



Dr. Oliver Detert
HUESKER Synthetic GmbH,
Duitsland



Dr. Arash Lavasan
HUESKER Synthetic
GmbH, Duitsland



Ir. Joris van den Berg
HUESKER Synthetic BV



Ing. Piet van Duijnen
GeoTec Solutions



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 1: VOORBEELDPROJECTEN EN ONDERZOEKSOPZET

Inleiding

Damwanden worden toegepast bij ontgravingen en bij ophogingen. Bij een ontgraving wordt eerst de damwand geïnstalleerd. Daarna wordt er ontgraven tot het eerste verankeringsniveau en worden de stalen ankers geïnstalleerd. Vervolgens wordt er verder gegraven en verankerd totdat de uiteindelijke diepte is bereikt.

Bij een damwand voor een ophoging is er een bepaalde hoogte van de ophoging nodig voordat de stalen ankers kunnen worden geïnstalleerd. Dit heeft als nadeel dat de damwand al kan gaan vervormen tijdens het ophogen. Deze initiële vervorming kan onacceptabel groot zijn en dan is een tijdelijke ondersteuning noodzakelijk.

Een alternatief bij een damwand voor een ophoging is om de damwand te verankeren met geogrids (Figuur 1). In dat geval worden de geogrids geïnstalleerd en verbonden aan de damwand tijdens het ophogen. Door voor te spannen ontstaat er een trekspanning in het geogrid, en dat reduceert de initiële vervorming van de damwand.

Hoe moeten we de geogrid-verankering ontwerpen? Daar is nog geen officiële ontwerpmethodologie voor beschikbaar. De constructie is vergelijkbaar met grondwapening met een daaraan verankerde stijve voorzetwand, met dit verschil dat hier ook moment kan worden afgedragen naar het ingeklemde deel van de damwand. Hij is ook vergelijkbaar met een verankerde damwand, maar nu wordt op meerdere hoogtes over de volle

breedte verankerd. Uitgebreide analytische en numerieke analyses zijn daarom nog noodzakelijk. Het meest conservatieve resultaat uit de analyses wordt gebruikt.

Er is dus behoefte aan een duidelijke ontwerpmethodologie voor geogrid-verankerde damwanden. Daarvoor is het noodzakelijk om eerst goed te begrijpen welke mechanismen een rol spelen. Zijn deze vergelijkbaar met die in de situatie van gewapende grond met een stijve voorzetwand, of met die bij een normale verankerde damwand, of zijn de mechanismen toch net iets anders? Om de mechanismen in kaart te brengen is een groot onderzoek opgezet, waarover we in GeoKunst met een serie artikelen zullen rapporteren. Dit eerste artikel presenteert een viertal casestudies en gaat in op het verschil tussen geogrid- en stalen damwand-verankeringen. Het artikel besluit met een overzicht van de onderzoeksvragen over het geotechnisch gedrag. Op basis hiervan hopen we te komen tot een ontwerpprocedure.

Casestudies

Geogrids zijn al meermalen in de praktijk toegepast als tijdelijke en permanente anker-elementen van kerende constructies. In de volgende paragrafen beschrijven we vier casestudies.

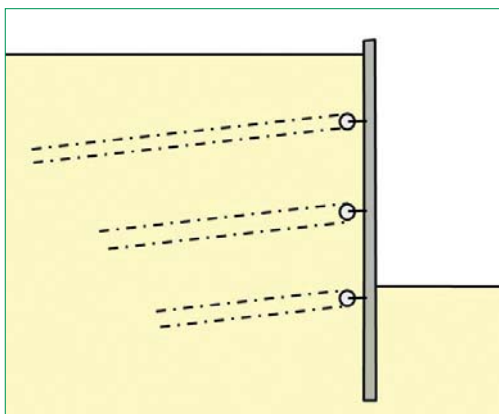
CASE 1 - TIJDELIJKE BRUG IN ZWITSERLAND

In Domat/Ems, Zwitserland, is in 2006 op een bouwplaats een tijdelijke brug gebouwd. Om

ongeveer 600.000 m³ uitgegraven grond af te voeren moesten in zes maanden ongeveer 40.000 74-tons trucks-passages over de brug plaatsvinden. De brug was 10 meter hoog, en bestond uit twee losse rijbanen met een overspanning van 11 meter, met in het midden een steunpunt. De landhoofden van de brug zijn uitgevoerd met behulp van balkenwanden (type: Berliner wand), die ieder waren verankerd met vier dubbele lagen Fortrac® geogrid. De lange-duur treksterkte van het geogrid was 150 tot 220 kN/m. De geogrids waren met I-balken bevestigd aan de damwand en voorgespannen om initiële vervormingen tijdens de constructiefase te beperken. Omdat het om een tijdelijke brug ging, is veel zorg besteed aan de demonteerbaarheid van de brug en de herbruikbaarheid van de bouwmaterialen. Alle materialen zijn na het terugwinnen beproefd en voldoende goed bevonden om ze nog minimaal één keer te kunnen gebruiken in een ander project. Bovendien werden zoveel mogelijk lokale vulmaterialen gebruikt om de kosten te drukken.

De geogrids werden voorgespannen met behulp van een kleine sleuf. In figuur 4 is de werkwijze weergegeven. Deze werkte goed, er was slechts een klein beetje voorspanning nodig.

Na ingebruikname liet geodetische en visuele inspectie van het geogrid maximaal 10 mm horizontale en verticale deformatie zien, en het landhoofd zelf verplaatste maximaal 5 mm, horizontaal en verticaal.



Figuur 1 – Een geogrid-verankerde damwand.



Figuur 2 – Tijdelijke brug in Zwitserland.

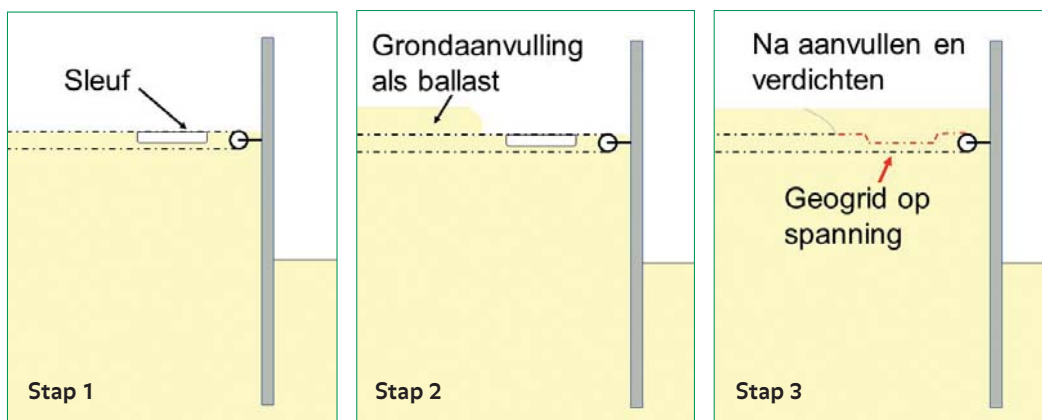


Figuur 3 – De bouw van de tijdelijke brug in Zwitserland.

SAMENVATTING

Er bestaan verschillende verankeringsystemen voor stalen damwanden met elk hun eigen voor- en nadelen. Een relatief nieuwe methode is een damwand-verankering met geogrids. Een eenduidige ontwerpmethode voor dit alternatief bestaat nog niet, zodat voor ieder ontwerp een uitgebreide numerieke en analytische berekeningen nodig is. Om te komen tot meer begrip van de werking van constructie en uiteindelijk een generieke ontwerpmethode,

is een grootschalig onderzoek opgestart. De eerste van een serie artikelen presenteert vier voorbeeldprojecten met geogrid-verankerde damwanden en beschrijft de doelen van het onderzoek. De volgende artikelen zullen ingaan op de resultaten van veldmonitoring, laboratoriumproeven en numerieke analyses.



Figuur 4 – Opspannen geogrid.

CASE 2 – TIJDELIJKE VERANKERING VAN EEN OUDE DAMWAND BIJ “HET SPIJKERTJE” IN AMERSFOORT

Dertien jaar geleden is het historische pakhuis ‘De Spijkertje’ in Amersfoort gesloopt. Op deze markante plek aan de haven wordt nu een nieuw gebouw gerealiseerd op dezelfde locatie, direct naast de Eemhaven. Het nieuwe gebouw wordt straks een bistro ‘t Spijkertje, met uitzicht op de Koppelpoort, de haven, de rivier de Eem en het Eemplein. De oude kade was in de loop van de tijd verschillende keren versterkt en bestond inmiddels uit drie deels vervallen keerconstructies. Vanaf het water naar ‘t Spijkertje waren dat:

- een 12 m lange damwand AZ 26, niet verankerd;
- een 8 m lange damwand Larssen II n, 8 m lang, verankerd;
- een oude bakstenen kademuur op een fundering van houten palen.

Vanwege de aanleg van een kelder voor ‘t Spijkertje moesten de oude bakstenen kademuur en de horizontale ankers over een lengte van circa 22 m worden verwijderd. De buitenste damwand diende tijdens een langdurige bouwphase de grond aan de landzijde te keren en daarvoor was een damwand-verankering nodig.

Voor de bouw- en gebruiksfase zijn de volgende oplossingen beschouwd.

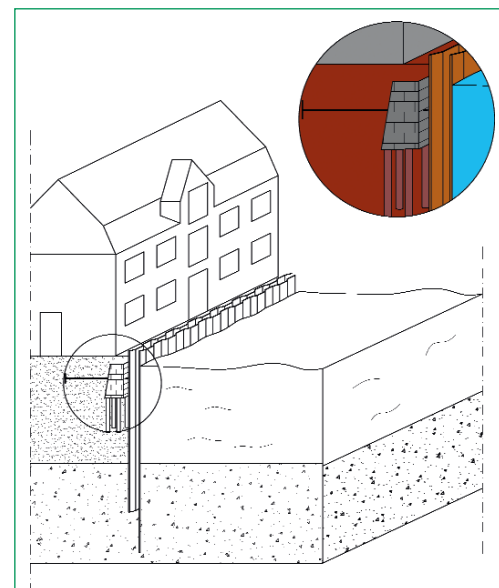
- Horizontale ankers - Door de toekomstige kelder was een horizontale verankering van de damwand onder het gebouw niet mogelijk.
- Twee verankerungen aan weerszijden van het souterrain - De belasting zou via een 22 m lange gording naar twee ankers moeten worden overgebracht. Dit zou tot onrealistische gordingafmetingen hebben geleid en zou extreem hoge

ankerkrachten hebben opgeleverd.

- Sterk hellende ankers – De ankers zouden op deze wijze onder de kelder door kunnen. De damwand bevond zich dicht bij de toekomstige kelderconstructie, waardoor de vereiste hellingshoek zeer groot zou zijn. Door de grote verticale component zou het draagvermogen van de damwand worden overschreden.
- Een derde onverankerde damwand vóór de bestaande damwand. De damwand zou relatief zwaar moeten worden gedimensioneerd. Deze oplossing kwam om economische redenen niet in aanmerking.
- Koppeling van de twee bestaande damwanden – Dit betrof een concept waarbij beton tussen de bestaande damwanden werd gestort. Deze verbinding zou een stijve samengestelde kademuur vormen. De oplossing werd niet gekozen vanwege de onzekerheden met betrekking tot de spanningsverdeling en de vervormingen tijdens de verdichting van het beton.
- Verbinding tussen de damwand en de kelder - Dit was niet mogelijk omdat de kelder nog niet was gebouwd in deze bouwphase.

Uiteindelijk is besloten om voor de periode tot de aanleg van de kelder een tijdelijke geogrid-verankering van de damwand toe te passen. Na de realisatie van de kelder kon deze verankering weer worden verwijderd en konden damwand en kelder permanent worden verbonden. De damwand-verankering bestond uit een geogrid vervaardigd van PVA met een korte-duur treksterkte van 600 kN/m. De verbinding met de damwand bestond uit stalen haarspelden, waardoor een stalen buis werd geschoven (figuur 6).

Na de eerste laag geogrid werd een zandlaag aangebracht en verdicht, waarna de teruggeslagen



Figuur 5 – De oude vervallen keerconstructie bij het gesloopte pakhuis De Spijkertje in Amersfoort.

tweede laag van de geogrid werd teruggelegd. Een overlengte van 0,5 m maakte het mogelijk het bovenste geogrid strak te trekken, met een bak van een mobiele kraan (figuur 5).

De tijdelijke geogrid damwand-verankering werd gerealiseerd in twee dagen. De damwand is gedurende de gehele bouwphase niet zichtbaar gevormd.

CASE 3 - AUTOBAHN A 20 IN DUITSLAND – PERMANENTE VERANKERING MET GEOGRIDS GEMAAKT VAN ARAMIDE

Voor de nieuwe Autobahn A20 in Duitsland, de zogenaamde Baltic Sea Autobahn, was tussen Sanitz en Tessin een 15 m hoge aardebaan nodig over een tracé van 160 m met extreem slappe grond. Verschillende bouwtechnieken werden overwogen. Het vervangen van de slappe grond ging niet, want het slappe pakket was 15 m dik. Andere traditionele bouwmethoden waren ook moeilijk en extreem duur. Bovendien waren er strenge eisen aan de bouwtijd en de toegestane milieu-effecten.

Uiteindelijk is er een gestabiliseerd talud gebouwd. Hiervoor werden twee rijen buispalen van 21 m lang de grond ingetrild met een hart-op-hart afstand van tweemaal de buisdiameter. Tussen de buizen kwamen geotextiel-omhulde kolommen. Samen vormden ze een wand. De machine die

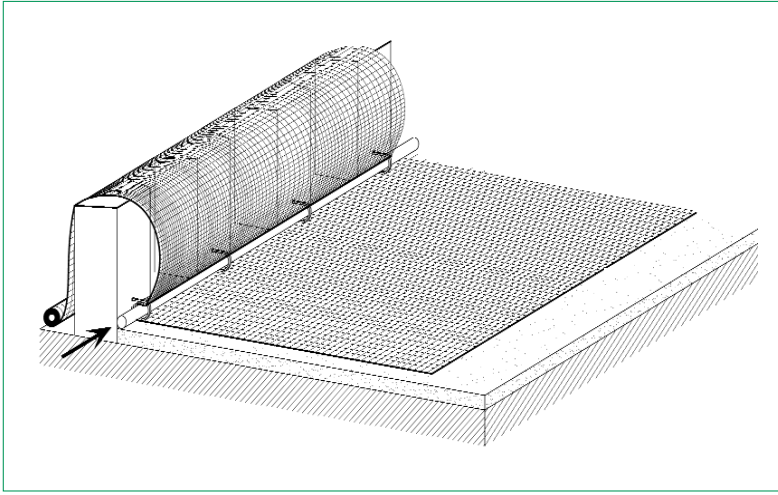


Foto 6 – Een stalen pijp steekt door de haarspelden en bevestigt het geogrid aan de stalen damwandplanken. De bovenste geogrid-



Foto 7 – Borgen met grond en voorspannen van het geogrid door het geogrid over een geul te leggen.



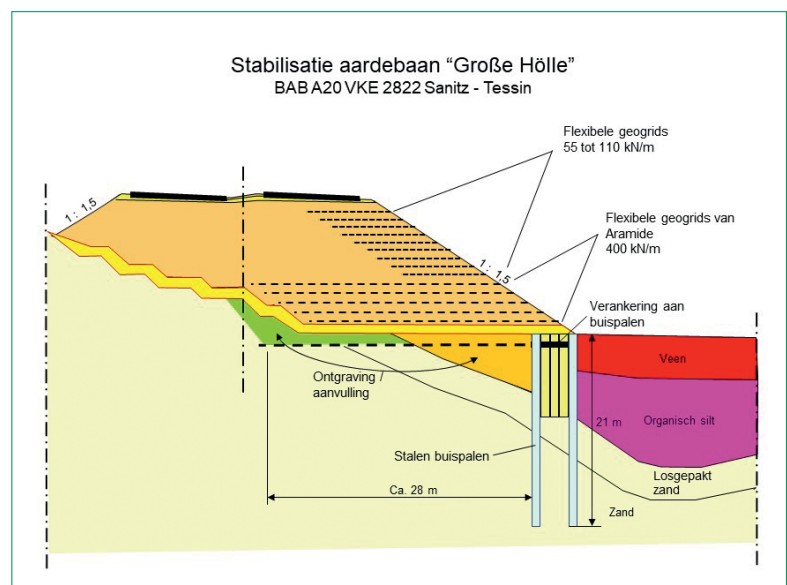
Foto 8 – Verbinding geogrid - damwand.



Foto 9 – Horizontale verankering van stalen buispalen.



Figuur 10 – Werkplatform op stalen buispalen.



Figuur 11 – Dwarsdoorsnede; aanvulling gewapend met geogrid.

de palen installeerde stond op een werkplatform op de reeds geïnstalleerde palen (figuur 10). Bovenaan werden de stalen buizen verbonden met een speciale stalen constructie en horizontaal verankerd met de 28 m lange geogrids. Deze geogrids van aramide hadden een hoge stijfheid, waren flexibel en hadden een korte duur treksterkte van 400 kN/m. De geogrids werden rimpelloos maar zonder voorspanning geïnstalleerd (figuur 9).

De rest van de slappe grond tussen palen en toekomstig weglichaam werd vervangen door geschikt vulmateriaal. Daarboven kwam het weglichaam dat bestond uit met geogrid gewapende grond (figuur 11). De figuur laat zien hoe op deze manier in totaal 30 m hoogteverschil werd gekeerd: het 15 m hoge dijklichaam en 15 m de slappe bodem in. Acht maanden na het einde van de bouw werd een horizontale deformatie gemeten van slechts 5 cm, minder dan 0.5% van de aardebaanhoogte (figuur 12) De oplossing met de permanente Aramide geogrid-verankering was effectief qua kosten en qua tijd.

CASE 4 – WINDPARK KRAMMER

Van 2016 tot 2018 zijn 34 windturbines gebouwd rondom de Krammersluizen bij Bruinisse. De windturbines hebben een ashoogte van circa 122 m. Veertien zijn op de strekdammen van het sluiscomplex geplaatst. Om voldoende ruimte te creëren voor de fundering van de mast en de kraanopstelplaats zijn tegen de strekdam 14 grondaanvullingen gerealiseerd. Hiervoor is in het water een korte damwand ingebracht met een inheidepte van circa 10 m. De ruimte tussen de strekdam en de damwand is aangevuld met zand tot net boven het hoogwaterniveau. De damwand is op drie tot vijf niveaus verankerd met een geogrid.



Figuur 13 – Bouwkuip kraanopstelplaats Krammer.

De geogrid-verankering is om een stalen buis geslagen, die met beugels aan de damwand is gekoppeld (figuur 14).

Nadat de grondaanvulling op hoogte is gebracht, zijn de betonnen fundatiepalen voor de windturbine dwars door de geogrid verankering heen aangebracht. Hiervoor zijn eerst gaten voor-geboord door de geogrid-verankering. Tijdens het ontwerp was rekening gehouden met het bijbehorende verlies aan geogrid. De mogelijkheid palen door de geogrid-verankering heen te zetten geeft een geogrid-verankering een uniek voordeel ten opzichte van stalen ankers.

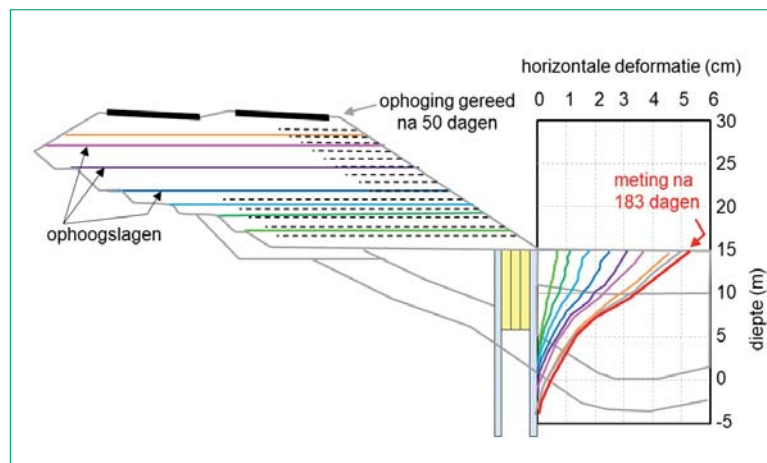
Verschillen tussen damwand-ankers van staal en van geogrid

De vier cases tonen de veelzijdige toepassing van geogrids als anker-elementen voor damwanden. Inmiddels zijn in Nederland nog meer damwanden met geogrids verankerd. Voorbeelden zijn diverse hulpbruggen in het project N31 Harlingen, de land-tunnel Gaasperdammerweg in Amsterdam en de spoorbaanverbreding bij Utrecht Leidsche Rijn. Uit de vier cases komen een aantal punten naar voren waarin damwand-ankers van staal en van geogrid verschillen:

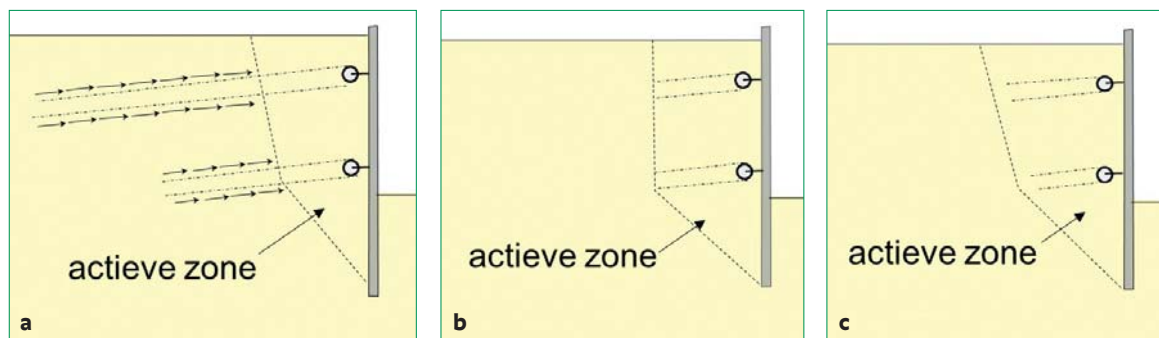
- De overdracht van de belasting naar de grond gaat over de volle lengte van het geogrid, bij een groutanker gebeurt dat alleen bij het groutlichaam. Dit maakt dat we de sterkte van de grond efficiënter inzetten.
- De puntlast van een stalen anker op de damwand kan worden gespreid door een gording toe te passen. Bij geogrid verankering is zo een gording onnodig.
- De aansluiting van de geogrids op de damwand wordt uitgevoerd als een scharnier. Dit is flexibeler dan de aansluiting bij stalen ankers. Hierdoor is een geogrid verankering minder gevoelig voor verschilzettingen.
- Het gebruik van meerdere geogrids op verschillende hoogtes reduceert het buigend moment in de damwand.
- Palen kunnen eenvoudig achteraf achter de damwand worden geïnstalleerd; na voorbereiden gaan ze zonder problemen dwars door de geogrid-verankering.
- Geogrids corroderen niet.

Beschouwen we het gehele systeem van een damwand met een geogrid-verankering, dan kan het geogrid een 'wapenend' effect hebben op de grond, waardoor de horizontale belasting op de damwand vermindert. Dit effect moet voor de

Figuur 12 – Gemeten deformatie van de stalen buizen-damwand. In kleur de ophoogslagen en de deformatie in de tijd, de dikke rode lijn geeft de deformatie na 183 dagen.

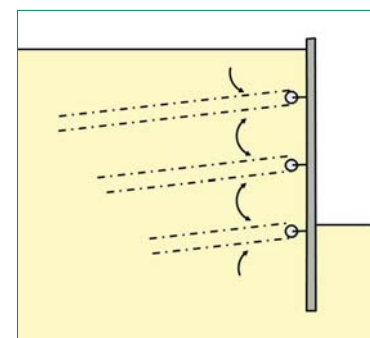


Figuur 14 – Verankering van de geogrids met behulp van buizen.



Figuur 15 – Invloed van de geogrid-lengte op de actieve zone.

a. Juist ontwerp geogrid-lengte; b. Geogrids met dezelfde geogrid-lengte; c. Onvoldoende geogrid-lengte.



Figuur 16 – Boogwerking.

combinatie damwand/ geogrid-verankering nader worden onderzocht.

Onderzoeksvragen

Voor het ontwikkelen van een adequate ontwerp-methode moeten we eerst het gedrag van een geogrid-verankerde damwand goed begrijpen. Daarom is er een onderzoek opgezet, dat gericht is op het beantwoorden van de volgende vragen:

HOE BEÏNVLOEDT DE LENGTE VAN DE GEOGRIDS DE ACTIEVE ZONE?

Het geogrid moet lang genoeg zijn om zijn belasting behoorlijk te kunnen overdragen op de grond, zonder risico op het uit de grond trekken van het geogrid. Hierbij moet het geogrid voldoende ver buiten de actieve zone reiken (Figuur 14a). De geogrids beïnvloeden echter de vorm en de grootte van de actieve zone. Zijn twee geogrids even kort en/of te kort, dan kan een actieve zone ontstaan zoals in Figuur 14b of 14c. Deze situatie valt buiten de scope van dit onderzoeksproject.

HOE BEÏNVLOEDT DE BOVENBELASTING DE DAMWAND?

Verkeers- of kraanbelasting is 3D van aard en beïnvloedt de vorm en grootte van de actieve zone. Dit verandert de trekkracht-verdeling in de geogrids. De invloed hiervan op de spanningen en vervormingen van de damwand moet worden begrepen. De toename van de verticale belasting vergroot de weerstand tegen het uittrekken van het geogrid, zodat een bovenbelasting mogelijk gunstiger werkt dan bij een traditioneel verankerde damwand.

WAT IS DE INVLOED VAN DE BOUWFASE?

Voor iedere bouwfase moet er voldoende inzicht zijn in de spanningsverdeling en het vermogen om bijbehorende buigende momenten op te nemen zonder te veel initiële vervormingen.

WAT IS DE INVLOED VAN DE GEOGRID-ANKERS OP DE HORIZONTALE BELASTING OP DE DAMWAND?

De damwand wordt op verschillende hoogtes verankerd met een geogrid, en dat beïnvloedt de

vorm van de vervormende damwand. Dit heeft weer invloed op de verdeling van de horizontale belasting op de damwand: er ontstaat boogwerking tussen de geogrids in. De gemiddelde horizontale belasting op de damwand is hiermee anders dan bij een damwand die is verankerd met stalen ankers.

WAT IS DE INVLOED VAN VOORSPANNING?

Het biedt voordelen om ieder geogrid-laag voor te spannen vóór verdere aanvulling. Dit steunt de damwand voordat de horizontale belasting uit de aanvulling optreedt. Dit vermindert de initiële vervormingen van de damwand gedurende de uitvoering, maar vergroot de belasting op het geogrid. Door kruip en spanningsrelaxatie zal de voorspanning langzaam afnemen. In zettingsgevoelige gebieden neemt de trekbelasting op het geogrid geleidelijk toe, waarmee mogelijk het effect van spanningsrelaxatie weer teniet wordt gedaan.

WELKE STERKTE MOETEN DE GEOGRIDS HEBBEN?

Het doel is om een rekenprocedure te ontwikkelen om de benodigde ontwerp-sterkte van het geogrid te bepalen. Het is nog niet duidelijk of de voorspanning daarbij een uitgangspunt moet zijn, of juist een resultaat van de berekeningen.

HET GEOGRID WAPENT DE GROND. HOEVEEL REDUCEERT DAT DE HORIZONTALE BELASTING OP DE DAMWAND?

De geogrids wapenen de grond, en boogwerking tussen de geogrid-lagen reduceert de belasting op de damwand. De buizen waarom het geogrid wordt geslagen hebben een diameter van circa 15 cm, en de afstand tussen de ankerlagen is gemiddeld 1,2 m. Een deel van de horizontale grondbelasting gaat mogelijk rechtstreeks naar de horizontale buizen waardoor de belasting op de damwand verder afneemt. Het is belangrijk om te begrijpen in welke mate dit gebeurt.

WAT MOET DE INBEDDINGSDIEPTE VAN DE DAMWAND ZIJN?

Een geogrid-verankerde damwand kent minder horizontale belasting, en verplaatst minder dan een damwand met stalen ankers. Dit betekent dat de damwand wellicht minder diep hoeft te worden

ingebod, zonder dat de damwandverplaatsingen ontoelaatbaar groot worden gedurende de bouw- en/of gebruiksfase. Het vinden van de meest economische oplossing is daarmee een uitdaging geworden. Het aantal ankerlagen bepaalt de benodigde inbeddingsdiepte en vice versa.

HOE GEDRAAGT DE CONSTRUCTIE ZICH BIJ VERSCHILLENDE TOEPASSINGEN?

Dit artikel geeft al vier voorbeelden van toepassingen van geogrid-verankerde damwanden. Er zijn er nog meer denkbaar. Verschillende toepassingen kunnen zo hun eigen gevolgen hebben.

Onderzoek

Het met geogrids verankeren van damwanden is een recente ontwikkeling waar nog geen duidelijke ontwerp-methode voor beschikbaar is. Om tot een generieke ontwerp-methode te komen is het noodzakelijk om goed te begrijpen welke mechanismen een rol spelen. Voor dit doel is een groot onderzoek opgezet, dat voortbouwt op onderzoeken naar gewapende grond met stijve voorzetwanden en verankerde damwanden. Het onderzoek omvat het monitoren in oude en nieuwe praktijkprojecten, numerieke analyses en modelproeven. In de praktijkprojecten worden verplaatsingen en spanningen gemeten, gedurende zowel de bouw- als de gebruiksfase van de damwanden. Modelproeven in de Deltares modelhal zullen inzicht geven in het gedrag onder verschillende omstandigheden. Met de meetresultaten kunnen we numerieke modellen valideren, om daarna gecompliceerde omstandigheden te analyseren en parameterstudies te doen.

Dankwoord

Dit onderzoek wordt medegefinancierd door TKI-PPS subsidie van het ministerie van Economische Zaken. De proeven zijn gefinancierd door de betrokken marktpartijen, te weten Deltares, GMB, Gebr. De Koning, Voets Gewapende Grond, Huesker Synthetic B.V. Huesker GmbH en GeoTec Solutions. Bij het vaststellen van de proefopstelling is een significante bijdrage geleverd door de Universiteit van Bochum. ●