

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk

EnerjiSA Enerji Üretim A.S., Ankara, Turkey

Andreas Herold

IBH – Herold & Partner Ingenieure, Weimar, Germany

Stephan Westhus

NAUE GmbH & Co. KG, Espelkamp-Fiestel, Germany

Kurzfassung

Derzeit befindet sich das Wasserkraftprojekt Arkun im Nordosten der Türkei im Bau und soll Anfang 2014 in Betrieb gehen. Der Entwurf der Betonseitenstützwände als Schwergewichtsmauern beidseits des Kraftauslasses wurde als nicht standsicher und nicht wirtschaftlich beurteilt. Eine Umplanung zugunsten von mit Geogittern bewehrten Flügeln mit Spritzbetonoberfläche konnte die technischen und wirtschaftlichen Anforderungen insbesondere hinsichtlich der lokalen Gründungssituation an den Flanken der Wände erfüllen. Mit der Umplanung wurde außerdem eine Kosteneinsparung von ca. 40 % erreicht. Darin sind Planung, Baumaterialien wie Geokunststoffe, Spritzbeton und Bewehrungsstahl inklusive Lieferung auf die Baustelle sowie andere mit der Umplanung verbundenen Kosten berücksichtigt. Nach anfänglichen Ressentiments der Bauherrenvertretung, der Baustellenüberwachung und des Bauunternehmens wurde die für türkische Wasserkraftprojekte innovative Baumethode von allen Seiten akzeptiert, umgesetzt und konnte so ihre Vorteile hinsichtlich des flexiblen Baufortschritts und des einfachen, verlässlichen Einbaus entfalten.

Stichworte: EnerjiSA, Arkun, Türkei, Secugrid Geogitter, Betonstützmauer

Abstract

The hydropower project Arkun is located in the Northeast of Turkey and is actually under construction. Commercial operation shall commence beginning of 2014. The design of the concrete retaining wing walls at the exit of the powerhouse was considered to be not stable and economically not beneficial. A redesign in favor of a geogrid reinforced earth wall with shotcrete surface cover could meet the technical requirements with special regard to the specific foundation conditions at the flanks of the walls. The redesign could also save approximately 40 % of the related costs in consideration of the expenses for the redesign, the geosynthetics and its transportation to site, other construction materials such as shotcrete and reinforcement, and all other costs related to the redesign. After initial resentments of the owner's representatives on site, the site supervision staff and the contractor the construction method, which is innovative for Turkish hydropower projects, was accepted, realized, and could unfold its advantages regarding the flexible construction sequence and the simple, reliable technique.

Keywords: EnerjiSA, Arkun, Turkey, Secugrid geogrids, concrete retaining wall

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



1 Einleitung

Die Türkei ist derzeit hinter China das Land mit dem größten Wirtschaftswachstum. Die Wachstumsraten liegen bei über sechs bis acht Prozent in den letzten Jahren mit leichter Stagnation während der Wirtschaftskrisenjahre seit 2008. Dieses Wirtschaftswachstum ist unter anderem auch darauf zurückzuführen, dass der türkische Staat seit gut über einem Jahrzehnt die Privatisierung der Märkte, insbesondere des Energiemarktes, vorantreibt und somit mit privaten Investitionen das Wirtschaftswachstum weiter ankurbelt.

Der Energiebedarf wuchs und wächst auch mit Raten bis zu 8 % in den vergangenen Jahren, wurde jedoch auch von der Wirtschaftskrise leicht gebremst. Vorhersagen im letzten Jahrzehnt haben ein Energieversorgungsdefizit beginnend mit den Jahren 2015 bis 2020 angezeigt. Mit der Privatisierung des Energiemarktes hat der türkische Staat den Ausbau der Energieträger beschleunigt. Seither drängen Investoren aus dem In- und Ausland und aus unterschiedlichen Wirtschaftssparten in den Energiesektor. Die Wasserkraftprojekte erreichen hierbei nicht selten interne Zinssätze von 13 % bis über 20 % für Einzelprojekte mit günstigen Randbedingungen bzgl. Geologie, Hydrologie und Hydraulik. Diese sehr attraktiven Projektkennwerte basieren meist auf Vorhersagen des Energieverkaufspreises über Zeiträume von 30 Jahren und mehr. Obwohl die Verlässlichkeit solcher langfristiger Vorhersagen leicht in Zweifel gezogen werden kann, ist es jedoch mehr als wahrscheinlich, dass die Energieversorgung einer wachsenden und dem Wohlstand verhafteten Weltbevölkerung eine zentrale Aufgabenstellung einnehmen, und, sofern sich keine politische Umkehr einstellt, in einem steigenden Energiepreis niederschlagen wird.

Etwas verlässlicher zu bestimmen sind die Bau- und Betriebskosten von Wasserkraftanlagen in der Türkei, die im Vergleich zu Europa als sehr günstig zu bewerten sind. Die Baukosten für Wasserkraftanlagen, ausgenommen Großprojekte wie z.B. Ilisu, Deriner oder Yusufeli, betragen bis vor kurzem mit 1,0 Mio. Euro pro Megawatt installierter Leistung ca. ein Drittel der Kosten in Europa (Haselsteiner et al., 2009 a, b). Die Betriebs- und Wartungskosten sind ebenfalls entsprechend günstiger, wobei seltener eine vorausschauende, strukturierte Betriebs- und Wartungsstrategie verfolgt wird.

Zudem sind Auflagen seitens behördlicher Stelle bezüglich sozialer, umwelttechnischer und technischer Anforderungen bei Weitem nicht so eng gefasst, wie in der Europäischen Union oder anderen westlichen Industriestaaten. Dies ermöglicht eine rasche Genehmigung und die Umsetzung von Wasserkraftprojekten in „Fast track“-Manier innerhalb von wenigen Jahren, gerechnet von dem Zeitpunkt der Ratifizierung der Machbarkeitsstudie eines Projektes durch die örtliche Wasserrechtsbehörde DSI (türkisch: Devlet Su Isleri), bis hin zur Aufnahme der Energieerzeugung. „Fast track“-Projekte bedürfen jedoch auch einer gewissen Flexibilität bzgl. Planung, Bau und Projektmanagement. Für diese sind die Türkei und der türkische Markt sowie die verantwortlichen Institutionen, Firmen und Personen auch im Hinblick auf die öffentlich-rechtlichen Rahmenbedingungen und den (politischen) Willen, Projekte rasch und effizient umzusetzen, prädestiniert.

Zusehends steigt jedoch der Widerstand seitens der Bevölkerung bzw. von Interessens- und Umweltverbänden, was für Einzelprojekte enorme Hürden darstellen kann. Dem staatlichen Projekt Ilisu stehen nationale und internationale Interessensgruppen entgegen, was die Regierung jedoch nicht davon abgehalten hat, den Bau zu beginnen und die Überflutung von bedeutenden historischen Stätten und eine Vielzahl von Umsiedlungen in Kauf zu nehmen. Auch entwickelt sich derzeit in der Türkei ein stärkeres Umweltbewusstsein. Mindestabflüsse in Restwasserstrecken sind gesetzlich vorgeschrieben und „belasten“ die neueren, meist privaten Projekte in technischer wie finanzieller Hinsicht (Haselsteiner & Ersoy, 2011). Ähnlich steht es mit Fischwanderanlagen und -konzepten, die nun obligatorisch an den neu zu errichtenden Wasserkraftanlagen ausgeführt werden. Die rechtlichen Vorschriften der Türkei im Bereich Umwelt- und Naturschutz bilden eine theoretisch belastbare Grundlage, welche jedoch nicht

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



selten versucht wird, praktisch zu umgehen. Die Kontrolle der Umsetzung von naturschutzfachlichen Anforderungen und Richtlinien wird nicht mit der mitteleuropäischen Konsequenz betrieben.

EnerjiSA ist ein Joint Venture, derzeit bestehend aus der türkischen Holding Sabanci und dem österreichischen Energieversorgungsunternehmen Verbund. Im Jahre 2013 wird E.ON den Anteil von Verbund übernehmen. EnerjiSA will in kürzester Zeit eine installierte Leistung von $P = 5.000 \text{ MW}$ in der Türkei installieren und somit 10 % der türkischen Energieproduktion übernehmen. Derzeit werden ca. 50 % dieses Leistungszieles von der Wasserkraft in Form von 15 mittleren und großen neuen Wasserkraftwerken gestellt. Einige kleinere bestehende Wasserkraftanlagen wurden im Zuge der Übernahme von Großprojekten von EnerjiSA übernommen, die jedoch im Portfolio eine untergeordnete Rolle spielen. Eine große neue Wasserkraftanlage ist das Projekt Arkun. Dieses Projekt ist eines der wenigen, die sich nicht in Südostanatolien befinden, sondern nahe zum Schwarzen Meer im Nordosten der Türkei. Die klimatischen, hydrologischen, geologischen sowie soziologischen Randbedingungen unterscheiden sich von den Projekten im Südosten, pauschale strategische Vor- oder Nachteile sind jedoch nicht einfach auszumachen.

2 Das Wasserkraftprojekt Arkun

Die Talsperre bzw. Wasserkraftanlage Arkun liegt am Fluss Coruh im Nordosten der Türkei. Sie ist eine von mehreren Anlagen, die den gesamten Fluss Coruh für die Wasserkraft nutzbar machen sollen. Einige davon sind bereits fertiggestellt, wie z. B. Güllübag (oberstrom) und Deriner, Borcka und Muratli (unterstrom). Die Talsperren Artvin und Yusufeli sind im Bau unterstrom von Arkun. Die Realisierung der oberstrom gelegenen Anlagen Aksu und Laleli ist derzeit aufgrund der Wirtschaftlichkeit der Projekte in naher Zukunft seitens der Privatwirtschaft unwahrscheinlich (Haselsteiner et al., 2012).

Das Absperrbauwerk/die Talsperre des Arkun Wasserkraftprojektes besteht aus einem 140 m hohen Damm aus Sand-Kies und Steinschüttmaterial, der eine Betonoberflächendichtung aufweist. Die Hochwasserentlastung weist drei Felder mit Drucksegmenten auf und ist auf einen Bemessungsabfluss von $Q_B = 4.500 \text{ m}^3/\text{s}$ ausgelegt, was dem Zufluss eines PMF entspricht (PMF: Probable Maximum Flood).

Die Umleitung besteht aus einem Stollen mit einer Länge von ca. 500 m und einem Durchmesser von etwa 7 m und ist für einen 25-jährlichen Hochwasserabfluss $HQ_{25} = 800 \text{ m}^3/\text{s}$ entworfen worden.

Eine Besonderheit des Projektes stellt der 14 km lange Druckstollen dar, der das Reservoir mit dem Krafthaus verbindet. Der Energiestollen hat einen Durchmesser von 6.5 m und wird mittels einer durch Injektionen vorgespannten Betonschale ausgekleidet. In der Türkei ist dies somit der zweite Wasserkraftdruckstollen nach Ermenek (Fertigstellung: 2009/2010), der eine mittels Hochdruckinjektionen vorgespannte Innenschale aufweist (Abb. 1). Im Hauptkraftwerk werden drei Francis-Turbinen installiert, von der jede eine Leistung von $P_{T,MPH} = 75 \text{ MW}$ hat. Ein Restwasserkraftwerk mit zwei Francis-Turbinen am Fuß des Dammes steuert weitere $P_{EPH} = 12 \text{ MW}$ bei, was zu einer gesamten installierten Leistung von $P_{ges} = 237 \text{ MW}$ führt.

Der Zulauf des Restwasserkraftwerks ist an die Druckleitung des Grundablasses angeschlossen, welcher nach Schließen der Umleitung im Umleitungsstollen installiert wird. Der Grundablass soll ermöglichen, das Reservoir in Trockenzeiten innerhalb weniger Wochen auf das Absenkeziel abzusenken, um notwendige Instandsetzungs- oder Wartungsarbeiten durchführen zu können.

Neue Stromleitungen, Umspannwerke und Straßenverlegungen (ca. 40 km), sowie Enteignungen und Umsiedlungen beanspruchen mit 20 % einen nicht unerheblichen Anteil der Projektkosten. Die Projektkosten werden sich voraussichtlich auf ca. 300 bis 320 Mio. € belaufen, was den anfänglichen Annahmen in etwa entspricht. Es ist

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



geplant, dass das Projekt Anfang 2014 Strom in das türkische Versorgungsnetz einspeist. EnerjiSA übernahm das im Bau befindliche Projekt im Jahr 2009, als die Umleitung noch fertiggestellt werden musste. Die Ausführungs-/Detailplanung war damals bereits zu einem Großteil fertiggestellt und musste im Laufe des Projektes („Design as you go“) hinsichtlich der hausinternen Standards und Vorschriften geprüft und überarbeitet werden.

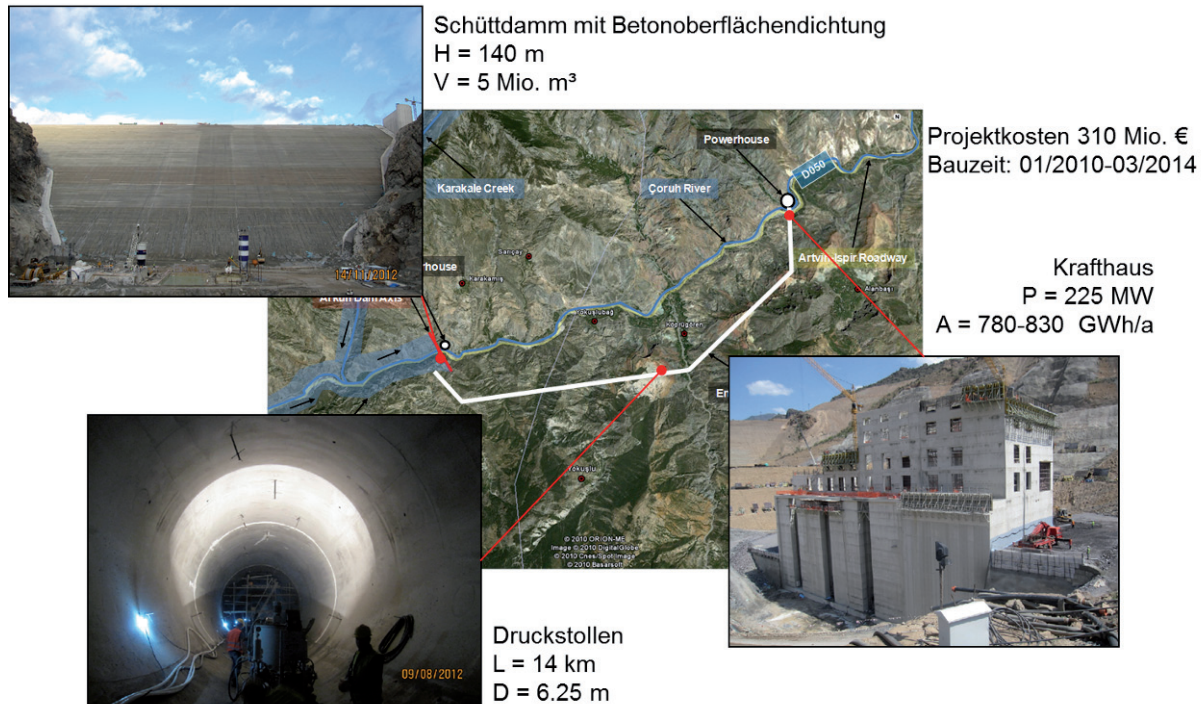


Abbildung 1: Wasserkraftanlage Arkun und deren Hauptbauwerke

Weitere Projektdetails sind in Haselsteiner et al. (2012) enthalten. Die vorliegende Veröffentlichung beschäftigt sich mit einem Teilprojekt zur Errichtung seitlicher Stützwände am Hauptkrafthaus im Bereich des Auslaufs und des Unterwasserkanals.

3 Projektbeschreibung

3.1 Allgemeines

Im Auslauf des Krafthauses sind parallel an das Kraftwerksgebäude Seitenwände (KKD 1 und KKD 2) notwendig, die das Krafthaus vom Unterwasserkanal abgrenzen und eine Hinterfüllung der ausgehobenen Baugrube um das Kraftwerksgebäude herum ermöglichen sollen (Abb. 2). Der verantwortliche Entwurfsingenieur hatte ursprünglich Betonstützmauern eingeplant, die auf Fels gegründet werden sollten.

Die geplanten Betonseitenstützmauern waren nach statischer Prüfung nicht standsicher und wiesen Probleme bei der Gründung auf, da der angenommene Felshorizont in der Realität deutlich tiefer anstand. Ein Alternativvorschlag seitens der Baustelleningenieure sah für den rechten und linken Bereich Gewichtsmauern aus Walzbeton vor, welche rein für die Betonarbeiten ca. 800.000 TL (ca. 350.000 €) beansprucht hätten. Die Gründungsprobleme an den Seiten der Wände wären trotzdem nicht gelöst worden.

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus

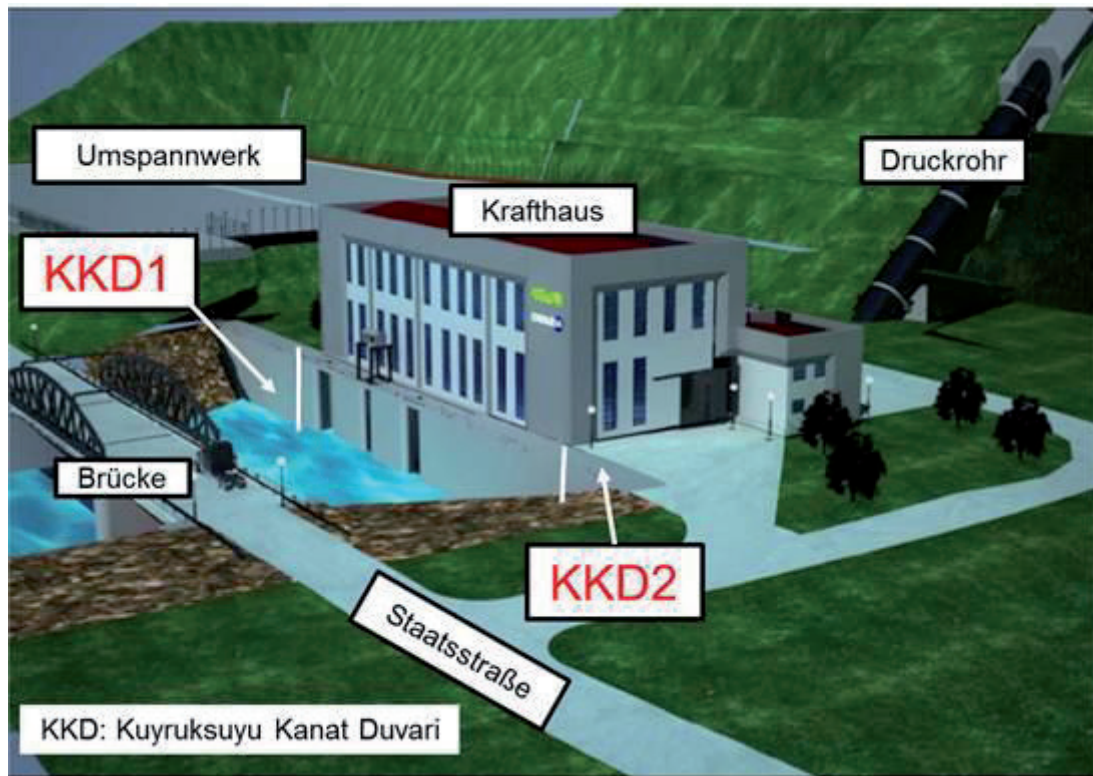


Abbildung 2: Unterwasseransicht des Hauptkrafthauses mit den Seitenstützwänden KKD1 und KKD2
(Anmerkung: Krafthausarchitektur wurde noch verändert)

Die damals vorhandene Ausführungsplanung stützte sich nur auf wenige Bohrungen, die zudem seitens des Planers optimistisch interpretiert wurden. Danach sollte Fels auf einer Kote 792 mNN angetroffen werden. Erneute Bohrungen zeigten jedoch, dass der Felshorizont bis zu 15 m tiefer anstand. Abgesehen von den ungünstigen Gründungsverhältnissen traten Probleme mit der Wasserhaltung auf. Der lokale Planer schätzte im Rahmen der Wasserhaltung der Baugrube einen Wasserzutritt von 50 l/s ab. Später stellte sich heraus, dass der Wasserzutritt bis über 1 m³/s betrug, was etwa dem 20-fachen des Annahmewertes entspricht.

Aufgrund der beengten Platzverhältnisse der Baugrube, unterstrom verläuft der Fluss sehr dicht an der Baugrube und oberstrom war der Aushub der Druckrohrleitung schon fertiggestellt, mussten sehr steile Böschungen und steile Baustraßen angelegt werden, um einen Zugang zur nun tieferen Baugrube zu schaffen. Die Böschungen, sofern sie nicht im Fels lagen, wurden mit einer Vernagelung von bis zu 12 m Länge und einer dränen Spritzbetonoberfläche gesichert, um die Stabilität der Böschung zu gewährleisten. Die Gründungsverhältnisse an den Flanken bzw. die Steifigkeit der Flankenbereiche wurden nicht verbessert.

Die Baugrube sollte zum Großteil in kolluvialen Ablagerungen mit hohem Sand- und Feinteilanteil sowie eingelagerten großen Blöcken errichtet werden, welche zudem noch sehr durchlässige Grobkieslagen aufwiesen. Diese durchlässigen Kieslagen waren Fluch und Segen zugleich. Sie entwässerten die umgrenzenden kolluvialen Böden, sodass diese neben einem akzeptablen Reibungswinkel auch eine nicht unerhebliche (scheinbare) Kohäsion aufwiesen. Jedoch begünstigten diese Lagen andererseits einen entsprechend starken Sickerwassereintritt in die Baugrube.

Zur Wasserhaltung wurden zwei Tiefbrunnenpumpenreihen angeordnet, um auch den Wasserspiegel von den Baugrubenböschungen fernzuhalten und somit die Böschungen zu stabilisieren. Die Tiefbrunnenpumpen wurden durch eine offene Grundwasserhaltung mit Schmutzwasserpumpen direkt in der Baugrube verstärkt. Die Pumpenanlage

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



war mit einem Sicherheitsaufschlag auf ca. maximal 3 m³/s Förderleistung ausgelegt, da auch unter Beachtung der vorhandenen Bohrungen und Bohrkerne nicht exakt vorhergesagt werden konnte, wie viel Wasser tatsächlich zu fördern sein würde. Die Ergebnisse von Pump- und Versickerungsversuchen ließen eine Fördermenge von ca. 1,5 bis 2,0 m³/s bei einem Aushub bis zur Kote 978 mNN erwarten. Mit zunehmender Baugrubentiefe nimmt die Menge des anfallenden Sickerwassers zu. Die Pumpversuche wurden bei relativ hoher Baugrubensohle gefahren, weshalb eine Extrapolation der Ergebnisse notwendig war. Letztendlich waren die Prognose und die eingebauten Sicherheiten bei der Auslegung der Pumpenkapazität ausreichend. Die Baugrube mit den Pumpenreihen, der Böschungsstabilisierung und dem Gründungsbeton sind in Abb. 3 zu sehen. Gut erkennbar ist auch das Kolluvium an den Seiten, auf das die zu errichtenden Seitenstützmauern gegründet werden sollten.

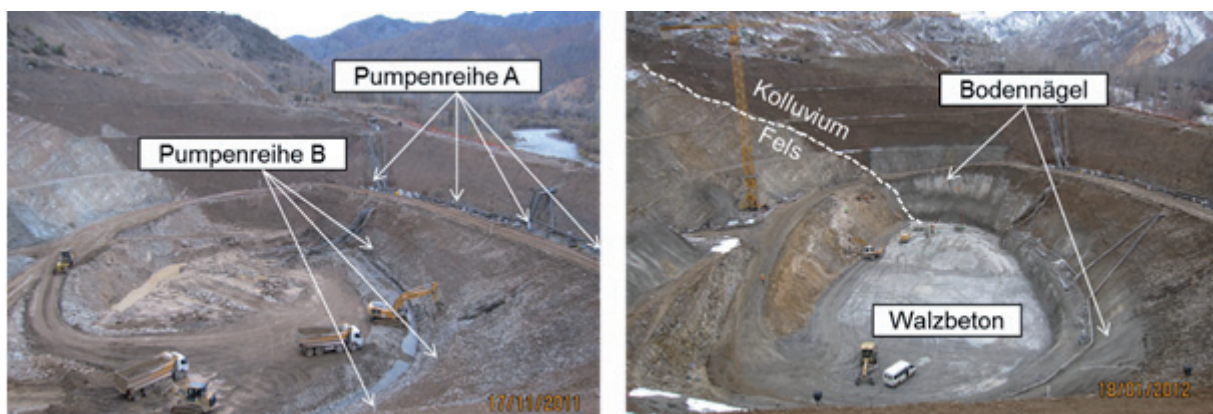


Abbildung 3: Baugrube vor (links) und nach dem Betonieren (rechts) der Gründung

3.2 Variantenuntersuchung

Aufgrund dieser Gründungsbedingungen und der Kosten der geplanten Stützmauer wurden Alternativen, die einerseits den statisch konstruktiven Anforderungen entsprechen, andererseits auch wirtschaftliche Vorteile bieten sollten, gesucht.

Es wurden insgesamt drei Varianten für die Seitenstützmauern verglichen:

- Alternative 1: Seitenwand mit Verankerungen in Fundament und Krafthausseitenmauern mittels kurzer Anker (nicht standsicher, Gründungsprobleme)
- Alternative 2: Betonstützmauer aus Walzbeton (teuer, Gründungsprobleme)
- Alternative 3: Mit Geogittern bewehrte Erd-/Steinschüttwand (KBE) (flexible, setzungsunempfindliche Konstruktion, im Vergleich zu den anderen Varianten als günstigste und technisch einwandfreie Alternative eingestuft)

Aufgrund der Setzungsunempfindlichkeit dieser Konstruktionsweise und aus Kostengesichtspunkten wurde schließlich seitens der Projektleitung beschlossen, eine Umplanung zugunsten der KBE vorzunehmen. Die Kostenreduktion unter Berücksichtigung aller Aufwendung zur Umplanung, Materialbeschaffung und bautechnischen Umsetzung belaufen sich auf ca. 40 % der angesetzten Kosten von 800.000 TL im Vergleich zu der als Alternative 2 diskutierten Betonstützmauer.

Aufgrund des Projektverlaufes, der Aushubgeometrie der Baugrube und den Gründungsverhältnissen waren links und rechts des Kraftwerks zwei unterschiedlich hohe KBE-Wandkonstruktionen notwendig. Aufgrund der kritischen

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



Lage der Wände im Nahbereich des Kraftwerkauslaufes und der damit verbundenen Risiken des Produktionsausfalls im Falle eines Versagens wurde beschlossen, einen international erfahrenen Planer und einen international erfahrenen Hersteller mit verlässlicher Baustoffqualität zu engagieren.

In Arkun wurde gegen den anfänglichen Widerstand der Baufirma und der Baustellenleitung und -überwachung die Umplanung zugunsten einer mit Geogittern bewehrten Lösung (KBE-Wände) favorisiert und mit IBH - Herold und Partner Ingenieure ein Entwurfsingenieur aus Deutschland für die Planung und Bemessung beauftragt. Dabei wurde anfänglich mit dem Hersteller (NAUE GmbH) und dem hausinternen Planungsbüro Bauberatung Geokunststoffe (BBG) die Machbarkeit der angedachten Lösung überprüft und positiv eingestuft.

4 Entwurf der Kunststoff Bewehrten Erde (KBE)

4.1 Allgemeines

In der Türkei ist die Verwendung von Geokunststoffen im Rahmen von Wasserkraftanlagen, wenn überhaupt, auf die Verwendung von Geotextilien und Dichtungsbahnen zum Filtern oder Trennen von Böden bzw. zum Abdichten von Tunneln oder von im Grundwasser befindlichen Bauwerken beschränkt. Im Talsperrenbau bzw. Wasserkraftanlagenbau sind Geokunststoffe auch außerhalb der Türkei nicht sehr verbreitet, was meist aus unzureichender Erfahrung und unzureichendem technischen Wissen der verantwortlichen Ingenieure sowie aus Unkenntnis der Anwendungsvielfalt und der Lösungsmöglichkeiten von KBE- Konstruktionen resultiert.

Diesen Gesichtspunkten Tribut zollend wurde bei der Ausgestaltung des Entwurfs und der Entwurfskriterien besonders Wert daraufgelegt, dass einfache Baumethoden mit ortsüblichen Baumaterialien, abgesehen von den Geokunststoffen, verwendet werden, und dass der Entwurf eine ausreichende und auch angemessene Sicherheit aufweist, um Ausführungsungenauigkeiten im Hinblick auf die zu verwendenden Böden und etwaige Einbauschäden sowie Risiken bei der Ausführung (Pilotprojekt) weitestgehend abzudecken.

4.2 Entwurfsgrundsätze und -prinzipien

Die zu planenden Seitenstützbauwerke mussten deshalb aus Sicht des Auftraggebers folgenden Kriterien bzw. Prinzipien genügen:

- Die Seitenstützbauwerke sollen dauerhaft standsicher sein und keine nennenswerten Setzungen auch im Hinblick auf das Langzeitverhalten aufweisen. Dabei sollten die zu erzielenden Sicherheitswerte (hier in Form von Auslastungsgraden) eine ausreichende zusätzliche Sicherheitsreserve zur Verfügung stellen.
- Die Front/Oberfläche der Seitenstützbauwerke sollte vertikal ausgeführt werden, um den Anschluss und die Zugänglichkeit zum Krafthausgebäude sicherzustellen. Dies war auch eine Forderung des Architekten, der den Entwurf des Krafthauses an die lokale Architektur und das regionale Landschaftsbild anlehnte.
- Die Front/Oberfläche sollte durchlässig sein, um die Entwässerung der dahinter liegenden Füllung für den Fall von Wasserspiegelschwankungen bzw. für den Lastfall „schnelle Wasserspiegelsenkung“ vom Unterwasser zu ermöglichen, und dennoch visuell in das Gesamtbild der Anlage passen.
- Die Seitenstützbauwerke sollten den dynamischen Lasten resultierend aus Erdbeben unter Zuhilfenahme eines pseudo-statischen Nachweisverfahrens widerstehen.

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



- Zur Verfügung stehende Füllmaterialien aus dem Aushub von Flussablagerung und/oder des Tunnelvortriebs sollten eingesetzt werden können.
- Der Einbau sollte einfach und flexibel gestaltbar sein, so dass keine zusätzlichen Maschinen oder Fachpersonal auf Seiten des Unternehmers notwendig sind.

4.3 Nachweisverfahren, Lasten und Lastfälle

Die geotechnischen Nachweise der Geogitter bewehrten Stützkonstruktionen wurden nach deutscher bzw. europäischer Normung und den entsprechenden Regelwerken durchgeführt (EC7, EBGEO (2010), DIN1054:2005-01). Die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wurden wie folgt geführt:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit
 - A1: Globale/äußere Standsicherheit
 - A2: Gleitsicherheit
 - A3: Grundbruch
 - A4: Entwurf der Bewehrungsführung
 - A5: Versagen durch die Bewehrung
 - A6: Verifizierung der Verankerungslänge
 - A7: Nachweis der Anschlüsse
 - A8: Nachweis der Spritzbetonschale
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
 - B1: Lage der Resultierenden
 - B2: Setzungen/Verformungen

Die Nachweise wurden generell unter Zuhilfenahme des Konzepts der Teilsicherheiten geführt, wobei die Lasten mit einem Teilsicherheitsbeiwert erhöht und die Widerstände entsprechend reduziert wurden (EBGEO (2010), DIN 1054:2005-01):

Die auftretenden Lasten und Lastfälle wurden in enger Abstimmung mit dem Bauherrn und dem Planer formuliert:

- Lastfall 1: Normalbetrieb bei Betriebswasserspiegel im Unterwasser 710 mNN
- Lastfall 2A: Normalbetrieb + Wasserspiegelsenkung von 710 auf 702 mNN im Unterwasser
- Lastfall 2B: Normalbetrieb + Betriebserdbeben (- Operation Basis Earthquake: OBE)
- Lastfall 3A: Betrieb im Hochwasserfall bei Wasserspiegel im Unterwasser 714 mNN
- Lastfall 3B: Normalbetrieb + Sicherheitserdbeben (- Maximum Design Earthquake: MDE)

Entsprechend der Lastfälle wurden die Teilsicherheitsbeiwerte der Lasten und Widerstände für Teilversagen (LS 1B) und Komplettersagen (LS 1C) angesetzt (DIN 1054:2005-01).

Zur Bemessung der Spritzbetonschale wurden die Lastfälle 1 und 3B herangezogen. Für Lastfall 3B wäre ein Versa-

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



gen der Spritzbetonoberfläche als - für die Gesamtstandsicherheit nicht relevant- akzeptabel.

Als „besondere Last“ wurde im Lastfall 1 ein Mobilkran berücksichtigt, der anstelle des noch nicht fertiggestellten Portalkrans die E&M-Installationsarbeiten bedienen sollte.

Ferner sind aus dem geotechnischen Gutachten auf Basis der dort festgelegten maximalen Bodenbeschleunigungen die pseudo-statischen Ersatzbeschleunigungswerte abgeschätzt worden. Diese Lasten wurden nach Rücksprache mit dem Entwurfsingenieur in horizontaler und vertikaler Richtung angesetzt:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• OBE: $p_{ga} = 0.12 \text{ g}$<ul style="list-style-type: none">• $a_h = 2/3 \cdot 0.12 \text{ g} = 0.080 \text{ g}$• $a_r = 2/3 \cdot a_h = 2/3 \cdot 0.08 \text{ g} = 0.053 \text{ g}$• MDE: $p_{ga} = 0.18 \text{ g}$<ul style="list-style-type: none">• $a_h = 2/3 \cdot 0.18 \text{ g} = 0.120 \text{ g}$• $a_r = 2/3 \cdot a_h = 2/3 \cdot 0.08 \text{ g} = 0.080 \text{ g}$• MCE: $p_{ga} = 0.32 \text{ g}$<ul style="list-style-type: none">• $a_h = 2/3 \cdot 0.32 \text{ g} = 0.213 \text{ g}$• $a_r = 2/3 \cdot a_h = 2/3 \cdot 0.08 \text{ g} = 0.142 \text{ g}$ | <p>Übersetzung:</p> <ul style="list-style-type: none">• OBE: Operation Basis Earthquake
Betriebserdbeben• MDE: Maximum Design Earthquake
Bemessungserdbeben• MCE: Maximum Credible Earthquake
Physikalisch größtmögliches Erdbeben |
|--|--|

Die Nachweisschnitte wurden bei KKD1 und KKD2 an den Stellen mit der größten Höhe festgelegt, die Nachweise erfolgten alle zweidimensional. Aufgrund der besonderen V-Geometrie kann damit gerechnet werden, dass sich kein typischer 2D-Versagenmechanismus einstellt, sondern stabilisierende 3D-Effekte auftreten. Auf der anderen Seite können Spannungumlagerungen auftreten, welche die Vertikal-/Normalspannungen reduzieren und somit die Scherwiderstände beeinflussen.

Die Ausgangszugfestigkeit der Geogitter wird - unter anderem auch für KBE Konstruktionen - aufgrund von verschiedenen Einflussfaktoren abgemindert und geht als sogenannte Gebrauchslast in die statische Berechnung ein. Diese zulässige Gebrauchslast F_d eines Bewehrungselementes ergibt sich nach dem Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus (2005) bzw. analog dazu nach EBGE0 (2010) aus:

$$\text{zulässige Gebrauchslast } R_{B,d} = \frac{R_{B,k}}{A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times \gamma_M}$$

Im vorliegenden Fall wurden folgende Abminderungsfaktoren berücksichtigt:

- Abminderungsfaktor für die Zeitstandfestigkeit (Kriechen des Polymers):
 $A_1 = 1,36$ (Lebensdauer: 120 a)
- Abminderungsfaktor für die Beschädigungen durch Transport, Einbau und Verdichtung:
 $A_2 = 1,05$ (Größtkorn < 32 mm)
- Abminderungsfaktor für Verarbeitung z.B. Verbindungen, Anschlüsse an Bauteile:
 $A_3 = 1,00$
- Abminderungsfaktor für Umgebungseinflüsse (z.B. Wetterbeständigkeit, Beständigkeit gegen Chemikalien, Mikroorganismen und Tiere):
 $A_4 = 1,00$ (bei projektspezifischem pH-Wert = 7,9 – 8,2)

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



- γ = Partialsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung von eventuellen Abweichungen des eingebauten Produktes vom Nennwert und eventuellen kleinen geometrischen Änderungen des ausgeführten Bauwerkes gegenüber dem Entwurf TL Geok E-StB 05 bzw. DIN1054:2005: $\gamma = 1,4$ (LF1), $\gamma = 1,3$ (LF2) [-], $\gamma = 1,2$ (LF3)

$$\begin{aligned} \text{zulässige Gebrauchslast } R_{B,d} &= \frac{R_{B,k}}{A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4 \times \gamma_M} = \frac{200 \text{ kN/m}}{1,36 \times 1,05 \times 1,00 \times 1,00 \times 1,4} \\ &= 100 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

D.h. es werden 50% der Kurzzeitzugfestigkeit bei den Nachweisen im Hinblick auf die Langzeitstandfestigkeit in Ansatz gebracht.

4.4 Baumaterialien

Als Hinterfüllmaterial wurde generell der Aushub aus dem Druckstollen verwendet. Aufgrund der unterschiedlichen geförderten Qualität des Aushubs musste das Material speziell sortiert bzw. selektiert werden, da der Druckstollen teilweise auch stark verwitterte Sedimentgesteine zum Vorschein brachte.

Als charakteristische Reibungswinkel wurden für das Füllmaterial $\varphi_k' > 40^\circ$ und $c_k' = 0 \text{ kN/m}^2$ auf der sicheren Seite angesetzt, ohne die divergierende Körnungen des eingesetzten Materials zu berücksichtigen. Als Größtkorn wurde im Bereich der oberflächennahen Schüttung 75 mm festgelegt; für das allgemeine Steinschüttmaterial 200 mm. Der Feinkornanteil ($< 63 \text{ mm}$) wurde generell auf unter 5 % begrenzt. Die Schüttmaterialien sollten ein hohes Entwässerungspotential für den Lastfall „Schnelle Wasserspiegelsenkung im Unterwasser“ aufweisen, weshalb der Durchlässigkeitsbeiwert $k > 10^{-3} \text{ m/s}$ eingehalten werden sollte (siehe Abb. 7).

Obwohl das verwendete Material nicht konsolidiert und nach Bau keine großen permanenten Lasten aufgebracht werden, wurde in den Entwurfskriterien auch ein Elastizitätsmodul von mindestens 120 MN/m^2 als Kriterium festgelegt, was in Anbetracht der Sieblinie und Zusammensetzung des Materials und der Verdichtungsarbeit kein Problem darstellte. Die Verwendung eines gröbereren Schüttmaterials im Zuge der Bauausführung ($d < 75/200 \text{ mm}$) bedingt de facto eine höhere Einbaubeschädigung. Der Faktor A_2 wurde in der statischen Berechnung entsprechend angepasst.

Für die Spritzbetonschale wurde eine Güte C25/30 angesetzt und mit einer Baustahlmatte Q 524 A bewehrt. Der Betondeckung wurde mit 5,5 cm gewählt. Die Gründung der Bauwerke besteht aus Magerbeton der Güte C16/20. In den Flügelwänden wurden, je nach Aufgabe (Bewehren, Drainen, Trennen..), spezifische Geokunststofftypen eingesetzt.

Zur Sicherstellung der statischen Anforderungen wurden Geokunststoffe in Form von dehnsteifen Geogittern eingesetzt. Es wurden Produkte der Fa. NAUE verwendet. Von der Produktreihe Secugrid mit der Rollenbreite von 4,75 m wurden folgende zwei Typen verwendet:

- Secugrid 80/20 R6: PET, Zugfestigkeit $R_{B,k} > 80 \text{ kN/m}$, Bruchdehnung $\epsilon_{m/d} < 8,0 \%$
- Secugrid 200/40 R6: PET, Zugfestigkeit $R_{B,k} > 200 \text{ kN/m}$, Bruchdehnung $\epsilon_{m/d} < 8,0 \%$

Zwischen Spritzbetonoberfläche und der Geogitterbewehrung wurde der Geodrain-Verbundstoff Secudrain 201

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



WD601 201 mit einer Rollenbreite von 3,80 m verwendet, welcher auch aus der Produktpalette der NAUE GmbH stammt.

4.5 Bauentwurf

Im Laufe der Planung wurden unterschiedliche Oberflächenausbildungen diskutiert und teilweise auch komplett durchgeplant. Neben der letztendlich angewendeten Spritzbetonlösung wurden Fertigbetonbausteine/Verblendschalen mit bewehrten/unbewehrten Formsteinen, sowie vorgefertigte Betonelemente in Betracht gezogen. Letztendlich hat man sich für die Spritzbetonlösung entschieden, da diese während der Bauphase einfacheinzubauen und später im Betrieb ggf. auch ohne großen Aufwand zu sanieren ist. Die Vertikalität der Oberfläche ist auch bei größeren Abweichungen der KBE- Konstruktion leicht über die Dicke der Spritzbetonschale sicherzustellen. Die Herstellung ist einfach und der Bauunternehmer hat die dafür notwendigen Ressourcen und Maschinen bereits auf der Baustelle. Obwohl die Spritzbetonsicherung dem Bau „nachlaufen“ soll, ist eine Flexibilität im Bauablauf möglich. Der Zeitaufwand zur Herstellung ist im Vergleich zu den beiden anderen Alternativen positiv zu bewerten. Das ästhetische Element der gewählten Lösung wurde im Anbetracht des architektonisch ausgefeilten Entwurfs des Krafthauses als akzeptabel eingestuft.

Aufgrund der unterschiedlichen Abmessungen beider Seitenwände KKD1 und KKD2 mussten beide getrennt bemessen werden. In Abb. 5 und Abb. 6 sind die entsprechenden Bau-/Ausführungsentwürfe zu sehen.

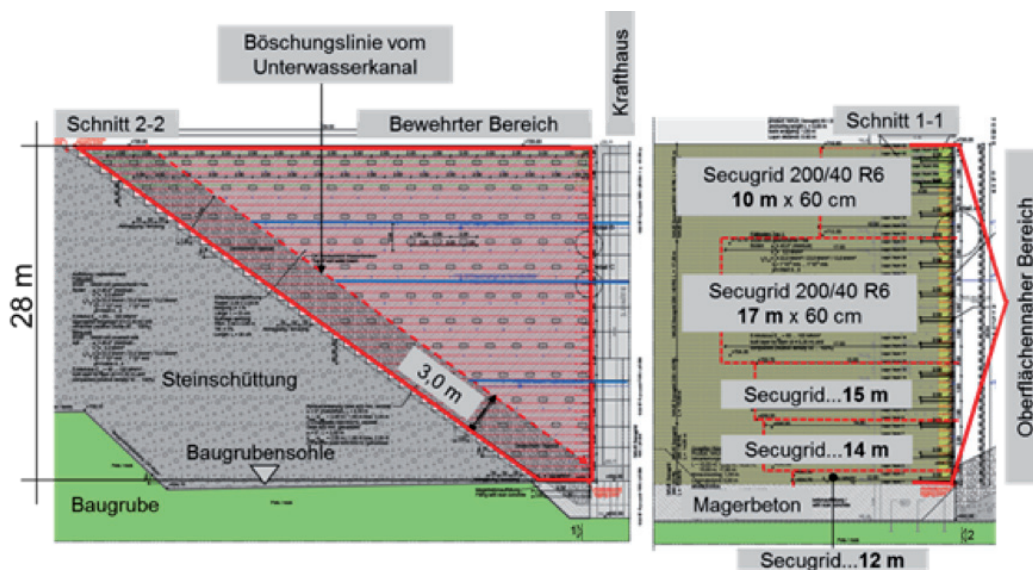


Abbildung 4: Entwurf von KKD1 mit einer Höhe von 28 m (links: Ansicht; rechts: Schnitt)

In KKD1 wurde als Hauptbewehrung Secugrid 200/40 R6 mit Einbindelängen von 10 bis 17 m vorgesehen. Nicht dargestellt sind zusätzliche Bewehrungslagen von Secugrid 80/20 R6 in den oberen ca. 3 m der Konstruktion mit einer Einbindetiefe von 4,0 m. Die Bewehrungslagen wurden in 60 cm vertikalem Abstand eingebracht. In den Bereichen mit Secugrid 80/20 reduziert sich der Lagenabstand folglich zu 30 cm. Das Füllmaterial wurde generell in 30 cm Lagen eingebracht. Nahe der Stirnseite (< 1,0 bis 1,5 m) wurden leichte Verdichtungsgeräte (Explosionshammer und kleine Walze) und im restlichen Bereich eine schwere Vibrationswalze (bis 15 t) mit 8 Übergängen vom Entwurfsingenieur zugelassen und auch eingesetzt (Abb. 7).

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



Der bewehrte Bereich wurde 3,0 m unter die Oberkante des später aufgeschütteten trapezförmigen Unterwasserkanals eingebunden. Der Unterwasserkanal wird auch aufgrund der speziellen Gründungsverhältnisse als trapezförmiger Kanal im Nachgang an die Errichtung des Krafthauses inklusive den Seitenstützwänden als Erdschüttbauwerke mit Betonoberflächendeckung hergestellt.

Der Bereich der KBE waren weite Teile im Seitenanschluss ausgehoben worden, um ausreichend Platz bei der Erstellung der Baugrube zu haben. Diese Bereiche werden und wurden bereits teilweise mit Steinschüttmaterial wieder aufgefüllt.

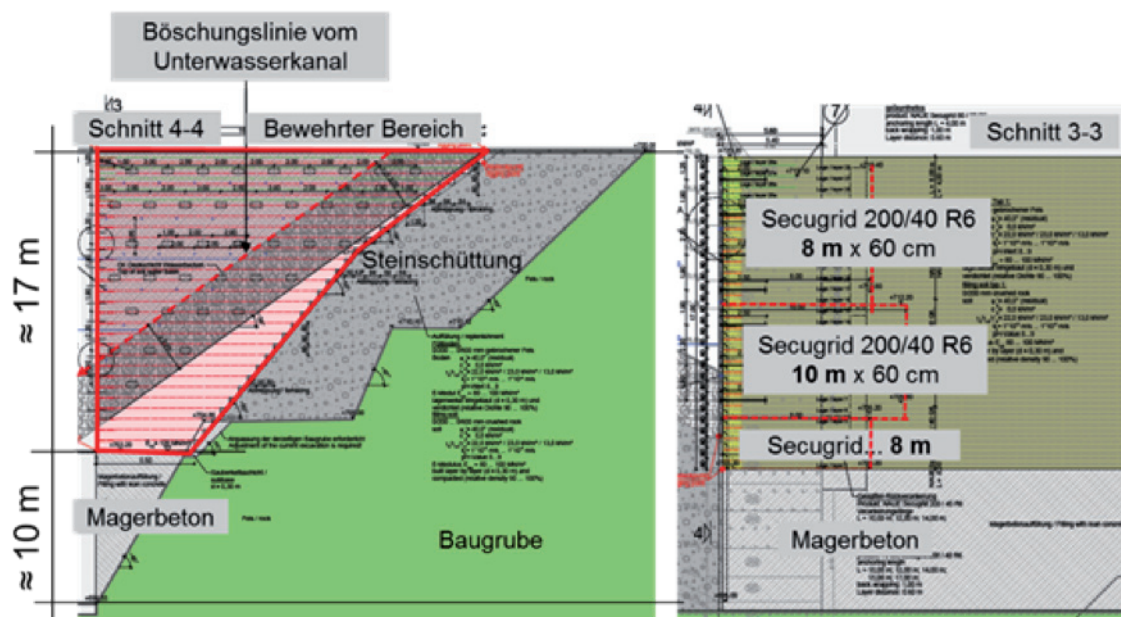


Abbildung 5: Entwurf von KKD2 mit einer Höhe von 17 m (links: Ansicht; rechts: Schnitt)

KKD2 ist nach den gleichen Prinzipien wie KKD1 entworfen worden. Sie weist jedoch mit 17 m eine geringere Höhe auf, was sich auch in der geringeren Menge der notwendigen Bewehrung niederschlägt. In KKD2 wurde als Hauptbewehrung ebenfalls in 60 cm Abständen Secugrid 200/40 R6 mit einer Einbindetiefe von 8 bis 10 m vorgesehen. Im oberen Bereich 3 m unter Bauwerksoberkante wurden Lagen von Secugrid 80/20 eingesetzt, was den Lagenabstand in diesem oberflächennahen Bereich wieder auf 30 cm reduzierte. Diese Lagen wurden zur Abtragung von schweren Betriebslasten vorgesehen, wie z. B. von Mobilkränen oder Transportfahrzeugen mit schwerem Gerät, die nahe an die Bauwerkskante manövrieren können sollten, um schweres Gerät oder Maschinen zum Krafthaus zu transportieren.

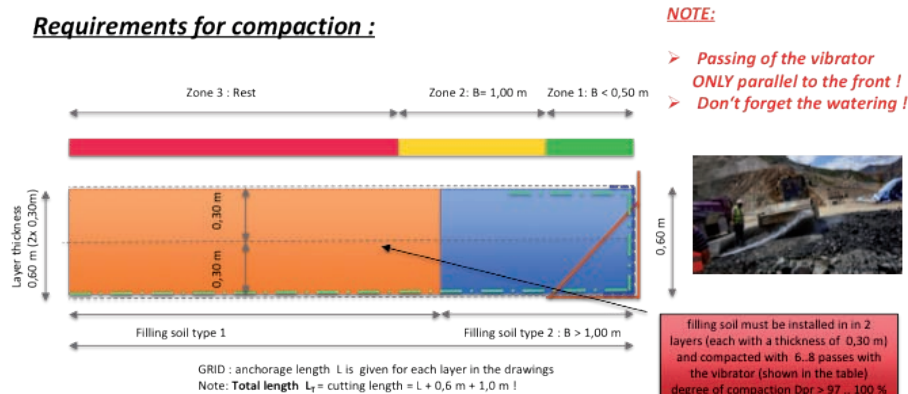
8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



Requirements for compaction :



NOTE:

- > Passing of the vibrator ONLY parallel to the front !
- > Don't forget the watering !

Requirement	ZONE 1	ZONE 2	ZONE 3
compaction	<ul style="list-style-type: none"> • only by vibrating plate • G < 0,1 t • dynamicly • thickness for compaction < 0,3m 	<ul style="list-style-type: none"> • only by small vibrator (vibrator roller) • G < 1,5 t • dynamicly • thickness for compaction < 0,3/0,6 m 	<ul style="list-style-type: none"> • only by heavy vibrator • G < 12,5 t .. 15,0 t • dynamicly • thickness for compaction < 0,6 m
Type			
Number of passes with the vibrator (1 pass = forth and back)	> 8 (layer thickness < 30 cm)	> 7 (layer thickness < 30cm) > 15 (layer thickness 40..60cm)	> 6 (layer thickness 40..60cm)

Abbildung 6: Verdichtungsanforderungen der bewehrten Fülllagen (Englische Originalgrafik aus den Entwurfsberichten)

Die seitliche Überlappung der Geogitter wurde konstruktiv mit 20 cm festgelegt. Die Geogitter wurden auf einer Länge von 1,0 m an der Front rückgeschlagen. Weitere Entwurfskriterien und -anforderungen bzgl. Füllmaterialien sind in Abb. 7 zusammengefasst.

Die leichten Verdichtungsgeräte (siehe oben) sollten im Nahbereich (< 1,0 bis 1,5 m) zur Front eingesetzt werden, um ein lokales Versagen bzw. übermäßige Verformungen an der Stirnseite der Bewehrungslagen zu vermeiden.

Die Vertikalität der Oberfläche bzw. Stirnseite wurde durch ein Stahlgitter mit kurzen Verankerungseisen sichergestellt (Abb. 8, vgl. auch Abb. 8, Abb. 10, Abb. 11, Abb. 17). Die statische Rückverankerung erfolgte über einen eingegrabenen Anker („toter Mann“) mit einer Länge von 2,5 m. Die „toten Männer“ wurden mit ca. 1,80 m Vertikalabstand eingegraben.

In Anbetracht der untersuchten Lastfälle und durchgeführten Nachweise stellte sich heraus, dass die globale Standsicherheit (Gleitkreise) im Erdbebenlastfall 3B maßgebend waren, wobei Ausnutzungsgrade von $\mu < 0,6$ für KKD1 und $\mu < 0,35$ für KKD2 erreicht wurden, was der Vorgabe des Auftraggebers, einen auf der sicheren Seite liegenden Entwurf zu erstellen, entsprach (Abb. 9).

Generell muss festgehalten werden, dass die Eingangsdaten- für die Bemessung einen weitaus größeren Streubereich und eine dementsprechend größere Unsicherheit aufweisen, als in vergleichbaren anderen Projekten weltweit. Es standen z. B. keine Laboruntersuchungsergebnisse, die das Scherfestigkeitsverhalten der Füllböden beschreiben, zur Verfügung. Diesen Unwägbarkeiten wurde mit einem geringen Auslastungsgrad im Zuge der Bemessung, und damit hohen Reserven, Rechnung getragen.

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus

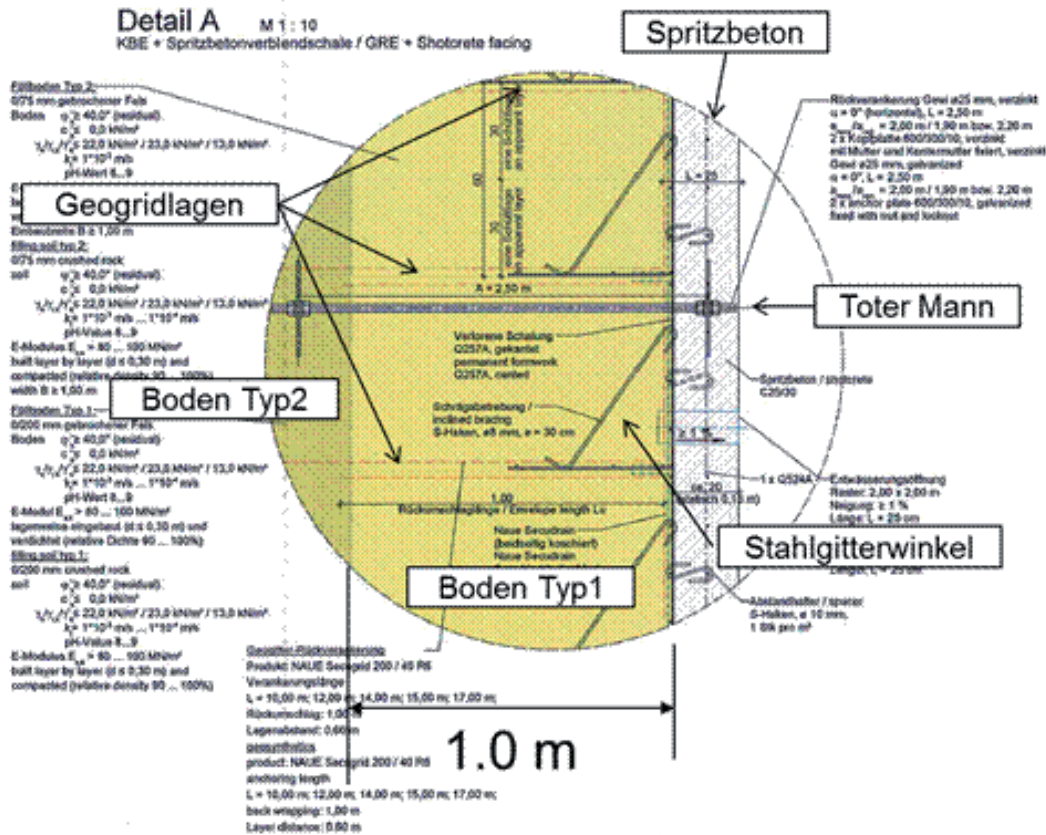


Abbildung 7: Oberflächen-/Stirnausbildung mit Spritzbetonschale

Die Ergebnisse der Gleitsicherheitsuntersuchungen entsprachen in etwa den Ergebnissen der Gleitkreisuntersuchungen, wobei die Sicherheitsreserven bei KKD1 höher ausfielen als bei KKD2.

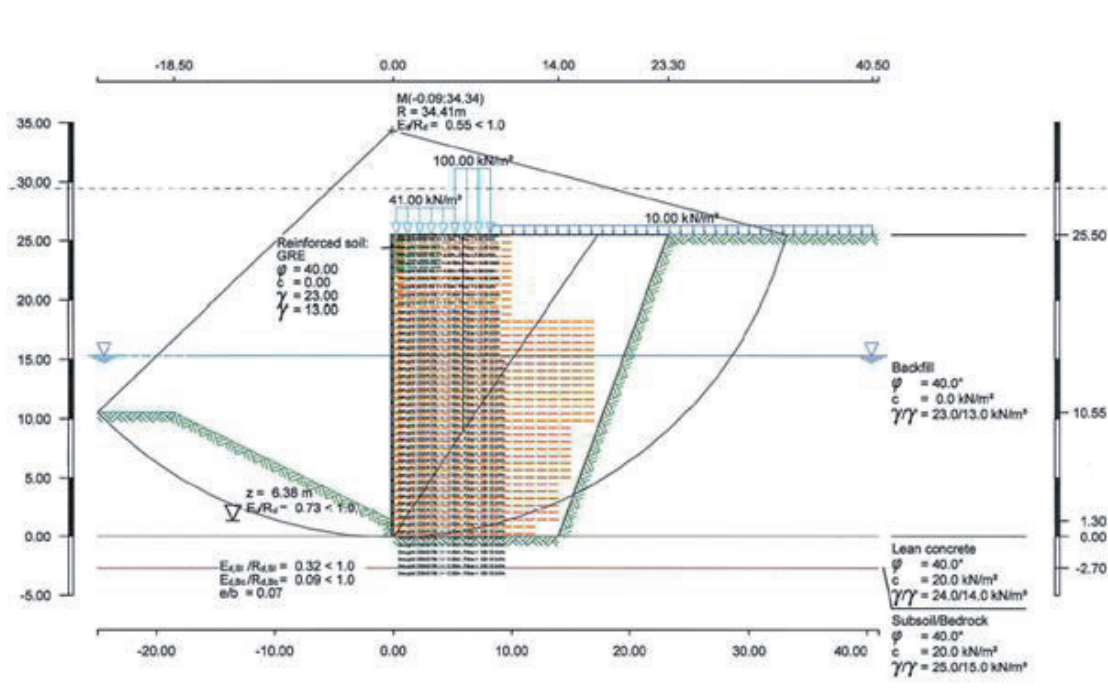


Abbildung 8: Grafische Darstellung des Gleitkreises mit dem größten Ausnutzungsgrad für KKD1 für den Nachweis der globalen Standsicherheit im Lastfall 3B

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



Aufgrund der Gründung beider Konstruktionen auf Walzbeton spielten Grundbruchszenarien ($\mu < 0,09$) an der Basis keine Rolle. In den Flanken konnte eine gewisse Nachgiebigkeit akzeptiert werden, wobei ein Versagen (übermäßige Verformungen) nicht zu erwarten sind.

Der Nachweis von internen Gleitflächen resultierte in Ausnutzungsgraden von $\mu < 0,73$, was auch die gewählte hohe Zugfestigkeit der Geogitter rechtfertigt. Im Anbetracht der angesetzten Langzeitbemessungszugfestigkeit handelt es sich ebenfalls um einen auf der sicheren Seite liegenden Entwurf.

Eine grobe Abschätzung der zu erwartenden Setzungen während des Baus resultierte in Setzungswerten von 6 bis 21 cm in vertikaler und 3 bis 11 cm in horizontaler Richtung an der Oberkante der Konstruktion. Langzeit- bzw. Konsolidierungssetzungen werden als unerheblich eingeschätzt „Los Angeles Abrasion“-Versuche lassen darauf schließen, dass das Steinschüttmaterial im Allgemeinen einen hohen Widerstand gegen Abrieb, etc. aufweist.

5 Ausführung der Arbeiten

Obwohl anfänglich Zweifel bestanden, begrüßte die Baufirma nach Erstellen eines Versuchsfeldes die „neue“ Bauphase und den geänderten Bauentwurf aufgrund der einfachen Anwendung und des schnelleren und flexibleren Baufortschritts. Im Gegensatz zu den ursprünglich geplanten Betonwänden konnten die KBE-Stützwände je nach Baufortschritt am Krafthaus und an den entsprechenden Zugangsmöglichkeiten /-bedingungen flexibel in Teilabschnitten errichtet werden.

Um die Arbeitstechnologie, Gerät, Material und Mannschaft auf die Bauweise ab- und einzustimmen, wurde ein Probefeld angelegt. Das 1:1-Versuchsfeld wurde nahe dem Krafthaus auf dem Gelände des zukünftigen Umspannwerks errichtet (Abb. 10, Abb. 11, Abb. 12).

Die kurzfristig auf die Baustelle gelieferten NAUE Geokunststoffe, das gewählte Steinschüttmaterial sowie die vorgesehenen Maschinen konnten gemäß den Baubedingungen eingesetzt werden. Unter Anleitung des Entwurfingenieurs IBH – Herold & Partner Ingenieure, Weimar, welcher diese Testmaßnahme ausführlich dokumentierte und dem örtlichen Überwachungspersonal eine technische Einweisung für das Arbeiten mit Geokunststoffen gab, konnten rasch alle Ressentiments der örtlichen Bauüberwachung und des Bauunternehmers entkräftet und mit dem Bau begonnen werden.

Bereitete die Errichtung der vertikalen Front anfänglich auch im Feldversuch noch einige Probleme, spielte sich der Bauablauf nach einiger Zeit ein und die Baumannschaft konnte relativ schnell und nach Planung bzw. Anweisung arbeiten (siehe Abb. 10, Abb. 11).

Unkritisch für den Projektzeitplan begannen die Arbeiten an den Seitenwänden später als vorerst angenommen im Juni/Juli 2012 (Abb. 12).

Innerhalb weniger Tage konnten mehrere Höhenmeter beider Wände hergestellt werden. Die Spritzbetonoberfläche lief entsprechend hinterher. Der Bauunternehmer selbst war von seinem eigenen Baufortschritt überrascht und stellte innerhalb von vier Wochen 50 % von KKD2 und 25 % von KKD1 fertig, wobei er stets die Zufahrtswege beidseitig vom Krafthaus für den Baustellenverkehr betriebsfähig erhalten musste und deshalb auch die Zufahrt nahe von KKD1 gleichzeitig mit der Wand hochziehen musste.

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



Abbildung 9: Vorbereiten des Versuchsfeldes mit der Basisbewehrungslage Secugrid 200/40 R6 und der vertikalen Stirnfläche (16.05.2012) (Foto: IBH)



Abbildung 10: Eingebaute erste Lage des Versuchsfeldes mit der vertikalen Stirnfläche (16.05.2012) (Foto: IBH)

Wand KKD1 musste bei 25 bis 30 % der Gesamthöhe gehalten werden, um die Zufahrt hin zur Druckrohrleitung im Zulauf hinter dem Kraftwerk zu erhalten. Danach musste aufgrund des Drucks des E&M-Zulieferers (Alstom), um den Termin der Installation der Maschinen- und Elektroausrüstung im Krafthaus einhalten zu können, rasch eine temporäre Zugangsrampe (Abb. 15) für einen Kran hergestellt werden, sodass die Bauarbeiten an KKD1 bis Ende Januar 2013 eingestellt worden sind. Dies wurde jedoch als Vorteil der gewählten Konstruktion ausgelegt, da man flexibel auf diese projektinternen Zwänge reagieren konnte und die Höhe bzw. den Baufortschritt der Wände KKD1 sowie KKD2 den allgemeinen Bauausführungsanforderungen an die Zufahrtswege angleichen konnte.

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



Abbildung 11: Ausgangszustand vor der Errichtung der mit Secugrid-Geogittern bewehrten Wände KKD1 und KKD2 (Mai/Juni 2012)



Abbildung 12: Baufortschritt zum 07.08.2012 – 25 % von KKD1 und 50 % von KKD2



Abbildung 13: Baufortschritt zum 18.09.2012 – 25 % von KKD1 und 100 % von KKD2

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



Abbildung 14: Baufortschritt im Januar 2013 – 30 % von KKD1 - Unkritischer Baustopp von KKD1 zugunsten der Bauarbeiten im Krafthaus – Zufahrtsrampe zur Installation von Maschinenteilen für eine der Turbinen

In Abb. 16 und Abb. 17 sind Detailaufnahmen von KKD1 zu Beginn der Bauarbeiten zu sehen, welche vornehmlich die Ausbildung der Stirnfläche dokumentieren und welche am besten die Qualität der erbrachten Bauleistung widerspiegeln.



Abbildung 15: Arbeiten an Wand KKD1 – Lagenweiser Einbau mit „totem Mann“ (links) – Vertikale Stirnfläche mit Drainageelement Secudrain 201 WD601 201 und Stahlmatten (rechts)

Die Qualität der ausgeführten Wände steigerte sich sichtbar mit zunehmender Erfahrung der eingesetzten Bauplätze. Anfängliche Ungenauigkeiten bzgl. der Überlappungslänge und der vertikalen Ausrichtung der Stirnfläche wurden deutlich reduziert. Die Spritzbetonarbeiten konnten leicht eingetaktet werden. Der Maschineneinsatz und die Umsetzung des Bauentwurfs wurden und werden seitens des Bauunternehmers ohne Probleme oder etwaige Nachforderungen im Anbetracht des geänderten Bauentwurfs koordiniert.

Die Bauarbeiten werden Vorort von der Oberbauleitung, die direkt von EnerjiSA gestellt wird, und der externen, lokalen Bauleitung, welche als Subunternehmer von EnerjiSA auftreten, überwacht. Eine Überwachung/Prüfung der Bauarbeiten durch einen unabhängigen Drittüberwacher findet nicht statt.

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



Abbildung 16: Arbeiten an Wand KKD1 – Spritzbetonoberfläche (links) – Zonierung und kleine Verdichtungsgeräte (rechts)

6 Resümee

Nach anfänglicher Zurückhaltung bei der Realisierung der Alternative eines mit Geogittern bewehrten Erdbauwerks (KBE-Stützwand) begrüßten alle Beteiligten die Entwurfsänderung aufgrund der ausgeprägten Projektvorteile. Aber das Projekt brachte nicht nur wirtschaftliche Vorteile für alle Beteiligten, weshalb es als WIN4-Situation betitelt werden kann.

- Der Entwurfsingenieur wurde aufgrund des Zeitdrucks und der vorhandenen fachlichen Expertise direkt beauftragt.
- Der Hersteller wurde beauftragt, die Geokunststoffe direkt auf Baustelle zu liefern. Auf eine aufwendige und zeitraubende Ausschreibung wurde aufgrund des Projektzeitplans verzichtet. Da es sich um ein „Pilotprojekt“ handelte wurde ein europäischer Hersteller ausgesucht, dessen Ware bereits qualitätsgesichert auf die Baustelle geliefert wurde.
- Der Bauunternehmer konnte die Bauwerke unter Einsatz des vorhandenen Maschinenparks und in Anbetracht des Baufortschritts des Krafthauses bedarfsgerecht ausführen und sich das Wissen der speziellen Baumethode aneignen.
- Der Auftraggeber und Eigentümer der Anlage konnte die Kosten reduzieren und begrüßte die Flexibilität der Konstruktion im Hinblick auf den Bauablauf, sodass die Errichtung des Krafthauses reibungslos fortgeführt werden konnte.

Letztendlich führte das bis dato erfolgreiche, teilweise fertiggestellte Projekt dazu, dass der Auftraggeber/Eigentümer das Planungsbüro IBH Herold damit beauftragte, die Böschungen zum Umspannwerk ebenfalls als KBE zu planen, um Bauzeit, Kosten und Platz zu sparen. Aufgrund der schnellen und unkomplizierten Abwicklung des ersten Teilprojektes wurde der Auftrag zur Lieferung einer ähnlichen Menge Geokunststoffe erneut an die Firma NAUE vergeben.

Abschließend bleibt zu bemerken, dass die Anwendung von Geokunststoffen im Erd- und Wasserbau, vielleicht besonders bei großen Wasserkraftprojekten in der Türkei und weltweit, ein Schattendasein führt, was i.d.R. auf die mangelnden Kenntnisse und Erfahrungen der zuständigen Ingenieure zurückzuführen ist. Auch wenn die Umsetzung solcher Maßnahmen kosteneffizient ist, gilt es noch, in Ländern, in denen Talsperrenbau „boomt“, Aufklä-

8. Geokunststoff-Kolloquium

Kunststoff Bewehrte Erde (KBE) Stützwände als wirtschaftliche Alternative zu konventionellen Seitenbetonstützmauern im Auslaufbereich des Wasserkraftwerks Arkun in der Türkei

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner, Emre Kaytan, Resul Pamuk; Andreas Herold; Stephan Westhus



rungsarbeit hinsichtlich der technischen Grundlagen im Umgang mit Geokunststoffen zu leisten. Den technischen Erkenntnissen und Erfahrungen und positiven Aspekten hinsichtlich der Projektkosten und -umsetzung stehen meistens keine technischen, sondern persönliche und politische Ressentiments entgegen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich ganz herzlich bei den Ingenieuren und den Projektverantwortlichen, die bei der Realisierung des beschriebenen Projekts mitgeholfen haben und entgegen der anfänglichen Widerstände diese für die Türkei innovative Bauweise unterstützt haben.

Literatur

01. DIN EN 1054 (2010): Baugrund. Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin
02. DIN EN 1997-1 (2010): Entwurf, Berechnungen und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln. Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin
03. DIN EN 1997-1/NA (2010): Entwurf, Berechnungen und Bemessung in der Geotechnik – Nationaler Anhang. Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin
04. EBGEO (2010): Empfehlungen für die Bewehrung aus Geokunststoffen (EBGEO). Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), Ernst & Sohn, Berlin
05. Haselsteiner, R.; Heimerl, S.; Arch, A.; Kohler, B.; Recla, R.; Bilmez, C.; Mesci, Ü. (2009a): Evaluation of small and medium hydropower in Turkey in consideration of economical aspects. Wasserkraftnutzung im Zeichen des Klimawandels - Waterpower and Climate Change. Dresdner Wasserbaukolloquium 2009, 12.-13. März 2009, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 39, S. 335-358
06. Haselsteiner, R.; Heimerl, S.; Arch, A.; Kohler, B.; Recla, R.; Bilmez, C.; Mesci, Ü. (2009b): Efficient Design, Construction and Maintenance of Hydropower Plants in Turkey. HYDRO 2009 - Progress, Potential, Plans, International Conference and Exhibition, Lyon, France, 26-28 October 2009
07. Haselsteiner, R.; Ersoy, B. (2011): Die Auslegung und Wirtschaftlichkeit von Restwasserkraftanlagen bei Großprojekten in der Türkei. 34. Dresdner Wasserbaukolloquium 2011: Wasserkraft - mehr Wirkungsgrad + mehr Ökologie = mehr Zukunft, 11.-12. März 2011, Dresdener Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 45
08. Haselsteiner, R.; Kaytan, E.; Pamuk, R.; Ceri, V. (2012): Seepage control design of the Arkun dam in Turkey. Hydropower and Dams (H&D), 1/2012, pp. 90-96