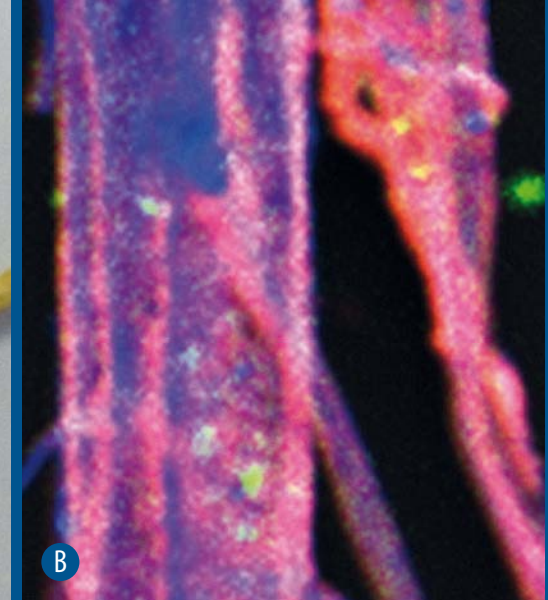




Waarom sediment-mineralogisch onderzoek voor de Building-with-Nature projecten?

JASPER GRIFFIOEN^{1 & 2}
 JASPER.GRIFFIOEN@TNO.NL
 MARIA BARCIELARIAL³, IRIS PIT¹ EN
 RÉMON SAALTINK¹

¹COPERNICUS INSTITUUT VOOR
 DUURZAME ONTWIKKELING,
 UNIVERSITEIT UTRECHT

²TNO GEOLOGISCHE DIENST VAN
 NEDERLAND

³FACULTEIT CIVIELE TECHNIEK EN
 GEOWETENSCHAPPEN, TECHNISCHE
 UNIVERSITEIT DELFT

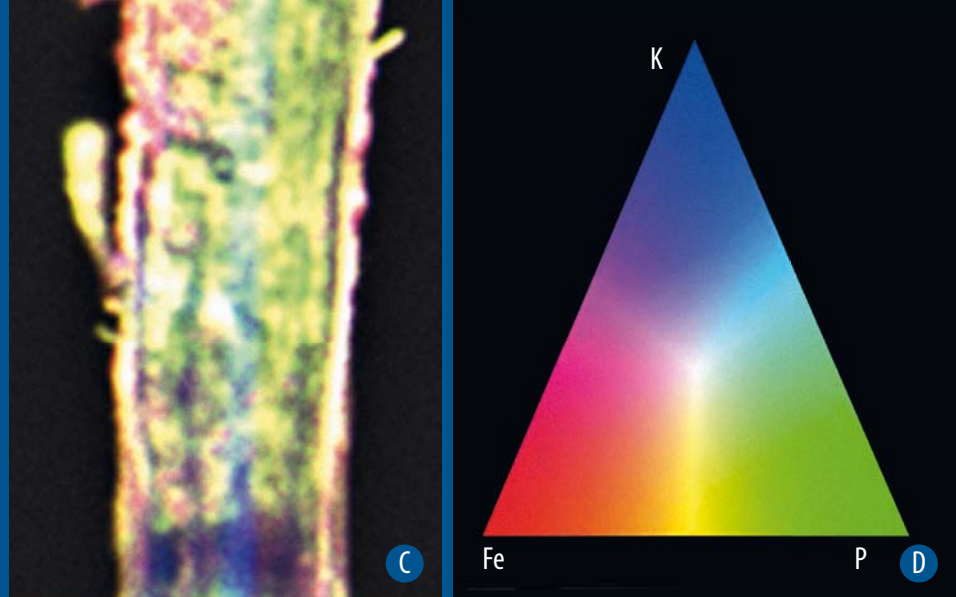
De Building-with-Nature technologie (BwN) is enkele jaren geleden opgekomen als alternatief voor de traditionele waterbouw-technieken (http://www.ecoshape.nl/nl_NL).

Het doel van BwN is meervoudig:

1. integratie van infrastructuur, natuur en maatschappij in nieuwe of alternatieve vormen van waterbouw, 2. ontwikkelen en implementeren van meer duurzame oplossingen voor de waterbouw, 3. zachtere en natuurlijkere materialen gebruiken in waterbouwconstructies dan beton, etc.

In het begin ging de aandacht vooral uit naar de civieltechnische en ecologische aspecten. Inmiddels is de aandacht ook verbreed naar de geochemische en mineralogische aspecten met dus verbreding met een aardwetenschappelijke invalshoek. Dit blijkt o.a. uit het feit dat één aio-onderzoek





AFBEELDING 1. | Rietwortel die in het Markermeer sediment heeft gegroeid met ijzerplak (A). De chemische samenstelling van deze plak is zichtbaar gemaakt met behulp van micro-röntgenfluorescentie spectrometrie. Als er weinig ijzergebonden fosfor in het sediment zit, bestaat de plak voornamelijk uit ijzer en kalium (B), als er veel ijzergebonden fosfaat aanwezig is, bestaat de plak voornamelijk uit ijzer en fosfor (C). Kleurcodering (D): rood is ijzer, blauw is kalium, groen is fosfor. Afkomstig van Saaltink et al., (2016).

omtrent milieu(geo)chemische aspecten van de Zandmotor is opgenomen in het STW¹-programma *Nature Coast*. Verder worden momenteel twee aio-onderzoeken uitgevoerd waarin de Marker Wadden centraal staan en waarbij geochemie en mineralogie een relevante rol spelen. Deze twee onderzoeken worden uitgevoerd in het NWO Urbanising Deltas of the World project *Smart ecosystems: Regime shifts from mud systems to dynamic wetlands*. De doelstelling van dit verhaal is om de behoefte aan sediment mineralogisch onderzoek te verklaren middels enerzijds resultaten van deze aio-onderzoeken en anderzijds generieke kennisvragen op te werpen die zich voordoen bij BwN projecten. We beperken ons hierbij tot BwN projecten waarbij sediment in de vorm van zand of modder wordt verwerkt.

Mineralogische kennisvragen

De kennisvragen waarvoor inzicht in de mineralogische samenstelling van het sediment nodig is richten zich primair op: 1. milieu(geo)chemische risico's, 2. ecologische ontwikkeling en 3. fysische stabiliteit. Dit vertaalt zich door naar vragen omtrent de beschikbaarheid van toxische stoffen, de abiotische randvoorwaarden voor natuurontwikkeling incl. de beschikbaarheid van nutriënten en het zwel- en krimpgedrag van het gebruikte materiaal. Het gaat hier dus primair om de mineralen die op de tijdschaal van het waterbeheer (maanden tot tientallen jaren) reactief gedrag vertonen. Dit zijn mineralen als calciet, pyriet, Fe-oxides, kleimineralen (vergelijk Van Gaans et al., 2011). We moeten hierbij bedenken dat het sediment dat gebruikt wordt bij BwN projecten vaak een verandering in redoxstatus zal ondergaan: het ligt meestal onder zuurstofloze omstandigheden onder water en wordt naar boven gebaggerd en (ten dele) neergelegd boven de (grond)waterspiegel onder zuurstofhoudende omstandigheden. Dit induceert meestal allerlei geochemische reacties (net zoals de omgekeerde situatie). Er is hierbij gelijkenis met de inpoldering van buitendijkse schorren of drooglegging van droogmakerijen, Zuiderzee, IJsselmeer. In deze situatie ging het vroeger meestal om de landbouwkundige ontwikkeling en bij BwN gaat het geregeld om natuurontwikkeling en/of recreatie. Building-with-Nature is dus ook vaak Building-for-Nature.

Pyrietoxidatie

Uit het verleden is het probleem van de katteklei-gronden bekend bij ingepolderde zeekleigebieden ofwel de acid sulphate soils. Van Bemmelen (1863) heeft over dit probleem al 150 jaar geleden gepubliceerd en sindsdien is het een klassiek onderwerp in de bodemchemie. Het probleem is dat door blootstelling aan de lucht pyriet (FeS_2) geoxideerd wordt en dit gepaard gaat met productie van zwavelzuur. Als de zuurproductie gecompenseerd wordt door kalkoplossing, dan blijft de bodem-pH neutraal en is het resultaat een hoge hardheid van het poriewater naast hoge sulfaatconcentraties. Zo ook bij de Marker Wadden en de Zandmotor gelet op labexperimenten met modder van het Markermeer

(Saaltink et al., 2016a) en veldonderzoek op de Zandmotor (Afb. 2; Pit et al., 2016). Als de kalkbuffering onvoldoende is, dan verzuurt de grond en kan bijvoorbeeld jarosiet (kalium-ijzer-hydroxy-sulfaat) neerslaan en de pH dalen tot ca. 2. Kennis van de pyriet- en kalkgehalten van het sediment is dus een eerste mineralogische kennisbehoefte bij BwN projecten.

Het optreden van deze reactie leidt ook tot vervolgvragen. Zo bestond de indruk dat het ijzer dat vrijgemaakt werd door pyrietoxidatie leidde tot ijzertoxiciteit van de planten. Een vorm van ijzertoxiciteit ontstaat wanneer ijzer neerslaat op de wortels en een zogenoemde ijzerplak vormt. Dit kan nadelige effecten hebben voor de groei van de plant aangezien het niet alleen een effectieve barrière vormt voor verdere opname van ijzer, maar ook voor nutriënten als stikstof en fosfaat. Een belemmering van groei is



AFBEELDING 2. | Installatie van een zandvanger op de Zandmotor voor biogeochemisch onderzoek naar ecologisch getransporteerd zand.



niet gunstig, omdat juist bij dit soort projecten planten worden ingezet om het zachte sediment te stabiliseren. Zo zijn planten al succesvol ingezet bij onder andere Waddeneilanden, oeverzones en kwelders. Relevant is dus ook de vraag of ijzeroxides gevormd worden en hoe oplosbaar die zijn onder de heersende bodemcondities.

Pyriet bevat niet alleen ijzer en zwavel maar ook toxische metalen (loïd) en als zink en arseen. De vraag is dus ook wat de gehalten aan sporenelementen zijn in pyriet en hoeveel hiervan gemobiliseerd wordt bij oxidatie. Bemonstering van ondiep grondwater en bodemvocht op de Zandmotor geeft aan dat grondwater-streefwaarden² geregeld overschreden worden voor met name Cr en Mo en in mindere mate voor As, Cu, Ni en Zn. In een enkel geval wordt ook de interventiewaarde² overschreden. Een vergelijkbare bevinding is gemaakt bij twee traditionele zandsuppleties langs de kust en een natuurlijk strand (Pit *et al.*, publicatie in voorbereiding).

Fosfaat

Bij BwN projecten met een component van natuurontwikkeling speelt natuurlijk de beschikbaarheid van nutriënten. De beschikbaarheid van fosfaat is hierbij sterk mineralogisch bepaald: zit het fosfaat gebonden aan of in ijzeroxides, zit het als onzuiverheid in kalk of komt het voor als eigen mineraal met Ca, Fe of Al? Mineralogisch onderzoek hieromtrent is lastig want de fosfaatgehalten zijn normaal gesproken laag en röntgendiffractie werkt dan niet als analysetechniek. De pragmatische oplossing is dan om selectieve extracties uit te voeren aan sedimentmonsters waarmee o.a. Ca-, Fe- en organisch-gebonden fosfaat bepaald kunnen worden. Eerste resultaten geven aan dat de beschikbaarheid van fosfaat voor het Zandmotorzand anders is dan voor de duinen. Verder onderzoek is momenteel in uitvoering en de duinbeheerders zijn gespitst op de uitkomsten.

Grote regionale verschillen in beschikbaarheid zijn gevonden voor sediment in het Markermeer. Zo is het fosfaat in het zuiden met name gebonden aan ijzer en zit het in het noorden veelal in kalk. Met name wanneer er sprake is van ijzertoxiciteit in planten, maakt het nogal wat uit in hoeverre het fosfaat

in de bodem is gebonden met ijzer. Onderzoek van Saaltink *et al.*, (2016b) toont aan dat wanneer er veel Fe-gebonden fosfaat in het sediment aanwezig is, de chemische samenstelling van de ijzerplak op de wortels verandert met nadelige gevolgen voor de nutriëntenopname in riet (*Phragmites australis*; Afb. 1). Aangezien de geochemische compositie van het sediment in het Markermeer van plek tot plek verschilt, met sterke regionale verschillen in gehalten Fe-gebonden fosfaat en ijzeroxide, is het raadzaam dit soort effecten in acht te nemen. De snelheid waarmee de pioniersvegetatie groeit op de Marker Wadden is gerelateerd aan het type sediment dat wordt gebruikt als bouw materiaal.

Kleizwelling

Bij kleirijke modder speelt consolidatie een grote rol: hoeveel klinkt het materiaal in, blijft het op termijn wel liggen of spoelt de modder terug het Markermeer in bij een novemberstorm? Bodemkundigen zijn zich bewust dat het zwel- en krimpgedrag van klei en leem mede bepaald wordt door de kleimineralogische samenstelling: hoeveel kaoliniet versus illiet versus montmorilloniet zit er in de grond? Geomechanici en hydraulici zijn zich hier ook wel bewust van, maar



AFBEELDING 3. | Voorbeeld van een sedimentkorstje zoals waargenomen op het pilot-eiland Oermoeras Markermeer in augustus 2015.



hebben hier toch weinig belangstelling voor getoond. Het kost niet veel moeite om enkele empirische metingen te doen bij een (waterbouw)project want de metingen waren relatief goedkoop. Deze empirische houding maakt het wel moeilijk om ervaringen over te dragen naar andere projecten en beperkt het procesmatige inzicht. Nu export van waterbouw-kennis een speerpunt is van ons innovatiebeleid is het ook gewenst om meer procesmatige kennis te hebben.

De kleimineralogie van sediment is steeds beter met röntgendiffractie te bepalen omdat de interpretatie van de röntgenscans steeds kwantitatiever en gestandaardiseerder is geworden (Zeelmaekers, 2011). Voor Nederlandse rivier- en zeeklei is de variatie in kleimineralogie enigszins beperkt (Griffioen *et al.*, 2016): illiet en smectiet met hun tussenliggende varianten zijn dominant, kaoliniet is normaal onder de 20%, chloriet zit normaal onder de 5%, vermiculiet komt in rivierklei voor tot een maximum van 10 - 20% en is waarschijnlijk geïllitiseerd in marien milieu. Illiet en smectiet zijn dus de dominante kleimineralen in de Nederlandse situatie en hebben uiteenlopend zwelgedrag; verschillen zijn dus te verwachten binnen Nederland. Veel meer hierover is anno nu niet te zeggen.



AFBEELDING 4. | Het veelvuldig voorkomen van ijzeroer en schelpen op de Zandmotor zoals waargenomen in augustus 2015. Op de achtergrond Kijkduin.

Organisch materiaal

Sedimentair organisch materiaal is geen mineraal maar je kan bij BwN projecten niet voorbijgaan aan organisch materiaal. In geval van de Zandmotor is de situatie nog betrekkelijk eenvoudig: de gehalten zijn uiterst laag. Bij de Marker Wadden is het een ander verhaal. Actuele kennisvraag is hoe de aanwezigheid van organisch materiaal de consolidatie beïnvloedt? Bodenvorming zal leiden tot productie van organisch materiaal en blootstelling aan de lucht kan aanleiding geven tot afbraak van oorspronkelijk aanwezig organisch materiaal. Wat wordt het resultaat?

Sedimentair organisch materiaal bestaat o.a. uit humus- en fulvuszuren die gebonden aan kleimineralen het zwelgedrag van het sediment beïnvloeden: ze neutraliseren de negatieve lading van kleimineralen en heffen daarmee ook de onderling afstotende werking van de kleideeltjes meer of minder op. Sedimentair organisch materiaal kan ook als zogenaamd hydrofoob black carbon voorkomen en stoot dan dus heel erg water af. Voor de consolidatie zijn dit belangrijke verschillen. Voorlopige experimenten met modder van het Markermeer geven aan dat het krimpgedrag van modder waaruit het organische materiaal verwijderd is, nogal anders is dan van de oorspronkelijke modder.

Bij de initiële verwerking van modder zoals van het Markermeer, kan zich ook een korstje vormen op de bagger (Afb. 3). Zo'n korstje beschermt de onderliggende bagger tegen erosie, ook als dat materiaal nog een hoog watergehalte heeft. Het kan daarnaast ook de aeratie beperken door de verminderde doorlatendheid. Het wel of niet vormen van een korst is dus ook een belangrijke vraag voor de bestendigheid van de Marker Wadden-eilanden.

Ijzeroer en schelpen

Onvoorzien bij de Zandmotor was de observatie dat er schelpen en ijzeroerbrokken aan het oppervlak liggen en dat dit in de afgelopen 5 jaar sterk is toegenomen (Afb. 4). De achterliggende reden is makkelijk te verzinnen: ze zijn groter dan het zand en blijven selectief op hun plaats liggen bij winderosie. Meer of minder schelpen en ijzeroer maakt dus uit bij

de temporele ontwikkeling van een Zandmotor. De samenstelling van het ijzeroer doet er ook toe: ijzeroer kan betrekkelijk hoge gehalten aan (toxische) sporenelementen als arseen bevatten (o.a. Joosten, 2004). De Zandmotor is ook een recreatiegebied en vormt de aanwezigheid van ijzeroer dan een gezondheidkundig risico? RIVM heeft hier onderzoek naar gedaan met ondersteuning van UU en Deltares (Van Bruggen *et al.*, 2014). De uitkomst is dat alleen wanneer jonge kinderen uren per dag en weken lang met deze brokken zouden spelen en daarbij het ijzeroer veelvuldig in hun mond zouden krijgen, het risico in de buurt kan komen van het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR) voor arseen. Dit scenario is in de praktijk niet realistisch, wat betekent dat kinderen de facto zonder problemen op de Zandmotor kunnen spelen.

Algemene conclusie

Bij Building-with-Nature projecten doet het er toe wat de mineralogische samenstelling van het sediment is. Dit heeft effect op de milieu(geo)chemische risico's, de natuurontwikkeling en de consolidatie en stabiliteit. Het kan daarnaast ook effect hebben op de morfologische ontwikkeling. Mineralogische en bijbehorende geochemische karakterisering zou dus standaardonderdeel moeten zijn van de beginfase van BwN projecten



AFBEELDING 5. | Boren op de Zandmotor voor bemonstering van zand en grondwater.

(Afb. 5). Daarnaast zijn er bij de inzet van sediment in BwN projecten allerlei fundamentele kennisvragen waarbij mineralogie een rol speelt. Dit geldt in het bijzonder voor het veralgemeniseren van kennis over het consolidatiegedrag van slappe bagger.

¹ STW = Stichting Toegepaste Wetenschap, onderdeel van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek.

² De streef- en interventiewaarde zijn milieukundige referentiewaarden voor de kwaliteit van het grondwater. Streefwaarden geven het niveau aan waarbij de functionele eigenschappen van het grondwater voor mens, dier en plant volledig aanwezig zijn. Bij overschrijding van de interventiewaarde spreekt men van een ernstige verontreiniging en zijn de functionele eigenschappen van het grondwater voor mens, dier en plant (mogelijk) ernstig verminderd (<http://www.rivm.nl/rvs/Normen/Milieu/Bodeminterventiewaarden>).

LITERATUUR

- Griffioen, J., G. Klaver & W. Westerhoff, (2016). *The mineralogy of suspended matter, fresh and Cenozoic sediments in the fluvio-deltaic Rhine-Meuse-Scheldt-Ems area, the Netherlands: An overview and review*. *Neth. J. Geosci.* (95), 23-107.
- Joosten, I. (2004). *Technology of early historical iron production in the Netherlands*. Ph.D.thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, the Netherlands, 132 pp.
- Pit, I.R., J. Griffioen & M. Wassen, (2016). *Environmental geochemistry of a mega beach nourishment in the Netherlands: monitoring freshening and oxidation processes*. Submitted.
- Saaltink, R., S.C. Dekker, J. Griffioen & M.J. Wassen, (2016a). *Wetland eco-engineering: measuring and modeling feedbacks of oxidation processes between plants and clay-rich material*. *Biogeosciences* (13), 4945-4957.
- Saaltink, R.M., S.C. Dekker, M.B. Eppinga, J. Griffioen & M.J. Wassen, (2016b). *Experimental testing of iron toxicity for three wetland species grown on iron-rich sediments*. Submitted.
- Van Bemmelen, J.M. (1863). *Bouwstoffen tot de Kennis van de Kleigronden in de provincie Groningen*. Scheikundige Verhandelingen en Onderzoekingen, deel III, stuk 2, blz. 146-154 en 216-249.
- Van Bruggen, M., F.A. Swartjes, P.J.C.M. Janssen, I.R. Pit, J. Griffioen & J. Spijker, (2014). *Beoordeling gezondheidsrisico's van arseen op de Zandmotor*. RIVM, Universiteit Utrecht, Deltares, briefrapportno. 2014-0063, 42 pp.
- Van Gaans, P.F.M., J. Griffioen, G. Mol & G.T. Klaver, (2011). *Geochemical reactivity of subsurface sediments as potential buffer to anthropogenic inputs: a strategy for regional characterization in the Netherlands*. *J. Soils Sed.* (11), 336-351.
- Zeelmackers, E. (2011). *Computerized qualitative and quantitative clay mineralogy. Introduction and application to known geological cases*. Ph.D thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, 397 pp.

