: R ≥ 0.95; Turquoise: R =0.9-0.95; Oranjebruin: R = 0.75-0.9; Paars: R < - 0.75. Elementkleuring op basis van geochemische indeling (zie onderstaande legenda).

	Depth	Dist	C-org	N	<2	<16	Mean	Al	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	S	P	Ti	SiO2	CEC	CaCO3	Na-Sil	K-Sil	Ca-Sil	Mg-Sil
Depth	1.00																							
Dist	-0.02	1.00																						
C-org	-0.14	0.19	1.00																					
N	-0.13	0.15	0.97	1.00																				
<2	-0.07	0.39	0.29	0.23	1.00																			
<16	-0.10	0.34	0.29	0.23	0.96	1.00																		
Mean	-0.07	-0.28	-0.24	-0.24	-0.43	-0.34	1.00																	
Al	0.00	0.11	0.17	0.22	0.26	0.21	-0.58	1.00																
Na	-0.03	0.00	0.09	0.15	0.17	0.15	-0.42	0.83	1.00															
K	0.03	0.11	0.13	0.19	0.12	0.08	-0.38	0.83	0.83	1.00														
Ca	-0.03	-0.12	-0.07	-0.02	-0.05	-0.04	0.12	0.21	0.29	0.33	1.00													
Mg	-0.08	-0.08	0.09	0.14	0.11	0.10	-0.29	0.77	0.67	0.54	0.37	1.00												
Fe	-0.03	-0.06	0.15	0.17	0.05	0.02	-0.31	0.57	0.23	0.17	0.16	0.67	1.00											
Mn	0.00	-0.01	0.14	0.15	0.06	0.02	-0.38	0.38	0.02	-0.05	-0.01	0.44	0.91	1.00										
S	-0.08	-0.12	0.34	0.40	-0.05	-0.07	-0.05	0.16	0.47	0.29	0.29	0.26	0.09	0.02	1.00									
P	-0.10	-0.09	0.26	0.31	0.00	0.02	0.00	0.45	0.37	0.42	0.58	0.59	0.51	0.25	0.39	1.00								
Ti	0.00	0.02	0.15	0.16	0.08	0.03	-0.44	0.39	0.03	-0.04	-0.08	0.40	0.88	0.95	0.04	0.23	1.00							
SiO2	0.02	0.02	-0.06	-0.13	-0.09	-0.07	0.28	-0.76	-0.73	-0.77	-0.79	-0.71	-0.43	-0.19	-0.33	-0.67	-0.16	1.00						
CEC	-0.13	0.23	0.95	0.94	0.44	0.44	-0.30	0.25	0.16	0.20	-0.03	0.17	0.14	0.12	0.33	0.29	0.12	-0.12	1.00					
CaCO3	-0.03	-0.12	-0.09	-0.04	-0.05	-0.03	0.15	0.19	0.28	0.32	0.99	0.35	0.10	-0.08	0.26	0.55	-0.15	-0.76	-0.05	1.00				
Na-Sil	0.00	0.12	0.14	0.18	0.23	0.20	-0.54	0.91	0.83	0.83	0.14	0.61	0.29	0.09	0.02	0.33	0.11	-0.67	0.22	0.13	1.00			
K-Sil	0.05	0.13	0.13	0.18	0.11	0.07	-0.36	0.75	0.78	0.98	0.29	0.38	0.04	-0.15	0.28	0.34	-0.13	-0.71	0.19	0.29	0.78	1.00		
Ca-Sil	-0.02	-0.04	-0.04	0.01	-0.10	-0.14	-0.18	0.24	0.13	0.16	0.43	0.29	0.52	0.53	0.31	0.42	0.55	-0.46	-0.06	0.32	0.05	0.12	1.00	
Mg-Sil	-0.07	-0.06	0.07	0.12	0.11	0.09	-0.31	0.78	0.60	0.53	0.31	0.98	0.68	0.46	0.09	0.56	0.42	-0.67	0.16	0.29	0.65	0.37	0.26	1.00
As	-0.02	-0.22	-0.02	0.03	-0.16	-0.12	0.25	0.29	0.36	0.39	0.66	0.46	0.28	-0.03	0.30	0.74	-0.10	-0.63	0.00	0.66	0.26	0.34	0.25	0.42
Ba	0.01	0.08	0.04	0.10	0.12	0.10	-0.28	0.78	0.80	0.92	0.31	0.52	0.13	-0.10	0.22	0.34	-0.10	-0.72	0.12	0.31	0.79	0.90	0.08	0.50
Be	0.00	0.03	0.03	0.08	-0.09	-0.14	-0.30	0.24	0.23	0.28	0.12	0.19	0.19	0.19	0.30	0.18	0.24	-0.26	0.01	0.07	0.16	0.26	0.39	0.17
Bi	0.02	0.13	0.18	0.18	0.14	0.13	-0.17	0.28	0.25	0.29	0.15	0.19	0.21	0.14	0.25	0.32	0.16	-0.29	0.18	0.12	0.23	0.28	0.28	0.18
Cd	-0.07	0.16	0.62	0.63	0.27	0.28	-0.27	0.22	0.13	0.17	0.00	0.19	0.19	0.19	0.28	0.27	0.15	-0.13	0.69	-0.02	0.16	0.15	0.08	0.18
Ce	0.00	0.01	0.14	0.16	0.09	0.05	-0.40	0.44	0.09	0.02	0.00	0.49	0.89	0.90	0.05	0.35	0.94	-0.24	0.12	-0.07	0.17	-0.08	0.53	0.51
Co	-0.03	-0.14	0.04	0.08	0.02	0.03	-0.09	0.55	0.35	0.31	0.26	0.70	0.70	0.49	0.07	0.57	0.43	-0.49	0.09	0.24	0.38	0.20	0.24	0.71
Cr	0.04	-0.02	0.03	0.06	-0.03	-0.06	-0.27	0.28	0.12	0.09	0.03	0.26	0.52	0.54	0.13	0.18	0.54	-0.19	0.01	-0.02	0.12	0.05	0.41	0.26
Cs	-0.03	0.04	0.12	0.16	0.14	0.14	-0.12	0.72	0.72	0.85	0.37	0.59	0.15	-0.13	0.19	0.48	-0.16	-0.71	0.20	0.38	0.72	0.81	-0.01	0.59
Cu	-0.12	-0.02	0.58	0.60	0.23	0.22	-0.27	0.31	0.17	0.18	0.11	0.39	0.40	0.34	0.29	0.39	0.29	-0.24	0.61	0.08	0.17	0.11	0.12	0.37
Dy	0.01	0.01	0.14	0.17	0.08	0.04	-0.43	0.49	0.13	0.08	0.02	0.51	0.92	0.93	0.07	0.36	0.95	-0.29	0.13	-0.05	0.21	-0.02	0.56	0.53
Er	0.01	0.00	0.12	0.13	0.08	0.04	-0.40	0.41	0.04	-0.03	-0.04	0.44	0.91	0.96	0.01	0.27	0.97	-0.19	0.10	-0.11	0.12	-0.13	0.53	0.46
Eu	-0.02	-0.02	0.15	0.20	0.12	0.08	-0.45	0.71	0.40	0.38	0.22	0.72	0.89	0.78	0.17	0.60	0.80	-0.57	0.18	0.16	0.46	0.27	0.55	0.73
Ga	0.00	0.09	0.16	0.21	0.25	0.20	-0.57	0.93	0.70	0.68	0.20	0.77	0.70	0.55	0.12	0.44	0.55	-0.70	0.23	0.17	0.78	0.59	0.34	0.78
Gd	-0.01	0.01	0.14	0.17	0.09	0.05	-0.42	0.55	0.20	0.15	0.09	0.58	0.91	0.88	0.09	0.46	0.91	-0.37	0.13	0.02	0.28	0.05	0.56	0.60
Hf	0.00	-0.01	0.14	0.15	0.04	0.01	-0.36	0.33	0.00	-0.07	-0.08	0.34	0.84	0.91	0.04	0.20	0.94	-0.12	0.10	-0.15	0.06	-0.15	0.51	0.36
Ho	0.01	0.00	0.12	0.14	0.08	0.05	-0.40	0.43	0.07	0.00	-0.02	0.47	0.92	0.95	0.02	0.31	0.96	-0.22	0.10	-0.09	0.15	-0.10	0.54	0.49
La	0.00	0.01	0.15	0.16	0.09	0.06	-0.40	0.43	0.08	0.00	-0.02	0.48	0.89	0.90	0.04	0.33	0.94	-0.22	0.12	-0.08	0.16	-0.10	0.52	0.50
Lu	0.01	0.00	0.12	0.13	0.07	0.03	-0.40	0.36	0.01	-0.07	-0.08	0.39	0.88	0.96	0.01	0.21	0.97	-0.14	0.09	-0.14	0.08	-0.16	0.52	0.41
Nb	0.00	0.02	0.13	0.14	0.08	0.04	-0.43	0.39	0.05	-0.03	-0.07	0.41	0.87	0.94	0.03	0.23	0.97	-0.17	0.11	-0.14	0.12	-0.12	0.52	0.43
Nd	-0.01	0.01	0.15	0.17	0.09	0.05	-0.40	0.48	0.13	0.07	0.03	0.51	0.90	0.89	0.07	0.39	0.93	-0.29	0.13	-0.03	0.20	-0.04	0.54	0.53
Ni	-0.05	-0.12	0.07	0.12	0.06	0.08	0.00	0.67	0.62	0.63	0.38	0.76	0.35	0.05	0.10	0.50	-0.02	-0.66	0.15	0.40	0.63	0.53	0.00	0.76
Pb	-0.13	0.13	0.80	0.81	0.33	0.33	-0.25	0.41	0.30	0.33	0.08	0.33	0.32	0.20	0.31	0.46	0.19	-0.31	0.80	0.07	0.35	0.30	0.02	0.32
Pr	-0.01	0.01	0.14	0.16	0.09	0.06	-0.39	0.46	0.10	0.04	0.01	0.51	0.90	0.90	0.05	0.37	0.93	-0.26	0.13	-0.05	0.18	-0.07	0.53	0.53
Rb	0.00	0.09	0.07	0.11	0.17	0.15	-0.28	0.81	0.84	0.96	0.34	0.56	0.11	-0.14	0.21	0.40	-0.15	-0.75	0.16	0.35	0.84	0.93	0.02	0.55
Sm	-0.01	0.01	0.14	0.17	0.10	0.06	-0.41	0.52	0.17	0.12	0.07	0.56	0.91	0.89	0.08	0.43	0.92	-0.34	0.14	0.00	0.24	0.01	0.55	0.58
Sn	-0.05	0.00	0.35	0.36	0.09	0.09	-0.19	0.21	0.07	0.04	-0.02	0.23	0.37	0.34	0.13	0.22	0.34	-0.10	0.32	-0.05	0.12	0.00	0.12	0.23
Sr	-0.03	-0.10	-0.04	0.02	-0.04	-0.02	0.08	0.23	0.31	0.33	0.98	0.34	0.19	0.03	0.33	0.58	-0.02	-0.79	-0.01	0.97	0.16	0.30	0.45	0.27
Ta	-0.03	0.05	0.14	0.15	0.12	0.09	-0.36	0.37	0.07	0.02	-0.06	0.36	0.77	0.80	0.05	0.28	0.84	-0.17	0.12	-0.12	0.15	-0.05	0.45	0.38
Tb	0.00	0.00	0.13	0.16	0.09	0.05	-0.42	0.51	0.16	0.10	0.05	0.55	0.92	0.91	0.06	0.41	0.93	-0.32	0.13	-0.02	0.24	-0.01	0.55	0.57
Th	-0.01	0.00	0.13	0.15	0.08	0.05	-0.39	0.46	0.11	0.03	-0.03	0.49	0.89	0.89	0.03	0.33	0.93	-0.24	0.11	-0.09	0.19	-0.07	0.49	0.52
Tm	0.02	0.01	0.14	0.16	0.04	0.00	-0.43	0.41	0.06	0.02	-0.03	0.40	0.87	0.94	0.08	0.27	0.96	-0.21	0.10	-0.11	0.13	-0.06	0.59	0.42
U	0.00	-0.02	0.15	0.18	0.06	0.03	-0.38	0.48	0.15	0.09	0.04	0.51	0.90	0.89	0.09	0.38	0.93	-0.30	0.12	-0.03	0.21	-0.01	0.55	0.52
V	0.00	-0.09	0.13	0.17	0.11	0.10	-0.25	0.57	0.31	0.20	0.14	0.70	0.82	0.67	0.03	0.47	0.63	-0.41	0.16	0.11	0.38	0.07	0.25	0.72
W	-0.04	-0.03	0.12	0.11	0.04	0.04	-0.19	0.22	0.10	0.07	0.04	0.25	0.37	0.35	0.10	0.23	0.36	-0.15	0.11	0.01	0.11	0.02	0.24	0.25
Y	0.01	0.01	0.13	0.15	0.06	0.02	-0.43	0.44	0.09	0.04	0.00	0.46	0.91	0.95	0.06	0.32	0.96	-0.25	0.10	-0.07	0.16	-0.06	0.58	0.48
Yb	0.01	0.01	0.10	0.12	0.07	0.03	-0.40	0.37	0.02	-0.06	-0.06	0.41	0.89	0.96	0.01	0.22	0.97	-0.16	0.08	-0.13	0.09	-0.15	0.53	0.43
Zn	-0.11	-0.08	0.42	0.47	0.10	0.12	-0.11	0.44	0.37	0.38	0.21	0.52	0.39	0.19	0.27	0.55	0.12	-0.41	0.48	0.21	0.37	0.31	0.06	0.51
Zr	0.00	0.00	0.13	0.14	0.04	0.00	-0.37	0.32	0.00	-0.07	-0.08	0.33	0.83	0.91	0.05	0.19	0.94	-0.12	0.09	-0.15	0.05	-0.15	0.52	0.35
SUM																								
>0.95	0	0	1	1	1	1	0	0	0	2	2	1	0	6	0	0	8	0	0	2	0	1	0	1
>0.9	0	0	2	2	1	1	0	2	0	3	2	1	9	16	0	0	20	0	2	2	1	2	0	1
>0.75	0	0	3	3	1	1	0	8	6	7	2	4	24	23	0	0	23	0	3	2	7	6	0	4
<-0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	6	0	1	0	0	0	0

Mn Dominant hoofdelement Y Rare earth element Zr Lithofiel spore-element Cu Chalcofiel spore-element Co Siderofiel spore-element

FIG. 5.21. Pearson lineaire correlatiematrix, deel 2: spore-elementen. Onderaan staan de getelde relaties met aangegeven correlatiecoëfficiënten (R).
Kleuring van cellen met R-waarden (NB: niet R^2): Groen: R ≥ 0.95; Turquoise: R =0.9-0.95; Licht blauw: R = 0.75-0.9; Paars: R < -0.75.
Kleuring van elementen op basis van geochemische indeling (zie onderstaande legenda).

	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
As	1.00																																					
Ba	0.38	1.00																																				
Be	0.06	0.17	1.00																																			
Bi	0.20	0.20	0.21	1.00																																		
Cd	0.05	0.11	0.05	0.23	1.00																																	
Ce	0.01	-0.04	0.21	0.20	0.18	1.00																																
Co	0.52	0.31	0.05	0.17	0.17	0.51	1.00																															
Cr	0.04	0.04	0.20	0.16	0.09	0.51	0.27	1.00																														
Cs	0.50	0.84	0.07	0.22	0.16	-0.06	0.42	-0.03	1.00																													
Cu	0.23	0.10	0.08	0.25	0.59	0.34	0.39	0.16	0.22	1.00																												
Dy	0.03	0.02	0.24	0.22	0.19	0.96	0.54	0.55	-0.02	0.35	1.00																											
Er	-0.05	-0.08	0.21	0.15	0.15	0.94	0.49	0.55	-0.12	0.30	0.98	1.00																										
Eu	0.27	0.31	0.28	0.29	0.23	0.88	0.67	0.48	0.31	0.40	0.89	0.82	1.00																									
Ga	0.24	0.64	0.22	0.26	0.23	0.60	0.59	0.37	0.58	0.35	0.65	0.58	0.80	1.00																								
Gd	0.11	0.09	0.25	0.24	0.19	0.96	0.58	0.53	0.07	0.36	0.97	0.93	0.94	0.68	1.00																							
Hf	-0.10	-0.11	0.20	0.12	0.11	0.89	0.41	0.50	-0.17	0.22	0.91	0.95	0.74	0.48	0.87	1.00																						
Ho	-0.02	-0.05	0.21	0.17	0.16	0.95	0.52	0.54	-0.08	0.32	0.98	0.99	0.85	0.60	0.95	0.94	1.00																					
La	0.00	-0.05	0.21	0.19	0.17	1.00	0.50	0.51	-0.07	0.34	0.96	0.94	0.86	0.59	0.96	0.89	0.95	1.00																				
Lu	-0.10	-0.11	0.19	0.13	0.13	0.93	0.45	0.54	-0.17	0.27	0.96	0.99	0.78	0.53	0.90	0.97	0.98	0.93	1.00																			
Nb	-0.09	-0.08	0.22	0.15	0.15	0.92	0.46	0.51	-0.15	0.29	0.94	0.96	0.80	0.56	0.90	0.94	0.95	0.93	0.96	1.00																		
Nd	0.05	0.01	0.22	0.21	0.19	0.99	0.53	0.51	-0.01	0.34	0.96	0.93	0.90	0.62	0.97	0.88	0.94	0.98	0.92	0.92	1.00																	
Ni	0.59	0.64	-0.02	0.14	0.17	0.10	0.58	0.06	0.77	0.30	0.12	0.03	0.38	0.60	0.20	-0.07	0.07	0.09	-0.03	0.00	0.13	1.00																
Pb	0.24	0.28	0.03	0.30	0.65	0.23	0.33	0.06	0.39	0.71	0.24	0.18	0.34	0.39	0.26	0.18	0.20	0.23	0.16	0.19	0.24	0.32	1.00															
Pr	0.03	-0.02	0.21	0.20	0.18	1.00	0.53	0.51	-0.03	0.35	0.96	0.94	0.89	0.61	0.97	0.89	0.95	0.99	0.93	0.92	0.99	0.12	0.24	1.00														
Rb	0.42	0.93	0.15	0.23	0.13	-0.06	0.35	0.01	0.91	0.14	-0.01	-0.12	0.32	0.66	0.07	-0.16	-0.08	-0.08	-0.16	-0.12	-0.02	0.69	0.31	-0.04	1.00													
Sm	0.08	0.06	0.23	0.22	0.19	0.98	0.57	0.51	0.05	0.35	0.97	0.94	0.93	0.66	0.99	0.88	0.95	0.97	0.92	0.92	0.99	0.17	0.25	0.99	0.04	1.00												
Sn	0.07	0.01	0.08	0.16	0.24	0.37	0.24	0.17	0.05	0.33	0.38	0.36	0.34	0.25	0.37	0.34	0.37	0.37	0.36	0.34	0.36	0.09	0.35	0.37	0.01	0.36	1.00											
Sr	0.64	0.32	0.14	0.17	0.03	0.04	0.24	0.06	0.33	0.09	0.07	0.01	0.25	0.24	0.13	-0.03	0.03	0.03	-0.02	-0.02	0.08	0.35	0.11	0.06	0.33	0.11	0.00	1.00										
Ta	-0.04	-0.04	0.24	0.19	0.11	0.81	0.42	0.45	-0.09	0.22	0.82	0.83	0.72	0.49	0.80	0.82	0.82	0.81	0.82	0.88	0.81	0.01	0.21	0.81	-0.07	0.81	0.30	-0.01	1.00									
Tb	0.07	0.04	0.23	0.22	0.19	0.97	0.58	0.53	0.02	0.36	0.99	0.96	0.91	0.66	0.99	0.90	0.98	0.96	0.94	0.93	0.97	0.16	0.25	0.97	0.02	0.98	0.37	0.09	0.81	1.00								
Th	0.01	-0.01	0.18	0.19	0.14	0.98	0.53	0.51	-0.04	0.32	0.95	0.94	0.85	0.61	0.95	0.90	0.94	0.97	0.93	0.93	0.97	0.13	0.22	0.98	-0.04	0.96	0.37	0.02	0.82	0.96	1.00							
Tm	-0.07	-0.04	0.28	0.17	0.15	0.91	0.44	0.56	-0.11	0.26	0.96	0.98	0.81	0.57	0.91	0.95	0.97	0.91	0.98	0.95	0.91	-0.01	0.18	0.91	-0.09	0.92	0.35	0.02	0.83	0.94	0.91	1.00						
U	0.07	0.03	0.22	0.19	0.14	0.93	0.55	0.54	0.00	0.30	0.95	0.94	0.86	0.62	0.95	0.93	0.95	0.93	0.94	0.92	0.94	0.13	0.25	0.94	0.00	0.94	0.38	0.09	0.82	0.95	0.95	0.94	1.00					
V	0.34	0.20	0.09	0.15	0.18	0.67	0.75	0.36	0.25	0.45	0.70	0.67	0.74	0.66	0.71	0.60	0.69	0.68	0.64	0.65	0.68	0.48	0.38	0.69	0.21	0.70	0.33	0.16	0.58	0.72	0.69	0.62	0.70	1.00				
W	0.09	0.03	0.10	0.16	0.09	0.37	0.23	0.19	0.02	0.22	0.37	0.35	0.38	0.26	0.37	0.36	0.38	0.36	0.35	0.43	0.38	0.09	0.16	0.38	0.02	0.39	0.14	0.06	0.38	0.37	0.41	0.36	0.38	0.33	1.00			
Y	-0.01	-0.03	0.26	0.19	0.17	0.94	0.50	0.56	-0.08	0.31	0.98	0.99	0.85	0.61	0.94	0.93	0.99	0.94	0.97	0.96	0.94	0.05	0.20	0.94	-0.07	0.95	0.37	0.05	0.83	0.97	0.93	0.99	0.94	0.67	0.37	1.00		
Yb	-0.08	-0.10	0.21	0.14	0.14	0.93	0.47	0.54	-0.15	0.27	0.96	0.99	0.80	0.55	0.91	0.96	0.98	0.93	0.99	0.96	0.92	-0.01	0.16	0.93	-0.14	0.92	0.35	-0.01	0.82	0.95	0.93	0.98	0.94	0.65	0.36	0.98	1.00	
Zn	0.49	0.34	0.03	0.25	0.63	0.20	0.52	0.09	0.48	0.63	0.22	0.15	0.38	0.42	0.27	0.09	0.18	0.20	0.11	0.13	0.22	0.57	0.70	0.22	0.38	0.25	0.25	0.21	0.12	0.25	0.20	0.12	0.22	0.48	0.16	0.18	0.12	1.00
Zr	-0.11	-0.11	0.21	0.12	0.10	0.89	0.40	0.51	-0.18	0.21	0.91	0.95	0.73	0.47	0.86	0.99	0.93	0.89	0.97	0.94	0.88	-0.08	0.16	0.88	-0.17	0.88	0.34	-0.03	0.82	0.89	0.90	0.96	0.94	0.58	0.34	0.93	0.96	0.08	1.00

SUM																																						
>0.95	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	14	11	0	0	8	5	12	8	11	7	8	0	0	9	1	9	0	2	0	12	8	10	3	0	0	10	11	0	4
>0.9	0	2	0	0	0	18	0	0	1	0	21	21	3	1	19	12	21	18	20	20	17	0	0	19	4	19	0	2	0	20	17	20	19	0	0	21	20	0	12
>0.75	0	7	0	0	0	23	1	0	5	0	23	23	21	5	23	22	23	23	23	23	23	3	3	23	7	23	0	2	22	23	23	23	23	2	0	23	23	0	22
<-0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Y Rare earth element Zr Lithofiel spore-element Cu Chalcofiel spore-element Co Siderofiel spore-element

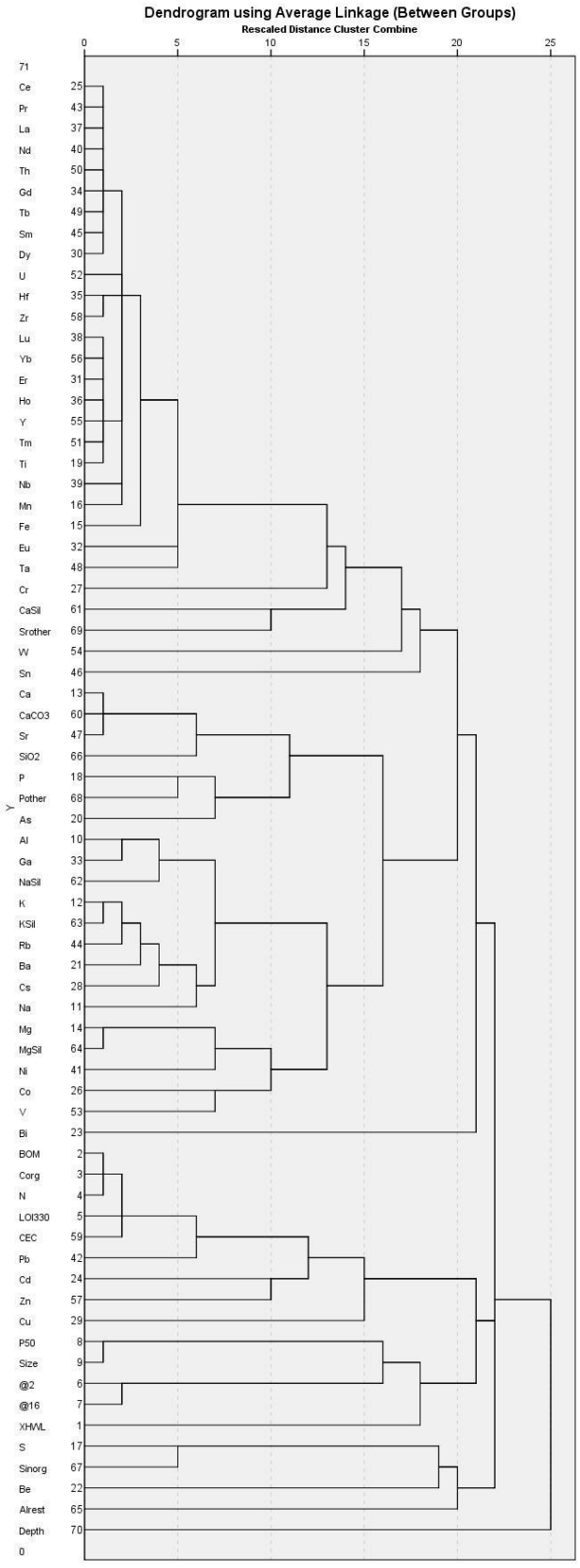
5.7 Clusteranalyse van parameters

Principe
Op de hele dataset is een clusteranalyse uitgevoerd met als doel om de 70 parameters te groeperen in clusters. Als similariteitsmaat is de absolute waarde van de correlatiecoëfficiënt gehanteerd. De clustermethode wordt gekenmerkt als hiërarchisch agglomeratief, met Average Linkage Between Groups.
De similariteitsmaat bepaalt hoe de nabijheid van twee parameters wordt bepaald. Hier is dat met de absolute waarde van de correlatiecoëfficiënt. Absoluut omdat twee sterk negatief gecorreleerde parameters ook vergelijkbaar gedrag vertonen, zij het doorgaans tegengesteld van richting.
Hiërarchisch agglomeratief houdt in dat wordt gestart met evenveel clusters als variabelen (hier dus 70) en dat vervolgens stapsgewijs de meest nabijliggende clusters worden samengevoegd, tot er nog maar één cluster is.
Average Linkage Between Groups houdt in dat de similariteit van twee clusters wordt bepaald als het gemiddelde van alle similariteiten die voor alle parameterparen kunnen worden berekend, met per paar een parameter uit de ene cluster en een parameter uit de andere cluster.
We beoordelen vooral op basis van het dendrogram en het agglomeratieschema bij hoeveel clusters we het clusteren stoppen. Dat is als we vinden dat in de volgende stap té ver van elkaar gelegen clusters worden samengevoegd.
Dit laatste geeft enige subjectiviteit, maar dat is niet zo'n probleem, daar clusteren slechts een beschrijvende statistische methode is. We toetsen er immers geen hypothese mee.

Resultaat
Het resultaat van clustering is weergegeven in Fig.5.22 (tussenresultaat afkomstig uit SPPS na enige bewerking in het rechter deel) en Fig.5.23 (geïnterpreteerde eindresultaat). Fig.5.23 is gebaseerd op een mix van clustering in 25 tot 15 clusters (Fig.5.22), waarbij de overgebleven parameters in een niet samenhangende restgroep zijn ondergbracht. Een extra cluster is onderscheiden op grond van geochemische kennis en correlaties volgens de correlatiematrix. Het betreft ijzer(hydr)oxiden, die in strand- en duinzand immers ruim aanwezig zijn, vooral als coating van de meeste zandkorrels (Eisma, 1968).
De overige 6 clusters in Fig.5.23 zijn dus ontleend aan uitkomsten van de clusteranalyse. Het betreft associaties van elementen of bestanddelen/parameters die voorkomen in of gebonden zijn aan:

- organische stof (met atmosferische aanrijking van aan organische stof sorberende elementen);
- carbonaten (kalk) met eventueel apatiet ($Ca_5(PO_4)_3OH$);
- Ca-silicaat, waaronder anortiet;
- K- en Na-silicaten, waaronder resp. kaliveldspaat en albiet;
- Mg-silicaat, waaronder biotiet; en
- zware mineralen waaronder granaat ($(Fe,Mn,Ca,Mg)_3(Al,Fe,Cr)_2(SiO_4)_3$), toermalijn (b.v. $NaFe_2Al_4B_2Si_4O_{19}(OH)$), zirkoon ($ZrSiO_4$), epidoot ($Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)$), hoornblende ($Ca_3Na(Mg,Fe)_6(Al,Fe)_3(Si_4O_{11})_4(OH)_4$), en Ti-mineralen zoals TiO_2 (rutiel, anataas of brookiet), $Fe^{2+}TiO_3$ (ilmeniet), $CaTiO_3$ (perovskiet), en titaniet of sfeen ($CaTiAlFe^{3+}SiO_5F$).

Bepaalde elementen komen in meerdere clusters voor, zoals P in kalk, ferri(hydr)oxiden, organische stof en Mg-silicaten, en Fe in Ti-mineralen, diverse Al-silicaten en ferri(hydr)oxiden, Ca in diverse kalk, Ca-silicaten en apatiet.
Van vooral titaniet, titaanaugiet, hornblende, granaat en magnetiet is bekend dat deze mineralen vrij veel zeldzame aarden (REE) bevatten, terwijl Ba, Cs en Rb vooral geassocieerd zijn met K vanwege inbouw in vooral K-veldspaat en biotiet.



Para-meters	25 Clusters	Para-meters	23 Clusters	Para-meters	19 Clusters	Para-meters	15 Clusters
X-HWL	1	X-HWL	1	X-HWL	1	X-HWL	1
BOM	2	BOM	2	BOM	2	BOM	2
C-org	2	C-org	2	C-org	2	C-org	2
N	2	N	2	N	2	N	2
LOI 330	2	LOI 330	2	LOI 330	2	LOI 330	2
Pb	2	Pb	2	Pb	2	Cd	2
CEC	2	CEC	2	CEC	2	Pb	2
<2	3	<2	3	<2	3	Zn	2
<16	3	<16	3	<16	3	CEC	2
P50	4	P50	4	P50	4	<2	3
Size	4	Size	4	Size	4	<16	3
Al	5	Al	5	Al	5	P50	4
Ga	5	Na	5	Na	5	Size	4
Na-Sil	5	K	5	K	5	Al	5
Na	6	Ba	5	Ba	5	Na	5
K	6	Cs	5	Cs	5	K	5
Ba	6	Ga	5	Ga	5	Mg	5
Cs	6	Rb	5	Rb	5	Ba	5
Rb	6	Na-Sil	5	Na-Sil	5	Co	5
K-Sil	6	K-Sil	5	K-Sil	5	Cs	5
Ca	7	Ca	6	Ca	6	Ga	5
Sr	7	Sr	6	P	6	Ni	5
CaCO3	7	CaCO3	6	As	6	Rb	5
SiO2	7	SiO2	6	Sr	6	V	5
Mg	8	Mg	7	CaCO3	6	Na-Sil	5
Ni	8	Ni	7	SiO2	6	K-Sil	5
Mg-Sil	8	Mg-Sil	7	P-other	6	Mg-Sil	5
Fe	9	Fe	8	Mg	7	Ca	6
Mn	9	Mn	8	Co	7	P	6
Ti	9	Ti	8	Ni	7	As	6
Ce	9	Ce	8	V	7	Sr	6
Dy	9	Dy	8	Mg-Sil	7	CaCO3	6
Er	9	Er	8	Fe	8	SiO2	6
Eu	9	Eu	8	Mn	8	P-other	6
Gd	9	Gd	8	Ti	8	Fe	7
Hf	9	Hf	8	Ce	8	Mn	7
Ho	9	Ho	8	Dy	8	Ti	7
La	9	La	8	Er	8	Ce	7
Lu	9	Lu	8	Eu	8	Cr	7
Nb	9	Nb	8	Gd	8	Dy	7
Nd	9	Nd	8	Hf	8	Er	7
Pr	9	Pr	8	Ho	8	Eu	7
Sm	9	Sm	8	La	8	Gd	7
Ta	9	Ta	8	Lu	8	Hf	7
Tb	9	Tb	8	Nb	8	Ho	7
Th	9	Th	8	Nd	8	La	7
Tm	9	Tm	8	Pr	8	Lu	7
U	9	U	8	Sm	8	Nb	7
Y	9	Y	8	Ta	8	Nd	7
Yb	9	Yb	8	Tb	8	Pr	7
Zr	9	Zr	8	Th	8	Sm	7
S	10	S	9	Tm	8	Ta	7
S-inorg	10	S-inorg	9	U	8	Tb	7
P	11	P	10	Y	8	Th	7
P-other	11	As	10	Yb	8	Tm	7
As	12	P-other	10	Zr	8	U	7
Be	13	Be	11	S	9	Y	7
Bi	14	Bi	12	S-inorg	9	Yb	7
Cd	15	Cd	13	Be	10	Zr	7
Co	16	Co	14	Bi	11	Ca-Sil	7
V	16	V	14	Cd	12	Sr-other	7
Cr	17	Cr	15	Zn	12	S	8
Cu	18	Cu	16	Cr	13	S-inorg	8
Sn	19	Sn	17	Cu	14	Be	9
W	20	W	18	Sn	15	Bi	10
Zn	21	Zn	19	W	16	Cu	11
Ca-Sil	22	Ca-Sil	20	Ca-Sil	17	Sn	12
Al-rest	23	Al-rest	21	Sr-other	17	W	13
Sr-other	24	Sr-other	22	Al-rest	18	Al-rest	14
Depth	25	Depth	23	Depth	19	Depth	15

FIG. 5.22. Clusteranalyse van parameters: dendrogram (links) en daarop gebaseerde clustering van parameters (rechts).

Organische stof en atmosferische input metalen											
C	N	BOM	MOM	CEC	P #	S #	Pb	Cd	Zn	(Cu)	
Carbonaten (kalk) en apatiet?											
Ca	Sr	CaCO3		-Si	As	P	P-other				
Ca-silicaten											
Ca-sil		Sr-other									
K- en Na-silicaten											
Al	Na	K	Ba	Cs	Rb	Ga	K-sil		Na-sil		
Mg-silicaten											
Mg	Mg-sil		Co	Ni	V						
Zware mineralen											
Fe	Mn	Ti	REE	Nb	Ta	Th	U	Hf	Zr		
Fe-(hydr)oxiden #											
Fe	Mn	P	As	Co	V						
Rest (niet samenhangend)											
Be	Bi	Cu	Sn	W	Al-rest						

 # = niet volgend uit de clusteranalyse, maar gebaseerd op kennis en correlatiematrix

FIG. 5.23. De belangrijkste clusters van onderling zeer sterk, lineair correlerende elementen, zoals afgeleid uit de clusteranalyse in Fig.5.22. REE = Rare Earth Elements (zeldzame aarden).

5.8 Enkele X/Y-plots

Op basis van de correlatiematrix zijn enkele elementen geselecteerd voor X/Y-plots (Fig.5.24 – 5.30). Uit deze figuren volgen (zeer) goede relaties (R^2 = 0.6-0.98) voor:

- Al en Ti die negatief, exponentieel of logaritmisch correleren met de gemiddelde korrelgrootte, althans in bepaalde gevallen (Fig.5.24). Het verband is wat Al betreft het sterkst langs meetraaien 18-22 en wat Ti betreft het sterkst op de Waddeneilanden. Het verband is te verklaren met een toenemende dominantie van kwarts in de grovere korrelfractie, een toenemende hoeveelheid Al-rijke kleimineralen met afnemende korrelgrootte en een relatief kleine korrelgrootte voor Ti-rijke mineralen die relatief zwaar zijn.
- Lood en organisch N met organische koolstof (Fig.5.25). De C/N-verhouding is reeds besproken in par.5.5 (zie ook Fig.5.16). Lood kent overwegend een atmosferische origine, bindt via sorptie sterk aan organische stof en loogt dus ook niet makkelijk uit. Zn, Cd en Cu vertonen vergelijkbaar gedrag als Pb (zie Fig.5.20-5.22), maar kennen een relatief geringer atmosferisch aandeel en logen ook makkelijker uit vanwege een geringere sorptie aan organische stof.
- P met Ca (Fig.5.26 en 5.27). De regressiecoëfficient van P met Ca bedraagt voor de betere VU-dataset 0.0084, welke beduidend hoger is dan die bepaald in schelpkalk (0.0003; Stuyfzand, 1993), veel lager dan in apatiet (ca. 0.464) en lager dan de regressiecoëfficient van P met Mg (0.136; Fig.5.15). De hogere correlatiecoëfficiënt van P met Mg (R^2 = 0.79) dan met Ca (R^2 = 0.65) en Fe (R^2 = 0.46) suggereert dat een belangrijk deel van P Mg-silicaatgebonden is.
- Sr met Ca (Fig.5.26 en 5.27). Hun zeer goede verband suggereert dat een groot deel van Sr kalkgebonden is. De regressiecoëfficient van Sr met Ca bedraagt 0.004-0.0047 welke vrijwel samenvalt met bepalingen aan schelpkalk (0.0044; Stuyfzand, 1993). De restterm in de regressievergelijking (21.2 ppm) omvat waarschijnlijk het gemiddelde aandeel van silicaatgebonden Sr. Dat deel varieert volgens Fig.5.18 (Sr-other) weinig: 21-22 ppm voor het Waddendistrict, en 25-26 voor het Rhenodunale district.

- Na, K, Na-silicaat en Ga met Al (Fig.5.28). De zeer goede correlaties van Na en K met Al (Fig.4.12) pleiten voor een belangrijke binding aan resp. albiet en kaliveldspaat + biotiet. De lage regressiecoëfficiënten van Na met Al (0.42) in vergelijking met die van 0.85 voor albiet, en van K met Al (0.52) in vergelijking met die van 1.45 voor zowel kaliveldspaat als biotiet, houden vooral verband met het voorkomen van andere Al-silicaten. Daar komt bij dat K tevens een belangrijk bestanddeel is van het kleimineraal illiet (waarin K/Al = 0.38). Gallium vertoont een opmerkelijk goede correlatie met Al, beter dan met Na, K en Mg. In de literatuur wordt melding gemaakt van aanwezigheid van Ga in o.a. diaspoor (α-AlO(OH)), bauxiet ($Al_2O_3.3H_2O$), sfaleriet (ZnS) en steenkool (C).
- Ba, Cs en Rb met K (Fig.5.29). De zeer goede correlaties suggereren dat Ba, Cs en Rb als spore-elementen in biotiet, kaliveldspaat en illiet voorkomen, hetgeen overeenkomt met geochemische bepalingen (Stuyfzand, 1993).
- SiO_2 met Ca (Fig.5.30). De negatieve relatie verklaart zich doordat de zeer hoge SiO_2 gehalten samengaan met zeer hoge kwartsgehalten terwijl een relatief hoog kalkgehalte (≈ 2.5 Ca) verhindert dat SiO_2 bijna 100% inneemt.
- Mn met Fe (Fig.5.31). De goede positieve correlatie uit zich in 2 verschillende regressielijnen. De flauwe (Mn = 0.026Fe) komt bijna overeen met de Mn/Fe-verhouding van ijzer(hydr)oxide coatings in het Rhenodunale district (Eisma et al., 1966) en biotiet (Stuyfzand, 1993), en de hoge (Mn = 0.056Fe) kan verband houden de gemiddelde Mn/Fe-verhouding van b.v. granaat en ilmeniet.
- Ti met Fe (Fig.5.31). Ook hier zien we 2 regressielijnen. De hoge is aanzienlijk lager dan die in ilmeniet, waarin de Ti/Fe-verhouding 0.85-1.0 bedraagt.
- Mn, Zr, Er, Nb en Y met Ti (Fig.5.32). De zeer goede correlaties van de meeste zeldzame aarden (zoals Y en Er), Mn, Nb en Zr met Ti maken het waarschijnlijk dat zij gezamenlijk deel uitmaken van hetzij ilmeniet, titaniet of biotiet of de zware mineralen associatie die onder dezelfde omstandigheden geconcentreerd wordt in het sediment. Ook biotiet bevat o.a. veel Fe, Mn, Ti en spore-elementen (Stuyfzand, 1993). De regressiecoëfficiënt van Mn en Ti komt in de buurt van een Mn-rijke ilmeniet (0.15).
- Ni en P met Mg (Fig.5.33). De hogere correlatiecoëfficiënt van P met Mg (R^2 = 0.79) dan met Ca (R^2 = 0.65) en Fe (R^2 = 0.46) suggereert dat een belangrijk deel van P Mg-silicaatgebonden is. Nikkel vertoont alleen met hoofdelement Mg een goede correlatie. Dit kan wijzen op inbouw in biotiet, dat inderdaad relatief hoge Ni-gehalten kent (Stuyfzand, 1993).

Bovengenoemde en andere relaties suggereren dat veel van genoemde elementen samen voorkomen als natuurlijk bodembestanddeel, en niet zozeer als bodemverontreiniging. Het beeld wijkt niet wezenlijk af van de clusters in Fig. 5.22. Niettemin zij erop gewezen dat enkele van de besproken relaties schijnrelaties kunnen zijn. De elementen komen dan niet in hetzelfde mineraal voor maar samen in verschillende mineralen. In diverse plots zijn verder structureel afwijkende puntenzwermen of lijnen te zien, zoals voor P in Fig.5.27 en Ba in Fig.5.29. Deze getuigen van afwijkende manieren van voorkomen. Zo zouden de relatief hoge Ba-gehalten boven de regressielijn in Fig.5.29 kunnen samenhangen met voorkomen als bariet ($BaSO_4$). Incidentele uitbijters kunnen foute analyses betreffen, maar deze zijn er bij de gevolgde screeningsmethode (par.2.4) niet als zodanig uitgerold.

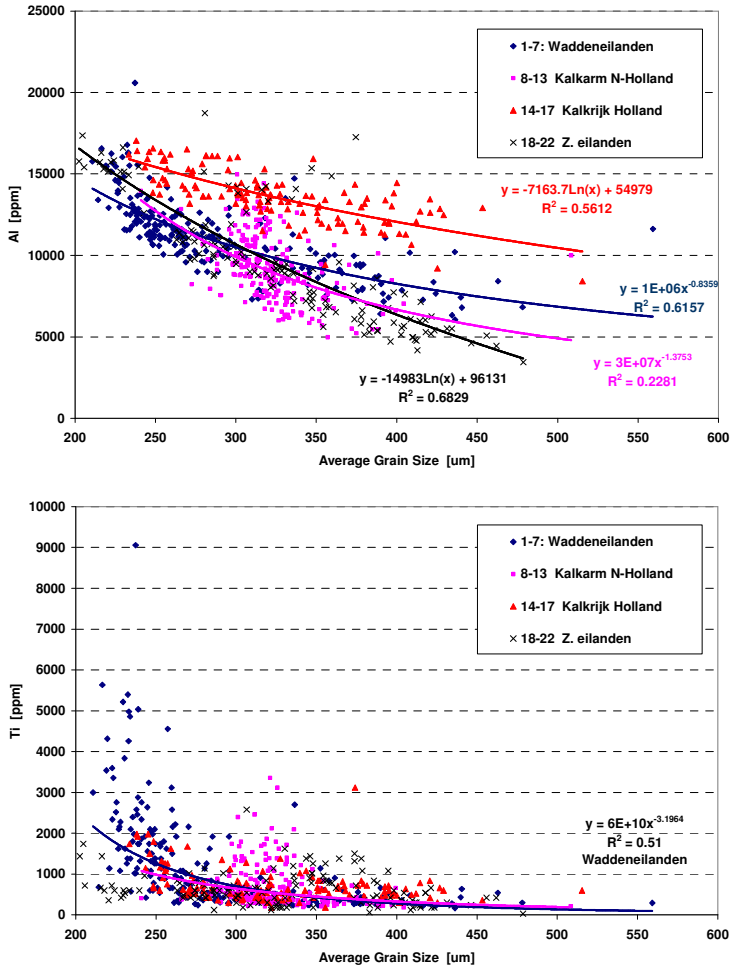


FIG. 5.24 Verband tussen het Al en Ti gehalte en de gemiddelde korrelgrootte voor strand- en duinzand in 4 deelgebieden langs de Nederlandse kust van Ameland t/m Walcheren.

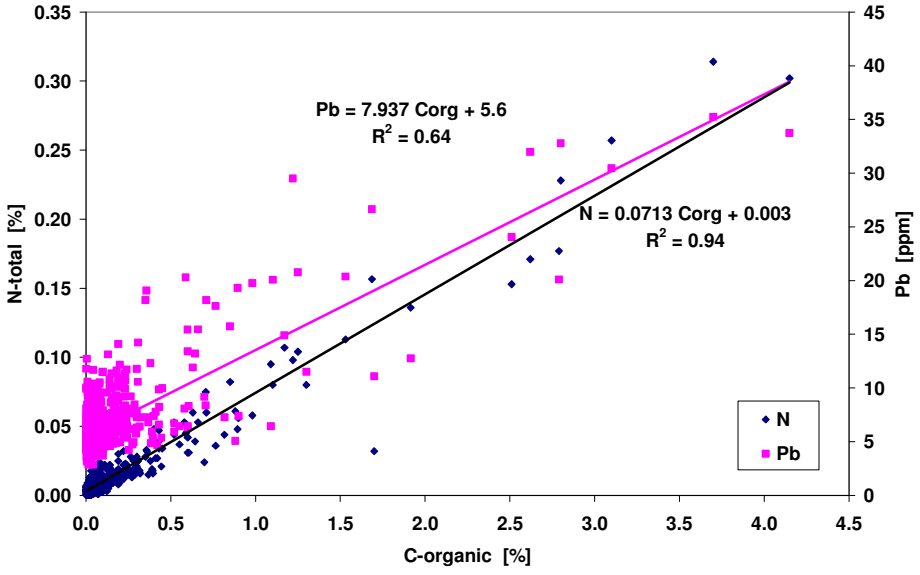
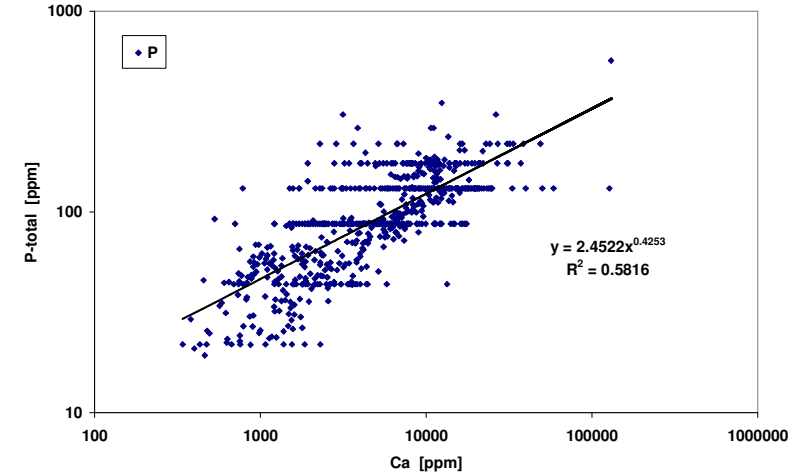


FIG. 5.25. Plot van totaal stikstof en lood tegen organisch koolstof (alle 683 monsters).



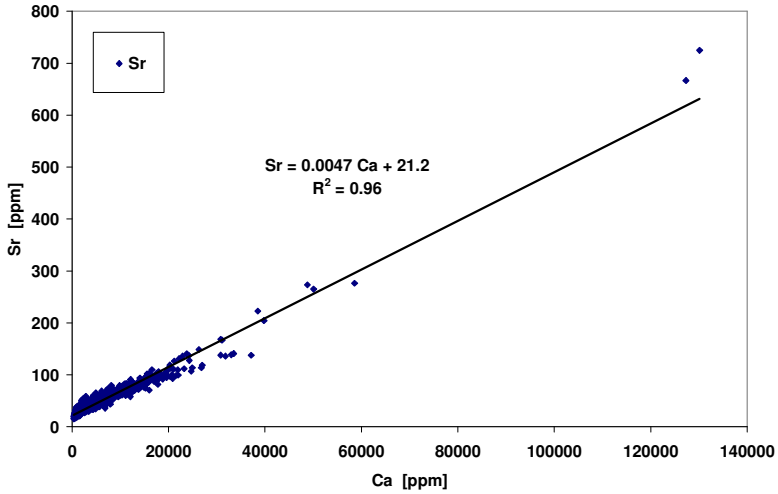


FIG. 5.26. Plot van totaal fosfor en Sr tegen totaal calcium voor alle 683 monsters. P-analyses door ACME herkenbaar aan horizontale datalijnen, wijzend op geringe resolutie t.a.v. P.

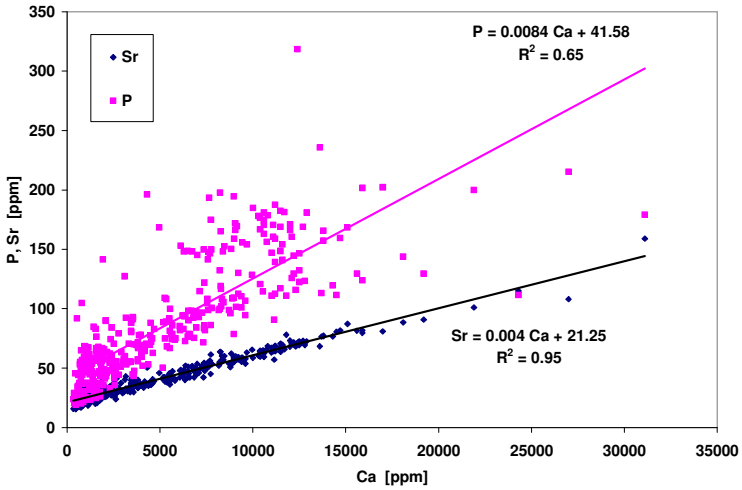


FIG. 5.27. Plot van totaal fosfor en Sr tegen totaal calcium voor de 366 monsters in 2009 genomen en door VU geanalyseerd.

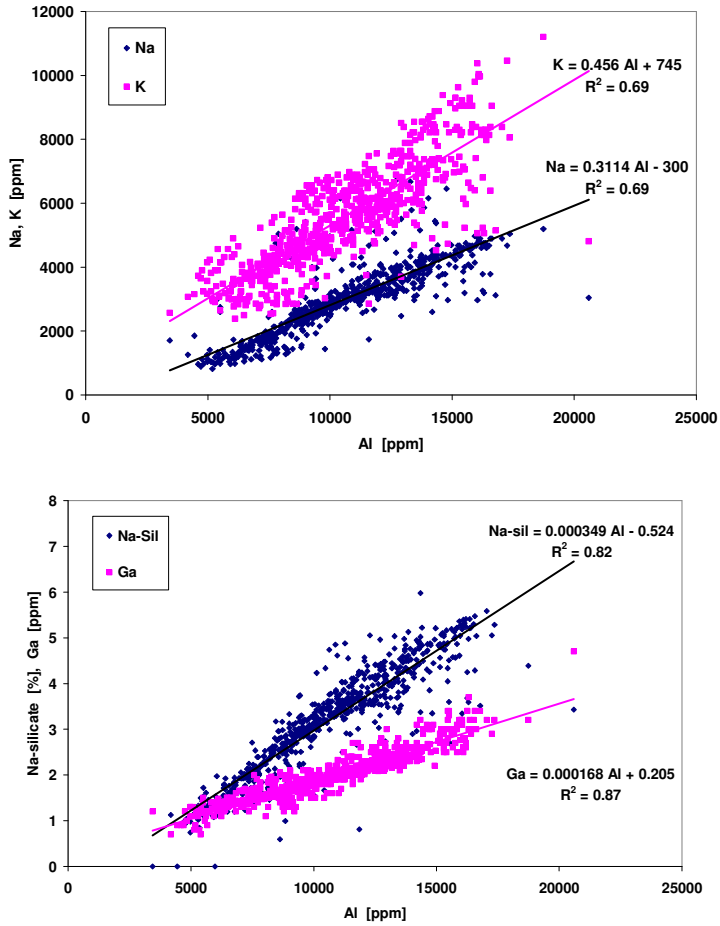


FIG. 5.28. Plot van totaal Na en K tegen totaal Al (boven), en van totaal Ga en Na-silicaat tegen totaal Al (onder). N = 683.

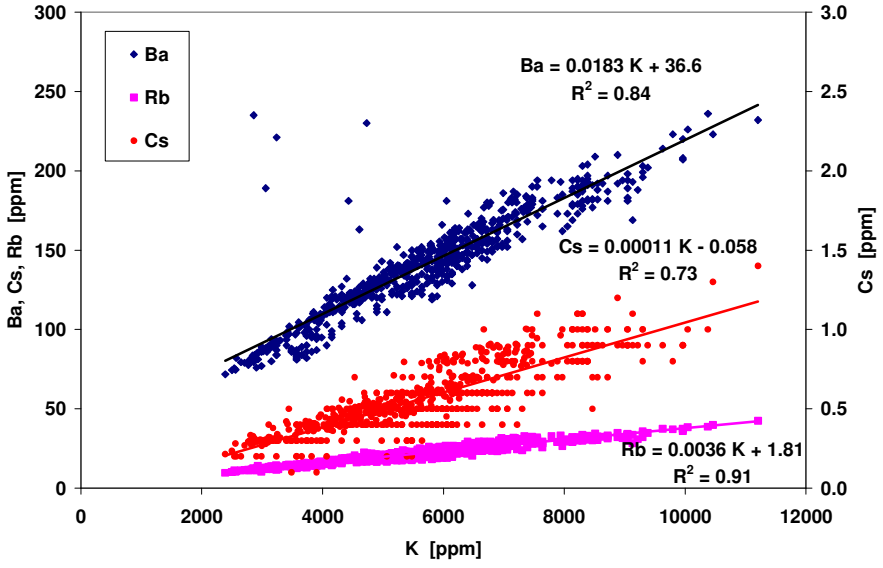


FIG. 5.29. Plot van Ba, Cs en Rb tegen totaal K. N = 683.

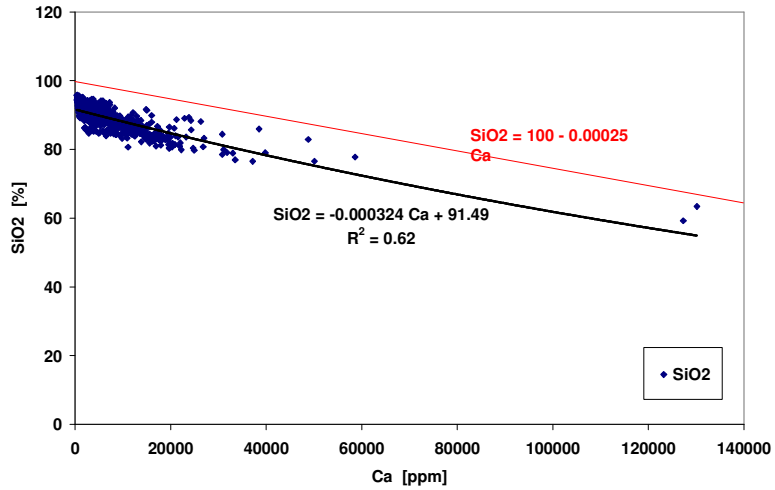
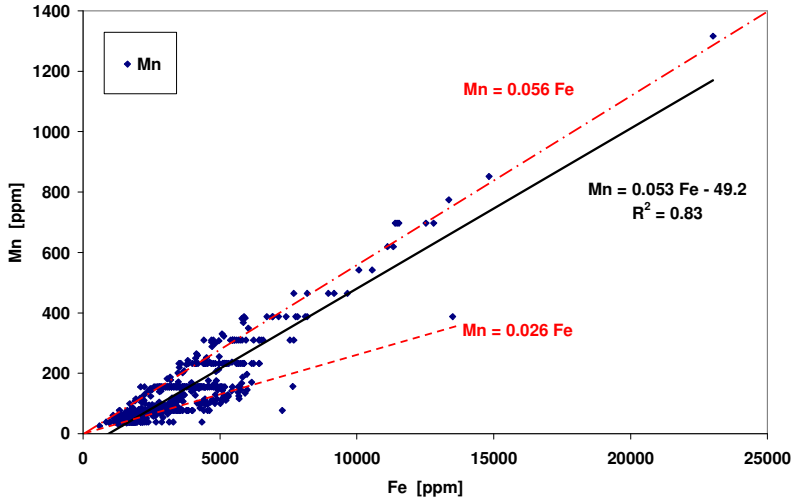


FIG. 5.30. Plot van totaal SiO_2 tegen totaal Ca. N = 683.



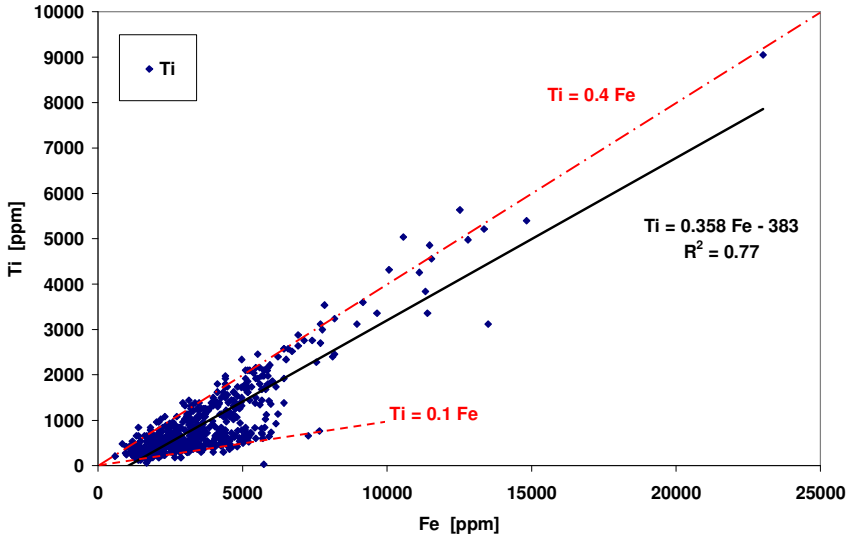
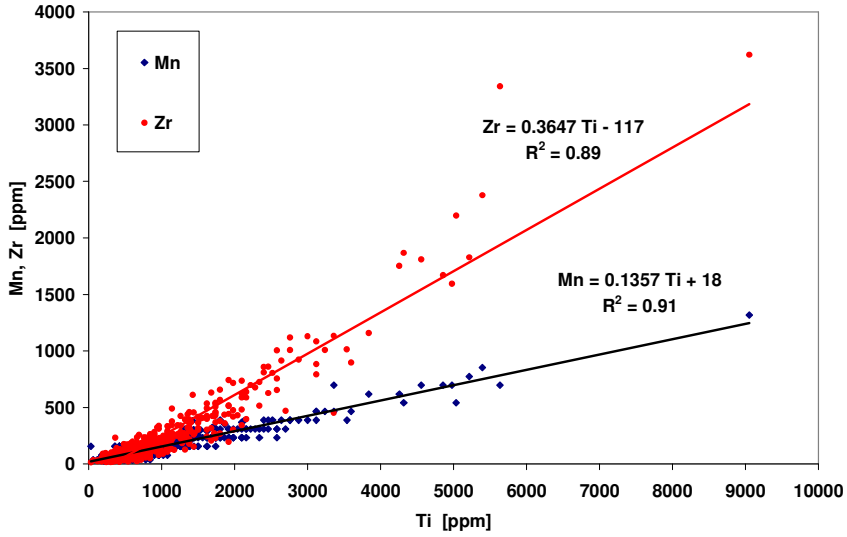


FIG. 5.31. Plot van totaal Mn en Ti tegen totaal Fe. N = 683.



7

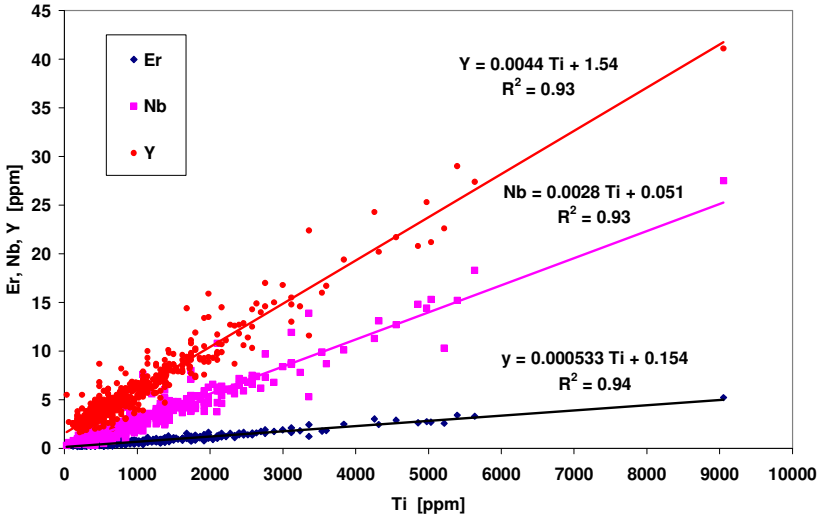


FIG. 5.32. Plot van totaal Mn en Zr tegen totaal Ti (boven), en van totaal Er, Nb en Y tegen totaal Ti (onder). N = 683.

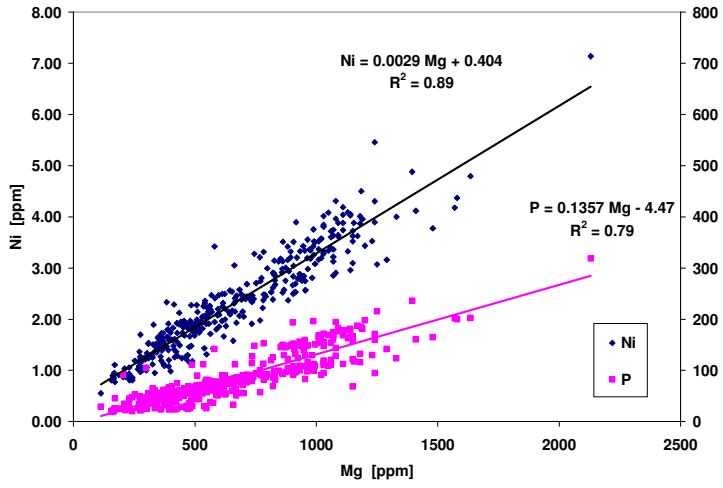


FIG. 5.33. Plot van totaal Ni en P tegen totaal Mg (alle 366 monsters genomen in 2009).

5.9 Enkele bijzondere monsters

Een vijftal monsters is genomen en geanalyseerd vanwege de bijzondere aard van de afzetting, of later als speciaal onderkend:

- monster 2-7 (0.1 m-MV; zandtype W313), bestaande uit zand uit de zeereep van Ameland West met het hoogste Ti-gehalte (9053 ppm);
- monster 8-12 (0.01 m-MV; zandtype W011), een verkitte alglaag vlak achter de zeereep van Groote Keeten (Fig.5.34);
- monster 13-11 (0.01 m-MV; zandtype W000), een ijzeroerbank in duinterrein achter de zeereep van Bergen aan Zee (Fig.5.35);
- monster 20-12 (0.1 m-MV; zandtype R033), bestaande uit grauwgekleurde facetten van een stuifkuilwand in de zeereep van Schouwen, vermoedelijk ontstaan door impactie van algenschuim (Fig.5.36); en
- monster 21-5 (0.1 m-MV; zandtype R111), bestaande uit zand uit de zeereep van Walcheren Oost met het hoogste Au-gehalte (36.8 ppm).

Enkele analyseresultaten van deze 5 monsters zijn in Tabel 5.6 bijeengezet. Hieruit wordt het volgende afgeleid:

- Het hoogste titaangehalte combineert met de hoogste concentraties aan o.a. Al, Mg, Fe, Mn, P, Ce, Co, Cr, Pb, U, V en vooral Zr;
- De verkitte alglaag vertoont ten opzichte van zandtype W011 alleen een licht verhoogd gehalte aan organische stof en Mn.
- De ijzeroerbank manifesteert zich ten opzichte van zandtype W000 vooral door een (licht) verhoogd gehalte aan lutum, organische stof, P, Fe, Al, Na, K, Ca, Mg en de meeste spore-elementen, en een iets lager Mn gehalte en fijnere korrelgrootte.
- De laag met vermoedelijke algenschuimimpactie vertoont ten opzichte van zandtype R03 alleen een duidelijk verhoogd gehalte aan kalk en Sr, en een sterk verhoogd titaniumgehalte. Laatstgenoemde doet het vermoeden ombuigen in impactie van relatief zwaar, veel titaanhoudend zand omdat titaanhoudende mineralen donkergekleurd zijn.
- Het hoogste goudgehalte combineert met geen enkel maximum of minimum qua korrelgrootte of chemische samenstelling.

TABEL 5.6. Samenstelling van 5 bijzondere zandmonsters. Blauw = maximum waarde. <2 = lutum fractie [%]; P50 = mediane korrelgrootte [µm].

Monster	Omschrijving	Zand	C	C/N	CaCO3	<2 um	P50	Al	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	S	P	Ti
Code		type	%	%-basis	corr	um		ppm									
2-7	Titaan max	W313	0.023		0.635	0.6	210	20594	3042	4815	11078	2412	23011	1317	100	262	9053
8-12	Verkitte alglaag	W011	0.180	13.8	0.333	1.1	300	7359	1985	4100	3045	603	1819	77	48	44	839
13-11	IJzeroer	W000	0.552	14.9	0.192	3.6	215	13963	3980	7110	1930	700	2920	54	90	142	412
20-12	Algenschuim	R033	0.079	8.7	6.440	0.8	260	12653	3040	5330	27000	1628	6435	232	112	218	2578
21-5	Goud max	R111	0.880	14.4	0.437	0.4	347	5400	1335	3902	3431	241	2098	77	100	175	779

Monster	Omschrijving	Zand	As	Au	Ba	Be	Ce	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	U	V	Zn	Zr
Code		type	ppm														
2-7	Titaan max	W313	1.8	<0.5	122	0.50	108	4.1	239	1.2	1.8	8.8	82	4.4	38.0	8.8	3621
8-12	Verkitte alglaag	W011	1.8	<0.5	113	0.19	8	0.7	3	0.8	1.7	4.9	31	0.4	4.0	7.1	92
13-11	IJzeroer	W000	2.5	<0.5	182	0.35	11	0.7	12	1.2	3.4	6.5	44	0.5	9.5	4.1	62
20-12	Algenschuim	R033	4.5	<0.5	127	0.30	39	1.5	75	2.4	3.1	7.6	118	1.5	19.0	11.5	756
21-5	Goud max	R111	2.9	36.8	87	1.00	8	0.6	21	1.1	1.2	5.1	30	0.3	4.0	8.8	64



FIG. 5.34 Verkitte alglaag op meetpunt 8-12 (412U) Groote Keeten. Zandtype is W011.

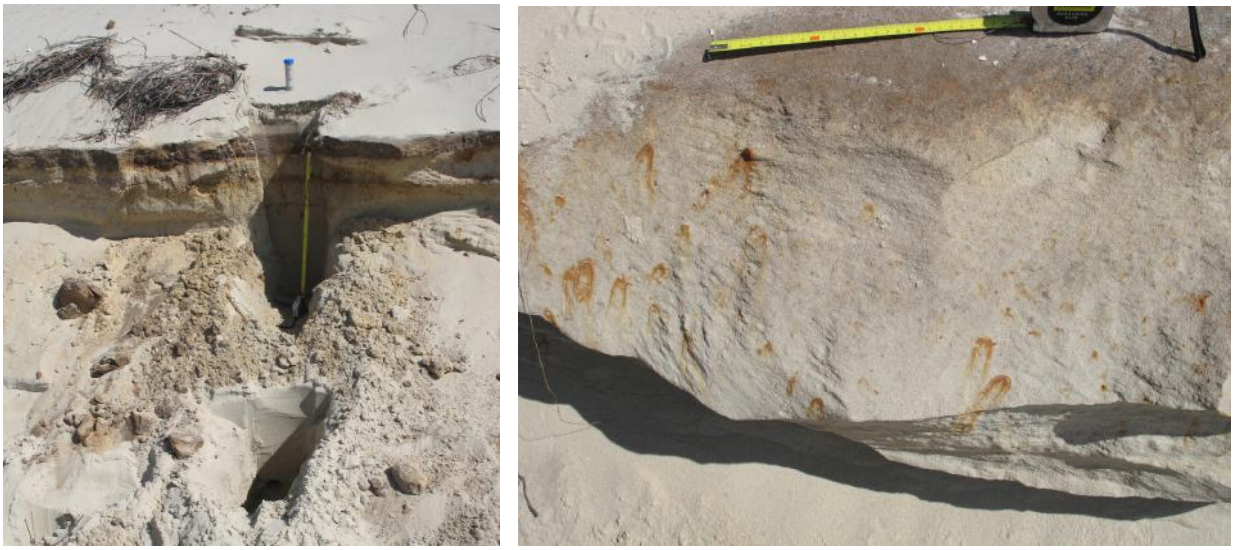


FIG. 5.35 IJzeroerbank op meetpunt 13-11 (911U) Bergen aan Zee. Zandtype is W000.



FIG. 5.36 Grauwgekleurde facetten van stuifkuilwand in zeereep Bergen aan Zee, vermoedelijk ontstaan door impactie van algenschuim. Vergelijkbaar monster op Schouwen is locatie 20-12(1201U), zandtype R033.

5.10 Organische microverontreinigingen

De resultaten van analyse op PAK, vluchtige aromaten (BTEX-groep), vluchtige chlooralifaten en EOX zijn in Tabel 5.7 gelist. In geen van de 30 monsters van verschillend zandtype zijn deze verbindingen aangetoond.

TABEL 5.7. De 30 monsters geanalyseerd op organische microverontreinigingen, met het voor alle monsters geldende analyseresultaat (gehalten < OAG).

Sample Code	Diepte cm - MV	Zandtype
101C	50	W210
202C	50	W210
205A	10	W200
207C	50	W210
303C	50	W110
310A	10	W000
316A	10	W000
406A	10	W020
501A	10	W320
505A	10	W320
506C	50	W320
514B	30	W001
604C	50	W320
606B	30	W310
701A	10	W420
710A	10	W420
710C	50	W012
710D	100	W000
710F	200	W020
714C	50	W000
902A	10	W420
906C	50	W421
907B	30	W421
1002A	10	R520
1004C	50	R520
1005C	50	R521
1006B	30	R520
1011B	30	R020
1103B	30	R520
1114E	50	R021

Parameter	Eenheid		Gehalte	
Polycyclische Aromatisch Koolwaterstoffen (PAK):				
naftaleen	mg/kg	ds	<	0.05
fenanthreen	mg/kg	ds	<	0.05
anthraceen	mg/kg	ds	<	0.05
fluorantheen	mg/kg	ds	<	0.05
benz(a)anthraceen	mg/kg	ds	<	0.05
chryseen	mg/kg	ds	<	0.05
benzo(k)fluorantheen	mg/kg	ds	<	0.05
benzo(a)pyreen	mg/kg	ds	<	0.05
benzo(ghi)peryleen	mg/kg	ds	<	0.05
indeno(1,2,3cd)pyreen	mg/kg	ds	<	0.05
som PAK (n=10)	mg/kg	ds		0.35
Vluchtige aromaten:				
benzeen	mg/kg	ds	<	0.01
tolueen	mg/kg	ds	<	0.01
ethylbenzeen	mg/kg	ds	<	0.01
xyleen (som o+m=p)	mg/kg	ds	<	0.01
naftaleen	mg/kg	ds	*	*
som aromaten (BTEX)	mg/kg	ds		0.03
Vluchtige chlooralifaten:				
dichloormethaan	mg/kg	ds	<	0.05
1,1-dichloorethaan	mg/kg	ds	<	0.05
1,2-dichloorethaan	mg/kg	ds	<	0.05
1,2-dichlooretheen (trans)	mg/kg	ds	<	0.05
1,2-dichlooretheen (cis)	mg/kg	ds	<	0.05
1,2-dichloorpropaan	mg/kg	ds	<	0.05
trichloormethaan	mg/kg	ds	<	0.05
tetrachloormethaan	mg/kg	ds	<	0.05
1,1,1-trichloorethaan	mg/kg	ds	<	0.05
1,1,2-trichloorethaan	mg/kg	ds	<	0.05
trichlooretheen	mg/kg	ds	<	0.05
tetrachlooretheen	mg/kg	ds	<	0.05
som c+t dichlooretheen	mg/kg	ds		0.07
Extr. Organo Halogenen (EOX)	mg/kg	ds	<	0.1

5.11 Toetsing op bodemnormen

Toetsing van alle monsters op de parameters genoemd in het Besluit Bodemkwaliteit 2008 levert voor alle monsters geen enkele overschrijding op van de genoemde achtergrondgehalten.

5.12 Conclusies geochemische effecten van zandsuppleties

Zandklassen met en zonder suppletie in het ***Waddendistrict*** onderscheiden zich gemiddeld als volgt:

- Gesuppleerd strandzand (W5) onderscheidt zich van niet-gesuppleerd strandzand (W9) vooral door: hogere gehalten aan kalk, Na-, Ca- en Mg-silicaten, Al, Fe, Mn, P, Ti en de meeste spore-elementen, en lagere gehalten aan S en SiO_2. Daarvan zijn niet alle verschillen statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid).
- Duinzand overstoven van suppleties (W3, W2) onderscheidt zich eenduidig van 'natuurlijk' duinzand (W1, W01 en W00) door hogere gehalten aan kalk, Sr, As, Na-silicaat, Mg-silicaat, P, Co, Ni en Zn, en lagere gehalten aan SiO_2. Daarvan zijn bijna alle verschillen ook statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid).
- De verschillen tussen overstoven duinzand van strandsuppleties (W3) en dito van vooroeversuppletie (W2) zijn alleen bij Bergen gemeten, en daar geheel verwaarloosbaar.

Zandklassen met en zonder suppletie in het ***Rhenodunale district*** onderscheiden zich gemiddeld als volgt:

- Gesuppleerd strandzand (R5) onderscheidt zich van niet-gesuppleerd strandzand (R9) door: hogere gehalten aan kalk, Na-, K- en Mg-silicaten, Al, Fe, Mn, S, P, Ti en de meeste spore-elementen, en lagere gehalten aan Ca-silicaat en SiO_2. Daarvan is de helft der verschillen statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid).
- Duinzand overstoven van suppleties (R4, R3) onderscheidt zich van 'natuurlijk' duinzand (R1, R01 en R00) door: hogere gehalten aan Fe, P, As, Co, Ni, V en Zn; lagere gehalten aan Be; en een lagere C/N ratio (alle verschillen statistisch significant).
- Duinzanden ontstaan door duinverzwaring (R4) en strandsuppleties (R3) kunnen alleen in de omgeving van Scheveningen op zinvolle wijze vergeleken worden. Daar blijkt dat R4 significant hoger scoort qua organische stof, kalk, Sr en Ni, maar lager ten aanzien van Fe, P, Co, Hf, Pb, Sn, V, Zn en Zr.

Het percentage suppletiemateriaal (%SUP) in een zandmonster bestaande uit maximaal 2 eindleden, resp. suppletiemateriaal en oorspronkelijk duinzand (zonder suppletiemateriaal) kan als volgt worden vastgesteld:

$$\%SUP = 100 \{(C_{MIX} - C_D) / (C_S - C_D)\} \qquad (31)$$

waarin:
C_{MIX} = tracergehalte in monster [ppm]; C_D = tracergehalte in oorspronkelijk duinzand [ppm]; C_S = tracergehalte in suppletiemateriaal [ppm].

De grootste nauwkeurigheid wordt bereikt door: (a) tracers te selecteren met het grootste contrast; (b) tracers te selecteren met de grootste analytische nauwkeurigheid; (c) de ouderdom en lokatie van de sedimenten in beschouwing te nemen en daarop C_D of C_S aan te passen; en (d) toepassing van Eq.31 op meerdere tracers en daarvan het gewogen gemiddelde te nemen (Stuyfzand, 2010b).

6 Discussie

6.1 Vergelijking korrelgrootteverdeling strand- en duinzand met en zonder suppleties, met eerder onderzoek

6.1.1 De oorspronkelijke situatie

De korrelgroottebepalingen aan monsters genomen tussen augustus-oktober 1982 (dus voorafgaand aan de periode waarin suppleties normaal werden) laten duidelijke verschillen zien langs de hele kust, tussen het natte strand (tussen laagwater- en hoogwaterlijn), het droge strand (tussen hoogwaterlijn en duinvoet) en de zeereep (Tabel 6.1 en Fig.6.1; gebaseerd op data in Hoozemans & van Vessem, 1989).
Duidelijk blijkt dat de gemiddelde korrelgrootte van het droge en natte strand nauw aan elkaar gekoppeld is, wat aangeeft dat de kustdwarse verschillen veel groter zijn dan de kustlangse. Dit is logisch omdat het gaat om verschillende transportmechanismen via resp. water en wind. De korrelgroottebepalingen door Eisma (1968) aan monsters van 1961-1962 bevestigen dit niet (Tabel 6.1.). Eisma (1968) concludeerde dat kustzanden overwegend kustdwars worden getransporteerd, terwijl kustparallel transport langs het strand gering is. Vermoedelijk is dit vooral de resultante van transport door golven die breken op het natte (storm)strand, met aansluitend eolisch transport. Meer offshore is er wel sprake van kustparallel transport. De zanden noordelijk van IJmuiden zijn vooral oudere Holocene zanden, terwijl de zanden zuidelijk ervan vooral bestaan uit recentere Rijnzanden die naar de kust zijn gebracht (Eisma, 1968). Ten zuiden van de haringvlietmonding neemt dit aandeel weer af en worden oudere zanden (Eem Formatie) weer belangrijker (Van Haperen 2009).
De geleidelijke korrelgrootteafname vanaf Bergen aan Zee naar Schiermonnikoog (Fig.6.1) duidt mogelijk toch op korrelgroottesortering langs het strand in (noord)oostwaartse richting onder invloed van golfgedreven transport en wind. Een andere verklaring van deze korrelgrootteafname zou de terugwijking van de kust kunnen zijn die toentertijd speelde vanaf km-paal 26-38 noordwaarts (Hoozemans & van Vessem, 1989), en in het verleden zelfs vanaf Scheveningen (ca. km paal 100). Hierdoor zou het kustzand voor een groter deel kunnen bestaan uit fijner, door de zee geërodeerd (of vaker opnieuw bewerkt) eolisch sediment. De duur van de kustdwarse selectie en heropname zijn dan bepalend voor de korrelgrootte. Vooralsnog blijft de verklaring onduidelijk.

Verder valt op dat de korrelgroottes vanaf Katwijk verder noordoostwaarts (m.u.v. Callantsoog) een consequent afnemen van nat strand naar droog strand naar zeereep (Fig.6.1). Deze volgorde valt te verklaren als selectie door eolisch transport. Waarom deze volgorde ten zuiden van Katwijk verandert, is onbekend. Een sterke beïnvloeding door de Deltawerken of het meer getijde-gedomineerde karakter van deze kust zou dit beeld kunnen verklaren.
Verschillen tussen de data van Eisma (1968) en Hoozemans & van Vessem (1989) zijn relatief gering. Bedacht moet worden dat de gemiddelde korrelgrootte ongeveer 1.1 maal de mediane korrelgrootte bedraagt (althans in de dataset van 2009-2011). Dit zou betekenen dat de metingen van Eisma gemiddeld 6-12% hoger uitpakken dan die van Hoozemans & van Vessem (1989), in een periode van weinig/geen zandsuppleties. Verschillen in korrelgrootte tussen jaren zijn op het strand heel wel mogelijk als gevolg van verschillen in stormfrequentie / dynamiek.

TABEL 6.1. Overzicht van korrelgrootteanalyses (µm) langs de Nederlandse kust, verricht in 1961-1962 door Eisma (1968), in 1982 door H&V (Hoozemans & Van Vessem, 1989) en in 2009-2011 door DO (Dit Onderzoek). RSP = Rijks Strand Paal.
NB: data Eisma = mediaan zeef-analyses 50-1000 µm (gemiddelde = 1.1 mediaan); data H&V = rekenkundig gemiddelde zeef- en pipetanalyses; data DO = rekenkundig gemiddelde laseranalyses (omrekening naar zeef- en pipetanalyses door te nemen waarde minus 40; correctie niet verricht in data).

Lokatie	RSP		Meet-	Natte strand			Droge strand			Zeereep			Duin
			raai #	61-62	1982	2009-11	61-62	1982	2009-11	61-62	1982	2009-11	
	H&V	Eisma	DO	Eisma	H&V	DO	Eisma	H&V	DO	Eisma	H&V	DO	
Schiermonnikoog	1-16				171			167			163		
Ameland	1-25		1-2		185	248		177	262		173	234	240
Terschelling	0-30				221			188			187		
Vlieland	35-55		3-4		247	302		201	300		200	270	254
Texel	4-32		5-7		238	384		211	384		200	376	290
N-Holl: Callantsoog	0-26	0-20	8		285	439	265	292		250	242	346	319
N-Holl: Bergen	26-38	26-32	9-13		312	348	253	274	321	237	249	317	321
N-Holl: IJmuiden	38-68	33-71	14		293	321	244	250	327	219	217	317	287
Z-Holl: Katwijk	68-98	72-92	15-16		267	354	270	252	375	238	217	336	275
Z-Holl: Scheveningen	98-119		17		262			272	426		218	391	262
Voorne	6-16		18		*145*	318		214			178	320	238
Goeree	2-19				220			227			220		
Schouwen-Oost	0-10		19		217	325		210	318		209	299	
Schouwen-West	10-17		20		203	361		214			213	304	286
Walcheren-Noord	1-23		21-22		303	432		324	403		286	395	344
Walcheren-Zuid	23-36				242			292			250		
Z-Vlaanderen	0-15				170			223			215		
Gemidd (Eisma / DO) of Gemidd (H&V / DO) incl. correcties					0.79		0.93	0.79		0.90	0.76		
Gemidd (Eisma / (H&V) incl. correcties							1.06			1.12			

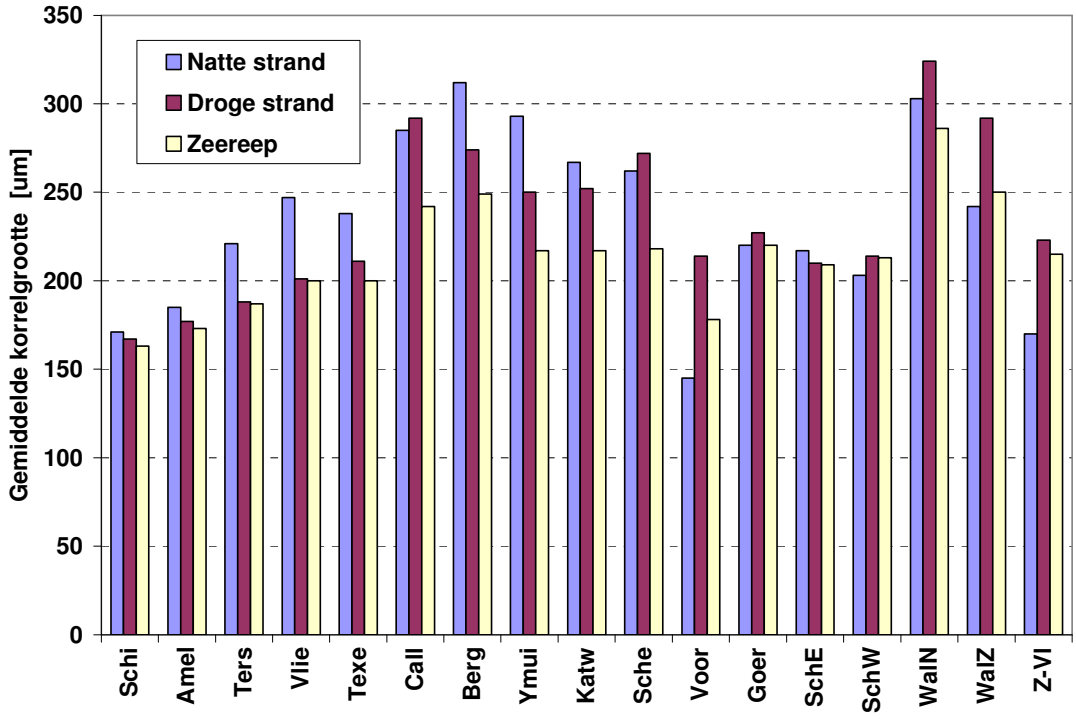


FIG. 6.1. Overzicht van de gemiddelde korrelgrootte langs de Nederlandse kust van noordoost naar zuidwest (Schiermonnikoog [Schi] t/m Zeeuws Vlaanderen [Z-Vl]), op basis van monsters genomen in 1982 (gebaseerd op gegevens in Hoozemans & van Vessem, 1989).

6.1.2 Situatie in de duinen zonder suppleties

De analyseresultaten van dit onderzoek wijken voor het Rhenodunale en Wadden zand zonder suppleties in zeer geringe mate af van die uit eerder onderzoek (Tabel 6.2): het zand is iets grover en het Rhenodunale District bevat iets minder lutum. Dit houdt verband met het feit dat dit onderzoek de zeereepzone op de korrel heeft, terwijl de oudere gegevens uit Lit.2 gemiddeld betrekking hebben op verder landinwaarts genomen duinzandmonsters, die zoals aangetoond in par. 4.4 normaliter fijner en slibrijker zijn.

6.1.3 De situatie met suppleties

Op grond van het in par.6.1.1 genoemde mag verwacht worden dat de invloed van suppleties verschillend zal uitpakken indien het vooroever- of strandsuppleties betreft. In het eerste geval zal zand meer kustparallel worden verplaatst naarmate de suppletie meer offshore ligt. In geval van een strandsuppletie mag verwacht worden dat het zand deels loodrecht op de kust wordt vervoerd en deels in de duinen terecht zal komen. Dus bij strandsuppleties wordt een veel directer effect verwacht op de aangrenzende zeereep, en bij vooroeversuppleties een meer uitgesmeerd effect op de zeereep buiten de suppletielocatie. Over het algemeen zal getracht worden om zo dicht mogelijk in de buurt van de suppletieplek zand te winnen. Oorspronkelijk probeerde men voor strandsuppleties zand op te brengen dat iets grover was dan het aanwezige strandzand. In de afgelopen jaren is meer en meer gestreefd naar dezelfde korrelgrootte, terwijl men recentelijk zelfs streeft naar iets fijner zand dat ook kan verwaaien (mond. toelichting RWS Noordzee). Uit de spaarzame gegevens die beschikbaar zijn blijkt dat er na 2000 ruwweg met dezelfde korrelgrootte wordt gesuppleerd op de stranden. In de periode 1990-2000 werd met iets grover zand gesuppleerd, daarvoor gemiddeld met iets fijner zand.
Uit Tabel 6.1 volgt evenwel, dat op alle meetlocaties in 2009-2011, op het natte strand, droge strand en in de zeereep, een grovere gemiddelde korrelgrootte gemeten is dan in beide voorgaande perioden toen zandsuppleties nog niet grootschalig werden toegepast. Daarbij rijst evenwel de vraag of de verschillen niet veroorzaakt zijn door verschil in middeling (mediaan versus rekenkundig gemiddelde), geanalyseerd korrelgroottespectrum (<2000 versus 50-1000 µm), meetmethoden (zeef- en pipetanalyse versus laseranalyse) of natuurlijke fluctuaties als gevolg van meer of minder stormen/dynamiek.
Verschil in middeling en korrelgroottespectrum (mediaan van 50-1000 µm versus rekenkundig gemiddelde van <2000 µm) kan worden gecorrigeerd door de mediaan te vermenigvuldigen met 1.1 (dit onderzoek). Verschil in meetmethoden houdt in dat de gemiddelde korrelgrootte volgens laser, bij de in Tabel 6.1 vermelde gemiddelde waarden, ongeveer met 40 µm verminderd dient te worden om vergeleken te kunnen worden met meetresultaten volgens de conventionele zeef- en pipetanalyse (Konert & vandenBerghe, 1997). Als we beide correcties toepassen op de data in Tabel 6.1, dan kunnen we het volgende concluderen (zie daarbij voetnoten van Tabel 6.1):

- de korrelgroottedata van 1961-1962 waren gemiddeld 6-12% hoger dan die van 1982. Dit verschil is gering en eenvoudig verklaarbaar in termen van geringe verschillen in hetzij materiaal en methoden, hetzij natuurlijke fluctuaties in stormfrequentie/dynamiek. De vergelijking betreft uitsluitend de vastelandsduinen tussen Den Helder en Hoek van Holland.
- de data van 1961-1962 waren gemiddeld 7-10% lager dan die van 2009-2011. Dit verschil is opnieuw gering en verklaarbaar in termen van geringe verschillen in hetzij materiaal en methoden, hetzij natuurlijke fluctuaties in stormfrequentie/dynamiek. De vergelijking betreft uitsluitend de vastelandsduinen tussen Den Helder en Hoek van Holland.
- de data van 1982 waren gemiddeld 21-23% lager dan die van 2009-2011. De vergelijking betreft nu de kust tussen Ameland en Walcheren. De verschillen zijn relatief groot voor meetlocaties Texel, Wassenaar, Zandmotor en Voorne, waar zandsuppleties frequent en ingrijpend waren.

Lokaal onderzoek door de Vries (2009) langs de kust bij Egmond, waar veelvuldig suppleties plaatsvonden, toont inderdaad aan dat de korrelgrootte sterk afhankelijk kan zijn van de tijd, i.c. het bemonsteringsseizoen (grover in winter dan in zomer). Daarnaast lijkt er na 1990, het jaar waarin het suppletiebeleid krachtig ingezet werd, een vergroving op te treden in de korrelgrootte. Onduidelijk is echter of dit inderdaad veroorzaakt wordt door grovere suppleties. De hellingshoek op het strand van Egmond bleek tussen 1960 en 1990 vrij stabiel (ca. 1:42) te zijn gebleven, en enigszins vlakker geworden na 1990 (ca 1:53). Dit zou juist een fijnere korrelgrootte moeten opleveren volgens de theorie van Brown & McLachlan (1990), maar wordt wellicht direct veroorzaakt door de grofzandiger suppleties zelf. Deze hebben immers tot doel om de kust zeewaarts te verleggen. Men kan tevens verwachten dat daarmee de hellingshoek van het natte strand vervlakt, omdat een deel van het suppletiezand wordt neergelegd tussen de HW en LW lijn. lijn. Met andere woorden, het bredere strand is geen uiting van een fijnere korrelgrootte maar van een ingreep, en zal dus na verloop van tijd weer verdwenen moeten zijn. Vooralsnog is dit een hypothese, maar het zou wel eens één van de belangrijkste morfo-ecologische effecten van suppleties kunnen vormen voor het natte en droge strand. Doordat een breder strand ook leidt tot vergroting van het eolisch transport, en door het kustdwarse transport in de strand- en duinzone, zou dit ook een sterke invloed kunnen uitoefenen op duinvorming en geochemische karakteristieken van de duinen.

6.2 Vergelijking geochemie duinzand zonder suppleties met eerder onderzoek

De in dit onderzoek waargenomen samenstelling van duinzand zonder suppletie, in zowel het Rhenodunale als Waddendistrict, kan in Tabel 6.2 vergeleken worden met eerdere waarnemingen vermeld in diverse publicaties. Tussen literatuurbron 1, 2 en 3 bestaan evenwel belangrijke verschillen: in bron 1 overwegen mineralogische observaties, in bronnen 2 en 3 chemische analyses. In bronnen 2 en 3 zijn de gehalten aan de onderscheiden silicaatmineralen berekend uit XRF-metingen, conform de in par. 2.6 gegeven methoden. Verder zijn er verschillen in focus op bepaalde duinterreinen en een bepaald korrelgroottespectrum (Lit.1 en 3 sluiten de fijnere fracties uit, 2 en dit onderzoek niet).
Met deze kanttekeningen wordt uit Tabel 6.2 het volgende geconcludeerd:

- De analyseresultaten van dit onderzoek wijken voor Rhenodunaal zand op de volgende punten systematisch af van die uit eerder onderzoek (Lit.1 en/of Lit.2): een lager gehalte aan klei, albiet, anorthiet en kaliveldspaat, een hoger gehalte aan kwarts, organische stof en TiO_2, en een iets grovere gemiddelde korrelgrootte. De verschillen kunnen deels verklaard worden door verschillen in diepte van bemonstering (gemiddeld groter in Lit.2 en daardoor minder bodemvorming) en verschillen tussen onderzochte gebieden (Lit.2 meer landinwaarts, waardoor meer fijner materiaal en mogelijk minder TiO_2).
- De analyseresultaten van dit onderzoek sluiten voor Rhenodunaal zand goed aan bij die van Lit.3 met uitzondering van Ca-silicaat (anorthiet) en Mg-silicaat. De opvallend lage waarden in Lit.3 hangen waarschijnlijk samen met de afwijkende samenstelling van de Zeeuwse eilanden ten opzichte van de kalkrijke duinen van Voorne tot Bergen (Van Haperen, 2009).
- Met alle kanttekeningen in gedachte, concluderen wij dat de analyseresultaten van dit onderzoek voor Rhenodunaal zand voldoende overeenstemmen met die uit eerder onderzoek (Lit.1-3).
- De analyseresultaten van dit onderzoek wijken voor zand van het Waddendistrict op de volgende punten systematisch af van die uit eerder onderzoek (Lit.1): een lager gehalte aan kaliveldspaat en zware mineralen, maar hoger gehalte aan plagioklaas.

TABEL 6.2. Vergelijking van de berekende samenstelling van duinzand zonder suppleties in het Rhenodunale en Waddendistrict volgens dit onderzoek, met de berekende samenstelling op basis van literatuurgegevens. Gehalten in % d.g. Gewijzigd naar Stuyfzand et al. (2010).
Lit.1 = modale samenstelling deels naar Stuyfzand (1993), gebaseerd op diverse bronnen, waaronder Retgers (1895), Van der Sleen (1912), Bijhouwer (1926), Eisma (1968), Klijn (1981) en Rozema et al. (1985).
Lit.2 = gemiddelde samenstelling op basis van data in Stuyfzand et al. (1991), Stuyfzand & Lüers (1992, 1997, 2000), Stuyfzand & van der Jagt (1997) en Stuyfzand (2003).
Lit.3 = gemiddelde samenstelling duinzand Voorne, Goeree en Schouwen op basis van data in Van Haperen (2009), alleen fractie >63um. NB: gemidd korrelgrootte = 1.15 P_{50}.
Lit.4 = gemiddelde transecten 1-5 in Denemarken, alleen fractie 63-250 µm (Saye & Pye 2006).
Hier Rhenodunaal = zandklasse R01; Hier Waddendistrict = zandklasse W00 + W01.

Minerale fase	Rhenodunaal				Waddendistrict		
	Lit.1	Lit.2	Lit.3	Hier	Lit.1	Lit.4	Hier
aantal monsters	?	3-18	35	106	?	5	132
Gem. Korrelgrootte		262	284	284		272	295
P60/P10		1.77	1.58	1.70			1.75
<2 um		1.29		0.73			0.82
Kwarts	80	81.5	87.6	85.0	91	90.5	91.4
Plagioklaas	7.5 #	7.9	5.2	5.4	1 #		3.7
albiet		6.0	5.0	4.1		3.3	2.8
anorthiet		1.9	0.2	1.3		<1.6	0.9
K-veldspaat	6.5 #	6.6	5.2	4.7	6 #	2.2	3.1
Mg-silicaat		0.81	0.10	0.89		0.08	0.55
Kalk	4.5	3.0	2.8	3.2	0.2		0.2
TiO2	0.04	0.06	0.09	0.12		0.35	0.18
Σ zware mineralen	1.4	2.6	1.1	1.5	7.0	7.0	2.7
Kleimineralen	<0.3	1.0		0.6			0.7
Fe(OH)3-huidjes	0.34				0.05		
Organische stof	0.2	0.16		0.58			0.38

#: korreltelling na etsing (Eisma, 1968)

- De analyseresultaten van dit onderzoek stemmen voor zand van het Waddendistrict ten aanzien van kalk en kwarts goed overeen met die uit eerder onderzoek.
- De analyseresultaten van dit onderzoek sluiten voor zand van het Waddendistrict ten aanzien van de silicaatmineralen beter aan bij die uit onderzoek in Denemarken (Lit.3) dan uit Lit.1. In Denemarken (zeereep) zijn de gehalten aan zware mineralen (o.a. bestaande uit Ti, Zr en Fe) echter aanzienlijk hoger.

6.3 Geochemische verschillen in suppletiezand, in ruimte en tijd

De algemene praktijk van zandsuppleties is dat gesuppleerd wordt met zand dat tot een diepte van 30-50 cm (ook 200 cm wordt genoemd; Van Duin et al., 2007) met een zogenaamde sleephopperzuiger wordt opgezogen waar de zeebodem zich bevindt tussen de NAP -20 m dieptelijn en de 12-mijlsgrens, en wel zo dicht mogelijk bij de te suppleren kust. De suppleties vinden doorgaans plaats in de kalmere periode van maart/april tot ongeveer november/december.
Bij gebrek aan enige informatie over de korrelgrootteverdeling en chemische samenstelling van gesuppleerd zand, dienen we ons te bedienen van secundaire informatie uit Noordzeebodemonderzoek waarover wel regelmatig gerapporteerd wordt, laatst door Hegeman & Laane (2008). Daarbij is voorzichtigheid geboden in de vertaalslag, omdat in dat onderzoek de focus ligt bij de fractie <63 µm, die in het beste geval slechts ca. 2% uitmaakt van het gesuppleerde zand, en de bemonstering op geringere diepte onder de

zeebodem (0-5 cm) geschiedt. Laatstgenoemde impliceert een groter aandeel aan recent gesedimenteerd materiaal.
De data in Hegeman & Laane (2008) suggereren niettemin het volgende, met enkele Pb en Zn data als voorbeeld in Fig 6.3 en 6.4:

- zandsuppleties tussen Voorne en Wijk aan Zee zijn waarschijnlijk het meest belast met zware metalen en organische microverontreinigingen (Fig.6.3); en
- de oudere zandsuppleties in de jaren 80 kenden waarschijnlijk hogere gehalten aan zware metalen zoals Pb en Zn en organische microverontreinigingen dan de recentere in b.v. 2006 (Fig.6.3-6.4).



FIG. 6.3. Ruimtelijke verdeling van de lood concentratie in oppervlaktesediment (fractie <63 µm) voor de Nederlandse kust in de periode 1981-2006 (fragment van Hegeman & Laane, 2008).
Groen: Pb < 80 ppm; Geel: Pb = 80-120 ppm; Bruin: Pb = 120-200 ppm; Rood: Pb >200 ppm.

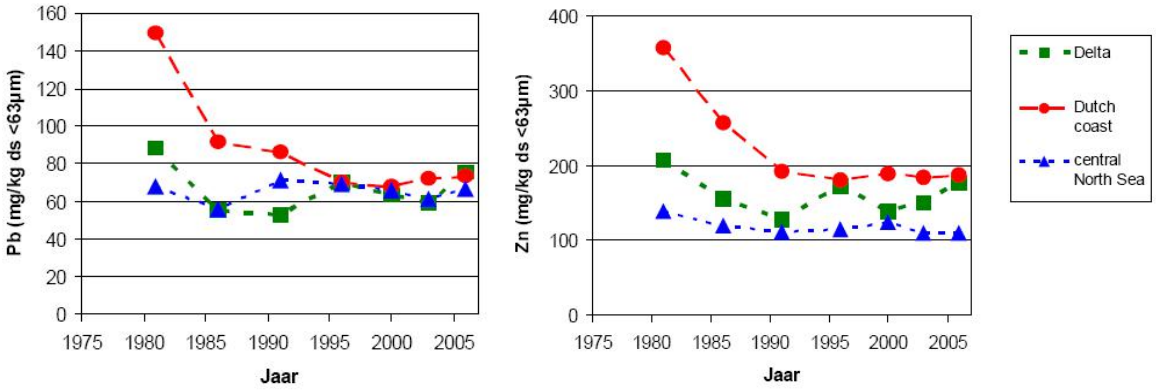


FIG. 6.4. Verloop van het mediane lood en zink gehalte van oppervlaktesediment (fractie <63 µm) in 3 deelgebieden van het Nederlands Continentale Plat in de periode 1981-2006 (ontleend aan Hegeman & Laane, 2008).

6.4 Effecten van suppleties op de geomorfologische ontwikkeling van duinen

In onderstaande volgen enkele conclusies uit het onderzoek door Arens et al. (2010).

6.4.1 Veranderingen in zandbudget, aanzanding, overstuiving en morfologie

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 (Tabel 6.3). Er zijn diverse locaties waar het 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, Bergen-Egmond, Wassenaar, Voorne, Goeree, Schouwen en Walcheren. Voor het middendeel van Schouwen geldt dat dit het enige onderzochte gebied is waar een structureel negatieve trend door suppleren minder negatief is geworden.
De combinatie van suppleties met dynamisch zeereepbeheer zorgt in een groot deel van de onderzochte studielocaties voor een extra toename van dynamiek (Tabel 6.3). Hierdoor komt een herverdeling van zand binnen de zeereep 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 zeereep ingevangen. Herstel van een lange overstuivingsgradiënt, met daarmee mogelijkheden voor verder landwaarts gelegen habitats wordt daarmee in feite geblokkeerd.
Voor vrijwel alle gebieden geldt dat het totale oppervlak aan dynamische vormen (de som van embryonale duinen en erosieve vormen) in de periode 1996-2007 aanmerkelijk is toegenomen (Tabel 6.3). De grootste oppervlakken aan embryonaal duin 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.
Gebieden die weinig of niet gesuppleerd zijn herbergen de grootste oppervlakken aan embryonale duinen. 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, anders dan dat het budget positief is. In gebieden met een negatief budget ontstaan geen embryonale duinen.

De gebieden met de grootste oppervlakken aan erosieve vormen zijn Terschelling, 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. Alleen voor Voorne en Walcheren geldt een afname van dynamische, erosieve vormen. Voor Langeveld en Wassenaar is het oppervlak aan erosieve vormen minimaal. Ook voor het voorkomen van erosieve vormen geldt dat er geen verband is met het zandbudget.

TABEL 6.3. Overzicht van zandsuppleties langs de Nederlandse kust, responstype van de zeereep en de morfologische veranderingen. Gewijzigd naar Arens et al. (2010).

Gebied		Respons type	Suppleties m3/m			Zeereepvolume m3/m/j		embryonaal duin ha/km		erosieve vormen ha/km		doorstuiving	relatie suppleties
Transect	Naam		strand	vooroever	overig	vóór 1990-1995	na 1990-1995	1996	2007	1996	2007		
1	Ameland 17-20	4	156	335	13	7.4	9.7	0	1.2	0.16	0.28	matig	´+/-
2	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
3	Vlieland 47.4-47.6	4	162	1117		-1	2	ca 0.3 #	ca 0.1	ca 0.1	ca 1.2	veel	
4	Vlieland 43.8-43.9	4	0	0	0	7	7	ca 0.5 #	ca 1	ca 0.1	ca 0.1	matig-veel	nvt
	Texel 18-24	3	1137	969		0.6	21.5	0	0.48	0.09	0.27	beperkt	++
5-6	Texel 11-15	4	642	689		-3.6	24.7	0	0.8	0.17	0.24	matig	++
7	Hors	5						ca 8	ca 15	weinig	weinig	veel	nvt
8	Groote Keeten	5	205	248		23.3	19.3	1.09	1.87	0.57	1.08	veel	?
9-10	Schoorl	4-5	432	393		0.6	5.5	0.15	0.4	0.19	0.74	matig-veel	0
11-13	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
14	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	´+/-
15-16	Wassenaar	2	364	625		2.4	13.1	0.95	1.27	0.02	0.02	geen	++
17	Solleveld 109.36-109.42	2				10	>10	ca 0.8	ca 3	ca. 0	ca. 0	weinig	++
18	Voorne 10-10.2	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	++
19	Schouwen 7.79-7.99	2-3	0	0	0	0	15	ca 1	ca 2	weinig	weinig	weinig	nvt
20	Schouwen 14.45-14.65	5	989			-7.9	1.5	0.3	0.24	0.18	0.57	matig-veel	+
21	Walcheren 7-7.2	2-3	0	0	0	11	11	ca 1	ca 0.5	weinig	weinig	matig	nvt
22	Walcheren 10.25-10.30	4	504	125	51	7.8	17.8	0.18	1.45	0.38	0.22	beperkt	+

Responstype:

1 Vrijwel geen dynamiek: geen doorstuiving, geen embryonale duinen
2 Dynamiek beperkt tot voor zeereep: embryonale duinen blokkeren zeereep dynamiek
3 Dynamiek beperkt tot zeereep: uitbreiding/ophoging zeereep significant, geen doorstuiving
4 Dynamiek tot achter zeereep
5 Dynamiek met extreme aanstuiving of sec. verstuiving; ontwikkeling kerven en stuifkuilen

= in 2000
++ = overduidelijk
+ = duidelijk
+/- = onduidelijk
0 = geen enkele

geel gemarkeerd: periode met meeste suppleties
lichtgroen gemarkeerd: raaien zonder suppleties

6.4.2 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 6.3. 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 landinwaarts 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 met dynamiek samenhangende 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.

6.5 Sedimentologische en geochemische effecten van suppleties

6.5.1 Enkele complicaties op rij

Het onderscheid tussen gesuppleerd zand en 'natuurlijk' zand, op het strand en in de zeereepduinen, is niet overal eenvoudig gebleken. In onderstaande volgen de ontmoete complicaties:

- de sedimentologische (lees korrelgrootteverdeling) en geochemische samenstelling van het suppletiezand is vrijwel onbekend. Er zijn ons door RWS ondanks herhaalde verzoeken geen gegevens verstrekt met de mededeling dat dit nauwelijks onderzocht is of slecht gedocumenteerd. Er zijn natuurlijk wel monsters waarvan met zekerheid gesteld kan worden dat ze uit 100% suppletiemateriaal bestaan, zoals de eigen zandmotormonsters;
- de heterogeniteit van de Noordzeebodem in ruimte en tijd (Fig.6.3-6.4) doet vermoeden dat elke zandsuppletie een betrekkelijk unieke samenstelling kent;
- sedimenttransport langs de kust en op het strand kunnen gesuppleerd zand elders doen belanden dan op de plek van suppletie. Zo kunnen gesuppleerde locaties toch nauwelijks enig gesuppleerd zand bevatten, en niet-gesuppleerde locaties juist veel;
- tijdens overstuiving wordt dikwijls naast suppletiezand ook 'natuurlijk' zand bijgemengd vanuit stuifkuilen;
- tijdens overstuiving wordt het zand geselecteerd op korrelgrootte en dichtheid van de korrels, waardoor gradiënten ontstaan die gelijken op de natuurlijke;
- na overstuiving wordt het zand snel onderworpen aan processen van bodemvorming, vooral bestaande uit ophoping van organische stof en ontkalking. Ontkalking is gelukkig een traag proces dat alleen wanneer verdere overstuiving en erosie niet optreden, in kalkarm zand een snelheid kent van ca. 0.09-1.1 m per eeuw, en in kalkrijk zand een snelheid van ca. 0.06-0.09 m per eeuw (Stuyfzand, 2010a). In dynamische zeereepzones is ontkalking derhalve te verwaarlozen.

6.5.2 Effecten op korrelgrootteverdeling

Uit het in Ch.4 gepresenteerde materiaal trekken we de volgende algemene conclusies ten aanzien van zandklassen met en zonder suppletie in het ***Waddendistrict***:

- gesuppleerd strandzand (W5) verschilt niet statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid) van niet-gesuppleerd strandzand (W9), maar is gemiddeld wel iets fijner en bevat iets meer lutum en silt. Kanttekening hierbij is, dat het een vergelijking betreft tussen verschillende locaties met verschillende achtergronden, hetgeen geen verdere conclusies rechtvaardigt.
- gesuppleerd strandzand (W5) verschilt niet statistisch significant van duinzand overstoven van suppleties (W3), maar bevat gemiddeld iets minder lutum en silt.
- vanaf suppleties overstoven duinzand (W3) verschilt nauwelijks van natuurlijk duinzand met recente overstuiving (W1). Dit is zeer opmerkelijk. Het verschil is zelfs statistisch niet significant.
- vanaf suppleties overstoven duinzanden (W3 en W2) zijn grover en bevatten minder lutum en silt dan de natuurlijke duinzanden zonder recente overstuiving (W00 en W01). Dit verschil is statistisch significant.
- duinzand ontstaan uit suppleties op het strand (W3) verschilt nauwelijks van dito op de vooroever (W2), maar W3 vertoont desondanks een significant lager slibgehalte.

Uit het in Ch.4 gepresenteerde materiaal trekken we de volgende algemene conclusies ten aanzien van zandklassen met en zonder suppletie in het ***Rhenodunale district***:

- gesuppleerd strandzand (R5) verschilt statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid) van niet-gesuppleerd strandzand (R9) alleen door een iets hoger lutumgehalte. De verschillen zijn verder uiterst gering. Situatie vrijwel analoog aan Waddendistrict.
- gesuppleerd strandzand (R5) en zand in duinverzwaring (R4) verschillen nauwelijks van elkaar. Het is overigens zeer de vraag of het wel zand van de duinverzwaring zelf betreft en niet eerder overstoven zand deels afkomstig van de lokale strandsuppletie.
- gesuppleerd strandzand (R5) verschilt statistisch significant van duinzand overstoven van suppleties (R3) door een lager lutum- en siltgehalte en beduidend grovere korrel. Het lagere lutum- en siltgehalte is analoog aan de situatie in het Waddendistrict.
- zand in duinverzwaring (R4) verschilt significant van duinzand overstoven van suppleties (R3) door minder silt en een grovere korrel.
- duinzand overstoven van suppleties (R3) en afkomstig van duinverzwaring (R4) verschilt significant van natuurlijk duinzand met recente overstuiving (R1) door meer lutum en silt en een grovere korrel. R3 en R4 zijn dus veel slechter gesorteerd.
- zandklassen R3 en R4 zijn grover en bevatten minder lutum en silt dan de natuurlijke duinzanden zonder recente overstuiving (R00 en R01). Dit verschil is evenwel niet statistisch significant. Situatie analoog aan Waddendistrict.

6.5.3 Effecten op geochemie

Uit het in Ch.5 gepresenteerde materiaal trekken we de volgende algemene conclusies ten aanzien van zandklassen met en zonder suppletie in het ***Waddendistrict***:

- Gesuppleerd strandzand (W5) onderscheidt zich van niet-gesuppleerd strandzand (W9) vooral door: hogere gehalten aan kalk, Na-, Ca- en Mg-silicaten, Al, Fe, Mn, P, Ti en de meeste spore-elementen, en lagere gehalten aan S en SiO_2. Daarvan zijn alleen de verschillen in gehalte aan Fe, Hf, Lu, Pb, V en Yb ook statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid), en die van P, Co en Sr bijna (87-94%).
- Duinzand overstoven van suppleties (W3, W2) onderscheidt zich eenduidig van 'natuurlijk' duinzand (W1, W01 en W00) door hogere gehalten aan kalk, Sr, As, Na-silicaat, Mg-silicaat, P, Co, Ni en Zn, en lagere gehalten aan SiO_2. Daarvan zijn alle verschillen ook statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid) m.u.v. Zn.
- De verschillen tussen overstoven duinzand van strandsuppleties (W3) en dito van vooroeversuppletie (W2) zijn alleen bij Bergen gemeten, en daar geheel verwaarloosbaar (Tabel 5.4).

Uit het in Ch.5 gepresenteerde materiaal trekken we de volgende algemene conclusies ten aanzien van zandklassen met en zonder suppletie in het ***Rhenodunale district:***

- Gesuppleerd strandzand (R5) onderscheidt zich van niet-gesuppleerd strandzand (R9) door: hogere gehalten aan kalk, Na-, K- en Mg-silicaten, Al, Fe, Mn, S, P, Ti en de meeste spore-elementen, en lagere gehalten aan Ca-silicaat en SiO_2. Daarvan zijn alleen de verschillen in gehalte aan Ca-silicaat, Fe, Mn, S, As, Be, Co, Ga, Ni, Pb, Th, Zn ook statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid).
- Duinzand overstoven van suppleties (R4, R3) onderscheidt zich van 'natuurlijk' duinzand (R1, R01 en R00) door: hogere gehalten aan Fe, P, As, Co, Ni, V en Zn; lagere gehalten aan Be; en een lagere C/N ratio. Daarvan zijn alle verschillen ook statistisch significant (met 95% betrouwbaarheid).
- Duinzanden ontstaan door duinverzwaring (R4) en strandsuppleties (R3) kunnen alleen in de omgeving van Scheveningen op zinvolle wijze vergeleken worden. Daar blijkt dat R4 significant hoger scoort qua organische stof, kalk, Sr en Ni, maar lager ten aanzien van Fe, P, Co, Hf, Pb, Sn, V, Zn en Zr.

6.5.4 Algemene tracers van suppletiezand

Uit bovenstaande valt af te leiden dat de beste algemene tracer van suppletiezand bestaat uit een combinatie van: Ca of kalk, Sr, P en Co in het Waddendistrict; en Fe, P, As, Co, Ni en Zn in het Rhenodunale district. Dit recept dient echter verder te worden toegesneden op specifieke situaties, waarbij meer of minder elementen meedoen, inversies in het geochemische bodemprofiel het bewijs leveren (b.v. kalk en Pb; Fig.6.5), en waarbij ook de korrelgrootteverdeling een (bij)rol kan vervullen als tracer.
De geochemische analyse biedt zodoende 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 genoemde tracercombinaties. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat de ondiepst bemonsterde laag zich in dit onderzoek vrijwel altijd op circa 10 cm bevond, zodat het echte landoppervlak buiten schot bleef. Alleen bij kale oppervlakken is wel het oppervlak bemonsterd. De echte toplaag is vaak lastig te bemonsteren door aanwezigheid van organische stof of dichte wortellagen. Een goed protokol dient hiervoor te worden uitgedacht.

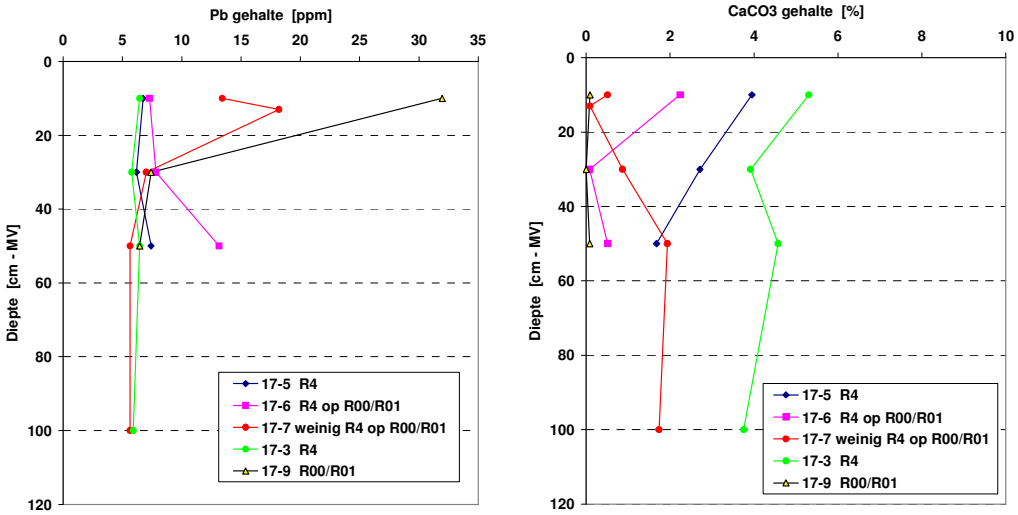


FIG. 6.5. Voorbeeld van geochemische tracering van wel/geen overstuiving: 17-3 en 17-5 volledig overstoven; 17-6 ca. 20 cm overstoven; 17-7 op 10 cm ca.20% overstoven; 17-9 geen overstuiving.

6.6 Status quo langs de 22 transecten

In onderstaande volgt een beknopte beschrijving op transectniveau. In Bijlage 4 zijn de veranderingen langs de hele Nederlandse kust weergegeven, voor gemiddelde korrelgrootte, gehalte aan lutum, Corg, kalk, Ti, P, Pb en Zn, waarbij onderscheid tussen strandzand, duinzand bestaande uit overstoven suppletiemateriaal, en natuurlijk duinzand.

Monster	Ameland		Vlieland		Texel		
#	1	2	3	4	5	6	7
1	W510	W521	W520	W910	W510	W500	W910
2	W311	W521	W520	W910	W510	W510	W910
3	W312	W523	W520	W911	W310	W310	W920
4	W311	W511	W510	W910	W000	W311	W910
5	W313	W513	W500	W900	W310	W310	W110
6	W311	W513	W311	W110	W310	W310	W110
7	W310	W512	W310	W110	W310	W300	W110
8	W310	W512	W321	W110	W310	W310	W010
9	W311	W313	W312	W110	W310	W300	W000
10	W312	W313	W311	W110	W310	W310	W010
11	W311	W313	W311	W110	W310	W310	W000
12	W312	W313	W312	W111	W310	W320	W010
13	W013	W311	W312	W011	W323	W310	W011
14	W023	W313	W311	W011	W311	W300	W010
15	W011	W312	W311	W012	W310	W300	W000
16	W013	W012	W011	W103	W321	W310	W000
17	W013	W012	W011	W003	W311	W310	W022
18	W023	W312	W311	W002	W001	W300	W010
19	W003	W312	W312	W003	W010	W311	W000
20	W011	W312	W102	W001	W001	W311	W000
21	W023	W313	W102	W003	W000	W000	W000
22	W022	W312	W002	W001	W000	W300	W000
23	W012	W312	W003	W002		W300	W000
24	W022	W001	W002	W002		W310	W000
25	W011	W003	W001	W001		W312	W001
26	W002	W003	W002	W001		W000	W000
27	W012	W003	W002	W002			W000
28		W002	W001				W000
29		W002	W001				W000
30		W002	W002				W000
31		W002	W002				W000
32		W012	W012				W000
33		W002					W000
34		W002					W000
35		W002					W000
36		W001					W000
37		W002					W000
38							
39			WADDENDISTRICT				
40							
41		W910	Strandzand zonder suppletie				
42		W520	Strandzand met suppletie				
43		W320	Overstuiving + strandsuppleties				
44		W220	Overstuiving + vooroeversuppleties				
45		W110	Overstuiving zonder suppleties				
46		W010	Erosie of zonder overstuiving				
47		W000	Kalkloos, erosie of zonder overstuiving				
48							

Raaien 1 en 2: Ameland

Beide transecten staan onder invloed van strand- en vooroeversuppleties, waarbij suppletiezand de zeereep overstoven heeft tot resp. 200 en 250 m van de HWL. Beide raaien vertonen, binnen de hele dataset, de meest fijnkorrelige en best gesorteerde zanden met de hoogste gehalten aan Ca-silicaat, Fe, Mn, Ti en de vele aan Ti gerelateerde spore-elementen.

In raai 1 is sprake van relatief jonge 'natuurlijke' afzettingen, die deels overstoven zijn. Het onderscheid tussen suppletiezand en natuurlijk zand is zeer moeilijk vanwege een hoog, vergelijkbaar kalkgehalte van laatstgenoemde (1.2%). Achter de zeereep bevinden zich een uitgestoven, geplagde (?) vallei en een oudere stuifdijk met zeer ondiepe ontkalking.

In raai 2 is het suppletiezand uitstekend herkenbaar dankzij het kalkcontrast (0.6-1 versus <0.02%). De kust is sterk erosief, zodat het natuurlijke duinzand vrij oud moet zijn en daardoor ontkalkt is.

Raai 3 en 4: Vlieland

Bij de oostelijke raai 3 hebben strand- en vooroeversuppleties plaatsgevonden, bij raai 4 niet. Niettemin hebben beide raaien met een recente overstuiving van de zeereep te maken tot resp. ca. 250 en 170 m van de HWL. Beide raaien vertonen, binnen de hele dataset, de op Ameland na meest fijnkorrelige zanden met de op Ameland na hoogste gehalten aan Ti en aan Ti gerelateerde spore-elementen.

In beide raaien is de recente overstuiving herkenbaar aan een vergelijkbaar kalkcontrast (0.3-0.8 versus 0-0.3%), terwijl andere geochemische tracers geen onderscheid bieden. Dit betekent dat kustparallel transport voor vermenging kan hebben gezorgd. Relatief hoge kalkgehalten komen voor op het strand bij raai 3 onder 2 m+NAP, zoals ook elders geconstateerd.

Raaien 5 en 6: Texel Westerduinen

Langs beide raaien in de Westerduinen op Texel is op strand en vooroever gesuppleerd zand over de gehele zeereep gestoven tot ca. 215 m van de HWL. De achterliggende zone is niet bemonsterd maar oogde als zijnde niet overstoven in recente tijden.

Het zand is, op Walcheren na, het grofste van de hele dataset, en heeft een relatief laag Ti gehalte. Het gesuppleerde zand is goed herkenbaar aan het kalkcontrast (0.2-1.7 versus 0-0.3%) en niet of nauwelijks aan een P of Co verschil.

Raai 7: Texel De Hors

Op De Hors zijn suppleties achterwege gebleven, en de overige meetpunten in deze raai bevinden zich te ver van de kust om effecten van suppleties te etaleren. De recente overstuivingen reiken hier tot ca 680 m van de HWL. De kalkgehalten op De Hors vertonen een vrij gelijkmatig beeld rond 0.4-0.6%. Landinwaarts zien we dankzij een toenemende ouderdom steeds meer en dieper de gevolgen van ontkalking.

De zanden in raai 7 onderscheiden zich binnen de hele dataset door hun hoogste lutum en siltgehalte, slechtste sortering, hoogste C/N-verhouding, laagste gehalte aan kalk en Zn, en op 1 na laagste gehalte aan Fe. Het laagste kalkgehalte hangt mede samen met het relatief grote aantal meetpunten ver van de HWL met hoge ouderdom en bijgevolg vergaande ontkalking.

Monster	Gr. Keete	Schoorl		Bergen			Heemsk
#	8	9	10	11	12	13	14
1	W920	W510	W510	W520	W320	W520	R520
2	W910	W320	W320	W520	W320	W520	R520
3	W111	W321	W320	W220	W320	W520	R330
4	W110	W310	W520	W520	W320	W320	R020
5	W110	W320	W320	W220	W320	W320	R020
6	W110	W320	W321	W221	W320	W310	R320
7	W110	W322	W320	W221	W320	W320	R320
8	W110	W320	W320	W220	W320	W320	R020
9	W110	W320	W310	W220	W320	W320	R030
10	W110	W321	W320	W220	W322	W321	R030
11	W010	W310	W310	W220	W322	W311	R020
12	W010	W320	W322	W220	W012	W320	R020
13	W110	W320	W320	W221	W001	W013	R020
14	W110	W320	W321	W221	W000	W012	R021
15	W011	W321	W320	W220	W000	W011	R030
16	W010	W320	W310	W220		W011	R320
17	W110	W323	W320	W221		W320	R320
18	W110	W310	W310	W012		W320	R320
19	W110	W312	W310	W000		W321	R021
20	W110	W322	W310	W010		W321	R020
21	W110	W001	W320	W010		W010	R320
22	W010	W010	W320	W020		W000	R030
23	W011	W312	W320	W221		W000	R020
24	W010	W001	W320	W000		W000	R021
25	W010	W001	W320	W012		W000	R030
26	W010	W002	W321	W011		W000	R011
27	W010	W001	W320	W000		W000	R020
28	W002	W001	W320	W000		W010	R020
29	W000	W002	W012	W000		W010	
30	W000	W002	W000	W010		W011	
31	W000	W002	W000	W010		W010	
32	W000	W002	W001				
33		W002	W001				
34		W002	W001				
35		W001	W000				
36		W002	W002				
37		W002	W000				
38		W002	W000				
39		W002	W000				
40		W002	W000				
41		W001	W001				
42		W002	W001				
43		W003	W001				
44		W002	W001				
45		W002	W002				
46		W000	W001				
47		W000	W001				
48			W002				
49			W000				
50			W001				
51			W001				

W910	Strandzand zonder suppletie
W520	Strandzand met suppletie
W320	Overstuiving + strandsuppleties
W220	Overstuiving + vooroeversuppleties
W110	Overstuiving zonder suppleties
W010	Kalkhoudend, Erosie of zonder overstuiving
W000	Kalkloos, erosie of zonder overstuiving

Raai 8: Groote Keeten

Bij Groote Keeten speelt overstuiving tot aan de achterkant van de zeereep een rol (200 m van HWL), maar er was ten tijde van de bemonstering nog niet ter plaatse gesuppleerd. Ook op een tweede rug achter de zeereep kan een licht verhoogd kalkgehalte aan het oppervlak nog op recente overstuiving wijzen. Aan de landwaartse kant daarvan lijkt de rol van overstuiving uitgespeeld.

Het recente overstuivingszand kenmerkt zich door een kalkcontrast van 0.2-1 versus 0-0.3%, en in mindere mate door een licht verhoogd gehalte aan P en Co. Dit zou op weinig bijmenging van kustparallel getransporteerd suppletiezand uit het zuiden kunnen wijzen. Onder de HWL komt een hoger kalkgehalte voor (2%), zoals wel vaker op het natte strand.

De zanden in raai 8 onderscheiden zich binnen de hele dataset door hun hoogste SiO_2 gehalte, laagste gehalte aan organische stof, Ca-silicaat, Fe, P, Be, Ce, Co, Cr, Cu, Pb, Sr, U en W, en op 1 na laagste gehalte aan Mg-silicaat. Het Ti-gehalte is zeer laag (437 ppm) en zo ook dat van vele geassocieerde spore-elementen. Hieruit volgt dat het zand in raai 8 het armste en schoonste zand langs de Nederlandse kust genoemd kan worden.

Raaien 9 en 10: Schoorl

Bij Schoorl is diverse malen gesuppleerd, zowel op het strand als op de vooroever. Het suppletiezand is tot ongeveer 150 m van de HWL over de zeereep heen gestoven, blijkens het verhoogde kalkgehalte. Het kalkcontrast is groter dan noordwaarts, namelijk 0.6-2.4 versus 0-0.5, en ook het P-contrast is aanzienlijk groter en als zodanig bruikbaar als tracer. De achterliggende, hogere duinen zijn vrijwel geheel ontkalkt en P-arm.

De zanden in raai 9 en 10 onderscheiden zich binnen de hele dataset door hun zeer hoge SiO_2 gehalte, laagste gehalte aan K-silicaat, en lage gehalte aan organische stof, Ca-silicaat, Fe en P. Het Ti gehalte is verhoogd (600-1200 ppm).

Raaien 11-13: Bergen-aan Zee

Bij Bergen aan Zee ligt de overgangszone tussen het kalkarme Waddendisrict en het kalkrijke Rhenodunale district. Strand- en vooroeversuppleties hebben hier plaatsgevonden bij raaien 11-13. Het gesuppleerde zand is over de zeereep heen gestoven tot 170-250 m van de HWL Dit zand is herkenbaar aan het hogere kalkgehalte (0.8-3 versus 0-1.2%) en ook, nog duidelijker dan bij Schoorl, aan hogere P, As, Co en Ni gehalten. Het erbij komen van As en Ni markeert ook de overgang naar ander suppletiezand dat 'vuiler' is dan in het Waddendistrict.

De zanden bij Bergen vertonen geen vermeldenswaardige extremen, wat typisch is voor een overgangszone.

Raai 14: Heemskerk

Bij dit transect was op het moment van bemonstering in beperkte mate gesuppleerd op het strand (in 2005). We vinden er een recente overstuiving gecombineerd met erosieplekken tot ca 60 m van de HWL. Suppletiezand is hier niet of nauwelijks te onderscheiden van het natuurlijke duinzand achter de zeereep. Het is zelfs de vraag of het er nog ligt.

Het zand wordt in doorsnee gekenmerkt door een goede sortering, het op Voorne na hoogste gehalte aan kalk en Ba, het hoogste gehalte aan Na-, K- en Ca-silicaten en Sr, een zeer hoog gehalte aan Al, As, Ni, Rb en Zn, en een laag Ti-gehalte (452 ppm) met geassocieerde spore-elementen.

De zeer hoge gehalten aan As, Ni en Zn kunnen te maken hebben met de industriële emissies in het IJmond-gebied.

Monster	Heemsk	Wassenaar		Zandmot	Voorne
#	14	15	16	17	18
1	R520	R520	R520	R420	R530
2	R520	R530	R520	R431	R530
3	R330	R521	R521	R421	R431
4	R020	R531	R320	R430	R430
5	R020	R321	R321	R420	R430
6	R320	R323	R322	R431	R431
7	R320	R320	R321	R430	R431
8	R020	R321	R331	R431	R420
9	R030	R320	R320	R420	R431
10	R030	R321	R321	R420	R431
11	R020	R321	R321	R421	R421
12	R020	R321	R321	R421	R431
13	R020	R321	R321	R420	R020
14	R021	R321	R320	R420	R420
15	R030	R320	R320	R001	R020
16	R320	R321	R320	R012	R031
17	R320	R321	R321	R012	R030
18	R320	R321	R320	R002	R010
19	R021	R320	R320	R012	R030
20	R020	R321	R020	R022	R030
21	R320	R320	R020	R022	R011
22	R030	R321	R020	R012	R030
23	R020	R322	R321	R002	R020
24	R021	R021	R021	R021	R020
25	R030	R320	R320	R002	R030
26	R011	R020	R022	R001	R031
27	R020	R031	R021	R002	R022
28	R020	R020	R321		R032
29			R022		R032
30			R021		
31			R021		
32			R021		
33			R321		
34			R020		
35			R320		
36			R030		
37			R320		
38			R011		
39			R021		
40			R022		
41			R021		
42			R021		
43			R021		
44			R020		
45			R030		

RHENODUNAAL DISTRICT

R920	Strandzand zonder suppletie
R520	Strandzand met suppletie
R420	Overstuiving + duinverzwaring
R320	Overstuiving + strandsuppletie
R120	Overstuiving zonder suppleties
R020	Kalkh., Erosie of zonder overstuiving
R001	Kalkloos, erosie of zonder overstuiving

Raaien 15 en 16: Wassenaar

Bij Wassenaar is ter hoogte van beide transecten gesuppleerd op zowel strand als vooroever. Suppletiezand is over de zeereep heen gestoven tot 150-275 m van de HWL.

Het overstuivende zand is iets kalkarmer dan het kalkrijke, onderliggende zand (1.5-4.9 versus 2-5.6%). Het is derhalve 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 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.

Het suppletiezand is niettemin goed herkenbaar aan verhoogde gehalten aan Fe, P, As, Co, Ni en Zn.

Het zand vertoont in doorsnee t.o.v. de hele dataset de slechtste sortering, de hoogste gehalten aan P, As, Co, Tl, V en Zn, zeer hoge gehalten aan Fe, Cs, Cu, Pb, W en Mg-silicaat, en een licht verhoogd Ti-gehalte (750 ppm). Het behoort daardoor samen met Monster en Voorne tot de 'vuilste' hier onderzochte kustzanden van Nederland. Dit is niet verwonderlijk gezien de positie enerzijds langs het meest vervuilde deel van de Noordzeebodem (Fig.6.3) en anderzijds in de nabije omgeving van emissiecentra als Rijnmond en Den Haag.

Raai 17: Solleveld (Zandmotor)

Ter hoogte van deze raai zijn veelvuldig strandsuppleties toegepast, in 2010 volgde een omvangrijke duinverzwaring en daarna werd een kunstmatig schiereiland, de zogenaamde zandmotor, opgespoten.

De bemonstering geschiedde hier vóór het voltooien van de zandmotor, maar het grootste deel lag er al, zodat de strandmonsters bestaan uit zandmotor-zand. Het transect loopt over het strand via de duinverzwaring naar het achterliggende, deels ontkalkte oude duin.

De duinverzwaring, suppleties en overstuivingen reiken tot 550 m van de HWL, waarbij mogelijk nog sporen van overstuiving te vinden zijn tot 800 m (herkenbaar aan kalkinversie). Het suppletiemateriaal (al dan niet overstoven, al dan niet bestaande uit duinverzwaring) is herkenbaar aan een grovere korrel, verhoogd gehalte aan kalk (1.7-9 versus 0-2%), Sr en Ni, lager P en Ti gehalte, kalk- en ***lood-inversies***. Laatstgenoemde houdt in dat Pb-arm materiaal boven op een aanzienlijk Pb-rijkere bodem rust. In een gefixeerd landschap vertoont Pb normaliter bovenin de hoogste gehalten, t.g.v. langdurige atmosferische depositie en sterke binding aan organische stof in de tophorizont. Naast Pb zien we vaak atmos-ferische aanrijking met Cd, Cu, Hg en Zn.

Het zand bij raai 17 vertoont gemiddeld het hoogste gehalte aan Ni, het op Voorne na hoogste gehalte aan organische stof (met daarmee geassocieerde zeer hoge gehalten aan N, P, Cd, Pb en Zn), en zeer hoge gehalten aan Na-, K- en Mg-silicaat, Al, Ba, Cs, Ga, Ti (1048 ppm) en vele met Ti geassocieerde spore-elementen. Het zand behoort daardoor samen met Wassenaar en Voorne tot de 'vuilste' hier onderzochte kustzanden van Nederland (zie ad Wassenaar).

Raai 18: Voorne

Bij raai 18 zijn diverse strandsuppleties en duinverzwaringen geweest. De zeereep is overstoven met suppletiezand tot een afstand van ca. 390 m van de HWL. Dit zand en eventueel zand van duinverzwaring zijn niet direct herkenbaar aan het kalkgehalte (3.2-7.4 versus 0.4-7.5%), maar wel aan een duidelijk grovere korrel, een opvallend lager Pb-gehalte (6-7.7 versus 7-35 ppm), hoger gehalte aan P-other, en aan kalk- en lood-

inversies (zie ad Solleveld). De elementen Fe, P, As en Ni zijn hier niet onderscheidend.

Monster	Zandmot	Voorne	Schouwen		Walcheren	
#	17	18	19	20	21	22
1	R420	R530	R930	R520	R910	R530
2	R431	R530	R920	R520	R930	R520
3	R421	R431	R920	R521	R930	R530
4	R430	R430	R920	R520	R112	R530
5	R420	R430	R920	R530	R120	R530
6	R431	R431	R920	R520	R110	R520
7	R430	R431	R920	R020	R111	R430
8	R431	R420	R120	R022	R110	R430
9	R420	R431	R110	R020	R120	R420
10	R420	R431	R120	R030	R111	R410
11	R421	R421	R020	R030	R121	R410
12	R421	R431	R120	R020	R012	R420
13	R420	R020	R120	R021	R111	R410
14	R420	R420	R110	R020	R121	R410
15	R001	R020	R120	R021	R112	R420
16	R012	R031	R120	R021	R002	R410
17	R012	R030	R021	R020	R002	R410
18	R002	R010	R021	R020	R001	R410
19	R012	R030	R020	R021	R012	R420
20	R022	R030	R020	R020	R002	R410
21	R022	R011	R021	R021	R002	R001
22	R012	R030	R020	R021	R001	R001
23	R002	R020	R021	R020	R001	R001
24	R021	R020	R020	R020		R001
25	R002	R030		R021		R001
26	R001	R031		R020		R001
27	R002	R022		R020		R001
28		R032		R020		R001
29		R032		R020		R001
30				R020		
31				R020		
32				R010		
33				R021		
34				R031		
35				R033		

RHENODUNAAL DISTRICT

R920	Strandzand zonder suppletie
R520	Strandzand met suppletie
R420	Overstuiving + duinverzwaring
R320	Overstuiving + strandsuppletie
R120	Overstuiving zonder suppleties
R020	Erosie of zonder overstuiving
R001	Kalkloos, erosie of zonder overstuiving

Raai 18: Voorne

Bij raai 18 zijn diverse strandsuppleties en duinverzwaringen geweest. De zeereep is overstoven met suppletiezand tot een afstand van ca. 390 m van de HWL. Dit zand en eventueel zand van duinverzwaring zijn niet direct herkenbaar aan het kalkgehalte (3.2-7.4 versus 0.4-7.5%), maar wel aan een duidelijk grovere korrel, een opvallend lager Pb-gehalte (6-7.7 versus 7-35 ppm), hoger gehalte aan P-other, en aan kalk- en lood-inversies (zie ad Solleveld). De elementen Fe, P, As en Ni zijn hier niet onderscheidend.

Het zand bij raai 18 vertoont ten opzichte van de andere meetraaien, gemiddeld het op Ameland na fijnste zand, het hoogste gehalte aan kalk, organische stof, N, Mg-silicaat, Al, Ba, Cd, Cs, Cu, Ga, Pb, Rb en Zn, op één na hoogste gehalten aan P, Co, Ni, Sr, Na- en K-silicaat, en een licht verhoogd gehalte aan Ti (721 ppm) en geassocieerde spore-elementen. Het zand behoort daardoor samen met Wassenaar en Monster tot de 'vuilste' hier onderzochte kustzanden van Nederland (zie ad Wassenaar).

Raaien 19 en 20: Schouwen

Bij de oostelijke raai 19 over de Verklikkerduinen hebben geen suppleties plaatsgevonden, bij raai 20 over de Meeuwenduinen zijn diverse strandsuppleties geweest. Desondanks is bij raai 19 wel sprake van aangroei en overstuiving (tot 650 m van de HWL) en bij raai 20 slechts gedeeltelijk t.g.v. netto erosie waarbij de zeereep zich netto 5-10 m landinwaarts heeft verplaatst.

Het overstoven materiaal bij raai 19 is niet herkenbaar op geochemische eigenschappen. Alleen de iets grovere korrel en natuurlijk de Jarkus-metingen wijzen op aangroei/overstuiving.

Het zand van raai 19 verschilt van dat van raai 20 vooral door een hoger SiO_2 gehalte en lagere gehalten aan de kalk, Ti en de meeste spore-elementen. Raai 19 valt zelfs op in de hele dataset door het laagste Ti gehalte (350 ppm) en de op Vlieland na hoogse Be concentratie.

Raaien 21 en 22: Walcheren

Bij de oostelijke raai 21 hebben geen suppleties plaatsgevonden, bij raai 22 is in 1984 een duinverzwaring geweest gevolgd door vele strandsuppleties. We zien niettemin bij raai 21 een lichte overstuiving van de zeereep tot ca. 150 m van de HWL, met materiaal dat herkenbaar is aan een hoger kalkgehalte (0.3-8.4 versus 0-0.3%), en gebrek aan een Pb-maximum bovenin het profiel.

Bij raai 22 is duidelijk sprake van overstuiving met suppletiezand tot 190m van de HWL, met zand dat herkenbaar is aan een grovere korrel, hoger kalkgehalte (0.4-31.2 versus 0-0.1%) en hogere Sr, P en As concentraties.

De zanden in beide raaien vallen t.o.v. de hele dataset op door hun grofste korrel, laagste klei- en silt-gehalte, goede sortering, en laagste gehalten aan Al, Na- en Mg-silicaat, en op Schoorl na laagste K-silicaat concentratie.

Het zand van raai 22 valt verder op door het hoogste Au en laagste Ba gehalte.

6.7 Potentiële ecologische effecten

De afwijkende korrelgrootteverdeling en afwijkende geochemische samenstelling van suppletiezand kunnen de volgende ecologische effecten sorteren:

1. Eutrofiëring bij mobilisatie van fosfor, dat in gesuppleerd zand vaak verhoogde gehalten vertoont. Mogelijk ook eutrofiëring dankzij snellere oxidatie van mariene organische stof met lagere C/N-verhouding.
2. Verhoogde opname door biota van zware metalen zoals As, Co, Cr, Ni, Pb, Sn, Th, U, V, W en Zn.
3. Verdroging door verminderd vochtbindend vermogen c.q. verhoogd doorlaatvermogen van suppletiezand dat in diverse gevallen iets grover is en minder lutum bevat.

Inschatting van potentiële effecten 1 en 2 vergt het uitvoeren van uitloogtests van gesuppleerd en niet-gesuppleerd zand met enerzijds zuur oxisch regenwater en anderzijds kalkrijk anoxisch grondwater, om te zien of gesuppleerd zand in genoemde milieus meer of minder nutriënten en zware metalen afgeeft.
Het lopende onderzoek naar de ecologische effecten van zandsuppleties (De Vries et al., 2012) heeft bovengenoemde, mogelijke effecten niet kunnen aantonen. Maar daarbij zij de kantekening geplaatst, dat het ecologische onderzoek zich niet specifiek op deze aspecten heeft gericht.

6.8 Opties voor verbetering zandsuppleties ten behoeve van de natuur

De indruk bestaat dat er op zorgvuldige wijze zand gesuppleerd wordt, waarbij reeds gestreefd wordt naar aansluiting van de zandsamenstelling bij het van nature ter plaatse aanwezige zand. In het Waddendistrict is dit waarschijnlijk nog voor verbetering vatbaar.
Toch zijn er wellicht mogelijkheden om de suppleties verder te optimaliseren om de natuur beter te bedienen. Die mogelijkheden vergen evenwel onderzoek om onderstaande vragen te beantwoorden:

- Is een betere matching mogelijk van de korrelgrootteverdeling (met name in het Waddendistrict) en geochemische samenstelling van suppletiezand met oorspronkelijk strand- en duinzand? Benodigd zijn: kennis van de zandkwaliteit in de zoekgebieden voor zandwinning, en kennis van de aanvaardbare afwijking vanuit ecologisch gezichtspunt.
- In welke gevallen kan zandsuppletie juist positieve geochemische en daardoor ecologische effecten sorteren?
- Verdient vooroeversuppletie nu echt geochemisch de voorkeur boven directe strandsuppletie? In dit onderzoek bleek het op de lokatie Bergen weinig uit te maken, maar dat is slechts één casus. Verwacht werd namelijk dat het wel verschil uitmaakt.
- Wat verdient de voorkeur: een zeer groot suppletievolume in één keer of een kleiner volume met hogere frequentie?
- In hoeverre betekent het streven naar voldoende zand in het basiskustlijnprofiel middels suppleties dat het strand een lagere hellingshoek krijgt dan van nature verwacht mag worden?
- In hoeverre beïnvloedt voorgaande punt het eolisch zandtransport naar de zeereep?
- Welke invloed heeft een lagere hellingshoek op de ecologie van het strand en aangrenzende duinen?
- Is het niet beter voor de natuur om de suppleties alleen te doen plaatsvinden na de zomer, juist voor de start van het stormseizoen? Dit is een complexe vraag omdat bepaalde diersoorten tegengestelde belangen hebben.
- Verdient het op diverse locaties de voorkeur om zandsuppleties te laten voorafgaan door het kerven van de zeereep ?

Verder is het dringend gewenst dat RWS data verzamelt van de sedimentologische en geochemische samenstelling van het suppletiezand van de diverse winlocaties in de

Noordzee. Dit houdt in enerzijds het ordenen en openbaar maken van gegevens van naar verluid met enige regelmaat genomen monsters op winlocaties, en anderzijds het analyseren van deze monsters op een consistent en veel uitvoeriger pakket dan thans (mogelijk) het geval.
Dergelijke gegevens zijn onontbeerlijk bij het evalueren van de mogelijke effecten van het gebruikte sediment bij suppleties.

6.9 Kansen voor beheerders

De beste kansen voor natuurbeheerders doen zich natuurlijk voor, in relatie tot zandsuppleties, waar suppleties gekoppeld kunnen worden aan maatregelen die de landinwaartse doorstuiving bevorderen van vers, kwalitatief schoon zand. Dergelijke maatregelen kunnen bestaan uit het kerven van de zeereep, stimuleren van stuifkuilen, afzien van helmbeplanting e.d.
De keuze van geschikte locaties voor dergelijke maatregelen zal vooral afhangen van Natura2000 doelstellingen, andere belangen (zoals kustverdediging), de beschikbare ruimte en de beslaglegging door andere functies. Genoemde maatregelen kunnen op veel plaatsen toegepast worden langs de hele kust. Verwezen wordt naar De Vries et al. (2012) voor nadere keuzes.

7 Literatuur

Arens, S.M., P.J. Stuyfzand, C. Brière, en A.P. Oost 2008. OBN-onderzoek Vooronderzoek suppleties: effecten op dynamiek en geochemie; projectplan. Rapport KWR 08.056, 29p.

Arens, S.M., S.P. van Puijvelde & C. Brière, 2010. Effecten van suppleties op duinontwikkeling; geomorfologie. Rapportage fase 2. Bosschap RAP2010.03 in opdracht van Rijkswaterstaat en Directie Kennis, LNV. OBN-rapport 142.

Ballarini, M., Wallinga, J., Murray, A.S., van Heteren, S., Oost, A.P., Bos, A.J.J., van Eijk, C.W.E., 2003. Optical dating of young coastal dunes on a decadal time scale. Quaternary Science Reviews 22, 1011–1017.

Breeuwsma, A. 1987. De mineralogische samenstelling van de Nederlandse zand- en kleigronden. Ch.7 in Bodemkunde van Nederland, deel 1 Algemene methoden, W.P. Locher en H. de Bakker (eds), Stichting Bodemkarteing, Min. Landbouw en Visserij, Malmberg Den Bosch, 95-99.

Breeuwsma, A., J.H.M. Wösten, J.J. Vleeshouwer, A.M. van Slobbe and J. Bouma 1986. Derivation of land qualities to assess environmental problems from soil surveys. Soil Sci. Soc. Am. J. 50, 186-190.

Brown, A.C. & McLachlan, A. 1990. Ecology of Sandy Shores. 1990.

Bijhouwer, J.T.P 1926. Geobotanische Studie van de Berger Duinen. Ph.D. Thesis, 202 p.

De Vries, N. et al. 2012. Rapportage Ecolgische effecten zandsuppleties. In voorbereiding, uitgave Bosschap.

De Vries, R. 2009. Korrelgrootte karakteristiek van het strand; effecten van suppleties op het sediment en profiel van het strand. Afstudeerscriptie Van Hall Larenstein, 32p.

Doing, M. 1966. Beschrijving van de vegetatie der duinen tussen IJmuiden en Camperduin. Meded. LH Wageningen. 66-13, 63p.

Eisma, D. 1968. Composition, origin and distribution of Dutch coastal sands between Hoek van Holland and the island of Vlieland. PhD Thesis Univ. Groningen, tevens in Neth. J. Sea Research 4, 123-267.

Eisma, D., H.A. Das, D. Hoede, J.G. van Raaphorst & J. Zonderhuis 1966. Iron and trace elements in Dutch coastal sands. Neth. Instit. for Sea Research 3, 68-94.

Grootjans, A.P., E.J. Lammerts & F. van Beusekom 1995. Kalkrijke duinvalleien op de Waddeneilanden; ecologie en regeneratiemogelijkheden. Natuurhistorische Bibliotheek 62, KNNV Uitgeverij, Utrecht, 176p.

Hegeman, W.J.M. & R.W.P.M. Laane 2008. Concentraties, Trends en Normtoetsing van chemische stoffen in het oppervlakte sediment van het Nederlandse Continentale Plat (1981-2006). Deltares-Rapport, 114p. http://www.waterexpertise.nl/sediment/NoordzeeAtlasHegemanWaterExpertise.pdf

Hoozemans, F.M.J. & P, van Vessem, 1989. Kustverdediging na 1990. Technisch rapport 2. Toestand kust 1990. Kusttypering en morfometrische kenmerken.

Kooiman, A., A. Grootjans, M. van Til & E. van der Spek 2004. Aantasting in droge en natte duinen: dezelfde oorzaken, verschillende gevolgen? In: Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit; 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het overlevingsplan bos en natuur. Rapport EC-LNV 2004/305, Expertisecentrum LNV, Ede, 171-187.

Klijn, J.A. 1981. Coastal dunes of the Netherlands : Geomorphology and soils. Ph. D. Thesis LU Wageningen, Pudoc, 188 p.

Konert, M. & J. Vandenberghe 1997. Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction. Sedimentology 44, 523-535.

Krumbein, W.C. & L.L. Sloss 1963. Stratigraphy and Sedimentation. 2nd edition. Freeman & Company, San Francisco, 660p.

Locher, W.P. en de Bakker, H. 1987. Bodemkunde van Nederland, deel 1: Algemene Bodemkunde. Uitgave Stichting voor Bodemkartering, Malmberg Den Bosch, 349p.

Perdue E.M., and Koprivnjak J.F. 2007. Using the C/N ratio to estimate terrigenous inputs of organic matter to aquatic environments. Estuarine, Coastal and Shelf Science 73, 65-72.
Retgers, J.W. 1895. Ueber die mineralogische und chemische Zusammensetzung der Dünensande Hollands und über die Wichtigkeit von Fluss- und Meeressanduntersuchungen im Algemeinen. Neues Jb. Miner. Geol. Paläont (1), 16-74.
Rozema, J., P. Laan, R. Broekman, W.H.O. Ernst & C.A.J. Appelo 1985. On the lime transition and decalcification in the coastal dunes of the province of north Holland and the island of Schiermonnikoog". Acta Bot. Neerl. 34, 393-411.
Saye, S.E. and Pye K. 2006. Variations in chemical composition and particle size of dune sediments along the west coast of Jutland, Denmark. Sedim. Geol. 183, 217-242.
Scheffer, F. and P. Schachtschabel 2002. Lehrbuch der Bodenkunde. 15th Aufl. Elsevier, Amsterdam, 607 p.
Slings, Q.L. 1997 Landschapsecologische effecten van strandsuppleties in het aangrenzende duingebied. Interne notitie NV PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland.
Stuyfzand, P.J. 1985. Hydrochemie en hydrologie van het duingebied tussen Egmond en Wijk aan Zee; kaartblad 19C. KIWA- rapport SWE-85.012 ,205 p.
Stuyfzand, P.J. 1987. Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tussen Zandvoort en Wijk aan Zee (kaartbladen 24F en 25A). KIWA SWE-86.016, 203 p.
Stuyfzand, P.J. 1988. Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tussen Noordwijk en Zandvoort aan Zee (kaartbladen 24H en 25C). KIWA-rapport SWE 87.007, 343 p.
Stuyfzand, P.J. 1989. Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tussen Egmond aan Zee en Petten (kaartbladen 19A,B en 14C,D). KIWA-rapport SWE 87.001, 239p.
Stuyfzand, P.J. 1993. Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Ph.D Thesis Vrije Univ. Amsterdam, published by KIWA, ISBN 90-74741-01-0, 366 p.
Stuyfzand, P.J. 1998. Decalcification and acidification of coastal dune sands in the Netherlands. Water-Rock Interaction, Proc. 9th Intern. Symp. on WRI, Taupo New Zealand, G.B. Arehart & J.R. Hulston (eds), Balkema, 79-82.
Stuyfzand, P.J. 2003. Duurzaamheid van duininfiltratie in geochemisch perspectief. Kiwa-rapport KWR 03-096, 167p.
Stuyfzand, P.J. 2006. GEOCHEMCAL 5.4, a geochemical calculator and database, set in Excel spreadsheet. KWR Watercycle Research Institute.
Stuyfzand, P.J. 2008. Hydrogeologische en geo(hydro)chemische aspecten van duinboog- en washoverherstel. Sectie 6.2 en Bijlage 3 in De Leeuw & Grootjans (eds), 'Ecologische effecten van duinboog- en washoverherstel', Uitgave Rijksuniv Groningen, p.71-75, 128-130.
Stuyfzand, P.J. 2010a. Modellering kwaliteit ondiep (duin)grondwater en ontkalking, inclusief effecten van klimaatverandering en kustuitbreiding: DUVELCHEM. KWR-rapport BTO 2010.031(s), 86p.
Stuyfzand, P.J. 2010b. Multitracing of artificially recharged Rhine River water in the coastal dune aquifer system of the Western Netherlands. Proc. ISMAR-7, Abu Dhabi, 9-13 Oct 2010, on line via http://www.ismar7.org/proceedings/index.php.
Stuyfzand, P.J., S.M. Arens en A.P. Oost 2010. Geochemische effecten van zandsuppleties langs Hollands kust. KWR-rapport KWR 2010.048, 78p. Tevens uitgegeven door Bosschap als Rapport 2010/OBN141-DK, 83p.
Stuyfzand, P.J. & W. Koerselman 1995. Natuurherstel in infiltratiegebieden; naar een strategie voor geëutrofiëerde duinen. Landschap 12, 13-28.
Stuyfzand, P.J., M. Kortleve, T.N. Olsthoorn & H. Rolf 2005. Hoe duurzaam is duininfiltratie, geochemisch gesproken? H2O 2005-17, 35-38.
Stuyfzand, P.J. & F. Lüers 1992. Bodemverzuring en herstel van kalkrijke kwel in de Luchterduinen ten westen van Hillegom. KIWA-rapport SWE 92.027, 42p.
Stuyfzand, P.J. & F. Lüers 1995. Ophoping en uitspoeling van stoffen in de Boerendel (infiltratiegebied Katwijk): evaluatie na 6 jaar. Kiwa-rapport SWE-95.002, 114p.

Stuyfzand, P.J. & F. Lüers 1997. Databoek voor milieugevaarlijke stoffen in 4 natuurterreinen met kunstmatige infiltratie. Kiwa-rapport SWI 97.187, 143p.
Stuyfzand, P.J. & F. Lüers 2000. Balans van milieugevaarlijke stoffen in natuurterreinen met en zonder kunstmatige infiltratie. Kiwa-Meded. 126, 241p.
Stuyfzand, P.J., F. Lüers & E. Nijssen 1991. Ophoping en uitspoeling van nutriënten door kunstmatige infiltratie in het Boerendelgebied; een eerste verkenning. KIWA-rapport SWE-91.032, 80p.
Stuyfzand, P.J. & H. van der Jagt 1997. Chemische samenstelling van 34 grondmonsters uit de Duinwaterwinplaats van Gemeentewaterleidingen. Kiwa-rapport KOA 97.226.
Stuyfzand, P.J. & J.A. Meima (eds) 2000. Handleiding voor geochemisch onderzoek, specifiek voor watervoerende pakketten. Kiwa-rapport (i.s.m. NITG-TNO) KOA 00.021, 83p.
Van den Burg, A.B. (ed) 2009. Preadvies duin- en kustlandschap.Rapport DK 2009/dk113-O, Ministerie LNV, Dir. Kennis, 171p.
Van der Sleen, W.G.N. 1912. Bijdrage tot de kennis der chemische samenstelling van het duinwater in verband met de geomineralogische gesteldheid van den bodem. Ph.D.Thesis Univ. Amsterdam, Uitg. De Erven Loosjes Haarlem, 157p.
Van Duin, C.F., W. Gotjé, C.J. Jaspers & M. Kreft 2007. MER Winning suppletiezand Noordzee 2008 t/m 2012. Grontmij-rapport 13/99080995/CD, 242p.
Van Haperen, A.M.M. 2009. Een wereld van verschil; landschap en plantengroei van de duinen op de Zeeuwse en Zuid-Hollandse Eilanden. PhD. Thesis WUR, KNNV Uitgeverij Zeist, Netherlands, 276p.
Van Heteren, S., Oost, A.P., Van der Spek, A.J.F. and Elias E.P.L. 2006. Island-terminus evolution related to changing ebb-tidal-delta configuration: Texel, The Netherlands. Marine Geology 235, 19-33.
Wedepohl, K.H. (ed) 1978. Handbook of geochemistry. Springer Verlag Berlin, 5 Volumes.
White, W.M. 1995-2009. Geochemistry: a on-line textbook. http://www.imwa.info/white-geochemistry.html

I Bijlage 1: Historie van zandsuppleties op de 12 onderzoekslocaties

RSP = Rijks Strand Paal; Suppleties in m^3 per strandsegment ter hoogte van RSP.

Raai 1: Ameland Oost

RSP	1990	1992	1998	2006	2011
17	202	178	312	375	239
17.2		178	312		239
17.4		178	312		239
17.6		178	312		239
17.8		178	312		239
18		178	312		239
18.2		178	312		239
18.4		178	312		239
18.6		178	312		239
18.8		178	312		239
19		178	312		239
19.2		178	312		239
19.4		178	312		239
19.6		178	312		239
19.8			312		239
20			312		239

Raai 2: Ameland West

RSP	1997	2004	2007	2007	2011
3	284	325	1290	288	857
3.01		325	1290	288	857
3.02		325	1290	288	857
3.03		325		288	857
3.04		325		288	857
3.2		325		288	857
3.4					857
3.6					857
3.8					857
4					857
4.01					
4.02					
4.2					
4.4					
4.6					
4.8					
5					

geel = strandsuppletie **blauw = vooroeversuppletie** **groen = duinverzwaring**

Raai 3: Vlieland Midden

RSP	1997	2001	2001	2005	2009
46.2		435			
46.72	162	435			
47	162	435			682
48.44	162	435			682
48.5		435			682
48.6				724	682
48.9			416	724	682
50			416	724	682
50.1			416	724	
50.2				724	

Vlieland 43.8-43.9 **nooit gesuppleerd**

Raaien 5 en 6: Texel

RSP	1993	1994	1997	2000	2003	2005	2006	2007
11.08		272	342	189	489			511
11.28		272	342	189	489			511
11.43		272	342	189	489			511
11.48		272		189	489			511
11.68		272		189				511
11.90		272		189				511
12.10	372	272						511
12.30	372							511
12.49	372							511
12.69	372							511
12.89	372							511
12.98	372			203				511
13.12	372			203				511
13.32	372			203				511
13.50	372			203				511
13.52	372			203		769		
13.72	372			203		769		
13.92	372			203		769		
14.00	372			203		769	333	
14.10	372			203		769	333	
14.30	372			203		769	333	
14.50	372			203		769	333	
14.70	372			203		769	333	
14.90	372			203		769	333	

Bij Texel de Hors is nooit gesuppleerd **geel is strandsuppletie**
blauw is vooroeversuppletie

Raai 8: Groote Keeten

RSP	1986	1996	1999	2003	2006	2009
8.08						433
8.27						433
8.48						433
8.69						433
8.89						433
9.08						433
9.13				41		433
9.28				41		433
9.43				41		433
9.48						433
9.68						433
9.84						433
10		217	36	429	229	
10.16		217	36	429	229	
10.31	428	217	36	429	229	
10.47	428	217	36	429	229	
10.62	428	217	36	429	229	
10.78	428	217	36	429	229	
10.93	428	217	36	429	229	

geel = strandsuppletie
blauw = vooroeversuppletie
groen = duinverzwaring

Raaien 9 en 10: Schoorl

RSP	1992	1997	1998	2001	2002	2005	2008
28.00	120	135			564		393
28.16	120	135			564		393
28.32	120	135		304	564		393
28.47	120	135		304	564		393
28.64	120	135		304	564		393
28.82	120	135		304	564		393
29.00	120	135		304	564		393
29.23	120	135		304	564		393
29.45	120	135		304	564		393
29.65	120	135		304	564		
29.87	120	135		304	564		
30.00	120	135		304	564		
30.25	120	133					
30.50	120						
30.75	120	133					
31.00	120	133	144				
31.25	120		144				
31.50	120		144			319	

geel is strandsuppletie
blauw is vooroeversuppletie
rood is doorgraving Kerf Schoorl in december 1997

Raaien 11-13: Bergen-Egmond

RSP	1997	1999	2000	2004	2005	2010
34.00			497		319	343
34.25			497		319	343
34.50	126				319	343
34.75	126				319	343
35.00	126				319	343
35.25	126				319	343
35.50	126				319	343
35.75	126				319	343
36.00					319	343
36.25	123			402		343
36.50	123			402		343
36.75	123			402		343
36.90	123	400		402		343
37.00	123	400		402		343

geel is strandsuppletie
blauw is vooroeversuppletie

Raai 14: Heemskerk

RSP	2005	2011
45		
45.25		
45.5		
45.75		146
46		146
46.25		146
46.5	250	146
46.75	250	146
47	250	146
47.25	250	146
47.5	250	146
47.75	250	146
48	250	146
48.25	250	146
48.5	250	146
48.75		146

Raaien 15-16: Wassenaar

RSP	1994	1996	1997	2002	2006
92.000		200		500	125
92.250		200		500	125
92.500		200		500	125
92.750		200		500	125
93.000		200		500	125
93.250		200		500	125
93.500		200		500	125
93.750				500	125
94.000			221	500	125
94.250	350		221	500	125
94.500	350		221	500	125
94.750	350		221	500	125
95.000	350		221	500	125
95.250	350		221	500	125
95.500	350		221	500	125
95.750	350		221	500	125
96.000	350		221	500	125

geel is strandsuppletie
blauw is vooroeversuppletie

Raai 17: Solleveld

RSP	1986	1986	1993	1995	1997	2001	2001	2003	2004	2005	2007	2010	2011
106.23			191										
107.4			191			702							
107.5			191		167	702							
107.73	241	165	191		167	702		229	211				
108	241	165	191		167	702	200	229	211	203			
109.3	241	165	191		167	702	200	229	211	203			
109.4	241	165	191		167	702	200	229	211	203			
112	241	165	191		167	702	200	229	211	203			
112.21	241	165	191	131	167	702		229	211	203			
112.5	241	165		131	167	702		229	211	203			
113	241	165		131				229	211	203	173		
113.15	241	165		131	605			229	211		173		
113.19	241	165		131	605			229	211		173		
114	241	165	97	131	605						173		
114.5	241	165	97	131	605						173		
114.85	241	165	97		605						173		

geel = strandsuppletie
blauw = vooroeversuppletie
groen = duinverzwaring

Raai 18: Voorne

RSP	1973	1974	1977	1983	1984	1986	1987	1993	2005	2010?
9	dv		282		567					
9.4	dv		282		567		750			
9.6	dv		282		567		750		124	
10.4	dv		282		567		750		124	
10.5	125		282		567		750		124	
10.6	125		282		567		750		124	
11	125		282		567		750		124	
11.2	125		282		567		750		124	
11.4	125		282		567		750		124	
11.6	125		282	157	567		750		124	
11.8	125		282	157	567		750	89	124	
12	125		282	157	567		750	89	124	
12.2	125		282	157	567		750	89	124	
12.4	125		282	157	567		750	89	124	
12.5	125		282	157	567		750	89	124	
12.6		110+58		157	567		750	89	124	
12.8		110+58		157	567		750	89	124	
13		110+58		157	567		750	89	124	
13.2		110+58		157	567		750	89	124	
13.4		110+58		157	567		750	89	124	
13.6		110+58		157	567			89	124	
13.8		58		157	567				124	
14		58		157	567				124	
14.2		58		157					124	
14.4		58		157		999			124	
14.6		58				999			124	

geel = strandsuppletie **groen = duinverzwaring**
blauw = vooroeversuppletie

Raai 20: Schouwen 10-16

RSP	1987	1991	1996	2003	2007
10.04				23	
10.24				23	
10.44				23	158
10.64				23	158
10.84				23	158
11.04				23	158
11.24				23	158
11.44				23	158
11.64			586	23	158
11.84		492	586	23	158
12.08		492	586	23	158
12.28		492	586	23	158
12.48		492	586	23	158
12.68		492	586	23	158
12.88		492	586	23	158
13.08		492		23	158
13.35	822	492		23	158
13.55	822	492		23	158
13.75	822	492		23	158
13.95	822	492		23	158
14.25	822	492		23	158
14.45	822	492		23	158
14.65	822	492		23	158
14.85	822	492		23	158
15.05	822	492		23	158
15.25	822	492		23	158
15.48	822	492			158
15.68	822	492			158
15.88		492			158

Schouwen 7.79-7.99:
6.43 tot 9.94 nooit gesuppleerd

Raai 22: Walcheren 8-12

RSP	1984	1990	1993	1996	2000	2004	2008
8							
8.2							
8.4							
8.6							
8.8					156	210	195
8.9				290	156	210	195
9				290	156	210	195
9.2				290	156	210	195
9.35			273	290	156	210	195
9.4			273	290	156	210	195
9.5	158		273	290	156	210	195
9.65	158		273	290	156	210	195
9.85	158		273	290	156	210	195
10	158	66	273	290	156	210	195
10.05	158	66	273	290	156	210	195
10.25	158	66	273	290	156	210	195
10.3	158	66	273	290	156	210	195
10.4	158		273	290	156	210	195
10.45	158			290	156	210	195
10.5				290	156	210	195
10.65					156	210	195
10.7					156	210	195
10.85					156		
11.05							
11.25							
11.45							
11.65							
11.85							

Walcheren 7-7.2:
tussen 5.5 en 8.8 nooit gesuppleerd

II Bijlage 2: Specificatie analysemethoden VU

Analytical procedures Grain size, TGA and CN

1. Grain size analysis

Grain size analysis of the fraction <2mm (after treatment with HCl and H_2O_2 to remove cementing materials), by a FRITSCH GmbH Laser Particle Sizer A22. Clay and silt fractions were converted to the traditional grain size analysis with pipette and sieves, by the approach of Konert & VandenBerghe (1997).

2. Thermogravimetric analysis (TGA)

The TGA-601 from Leco Corporation is used for thermogravimetric analysis from 25 to 1000 °C. It measures weight loss as a function of temperature in a controlled environment. The analyzer consist of a multiple sample furnace underlain by a balance, which are connected to a computer for furnace control and data management, and allows up to 19 samples to be analyzed simultaneously. The sample amount may vary up to 5 grams. To avoid a too thick layer of sample powder in the crucible, which can possibly impede heat conduction, we routinely use one teaspoon (1-2 grams) of sample. Samples are prepared with a simple homogenization step by grinding in a mortar following an initial overnight drying in an oven at 60°C.
A programmable method can contain up to six weight loss steps. The percent weight loss in each sample for each step can be calculated, printed and stored. Temperature, temperature ramp rate and atmospheric composition in the furnace (air, oxygen, nitrogen, or carbon dioxide) are selectable for each step. The first step until 105 °C is always the drying step. The advantage of this method is that all calculations are done with an oven dried initial weight! Calculation can be done after each step but is also possible from the plot data out of a continuous loss of ignition curve from 105 to 1000 °C, afterwards.
Classical LOI is analyzed by conventional muffle furnaces. To avoid discussion over comparison with the classical method of LOI, we use the loss-on-ignition obtained at 550 °C with constant weight of 0.5% in the TGA using an atmosphere of air to make comparisons possible.

3. Pyrolysis C+N

Total organic C and total N by pyrolysis and gas detection. After acid washing to remove inorganic carbon and subsequent pyrolysis, C and N were measured on a LEKO analyser. TOC is measured with a Thermo Finnigan Flash EA 1112 CHNS analyzer. The method is based on flash combustion and gaschromatography with detection of the exposed gasses N2, CO2, H2O and SO2. Carbonates are removed by a pretreatment of HCl 10% after the method of Nieuwenhuize et al, (1994).

Analytical procedures Total Elemental composition

4. Sample dissolution.

Powdered samples are processed in a class 1000 cleanroom and the reagents used in this study are double Teflon distilled (DTD). The milliQ water is derived from a Millipore apparatus, and has a resistance of >18 MOhm. Pipet tips are precleaned for trace metal analysis by soaking for 24 hours in 6 a 7 N DTD HCl, followed by a triple rinse with MilliQ water. Savilex PFA sample beakers (27 ml) are cleaned by subsequently soaking for 4 hours in 6 N analytical grade HCl and 4 hours in 7 N analytical grade HNO3 followed by a triple rinse with MilliQ water. Subsequently, the beakers were cleaned for 24 hours with concentrated DTD HNO3, followed by a triple MilliQwater rinse. Tips and beakers were dried down by air before use.

Powdered samples (100 mg) are dissolved in a mixture of 1 ml DTD HNO3 (concentrated) and 4 ml of DTD HF (40%) in cleaned 27 ml Savilex PFA beakers. The beakers were closed, left for more than 12 hours on a 130 °C hotplate and were subsequently evaporated to dryness. The residue was twice treated with 1 ml HNO3 and evaporated to dryness. The final solution was made by adding 20 ml 5% DTD HNO3 with gentle heating to dissolve all the material.

5. ICP-MS.

The instrument used in this study is a Thermo-Electron XSeries II ICP-MS. The procedure followed here is adapted from Eggins et al. (1997). Samples are precisely diluted by weighing to approximately 1:5000. The instrument was calibrated with a blank and BHVO-2 international standard. Drift corrections were made by measuring every 4 samples a drift correction standard. Elemental interferences are corrected by determining the correction factors prior to every analytical run of 18 samples. USGS international standards BCR-2 and MAG-1 were used as quality control standards. Data reduction was done in a propriety Microsoft Excel Visual Basic for Application macro, taking into account drift, elemental interferences, blank corrections and counting statistics.

6. **ICP-OES**.

The instrument used in this study is a Varian 720-ES ICP-OES. The procedure is adapted from Varian application note 38, which follows US EPA guidelines. Samples are precisely diluted by weighing to approximately 1:250. The instrument was calibrated with custom made multi-element standards derived from single-element-standards as well as some commercially available mixtures (CPI). BHVO-2, BCR-2 and MAG-1 were used as Quality Control standards. Results were calculated by Varians ICP Expert II data-acquisition software with internal standard correction. Data reduction took place in a propriety Microsoft Excel sheet.

References.

Eggins et al. (1997) A simple method for the precise determination of ≥ 40 trace elements in geological samples by ICPMS using enriched isotope internal standardisation. Chemical Geology, 134, 311-326.

Konert, M. & J. Vandenberghe 1997. Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction. Sedimentology 44, 523-535.

Nieuwenhuize J., Maas Y.E.M., Middelburg J.J. 1994. Rapid analysis of organic-carbon and nitrogen in particulate materials. Marine Chemistry 45 (3): 217-224.

III Bijlage 3: Spearman correlatiematrix

Spearman-rangcorrelatiecoëfficiënt, gebaseerd op 683 gepaarde meetwaarden. Deze relatiemaat is verdelingsvrij en ook robuust tegen uitschieters. Bovendien beperkt deze zich niet tot lineaire relaties, maar geldt voor allerlei soorten monotone relaties. Hoofdcomponenten en korrelgrootteverdeling op deze bladzijde, spore-elementen op volgende.

Onderaan staan de getelde relaties met aangegeven correlatiecoëfficiënten (R). Kleuring van cellen met R-waarden (NB: niet R^2): Groen: R ≥ 0.95; Turquoise: R =0.9-0.95; Licht blauw: R = 0.75-0.9; Paars: R < - 0.75. Kleuring van elementen op basis van geochemische indeling (zie onderstaande legenda).

Param	Depth	X-HWL	C-org	N	<2	<16	Size	Al	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	S	P	Ti	SiO2	CEC	CaCO3	Na-Sil	K-Sil	Ca-Sil	Mg-Sil
Depth	1.00																							
X-HWL	0.06	1.00																						
C-org	-0.27	0.43	1.00																					
N	-0.24	0.26	0.78	1.00																				
<2	-0.04	0.42	0.39	0.20	1.00																			
<16	-0.09	0.36	0.40	0.22	0.96	1.00																		
Size	-0.04	-0.40	-0.35	-0.25	-0.59	-0.47	1.00																	
Al	-0.03	0.14	0.13	0.23	0.36	0.36	-0.59	1.00																
Na	-0.07	-0.05	0.05	0.18	0.24	0.25	-0.46	0.87	1.00															
K	-0.04	0.12	0.08	0.23	0.16	0.17	-0.43	0.84	0.85	1.00														
Ca	-0.05	-0.32	-0.07	0.06	-0.11	-0.05	-0.03	0.51	0.55	0.58	1.00													
Mg	-0.09	-0.17	0.02	0.14	0.20	0.24	-0.31	0.80	0.75	0.58	0.68	1.00												
Fe	0.00	0.04	0.21	0.28	0.20	0.22	-0.33	0.63	0.39	0.30	0.40	0.70	1.00											
Mn	0.04	0.18	0.26	0.28	0.26	0.24	-0.40	0.41	0.14	0.05	0.14	0.44	0.87	1.00										
S	-0.14	-0.11	0.16	0.35	-0.20	-0.25	-0.23	0.33	0.42	0.47	0.47	0.31	0.24	0.14	1.00									
P	-0.11	-0.12	0.19	0.29	-0.04	0.03	-0.09	0.55	0.47	0.51	0.75	0.62	0.58	0.32	0.53	1.00								
Ti	0.05	0.24	0.32	0.31	0.28	0.22	-0.49	0.35	0.08	0.02	0.01	0.33	0.75	0.86	0.16	0.23	1.00							
SiO2	0.05	0.04	-0.07	-0.22	-0.16	-0.19	0.40	-0.88	-0.84	-0.86	-0.81	-0.80	-0.57	-0.29	-0.50	-0.72	-0.19	1.00						
CEC	-0.21	0.47	0.81	0.57	0.77	0.77	-0.53	0.33	0.22	0.21	0.01	0.19	0.24	0.27	0.02	0.17	0.31	-0.21	1.00					
CaCO3	-0.04	-0.37	-0.15	-0.03	-0.10	-0.02	0.08	0.43	0.51	0.54	0.96	0.61	0.25	-0.03	0.34	0.66	-0.17	-0.73	-0.03	1.00				
Na-Sil	-0.05	0.10	0.08	0.17	0.33	0.34	-0.54	0.92	0.89	0.84	0.45	0.69	0.45	0.24	0.25	0.45	0.18	-0.81	0.29	0.41	1.00			
K-Sil	-0.03	0.17	0.09	0.23	0.14	0.14	-0.41	0.76	0.79	0.98	0.49	0.44	0.18	-0.04	0.46	0.42	-0.05	-0.78	0.20	0.47	0.78	1.00		
Ca-Sil	0.03	0.10	0.19	0.26	-0.11	-0.19	-0.29	0.25	0.16	0.23	0.38	0.22	0.41	0.41	0.59	0.39	0.42	-0.41	0.07	0.16	0.10	0.21	1.00	
Mg-Sil	-0.07	-0.11	0.00	0.10	0.22	0.27	-0.33	0.81	0.69	0.57	0.65	0.97	0.72	0.48	0.22	0.60	0.38	-0.77	0.20	0.58	0.72	0.43	0.19	1.00
As	-0.08	-0.35	0.01	0.16	-0.21	-0.13	0.09	0.47	0.52	0.55	0.83	0.59	0.42	0.10	0.45	0.78	-0.03	-0.71	-0.03	0.81	0.44	0.49	0.27	0.55
Ba	-0.04	0.08	0.02	0.16	0.14	0.17	-0.32	0.80	0.83	0.93	0.54	0.58	0.26	-0.01	0.33	0.45	-0.06	-0.81	0.16	0.54	0.80	0.91	0.12	0.57
Be	-0.02	0.09	0.19	0.33	-0.14	-0.21	-0.39	0.44	0.43	0.56	0.49	0.33	0.31	0.22	0.78	0.55	0.26	-0.57	0.08	0.34	0.36	0.54	0.65	0.29
Bi	-0.04	0.15	0.24	0.38	-0.06	-0.10	-0.26	0.32	0.28	0.38	0.28	0.20	0.27	0.21	0.55	0.42	0.26	-0.38	0.12	0.16	0.24	0.37	0.50	0.17
Cd	-0.06	0.28	0.48	0.40	0.25	0.20	-0.38	0.21	0.11	0.16	0.14	0.16	0.34	0.42	0.39	0.26	0.46	-0.22	0.41	0.02	0.08	0.14	0.45	0.14
Ce	0.07	0.25	0.29	0.30	0.29	0.25	-0.45	0.45	0.17	0.11	0.12	0.44	0.84	0.88	0.17	0.36	0.89	-0.31	0.30	-0.05	0.27	0.03	0.44	0.48
Co	-0.01	-0.18	0.02	0.08	0.12	0.18	-0.16	0.59	0.45	0.37	0.53	0.69	0.70	0.48	0.17	0.58	0.34	-0.60	0.11	0.47	0.48	0.26	0.17	0.70
Cr	0.02	0.08	0.23	0.29	0.11	0.07	-0.36	0.36	0.17	0.13	0.20	0.38	0.68	0.72	0.30	0.34	0.69	-0.30	0.19	0.04	0.18	0.05	0.48	0.38
Cs	-0.08	-0.01	0.00	0.12	0.15	0.22	-0.16	0.73	0.75	0.85	0.62	0.61	0.26	-0.04	0.26	0.55	-0.13	-0.78	0.16	0.66	0.74	0.81	-0.01	0.61
Cu	-0.13	0.01	0.40	0.45	0.15	0.16	-0.26	0.29	0.20	0.19	0.31	0.38	0.53	0.48	0.27	0.38	0.48	-0.31	0.33	0.21	0.17	0.13	0.29	0.36
Dy	0.06	0.22	0.28	0.32	0.26	0.22	-0.47	0.52	0.25	0.21	0.22	0.51	0.89	0.91	0.25	0.43	0.88	-0.41	0.29	0.04	0.34	0.12	0.48	0.55
Er	0.07	0.23	0.27	0.27	0.30	0.27	-0.45	0.42	0.14	0.06	0.08	0.42	0.85	0.92	0.10	0.31	0.89	-0.26	0.29	-0.08	0.25	-0.03	0.38	0.47
Eu	0.02	0.13	0.24	0.32	0.24	0.24	-0.49	0.76	0.55	0.54	0.53	0.73	0.87	0.73	0.43	0.68	0.68	-0.73	0.31	0.37	0.59	0.44	0.51	0.74
Ga	-0.01	0.15	0.14	0.23	0.39	0.39	-0.59	0.95	0.78	0.72	0.46	0.78	0.72	0.54	0.28	0.50	0.48	-0.81	0.34	0.36	0.84	0.63	0.29	0.80
Gd	0.05	0.20	0.27	0.32	0.25	0.22	-0.46	0.59	0.32	0.30	0.34	0.58	0.90	0.86	0.31	0.55	0.83	-0.51	0.29	0.16	0.40	0.20	0.52	0.61
Hf	0.08	0.24	0.24	0.20	0.29	0.24	-0.39	0.23	-0.05	-0.10	-0.17	0.19	0.66	0.81	0.03	0.10	0.85	-0.03	0.25	-0.31	0.06	-0.17	0.29	0.24
Ho	0.08	0.22	0.27	0.27	0.30	0.27	-0.45	0.46	0.18	0.10	0.13	0.46	0.87	0.91	0.12	0.36	0.89	-0.32	0.30	-0.03	0.29	0.01	0.40	0.50
La	0.07	0.24	0.27	0.28	0.30	0.27	-0.44	0.43	0.15	0.08	0.07	0.42	0.82	0.88	0.13	0.32	0.88	-0.28	0.29	-0.08	0.25	0.00	0.40	0.47
Lu	0.09	0.23	0.26	0.24	0.31	0.27	-0.45	0.37	0.09	0.00	-0.01	0.35	0.80	0.90	0.06	0.22	0.90	-0.18	0.28	-0.17	0.20	-0.08	0.34	0.40
Nb	0.06	0.25	0.30	0.28	0.32	0.28	-0.50	0.41	0.13	0.05	0.02	0.38	0.80	0.90	0.11	0.26	0.93	-0.22	0.32	-0.15	0.24	-0.04	0.37	0.43
Nd	0.06	0.24	0.29	0.32	0.27	0.24	-0.45	0.49	0.22	0.18	0.19	0.49	0.86	0.88	0.23	0.43	0.87	-0.38	0.30	0.02	0.30	0.09	0.48	0.52
Ni	-0.09	-0.22	-0.02	0.11	0.16	0.25	-0.13	0.74	0.72	0.64	0.64	0.83	0.50	0.21	0.15	0.54	0.07	-0.75	0.16	0.66	0.73	0.54	-0.02	0.83
Pb	-0.19	0.03	0.37	0.48	0.27	0.35	-0.20	0.58	0.46	0.45	0.42	0.54	0.57	0.36	0.19	0.58	0.27	-0.57	0.41	0.36	0.49	0.39	0.13	0.53
Pr	0.07	0.24	0.28	0.30	0.29	0.26	-0.45	0.48	0.19	0.14	0.16	0.48	0.86	0.89	0.18	0.40	0.88	-0.35	0.31	-0.01	0.29	0.05	0.44	0.51
Rb	-0.05	0.07	0.02	0.14	0.20	0.24	-0.31	0.82	0.85	0.95	0.57	0.61	0.25	-0.04	0.31	0.49	-0.10	-0.82	0.20	0.59	0.84	0.92	0.05	0.60
Sm	0.06	0.22	0.28	0.32	0.28	0.26	-0.46	0.56	0.28	0.25	0.28	0.55	0.88	0.86	0.26	0.51	0.85	-0.47	0.31	0.11	0.37	0.16	0.49	0.58
Sn	-0.12	-0.09	0.20	0.19	0.25	0.30	-0.25	0.41	0.28	0.14	0.29	0.54	0.60	0.49	0.08	0.39	0.44	-0.34	0.27	0.22	0.32	0.05	0.06	0.55
Sr	-0.04	-0.20	0.01	0.15	0.00	0.04	-0.20	0.69	0.70	0.73	0.95	0.74	0.49	0.21	0.53	0.78	0.09	-0.93	0.10	0.88	0.62	0.64	0.43	0.70
Ta	0.03	0.23	0.29	0.27	0.32	0.29	-0.44	0.41	0.17	0.09	0.03	0.38	0.72	0.78	0.13	0.31	0.81	-0.24	0.32	-0.11	0.27	0.01	0.29	0.42
Tb	0.06	0.19	0.27	0.30	0.27	0.25	-0.47	0.55	0.28	0.23	0.26	0.55	0.90	0.89	0.24	0.47	0.86	-0.44	0.30	0.09	0.37	0.13	0.47	0.58
Th	0.06	0.21	0.23	0.25	0.28	0.27	-0.43	0.49	0.21	0.13	0.10	0.48	0.85	0.88	0.11	0.33	0.86	-0.32	0.26	-0.05	0.32	0.04	0.36	0.53
Tm	0.07	0.26	0.32	0.34	0.21	0.15	-0.48	0.43	0.16	0.16	0.17	0.40	0.82	0.89	0.30	0.37	0.90	-0.33	0.29	-0.03	0.24	0.08	0.56	0.43
U	0.04	0.12	0.22	0.30	0.20	0.19	-0.40	0.53	0.28	0.23	0.27	0.54	0.87	0.84	0.30	0.48	0.82	-0.45	0.23	0.10	0.34	0.13	0.48	0.56
V	0.01	-0.04	0.05	0.11	0.27	0.30	-0.27	0.59	0.40	0.25	0.29	0.69	0.78	0.62	0.04	0.40	0.51	-0.47	0.18	0.21	0.46	0.13	0.11	0.71
W	-0.09	0.00	0.30	0.37	0.10	0.11	-0.31	0.46	0.33	0.32	0.42	0.51	0.62	0.52	0.47	0.58	0.54	-0.49	0.25	0.28	0.30	0.24	0.46	0.49
Y	0.06	0.23	0.30	0.33	0.23	0.19	-0.47	0.47	0.21	0.18	0.22	0.47	0.87	0.91	0.28	0.43	0.89	-0.38	0.29	0.03	0.28	0.09	0.53	0.50
Yb	0.08	0.25	0.27	0.26	0.31	0.27	-0.46	0.39	0.11	0.03	0.03	0.38	0.81	0.90	0.08	0.26	0.90	-0.22	0.29	-0.13	0.22	-0.05	0.37	0.43
Zn	-0.20	-0.21	0.25	0.37	0.09	0.16	-0.16	0.53	0.47	0.43	0.58	0.67	0.64	0.45	0.36	0.60	0.34	-0.60	0.27	0.51	0.44	0.35	0.24	0.65
Zr	0.08	0.25	0.26	0.21	0.28	0.22	-0.42	0.20	-0.06	-0.11	-0.16	0.17	0.65	0.80	0.07	0.10	0.86	-0.02	0.26	-0.31	0.04	-0.17	0.32	0.22
SUM																								
>0.95	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
>0.9	0	0	0	0	1	1	0	2	0	3	2	1	2	6	0	0	2	0	0	1	1	3	0	1
>0.75	0	0	2	1	2	2	0	10	9	7	3	5	21	22	1	2	22	0	3	3	7	7	0	4
<-0.75	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	13	0	0	1	1	0	1

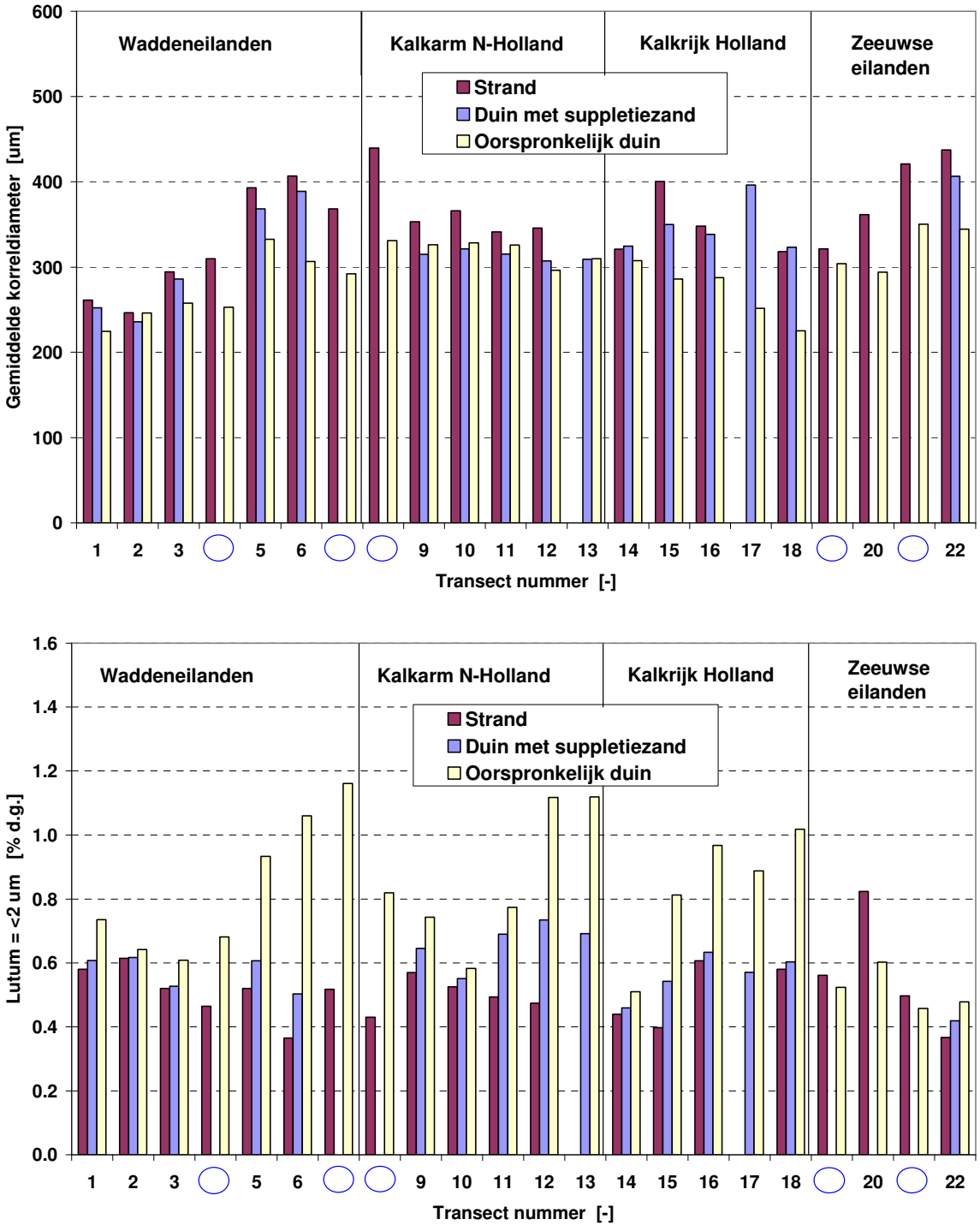
Mn Dominant hoofdelement | Y Rare earth element | Zr Lithofiel spore-element | Cu Chalcofiel spore-element | Co Siderofiel spore-element

Spearman-rangcorrelatiecoëfficiënt, deel 2: spore-elementen. Onderaan staan de getelde relaties met aangegeven correlatiecoëfficiënten (R). Kleuring van cellen met R-waarden (NB: niet R^2): Groen: R ≥ 0.95; Turquoise: R =0.9-0.95; Licht blauw: R = 0.75-0.9; Paars: R < - 0.75. Kleuring van elementen op basis van geochemische indeling (zie onderstaande legenda).

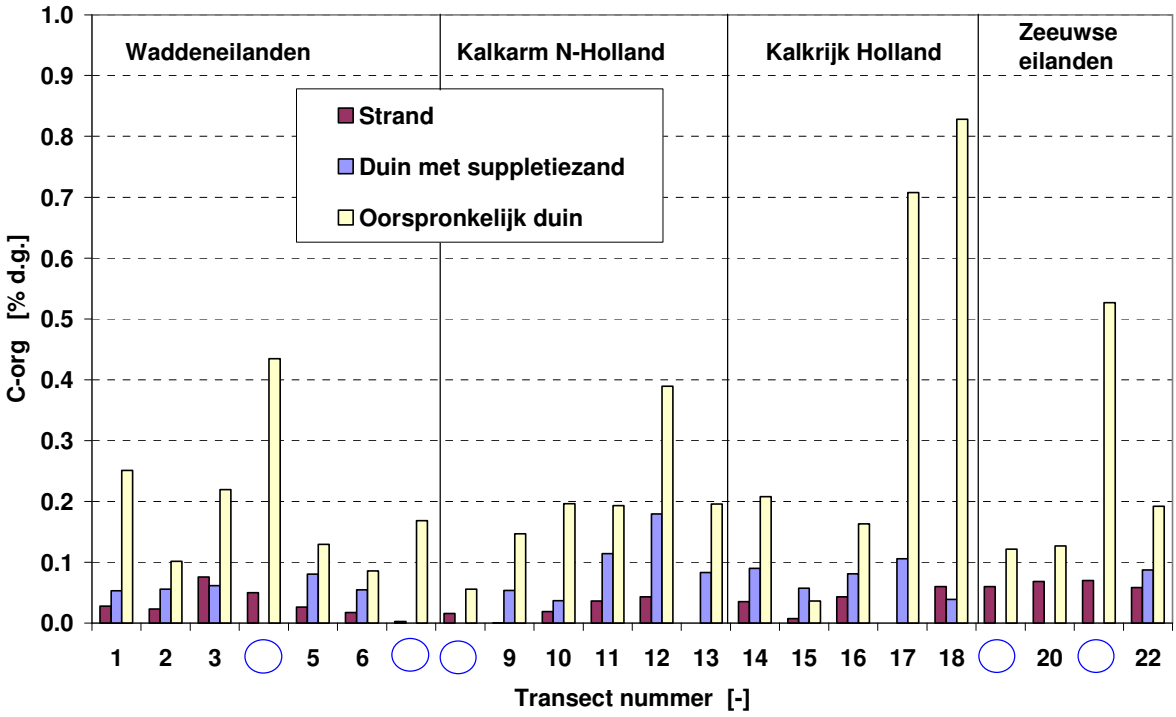
Param	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
As	1.00																																					
Ba	0.53	1.00																																				
Be	0.46	0.40	1.00																																			
Bi	0.33	0.26	0.58	1.00																																		
Cd	0.12	0.07	0.39	0.41	1.00																																	
Ce	0.08	0.05	0.28	0.27	0.42	1.00																																
Co	0.56	0.37	0.18	0.19	0.10	0.46	1.00																															
Cr	0.16	0.04	0.38	0.31	0.42	0.70	0.35	1.00																														
Cs	0.63	0.86	0.28	0.22	0.03	0.00	0.45	-0.01	1.00																													
Cu	0.34	0.13	0.28	0.27	0.44	0.50	0.43	0.44	0.17	1.00																												
Dy	0.18	0.13	0.36	0.32	0.46	0.94	0.52	0.74	0.08	0.54	1.00																											
Er	0.04	0.00	0.21	0.21	0.40	0.94	0.46	0.71	-0.03	0.49	0.96	1.00																										
Eu	0.47	0.46	0.53	0.41	0.39	0.81	0.66	0.64	0.43	0.53	0.85	0.76	1.00																									
Ga	0.41	0.69	0.39	0.31	0.27	0.57	0.62	0.46	0.61	0.35	0.63	0.55	0.81	1.00																								
Gd	0.29	0.22	0.44	0.35	0.45	0.94	0.58	0.71	0.18	0.54	0.96	0.91	0.92	0.68	1.00																							
Hf	-0.20	-0.16	0.07	0.14	0.36	0.84	0.27	0.62	-0.21	0.36	0.81	0.87	0.56	0.36	0.74	1.00																						
Ho	0.08	0.05	0.23	0.22	0.41	0.94	0.49	0.71	0.02	0.50	0.96	0.98	0.79	0.58	0.93	0.85	1.00																					
La	0.03	0.02	0.23	0.24	0.39	0.99	0.45	0.69	-0.02	0.48	0.93	0.93	0.78	0.56	0.92	0.85	0.93	1.00																				
Lu	-0.06	-0.06	0.15	0.17	0.38	0.92	0.39	0.69	-0.11	0.45	0.92	0.97	0.69	0.50	0.86	0.91	0.96	0.92	1.00																			
Nb	-0.02	-0.02	0.22	0.22	0.42	0.93	0.41	0.70	-0.08	0.49	0.92	0.94	0.73	0.54	0.87	0.89	0.93	0.93	0.95	1.00																		
Nd	0.15	0.11	0.34	0.31	0.44	0.98	0.49	0.72	0.06	0.52	0.95	0.92	0.85	0.60	0.96	0.81	0.93	0.97	0.90	0.91	1.00																	
Ni	0.66	0.67	0.16	0.09	0.02	0.21	0.64	0.18	0.76	0.26	0.28	0.18	0.53	0.70	0.35	-0.05	0.22	0.19	0.11	0.14	0.25	1.00																
Pb	0.50	0.47	0.18	0.32	0.22	0.38	0.54	0.27	0.54	0.55	0.41	0.35	0.58	0.56	0.47	0.19	0.39	0.36	0.29	0.32	0.41	0.56	1.00															
Pr	0.11	0.08	0.29	0.28	0.42	1.00	0.49	0.70	0.04	0.51	0.95	0.94	0.83	0.60	0.95	0.83	0.94	0.99	0.92	0.93	0.99	0.24	0.41	1.00														
Rb	0.57	0.95	0.38	0.25	0.06	0.02	0.40	0.01	0.92	0.13	0.11	-0.02	0.46	0.70	0.20	-0.20	0.03	0.00	-0.09	-0.05	0.08	0.73	0.49	0.06	1.00													
Sm	0.23	0.19	0.38	0.33	0.44	0.96	0.56	0.70	0.15	0.53	0.95	0.91	0.89	0.66	0.98	0.76	0.93	0.95	0.87	0.89	0.98	0.32	0.46	0.98	0.16	1.00												
Sn	0.32	0.16	0.09	0.10	0.27	0.46	0.51	0.35	0.22	0.50	0.50	0.50	0.51	0.46	0.51	0.34	0.51	0.46	0.46	0.48	0.48	0.42	0.52	0.48	0.17	0.51	1.00											
Sr	0.82	0.68	0.57	0.37	0.20	0.22	0.58	0.26	0.70	0.32	0.32	0.17	0.65	0.64	0.44	-0.08	0.22	0.17	0.07	0.11	0.29	0.69	0.50	0.25	0.71	0.38	0.31	1.00										
Ta	0.01	0.03	0.23	0.21	0.34	0.82	0.40	0.64	-0.02	0.37	0.81	0.83	0.68	0.50	0.80	0.77	0.82	0.83	0.82	0.88	0.81	0.16	0.32	0.83	0.01	0.81	0.43	0.13	1.00									
Tb	0.21	0.16	0.34	0.30	0.43	0.95	0.57	0.73	0.12	0.54	0.98	0.95	0.88	0.66	0.98	0.79	0.97	0.94	0.91	0.91	0.96	0.32	0.45	0.96	0.14	0.97	0.52	0.35	0.82	1.00								
Th	0.08	0.08	0.21	0.22	0.35	0.97	0.50	0.68	0.05	0.46	0.93	0.92	0.79	0.61	0.91	0.83	0.93	0.97	0.91	0.92	0.95	0.27	0.39	0.97	0.06	0.94	0.48	0.20	0.83	0.94	1.00							
Tm	0.11	0.06	0.41	0.35	0.52	0.91	0.40	0.75	-0.01	0.54	0.95	0.94	0.79	0.54	0.92	0.82	0.94	0.90	0.91	0.91	0.92	0.14	0.33	0.91	0.02	0.91	0.43	0.26	0.79	0.93	0.88	1.00						
U	0.25	0.16	0.37	0.31	0.42	0.89	0.55	0.71	0.13	0.51	0.92	0.88	0.84	0.63	0.92	0.78	0.89	0.87	0.85	0.85	0.90	0.31	0.43	0.90	0.13	0.91	0.51	0.37	0.76	0.92	0.89	0.87	1.00					
V	0.31	0.26	0.09	0.08	0.13	0.61	0.70	0.44	0.28	0.41	0.64	0.63	0.66	0.66	0.65	0.48	0.64	0.62	0.60	0.60	0.61	0.55	0.49	0.63	0.27	0.64	0.59	0.37	0.55	0.67	0.67	0.53	0.65	1.00				
W	0.45	0.23	0.52	0.42	0.49	0.55	0.45	0.55	0.24	0.56	0.60	0.53	0.67	0.49	0.64	0.41	0.56	0.52	0.49	0.54	0.59	0.32	0.47	0.57	0.23	0.62	0.49	0.49	0.54	0.61	0.53	0.60	0.62	0.48	1.00			
Y	0.17	0.09	0.39	0.34	0.49	0.94	0.48	0.75	0.04	0.55	0.98	0.96	0.84	0.59	0.96	0.82	0.97	0.92	0.93	0.92	0.95	0.21	0.38	0.94	0.06	0.95	0.49	0.31	0.81	0.97	0.91	0.98	0.91	0.60	0.63	1.00		
Yb	-0.02	-0.02	0.19	0.20	0.41	0.93	0.42	0.69	-0.07	0.48	0.94	0.98	0.72	0.52	0.88	0.90	0.97	0.93	0.98	0.95	0.91	0.13	0.32	0.93	-0.05	0.89	0.48	0.12	0.83	0.93	0.91	0.93	0.86	0.60	0.52	0.95	1.00	
Zn	0.63	0.41	0.31	0.29	0.42	0.40	0.59	0.41	0.48	0.62	0.48	0.39	0.60	0.55	0.52	0.21	0.42	0.38	0.33	0.36	0.44	0.68	0.66	0.43	0.42	0.49	0.55	0.59	0.32	0.49	0.41	0.43	0.49	0.52	0.56	0.47	0.35	1.00
Zr	-0.20	-0.17	0.12	0.15	0.39	0.84	0.25	0.64	-0.23	0.39	0.81	0.87	0.56	0.34	0.74	0.99	0.84	0.85	0.90	0.89	0.80	-0.08	0.17	0.83	-0.21	0.76	0.34	-0.08	0.77	0.79	0.82	0.84	0.77	0.45	0.42	0.83	0.89	0.21	1.00
SUM																																						
>0.95	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	7	6	0	0	6	1	6	4	3	0	6	0	0	7	0	6	0	0	0	9	3	2	0	0	0	6	3	0	1
>0.9	0	3	0	0	0	15	0	0	1	0	17	16	1	1	15	2	16	14	16	14	15	0	0	15	4	13	0	1	0	17	14	13	6	0	0	17	14	0	2
>0.75	4	7	1	0	0	23	0	1	6	0	23	23	17	6	21	20	23	23	22	22	23	3	0	23	7	23	0	4	21	23	23	23	23	1	0	24	22	0	20
<-0.75	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

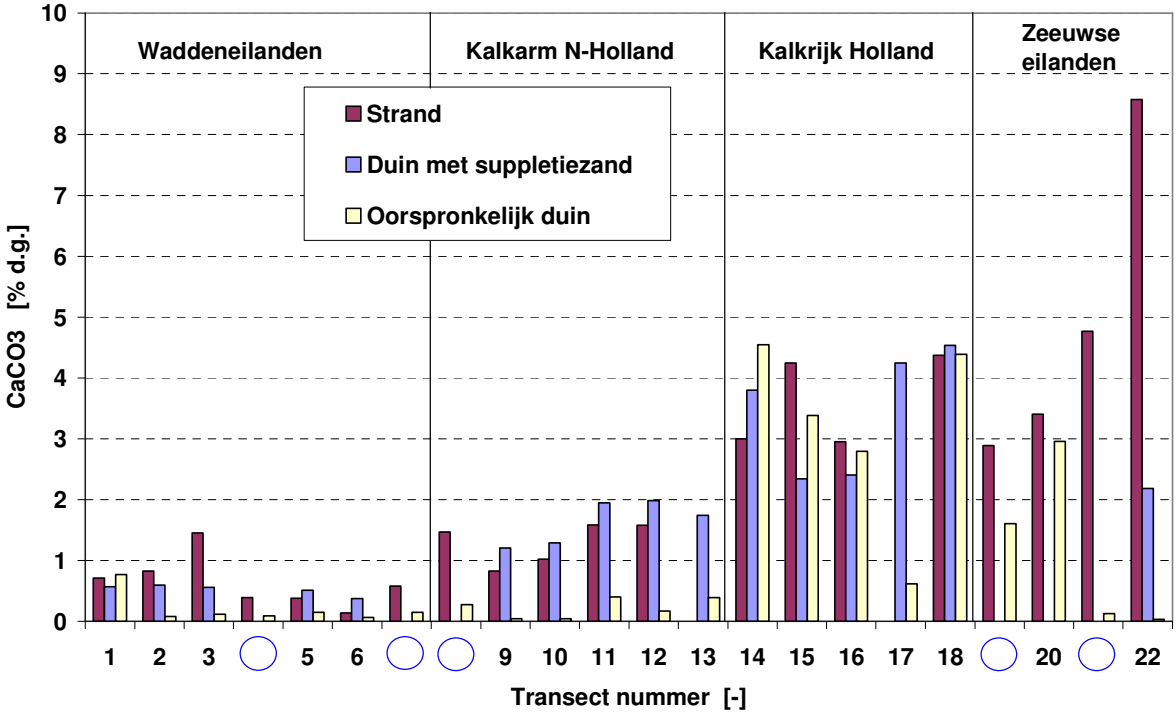
Y Rare earth element Zr Lithofiel spore-element Cu Chalcofiel spore-element Co Siderofiel spore-element

IV Bijlage 4: . Veranderingen in zandsamenstelling langs de kust

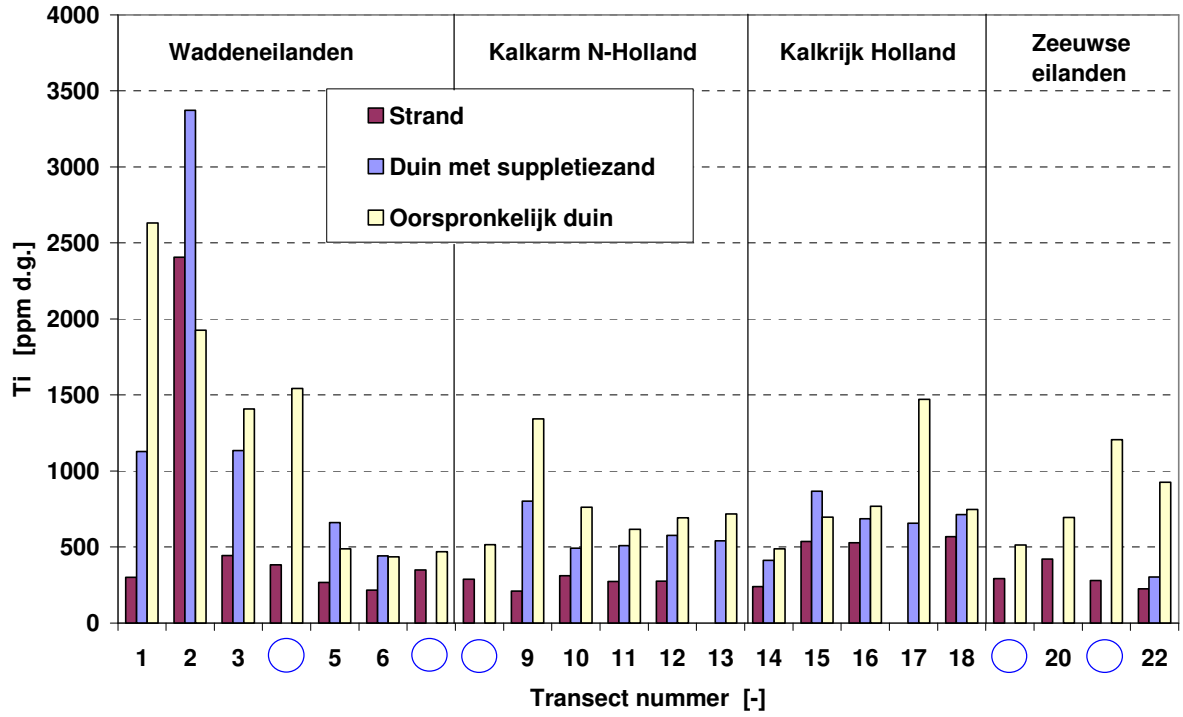


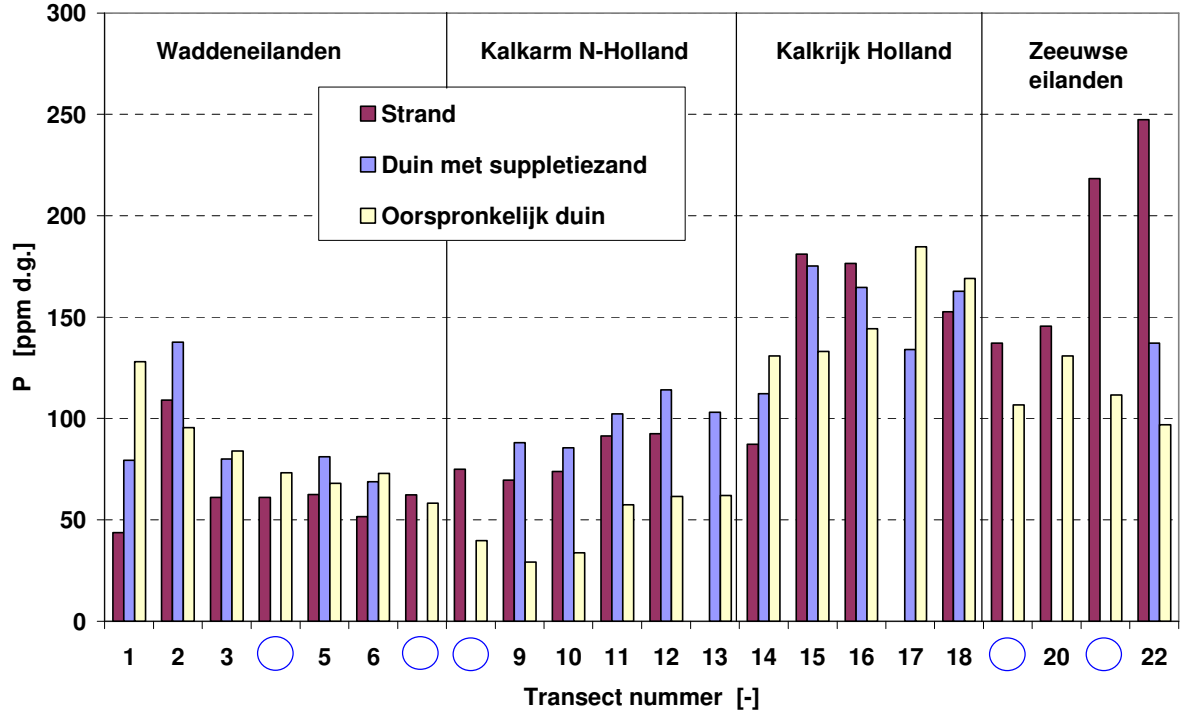
4A. Verandering in gemiddelde korreldiameter en kleigehalte van strandzand, duinzand bestaande uit suppletiemateriaal en oorspronkelijk duinzand (zonder suppletiemateriaal) gaande van Ameland Oost (#1) naar Walcheren West (#22). Blauw-omcirkelde transectnummers waar geen suppleties.



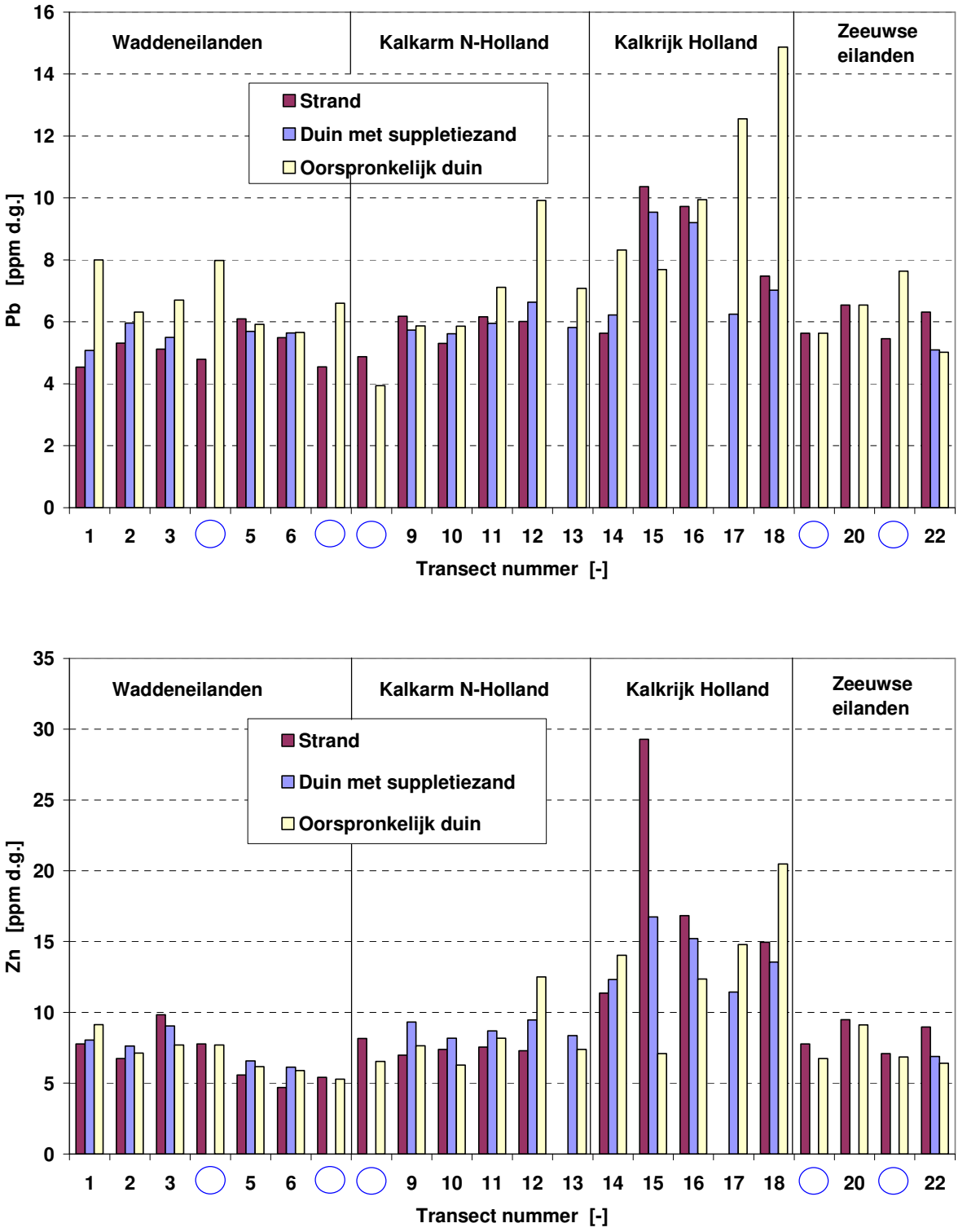


4B. Verandering in gemiddeld organisch stof en kalkgehalte van strandzand, duinzand bestaande uit suppletiemateriaal en oorspronkelijk duinzand (zonder suppletiemateriaal) gaande van Ameland Oost (#1) naar Walcheren West (#22). Blauw-omcirkelde transectnummers waar geen suppleties.





4C. Verandering in gemiddeld titaan en fosforgehalte van strandzand, duinzand bestaande uit suppletiemateriaal en oorspronkelijk duinzand (zonder suppletiemateriaal) gaande van Ameland Oost (#1) naar Walcheren West (#22). Blauw-omcirkelde transectnummers waar geen suppleties.



4D. Verandering in gemiddeld lood en zinkgehalte van strandzand, duinzand bestaande uit suppletiemateriaal en oorspronkelijk duinzand (zonder suppletiemateriaal) gaande van Ameland Oost (#1) naar Walcheren West (#22). Blauw-omcirkelde transectnummers waar geen suppleties.