

JAARGANG 23 NUMMER 4 NOVEMBER 2019

geotek kunst

ONAFHANKELIJK VAKBLAD
VOOR GEBRUIKERS VAN
GEOKUNSTSTOFFEN



**GEOGRID-VERANKERDE DAMWANDEN
DEEL 1: VOORBEELDPROJECTEN EN ONDERZOEKSOPZET**

ONTWERPEN MET DE NIEUWE RICHTLIJN VOOR FUNDERINGSWAPENING

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 – 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
Juta Holland BV, Oldemarkt
Kiwa NV, Rijswijk
Kwast Consult, Houten
Low & Bonar, Arnhem
Movares Nederland BV, Utrecht
Naue GmbH & Co. KG,
Espelkamp-Fiestel
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,
Oosteinde
Ten Cate Geosynthetics
Netherlands BV, Nijverdal
Tensor International,
's-Hertogenbosch
Terre Armee BV, Waddinxveen
Witteveen + Bos, Deventer



TenCate Geosynthetics
Netherlands BV
Europalaan 206
7559 SC HEengelo
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



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,

Allereerst willen we onze nieuwe collectieve leden RWS en Stybenex van harte welkom heten. We zijn zeer verheugd dat RWS als grootste opdrachtgever van Nederland en Stybenex als branchevereniging van de Nederlandse fabrikanten van EPS nu bij de NGO zijn aangesloten. We zijn verschillende partijen aan het benaderen voor het collectieve lidmaatschap, om de diversiteit van de vereniging te vergroten en de continuïteit te waarborgen. Wilt u aansluiten als collectief lid, neem dan contact op met onze technisch secretaris en bekijk de voordelen van het lidmaatschap op onze website www.ngo.nl.



En dan nu over naar de inhoud van deze GeoKunst, het laatste nummer van dit jaar alweer. Er bestaan verschillende verankeringsystemen voor stalen damwanden met ieder zijn eigen voor- en nadelen. Het artikel van Oliver Detert, Arash Lavasan, Joris van den Berg, Piet van Duijnen, Diethard König, Raoul Hölter en Suzanne van Eekelen gaat in op damwandverankering met geogrids. Dit is een relatief nieuwe oplossing waar nog geen eenduidige ontwerpmethode voor beschikbaar is. Om te komen tot meer begrip van de werking van de constructie en uiteindelijk een 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 gaan in op de resultaten van veldmonitoring, laboratoriumproeven en numerieke analyses.

De draagkracht van een wegfundering is van groot belang om, zeker in gebieden met een slappe grondslag, een weg-, terrein- of terminalverharding te kunnen realiseren. Toepassing van een funderingswapening vervaardigd van geokunststoffen is een techniek om een fundering van ongebonden materiaal mechanisch te stabiliseren. Begin vorig jaar is de CROW publicatie C1001 'Geokunststoffen als funderingswapening in ongebonden funderingslagen' uitgekomen. In het artikel van Christ van Gurp en Erik Kwast wordt ingegaan op de ontwerpmethode volgens deze publicatie en wordt aan de hand van een aantal voorbeelden de meerwaarde van toepassing van funderingswapening aangetoond.

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*

Productie

**E. Kwast
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



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 Hölder, 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 ontwerpmethodode 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 ontwerpmethodode 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.

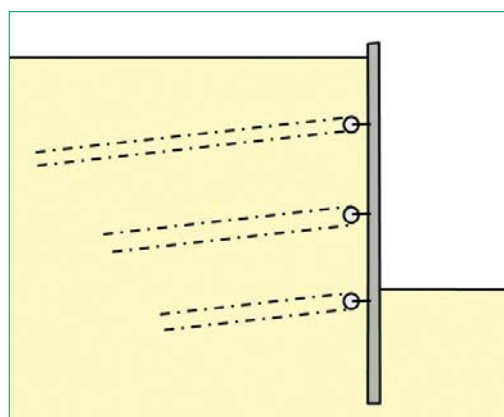
CASE 1 - TIJDELIJKE BRUG IN ZWITSERLAND

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.



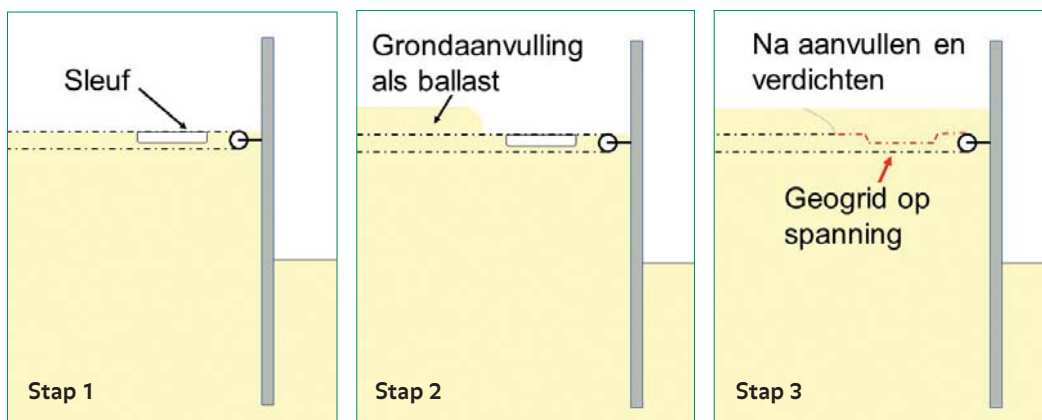
Figuur 2 – Tijdelijke brug in Zwitserland.



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

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.

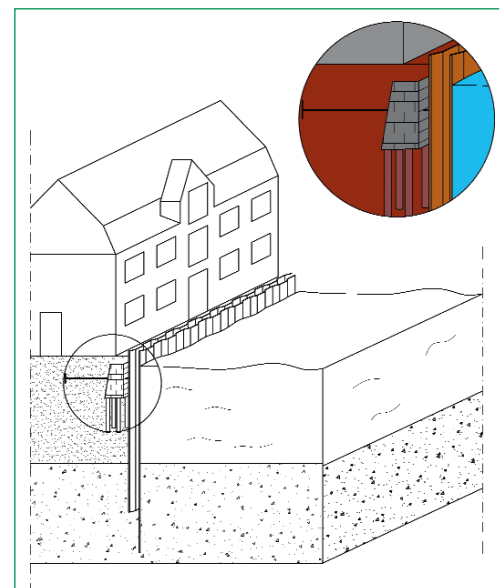
- Horizontale ankers - Door de toekomstige kelder was een horizontale verankering van de damwand onder het gebouw niet mogelijk.
- Twee verankerungen aan weerszijden van het souterrain - De belasting zou via een 22 m lange gording naar twee ankers moeten worden overgebracht. Dit zou tot onrealistische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

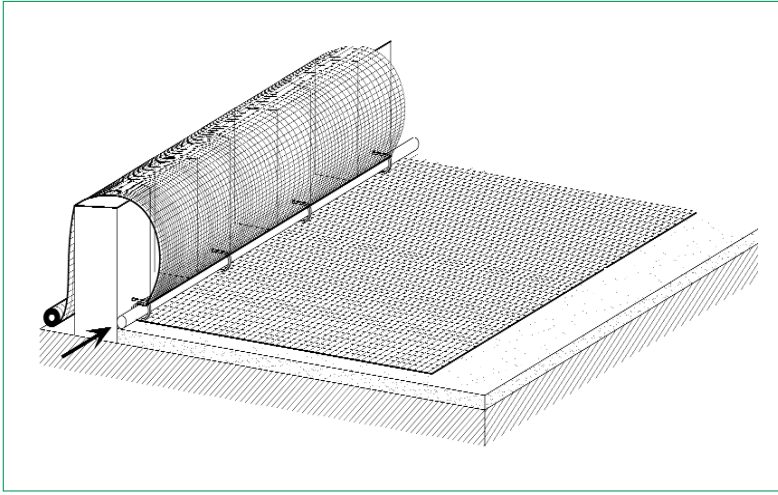


Foto 6 – Een stalen pijp steekt door de haarspelden en bevestigt het geogrid aan de stalen damwandplanken. De bovenste geogrid-



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



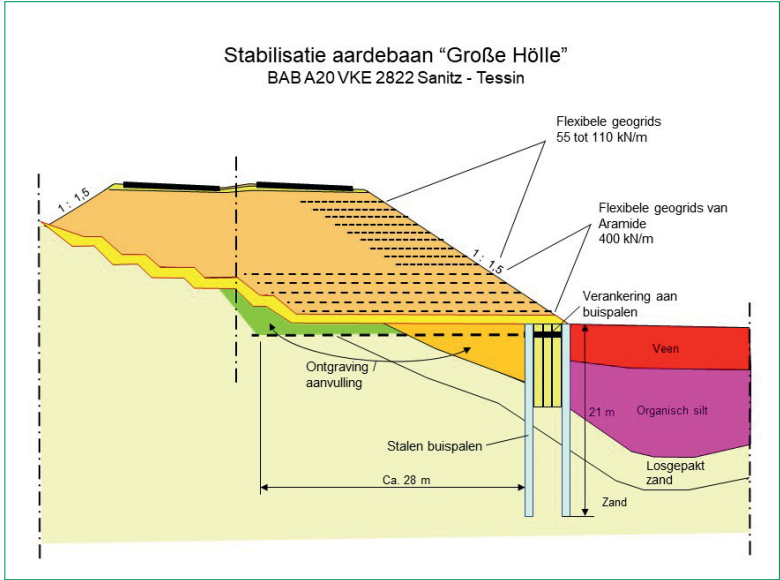
Foto 8 – Verbinding geogrid - damwand.



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 sluizencomplex 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 inheiddiepte 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.

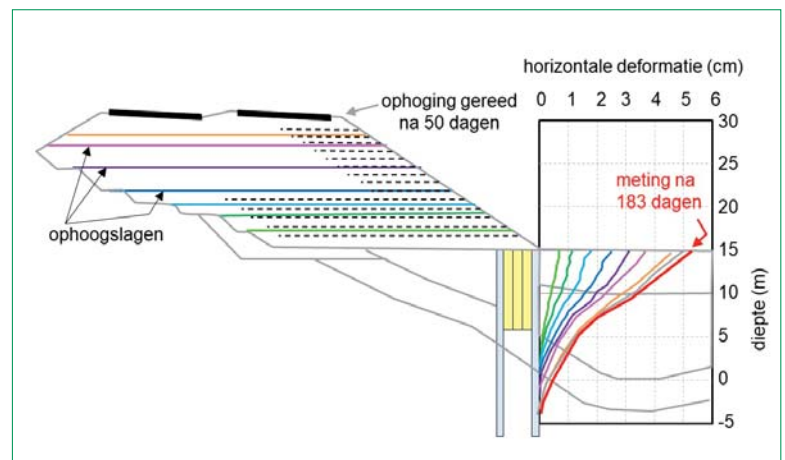
Verschillen tussen damwand-ankers van staal en van geogrid

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:

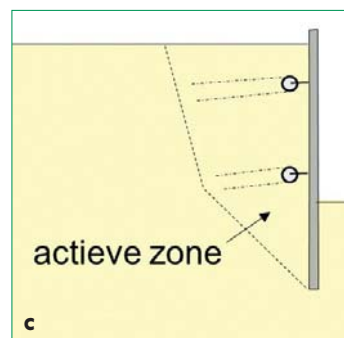
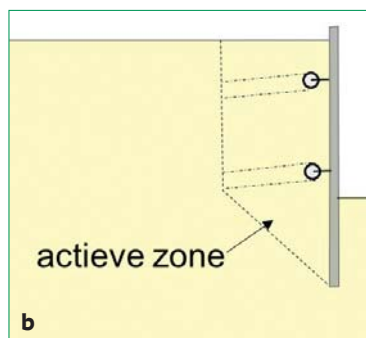
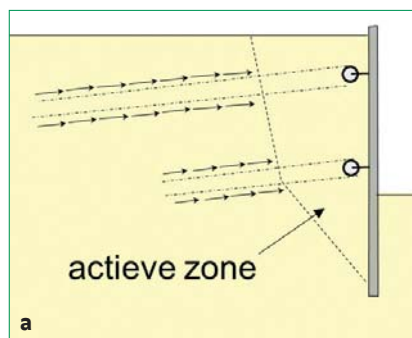
- De overdracht van de belasting naar de grond gaat over de volle lengte van het geogrid, bij een groutanker gebeurt dat alleen bij het groutlichaam. Dit maakt dat we de sterkte van de grond efficiënter inzetten.
- De puntlast van een stalen anker op de damwand kan worden gespreid door een gording toe 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 voorboren gaan ze zonder problemen dwars door de geogrid-verankering.
- Geogrids corroderende 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.

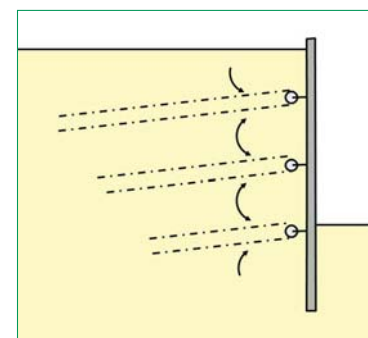


Figuur 14 – Verankering van de geogrids met behulp van buizen.



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 bouwphase 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

ingebed, 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. ●

YOUR KNOWLEDGE PARTNER IN GEOSYNTHETICS



Europalaan 206
7559 SC Hengelo
Nederland

+31 (0)546 544 811
geonederland@tencategeo.com
www.tencategeo.nl

twitter: @tencate_geo_nl

TENCATE
GEOSYNTHETICS

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



dr. ir. Christ van Gorp
Weetvanwegen



Ing. E. Kwast
Kwast Consult

ONTWERPEN MET DE NIEUWE RICHTLIJN VOOR FUNDERINGSWAPENING

Inleiding

Eind 2017 heeft CROW publicatie C1001 "Geokunststoffen als funderingswapening in ongebonden funderingslagen" uitgebracht. Deze publicatie is een van de laatste producten die onder de paraplu van SBRCURnet zijn ontwikkeld. Met het verdwijnen van SBRCURnet per 1 januari 2018 heeft CROW een aantal activiteiten van SBRCURnet onder haar hoede genomen, waaronder die van de funderingswapening. De publicatie is opgesteld omdat de bestaande kennis van de laatste jaren over meerdere publicaties was versnipperd. Bovendien boden sommige ontwerpmodellen geen mogelijkheden om nieuwe producten en constructieve oplossingen te gebruiken. Verder was het merendeel van de publicaties geotechnisch georiënteerd waardoor de aansluiting met de wegenbouwsector veel problemen kende. Het ontwerp en de aanleg van onderfundering en weg-fundering is meestal een zaak van wegenbouw-aannemers en daaraan gelieerde ondernemingen. Dit houdt in dat de karakterisering van de stijfheids- en vervormingseigenschappen van een (onder)fundering en funderingswapening in eenheden moet plaatsvinden die kunnen worden gebruikt in de software die in de wegenbouw-wereld gangbaar is of dwingend is opgelegd. Deze software laat alleen input in de vorm van stijfheidsmodulus (MPa), laagdikte (mm) en Poissongetal toe. Het gevolg was dat opdrachtgevers, ontwerpers, aannemers en beheerders van weg- en

terreininfrastructuur niet optimaal gebruik konden maken van de mogelijkheden die funderingswapening kan bieden. De nieuwe publicatie heeft als oogmerk handvatten te verschaffen om het effect te bepalen van de meerwaarde van funderingswapening voor onverharde wegen, straatsteenverhardingen en asfaltconstructies.

Funderingswapening ook in onderfundering

Funderingswapening is precies wat de naam zegt, versterking van de draagkracht en integriteit van de fundering onder wegverhardingen (figuur 1). Door funderingswapening toe te passen wordt het structurele gedrag van een ongebonden fundering verbeterd. De ontwerper, aannemer of beheerder kan er voor kiezen om minder materiaal toe te passen of juist een langere levensduur te realiseren van de onverharde weg of de met asfalt-, beton- of straatsteen verharde weg. Funderingswapening kan ook worden toegepast als overwogen wordt om met een funderingsmateriaal of lichtgewicht materiaal met niet-optimale stabiliteits- en stijfheidseigenschappen te werken. Bij waterpasserende bestratingen wordt in de fundering mineraal aggregaat gebruikt waarin de fijne fractie ontbreekt of is verwijderd. Dit verbetert de waterdoorlatendheid en -berging van de constructielaag, maar vermindert de verdichtingsmogelijkheden. Funderingswapening kan in deze situaties een helpende hand bieden.

Met funderingswapening wordt niet alleen toepassing van geokunststoffen in de fundering bedoeld, maar ook wapening en mechanische stabilisatie van de onderfundering of zandbaan. De onderfundering (in het Engels: subbase) is de laag die meestal wordt aangebracht tussen de fundering en de ondergrond. Als deze laag uit zand bestaat wordt ook vaak de term aardebaan gebruikt. Bij wegen op maaiveldhoogte gelegen op een draagkrachtige grondslag wordt de onderfundering vaak achterwege gelaten. Bij ophogingen en aanleg van wegen op slappe grondslag is een onderfundering onmisbaar om te kunnen voldoen aan de gangbare eisen aan draagkracht, drainage en weerstand tegen vorst/dooischade. Mechanische stabilisatie van die onderfundering leidt tot verbetering van de toegankelijkheid van het bouwterrein en berijdbaarheid van de onderfundering in de bouwfase.

Weerstand tegen permanente vervorming versus stijfheid

Bij onverharde wegen, zowel permanent onverhard als alleen tijdelijk onverhard in de bouwfase van een weg, is de weerstand tegen permanente vervorming het belangrijkste ontwerp criterium. Voor onverharde wegen wordt gebruik gemaakt van empirische modellen. In de nieuwe richtlijn wordt via empirische modellen bepaald welke funderingsdikte nodig is om de hoeveelheid spoor diepte aan het oppervlak (bovenkant fundering) te beperken. De structurele bijdrage van funderings-



Figuur 1 – Voorbeeld funderingswapening
[bron: CUR/CROW C1001].



Figuur 2 – Schematisatie van spanningen in een geocell [bron: CUR/CROW C1001].

SAMENVATTING

De draagkracht van een wegfundering is van groot belang om, zeker in gebieden met een slappe grondslag, een weg-, terrein- of terminalverharding te kunnen realiseren. Tijdens de ontwerplevensduur moet de wegfundering zijn gebruikswaarde behouden zonder overmatig veel onderhoud. Toepassing van een funderingswapening vervaardigd van geokunststoffen is een techniek om een (onder-)fundering van ongebonden mineraal aggregaat mechanisch

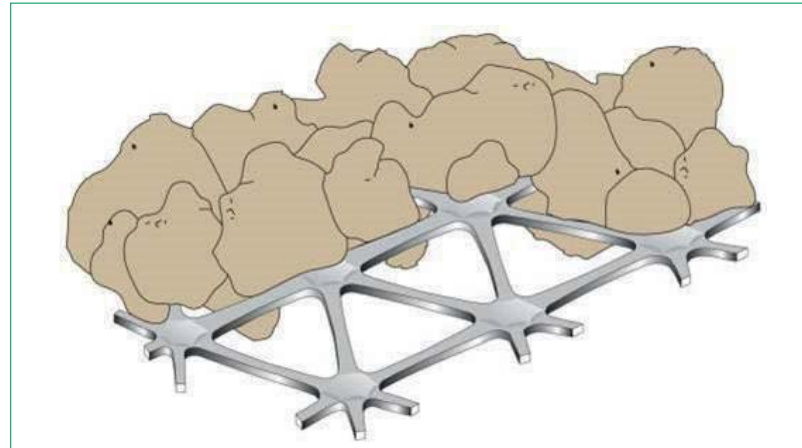
te stabiliseren, zodat de interlock tussen de korrels van het materiaal wordt verbeterd, meer lastspreiding naar dieper gelegen lagen optreedt en de draagkracht van de (onder)fundering toeneemt. Dit artikel beschrijft de in SBRCURnet-verband ontwikkelde ontwerpmethode voor funderingswapening en toont aan de hand van een aantal voorbeelden aan welke meerwaarde funderingswapening kan hebben.

wapening wordt verrekend door de bij een product horende modelcoëfficiënten te hanteren of aangepaste modelformules te gebruiken. Jammer genoeg is geen lijst van "verbeterfactoren" beschikbaar van alle op de markt verkrijgbare producten van funderingswapening. Deze verbeterfactoren zijn sterk productafhankelijk, en moeten daarom per product aangetoond worden. Dit artikel beschrijft hoe deze verbeterfactoren bepaald worden.

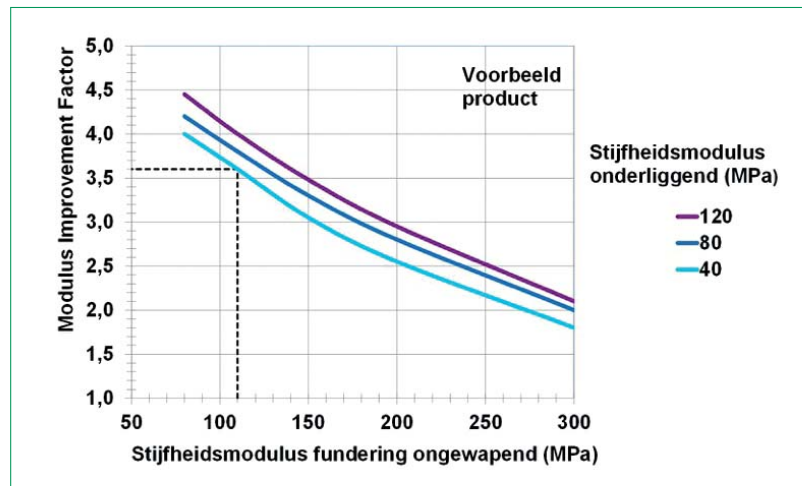
Anders ligt het in het geval van het ontwerpen van wegen met asfaltverhardingen met het in Nederland gangbare ontwerpprogramma OIA. De voornaamste ontwerpcriteria zijn de rek onderin het asfalt en de verticale stuik bovenin de onderfundering en ondergrond. Deze criteria dienen ter borging van het vermoeiingsgedrag van het asfalt en de weerstand tegen permanente vervorming in de onderbouw. Bij toepassing van gebonden funderingen wordt aanvullend gedimensioneerd op vermoeiing en scheurgroei in de gebonden fundering. Ongebonden of zelfbindende funderingen worden in de Nederlandse praktijk in een ontwerpberekening nooit onderzocht op weerstand tegen permanente vervorming vanwege het ontbreken van algemeen geaccepteerde ontwerpmodellen. Om aansluiting met OIA te realiseren is daarom gekozen voor de optie om het verbeterende effect van (onder)funderingswapening in een ontwerpberekening uit te drukken in een verhoogde waarde van de stijfheidsmodulus van de betreffende laag.

Wapenend effect

Het wapenende effect van funderingswapening hangt naast de eigenschappen van de geokunststof ook af van het mineraal aggregaat waarin het product wordt toegepast en de constructielag waarin de funderingswapening wordt toegepast. Resultaten van laboratoriumproeven op het product geokunststof alleen kunnen dus nooit betrouwbare data leveren over het wapenende effect in het veld. Te allen tijde zijn experimentele gegevens benodigd. De meest gebruikte methoden om het wapenende effect van funderingswapening experimenteel te bepalen zijn laboratorium testbakken of proefvakken. Deze proefvakken kunnen zowel in een grote hal zijn aangelegd als buiten in het veld. In alle gevallen moet een herhaalde belasting zijn aangebracht van voldoende grootte om binnen een redelijk tijdstermijn permanente vervorming in de testopstelling of proefvak te



Figuur 3 –
Opsluiting granulair materiaal (interlocking) bij geogrids [bron: CUR/CROW C1001].



Figuur 4 –
Voorbeeld relatie MIF en stijfheid van onderbouw en funderingsmateriaal.

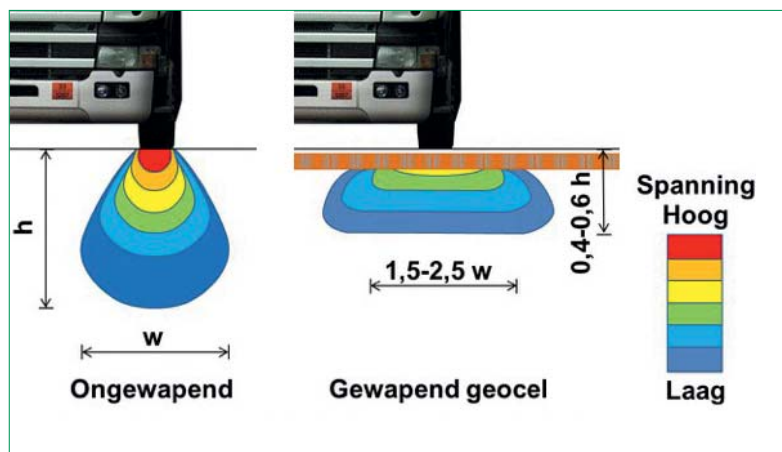
kunnen genereren. Het verschil in gedrag van een gewapende en een ongewapende testopstelling of proefvak levert data voor het wapenende effect op. Dit wapenende effect wordt voor asfaltverhardingen uitgedrukt in de support improvement factor (SIF) en modulus improvement factor (MIF). In de ontwerpprocedure van wapening of mechanische stabilisatie van de onderfundering en/of fundering van een asfaltverharding speelt naast deze twee factoren de effectieve werkingshoogte een hoofdrol.

Effectieve werkingshoogte wapening

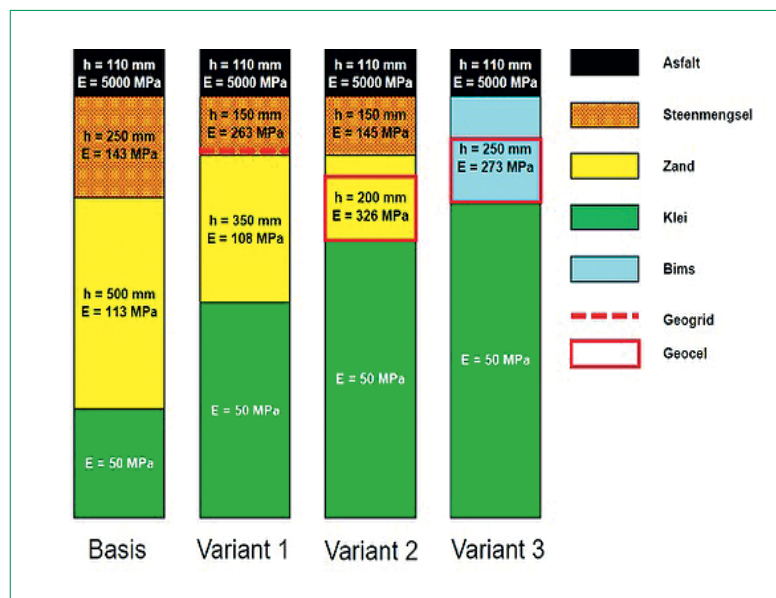
Als onder in de fundering en/of de onderfundering wapening aanwezig is, zal het wapenende effect geleidelijk afnemen met toenemende afstand tot de wapening. Bij geocellen met stijve wanden is het wapenende effect over de hele hoogte van de geocel aanwezig (figuur 2). Daarboven neemt het wapenende effect langzaam af. Voor dit soort geocellen wordt in de ontwerpmethode als

effectieve hoogte de hoogte van de geocel gehanteerd plus twee centimeter, om het effect van het mineraal aggregaat dat boven de geocel uitsteekt te verdisconteren. Bij geocellen met flexibele wanden strekt het volledige wapenende effect zich meestal uit over de totale hoogte van de geocel minus de bovenste centimeter. In de zone direct boven de geocel is het wapenende effect in geringere mate aanwezig. Deze zone wordt in de ontwerpberekeningen als ongewapend beschouwd.

Bij 2D-vormgegeven funderingswapening zoals geogrids (figuur 3) is het wapenende effect afhankelijk van de geokunststof om granulaire korrels erboven op hun plaats te houden (interlocking). In een granulair materiaal is gewoonlijk het volledige wapenende effect aanwezig vanaf de funderingswapening tot op een hoogte van twee- tot drie-maal de grootste korreldiameter van het mineraal aggregaat. Daarboven neemt de opsluiting langzaam af en op een afstand van vier- tot vijfmaal



Figuur 5 – Verbetering lastspreiding door hooggelegen funderingswapening [bron: CUR/CROW C1001].



Figuur 6 – Verbetering lastspreiding door hooggelegen funderingswapening [bron: CUR/CROW C1001].

de maximale korreldiameter vanaf een flexibel geogrid zal de wapenende werking niet meer aantoonbaar of aanwezig zijn. Voor vormvaste geogrids zal deze zone dikker zijn.

In de ontwerpprocedure wordt de effectieve werkingshoogte geschematiseerd tot een equivalente hoogte waarover 100% wapenend effect verondersteld wordt. Voor het daarboven gelegen deel van de constructielaag wordt ervan uitgegaan dat de wapening geen invloed heeft.

Modulus Improvement Factor MIF

De MIF is de factor waarmee de stijfheidsmodulus van een ongebonden mineraal aggregaat over de effectieve hoogte van de combinatie mineraal aggregaat en funderingswapening in een ontwerpberekening mag worden vermenigvuldigd. Bij sommige wapeningsproducten heeft MIF een vaste waarde, bij andere producten is de waarde van MIF afhankelijk van de stijfheid van het mineraal aggregaat van de betreffende laag en de stijfheid van de onderliggende lagen. Een wapeningsproduct is over het algemeen relatief effectiever bij toepassing met een mineraal aggregaat met lage stijfheid dan bij een hoge stijfheid.

Figuur 4 illustreert voor een voorbeeldproduct dat voor een ondergrond met een stijfheid van 40 MPa en een fundering met een gemiddelde ongewapende stijfheid van 110 MPa $MIF = 3,6$ (let op: elk wapeningsproduct heeft zijn eigen MIF-grafiek). De maximale stijfheidsmodulus van het gewapende deel van de fundering wordt daarmee $3,6 \times 110 \approx 400$ MPa.

Support Improvement Factor SIF

Austroroads [2008] maar ook andere bronnen hebben laten zien dat er grenzen zijn aan de stijfheid van een ongebonden granulaire constructielaag en dat die grenzen afhankelijk zijn van de

laagdikte van de laag en de stijfheid van het medium waarop de granulaire laag ligt. Bij de Shell-ontwerpmethode bijvoorbeeld wordt de stijfheid van een ongebonden granulaire laag begrensd tot maximaal viermaal die van het onderliggende medium. Ditzelfde principe geldt ook voor granulaire lagen met funderingswapening. De relatieve stijfheidstoename zal weliswaar groter zijn dan bij toepassing van een ongewapende granulaire laag vanwege de extra lastspreiding door het balkeffect (zie figuur 5), maar ook hier zijn er grenzen. De maximale verbeterfactor van de gewapende laag ten opzichte van de onderliggende laag wordt aangeduid met Support Improvement Factor (SIF).

Voor de meeste wapeningsproducten geldt dat de waarde van SIF onafhankelijk is van de stijfheid van het onderliggende medium. Doorgaans wordt een waarde van $SIF = 5$ gebruikt; voor sommige geocellen met stijve wanden wordt $SIF = 7,6$ gehanteerd. Als voor het voorbeeld uit Figuur 4 $SIF = 5$ zou zijn, dan houdt dit in dat de stijfheid van de gewapende laag maximaal $5 \times 40 = 200$ MPa mag bedragen in de ontwerpberekening. De waarde van 200 MPa is kleiner dan de 400 MPa die volgt uit de toepassing van MIF en is daarmee maatgevend. De stijfheid van de gewapende laag in de ontwerpberekening wordt dus beperkt op 200 MPa.

Hoogteligging funderingswapening

De optimale hoogteligging van de (onder)funderingswapening hangt sterk af van de lokale omstandigheden. Soms is het wenselijk om de funderingswapening diep in de constructie aan te leggen om vanaf die diepte de draagkracht op te bouwen. Door de realisatie van een klankbodem ontstaat de mogelijkheid om de resterende lagen gemakkelijker aan te brengen en kwalitatief goed te verdichten. Soms is het effectiever om de wapening juist hoog in de constructie aan te brengen

om op die hoogte voldoende stijfheid te hebben. Hoe stijver een bepaalde laag is, hoe meer spanningen die laag naar zich toe kan trekken. Onder verkeersbelasting zijn de spanningen boven in de constructie altijd hoger dan dieper in de constructie. Vanuit dat punt bezien zou een ondiepe aanleg van de funderingswapening meer voor de hand liggen. De volgende alinea toont een toepassingsvoorbeeld. Meer toepassingsvoorbeelden worden in de CUR/CROW-publicatie C1001 getoond.

Funderingswapening in asfaltverharding

In een gebied met een ondergrond van siltige klei wil een wegbeheerder een asfaltweg laten aanleggen. De laagdikte van de asfaltlagen bedraagt 110 mm. Voor de fundering heeft hij de voorkeur voor een ongebonden funderingsmateriaal, omdat dit materiaal ongelijkmatige zettingen van de ondergrond gemakkelijker kan volgen dan een gebonden funderingsmateriaal. Het linker deel van Figuur 6 toont een traditioneel ontwerp ("Basis"). Daarnaast zijn drie varianten met funderingswapening afgebeeld, waarbij de ontwerpdikte van het asfalt gehandhaafd blijft. De varianten zijn:

1. Wapening fundering met vormvast geogrid ($SIF = 5,0$; $MIF = 2,0$ met effectieve werkingshoogte van 125 mm) en zandbed ongewapend.
2. Wapening van een 200 mm dik zandbed met 150 mm hoge geocel met stijve celwanden ($SIF = 7,6$; $MIF = 3,4$ met effectieve werkingshoogte van 170 mm) en fundering ongewapend.
3. Vervanging fundering en zandbed door 250 mm bims gewapend met 150 mm hoge geocel met stijve celwanden ($SIF = 7,6$; $MIF = 3,4$ met effectieve werkingshoogte van 170 mm).

De in de figuur 6 getoonde waarden voor de laagdikte en stijfheidsmodulus voor de met geocellen gewapende lagen gelden voor de gehele hoogte van de constructielaag. De stijfheidsmodulus is dus

een equivalente modulus voor het gewapende plus het ongewapende deel van de laag.

Figuur 6 toont de minimaal benodigde laagopbouw om redenen van draagkracht. In het voorbeeld wordt voorbij gegaan aan aanvullende eisen, zoals drooglegging en vorstindringingsdiepte. Figuur 6 toont in het simpele voorbeeld aan dat funderingswapening resulteert in een dunnere laagopbouw van de wegconstructie. Dat is vooral in gebieden met een slappe grondslag nuttig. Als aangenomen wordt dat de kruinhoogte van de weg op 0,35 m boven maaiveld komt te liggen, kan worden bepaald welke gewichtstoename de bouw van elke variant met zich meebrengt.

Tabel 1 toont in de bovenste rij het totale gewicht van de wegconstructie. De tweede rij bevat het gewicht van de grond die ontgraven moet worden voor de aanleg van de weg. De laatste rij is het verschil tussen de twee gewichten en dus de netto toename van het gewicht dat op de lokale grondslag wordt uitgeoefend. Het netto gewicht van variant 3 is 2,5 keer kleiner dan dat van de basisvariant. Dit houdt in dat de hoeveelheid zetting en nog belangrijker het zettingsverschil in dezelfde mate kleiner zullen zijn. Funderingswapening draagt dus niet alleen bij aan verhoging van de draagkracht en de lastspreiding maar is ook een effectief middel om de hoeveelheid zetting te reduceren en duurzame langsvlakheid te garanderen.

Funderingswapening in straatsteenverhardingen

De bepaling van het wapenende effect van funderingswapening in straatsteenverhardingen met een ongebonden fundering gaat volgens dezelfde principes als bij een onverharde weg. In beide gevallen is namelijk spoorvorming het maatgevende ontwerpcriterium. Bij de straatsteenverharding zorgen de straatsteenelementen voor lastspreiding, waardoor de ontwikkeling van de

Tabel 1: Vergelijking gewichtstoename varianten

	Basis	Variant 1	Variant 2	Variant 3
Gewicht wegconstructie (kN/m ²)	17,9	12,8	9,5	4,2
Gewicht ontgraven grond (kN/m ²)	7,7	3,9	1,7	0,2
Gewicht netto toename (kN/m ²)	10,2	8,9	7,8	4,0

permanente vervorming bij straatsteenverhardingen langzamer zal gaan dan bij onverharde wegen met dezelfde opbouw. Voor straatsteenverhardingen met funderingswapening wordt in de nieuwe richtlijn de volgende aanpak gehanteerd:

- bereken in de situatie van een onverharde weg zonder funderingswapening de benodigde funderingsdikte voor de te verwachten verkeersbelasting en de toelaatbare waarde voor de spoor diepte aan het wegoppervlak;
- maak eenzelfde berekening voor de situatie waarin funderingswapening in de onverharde weg is aangebracht;
- bereken de verhouding van de funderingsdikte gewapend en ongewapend (= reductiefactor A);
- bereken voor de straatsteenverharding zonder funderingswapening de benodigde funderingsdikte. In de nieuwe richtlijn wordt deze dikte berekend op basis van een onverharde weg (zie stap 1) en data over de toegepaste straatstenen.
- vermenigvuldiging van de funderingsdikte uit de vorige stap met de reductiefactor A levert de funderingsdikte van de gewapende straatsteenverharding op.

Wapening van zelfbindende funderingsmaterialen

Menggranulaat, hydraulisch menggranulaat en betongranulaat zijn de meest gebruikte wegfunderingsmaterialen in Nederland. Al deze materialen zijn zelfbindend. Dat wil zeggen dat de stijfheid in de tijd toeneemt zonder dat een specifiek bindmiddel zoals cement of (schuim)bitumen is toegevoegd. In wegotwerpen van asfaltver-

hardingen wordt doorgaans met stijfheidsmoduli van 400 MPa - 600 MPa gerekend. Deze stijfheden zijn niet vanaf het moment van aanleg aanwezig. De gebruikte steenmengsels zijn samengesteld uit een of meerdere componenten met zelfbindende eigenschappen (latent hydraulisch). De mate waarin de zelfbinding tot stand komt is o.a. afhankelijk van de doorbuiging die het materiaal ondergaat onder verkeersbelasting en het aantal contactvlakken tussen de korrels van het mineraal aggregaat. Op wegen op een slappe grondslag zal de fundering meer doorbuigen dan bij een weg op een meer draagkrachtige ondergrond. Daarom bestaat in deze situaties de kans dat in de bouw-fase een zelfbindend funderingsmateriaal zijn ontwerpstijfheid niet haalt, omdat de verkitting van korrels telkens worden verbroken door te grote doorbuigingen ten gevolge van passerende vrachtwagens. Funderingswapening onder in de fundering zorgt voor een betere opsluiting en dus minder beweging van de mineraalkorrels. Hierdoor wordt de kans vergroot dat de fundering in de gebruiksfase conform de eisen zal functioneren ondanks dat de rol van de funderingswapening dan al een stuk kleiner is geworden.

Referenties

- Austroads (2008), Guide to pavement technology Part 2: Pavement structural design, Publication AGPT02/10, Sydney.
- CUR/CROW (december 2017), Geokunststoffen als funderingswapening in ongebonden funderingslagen, publicatie C1001, Ede. ●



Éven weg van *bits en bites...*

Het zijn digitale tijden, maar velen willen gewoon papier in handen hebben. Een **relatiemagazine** is zeer effectief als marketinginstrument, het ultieme visitekaartje voor uw onderneming. Wek vertrouwen, claim autoriteit binnen uw vakgebied, creëer bedrijfsherkenning, loyaliteit en binding bij al uw relaties.

Uitgeverij Educom (o.a. Geotechniek/Geokunst) is dé partij om mee in zee te gaan. Zij regelt van idee tot en met verspreiding. Biedt uw magazine digitaal aan en plaats het op uw website. Informeer naar de talloze mogelijkheden via: info@uitgeverijeducom.nl

www.uitgeverijeducom.nl



OOMS-VOEG

Toepassing van de Ooms-voeg bij bruggen, viaducten en tunnels heeft voordelen voor beheerder, gebruiker en omwonende. De eerste voeg is toegepast in 2003 op de A50 en de techniek heeft zich bewezen op tal van andere plaatsen in Nederland.



- Reductie van geluid en trillingen geeft comfort en minder omgevingshinder
- Geen spoorvorming maakt het wegdek veilig
- Hoge kosteneffectiviteit doordat onderhoud niet nodig is



Strukton
Civiel

Meer informatie:

www.ooms.nl/specialismen
www.struktonciviel.nl



Kwaliteit met zekerheid

Geaccrediteerd sinds 2005 door de Raad voor Accreditatie als type A onafhankelijke inspectie-instelling op basis van de NEN-ISO/IEC 17020, RvA registratie I188 voor het uitvoeren van inspecties bij:

- Aanleg van onder- en bovenafdichtingen van stortplaatsen
- Aanleg van een werk waarin IBC-bouwstof wordt toegepast voor protocol AS6901
- Tijdens de gebruiksfase van een IBC-werk voor protocol AS6902
- Levensduuronderzoek op kunststoffolie en lasverbindingen



Inspectie in het werk



Testen op het werk



Beproeven in het laboratorium

+31 30 244 1404

www.eqc.nl



De Vries Titan

Uw ervaren partner op het gebied van Verankerings- en Funderingstechnieken!

Voor al onze specialisaties bekijk onze website:
www.devriestitan.nl


DE VRIES TITAN BV

www.devriestitan.nl