



**Dr. O. Detert**  
Huesker Synthetic GmbH  
Gescher, Duitsland



**Ir. J.H. van den Berg**  
Huesker Synthetic B.V.  
Rosmalen, Nederland

# KADEMUURCONSTRUCTIES VAN GEWAPENDE GROND MET EEN BLOKKEN-FACING

## 1 INLEIDING

### 1.1 OEVERCONSTRUCTIES

Het is niet ongebruikelijk dat oude open mijngroeves of braakliggende terreinen worden omgevormd tot aantrekkelijke recreatie- en toeristengebieden door de aanleg van kunstmatige lagunes met promenades en stranden. Vaak worden keerwanden gebruikt om hoogteverschillen op te vangen. Conventionele betonnen keerwanden worden steeds vaker vervangen door keerwanden van gewapende grond met een blokkenwand-facing (figuur 1). Naast lagere bouwkosten bieden deze blokkenwanden in veel gevallen voordelen op het gebied van bouwtijd, flexibiliteit met betrekking tot de geometrie en de hellingshoek van de wand. Dit artikel geeft een overzicht van de kenmerken van kademuurconstructies en beschrijft twee opmerkelijke projecten met innovatieve oplossingen.

### 1.2 KENMERKEN VAN KADEMUURCONSTRUCTIES

Keerwanden als oeverconstructies worden specifiek belast en moeten aan hogere eisen voldoen dan keerwanden 'op land'.

In de eerste plaats is bescherming nodig tegen erosie vóór de wand om de stabiliteit op lange termijn te waarborgen. Dit wordt nog kritischer als er sprake is van golfbelasting of van hydraulische belastingen door motorboten of -jachten. Bovendien kunnen onderhoudswerkzaamheden aan de waterbodem, bijvoorbeeld baggerwerkzaam-

heden om sediment te verwijderen, schade toebrengen aan de wanden.

Ten tweede dient rekening gehouden te worden met instantaan vallend water. In het ontwerp moet worden uitgegaan van een grondwaterpeil aan landzijde dat gelijk is aan hoogwater en een water-niveau dat gelijk is aan laagwater. Dit verschil in waterpeil leidt tot een waterdruk aan de binnenzijde van een dichte kademuur.

In het algemeen zijn blokkenwanden van beton vrij drainerende constructies, doordat water door de voegen tussen de blokken kan stromen. Grof materiaal, bijvoorbeeld grind, dient te worden gebruikt als drainagelaag direct achter de blokken om de drainagecapaciteit van de constructie te vergroten. Tussen het drainage- en het aanvulmateriaal moet een scheidings- en filtervlies worden aangebracht om uitspoeling van het aanvulmateriaal te voorkomen. Indien er sprake is van snel ('instantaan') vallend water als gevolg van golven, getijden of aardbevingen, moeten extra drainagevoorzieningen worden overwogen om een snellere aanpassing van het grondwaterpeil mogelijk te maken.

Bovendien hebben aanmerende schepen invloed op de kademuur. De blokkenwanden moeten ofwel tegen deze invloeden worden beschermd, ofwel zodanig zijn ontworpen dat ze ertegen bestand zijn. Daarbij is het van belang dat herstelwerk aan de wand tijdens de gebruiksfase praktisch mogelijk blijft.

## 2 OPWAARDERING VAN EEN VERLATEN BOVENGRONDSE MIJN

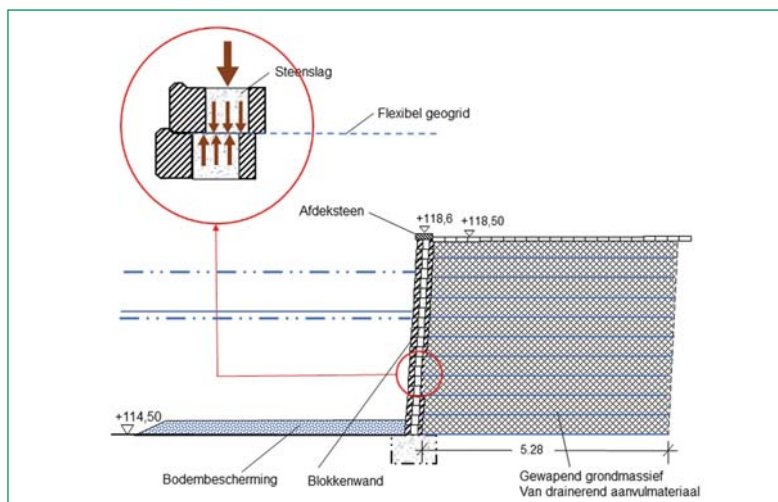
### 2.1 INLEIDING

In de gemeente Großpösna aan het Störmthalmeer ten zuiden van de stad Leipzig, Duitsland, wilde men een verlaten dagbouwmijs omvormen tot een recreatie-gebied van 12,6 hectare, inclusief watersportcentrum met havenfaciliteiten, een surfstrand en pieren voor boten.

Dit project, 'Gruna Bay Marina' genaamd, vormt een hoogtepunt in de opwaardering van de voormalige mijs en de integratie ervan in het merengebied van Leipzig. De projectontwikkelaar en eigenaar is LMBV (Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau Verwaltungsgesellschaft mbH). De havenmuren en de uitkijktoren aan het noordoostelijke uiteinde zijn ontworpen en uitgevoerd in een gewapende-grondconstructie met blokkenwand-facing. Doorslaggevend bij de keuze van dit ontwerp waren onder meer de te verwachten bouwkosten, die in totaal circa 25% lager zijn dan bij conventionele keerwanden, zoals van gewapend beton of staal. Een ander voordeel is de hoge tolerantie van het systeem voor zettingsverschillen.

### 2.2 ONTWERPCONCEPT VOOR HET HAVENGEBIED

Volgens het ontwerpconcept van de architect (DENK Architectural Engineers, Leipzig) moest de havenmuur aan de Gruna-baai aan twee belangrijke eisen voldoen. Enerzijds moest de muur zo harmo-



**Figuur 1** – Doorsnede van een gewapende blokkenwand als kademuurconstructie.



**Figuur 2** – Gruna Bay Landschappelijk Ontwerp.

## SAMENVATTING

Dit artikel behandelt twee projecten van kademuurconstructies, waarbij het gebruik van een met geogrid gewapende grondconstructie met een blokkenwand-facing de beste oplossing is gebleken. Het artikel belicht relevante ontwerpaspecten van kademuurconstructies van blokkenwanden, met aandacht voor specifieke eisen in termen van esthetische kwaliteit, omgevingscondities

zoals dynamische belastingen door aardbevingen, aanvaarbelasting en aantasting in een agressief milieu. Het gebruik van gewapende-grondconstructies met blokken-facing is in beide projecten zeer succesvol gebleken. Dit artikel is gebaseerd op de bijdrage van Detert en Schmidt (2012) aan EUROGEO 2012.



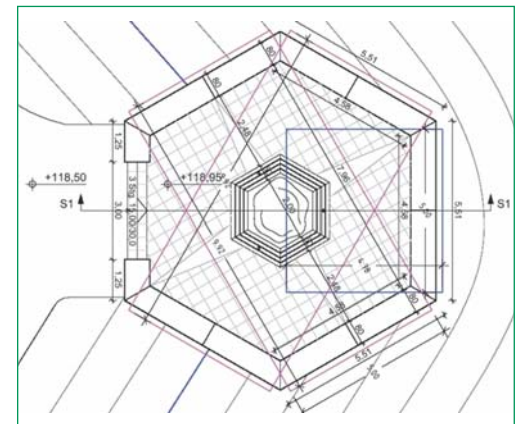
Figuur 3 – Blokkenwand Kademuurconstructie bij oplevering.



Figuur 4 – Drie maanden na oplevering was het waterniveau gestegen tot ca. 115,0 m boven zeeniveau.



Figuur 5 – Zeshoekig gevormde uitkijktoren.



Figuur 6 – Legplan zeszijdige blokkenwand uitkijktoren.

nieus mogelijk in het landschap worden ingepast. Anderzijds moest een bouwmethodiek worden gevonden die, ondanks een uitdagend vormenspel van de havenmuur en het uiterst krappe bouw-schema, een snelle en effectieve uitvoering mogelijk maakte. Er werd gekozen voor een keerwand van gewapende grond. In dit specifieke geval werd een 4 m hoge blokkenwand gebouwd en verankerd met geogrids. Het modulaire systeem biedt relatief veel flexibiliteit bij de vormgeving van de muur, met verschillend gevormde stenen in diverse kleuren en oppervlaktestructuren, waardoor volledig aan de esthetische wensen van de architect kon worden voldaan.

De ontmantelingswerkzaamheden en het daaropvolgende vollopen van de bruinkoolmijn leidde tot een hoog sulfaatgehalte in het water. Daardoor verzuurde het water sterk met pH-waarden variërend tussen 2,5 en 3,5. De kerende constructie diende hier dus bestand tegen te zijn. Anderzijds is sprake van een alkalisch milieu (hoge pH-waarde)

in de stenen. Deze begincondities stellen hoge eisen aan de bestendigheid van de toegepaste verankerings-elementen. Geogrids van polyvinylalcohol (PVA) die mogen worden toegepast in zowel een zeer zuur als een alkalisch milieu waren hiervoor de oplossing. Met de tijd zal een neutrale pH-waarde worden bereikt. In 2012 bedroeg de pH-waarde van het water 5,9.

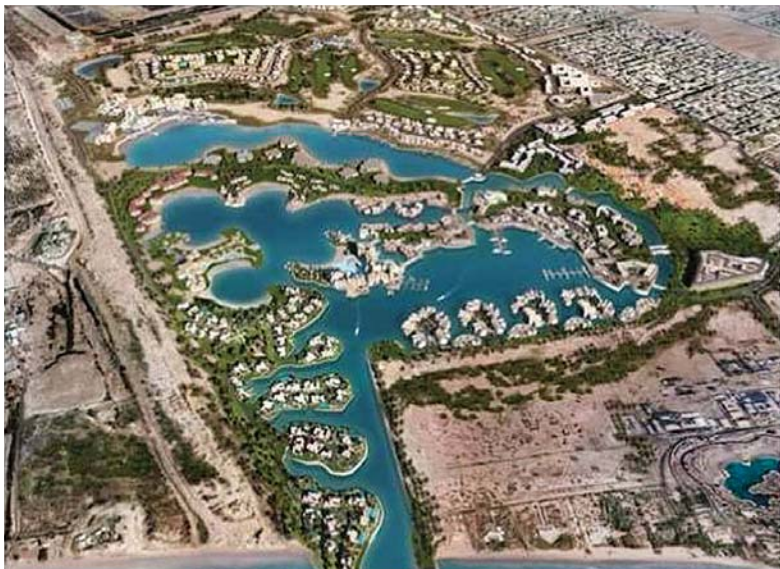
### 2.4 CONSTRUCTIEF ONTWERP

De fundering van de blokkenwand ligt op 114,5 m boven zeeniveau. De blokkenwand heeft een kerende hoogte van 4,0 m en zal in de eindfase 1,5 m boven het waterniveau uitsteken. De eerste laag van de holle wandblokken werd gefundeerd op grofkorrelig materiaal. De holle wandblokken zelf zijn opgevuld met steenslag met een korrelgrootte van 5/32 mm (figuur 1). Dezelfde steenslag werd ook gebruikt als drainerend aanvulmateriaal achter de keerwand. De Fortrac® MDT geogrids werden tussen de blokken gelegd op elke tweede rij. De connectie tussen het geogrid en de blokken

ontstaat door wrijving en interlock tussen het aangevulde steenslag in de holle ruimte in het blok en het geogrid. De Allan Block® holle wandsteen heeft het niet nodig verbindings-elementen toe te passen om de geogridlagen vast te zetten. De wand kan hierdoor gesteld worden op een hoek van in dit geval 87°. De lengte en treksterkte van de geogrid wapening en de afstand tussen de lagen zijn bepaald door een geotechnische stabiliteitsbeschouwing conform DIN 4084:2009 en de Duitse richtlijn voor ontwerp van gewapende-grondconstructies (EBGEO 2010). Dit type blokkenwand heeft zich in talrijke projecten wereldwijd bewezen en wordt gebruikt als gewapende-grondconstructie in grootschalige infrastructuurprojecten (Hangen et al., 2009)

Lokaal gewonnen zand werd achter de gewapende-grondconstructie aangebracht en door middel van een nonwoven van het opvulmateriaal gescheiden. De bovenzijde van de blokkenwand werd bedekt met stenen, die door middel van





**Figuur 8 – Gerealiseerde lagune.**

**Figuur 7 – Overzicht van het strandmeer met lagunes.**

een duurzame, waterbestendige steenlijm zijn verbonden met de steen eronder. Ten slotte werd bij de teen van de kademuurconstructie een stortsteenbekleding aangebracht tot 50 cm hoog.

Door de korte bouwtijd kon de profilering van de bodem in droge omstandigheden worden voltooid. Het definitieve waterpeil van 117,0 m boven zee-niveau, dus een waterdiepte van 2,5 m, werd eind 2011 bereikt.

## 2.5 ARCHITECTONISCHE KENMERKEN

Naast de gebogen kademuur met schelpkalkstenen afwerking, vormt de uitkijktoren een bijzondere toeristische attractie. De zeshoekige vorm is geïnspireerd op een oud vestingwerk.

Bij de bouw van de uitkijktoren vroeg het ontwerp van de hoekzones extra aandacht, de blokken werden hiervoor nauwkeurig gesneden. De geogrid verankering werd van wand tot wand, over het volledige oppervlak van de uitkijktoren, doorgelegd. De geogrids werden in twee banen over elkaar heen doorgelegd. Een derde geogrid, zie het blauwe vlak in figuur 6, werd 20 cm hoger gelegd om de wrijving tussen het aanvulmateriaal en geogrid te waarborgen.

## 3 LANDSCHAPPELIJK INPASSING MET GEOGRID VERSTERKTE BLOKKENWANDEN - AYLA OASE, JORDANIË

### 3.1 INLEIDING

In het zuiden van Jordanië, direct aan de Rode Zee, ligt de stad Aqaba, de enige havenstad van Jordanië. Het aangename klimaat het hele jaar door maakt Aqaba een populair recreatie- en vakantieoord. Direct voor de kust ligt een populair duikgebied met koraalriffen. Dit was een belangrijke reden voor de investeringsmaatschappij Ayla Oasis Development Company om hier te investeren

in de ontwikkeling van ca. 430 ha woestijngedebied tot een groen landschap. Centraal tussen de recreatievoorzieningen en woningbouw is een strandmeer aangebracht bestaande uit 3 lagunes op verschillende niveaus, welke verbonden zijn door middel van watervallen (figuur 7).

De lagune met het laagste bodemniveau is bevaarbaar en heeft een directe toegang tot de Rode Zee. De bovenste en middelste lagune zijn volledig waterdicht, om overmatig waterverlies en verzilting van de bodem te voorkomen. Het water van de bovenste en middelste lagune wordt continu opgepompt vanuit de Rode Zee. De laagste lagune is onderhevig aan de schommelingen van het waterpeil van de Rode Zee. In totaal is 17 km strand en een promenade aangelegd, waarvan ongeveer 15 km van de kademuurconstructie bestaat uit blokkenwanden.

### 3.2 CONSTRUCTIEF ONTWERP

De grenzen van de lagunes en eilanden hebben een zeer onregelmatig vormgeving. Deze vormgeving is eenvoudig te construeren met blokkenwanden (figuur 8).

Om esthetische redenen hebben de blokkenwanden verschillend gekleurde blokken, waardoor ze goed in de omgeving passen. Dit wordt bereikt door lokaal gewonnen grond toe te passen in het betonmengsel van de blokken.

Een ander voordeel van met geogrid verankerde blokkenwanden is hun bestendigheid tegen aardbevingen. Onder andere Kano et al. (2018) en Bezuijn et al. (2018) rapporteerden over het uitstekende gedrag van met geokunststof gewapende grondconstructies bij aardbevingen in Japan. Ling et al. (2003) onderzochten in het laboratorium het gedrag van met geogrid verankerde blokkenwanden onder seismische belastingen en stelden vast dat de structuur zich opvallend goed gedroeg.

### 3.3 BASIS VOOR HET ONTWERP VAN DE BLOKKENWANDEN IN JORDANIË

Het ontwerp van de keerwanden is uitgevoerd conform Eurocode 7 en 8, inclusief de nationale (Duitse) bijlagen.

De wanden varieerden in hoogte van 2 tot 6 m. Aan de actieve zijde liggen wegen en staan op staal gefundeerde gebouwen.

Aqaba ligt in een tektonisch actief gebied (zie figuur 9). De Afrikaanse plaat verwijderd zich met ongeveer 1 cm per jaar van de Aziatische plaat. Aardbevingen met een moment magnitude van 7 Mw komen voor (UNDP/ASEZA, 2011). In dit gebied wordt een grondversnelling van 0.2g verwacht met een kans van 10% dat deze waarde binnen 50 jaar wordt overschreden.

De berekeningen worden uitgevoerd met horizontale en verticale seismische coëfficiënten met een pseudo-statische benadering.

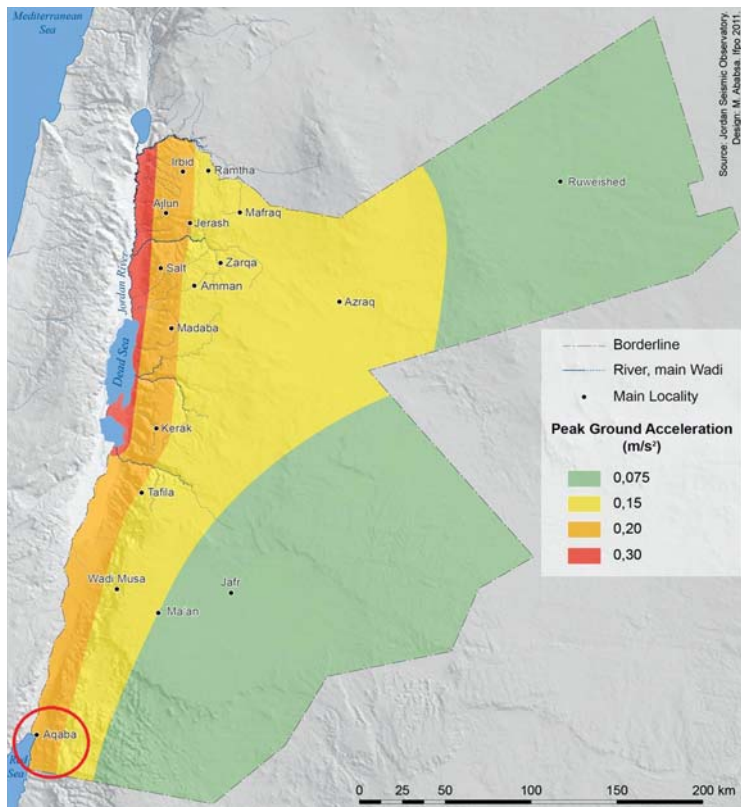
De seismische coëfficiënten kunnen als volgt worden berekend. De lokale bodemgesteldheid kan, volgens Eurocode (EC) 8 - Deel 1 (Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies), worden omschreven als 'Grond type C; Diepe afzettingen van verdicht tot zeer verdicht zand, grind of stijve klei met een dikte van enkele tientallen tot enkele honderden meters'.

In de berekening wordt het (elastische) responspectrum Type 2 gebruikt. Dit geeft voor de grondparameter 'S' een waarde van 1.5. De factor r voor de berekening van de horizontale seismische coëfficiënt is afhankelijk van het type keerwand. De keerwandconstructie is ingedeeld in de categorie 'Free gravity walls with a displacement capacity of up to  $d_r = 300 \cdot \alpha \cdot S$  (mm)'. Dit levert volgens EC 8 - deel 5 voor de factor r de waarde 2 op.

De horizontale seismische coëfficiënt wordt dan voor quasi-statische berekeningen:

$$k_h = \alpha \cdot S / r = 0.2 \cdot 1.5 / 2 = 0.15$$

Volgens EC 8 - Deel 5 kunnen de effecten van ver-



**Figuur 9 – Seismische overzichtskaart van Jordanië.**

ticale versnellingen worden verwaarloosd als de constructie geen gewichtsmuur-constructie is. Dit geldt ook voor keerwanden van gewapende-grondconstructies. Niettemin is in dit project besloten om toch rekening te houden met de verticale seismische coëfficiënt. De verticale seismische coëfficiënt bedraagt in dit geval:

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h = \pm 0.075$$

Bij een aardbeving kan een plotselinge daling van het waterniveau voor de muur optreden. Hiermee werd rekening gehouden door het waterpeil vóór de wand 60 cm lager te schatten dan achter de wand. Tevens zijn drainagebuizen in de voorkant van de blokkenwanden geïntegreerd om een snelle afname van waterpeilverschillen mogelijk te maken.

Bovendien is er rekening gehouden met 50 cm 'ongecontroleerde extra erosie' voor de wand als gevolg van baggerwerkzaamheden, die regelmatig worden uitgevoerd om het dichtslibben van de lagunes tegen te gaan.

Deze strenge doch realistische uitgangspunten leiden tot een verhouding van verankeringslengte en kerende hoogte van maximaal 2; dat is ruim boven de typische vuistregel van '0,7\* wandhoogte'. Deze vuistregel is dan ook van toepassing voor een eerste beoordeling van wanden, die zich niet in aardbevingsgebieden bevinden.

### 3.4 AFDICHTING VAN DE KEERWAND

Keerwanden van blokkenwanden en gewapende grond zijn gewoonlijk waterdoorlatende, vrij afwaterende constructies. Het water in de middelste en

bovenste lagune ligt echter boven zeeniveau en wordt permanent door pompen op peil gehouden. Om te voorkomen dat er water verloren gaat door de grondconstructies naar de achterliggende grond zijn maatregelen nodig.

Om dit te bereiken is een geomembraan rond de gewapende grond gewikkeld (zie figuur 10 en 11).

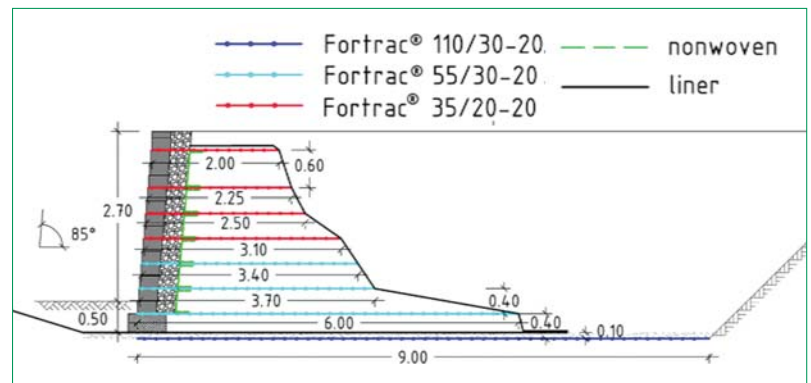
Aangezien wegen en gebouwen enkele meters achter de blokkenwand worden gebouwd, is het geomembraan direct achter het gewapend grondmassief aangebracht. De gebouwfunderingen kunnen zodoende in den droge worden gerealiseerd. Aangezien de onderste verankeringslaag relatief lang is in vergelijking met de rest, is de afdichtende geomembraan boven deze laag geplaatst en vervolgens teruggevouwen om de benodigde hoeveelheid geomembraan te beperken.

Om onbedoelde beschadiging van de geomembranen door latere graafwerkzaamheden te voorkomen, zijn bovenop de geomembranen ter bescherming een nonwoven vlies en betonnen bakstenen gelegd (figuur 11).

Door toevoeging van de geomembranen ontstaat onder de blokkenwand een potentieel glijvlak door de verminderde schuifweerstand. In de berekeningen is hiermee rekening gehouden.

### 3.5 IMPACT VAN SCHEPEN TEGEN DE BLOKKENWANDEN

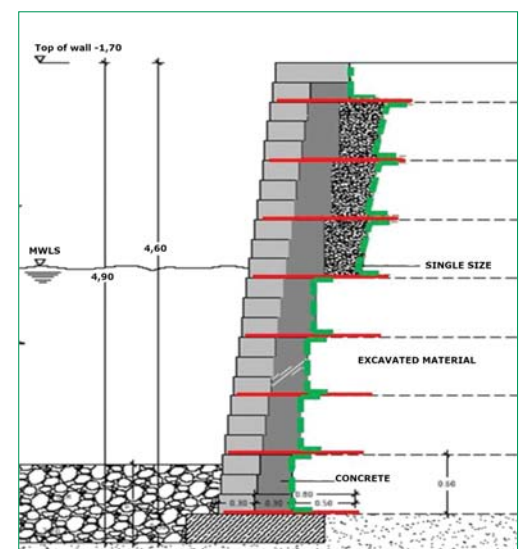
De jachthaven bevindt zich in de laagstgelegen lagune. Vanwege de aanwezigheid van scheepsverkeer moest rekening worden gehouden met eventuele aanvaarbelasting op de blokkenwanden.



**Figuur 10 – Voorbeeld doorsnede van een blokkenwand met een afdichtend geomembraan.**



**Figuur 11 – Afdichting en afdekking van het geomembraan achter het gewapend grondmassief.**



**Figuur 12 – Doorsnede van de blokkenwand met een betonnen schil van 30 cm als aanvulling.**

Er waren zorgen over de robuustheid van de blokkenwanden vanwege het relatief lage gewicht van de blokken. Daarom is besloten om direct achter de blokken een laag van 30 cm beton aan te brengen (figuur 12).

Aanvulmateriaal met hoge pH-waarden, zoals bijvoorbeeld betonmortel, kan schadelijk zijn voor polyester. Dit is nog onderwerp van onderzoek. Om deze reden is de opbouw en verankering van deze blokkenwanden enigszins afwijkend. De wandafwerking bestaat uit een blokkenwand en een schil van beton, daarachter is een gewapende-grondconstructie aangelegd volgens een



techniek die bekend staat als de omslagmethode. De wand wordt verbonden aan het gewapende grond-massief door middel van korte stroken van geogrids gemaakt van polyvinylalcohol (PVA). Dit type geogrid heeft een hoge pH-bestendigheid.

De wand wordt in lagen opgebouwd, waardoor de omgeslagen geogrids tijdens de aanleg kunnen steunen op de blokkenwand. De PVA-geogrids (in rood weergegeven in afbeelding 13) zijn aan de ene kant in beton gestort en aan de andere kant tussen de omgeslagen geogrids gelegd, waardoor een duurzame verbinding tussen blokkenwand en gewapende grond tot stand komt.

Deze opbouw zorgt er voor dat, in geval van schade aan de blokkenwand, de stabiliteit van de totale constructie gewaarborgd blijft. De afzonderlijke beschadigde stenen kunnen naderhand zonder problemen worden vervangen.

Wel moet er rekening mee worden gehouden dat de opname van thermische vervormingen minder is dan die van een traditionele blokkenwand. De relatief hoge temperaturen in Aqaba en de grote afmetingen maakten het toepassen van dilatatievoegen in de wand noodzakelijk.

#### 4. CONCLUSIE

Het artikel beschrijft niet alledaagse ontwerp-oplossingen die zijn toegepast in kademuurconstructies. Er worden twee projecten beschreven waarbij met succes met geogrid gewapende grond-

constructies en een blokkenwand-facing als kademuurconstructie zijn toegepast. Concluderend:

- Kademuurconstructies met blokkenwanden zijn door hun aanpasbaarheid in vorm, alignement en uiterlijk breed inzetbaar.
- De duurzaamheid van de blokken en de geogrid verankering is hoog, ook in een agressief milieu.
- Deze constructie vereist een uitvoering in den droge.
- De wanden kunnen zowel waterkerend als waterdoorlatend worden ontworpen.
- De opnamecapaciteit van dynamische belastingen door seismische effecten is relatief hoog.

Beide gepresenteerde projecten zijn mooie voorbeelden van de voordelen van met geogrid gewapende grondconstructies met een blokken-facing.

#### 5. REFERENTIES

- Bezuijen, A., van Eekelen, S.J.M., Nods, M., (2018). 11th ICG conferentie Geokunststoffen in Seoul, Zuid-Korea. In: Geokunst december 2018, pp 64-67.
- Detert, O., Schmidt S. (2012), Case studies: Geogrid reinforced block walls in waterfront projects under special boundary conditions, EuroGeo5, Valencia 2012.
- DIN 1054:2005: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Beuth Verlag.
- DIN 4084:2009: Baugrund – Geländebruch-

berechnungen, Beuth Verlag.

- EBGEO (2010): Empfehlungen für den Entwurf und Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen, DGGT, Essen, 2. Auflage, Ernst & Sohn Verlag GmbH.
- Hangen, H., Herold, A. (2009): Kunststoffbewehrte Erde (KBE) an der Südbrücke in Riga, Lettland; Geotechnik 3/2009.
- Ling, Hoe I., Leshchinsky, D., Burke, C., Matsushima, K., Liu, H.: Behavior of a large-scale modular-block reinforced soil retaining wall subject to earthquake shaking, 16th ASCE Engineering Mechanics Conference, Seattle, 2003.
- LMBV (Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH): www.lmbv.de.
- NEN-EN 1998: Eurocode 8, Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies.
- Tatsuoka, F., Koseki, J., Tateyama, M., Munaf, Y. and Horii, N.: Seismic stability against high seismic loads of geosynthetic-reinforced soil retaining structures' Keynote Lecture, Proc. 6th Int. Conf. on Geosynthetics, Atlanta, Vo.1, pp. 103-142, 1998.
- UNDP / ASEZA, Disaster Risk Assessment for Aqaba, 2011.
- Wittekoek, B., Van Eekelen, S.J.M., Terwindt, J., Korff, M., Van Duijnen, P.G., Detert, O., Bezuijen, A., 2022. Geogrid-anchored sheet pile walls; a small-scale experimental and numerical study. Geosynthetics International. Geaccepteerd voor publicatie. ●

**You want to reach the Dutch and Belgian ground-, road- and hydraulic engineering market?**

**Choose for GEOTECHNIEK: independent and indispensable.**

Ask for more information about advertisements and memberships (including interesting publicity packages): [info@uitgeverijeducum.nl](mailto:info@uitgeverijeducum.nl).  
 EDUCOM Publishers, P.O. Box 25296, 3001 HG Rotterdam, The Netherlands.  
[www.uitgeverijeducum.nl](http://www.uitgeverijeducum.nl) [www.vakbladgeotechniek.nl](http://www.vakbladgeotechniek.nl)

**Uitgeverij Educom**  
 SINCE 1987