

PROJEKTSTUDIE: AYLA OASIS, JORDANIEN - ENTSTEHUNG EINER LAGUNENLANDSCHAFT MIT GEOGITTERBEWEHRTEN BLOCKWÄNDEN

O. Detert

HUESKER Synthetic GmbH, Gescher

T. Al-Bitar

Geotechnical & Environmental Solutions (GES), Amman

I. Ayasrah

HUESKER Synthetic GmbH, Gescher

KURZFASSUNG: Ein besonders interessantes Projekt wird derzeit im Süden von Jordanien realisiert. Eine Wüstenlandschaft mit einer Fläche von 4.300.000 m² wird hier in eine grüne Oase verwandelt. Die Oasenlandschaft ist unter anderem geprägt von Lagunen, deren Umrandung zum großen Teil mit geokunststoffbewehrten Blockwänden realisiert wird. Bei der Bemessung dieser Stützbauwerke mussten aufgrund der geographischen Lage in einem tektonisch aktiven Gebiet Erdbebenlasten, sowie daraus resultierende Einwirkungen, wie zum Beispiel ein plötzlicher Abfall des Wasserspiegels vor der Wand, berücksichtigt werden. Die Ermittlung der anzusetzenden Erdbebenbeiwerte für eine pseudo-statische Stabilitätsanalyse gemäß Eurocode 8 wird ausführlich beschrieben. Hochzugfeste Geokunststoffe wurden im Weiteren auch als Sicherung gegen ein Versagen in der tiefen Gleitfuge von Winkelstützmauern im Erdbebenfall eingesetzt.

1 EINLEITUNG

Im Süden von Jordanien, direkt am Roten Meer, liegt die Stadt Aqaba. Die westliche Stadtgrenze ist gleichzeitig auch die internationale Grenze mit Israel. Im Süden von Aqaba befindet sich das Rote Meer. Der Seehafen in Aqaba ist Jordaniens einziger Zugang zum Meer. Das ganzjährig angenehme Klima macht Aqaba zu einem beliebten Erholungs- und Urlaubsort. Direkt vor der Küste liegt ein beliebtes Tauchgebiet mit Korallenriffen. Nicht zuletzt waren dies Gründe für die Investmentgesellschaft Ayla Oasis Development Company hier zu investieren und eine Lagunenlandschaft zu errichten.



Abbildung 1.1 Übersichtsanimation der Lagunenlandschaft [1]

In ca. 9 Jahren Bauzeit werden hier 4.300.000 m² Wüstenlandschaft in eine grüne Oase verwandelt. Auf dem großräumigen Gelände werden 3000 Wohneinheiten, 1700 Zimmer in hochwertigen Hotels, sowie Einkaufs-, Ta-

gungs- und Erholungszentren errichtet. Ergänzt wird das Gelände durch einen Golfplatz sowie drei übereinander liegende große Lagunen, die über Wasserfälle miteinander verbunden sind. Die unterste Lagune ist schiffbar und besitzt einen direkten Zugang zum Roten Meer sowie einen Jachthafen im Stadtzentrum der Anlage. Auf separaten Inseln in den Lagunen sind Luxusvillen vorgesehen. Die obere und mittlere Lagune sind komplett abgedichtet, um übermäßige Wasserverluste sowie eine Versalzung des Bodens zu verhindern. Die permanente Wasserzufuhr der oberen und mittleren Lagune erfolgt über große Pumpwerke mit dem Wasser aus dem Roten Meer. Die untere Lagune ist den Schwankungen des Wasserstandes des Roten Meeres ausgesetzt. Insgesamt werden 17 km Strand- und Uferpromenade erstellt, von denen ca. 15 km als geogitterbewehrte Blockwänden errichtet werden.

Abbildung 1.1 zeigt eine Animation der geplanten Lagunenlandschaft.

2 BAUTECHNISCHE UMSETZUNG

Die Bauweise mit geokunststoffbewehrten Blockwänden wird seit Jahren weltweit erfolgreich eingesetzt und ist in verschiedenen Regelwerken und Empfehlungen beschrieben, wie z.B. *BS 8006-1:2010*, FHWA (*Elias et al.*) oder *EBGEO 2010*. Auch in Deutschland setzt sie sich zunehmend durch, wie z.B. in *Schmidt et al.* zu lesen ist.

Bei diesem Projekt empfiehlt sie sich gleich aus mehreren Gründen. Wie Abbildung 1.1 zu entnehmen ist, besitzen die Umrandungen der Lagunen und Inseln sehr unregelmäßige Grundrisse, welche mit dieser Bauweise problemlos hergestellt werden können (siehe Abbildung 2.1).

Aus ästhetischer Sicht, sollte die Umrandung farblich gut in die Umgebung eingebunden werden. Dies wurde erreicht, indem lokale Zuschlagstoffe, welche auf dem Baugelände gewonnen wurden, bei der Herstellung der Blöcke verwendet wurden (siehe Abbildung 2.1).



Abbildung 2.1 Fertiggestellte Lagunenumrandung mit unregelmäßigem Grundriss

Ein weiterer entscheidender Vorteil von geokunststoffbewehrte Blockwänden ist ihr bereits mehrfach beobachtetes sowie getestetes duktiler Verhalten im Erdbebenfall. Unter anderem hat *Tatsuoka et al. (1998)* über das hervorragende Verhalten von geokunststoffbewehrten Erdstützkörpern bei Erdbebenereignissen in Japan berichtet. *Ling et al. (2003)* untersuchte das Verhalten geokunststoffbewehrter Blockwände unter Erdbebenlasten im Labor und beobachtete ebenfalls ein außerordentlich gutes Verhalten der Bauweise.

2.1 Bemessungsgrundlagen der Blockwände

Die Bemessung der Stützbauwerke erfolgte gemäß Eurocode 7 und 8 inklusive der nationalen Anhänge.

Die Wände weisen Höhen von 2 m bis max. 6 m auf. Hinter den Wänden wirken entweder Gründungslasten mehrstöckiger Gebäude oder Verkehrslasten aus Straßen und Wegen. Im Regelfall ist in der Berechnung der Wasserspiegel vor den Wänden als konstant, obere und mittlere Lagunen, bzw. veränderlich, untere Lagune, zu berücksichtigen. In Teilbereichen der unteren Lagune befindet sich ein Versatz vor den Blockwänden von etwa 1,0 m in einer Entfernung von ca. 5,0 m. Dieser dient der Vertiefung der Lagune, um den Jachten und Segelbooten eine ausreichende Wassertiefe zu garantieren.

Während der Bauzeit befindet sich kein Wasser in den Lagunen. Hinter bzw. auf den Wänden wird teilweise Material gelagert, so dass dies separat nachgewiesen werden musste.

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, befindet sich die Stadt Aqaba in einer tektonisch aktiven Region. Die afrikanische Platte entfernt sich hier mit einer Geschwindigkeit von ca. 1 cm pro Jahr von der asiatischen Platte. Es ist mit Erdbeben der Stärke 7 zu rechnen. Deswegen ist im Rahmen der vorgesehenen Nutzungsdauer mit einer Bodenbeschleunigung von 0,2g und einer 10% Wahrscheinlichkeit, dass dieser Wert in 50 Jahren überschritten wird, zu rechnen.

Die Berechnungen werden unter Verwendung von horizontalen und vertikalen Erdbebenbeiwerte mit pseudo-statischen Verfahren durchgeführt.

Die Erdbebenbeiwerte lassen sich wie folgt ermitteln:

Die örtliche Baugrundbeschaffenheit kann gemäß Eurocode 8 – Teil 1 als Baugrundklasse C „Tiefe Ablagerungen von dichtem oder mitteldichtem Sand, Kies oder steifem Ton, mit Dicken von einigen zehn bis mehreren hundert Metern“ beschrieben werden. Der Baugrund wurde bzgl. des elastischen Antwortspektrums als Typ 2 eingeordnet, dies ergibt den ungünstigeren Wert für den Bodenparameter S mit 1,5. Der Faktor r für die Berechnung des horizontalen Erdbebenbeiwertes hängt von der Art des Stützbauwerkes ab. Die Stützbauwerke wurden in die Kategorie „Freie Schwergewichtswände mit einer aufnehmbaren Verschiebung bis zu $d_r = 300 \cdot \alpha \cdot S$ (mm)“ eingeordnet, woraus sich gemäß Eurocode 8 - Teil 5 für den Faktor r der Wert 2 ergibt.

Der horizontale Erdbebenbeiwert ergibt sich somit zu:

$$k_h = \alpha \cdot S / r = 0,2 \cdot 1,5 / 2 = 0,15$$

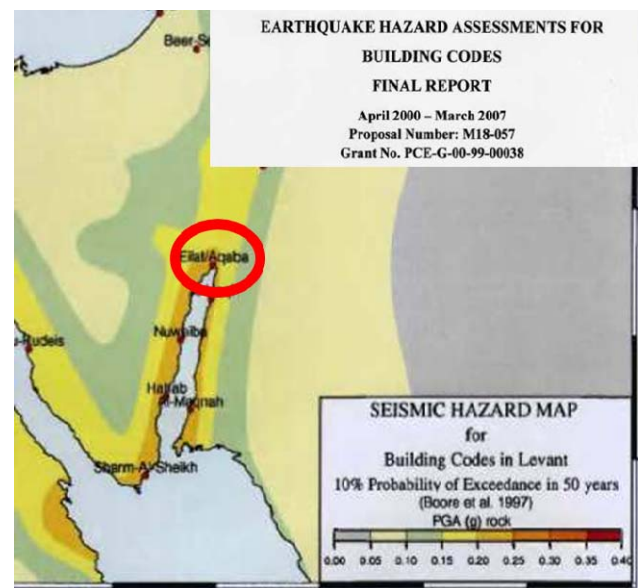


Abbildung 2.4.2 Erdbeben Übersichts Karte

Gemäß EC 8 - Teil 5 dürfen die Auswirkungen der vertikalen Beschleunigungen auf Stützbauwerke vernachlässigt werden, wenn es sich nicht um Schwergewichtswände handelt. Dies trifft auf geokunststoffbewehrte Blockwände sowie Winkelstützmauer zu. Dennoch hat man sich bei diesem Projekt dazu entschieden auch den vertikalen Erdbebenbeiwert in den Berechnungen zu berücksichtigen. Der vertikale Erdbebenbeiwert ergibt sich in diesem Fall zu:

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h = \pm 0,075$$

Im Falle eines Erdbebens kann es zudem zu einem plötzlichen Absinken des Wasserstandes vor der Wand kommen. Dies wurde berücksichtigt indem der Wasserstand vor der Wand 60 cm niedriger angesetzt wurde als in der Wand. Gleichzeitig wurden konstruktiv Ventile in die Front der Blockwände integriert, um ein schnellen Abbau von Wasserstanddifferenzen zu ermöglichen.

Zusätzliche musste ein sogenannter „unbeabsichtigter Mehrabtrag“ von 50 cm vor der Wand berücksichtigt werden. Dies resultiert aus den in regelmäßigen Abständen stattfindenden Saugbaggereinsätzen, die eine Versandung der Lagunen verhindern sollen.

Diese recht strikten und umfangreichen Bemessungsrandbedingungen führten zu Verhältnissen von Bewehrungslänge zur Wandhöhe, welche deutlich über der häufig genannten Faustformel von „0,7 * Wandhöhe“ lagen. Es ist anzumerken, dass diese Formel prinzipiell für eine erste Einschätzung bei Wänden verwendet werden kann, die nicht im Wasser stehen.

2.2 Abdichtung der Lagunen

Das Baugelände weist einen Höhenunterschied von mehreren Metern auf und fällt in Richtung des Roten Meeres hin ab, wodurch die Höhenstaffelung der Lagunen begünstigt wird. Das Wasser aus der oberen Lagune fließt über einen Wasserfall in die mittlere und von dort über Kaskaden sowie einem weiteren Wasserfall in die untere Lagune. Die untere Lagune steht in direkter Verbindung mit dem Roten Meer und ist somit den natürlichen Wasserstandänderungen ausgesetzt. Wie schon erwähnt, werden zur Reduzierung der Wasserverluste sowie zur Vermeidung einer Versalzung der Böden die obere und mittlere Lagune komplett mit Dichtungsbahnen abgedichtet. Zum Schutz der Dichtungsbahnen wurde zunächst auf dem vorbereiteten Planum ein Schutzvlies verlegt. Anschließend wurden die Dichtungsbahnen verlegt und verschweißt. Oberhalb der installierten Dichtungsbahnen wurde ein weiteres Schutzvlies verlegt und mit Sand überschüttet, bevor eine dünne Betondecke als zusätzlicher Schutz betoniert wurde (siehe Abbildung 2.2.1).



Abbildung 2.2.1 Luftbildaufnahme - Verlegte Abdichtung mit teilweiser Betonüberdeckung

2.3 Konstruktive Ausbildung der Abdichtung im Bereich der bewehrten Blockwände

Geokunststoffbewehrte Blockwände gelten generell, das entsprechende Füllmaterial vorausgesetzt, als wasserundurchlässige, frei drainierende Bauwerke. Da jedoch in der oberen und mittleren Lagune übermäßigen Wasserverlusts mittels einer Abdichtung entgegen gewirkt werden soll, sind hier Maßnahmen zu treffen, die sicherstellen, dass kein Wasser durch die Front bzw. den geokunststoffbewehrten Erdkörper in das dahinter liegende Erdreich eindringen kann.

Um dies zu erreichen, wurden die Kunststoffdichtungsbahnen um den bewehrten Erdkörper herumgeführt (siehe Abbildungen 2.3.1 und 2.3.2).

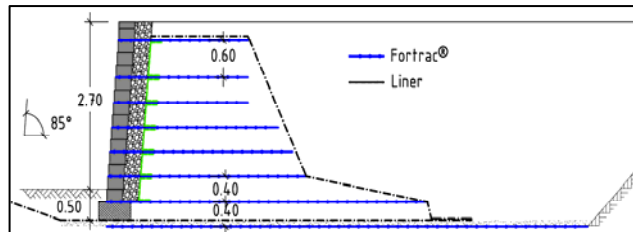


Abbildung 2.3.1 Exemplarischer Querschnitt Blockwand mit Führung der Abdichtung

Da in einem Abstand von wenigen Metern hinter der Front der bewehrten Böschung die Hausfundamente errichtet werden sollen, wurde die Kunststoffdichtungsbahn direkt hinter dem bewehrten Erdkörper hochgeführt. Die Hausfundamente können so im Trockenen gegründet werden. Um den Materialbedarf an Dichtungsbahn zu verringern, wurde die Dichtungsbahn oberhalb der untersten Bewehrungslage verlegt.



Abbildung 2.3.2 Abdichtung und -deckung der Kunststoffdichtungsbahn hinter der bewehrten Blockwand

Damit bei späteren Aushubarbeiten keine unbeabsichtigten Beschädigungen an der Abdichtung auftreten, wurden Betonplatten als Schutz über der Abdichtung verlegt (siehe Abbildung 2.3.2).

Durch die Verlegung der KDB entsteht unterhalb der Blockwand eine Gleitfläche mit reduzierten Scherfestigkeiten, die bei der Bemessung besonders beachtet werden muss.

2.4 Konstruktive Ausbildung der Blockwände gegen Schiffsanprall

Da die untere Lagune in direkter Verbindung mit dem Roten Meer steht, war hier eine Abdichtung nicht notwendig. Innerhalb der unteren Lagune befindet sich der Jachthafen der Anlage. Aufgrund der Schiffbarkeit musste der Fall eines Schiffanpralls gegen die Blockwände berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang bestanden Bedenken bzgl. des Widerstandes der Blockwände aufgrund der relativ geringen Masse der Blöcke. Als Verstärkung wurde daher hinter den Blöcken eine ca. 30 cm starke Betonwand mit hochgeführt (siehe Abbildung 2.4.1).

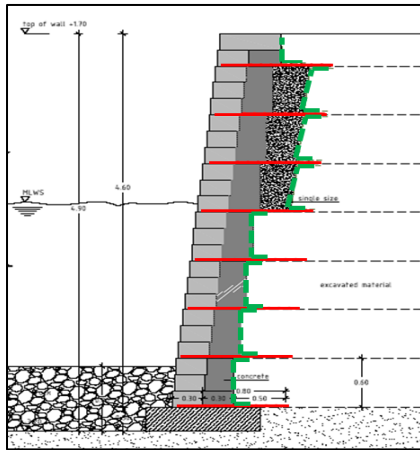


Abbildung 2.4.1 Querschnitt Blockwand mit Betonhinterfüllung

Die Beständigkeit von Polyester im direkten Kontakt mit hohen pH-Werten, wie sie zum Beispiel bei Frischbeton vorkommen, ist nicht gänzlich geklärt. Der Aufbau der Blockwände fand daher in einer leicht abgewandelten Form statt. Im Prinzip wurde eine Vorsatzschale aus Blocksteinen mit Betonhinterfüllung und separat ein bewehrter Erdkörper mit der sogenannten Umschlagmethode hergestellt, der über ein kürzeres Geogitter aus Polyvinylalkohol (PVA) mit der hinterfüllten Blockwand verbunden wurde.

Der Aufbau der Wände geschah lagenweise, so dass die Herstellung der hinterfüllten Blöcke und der Polsterböschung parallel stattfand. Das Verbindungsgeogitter (rot dargestellt in Abbildung 2.4.1) aus PVA wurde dabei auf der einen Seite mit einbetoniert und auf der anderen Seite in der Polsterböschung verankert. Somit ist eine sichere Verbindung zwischen der betonverstärkten Blockwand und dem bewehrten Erdkörper hergestellt.

Mit dieser Art der Ausführung ist ferner sichergestellt, dass selbst bei völliger Zerstörung der Front, die Tragfähigkeit des bewehrten Erdkörpers nicht gefährdet wird. Einzelne zerstörte Steine können problemlos ersetzt werden. Zu bedenken ist dabei jedoch, dass durch die Hinterfüllung mit Beton die Flexibilität der Blockwände verloren geht. Die relativ hohen Temperaturen in Aqaba und die großen Dimensionen der Wände erfordern die Anordnung von Dehnungsfugen, um Zwängs- und Zugrisse in den Steinen zu vermeiden

2.5 Geogitter als Sicherung hinter den Winkelstützmauern

In Teilbereichen der Anlage wurden Winkelstützmauern aus Stahlbeton hergestellt, wie zum Beispiel bei den Kaskaden. Die Bemessung mit den zuvor beschriebenen Randbedingungen ergab, dass zusätzliche Maßnahmen zur Sicherungen der tiefen Gleitfuge im Erdbebenfall notwendig sind. Die Möglichkeit diese mit vertikalen Strukturelementen, wie z.B. Spundwänden oder Pfählen zusichern wurde aus Kostengründen verworfen. Als technisch machbare und kostengünstigere Alternative wurde hier die Verlegung von horizontalen hochzugfesten Geogittern als Sicherungsmaßnahme gewählt.

3 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Beitrag berichtet über eine imposante Baumaßnahme in der Stadt Aqaba, Jordanien, bei der geokunststoffbewehrte Wände zum Einsatz kommen. Die Bemessung der geokunststoffbewehrten Blockwände ist geprägt durch die geographische Lage in einem tektonisch aktiven Gebiet, sowie weiteren besonderen Anforderungen, die in Verbindung mit dem Einsatz als Laguneneinfassung auftreten. Neben Darlegung der unterschiedlichen Bemessungsrandbedingungen inklusive ausführlicher Ermittlung der Erdbebenbeiwerte gemäß Eurocode 8, werden konstruktive Sonderlösungen, wie zum Beispiel die Abdichtung von geokunststoffbewehrten Blockwänden, vorgestellt.

Dieses Projekt belegt erneut die großartigen Einsatzmöglichkeiten sowie die wachsende Akzeptanz und das stetig steigende Vertrauen von Geokunststoffen im Erd- und Grundbau.

4 LITERATUR

BS 8006-1:2010: Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills. British Standard Institution, 2010.

V. Elias, B. R. Christopher, R. R. Berg: Federal Highway Administration Report: Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines. FHWA-NHI-00-043, 2001

EBGEO (2010): Empfehlungen für Bewehrungen mit Geokunststoffen, DGGT, Essen.

Schmidt, S., Mattes, P.: Anwendungsmöglichkeiten von Geokunststoffen bei der Renaturierung von Tagebaurestlöchern am Beispiel einer geokunststoffbewehrten Blocksteinmauer, FS-KGEO 2011, DGGT München 2011

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

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