

## Geokunststoffen en de bijdrage aan de circulaire economie

Ir. M. Nods  
Nods Consultancy



Ir. S. van Eekelen  
Deltares, TU Delft



Figuur 2 – Detail plaatsing zandzakken

Bron fig. 1 en 2: <https://beeldbank.rws.nl>,  
Rijkswaterstaat / Afdeling Multimedia Rijkswaterstaat

Figuur 1 – Dragline op schotten Pluimpot 1957.

### Pionieren met geokunststoffen

Geokunststoffen zijn niet meer weg te denken in de praktijk uit de civiel ingenieur. In het verleden is dit wel anders geweest. Door het ontbreken van kennis, positieve ervaringsvoorbeelden en onderzoeksresultaten was de toepassing in de pioniersjaren '60 en '70 van de vorige eeuw slechts weggelegd voor een handvol enthousiaste doorzetteren aan de aanbiederskant en een aantal moedige ingenieurs, die hun rol als ingenieur letterlijk namen en wel in waren voor innovaties. De eerste grootschalige toepassingen van geotextielen (destijds technische weefsels) gaan terug tot late jaren 50 en de vroege jaren '60 van de vorige eeuw. In Nederland werd in 1957 De Pluimpot afgesloten met zandzakken (figuur 1 en 2) en in het noorden van Duitsland werd in 1963 het Rüstersieler Watt

ten noorden van Wilhelmshafen ingepolderd. Daarbij werden 25000 big-bags (1 m<sup>3</sup>) uit nylon en stabiliteitsweefsels ingezet bij de bouw van de dijken (figuur 3 en 4).

Nederland bleef niet achter, getuige de grootschalige toepassing van geotextielen bij de Oosterschelde Stormvloedkering in de zeventiger en tachtiger jaren (Bezuijen en Pilarczyk 2012). Een belangrijke aanjager in die tijd was Gert den Hoedt.

### Voortrekkersrol van Nederland in Europa

Dit heeft uiteindelijk in Nederland geleid tot de oprichting van de NGO in 1983 (Geokunst 4, oktober 2008) met als doelstelling het bevorderen van de kennis en de verantwoorde toepassing van

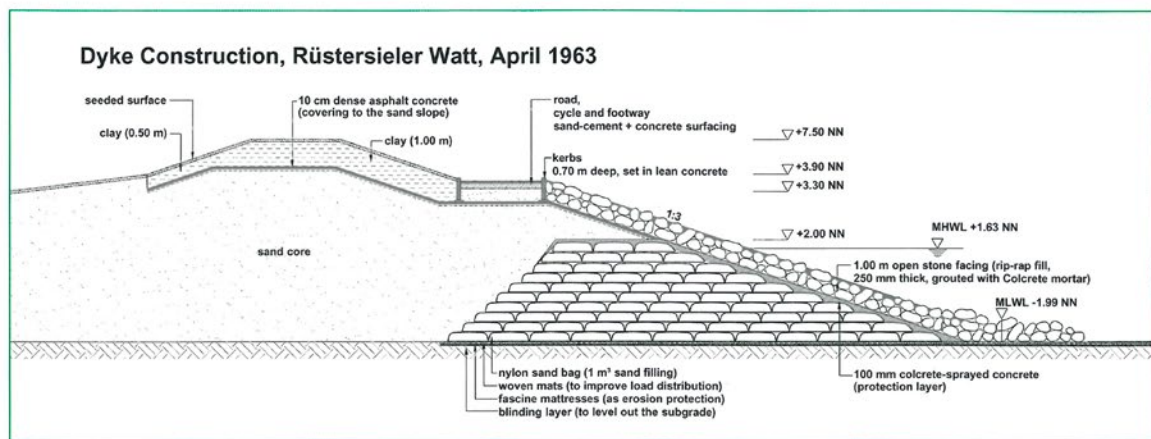
geokunststoffen. We zijn deze pioniers veel dank verschuldigd, want geokunststoffen bieden de ingenieurspraktijk nu een hele rij van voordelen, variërend van winst op de vlakken van kostenbesparing tot winst in uitvoeringstijden, ecologie (carbon footprint) en duurzaamheid, omdat minder beslag wordt gelegd op primaire grondstoffen.

De NGO heeft in Nederland het enthousiasme kunnen kanaliseren en stimuleren op de vlakken onderzoek, onderwijs, lezingen en publicaties. Daarnaast heeft de NGO ook een belangrijke rol bij de ontwikkeling van norm en regelgeving in samenwerking met de NEN, CUR en CROW. De voortrekkersrol van Nederland in Europa werd jarenlang bekrachtigd in de vorm van het voorzit-

### Samenvatting

Nederland heeft een belangrijke rol gespeeld in de ontwikkeling van toepassingen van geokunststoffen. De eerste toepassingen in Nederland dateren van ruim 50 jaar geleden. In dit artikel gaan Max en Suzanne in op de voortrekkersrol, die Nederland heeft gespeeld in de mondiale ontwikkeling van het toepassen van geokunststoffen. Deze ontwikkelingen zijn in de experimentele sfeer begonnen met pioniers als Gert den Hoedt, Koos Mouw en Koos van Harten. Gedurende

het lange ontwikkelingsproces heeft Nederland veel onderzoek geïnitieerd en een belangrijke bijdrage geleverd aan het ontwikkelen van (internationale) normen en aanbevelingen met betrekking tot toepassingsgebieden en ontwerp van constructies met geokunststoffen. Het gebruik van constructiemethodes waarbij grondstoffen worden gespaard sluit aan bij de maatschappelijke ontwikkelingen van de laatste decennia en de essentie van de circulaire economie.



Figuur 3 – Rüstersieler Watt, ontwerp-tekening.

terschap van de Europese Normeringscommissie voor Geokunststoffen (CEN TC189) door professor Adam Bezuijen.

### De circulaire economie volgens Herman Wijffels

Het begrip circulaire economie wordt sterk gepromoot door Herman Wijffels (2012). Hij betoogt dat het individualisme van the survival of the fittest is achterhaald en dat samenwerken nodig is voor the survival of the species. Dit heeft ook gevolgen voor onze economie. Het huidige, lineaire economisch model heeft volgens Wijffels zijn langste tijd gehad. We kunnen niet langer grondstoffen gebruiken en nadat we er klaar mee zijn weggooiden. Een circulaire economie heeft de toekomst. De essentie is volgens Wijffels dat we "de natuur zo behandelen dat we haar niet uitputten, maar zo mogelijk versterken." In welke mate kunnen geokunststoffen bijdragen aan de circulaire economie?

Nu de praktijk vele geokunststof oplossingen heeft omarmd, is de vraag actueel welke ontwikkelingen en innovaties zijn te verwachten. In dit artikel wordt een poging gewaagd om trends te grijpen en een voorzichtige voorspelling te doen vanuit de basisfuncties van geokunststoffen en de recente ontwikkelingen. In die discussies spelen



Figuur 4 – Rüstersieler Watt in uitvoering.

de aspecten van de circulaire economie volgens Herman Wijffels een belangrijke rol.

### Scheiden en filtreren

Twee van de oorspronkelijke functies van geokunststoffen betreffen scheiden en filtreren. Vaak worden deze functies in één product verenigd, vliezen (nonwovens) of weefsels (wovens). De voordelen werden al snel ingezien aangezien

minerale filters veel meer tijd en grondstoffen eisten en ook nog lastiger waren aan te brengen.

Bekende toepassingen zijn de zandzakken ter bescherming van kanaal- en rivieroeveren en andere waterwegen bij hoog water en de toepassing van geotextiel filters onder waterbouwstenen. Maar ook de toepassing van scheidingsdoeken tussen funderingslagen in de wegenbouw bewijst zich in



de praktijk. Hierdoor worden de mechanische eigenschappen van de funderingslagen beschermd tegen verontreiniging met fijne deeltjes uit de ondergrond. Tegenwoordig is dit een standaard toepassing.

Als gevolg van deze positieve ervaringen werden in diverse landen filterregels en even zovele testmethoden opgesteld. Dit heeft geleid tot een wildgroei aan regulering en testmethoden, verantwoord met verwijzingen naar lokale omstandigheden en grondeigenschappen. Een samenvatting van deze filterregels is gepubliceerd door Lawson (2012).

Uiteindelijk zijn in Europa door de werkgroep CEN TC189 de index testmethoden opgesteld, waarbij de specifieke grenswaarden en eisen door de ingenieurs zelf kunnen worden ingevuld. Hier vaart de praktijk wel bij. Voor deze functies worden zowel vliezen als weefsels toegepast, waarbij het duurzaam open blijven (filtreren) een punt van aandacht blijft, net als bij minerale filters.

Tegenwoordig wordt de scheidingsfunctie vaak gecombineerd met andere functies, zoals stabilisatie en wapening in de fundering van wegen en aardebanen. Soms worden daartoe geotextielen gecombineerd met geogrid wapening.

In de waterbouw worden industrieel geproduceerde composiet zandmatten toegepast bij plaatsing van onder water-bouwstenen in waterwegen. Hierbij komen de gecombineerde voordelen van minerale (gewicht!) en geotextiele filters tot uiting. Of filterdoeken worden gecombineerd met betonnen blokken (blokkenmatten), of matrassen gevuld met grout (geomatrassen) of granulaat (granulaatmatrassen). Ook kan genoemd worden de toepassing van geotextiele buizen (tubes) als

kernmateriaal in golfbrekers (Bezuijen en Vasten-burg 2012, Lawson 2012).

Recent onderzoek naar de vulgraad van geotextiele verpakkingssystemen (bags, tubes, containers) en de invloed van golfaanvallen daarop in Delft en Hannover is een fraai voorbeeld dat onderzoek niet meer specifiek op geokunststoffen alleen is gericht maar op het gezamenlijke composietgedrag met de omgeving (Bezuijen en Vasten-burg 2012, Recio et al 2007).

Onbewust dragen de geotextielen al jaren serieus bij aan de circulaire economie. Er zijn minder primaire grondstoffen nodig (zand, grind), en lokale gronden kunnen deels (her)gebruikt worden en hoeven niet afgevoerd te worden. Dat betekent ook aanzienlijke besparingen op het energiegebruik en heeft uiteindelijk een positief effect op de CO<sub>2</sub> footprint.

#### Draineren

Bij drainagesystemen creëert een combinatie van geotextiel filters, een plastic kern en/of een grid-net ruimte in de grond om water of gas te kunnen transporteren. Soms wordt een folie toegevoegd om het systeem in een richting ondoorlatend te laten zijn. In feite zijn drainagesystemen geocomposieten.

De noodzaak om vanuit geotechnisch oogpunt een duurzame situatie te hebben zonder hoge grondwaterspanningen, spreekt voor zich. Helaas komt het regelmatig voor dat in ontwerpen of in de uitvoering nog niet voldoende rekening wordt gehouden met (tijdelijk) mogelijke wateroverspanningen gedurende de levensduur van de constructies en de daarmee verbonden stabiliteitsproblemen. Aandacht voor deze aspecten

betaalt zich uit. Een uitgebreid onderzoek in Amerika naar het falen of ontoelaatbaar vervormen van gewapende grondconstructies gaf aan dat in 70% van de gevallen waterspanningen het probleem waren (Koerner et al 2010).

Bekende toepassingen in Nederland zijn verticale drainage voor versnelde consolidatie van slappe ondergrond, drainage achter keerwandconstructie en funderingswanden, langs (spoor)wegen, onder kustbekleding en oeververdedigingen. Maar ook het verontreinigd percolaatwater en de ontgassingsdrainage in stortplaatsen.

Punten van aandacht in de verdere ontwikkeling van drainagesystemen zijn het duurzaam functioneren van geotextiele filters (mogelijk dichtslibben), de kruip van de kernmaterialen (duurzaam waarborgen van ruimte), biologische aantasting van de filters, maar in de uitvoering ook het op de juiste manier aanbrengen van de drainage om duurzaam te kunnen functioneren.

Een mogelijke ontwikkeling bij tijdelijke toepassingen kan zijn het verwerken van biologisch afbreekbare materialen als grondstof voor de geotextielen of de drainagekern. Te denken valt bijvoorbeeld aan verticale drainage voor de versnelde consolidatie van slappe ondergrond. Dit betreft een tijdelijke functie waardoor de grondstoffen biologisch mogen afbreken. Zeker bij de aanleg of verbreding van waterkeringen een interessante mogelijkheid.

Door gebruik van geokunststof drainagesystemen kan op grind bespaard worden. En het versneld consolideren van slappe gronden betekent een aanzienlijke reductie van het ontgraven en afvoeren ervan. In andere woorden serieuze bijdragen aan de circulaire economie.

## Belangrijkste principes van de circulaire economie

1. Waardebehoud wordt gemaximaliseerd door eerst te kijken naar producthergebruik, vervolgens hergebruik van onderdelen en als laatste hergebruik van grondstoffen.
2. Producten worden zo ontworpen en gemaakt dat deze aan het eind van de gebruiksfase makkelijk demontabel zijn en materiaalstromen eenvoudig gescheiden kunnen worden.
3. Tijdens productie, gebruik en verwerking van het product worden geen schadelijke stoffen uitgestoten.
4. De onderdelen en grondstoffen van 'gebruiksproducten' (zoals een lamp) worden hergebruikt zonder kwaliteitsverlies (bijvoorbeeld in een nieuwe lamp, maar wellicht wel in een nieuwe laptop, bijvoorbeeld).
5. De grondstoffen van 'verbruiksproducten' (zoals tandpasta) zijn biologisch afbreekbaar en worden (na eventuele onttrekking van nog waardevolle grondstoffen) terugggegeven aan de natuur.
6. Producenten behouden het eigendom van gebruiksproducten, klanten betalen voor het gebruik ervan, niet voor het bezit.
7. Omdat de prestatie van het product de waarde bepaald, wordt het leveren van de juiste kwaliteit extreem belangrijk voor de producent.
8. Een van de meest belangrijke succesfactoren is (cross-sectorale) ketensamenwerking gericht op het creëren van meervoudige waarde. Hierbij vermeerderd niet alleen de economische waarde van alle bedrijven in de keten, maar ook de ecologische en sociale waarde.

### GEOKUNSTSTOFFEN EN DE BIJDRAGE AAN DE CIRCULAIRE ECONOMIE

#### Wapenen en stabiliseren

De wapenings- en stabilisatiefunctie heeft de laatste jaren in Geokunst veel aandacht gekregen. En terecht, want deze functies hebben economische voordelen en ze hebben zich in vele nieuwe toepassingen bewezen. Te noemen zijn in Nederland de onderzoeken naar en toepassingen van paalmatrasystemen (Van Eekelen et al. 2011a,b,c, Van Eekelen en Bezuijen, 2012, Van der Stoel et al., 2011), hooggefundeerde landhoofden (bijv. Lint-hof et al, 2013), ontlastingsconstructies (Van der Stoel et al., 2011) en funderingswapening en de wapening van aardebanen voor wegen en spoorwegen (CUR 175, 1995). Ook de CUR is actief met diverse commissies om de stand der techniek in aanbevelingen en richtlijnen samen te vatten.

Toepassing in waterkeringen blijft achter. Dit heeft te maken met de wettelijke verplichting om het duurzaam functioneren te kunnen toetsen. Hier ligt nog een ontwikkelingskans. Wellicht kan het integreren van meestsyste-men in de geokunststoffen hier een oplossing bieden. Deze meettechnieken zijn al uitgebreid onderzocht en doortwikkeld, bijvoorbeeld in de IJkdijk. Er staan meerdere pilot projecten in waterkeringen in de steigers, zie bijvoorbeeld [www.waterschap-rivierenland.nl/actueel/nieuws/@233416/belangstelling/](http://www.waterschap-rivierenland.nl/actueel/nieuws/@233416/belangstelling/).

Een minder belicht thema bij het wapenen en stabiliseren betreft de winst die gehaald kan worden op het vlak van de duurzaamheid en ecologie (CO<sub>2</sub> footprint). Door het hergebruik van lokale gronden en de toepassing van bijvoorbeeld AVI assen als aanvul- of funderingsmateriaal is het mogelijk de afvalstromen significant te reduceren. In diverse case studies van WRAP (2010) is vastgesteld dat de oplossing met geokunststoffen economische voordelen biedt ten opzichte van traditionele oplossingen. Denk bij traditionele oplossingen aan aanvoer van grind, zand, toepassing van beton. De kosten van geokunststof-oplossingen kunnen hierbij ruim 50% lager liggen en de duurzame voordelen (CO<sub>2</sub> footprint) variëren tussen de 30% en 90%!

Deze enorme voordelen kunnen worden gehaald omdat er:

- minder wordt ontgraven en minder aanvulmateriaal wordt geïmporteerd;
- minder reststoffen zijn en meer hergebruik van materiaal met lagere kwaliteit mogelijk is;
- minder gebruik van geselecteerde primaire grondstoffen noodzakelijk is;
- minder gebruik van staal en/of beton (ongunstige CO<sub>2</sub> footprint) nodig is.

In de toekomst zal nader onderzoek zich nog meer



Figuur 5 – 60 m hoge steile ophoging in Trento.

moeten gaan richten op dit gezamenlijk gedrag van geokunststof wapening met de geo-omgeving en de voordelen op het vlak van duurzaamheid (CO<sub>2</sub> footprint). Hierbij moet de kennis uit diverse disciplines worden gebundeld. De duurzaamheidsvoordelen zijn sensationeel te noemen en zouden nog meer onder de aandacht gebracht moeten worden. Een uitdaging ligt in het nog intensiever gebruiken van cohesieve gronden. Hier komen de economische en duurzame voordelen tot uiting en wordt de circulaire economie door hergebruik van die cohesieve gronden gestimuleerd. De risico's zullen in kaart gebracht moeten worden, en protocollen of richtlijnen voor het veilig toepassen ervan. Hergebruik van de lokale gronden of een CO<sub>2</sub> footprint zou bij iedere aanbesteding als wegingscriterium meegenomen moeten worden. Moderne contractvormen bieden die mogelijkheden.

#### Verpakken (geosystemen)

Lawson (2012) geeft een goede samenvatting van de stand der verpakings-techniek. Hij bouwt voort op ervaringen en onderzoek verricht en verzameld door Pilarczyk (2000). Ook Bezuijen en Vastenburg (2012, in het Nederlands CUR publicatie 217) geeft rekenregels en richtlijnen voor geosystemen.

De uitdagingen liggen hier meer op vlak van de uit-

voering van werken in de natte waterbouw, dan op het vlak van het functioneren van de geotextielen zelf. Zo blijkt de vulgraad van belang voor de duurzame stabiliteit van zandzakken (Recio et al. 2007). Een erg belangrijk voordeel van verpakken is dat men lokaal aanwezige grondstoffen kan gebruiken om flexibele erosie verdedigingswerken te bouwen.

Een actuele toepassing is het ontwateren van verontreinigd slib uit waterwegen, slibbekkens en/of zuiveringsinstallaties door middel van geotextiele buisvormige elementen (tubes). In combinatie met chemische en biotechnologieën (toevoegen van de juiste additieven en flocculanten) voor het binden en neerslaan van gesuspendeerde slibdeeltjes is een versnelde ontwatering en verwerking van het slib mogelijk. Op deze manier wordt het hoge energieverbruik van andere ontwateringsmethoden (filterpersen, centrifuge) voorkomen, en kan de gedroogde slib eventueel hergebruikt worden. Zowel het toepassen van lokale grondstoffen als het hergebruiken van slib dragen bij aan de circulaire economie volgens Wijffels.

Uitdagingen liggen bij het ontwikkelen van nieuwe producten voor het absorberen of binden van verontreinigingen. Te denken valt aan olie, maar ook aan het binden van radioactieve verontreiniging. Een volgende uitdaging zal vervolgens



liggen in het hergebruiken (circuleren) van de gebonden stoffen.

### Beschermen en erosieverdediging

De functie beschermen was actueel in de tijd dat er nog nieuwe stortplaatsen werden ingericht in Nederland. Denk hierbij aan bescherming van basis afdichtingen tegen puntlasten van drainagegrind. Dit is inmiddels achterhaald. De toepassing van extra dikke vliezen (nonwovens) als bescherming wordt nu wel toegepast als andere geokunststoffen beschermd moeten worden tegen directe contacten met ruwe en harde oppervlakten zoals bijvoorbeeld geogrids in contact met betonnen opzettegels op palen.

Voor duurzame erosieverdediging onder invloed van hydraulische belastingen worden regelmatig verpakingsoplossingen toegepast. In geval van oppervlakte erosie onder invloed van weer en wind heeft de erosieverdediging vaak een tijdelijke functie omdat de vegetatie op den duur die functie kan overnemen. Hier ligt het voor de hand om met biologisch afbreekbare materialen te werken.

### Marktcommunicatie en onderwijs

De sensationele voordelen van geosysteem oplossingen zijn nog niet voldoende breed in de bouwwereld en daar buiten bekend. Het 'plastic in de grond stoppen' heeft bij sommigen een negatief imago, ondanks het feit dat vele onderzoeken naar mogelijke uitlooeffecten geen verontrustende uitkomsten hebben laten zien. De duurzaamheid van polymeren is hoog. Indien we de geokunststoffen volledig zouden kunnen herwinnen en recyclen, zou het negatieve gevoel totaal veranderen. Hier ligt een kans!

Om de bekendheidsgraad verder te verbeteren, zijn op het vlak van onderwijs en kennisoverdracht nog stappen te zetten. Naast bestaande mogelijkheden (onderwijsinstellingen, vakbladen als Geotechniek en Geokunst, NGO/CUR/CROW, workshops, lezingen en congressen) valt te denken aan Youtube college's, LinkedIn discussiegroepen, Twitter en ook de interactieve web blogs. Diverse bedrijven leveren op dit vlak al positieve bijdragen. Mogelijk kan de NGO in samenwerking met de CUR hier ook een actieve rol in spelen. Er is een tendens waarneembaar van verschuiving van wetenschappelijk kwalitatieve bijdragen van geokunststof vakcongressen (zoals de internationale IGS congressen) naar congressen met brede toepassingen zoals internationale geotechniek congressen. Dit past ook in het beeld van de verschuiving van aandacht voor product naar aandacht voor toepassing en onderhoud in de geo omgeving.

### Bijdragen aan de circulaire economie

Een van de pijnpunten in het huidige economische bestel is het hoge gebruik van primaire grondstoffen. Door de groei van de wereldbevolking en de huidige welvaart is de vraag naar grondstoffen dusdanig toegenomen, dat letterlijk de bodem in zicht is. Dit dwingt tot een creatiever gebruik van de bestaande grondstoffen, waarbij de geokunststofoplossingen een significante bijdrage kunnen leveren.

Geokunststoffen werken vaak kostenreducerend in vergelijking met traditionele oplossingen. Zo zijn bijvoorbeeld gewapende grond keerwanden 30 tot 40% goedkoper in vergelijking met betonnen keerwandconstructies. Hierdoor blijft een deel van het budget beschikbaar voor andere werken of onderzoek naar innovatieve (ecologische) systemen.

Daarnaast heeft het gebruik van geokunststof oplossingen een aanzienlijk lagere CO<sub>2</sub> footprint (in sommige gevallen oplopend tot 90%!)) dan traditionele oplossingen met een hoge belasting op primaire grondstoffen. Ook wordt hergebruik van afvalstoffen deels mogelijk gemaakt. De natuur wordt versterkt (figuur 5).

De financiering van onderzoek zal nog meer dan nu worden overgelaten aan het bedrijfsleven. Door de huidige financiële en economische crisis zijn financiële instituten zeer terughoudend met het financieren van innovaties. De overheid zal zich nog meer terugtrekken dan nu al het geval is, en initiatieven overlaten aan het bedrijfsleven. De kunst zal dus zijn om voor innovatieve ideeën partijen en financiering bijeen te brengen via netwerken en samenwerkingsverbanden.

In wezen worden vergelijkbare initiatieven door de CUR genomen, waarbij marktpartijen bijeen worden gebracht uit de aannemerij, de adviesbranche, kennisinstituten, de producenten en de overheid. Het accent van de CUR ligt echter meer op de ontwikkeling van normen en richtlijnen voor al ontwikkelde oplossingen, en minder op productontwikkeling zelf. De organisatorische vormgeving en financiering van productontwikkeling in open structuren met meerdere marktpartijen in netwerkorganisaties is een uitdaging voor de komende decennia.

Welke knelpunten moeten we overwinnen? Dat zijn er heel wat. Denk aan: het korte termijn denken van ondernemingen, haalbaarheidscriteria op basis van financiële criteria en niet op basis van ecologische criteria, het gesloten denken in termen van bezit, angst voor concurrentie, het gevaar voor bestaande kernactiviteiten (bijvoorbeeld grondverzet bij baggeraars, of betonproducenten), en het vinden van de juiste partners waarmee

win-win situaties gecreëerd kunnen worden.

De overheid moet een sturende rol vervullen door het opnemen van duurzaamheidseisen in functionele specificaties van werken, en deze criteria waarderen in gunningsprocedures. Hier ligt een uitdaging voor de overheid.

### Referenties

- Bezuijen, A. and Vastenburg E.W. (2006) Ontwerpen met geotextiele zand elementen, CUR publicatie 217.
- Bezuijen, A. and Pilarczyk, K.W. (2012). Geosynthetics in hydraulics and coastal engineering: Filters, revetments and sand filled structures, Educational session. 5th European Geosynthetic Congress, Valencia
- Bezuijen, A. and Vastenburg E.W. (2013). Geosystems design rules and applications, CRC press. ISBN 9780415621489.
- CUR Aanbeveling 217 (2006). Ontwerpen met geotextiele zandelementen.
- CUR 175 (1995). Geokunststoffen in de wegenbouw en als grondwapening
- Koerner, R.M. and Koerner, G.R. (2010). GRI Report Nr 40.
- Lawson, C. (2012). Geosynthetics for riverbank and coastal protection in Asia; 5th Asian Regional Conference on Geosynthetics, GEOSYNTHETICS ASIA 2012, Keynote lecture.
- Linthof, T., Brok, C., Van Duijnen, P.G., Van Eekelen, S.J.M., 2013, Realisatie Rijksweg 74 Venlo, Deformatiemetingen unieke tien meter hoog gewapende grondwand, april 2013, pp. 46-50.
- Pilarczyk, K.W. (2000). Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering. Balkema, Rotterdam
- Recio, J. and Oumeraci, H. (2007). Effect of deformations on hydraulic stability of coastal structures made of geotextile sand containers. Geotextile and Geomembranes, 25, (4-5): 278-292.
- Van der Stoel, A., Brok, C., De Lange, A., 2011, Granulaatmatras op Slanke Palen (GSP) voor de kruising Hanzelijn Lelystad-Zwolle met spoorlijn Amersfoort-Zwolle, GeoKunst oktober 2011, pp. 50-53.
- Van Eekelen, S.J.M. et al. 2011a,b,c: drie artikelen over paalmatrasen in GeoKunst april 2011 en juli 2011
- Van Eekelen, S.J.M. en Bezuijen A. et al., 2012d, Dutch research on basal reinforced piled embankments, GeoTechniek special, July 2012, pp. 12-17
- Wijffels, H. 2012. Lowlands University College 2012, [www.youtube.com/watch?v=YE8u\\_5Kab3Y](http://www.youtube.com/watch?v=YE8u_5Kab3Y)
- WRAP Material change for a better environment (2010). Geosystems Report, Febr. 2010. ●