

JAARGANG 24 NUMMER 1 MAART 2020

Geotek kunst

ONAFHANKELIJK VAKBLAD
VOOR GEBRUIKERS VAN
GEOKUNSTSTOFFEN



**GEOGRID-VERANKERDE DAMWANDEN
DEEL 2. FULL SCALE TEST**

LEZINGENMIDDAG OVER NGO *DUURZAAMHEID*

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



TenCate Geosynthetics
Netherlands BV
Europalaan 206
7559 SC HEengelo
service.nl@tencategeo.com
www.tencategeo.eu



NAUE GmbH & Co. KG
Gewerbestr. 2
32339 Espelkamp – 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, Culemborg
GID Milieutechniek, Veldriel
Huesker Synthetic BV, Rosmalen

InfraDelft BV, Delft
Juta Holland BV, Oldemarkt
Kiwa NV, Rijswijk
Kwast Consult, Houten
Low & Bonar, Arnhem
Movares Nederland BV, Utrecht
Naue GmbH & Co. KG,
Espelkamp
Prosé Geotechniek BV,
Leeuwarden
Quality Services BV, Bennekom
Robusta BV, Genemuiden
Rijkswaterstaat, Utrecht
S&P Clever Reinforcement
Company Benelux, Aalsmeer
Strukton Civiel, Scharwoude
Stybenex, Nijmegen
T&F Handelsonderneming BV,
Oosteind
Ten Cate Geosynthetics
Netherlands BV, Nijverdal
Tensor International,
's-Hertogenbosch
Terre Armee BV, Waddinxveen
Witteveen + Bos, Deventer

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



Strukton
Civiel

Strukton Civiel Regio West
Scharwoude 9
1634 EA Scharwoude
Tel. +31 (0)229 54 77 00
info@struktonciviel.com
www.strukton.com

Enka® Solutions

EnkaGrid® & EnkaMat®

Grondwapening en erosiebescherming
bij waterkeringen en dijkversterkingen



Low & Bonar

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

BESTE GEOKUNST LEZERS,

Vanaf deze editie neem ik het eindredacteurschap van Erik Kwast over. Namens iedereen wil ik Erik graag bedanken voor zijn inzet in de afgelopen 4 jaren en de vele mooie artikelen die in Geokunst zijn gepubliceerd.

Zelf ben ik 13 jaar werkzaam bij TenCate Geosynthetics, producent van geokunststoffen voor de grond-, weg- en waterbouw. In deze jaren is er veel veranderd. De markt groeit elk jaar en de mogelijkheden met geokunststoffen groeien nog veel harder.

Om te beginnen was 13 jaar geleden elk project nog op basis van het RAW bestek.

In de nieuwe contractvormen op basis van design & construct komen de grote technische en economische voordelen van geokunststoffen als bouwstof nog beter tot hun recht.

In 2007 werd mij nog uitgelegd dat Nederland niet interessant was voor gewapende grond. Het land is veel te plat en er hoeven geen hoogteverschillen opgelost te worden. Ondertussen zijn de gewapende grondconstructies in Nederland ontelbaar en worden we in Europa vaak als voorbeeld gezien.

In 2010 kwam na lang voorbereidend werk de eerste Nederlandse richtlijn voor paalmatrassystemen, met tot gevolg dat het ontwerp hiervan duidelijk en toetsbaar werd en er veel meer zettingsvrije constructies werden gebouwd met paalmatrassystemen. Dit had onder andere tot gevolg dat er hoge sterkte wapeningen werden gevraagd en ondertussen zijn er wapeningen verkrijgbaar met meer dan 300 ton trekkracht per meter.

Daarna werden tussen 2015 en 2019 onder andere de ontwerprijtlijnen opgesteld of vernieuwd voor Geotextiel

onder steenbekleding, Asfaltwapening, Geokunststoffen als funderingswapening, Kerende constructies van gewapende grond, kraanopstelplaatsen voor windturbines, en zo verder. Om de breedte van de toepassing van geokunststoffen nog maar eens te benadrukken.

In deze editie een vervolgartikel over met geogrids verankerde damwanden in het project Windpark Krammer. Mogelijk is dit een aanzet voor een nieuwe ontwerprijtlijn die het gebruik hiervan een vlucht kan geven.

Daarnaast een artikel over de NGO lezingenmiddag van 21 november. Het actuele onderwerp duurzaamheid werd vanuit 3 kanten toegelicht. Dit leidde tot enthousiaste ideeën en discussies over hoe geokunststoffen hierin de komende jaren een rol spelen.

Veel leesplezier met deze GeoKunst,

Jeroen Ruiter

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*

Productie

**J. Ruiter
J. van Deen
A. Bezuijen
P. van Duijnen
M. Duškov
S. van Eekelen
P. ter Horst
Uitgeverij Educom**

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



LEZINGENMIDDAG NGO OVER *DUURZAAMHEID*

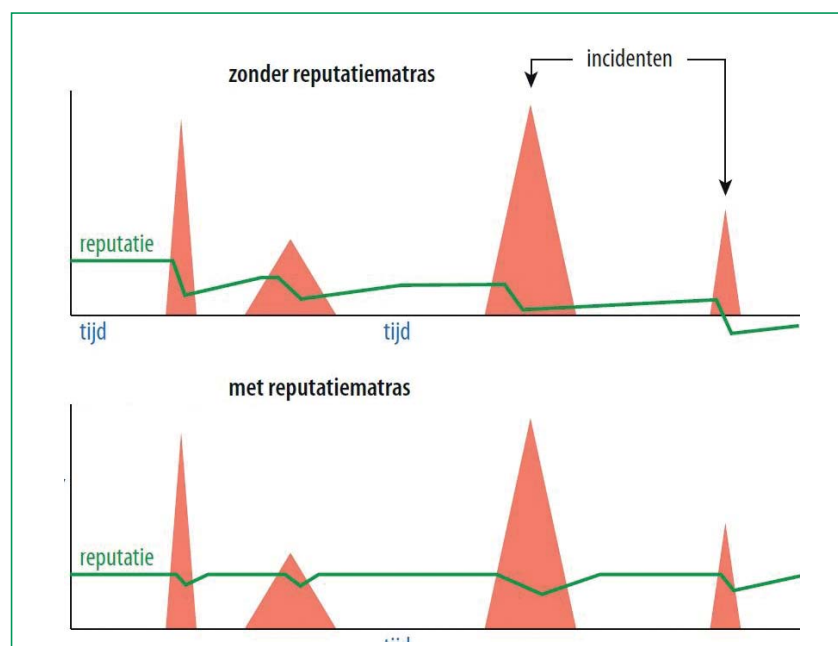
Aansluitend op de actualiteit stond de lezingenmiddag van de NGO op 21 november 2019 in het teken van milieuaspecten, duurzaamheid en circulair ontwerpen van en met geokunststoffen. Het spits werd afgebeten door Jurjen van Deen, die in september samen met Wim Voskamp en Adam Bezuijen in GeoKunst een artikel publiceerde onder de titel 'Geokunststoffen en het milieu' [1]. De aanleiding daarvoor was dat een jaar geleden, in november 2018, het Besluit Bodemkwaliteit werd aangescherpt. Vanaf 1 januari 2019 mochten plastics nog slechts 'sporadisch' aanwezig zijn in grond- en baggerspecie, dat is grond die toegepast wordt op allerlei fronten van wegaanleg tot het verondiepen van plassen. 'Plastic hoort niet thuis in het water of het milieu', stelde toenmalige staatssecretaris en huidige minister Van Veldhoven (alom bekend met haar strenge PFAS-normen) in een persbericht. Ze bedoelde natuurlijk dat resten half-vergaan plastic als zwerfafval niet in de natuur horen, aangezien het plastic nog decennia in het milieu aanwezig blijft. Dat moeten we voorkomen. Het eerste waarop Van Deen attendeerde was de toonzetting van het bericht dat sprak van 'gevecht tegen plasticsoep'. Dramatiekzoekende taal waar de nuance makkelijk ondersneeuwt. Het tweede was de ongenueanceerde zinsnede 'Plastic hoort niet thuis in het milieu'. Al te gemakkelijk zou iemand kunnen denken dat dat dan dus ook een-op-een geldt voor geokunststoffen ondanks hun duidelijke functie als bouw materiaal. Van Deen gaf een paar voorbeelden van zo'n verschui-

ving van perspectief: de actuele PFAS-discussie en – 15 jaar geleden – de tunnel in de beoogde A6-A9 verbinding die het Naardermeer zou bedreigen. Als zo'n discussie eenmaal is ontspoord is hij meestal slecht of niet te redresseren.

Om aan te geven hoe je geokunststoffen adequaat zou kunnen en moeten positioneren greep Van Deen terug op onderzoek dat 5 jaar geleden is afgerond in het kader van het Geolimpuls-programma. Daar was communicatie met de buitenwereld een van de drie hoofdthema's. Eén van de leerpunten uit dat onderzoek was het belang van het consequent bouwen aan een vertrouwensrelatie met de omgeving, oftewel het creëren van een zogenaamde reputatiematras [2]. Als je vertrouwen bij jouw opdrachtgevers en publiek hebt opgebouwd worden incidenten gemakkelijker geaccepteerd en krijgt je reputatie wel een deukje maar veel minder dan zonder reputatiematras. Het bouwen aan vertrouwen doe je door regelmatig met enthousiasme en trots te vertellen wat je aan het doen bent. En dat doe je ook door risico's niet te bagatelliseren. Het blijkt dat niet-specialisten helemaal niet zo bang zijn uitgevallen als technici wel eens denken. En door het internet kunnen ze alle mogelijke informatie toch wel vinden, al zijn ze daardoor niet noodzakelijk goed geïnformeerd. Hoe wij de geokunststoffen positief over het voetlicht kunnen brengen was een belangrijk onderdeel van het artikel van september.

Het verhaal van de geokunststoffen begint met de vaststelling (het enthousiaste verhaal) dat deze veelzijdige bouwmaterialen thuishoren in het rijtje asfalt, baksteen, beton, hout en staal. Daarbij voldoen alle geokunststoffen vanzelfsprekend aan eisen, net zoals andere bouwmaterialen die in de grond worden gebracht. Geokunststoffen hebben een lange levensduur en zijn behoorlijk inert. Ze kunnen wegen zettingsvrij maken, met steile taluds ruimte besparen, staal en beton vervangen en de bijbehorende CO2-footprint verkleinen [1]. Maar zoals gezegd, we moeten niet weglopen voor de risico's. De lange levensduur betekent ook dat je er praktisch nooit meer afkomt tenzij je in het ontwerp al meeneemt dat het ooit ook weer verwijderd moet worden. En kunststof is weliswaar behoorlijk inert, maar een beetje uitloging is toch niet uit te sluiten. Gelukkig zijn er Duitse normen voor die uitloging, waar ook het hier te lande toegepaste materiaal wel aan zal voldoen. In de discussie is het altijd verstandig om externe bronnen – in dit geval een norm, het kan ook een artikel zijn – te noemen vanwege de onafhankelijkheid. En waar we met z'n allen bij zijn is het voorkomen dat restanten geokunststof zwerfafval worden: bij aanleg zorgvuldig met reststukken omgaan, bij verwijderen nog meer, en bij het ontwerp er rekening mee houden dat na de levensduur van 50 of 100 jaar de reststerkte nog voldoende is om het materiaal 'heel' de grond uit te krijgen. Heel belangrijk is ook de as-built situatie goed te documenteren zodat men bij latere, niet-gerelateerde graafwerkzaamheden rekening kan houden met de aanwezigheid van de geokunststof constructie. In de discussie bleek de zaal zich zeer bewust van het belang van terughaalbaarheid. Van 'laat het maar zitten als je het niet meer gebruikt' kon geen sprake zijn, vond men. Dat het geokunststof een functie vervult in de grond is immers zijn bestaansrecht.

De tweede spreker was Gerwin Schweitzer van Rijkswaterstaat GPO (Grote Projecten en Onderhoud). Zijn presentatie ging over het beleid en de concrete acties van Rijkswaterstaat met betrekking tot duurzaam onderhoud. Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft recent zijn duurzaamheidsambities geformuleerd in de strategie Duurzaam IenW, aansluitend aan de doelen uit het Klimaatakkoord. Het voor Rijkswaterstaat relevantste onderdeel daarvan is de IenW Strategie Klimaatneutrale en Circulaire Rijksinfra. Daaruit afgeleid heeft Rijkswaterstaat als ambitie geformuleerd om in 2030 energie-



Figuur 1 –
Reputatiematras:
afhankelijk van de
vertrouwensrelatie
zakt je reputatie
bij incidenten al
dan niet door
de nul.

© Alex Sheerazi

SAMENVATTING

Op 21 november 2019 organiseerde de NGO aansluitend aan de Algemene Ledenvergadering een lezingenmiddag waarin een aantal aspecten van het in de civiele techniek actuele thema “duurzaamheid” aan de orde kwam: hoe duurzaam is het inbrengen van kunststoffen in de grond en hoe communiceer je daarover, hoe bevordert RWS dat zijn opdrachtnemers bijdragen aan RWS’

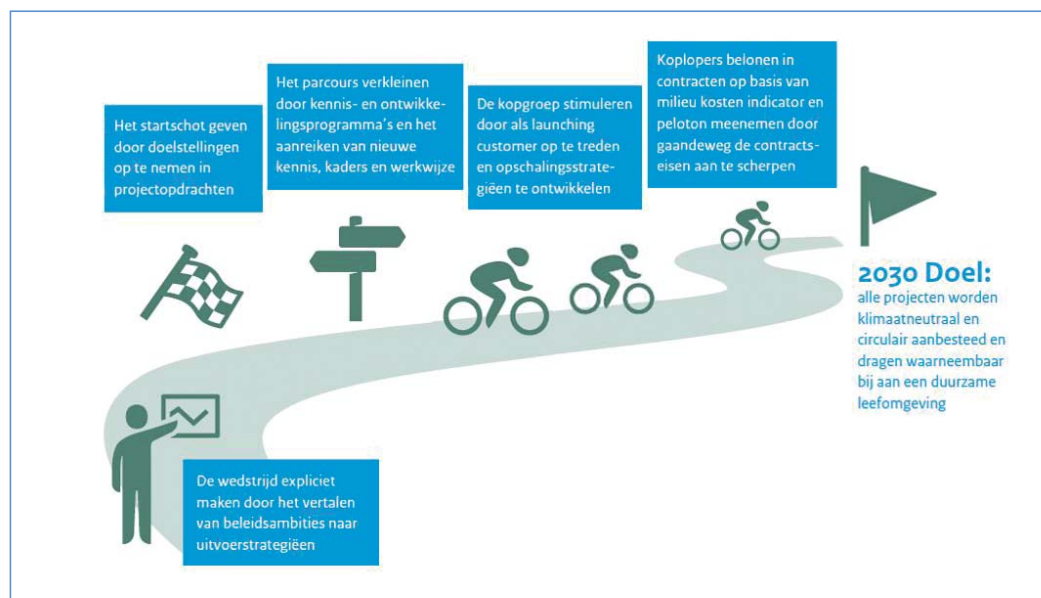
duurzaamheidsambities, en hoe gaat een ingenieurbureau de uitdaging van circulair ontwerp aan? Deze drie onderwerpen kwamen in evenzovele voordrachten aan de orde en leidden tot de nodige discussie met de circa 40 aanwezigen.

neutraal en klimaatneutraal te zijn en 100% circulair te werken. Energieneutraal betekent evenveel energie duurzaam opwekken als verbruiken voor de eigen organisatie. Daarnaast ten behoeve van klimaatneutraliteit ervoor zorgen dat de CO₂-uitstoot als gevolg van aanleg en onderhoud van infrastructuur per saldo wordt verlaagd tot uiteindelijk nul. Circulair werken betekent werken zonder afval te produceren en waar mogelijk hergebruik van ‘versleten’ materiaal zoals beton of asfalt zodat minder grondstoffen nodig zijn. Daarbij is een aanpak met transitiepaden geformuleerd om in 2030 deze ambitie gerealiseerd te hebben. Deze transitiepaden zijn voor vier verschillende aspecten uitgewerkt: droog grondverzet, nat grondverzet (baggeren), wegverharding en kunstwerken.

Een transitiepad dat 10 jaar duurt vraagt om een aansprekend beeld om iedereen bij de les te houden. Wat was het doel en hoe gaan we dat bereiken? De gekozen metafoor van een wielervedstrijd begint met het startschot: het opnemen van de doelstellingen in projectopdrachten. Vervolgens stimuleert Rijkswaterstaat kennisontwikkeling om het parcours te vergemakkelijken, helpt de voorlopers door als launching customer op te treden en beloont ze door milieueffecten expliciet mee te nemen in de gunningsprocedure. De volgers in het peloton worden gestimuleerd mee te versnellen door de contracteisen in de loop van 10 jaar verder aan te scherpen.

Rijkswaterstaat legt zelf geen wegen en andere infrastructuur aan. Er is daarom expliciet gekozen om het duurzaamheidstransietraject in te zetten samen met de private sector waarbij RWS de rol van launching customer oppakt. Het ontwikkelen en implementeren van innovaties is voor marktpartijen alleen interessant als ze een garantie hebben voor een zeker volume aan werk. Een grote opdrachtgever als RWS kan door de omvang van zijn projecten daar een sleutelrol in vervullen. Door bij de aanbesteding niet alleen op de prijs te letten maar ook expliciet andere, duurzaamheidsaspecten in de beschouwing mee te nemen krijgen de innovatoren een concurrentievoordeel.

Bij de gunning van het project wordt de partij gekozen die het meest gunstige voorstel doet. Maar wat is het meest gunstige voorstel als je meerdere criteria hanteert? De ene aanbieder komt van dichtbij en past standaardasfalt toe, een



Figuur 2 – Een transitiepad als wielervedstrijd.

tweede zit 50 km verderop en doet 50% recycling, en de derde zit 100 km weg en gebruikt lage temperatuurasfalt. En dan is er niet alleen het asfalt maar heeft het project ook nog een viaduct en een fietsbrug. Hoe weeg je dat af? Er wordt gegund op MKI waarde. Daarvoor heeft Rijkswaterstaat Dubocalc ontwikkeld [3]. DuboCalc berekent alle effecten van het materiaal- en energieverbruik van winning tot aan de sloop- en hergebruikfase. Voor de gangbare materialen zijn er standaardwaarden in een database opgenomen. Daarvan mag een inschrijver afwijken maar hij moet dan wel aantonen dat zijn materiaal of werkwijze een gunstiger milieueffect heeft. De spelregels daarvoor zijn vastgelegd door de Stichting Bouwkwiteit [4]. De gehele levenscyclus wordt in 11 milieueffecten meegenomen (energie, CO₂, toxiciteit, verzuring, ...) en de uiteindelijk berekende milieukosten worden uitgedrukt in de Milieukostenindicator (MKI). Bij de gunning worden op de inschrijfsom (fictieve) kortingen toegepast voor de positieve effecten van risicomanagement, omgevingsmanagement en voor de MKI waarde. De inschrijver met de laagste fictieve inschrijfsom die overblijft krijgt de opdracht voor het project.

Zoals gezegd, Rijkswaterstaat wil ook de rol van launching customer oppakken om de private sector te stimuleren om met innovatieve producten en

werkwijzen te komen. Nieuwe producten zitten per definitie niet in de Dubocalc database. Voor deze materialen wordt een MKI bepaald conform de genoemde spelregels van de Stichting Bouwkwiteit. Behalve een nieuw product ontwikkelen moet de sector dus ook de milieueffecten van dat nieuwe product expliciet maken. Voor geokunststoffen geldt in heel veel gevallen dat zij ‘nieuw’ zijn, in ieder geval vaak niet in de Dubocalc database zitten. Geokunststoffen zijn ‘onbekend’ en duidelijk afwijkend van de traditionele bouwmaterialen. Dat leidt tot allerlei vragen: weten we eigenlijk wel voldoende van dit materiaal dat steeds breder wordt toegepast? Het kan zijn dat het per m² een lage milieu-impact heeft, maar wat gebeurt er na einde levensduur? Verpulvert het niet na 50 jaar en wordt het zwerfafval? Kun je het terugwinnen en hergebruiken of alleen verbranden? In hoeverre dragen geokunststoffen bij aan het verminderen van materiaalgebruik en CO₂-emissies? Omdat de wel aanwezige gegevens over kunststoffen in de Dubocalc database in het algemeen oud zijn wordt er sowieso een marge van 30% op deze getallen gezet. Zo’n ruime marge maakt het lucratiever om te investeren in een levenscyclusanalyse (LCA) en stimuleert de producent of de branche om met eigen data te komen. In het geval van de geokunststoffen zou de NGO als brancheorganisatie daar een belangrijke rol in kunnen spelen.

De derde en laatste inleider van de middag was Wisse ten Bosch van Ingenieursbureau Witteveen+Bos. Zijn presentatie liet zien hoe een ingenieursbureau het duurzaam-ontwerpproces aanpakt. Om het belang te illustreren van duurzaamheidsanalyses voor de gww-sector trok Ten Bosch een vergelijking tussen de CO₂-uitstoot ('footprint') van InnovA58, de voorgenomen verbreding van de A58 tussen Eindhoven en Breda, en de jaarlijkse CO₂-uitstoot van de Witteveen+Bos organisatie door verwarming, maar vooral door vervoer. Een dergelijk gww-project zit een orde van grootte hoger – dus hier is wat te verdienen.

De eerste boodschap van Ten Bosch was om vanaf de allereerste schets naar duurzaamheid te kijken. In het stadium van de variantkeuze is er uiteraard nog geen detailberekening te maken en alle varianten zijn dan nog bespreekbaar. Bij een eerste inventarisatie wordt snel duidelijk waar de zwaartepunten qua duurzaamheidswinst liggen. Per fase in het project is verder in te zoomen. Inmiddels zijn daar ook de nodige instrumenten voor ontwikkeld. In het voortraject is het van belang om de specifieke projectambities te expliciteren aan de hand van de Procesaanpak Duurzaam GWW [5]. Een meer gedetailleerde analyse volgt in een volgend stadium door de CO₂-uitstoot in kaart te brengen. Deze relatief simpele exercitie geeft overzicht waar de grote CO₂-posten zitten. Hij is ook bruikbaar om te monitoren wat het effect is van maatregelen die in de loop van de tijd genomen worden. Een stap verder is – bij voorbeeld met Dubocalc – het berekenen van de milieu-

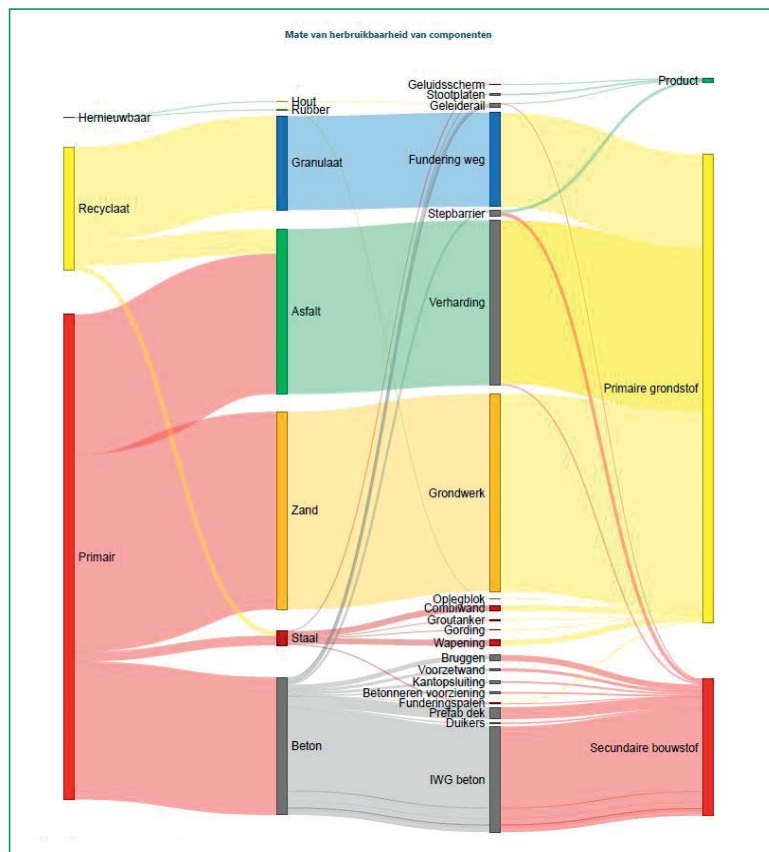
impact en het vaststellen van een MKI-waarde voor verschillende scenario's voor een civieltechnisch werk. Ten Bosch gaf als voorbeeld de Croeselaan in Utrecht, waar de inschrijvers op de aanbesteding uitgedaagd werden om een lage milieu-impact te realiseren. Uit de afweging door de aannemer rolde een variant met RAMAC-wegverharding van cementloos beton (met geopolymeren in plaats van cement en een geclaimde 65% minder CO₂-uitstoot) die zich bovendien gemakkelijk laat verwijderen bij het einde van de levensduur. Als asfalt werd lagetemperatuur epoxybitumenasfalt toegepast. Toevoeging van epoxy zou de levensduur van het asfalt verdubbelen. Uit de zaal werd geconstateerd dat die levensduur zich nog wel moet bewijzen. Dat geldt natuurlijk voor alle nieuwe technieken en materialen, hun aangegeven levensduren zijn altijd verwachtingen. Dat kwam al eerder aan de orde in de vorige presentatie. Voor de onderbouw van de Croeselaan was Aquaflo gebruikt waarmee waterberging onder de weg werd gerealiseerd en geen regenwaterafvoer nodig was. Door deze manier van afwegen werd niet de goedkoopste variant gekozen maar werd de voorkeur gegeven aan oplossingen met hogere bouwkosten die wel leidden tot "de duurzaamste straat van Nederland".

Een stap verder dan met Dubocalc een MKI te berekenen is het uitvoeren van een complete levenscyclusanalyse (LCA). Bij een serieuze MKI-exercitie gaan aannemers al heel vaak niet meer uit van de standaardwaarden uit Dubocalc maar doen zij zo'n volledige LCA. Dat geeft meer inzicht en leidt in

veel gevallen ook tot een gunstiger MKI.

Om bij te dragen aan het nationale programma 'Circulair in 2050' is het ontwerpproces cruciaal. 'Circulair ontwerp' gaat over het maken van keuzes voor de huidige en toekomstige levenscycli en het sluiten van ketens door in het ontwerp afval te benutten als grondstof. Circulair ontwerpen beperkt de uitputting van grondstoffen. Met behulp van mass flow analysis ontstaat inzicht in de transformatie van bouwstoffen, de mogelijkheden voor hergebruik en de verschillen tussen ontwerpvarianten.

Als case met geokunststoffen liet Ten Bosch het resultaat zien van berekeningen aan de (mogelijke) verbreding van de A27 bij Amelisweert. Die weg is 30 jaar geleden verdiept aangelegd met een folieconstructie om de grondwaterstand te kunnen beheersen. Verschillende ontwerpvarianten – een nieuwe folieconstructie of een diepwandconstructie – zijn als voorbeeld op hoofdlijnen geanalyseerd op basis van circulariteit: hoe zit het met het primaire materiaalgebruik, met de hoogwaardigheid van hergebruik na de levensduur en hoe zit het met de demonteerbaarheid. De diepwandvariant scoorde slechter op MKI-waarde, en de hoeveelheid primair materiaalgebruik was ordes van grootte meer. De afweging is hier nog niet gemaakt nu het project vanwege de stikstofdiscussie op 'hold' staat. In de discussie bleek wel dat circulariteit maar één overweging is. De omgevingsbeïnvloeding door bemaling, bij de twee varianten heel verschillend, is geen onderdeel van circulariteit maar wel van duurzaamheid.



Figuur 3–
De transformatie van bouwstoffen in de mass flow analysis van een bouwproject. Links de ruwe grondstoffen (primair: nieuw gewonnen, recycilaat: bijvoorbeeld betongranulaat). In kolom 2 de materialen die worden gemaakt uit deze grondstoffen, in kolom 3 de objecten/ elementen zoals ze in het project worden toegepast. Geheel rechts het hergebruik (primair: 1-op-1 hergebruik van materiaal; secundair: laagwaardiger toepassing, bijvoorbeeld het vermalen van beton tot betongranulaat; product: het hele element wordt hergebruikt, bijvoorbeeld een geluidsscherm) De witte onderbrekingen zijn voor de leesbaarheid.

In de conclusies benadrukte Ten Wisse nog eens dat duurzaamheid in het ontwerp een proces is, geen vinkje dat achteraf nog even op de projectdocumenten gezet wordt. Daarbij is het ook goed te bedenken dat ook duurzaamheid maar één van de afwegingsaspecten is. Veiligheid, omgevingsmanagement en last but not least: de kosten zijn belangrijke overwegingen. En bedenk altijd dat je ontwerpt voor 50 jaar of langer, dus denk voorbij de huidige norm.

In de slotdiscussie met de zaal kwam de prangende vraag naar boven: kunnen we ons dit als maatschappij allemaal veroorloven? Hoeveel kunnen en willen we uitgeven aan duurzaamheid? Duidelijk was: in elk geval zullen we moeten kijken naar de lange termijn. Als je alleen naar korte termijn kijkt gaan wij de duurzaamheidstransitiedoelen tot 2030 niet halen.

- [1] Geokunststoffen en het milieu, GeoKunst sept. 2019, p. 46-49
- [2] Leidraad GeoCommunicatie, pag 3, GeoImpuls 2015, te downloaden vanaf www.geonet.nl
- [3] www.dubocalc.nl
- [4] www.milieudatabase.nl
- [5] www.duurzaamgww.nl ●

Ing. Piet van Duijnen
GeoTec Solutions

Dr. Oliver Detert
HUESKER Synthetic
GmbH, Duitsland

Dr. Arash Lavasan
HUESKER Synthetic
GmbH, Duitsland

Ir. Joris van den Berg
HUESKER Synthetic BV

Dr.-Ing Diethard König
Ruhr-Universität
Bochum, Duitsland

Raoul Hölter, M.Sc.
Ruhr-Universität
Bochum, Duitsland

**Dr. Ir. Suzanne
van Eekelen**
Deltares

GEOGRID-VERANKERDE DAMWANDEN DEEL 2: FULL SCALE TEST

Inleiding

Op de strekdammen en in de omgeving van het sluizencomplex Krammer zijn 34 windturbines gerealiseerd met een ashoogte van 122 m en een rotordiameter van 115,7 m. Dit park was tijdens de realisatie (2018) al goed voor 200.000.000 kWh (200 GWh) aan windenergie en in 2019 is 330 GWh aan energie geleverd. De doelstellingen uit 2016 (zie www.windparkkrammer.nl/) dat meer dan 100.000 huishoudens van windenergie worden voorzien is in 2019 volledig waargemaakt.

Windpark Krammer is innovatief. Een beelddetectie-systeem (DTBird) neemt vogels in de omgeving waar. Als een visarend wordt gespot, dan staan de rotors binnen enkele seconden stil. Als bouwend

Nederland kan je natuurlijk niet achterblijven. Een intensieve samenwerking tussen GMB, Voets Gewapende grond, Huesker Synthetic B.V. en GeoTec Solutions (kortweg de bouwers) heeft geleid tot lokale verbreding van de strekdam door middel van een innovatieve bouwmethode. De impact op omgeving, bouwstof- en energieverbruik is geminimaliseerd. Figuur 1 toont het eindresultaat.

Aanbiedingsontwerp van de bouwput

Voor de lokale verbreding zijn damwanden noodzakelijk. Stalen damwanden zijn relatief duur en de milieu impact van staalproductie is hoog. Bij de productie van 1000 kg staal komt b.v. 480 kg CO₂ vrij. De emissie factor op 1 kWh grijze stroom

is 0,648 kg CO₂, grofweg komt bij 1 000 kg staal-productie evenveel CO₂ vrij als bij de productie van 750 kWh. Dus elke 1 000 kg minder staal levert een equivalent van 750 kWh aan lagere CO₂ productie op. De gemiddelde energiebehoefte van een gezin in een jaar, geproduceerd met grijze stroom, is equivalent aan de productie van 5000 kg staal, dus circa 40m² stalen damwand.

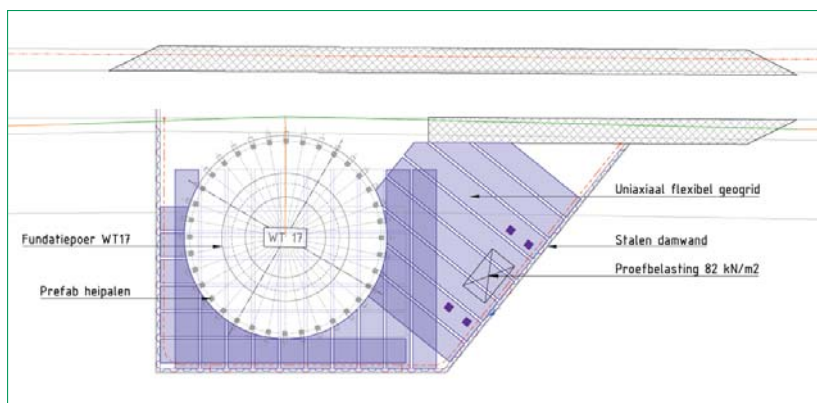
Een doelstelling in de tenderfase was duidelijk, het verbruik van grondstoffen tot een minimum beperken. De bijdrage van kortere en lichtere damwand profielen is groot. De inbrengdiepte onder de waterbodem is geminimaliseerd. In de fase dat de damwand vrijstaat in het water werden bij geringe waterstandsverschillen al grote horizontale verplaatsingen verwacht. Er is een drainage voorziening getroffen om het waterstandsverschil te beperken. De horizontale stabiliteit in latere fasen is gewaarborgd door de damwanden meervoudig te verankeren met legankers, waarbij het onderste leganker net boven laagwaterniveau is geïnstalleerd. Door de verankering heen is een ring van palen ingeheid voor de fundering van de turbines (zie figuur 2). Er is gekozen voor een damwandverankering van voorgespannen flexibele geogrids. De fundatiepalen werden voorgeboord (gewoeld) tot onderzijde laagste geogrid en vervolgens ingeheid. Ter compensatie van het verlies in doorsnede zijn geogrids toegepast met een hogere treksterkte.

Tijdens de tender is met traditionele damwand-berekeningen de haalbaarheid van een met geogrid verankerde damwand onderzocht. De lengte van de geogrids is van onder naar boven ontworpen, waarbij de effectieve ankerlengte (groen in figuur 3) van een bovenliggend anker start aan het einde van het daaronder liggende anker. Het ankerlichaam van het onderste anker was gepositioneerd buiten de actieve wig, welke conservatief loopt tot de onderzijde van de damwand. Deze benadering resulteerde er wel in dat de bovenste verankeringslaag erg lang wordt. Het risico van onderloopsheid bij vallend water (hoogwater => laagwater) is getackeld door de damwand te perforeren, zodat vallend water niet tot een groot waterstandsverschil over de damwand leidt.



Figuur 1 –
Windpark
Krammer
(foto Paul Martens).

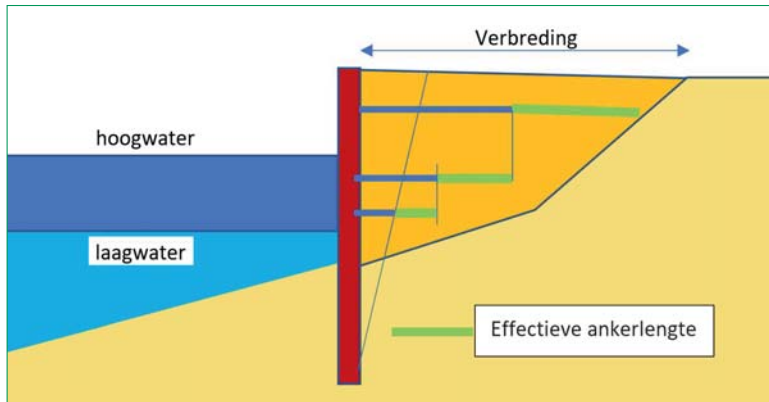
Figuur 2 –
Bovenaanzicht
met de geogrids
welke de damwand
verankering
vormen.



SAMENVATTING

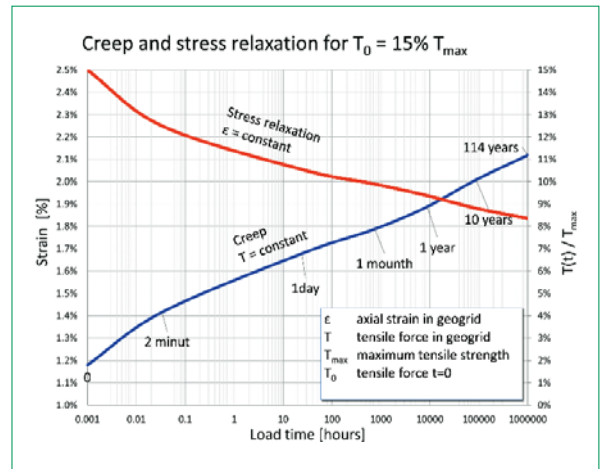
Bij de aanleg van Windpark Krammer zijn de strekwanden rondom het sluizencomplex verbreed door gebruik te maken van met geogrids verankerde damwanden. Ter plaatse van een van de windturbines is een drievoudig met geogrid verankerde damwand proefbelast. De gemeten ankerkrachten in de geogrids en de verplaatsingen van de damwand zijn kleiner dan vooraf werd

verwacht. Naar aanleiding van de metingen worden in het laboratorium van Deltares modelproeven uitgevoerd. In dit artikel wordt de uitgevoerde proef geanalyseerd met een 2D analyse. Op basis daarvan worden handreikingen gegeven over de ontwerpaspecten van een met geogrids verankerde damwand.



Figuur 3 – Schatting benodigde lengte geogrids.

Figuur 4 – Kruip bij constante spanning en spanningsrelaxatie bij een opgelegde constante rek.



Aanbesteding

Dat dit systeem economisch en qua milieu impact als winnaar uit de bus komt, was te verwachten maar was gezien de concurrentie geen gelopen race. Technisch gezien moest nog een en ander uitgelegd worden voordat Windpark Krammer met Enercon als penvoerder tot opdrachtverlening over is gegaan. De interactie tussen geogrids en palen is intensief geanalyseerd.

Definitief ontwerp van de bouwput

Na de euforie van de winst komt de stress van de aantoonbaarheid. Snel werd duidelijk dat het ontwerpen voor een buitenlandse instantie anders is dan gebruikelijk in Nederland. In Duitsland moet ook voor aanvullend met laboratoriumproeven geotechnische parameters zoals ϕ_{cv} bepaald worden. Bij gunstige waarden voert de opdrachtgever zelf schaduwanalyses uit.

Voor de geotechnische beschouwing van de interactie tussen paalfundering en geogridverankering is een combinatie van 3D en 2D Plaxis EEM analyses uitgevoerd. Een vergelijking tussen de 3D en 2D-analyses, voor een simpele geometrie, gaf een beeld van de modelvereenvoudiging van een 3D probleem naar een 2D-berekeningsmodel. Vervolgens is met een serie 2D Plaxis berekeningen de interactie tussen de geogrids en de paalfundering geanalyseerd.

Nadat het definitief ontwerp was afgerond, is een aanvullende vermoeiingsanalyse van de palen uitgevoerd. De ontwerp analyses bestonden uit een serie 3D versus 2D analyses voor het bepalen van een correctiefactor voor het 2D-model. Vervolgens zijn voor drie maatgevende situaties Plaxis en D-sheetpiling berekeningen uitgevoerd. De overige bouwputten zijn ontworpen met enkel



Figuur 5 – Proefbelasting, belastingoppervlak is $3 \times 6 \text{ m}^2$, oppervlakte bigbags = $5 \times 8 \text{ m}^2$.

D-Sheet piling berekeningen. In figuur 2 is het bovenaanzicht van de bouwkuip ter plaatse van de testlocatie gegeven.

Kruip

Geogrids vervaardigd van polymerisch materiaal, zoals polyester, vertonen onder constante belasting kruip. Onder constante belasting verloopt de verlenging logaritmisch, de kruiprek direct na het voorspannen is groot. Figuur 4 geeft de kruiprek weer bij een constante kracht of de afname van de trekkracht bij een constante rek (spanningsrelaxatie). Als een geogrid gedurende 2 minuten wordt voorgespannen op 60 kN/m , is bij constante vervorming (rek) na 1 dag de voorspanning afgenomen tot 50 kN/m . Op een van de damwandkuipen is een proefbelas-

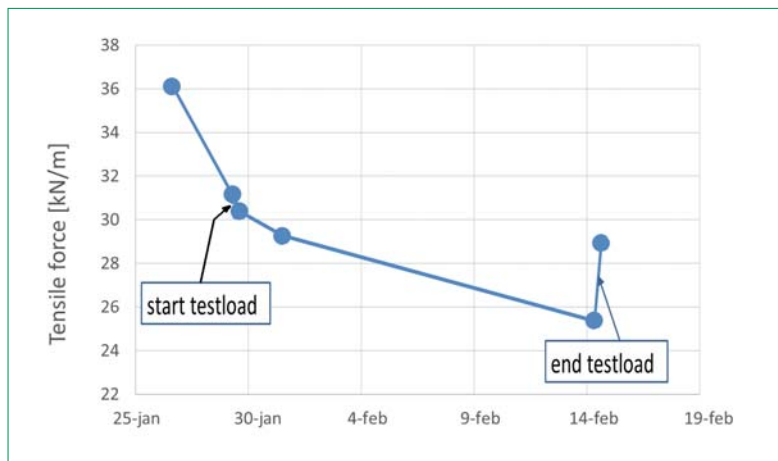
ting uitgevoerd waarbij de rekken in de geogrids, de verplaatsingen van de damwand, de zetting van de proefbelasting en de totale kracht in een ankerlaag zijn gemeten.

Belasting

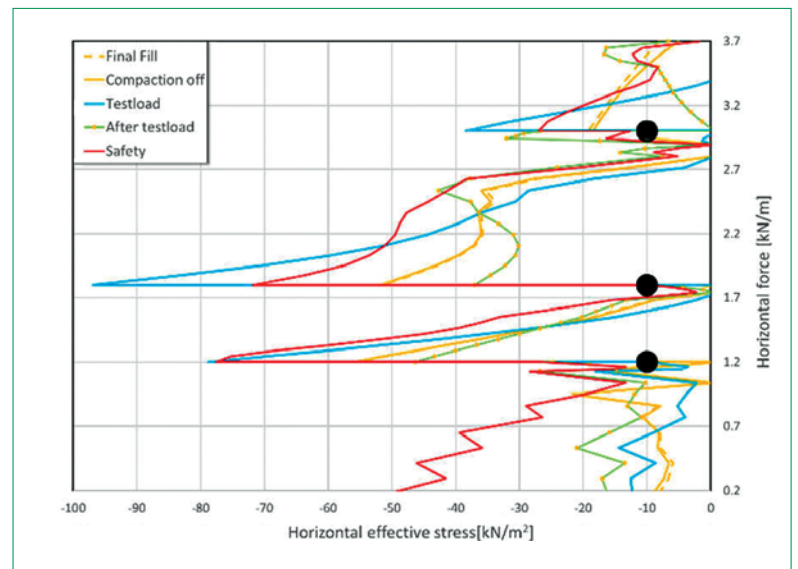
Figuur 5 geeft een overzicht van de belasting. De fundering had een oppervlakte van $3 \times 6 \text{ m}^2$, waarop een belastingsplatform met overstek ($8 \times 5 \text{ m}^2$) is gemaakt. De totale verticale belasting is circa 150 ton, zijnde 82 kN/m^2 .

Meetopstelling

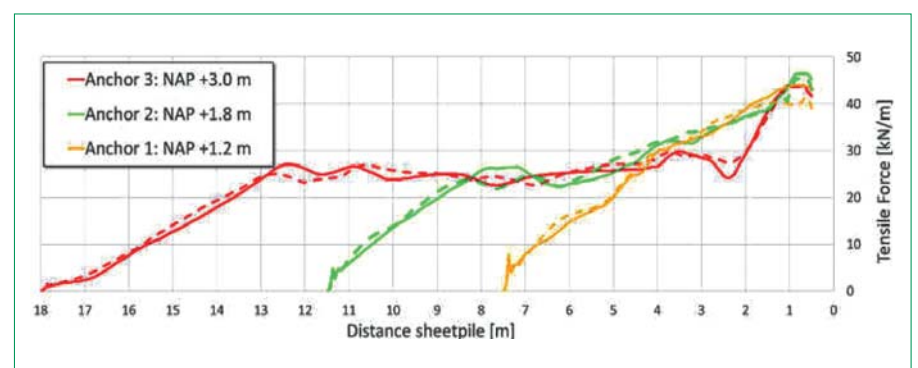
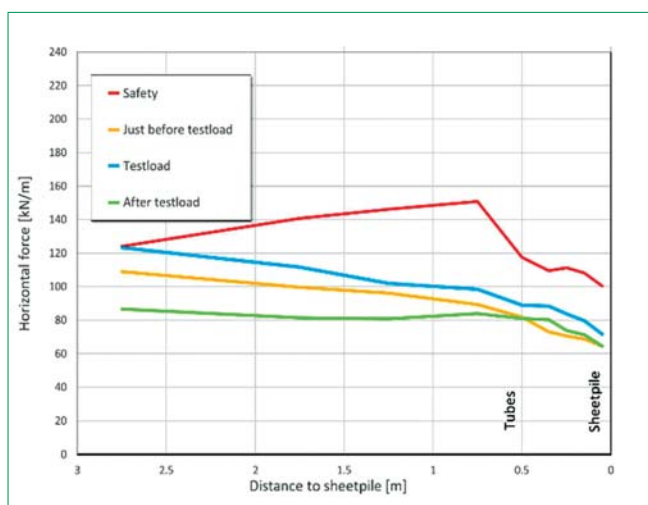
Er is gekozen voor redundantie in de meetopstelling. De lokale rekken in de geogrids zijn gemeten door de verschilverplaatsingen over een korte afstand (Glötzel). De (verandering in) afstand tussen



Figuur 6 – Gemeten ankerkrachten.



Figuur 7 – Horizontale effectieve korrelspanning tegen de damwand.



Figuur 8 – Geïntegreerde horizontale spanningen (maaiveld tot NAP +0,5 m).

Figuur 9 – Trekkracht in de individuele geogrids (stippellijn is bovenste geogrid, getrokken lijn is onderste geogrid) van één anker.

5 gefixeerde punten op het geogrid en de voorzijde van de damwanden zijn gemeten met een systeem van mantelbuizen en trekstangen. Dit meetsysteem werkt qua principe hetzelfde als de versnellingskabel bij een fiets. De verplaatsingen van de damwand zijn gemeten met een total station en spiegels op 2 verschillende niveaus. De totale trekkracht in een anker zijn gemeten met 4 krachtopnemers tussen de verdeelplaat en de damwand. Als laatste zijn de zettingen van het belastingplateau gemeten. De metingen zijn terug te vinden in [Springher]. Figuur 6 geeft de gemeten ankerkrachten. De spanningsrelaxatie in het geogrid is duidelijk waarneembaar (zie ook figuur 4).

Opmerkelijk is de toename in ankerkracht bij het wegnemen van de belastingen. Dit kan alleen als de afstand tussen horizontale buis waarom het geogrids is geslagen en damwand korter wordt. In de Plaxis berekening neemt de trekkracht ook toe van 37 kN/m met testload naar 39 kN/m zonder testload.

Postdictie analyses

De gemeten verplaatsingen van de damwand zijn enkele millimeters. Het aanbrengen van de boven-

belasting had geen enkele invloed op de gemeten ankerkrachten. Op basis van de vooraf uitgevoerde ontwerpberoeeningen was wel een verhoging van de ankerkrachten verwacht. Door [Springher] is een proefschrift opgesteld waarbij de metingen zijn geanalyseerd en met een 2D Plaxis EEM-model de resultaten van postdictie analyses zijn gerapporteerd. Dit EEM-model is op enkele punten aangepast. De belangrijkste aanpassingen zijn:

1. In het oorspronkelijke model had de interactie tussen geogrid en aanvulzand een cohesie van circa 5 kN/m². Deze cohesie is verlaagd naar 0 kN/m².
2. In het oorspronkelijke model werd in 1 berekeningstap gelijktijdig een uniforme bovenbelasting (simulatie verdichting) verwijderd en gelijktijdig de testbelasting aangebracht. Hierdoor werd een rotatie van de testbelasting berekend welke afweek van de gemeten zettingen. Er is een extra berekeningsfase toegevoegd waarin eerst de uniforme bovenbelasting is verwijderd en in een volgende berekeningsstap de proefbelasting is aangebracht.
3. De uniforme bovenbelasting voor het simuleren van de verdichting is vervangen door een bovenbelasting van 2 m breed. De positie van deze belasting is gevarieerd, zodat uiteindelijk het hele maaiveld belast is geweest.

In [Detert] zijn 9 onderzoeksvragen gedefinieerd. Enkele van deze onderzoeksvragen zijn ook van toepassing voor Windpark Krammer. Ingegaan wordt op de vragen 4 en 6 en deels op vraag 1.

Vraag 4: Wat is de invloed van de geogrid-ankers op de horizontale belasting op de damwand?

De verankering heeft op 2 manieren invloed op de horizontale belasting tegen de damwand:

- 4a) De 3 verankeringsniveaus, met in totaal 6 lagen geogrids, doorsnijden de actieve grondwig. Dit beïnvloedt mogelijk de vorm van de actieve wig en daarmee de horizontale belasting op de damwand.
- 4b) De damwand is via stalen beugels verbonden met een horizontale buis $\varnothing 156$ mm. Om de buis wordt een geogrid dubbel geslagen. De buis neemt een deel van de horizontale belasting op, de achterliggende damwand ligt in de schaduw van de buis. Dit effect wordt mogelijk verstrekt doordat tussen de buizen boogwerking ontstaat.

In figuur 7 is de berekende horizontale korrelspanning op de damwand, voor het verdichten, na

het verdichten, tijdens de proefbelasting en na het verwijderen van de proefbelasting getekend. De rode lijn geeft de horizontale korrelspanning voor de testbelasting met $M_{sf} = 1,87$. Achter de buizen (zwarte stippen) is een duidelijke reductie van de horizontale effectieve spanning te zien.

Om het effect op verschillende afstanden van de damwand te analyseren is de gronddruk uit figuur 7 berekend als functie van de afstand tot de damwand. De horizontale korrelspanningen zijn vervolgens tussen maaiveld tot NAP +0,5 m geïntegreerd tot een horizontale kracht per strekkende meter. Figuur 8 geeft deze horizontale kracht voor verschillende afstanden van de damwand. Vlak bij de damwand is de totale belasting redelijk constant. Voor en na het aanbrengen van de testbelasting is de horizontale effectieve belasting tussen maaiveld tot NAP +0,5 m circa 65 kN/m. Tijdens de belastingfase neemt de belasting met 10% toe tot 72 kN/m². Eenzelfde figuur is gemaakt voor de horizontale belasting tussen maaiveld tot NAP-1 m. De horizontale belasting voor de proefbelasting is 90 kN/m, tijdens het proefbelasting

118 kN/m (toename 30%) en na het proefbelasten 114 kN/m.

Het mogelijk ontstaan van boogwerking is onderzocht door de richtingen van de hoofdspansingen en het verloop van de te analyseren. Er was geen duidelijk patroon herkenbaar dat gewelfwerking al dan niet bevestigt.

Conclusie: Uit figuur 7 en 8 blijkt duidelijk dat de horizontale buis de horizontale belasting tegen de damwand verlaagt. De grootte van de reductie is niet eenduidig bepaald, daarvoor dienen aanvullende analyses te worden uitgevoerd.

Vraag 6: Welke sterkte moeten de geogrids hebben?

Elk anker bestaat uit twee lagen geogrid die om een buis zijn geslagen. Een subvraag van de benodigde sterkte is de vraag: Werken de twee geogrids samen? In figuur 9 is de berekende trekkracht in de individuele geogrids van de drie ankers weergegeven. Het verloop van de berekende trekkracht in het bovenste geogrid is nagenoeg gelijk aan de trekkracht in het onderste geogrid van een anker.

Conclusie: De twee geogridlagen van één anker werken perfect samen. De treksterkte en stijfheid is de som van de 2 geogrids van 1 ankerniveau.

Vraag 1: Hoe beïnvloedt de lengte van de geogrid de actieve zone?

De geogrid moet lang genoeg zijn om de belasting behoorlijk te kunnen overdragen op de grond, zonder risico van het uit de grond trekken van het geogrid. Hierbij moeten minimaal twee subvragen worden beantwoord:

1a) Waar draagt het geogrid de trekkracht over aan de grond?

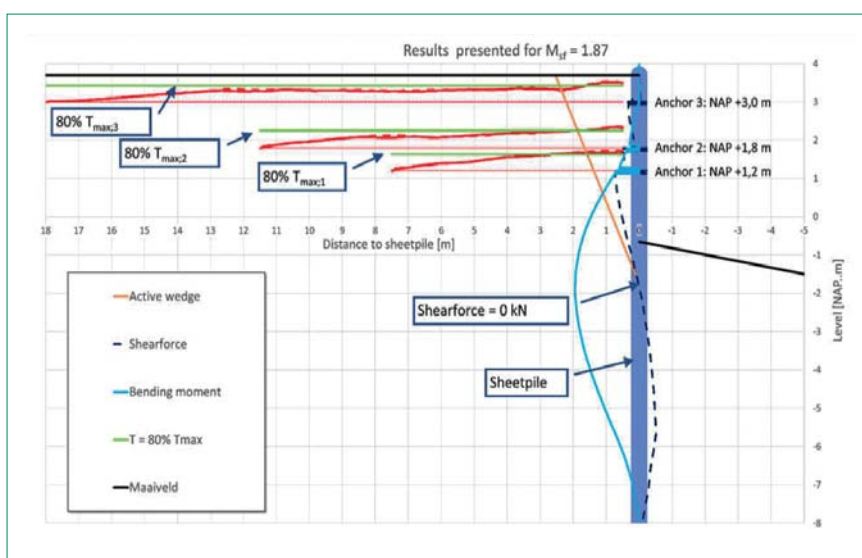
1b) Wordt aan beide zijden of aan één zijde van een geogrid wrijving gemobiliseerd?

Vraag 1a lijkt voor een enkele anker laag eenvoudig te beantwoorden. Het is logisch dat buiten de actieve wig wrijving kan worden gemobiliseerd. Maar hoe zit het met twee of meer ankerniveaus op korte afstand van elkaar? Het ontwerpuitgangspunt is dat een bovenliggend anker pas effectief kracht overdraagt aan de ondergrond aan het einde van een onderliggend anker, zie figuur 2. In figuur 10 is de berekende trekkracht in de geogrids weergegeven voor de drie ankerniveaus. Figuur 9 geeft het verloop van dezelfde trekkracht weer op een leesbare schaal. De trekkrachten zijn weergegeven na het uitvoeren van een phi-c reductie analyse ($M_{sf}=1,87$). De oorsprong van het actieve glijvlak is aangenomen in de dwarskrachten nulpunt.

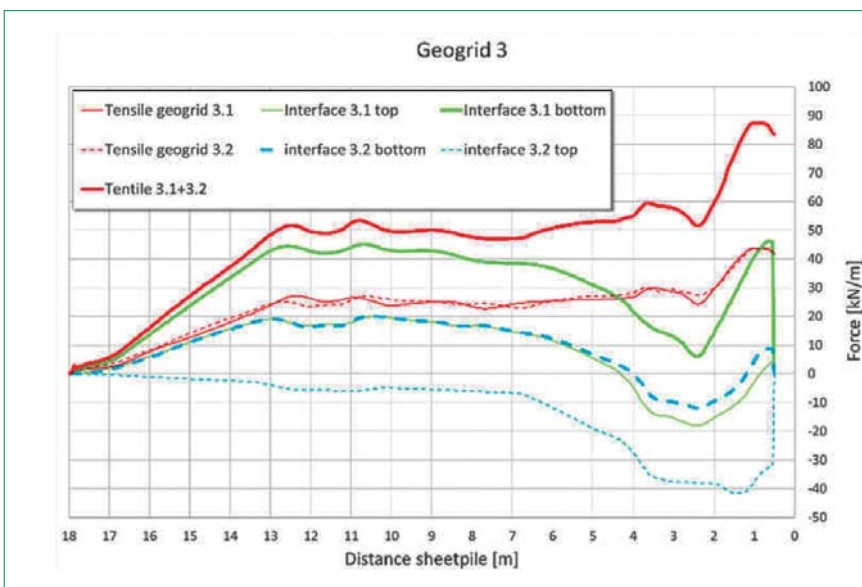
Voor het onderste ankerniveau is de afname van de trekkracht buiten het actieve glijvlak groot. Binnen de actieve wig lijkt de trekkracht redelijk constant. Voor het middelste anker is de afname buiten het actieve glijvlak gering. De afname gaat veel sneller vanaf de achterzijde van het onderliggende anker. Voor het bovenste anker geldt hetzelfde als voor het middelste anker. Tot de achterzijde van het middelste anker is een geringe afname in trekkracht in het bovenste anker beperkt, vanaf de achterzijde van het middelste anker wordt in het bovenste anker de meeste kracht afgedragen. Bij het bovenste anker wordt binnen de actieve glijvlak wel degelijk wrijving gemobiliseerd. Dit is het beste te zien in figuur 9, waarbij op korte afstand van de damwand de trekkracht in een geogrid afneemt van circa 44 kN/m naar circa 30 kN/m op circa 3 m afstand.

Conclusie: De ontwerpplanning voor het onderste anker dat de belasting buiten de actieve glijvlak wordt overgedragen is correct. Dat voor de bovenliggende ankers de belasting pas wordt overgedragen vanaf de achterzijde van een onderliggend anker lijkt deels waar. Een klein deel van de ankerkracht wordt al afgedragen buiten het actieve glijvlak. Waarschijnlijk heeft de onderlinge afstand tussen de ankers en de diepte ten opzichte van maaiveld een grote invloed. Wel lijkt het duidelijk dat het ontwerpuitgangspunt voor analytische berekeningen een veilige aanname lijkt.

Figuur 10 –
Berekende
verloop in de
ankerkrachten,
 $M_{sf} = 1,87$.



Figuur 11 –
Trekkracht en
gemobiliseerde
wrijving anker 3
van beide
geogrids.



Vraag 1b) Wordt aan één of aan twee zijden wrijving gemobiliseerd?

Deze vraag is beantwoord door heel gedetailleerd de wrijving tussen de individuele lagen van het bovenste anker te beschouwen. Figuur 11 geeft de trekkracht weer in de beide individuele geogrid lagen (dunne rode lijnen) en de gesommeerde trekkracht (dikke rode lijn). De dikke groene lijn geeft de gemobiliseerde wrijving weer langs de onderzijde van het onderste geogrid. Vanaf de achterzijde van het anker (18 m vanaf de damwand) tot circa 13 m vanaf de damwand is de gemobiliseerde wrijving aan de onderzijde van het onderste geogrid gelijk aan de totale trekkracht. Ook is de ontwikkelde wrijving aan de onderzijde van het bovenste geogrid gelijk aan de trekkracht in het bovenste geogrid. Verder is de wrijving aan de onderzijde van het bovenste geogrid gelijk aan de wrijving aan de bovenzijde van het onderste geogrid. (dunne groene lijn versus dikke blauw gestippelde lijn). Er wordt dus effectief slechts aan één zijde wrijving ontwikkeld.

Conclusie: Voor de bepaling van de effectieve ankerlengte wordt alleen aan de onderzijde van het anker wrijving gemobiliseerd.

Conclusie

Duidelijk is dat een met geogrid verankerde damwand nog voldoende geheimen met zich

meedraagt en dat het ontwerpen van een dergelijke constructie uitdagend is. Op basis van de beschreven praktijktest en analyses zijn de volgende conclusies te trekken:

1. De geogridverankering lijkt de horizontale belasting tegen de damwand te verlagen. Dit effect is alleen waarneembaar rondom de ankers, achter de horizontale buizen. De horizontale belasting wordt dan door de buizen opgenomen en zo overgebracht op het geogrid. Voor het ontwerp van het geogrid maakt dit dus geen verschil, hooguit voor het ontwerp van de damwand die een iets lagere belasting zou krijgen.
2. Voor de bepaling van de trekkracht en de axiale stijfheid werken beide geogrids samen, $1+1=2$. Indien in een berekeningsmodel een ankerlaag met één geogrid wordt gemodelleerd, is de stijfheid en sterkte gelijk aan de som van beide geogrids.
3. De effectieve ankerlengte van het onderste anker begint net buiten het actieve glijvlak. De effectieve lengte van bovenliggende ankers begint aan de achterkant van een onderliggend geogrid. Ook bij bovenliggende geogrids wordt buiten de het actieve glijvlak al wrijving ontwikkeld. Deze wrijving is echter relatief beperkt en waarschijnlijk sterk afhankelijk van de geometrie en dient bij analytische analyses niet te worden meegenomen.

4. Het grootste deel van de ankerkracht (circa 80%) wordt opgenomen door alleen wrijving aan de onderzijde van een anker. Wrijving aan de bovenzijde is er wel, maar draagt slecht in geringe mate bij. Vooralsnog wordt aanbevolen alleen aan de onderzijde rekening te houden met wrijving.

Dankwoord

De proef te Krammer is mogelijk gemaakt door GmbH, Gebr. De Koning, Voets Gewapende Grond, Huesker Synthetic gmbh, Inpijn en Blokpoel, Ruhr-Universität Bochum en GeoTec Solutions. Bij de analyse van de resultaten is veel werk verzet door Ruhr-Universität Bochum, Duitsland. Extra sponsoring van TKI-PPS (Ministerie van Economische zaken) en Deltares heeft het mogelijk gemaakt in het laboratorium met schaalmodellen het gedrag nader te analyseren.

Referenties

- Detert, Oliver en anderen, GeoGrid-verankerde damwanden Deel 1: Voorbeeld projecten en onderzoeksoepzet. Geotechniek, jaargang 23, nummer 4 november 2019.
- Spingher, Suleiman Modellvalidierung einer mit Geogittern rückverankerten Arbeitsplattform zum Bau von Offshore-Windenergie Anlagen, 28.09.2018, Suleiman Spingher Masterarbeit Ruhr Universität Bochum. ●



STERK, ROBUUST EN KOSTENEFFICIËNT

Secugrid® HS

Geogrid met hoge treksterkte

Toepassingen:

- Ophogingen op slappe ondergrond
- Gewapende matras voor o.a. paalmatrassystemen
- Voorkomen van ongelijkmatige zettingen door aardverschuivingen en ondergrond instabiliteit

Voordelen:

- Kortere bouwtijd door snellere consolidatie
- Kostenbesparend door optimalisering van het paalstramien
- Vergroting van de verkeersveiligheid

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