

JAARGANG 23 NUMMER 1 MAART 2019

Geotekunst

ONAFHANKELIJK VAKBLAD
VOOR GEBRUIKERS VAN
GEOTEKUNSTSTOFFEN



**KLIMAATVERANDERING EN WEERSEXTREMEN:
TOEPASSING VAN GEOTEKUNSTSTOFFEN BIJ
WATERKERINGEN EN KUSTVERDEDIGING**

GEOKUNST WORDT MEDE MOGELIJK GEMAAKT DOOR:

Sub-Sponsors



Low & Bonar

Westervoortsedijk 73
6827 AV Arnhem
Tel. +31 (0) 85 744 1300
Fax +31 (0) 85 744 1310
info@lowandbonar.com
www.lowandbonar.com



NAUE GmbH & Co. KG

Gewerbestr. 2
32339 Espelkamp-Fiestel – Germany
Tel. +49 5743 41-0
Fax +49 5743 41-240
info@naue.com
www.naue.com

De collectieve leden van de NGO zijn:

CDR International BV, Rijssen
Cofra B.V., Amsterdam
Deltares, Delft
Enviro Quality Control BV, Maarssen
Fugro NL Land B.V., Leidschendam
Genap BV, 's Heerenberg
Geopex Products (Europe) BV,
Gouderak
GeoTec Solutions BV, Den Dungen.
GID Milieutechniek, Velddriel
Huesker Synthetic BV, Den Dungen
InfraDelft BV, Delft

Intercodam Infra BV, Almere
Juta Holland BV, Oldenmarkt
Kiwa NV, Rijswijk
Kwast Consult, Houten
Low & Bonar, Arnhem
Movares Nederland BV, Utrecht
Naue GmbH & Co. KG,
Espelkamp-Fiestel
Ooms Civiel BV, Avenhorn
Prosé Geotechniek BV,
Leeuwarden
Quality Services BV, Bennekom
Robusta BV, Genemuiden
S&P Clever Reinforcement
Company Benelux, Aalsmeer
T&F Handelsonderneming BV,
Oosteind
Ten Cate Geosynthetics
Netherlands BV, Nijverdal
Tensor International,
's-Hertogenbosch
Terre Armee BV, Waddinxveen
Vulkan-Europe BV, Gouda
Witteveen + Bos, Deventer



TenCate Geosynthetics

Netherlands BV

Europalaan 206
7559 SC HENGLO
service.nl@tencategeo.com
www.tencategeo.eu

Mede-ondersteuners



Enviro Quality Control B.V.

Daalseweg 1-B
3611 AA Oud-Zuilen
Tel. +31 (0)30 244 1404
mail@enviro-quality-control.nl
www.eqc.nu



Ooms Construction / Strukton Civiel

Scharwoude 9
1634 EA Scharwoude
Tel. +31 (0)229 54 77 00
info@ooms.nl
www.ooms.nl



CIVIL ENGINEERING

ENKAGRID® & ENKAMAT® VOOR GRONDWAPENING EN EROSIEBESCHERMING

EnkaGrid zorgt voor wapening van steile taluds in beperkte ruimte. EnkaMat aan de zichtzijde biedt bescherming tegen erosie, zorgt voor een begroeid talud en aantrekkelijke inpassing in het landschap.



Low & Bonar

Westervoortsedijk 73, 6827 AV Arnhem | T +31 85 744 1300
lowandbonar.com/civilengineering | civilengineering@lowandbonar.com

BESTE GEOKUNST LEZERS,

Op 16 november 2018 zagen wij elkaar bij de NGO-lezingenmiddag en de jaarlijkse ALV. Een drietal lezingen en excursie bij Deltares boden ons de laatste stand der techniek op het gebied van geokunststoffen. Max Nods gaf een mooi overzicht van internationale toepassingen van geokunststoffen voor kust- en oeverwerken. Verschillende in Nederland minder bekende oplossingen passeerden de revue, met mooi beeldmateriaal. Een uitdaging voor ons allen om ook voor de Nederlandse kust- en oeverwerken vaker creatieve oplossingen met geokunststoffen te realiseren.



Vervolgens nam Johan Pennekamp ons op enthousiaste wijze mee in de wereld van waterbouwkundige modellen en proeven op grote schaal, als inleiding op het bezoek aan de beide modelhallen van Deltares: de GEO-modelhal en de HYDRO-modelhal, en DeltaFlume, de grote golfgoot van Deltares. Suzanne van Eekelen ging vervolgens in op het experimenteel onderzoek dat Deltares uitvoerde voor geokunststoffen, zoals over het gedrag van geocontainers en geotubes onder golfaanvallen, het gedrag van een met geokunststof verankerde kistdamconstructie en dat van diverse dijkbekledingen onder golfbelastingen. Ook de paalmatras-proeven van Suzanne's promotie passeerden nog even kort de revue.

Heel wat wijzer konden we daarna de onderlinge contacten aanhalen bij de netwerkborrel en het aansluitende netwerkdiner.

Dit nummer van GeoKunst gaat over de uitdagingen om Nederland veilig en leefbaar te houden gezien de klimaatveranderingen. Rijk Gerritsen, Adam Bezuijnen en Kees Dorst beschrijven de achtergronden en gevolgen van de klimaatveranderingen en de toepassing van geokunststoffen om hiervoor gesteld te staan de komende decennia. Daarnaast worden kansrijke ontwikkelingen beschreven, die kunnen leiden tot een substantieel

betere, snellere en/of goedkopere aanleg van nieuwe waterkeringen, dijkversterkingen of kustverdediging. In de volgende GeoKunst zullen meer concrete toepassingen van geokunststoffen bij waterkeringen en kustverdediging aan de orde komen.

Veel leesplezier met deze GeoKunst,

Erik Kwast

Eindredacteur GeoKunst

COLOFON

Geokunst wordt uitgegeven door de Nederlandse Geotextielorganisatie. Het is bedoeld voor beleidsmakers, opdrachtgevers, ontwerpers, aannemers en uitvoerders van werken in de grond-, weg- en waterbouw en de milieutechniek. Geokunst verschijnt vier maal per jaar en wordt op aanvraag toegezonden.

*Eindredactie
Tekstredactie
Redactieraad*

**E. Kwast
J. van Deen
A. Bezuijnen
P. van Duijnen
M. Duškov
S. van Eekelen
P. ter Horst
Uitgeverij Educom**

Productie

Een abonnement kan worden aangevraagd bij:
Nederlandse Geotextielorganisatie (NGO)
info@ngo.nl
www.ngo.nl



Ing. Rijk Gerritsen
Low & Bonar /
Enka Solutions, Nederland



prof. dr. ir. Adam Bezuijen
Universiteit Gent en Deltares



Ir. Kees Dorst
Dorst Waterbouw Consult, Nederland

KLIMAATVERANDERING EN WEERSEXTREMEN: TOEPASSING VAN GEOKUNSTSTOFFEN BIJ WATERKERINGEN EN KUSTVERDEDIGING (DEEL 1)

Inleiding

Nederland leeft met water. Het veilig en leefbaar houden van ons land is in de komende decennia een grote opgave. Na de kritische periodes van hoogwater in 1993 en 1995 is CUR-publicatie 186 opgesteld, waarin het gebruik van geokunststoffen in dijkverbeteringen wordt beschreven. In februari 2012 hield de Nederlandse Geotextielorganisatie (NGO) een creatieve sessie met als thema 'Geokunst-stoffen in dijkversterking' (Van Eekelen e.a., 2012). Hierbij werd gesteld 'Een innovatie is pas een innovatie, als het idee succesvol is toegepast'. Beide activiteiten hebben tot nieuwe toepassingen van geokunststoffen geleid, maar het aantal toepassingen met geokunststoffen is nog steeds beperkt. Inmiddels is het 2019. De uitdagingen met waterkeringen en kustverdediging zijn aanzienlijk groter geworden. Is er al iets veranderd? Welke uitdagingen komen op ons af? Gezien alle te verwachten weersextremen: verdienen onze dijken nieuwe toepassingen van geokunststoffen?

Zeespiegelstijging

Zeespiegelstijging is één van de gevolgen van de opwarming van de aarde. Het effect op de aarde en de consequenties voor de mensheid zijn enorm. Vanuit de IPCC (Intergovernmental Panel on Climate

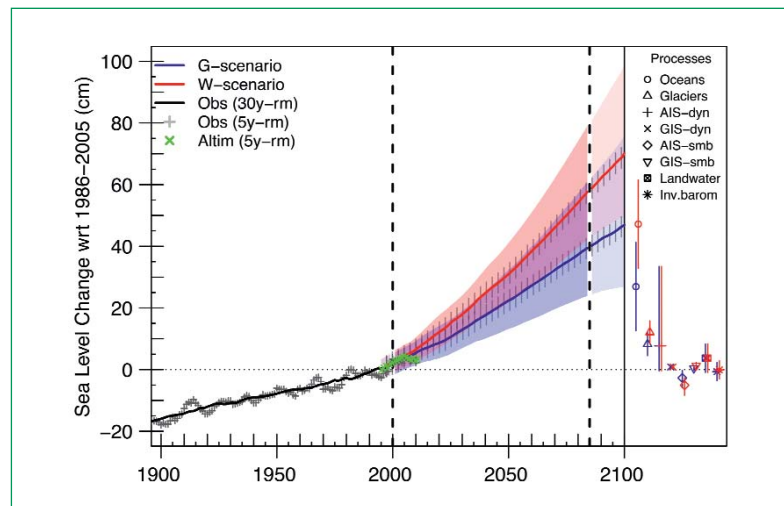
Change) zijn wereldwijde beschouwingen gemaakt met predicties van zeespiegelstijging tussen 0,4 m en 0,7 m tot 2100 afhankelijk van het klimaat-scenario (IPCC, 2014); figuur 1 toont een combinatie van metingen en predicties van de zeespiegelstijging. Een probabilistische studie uit 2017 geeft aan dat bij een versneld verlies van het landijs op Antarctica de verwachte zeespiegelstijging tot 2100 zelfs zou kunnen toenemen naar 1,8 meter (mediaanwaarde, scenario DP16, Le Bars e.a., 2017). Ter vergelijking: de wereldwijde zeespiegelstijging over de afgelopen 100 jaar was circa 0,2 meter. Evaluatie van gemeten zeespiegels tussen 1993 en 2018 laten een toename van circa 0,08 m over de laatste 25 jaar zien, waaruit de versnellende trend al blijkt (zie figuur 2, Australisch overheidsbureau voor meteorologie, CSIRO, 2018).

Effecten van klimaatverandering

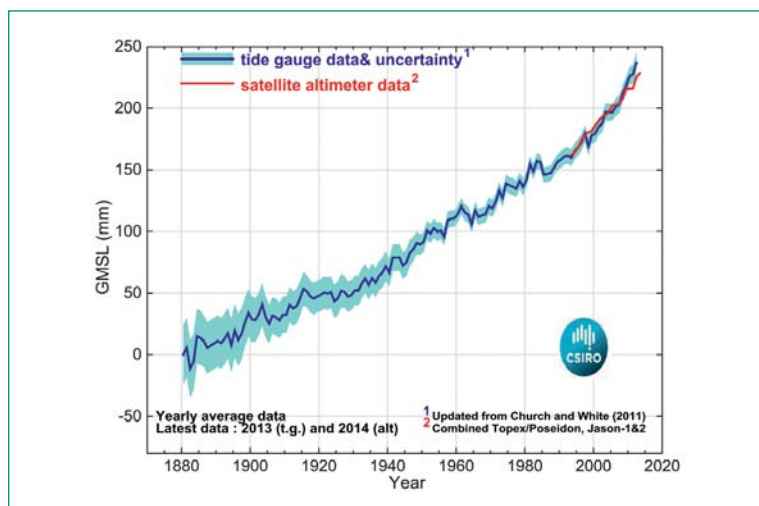
Genoemde predicties bevatten uiteraard onzekerheden, maar al wordt de zeespiegelstijging maar half zo veel, dan nog heeft dit significante gevolgen voor de veiligheid, leefbaarheid en houdbaarheid van woon-, werk en landbouwlocaties. Effecten als bijvoorbeeld duinafslag langs de Nederlandse kust als gevolg van hoogwatercondities zullen zich steeds vaker en intenser voordoen (figuur 3). De kosten voor het onderhouden van de Nederlandse

kustlijn zullen snel toenemen. Verder zal de zeespiegelstijging leiden tot een toename van zoute kwel (verzilting van het grondwater), met aanzienlijke gevolgen voor de landbouwproductie in de kustgebieden. Haasnoot e.a. (2018) hebben de mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor Nederland in kaart gebracht (figuur 4). Ze verwachten aanzienlijk meer zandsuppletie langs de kust, structurele maatregelen voor het op peil houden van de zoetwatervoorziening en waterveiligheid, nog hogere en bredere dijken, en aanzienlijk hogere frequenties in het sluiten van waterkeringen als de Maeslandkering en Oosterscheldekering.

Naast een verhoogde zeespiegel zijn er ook andere klimaateffecten zoals grotere extremen in het weertype met langere perioden van extreme droogte of juist hevige neerslag. Gezien de ligging van Nederland in de delta van Maas en Rijn zal aanhoudende extreme neerslag in de bovenstroomse gebieden frequenter leiden tot zeer hoge rivierwaterstanden. Kritische situaties met hoogwater in de rivieren zijn hiermee in de toekomst vaker te verwachten. Het tegenovergestelde kan ook: afgelopen jaar heeft Nederland reeds te maken gehad met een periode van extreme droogte, waarbij tussen mei en november



Figuur 1 – Compilatie metingen zeespiegel data en predicties voor de zeespiegelstijging tussen 1900 - 2100. Referentie: Hylke de Vries et al, KNMI, 2014.



Figuur 2 – Metingen zeespiegel 1880 – 2014 met versnellende trend over de laatste 25 jaar op basis van satelliet meetdata (rood). Referentie: CSIRO Australia, 2018.

SAMENVATTING

Door klimaatverandering is het veilig en leefbaar houden van Nederland een grote uitdaging voor de komende decennia. Zeespiegelstijging en frequentere uitzonderlijke weersomstandigheden zullen significante effecten hebben op onze waterkeringen. De komende decennia zal er een enorme versterkingsoperatie moeten plaatsvinden. Voor het verkleinen van de impact hiervan lopen meerdere innovatie-trajecten. In verschillende POV-onderzoeksprogramma's staan geokunststoffen op de kaart, maar de toepassing is tot dusverre beperkt,

terwijl het gebruik ervan kan resulteren in een substantieel betere, snellere en/of goedkopere aanleg van nieuwe waterkeringen, dijkversterkingen of kustverdediging. Het artikel gaat in op de problematiek en de effecten van klimaatverandering en de potentiële rol die geokunststoffen kunnen spelen.

Een vervolgartikel in de volgende GeoKunst zal uitgebreid ingaan op verschillende toepassingen van geokunststoffen bij waterkeringen en kustverdediging.

nagenoeg geen neerslag is gevallen. Hiermee beleefde Nederland in 2018 de droogste zomer sinds 1906. Uitdroging van waterkeringen kan desastreuze gevolgen hebben, zoals bleek bij het bezwijken van een veendijk bij Wilnis in 2003 (Onderzoekscommissie Wilnis, 2004). Maar denk ook aan verslechtering van de grasmatkwaliteit en uitdroging met scheurvorming in de water afsluitende kleilaag.

Bodemdaling

Behalve zeespiegelstijging is voor Nederland ook de autonome bodemdaling van belang. De oorzaken van bodemdaling kunnen liggen in onder andere mijnbouw, verlaging van grondwaterstanden, oxidatie of klink en krimp van voornamelijk slappe bodemlagen. Bodemdaling is op locaties in het Westland of Oost-Groningen groter dan 5 mm/jaar (figuur 5) en voor sommige gebieden zelfs 10-20 mm/jaar. De snelheid van bodemdaling is hiermee op deze locaties zelfs substantieel groter dan de snelheid van de zeespiegelstijging (!). De bodemdaling verloopt vooral in veen- en kleigebieden in het westen van Nederland sneller dan tot nu toe was aangenomen. Steeds meer wordt onderkend dat het om een serieus probleem gaat (De Ingenieur, 2018). Door de bodemdaling zakken poldergebieden dieper weg, waardoor het

waterstandsverschil over waterkeringen steeds verder toeneemt. Het effect van hogere waterstanden buitendijks en bodemdaling in de polders binnendijks werkt hierdoor dubbel negatief op de hydraulische belasting en leidt tot afname van de stabiliteit van waterkeringen.

Hoogwaterbeschermingsprogramma en POV-onderzoeksprogramma's

Nederland is kwetsbaar vanwege de enorme

lengte aan waterkeringen: totaal circa 3.600 kilometer primaire waterkeringen (duinen, zeedijken en rivierdijken) en circa 14.600 km regionale waterkeringen (dijken langs polders, kanalen en kleine rivieren). Zonder dijken en duinen zou circa 60% van ons land onder water staan. Het instandhouden van de waterkeringen is een grote opgave die met de klimaatverandering steeds ingrijpender zal worden. Samenwerking en kennisdeling tussen politiek (budgetten, prioritering), beheerders

Figuur 3 – Duinafslag na storm bij vuurtoren Egmond aan Zee.

Referentie: beeldbank.rws.nl, Rijkswaterstaat.

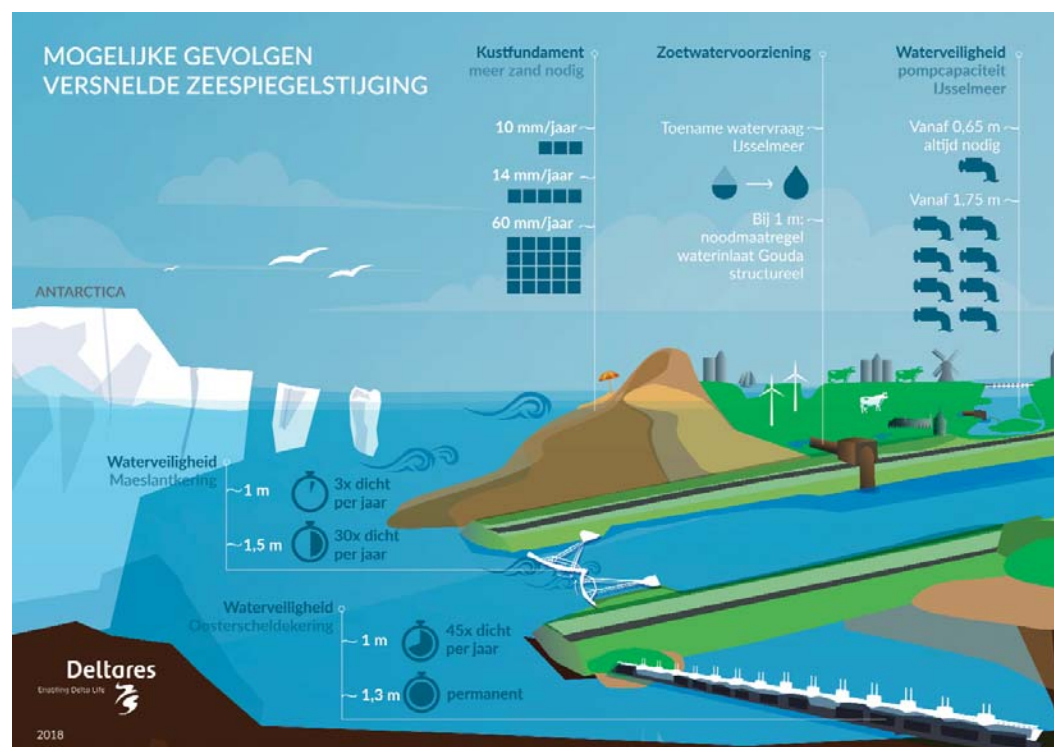
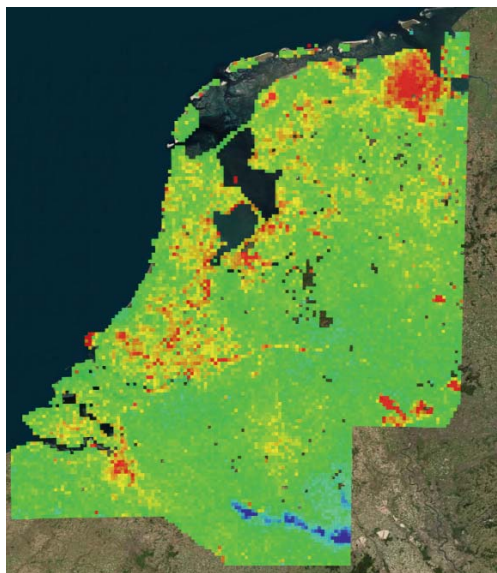


Figuur 4 – Mogelijke gevolgen Nederland bij versnelde zeespiegelstijging.

Referentie: Haasnoot e.a., Deltares, 2018.

Figuur 5 – Bodemdaling Nederland met gebieden in rood (>5 mm/jaar) en geel (>1 mm/jaar).

Referentie: Bodemdalingskaart.nl 2018.





Figuur 6 – Kustverdediging met toepassing van een non-woven geotextiel als filterconstructie onder stortsteen. Referentie: Low & Bonar



Figuur 7 – Zinkstuk met geotextiel onderlaag en rijshout vlechtwerk als filterconstructie onder stortsteen. Referentie: Kees Dorst

(organisatie en aansturing), kennisinstituten (fundamenteel onderzoek) en bedrijfsleven (toelevering en uitvoering) is hierbij van substantieel belang. Om tot samenwerking en kennisdeling te komen is het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) opgericht. Het HWBP betreft een alliantie tussen Rijkswaterstaat en alle waterschappen. Samen hebben zij onderkend dat innovaties nodig zijn om de opgave tijdig realiseerbaar en betaalbaar te houden. In het kader van dit programma lopen daarom verschillende Project Overstijgende Verkenningen (POV-onderzoeksprogramma's), waarbij onder andere de toepassing van niet-standaard technieken wordt onderzocht en beproefd in de praktijk. In verschillende commissies met deskundigen wordt gewerkt aan het opstellen van technische richtlijnen. Het HWBP werkt daarbij intensief samen met kennisinstituten en het bedrijfsleven om onderzoek en innovaties te stimuleren. Het doel daarbij is om waterkeringen en kustverdediging beter, sneller en goedkoper te realiseren.

Waterkeringen en geokunststoffen

Geokunststoffen kunnen bijdragen aan een groot aantal functies, van erosiebescherming, versterking, scheiding, afdichting, drainage tot filtratie. Verschillende POV-onderzoeksprogramma's gaan dan ook in op de mogelijkheden van het gebruik van geokunststoffen bij waterkeringen. Lange tijd zijn waterkeringen traditioneel aangelegd, waarbij het beleid was om de waterkering op te bouwen met natuurlijke materialen als zand en klei (Handboek dijkenbouw, 2018). Het aanbrengen van bodemvreemde materialen werd zo veel mogelijk vermeden. De achterliggende gedachte was dat die waterkeringen er al eeuwen liggen en duurzaamheid van bodemvreemde materialen altijd minder is dan die van zand en klei. Verhoogde veiligheids-eisen, eisen voor het behoud van het landschap en bebouwing, bodemdaling, de toenemende zeespiegelstijging en andere klimaateffecten maken echter dat de complexiteit van dijkversterkingen steeds meer toeneemt. Hierdoor is op veel plaatsen een versterking met alleen zand en klei niet meer haalbaar.

Sinds de jaren 2000 heeft een geleidelijke omslag in denken plaats gevonden en worden alternatieve en innovatieve technieken steeds meer gezien als noodzakelijk en zelfs gewenst. Omdat ook de kennis over de levensduur van alternatieve constructies is toegenomen, kunnen deze nu als langetermijnoplossing worden toegepast. Verschillende innovatie-trajecten als Inside (CUR 219, 2007) en POV-onderzoeksprogramma's (POV Drainagetechnieken, 2018; POVM grondverbeteringen, 2018; Ontwerp- en beoordelingsrichtlijn Verticaal Zanddicht Geotextiel, 2017) geven hierbij een belangrijke stimulans voor de inzet van alternatieve technieken. Dit heeft geleid tot toepassing van bijvoorbeeld stalen damwanden,

Omschrijving	Toepassing
Erosiebescherming met 3D-structuurmatten	Nieuw
Steile taluds en (keer)wanden in gewapende grond met geogrids	Nieuw
Stabiliteit ophogingen op slappe ondergrond met hoge sterkte grondwapening	Bestaand
Filterconstructies onder stort- of zetsteen	Bestaand
Kustverdediging met zand gevulde geotextiele zakken, tubes of containers	Nieuw
Ontwatering van baggerspecie met geotextiele tubes ingebouwd in waterkering	Nieuw
Beheersing waterstandverschillen met 3D-drainagematten of filterdoeken.	Nieuw
Consolidatie slappe bodemlagen onder waterkering met verticale drains	Bestaand
Waterremmende lagen met bentonietmatten of folie	Nieuw
Anti-piping constructie met Verticaal Zanddicht Geotextiel (VZG) of bentonietmatten	Nieuw

zware combi-wanden, diepwanden, betonnen L-wanden, mixed-in-place technieken, stalen verankeringen, dijkdeuvels, etc. Geokunststoffenspielen hierin tot op heden een beperkte rol, behalve in bepaalde toepassingen zoals onder steenbestortingen en steenbekledingen op taluds of in zinkstukken (zie figuur 6 en 7). Deze toepassingen worden gebruikt sinds de jaren '70 en zijn sindsdien doorontwikkeld en algemeen geaccepteerd.

Tabel 1 geeft een overzicht van mogelijke toepassingen van geokunststoffen bij waterkeringen en kustverdediging in Nederland. Per toepassing is aangegeven of er ervaring mee is of dat de oplossing relatief nieuw is of in ontwikkeling. In veel toepassingen is er wel ruime ervaring in bijvoorbeeld de infrastructuur, waterbouw of milieutechniek, maar nog niet specifiek bij waterkeringen. Andere toepassingen zijn gedaan in het buitenland, maar nog niet in Nederland. Sommige toepassingen zijn een of enkele malen gebruikt in een (proef)- project, maar grootschalige toepassing is er nog niet van gekomen. In een dergelijk geval is de toepassing in tabel 1 geclassificeerd als 'nieuw'. Voor brede acceptatie en toepassingen moeten hier nog grote stappen gezet worden. Al met al lijkt het erop dat sommige toepassingen van geokunststoffen bij waterkeringen in het buitenland reeds verder zijn doorontwikkeld, en dat we in Nederland 'achterop' dreigen te raken.

Waterkeringen en gewapende grond

Waterkeringen zijn vaak gebouwd op een slappe ondergrond. Wanneer hierin een harde constructie als bijvoorbeeld een damwand wordt toegepast, dan blijkt uit berekeningen dat deze zwaar belast wordt, omdat dit een relatief stijve constructie is in de waterkering. Geokunststof gewapende grond kenmerkt zich door het feit dat deze constructie over het algemeen flexibel is en kan vervormen samen met de ondergrond. Met behulp van eindig-elementen-modellen (EEM) kan de krachtwerving, vervorming en interactie tussen grond en geokunststoffen in detail onderzocht worden.

Door de interactie met het dijklichaam en de ondergrond trekken de met geokunststof gewapende grondconstructies aantoonbaar minder belasting naar zich toe dan damwanden of stalen verankeringen. Door de interactie tussen grond en geokunststoffen gedragen de constructies met geokunststof zich als een blokstabilisatie met aanzienlijke herverdelingscapaciteit. Dit maakt geokunststoffen (theoretisch) op voorhand geschikter voor dijkversterkingen. Vanuit ervaringen in Japan is bekend dat gewapende grondconstructies zich ook bijzonder stabiel gedragen tijdens aardbevingen (Bezuijzen e.a., 2018). In dit opzicht biedt het toepassen van steile taluds en (keer)-wanden in gewapende grond extra mogelijkheden voor waterkeringen in gebieden met risico's op aardbevingen, zoals bijvoorbeeld Oost-Groningen.

De toepassing van grondwapening bij dijkversterkingsprojecten zou op sommige plaatsen een alternatief kunnen zijn voor (dure) damwandconstructies. Een uitgebreid overzicht van mogelijkheden, onderzoek en berekeningen is opgenomen in de recent uitgebrachte publicatie over kerende constructies van gewapende grond (CUR-rapport 198, 2018).

Kruinverhoging met gewapende grondconstructie

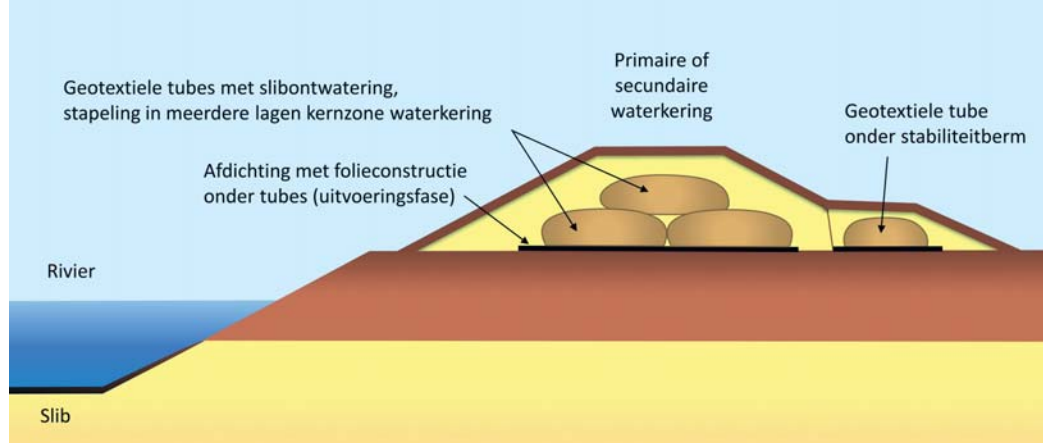
Bij de dijkversterking Kinderdijk-Schoonhovenseveer (KIS) zijn in 2017-2018 over verschillende secties gewapende grondconstructies toegepast (figuur 8). Dit is in Nederland één van de eerste steile groene wandconstructies met geogrids in een primaire waterkering. De steile wandconstructie is gebruikt voor het realiseren van een kruin-

verhoging ten behoeve van het faalmechanisme overloop/overslag en is gepositioneerd aan de binnenwaartse zijde. Door aanwezigheid van wegen, fietspaden en woningen was ter plaatse van dijkvak Nieuw-Lekkerland de beschikbare ruimte voor een kruinverhoging zeer beperkt. In eerste instantie was hiertoe een oplossing voorzien met betonnen L-wanden. Uiteindelijk is gekozen voor een groene steile wandconstructie over een totale lengte van circa 750 meter. De constructie is flexibeler (in staat om beweging van dijk/ondergrond te volgen) dan een betonnen constructie. Het is een voorbeeld van duurzaam bouwen (merendeels gebruik van grond, gunstige MKI-score) en kosteneffectief. Een bijkomend groot voordeel bij dit project was de hoogwaardiger landschappelijke inpassing van een begroeid steil talud.



Figuur 8 – Uitvoering gewapende grondconstructie dijkversterking Kinderdijk-Schoonhovenseveer (KIS).

Referentie: Combinatie Dijkverbetering Molenwaard, Cees van de Wal



Figuur 9 – Toepassing geotextiele tubes gevuld met ontwaterde baggerspecie ingebouwd in waterkering.

Referentie: Low & Bonar / Rijk Gerritsen

Figuur 10 – Vulling geotextiele tubes met baggerspecie met inbouw in vooroever De Mars Zutphen.

Referentie: Gemeente Zutphen



Voor de zichtzijde is gebruik gemaakt van gegalvaniseerde staalnetten met daar achter een geokunststof erosiemat van polyamide. De geogrids zijn hierbij enkel horizontaal gelegen en niet omgeslagen. Overweging voor het gebruik van staalnetten is dat hiermee een strakke zichtlijn kan worden verkregen en dat de kunststof geogrids minder snel beschadigingen ten gevolge van maaierwerkzaamheden, verkeersaanrijding of vandalisme, doordat ze niet direct aan de oppervlakte zijn gelegen. Tevens wordt door volledige afdekking met grond aantasting van de geogrids door UV straling voorkomen. De gewapende grondconstructie is in grondlagen van 0,5 meter opgebouwd met uni-axiale polyester wapeningsstrips in de kruin van de dijk. De kerende hoogte van de wand verloopt geleidelijk over het tracé van 0,50 tot maximaal 2,35 meter.

Geotextiele tubes

Eén van de oudste toepassingen van geotextielen bij waterkeringen zijn grote zakken gevuld met zand. In 1957 werden deze al gebruikt voor de afdichting van de Pluimpot, een klein estuarium bij Tholen. In de jaren daarna zijn de geotextiele elementen steeds verder doorontwikkeld. Geotextiele tube elementen kunnen hierbij op locatie

worden gepositioneerd en hydraulisch worden gevuld met zand. Dit kan ongeveer tot een waterdiepte van 8 tot 10 meter. Voor toepassing in dieper water zijn oplossingen bedacht met grote geotextiele containers die op een splitschip met zand worden gevuld, dichtgenaaid en vanuit de splitsbak gelost op locatie. Geotextiele elementen worden regelmatig toegepast als golfbrekers, duinvoetverdediging, erosiebescherming of waterkerende constructies. De meeste toepassingen vinden momenteel plaats in het buitenland. De potentie voor de Nederlandse kustverdediging is aanzienlijk, aangezien toepassing van geotextiele elementen in de kustverdediging of waterkering de risico's en effecten van strand- en duinafslag substantieel zou kunnen beperken. De intensiteit van zandsuppleties zal hiermee afnemen, wat de kosten en intensiteit van onderhoud van onze kustverdediging na zware stormen beperkt. Voor toepassing van geotextiele tube elementen is veel literatuur beschikbaar. Een goed overzicht van mogelijkheden, onderzoek en berekeningen is weergegeven in verschillende publicaties (Pilarczyk, 2000; Bezuijen & Vastenburg, 2012; Kim e.a., 2018).

Eerder is ook onderzoek gedaan naar de mogelijk-

heden om geotextiele tubes te vullen met baggerspecie en de elementen te gebruiken bij waterkeringen (CUR 222, 2009; Besseling e.a. 2010). Een mogelijke toepassing is om de tubes in te bouwen in de kern van de waterkering, in de vooroever of achter de waterkering als stabiliteitsberm, zie figuur 9. Hierbij is het voordeel dat grote hoeveelheden baggerspecie vanuit waterwegen kunnen worden gebruikt voor een duurzame en nuttige toepassing. In Zutphen is baggerspecie uit de haven bij industrieterrein De Mars hergebruikt door gebruik te maken van geotextiele tubes aangebracht in een vooroever (zie figuur 10). Deze oever staat in een open verbinding met de IJssel. Voor toepassing is het belangrijk onderzoek te doen naar de mogelijke types van flocculanten, uitloging van eventuele verontreinigingen en de geotechnische eigenschappen van baggerspecie na ontwatering (volumiek gewicht, sterkte, stijfheid). Recente ontwikkelingen zijn een verdere schaalvergroting van de geotextiele tubes en experimenten met het vullen van tubes met een klei/cement mengsel in plaats van met zand. Voor dit laatste zijn experimenten met geotextiele tubes uitgevoerd in Singapore, waar zand schaars is (Chew e.a., 2018).

Conclusie

Door klimaatverandering zal het veilig en leefbaar houden van Nederland een grote uitdaging worden. De komende decennia zal een enorme versterkingsoperatie van de waterkeringen moeten plaatsvinden. Voor het verkleinen van de impact hiervan lopen inmiddels verschillende innovatietrajecten, die een stimulans geven aan alternatieve en verbeterde technieken. Geokunststoffen hebben hierin een veel grotere potentie dan tot op heden wordt benut. Het op grotere schaal gebruiken van geokunststoffen kan resulteren in een substantieel betere, snellere en/of goedkopere aanleg van nieuwe waterkeringen, dijkversterkingen of kustverdediging. Dit biedt mogelijkheden voor toepassingen in binnen- en buitenland. Dit artikel is het eerste deel van een serie van twee. Een artikel in het volgende nummer van GeoKunst zal uitgebreid ingaan op verschillende toepassingen van geokunststoffen bij waterkeringen en kustverdediging.

Cursussen

Er worden verschillende cursussen georganiseerd door het opleidingsinstituut PAO techniek en management, waarbij dieper wordt ingegaan op het gebruik van geokunststoffen in waterkeringen:

- Geotextielen in de waterbouw, 4 april 2019.
- Nieuwe technieken dijkversterkingen, 9 en 10 april 2019.

Referenties

1. CUR 186, Geokunststoffen en rivierdijkverbetering, Civiel Centrum Uitvoering Research en Regulering, CUR/NGO, juli 1996.
2. Van Eekelen, S.; Van der Meer, M e.a., Een

innovatie is pas een innovatie als het idee succesvol is toegepast, NGO-workshop: geokunststoffen in dijkversterking, Geokunst, juli 2012.

3. IPCC, Intergovernmental panel on climate change, Climate change 2014 synthesis report, WMO-UNEP, October 2014.

4. De Vries, H, Katsman, C, Drijfhout S, Constructing scenarios of regional sea level change using global temperature pathways, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), De Bilt, November 2014.

5. Le Bars D, Drijfhout S, De Vries, H., A high-end sea level rise probabilistic projection including rapid Antarctic ice sheet mass loss, Environmental Research Letters, KNMI, De Bilt, April 2017.

6. State of the climate 2018, CSIRO, Australian Government bureau of Meteorology, 2018.

7. Haasnoot M. e.a.. Mogelijke gevolgen van versnelde zeespiegelstijging voor het Delta-programma, een verkenning, Deltares rapport 11202230-005-0002, Delft, September 2018.

8. Onderzoekscommissie Wilnis, Wat Wilnis ons leert, Over technische, bestuurlijke en juridische aspecten van dijkverschuiving bij langdurige droogte, december 2004.

9. De Ingenieur, Bodemdaling is serieus probleem,

20 november 2018.

10. Dijkwerkers, Handboek Dijkenbouw, uitvoering versterking en nieuwbouw, Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), Utrecht, september 2018.

11. CUR 219, INSIDE Innovatieve dijkversterking, Civiel Centrum Uitvoering Research en Regeling, CUR, 2007.

12. POV Macrostabiliteit en de POV-Piping, POV Drainagetechnieken, Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), Utrecht, mei 2018.

13. POV Macrostabiliteit, POVM grondverbeteringen, Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), Utrecht, september 2018.

14. POV Piping, Ontwerp- en beoordelingsrichtlijn Verticaal Zanddicht Geotextiel, Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP), groene versie, 14 juni 2017.

15. Vastenburg, E., Gefundeerde innovaties binnen dijkversterkingsprojecten, Een verkennend onderzoek naar evaluatiecriteria ten behoeve van het afwegen en selecteren van innovatieve dijkversterkingsalternatieven in Nederland, februari 2015.

16. Bezuijen A., Van Eekelen, S.J.M., Nods M., 11 ICG conferentie: geokunststoffen in Seoul, Zuid-Korea, Geokunst nr. 4, december 2018.

17. CUR/CROW, Kerende constructies van gewapende grond, herziening CUR-rapport 198, CROW kennisplatform, 2018.

18. Pilarczyk, K.W., Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering, A.A. Balkema, Rotterdam, 2000.

19. Bezuijen, A., Vastenburg, E.W., Geosystems: design rules and applications, CRC Press, November 14, 2012.

20. Kim, Young C., Oumeraci, H, e.a., Handbook of Coastal en Ocean engineering, in 2 volumes expanded edition, February 2018.

21. CUR 222, Hoogwaardig bouwen met baggerspecie in geotextiele tubes, met baggerspecie naar betaalbare waterveiligheid, september 2009.

22. Besseling E., Van Leeuwen, J.L.M., Berendsen, E., Met baggerspecie naar betaalbare veiligheid, hoogwaardig bouwen met baggerspecie in geotextiele tubes, januari 2010.

23. Chew, S.H., Yim H.M.A., Koh J.W., Eng Z.X., Chua K.E., Tan S.E.D., Performance of pilot test of geotextile tube filled with lightly cemented clay, S24-01, 11th ICG Seoul, South-Korea, 2018.

Copyright figuren: zie bij de figuren. ●

Een veilige dijk zonder dikke kleilaag

Dijkversterking met Bentofix® geosynthetische klei afdichting (bentonietmat)



Professioneel projectadvies en projectbegeleiding

 NAUE GmbH & Co. KG
Duitsland · Tel: +49 5743 41-0 · info@naue.com · www.naue.com