

Wittke-Schmitt, Wittke-Gattermann, Küpper:
Staumauer aus Walzbeton auf stark verformbarem Fels



Staumauer aus Walzbeton auf stark verformbarem Fels

Dr.-Ing. Bettina Wittke-Schmitt, Geschäftsführerin,
Dr.-Ing. Patricia Wittke-Gattermann, Projektleiterin,
Dipl.-Ing. Hans-Joachim Küpper, Projektleiter,

alle: WBI – Prof. Dr.-Ing. W. Wittke Beratende Ingenieure für Grundbau und Felsbau GmbH, Aachen, Deutschland



Am Rio Verde, in der Nähe von Guadalajara, Mexiko, wird zurzeit die 130 m hohe Staumauer El Zapotillo aus Walzbeton gebaut. Sie steht auf stark verformbaren Tuffen, die in horizontaler Wechsellagerung mit Ignimbriten an der Sperrbaustelle anstehen. Unterhalb der Talsohle befinden sich zwei stärker wasserdurchlässige Ignimbritschichten, in denen artesisch gespanntes Wasser ansteht. Der Entwurf der Schwergewichtsmauer musste durch eine Abflachung der unterwasserseitigen Böschung und die Anordnung eines Rucksacks auf der Unterwasserseite sowie durch eine Zonierung des Betons der Mauer an die Gegebenheiten angepasst werden. Räumliche FE-Berechnungen mit Programmsystemen von WBI wurden zum Nachweis der Standsicherheit durchgeführt. Außerdem wird ein umfangreiches Messprogramm durchgeführt. Zurzeit laufen die Bauarbeiten.



RCC dam founded on highly deformable rock mass: At the Rio Verde near Guadalajara, Mexico, the 130 m high roller compacted concrete (RCC) dam El Zapotillo is currently under construction. The dam is founded on highly deformable tuffs which are present as alternating sequence with ignimbrites at the location of the dam. Underneath the bottom of the valley two layers of ignimbrite with a higher permeability and artesian water are present. The design of the gravity dam had to be adapted to local conditions by means of a flattening of the downstream slope, the arrangement of a backpack at the downstream side and a zoning of the dam's concrete. Three-dimensional stability analyses according to the FE-method were carried out using the program systems of WBI. In addition, a comprehensive monitoring program is conducted. At present, construction works are underway.

Am Rio Verde in Mexiko wird zurzeit eine circa 130 m hohe Schwergewichtsmauer aus Walzbeton gebaut. Nach der Fertigstellung wird ein Stausee mit einem Volumen von ca. $1 \times 10^9 \text{ m}^3$ entstehen, welcher der Trinkwasserversorgung dient (Bild 1). Der Rio Verde mündet bei Guadalajara, der zweitgrößten Stadt Mexikos, in den Rio Santiago. WBI wurde damit beauftragt, den Ausführungsentwurf für diese Mauer auszuarbeiten.

Widerlagerseite (Bild 2). Auf dem linken Hang ist in Rot das Förderband zum Antransport des Betons zur Einbaustelle zu sehen. Oben auf dem Berg sieht man das für die Baustelle eingerichtete Camp.

Der Fels besteht aus einer horizontalen Wechselfolge aus Tuffen und Ignimbriten (Bilder 3 bis 5). Auf Höhe der Gründungssohle der Mauer steht ein Dolerit an (Bild 6).

Der Schwankungsbereich der Elastizitätsmodule für die Ignimbrite liegt zwischen $E = 2.000$ und 5.000 MN/m^2 , derjenige der Tuffe zwischen $E = 500$ und 3.000 MN/m^2 .

Danach weisen insbesondere die letztgenannten Schichten eine für den Bau einer so

Geologie und Felsmechanik

Auf dem Foto der Dammbaustelle erkennt man den abgetreppten Steilhang auf der rechten

Bild 1. Überblick über das Projekt „El Zapotillo“.



Bild 2. Die Baustelle im Januar 2012.



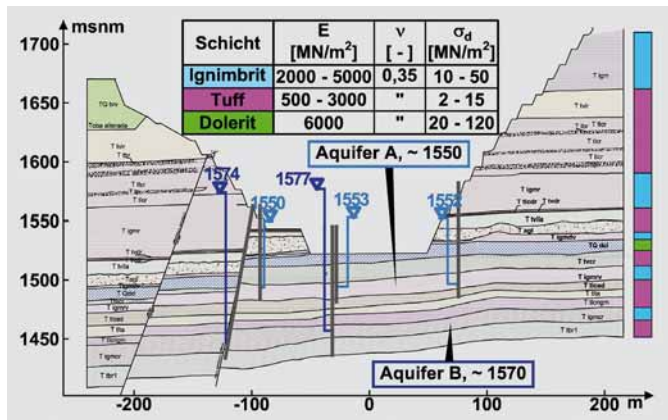


Bild 3. Geologisch-felsmechanischer Längsschnitt.

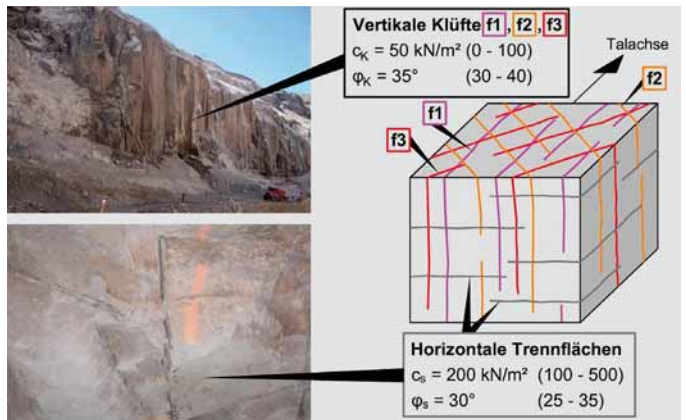


Bild 4. Gefügemodell des Ignimbrits.



Bild 5. Hang beräumen – händisch am Seil.



Bild 6. Dolerit in der Gründungssohle.

hohen Staumauer sehr große Verformbarkeit auf (Bild 3). Die E-Moduln der verschiedenen Schichten wurden in Dilatometerversuchen und aufgrund von Erfahrungen bestimmt. Auch die einaxialen Druckfestigkeiten der Tuffe (σ_d in Bild 3) sind vergleichsweise gering.

Der Grundwasserspiegel steht in beiden Talhängen nur wenig oberhalb des derzeitigen Flußspiegels an. Die Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte der Tuffe sind mit $k_f = 10^{-6}$ bis 10^{-8} m/s sehr gering. Die entsprechenden Werte der Ignimbrite sind größer.

Unterhalb der Talsohle stehen zwei Ignimbritschichten mit höherer Wasserdurchlässigkeit an, in denen das Wasser artesisch gespannt ist. Die Druckspiegel stehen bei circa 1.550 m ü. NN (Aquifer A) beziehungsweise circa 1.570 m ü. NN (Aquifer B) und damit deutlich über der Talsohle an (Bild 3).

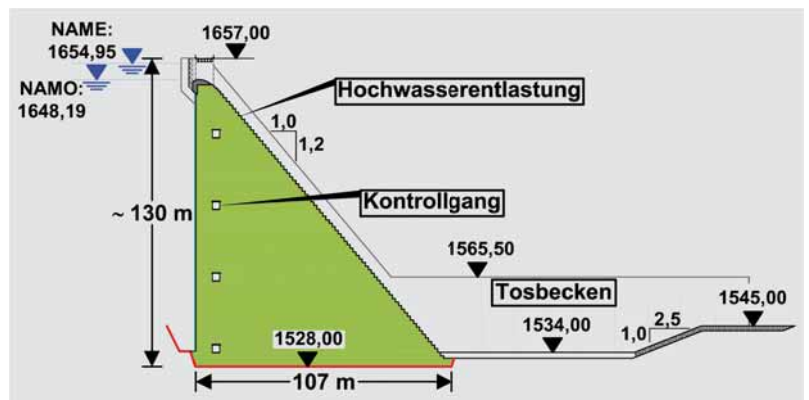
Insbesondere die Ignimbrite sind deutlich von horizontalen und drei vertikalen Trennflächenscharen durchzogen, entlang derer die Scherfestigkeit im Vergleich zu derjenigen des unzerklüfteten Gesteins deutlich reduziert ist (Bild 4).

Die angegebenen Scherparameter wurden auf der Grundlage der Ergebnisse der Voruntersuchungen und von Erfahrungen festgelegt (Bild 4).

Entwurf und Standsicherheitsnachweise

Der ursprüngliche Entwurf der Staumauer sah in der Talmitte einen Querschnitt vor, der auf der Unterwasserseite mit 1,0 (horizontal) zu 1,2 (vertikal) geneigt war und auf Höhe der Gründungssohle eine Breite von 107 m aufwies (Bild 7). Im zentralen Bereich der Mauer ist ein fester Überlauf für die Hochwasserentlastung und auf der Unterwasserseite ein Tosbecken vorgesehen.

Bild 7. Ursprünglich geplanter Querschnitt „El Zapotillo“.



Wittke-Schmitt, Wittke-Gattermann, Küpper:
Staumauer aus Walzbeton auf stark verformbarem Fels

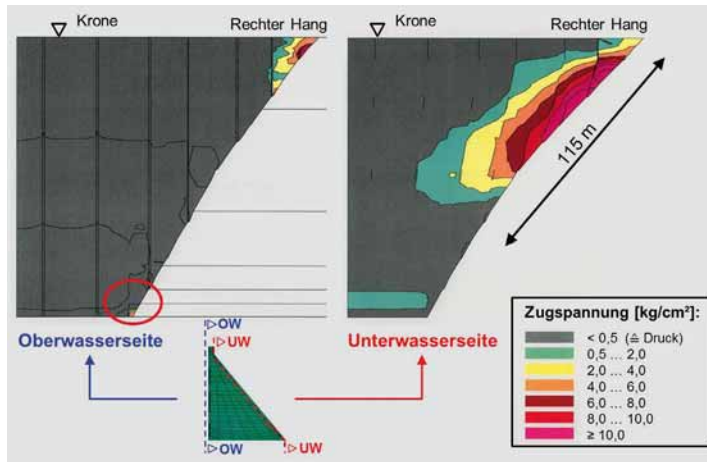


Bild 8. Beispiel Isolinen der Zugspannungen.

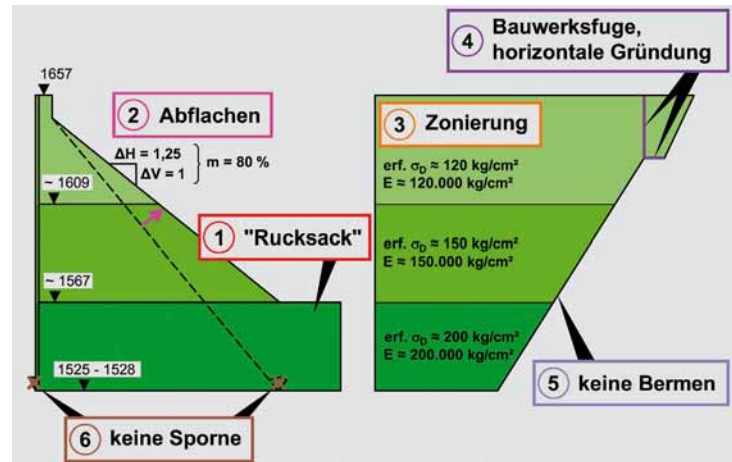


Bild 9. Maßnahmen.

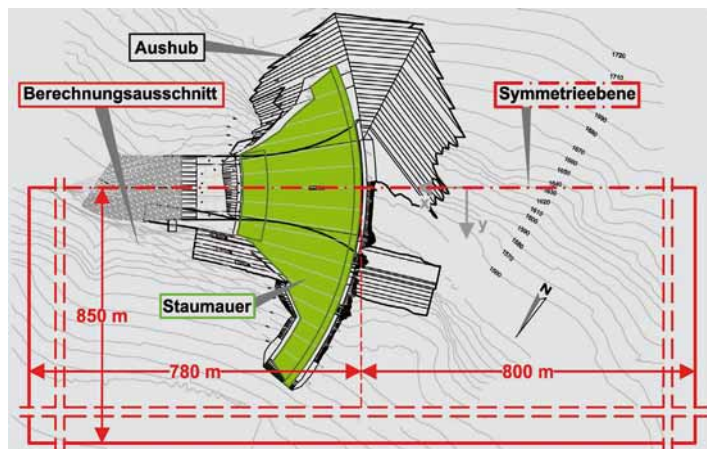


Bild 10. Lageplan und Berechnungsausschnitt.

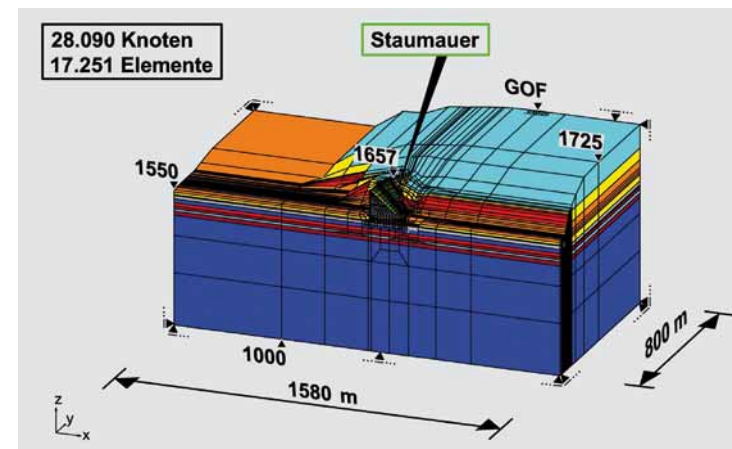


Bild 11. 3D-FE-Netz.



Bild 12. Walzbeton.



Bild 13. Fugenschneider.

Die vier Kontrollgänge liegen auf der Oberwasserseite der Mauer (Bild 7). Im Zuge dieser von anderer Seite durchgeführten Entwurfsbearbeitung und deren Prüfung durch WBI stellte es sich heraus, dass sich am Übergang der Mauer zum Hang in der oberen Mauerhälfte große, auf

Zug beanspruchte Bereiche ausbilden, die für die Belastung aus Eigengewicht und Normaleinstau nicht zugelassen werden können (Bild 8).

Der Entwurf wurde daraufhin durch Abflachung der Unterwasserseite und die Anordnung eines Rucksacks auf der Unterwasserseite geän-

dert (Bild 9, Ziffern 1 und 2). Außerdem wurde neben zwei weiteren, kleineren Änderungen (Bild 9, Ziffern 5 und 6) eine Zonierung des Damms mit einem von unten nach oben abnehmenden E-Modul des CCR-Betons vorgenommen (Bild 9).

Für diese Lösung wurde ein räumlicher Standsicherheitsnachweis für alle maßgebenden Lastfälle und unter Berücksichtigung der Sickerströmung aus dem Einstau vorgenommen (Bilder 10 und 11). Dazu wurden die von WBI entwickelten Programmsysteme FEST03 und HYD03 verwendet [1]. Der Nachweis für die Belastung aus Erdbeben wurde räumlich mit dem ebenfalls WBI-eigenen Programmsystem FESTD3 und zweidimensional mit dem Programmsystem SAP 2000, das in [2] beschrieben wird, geführt. Ein umfangreiches Messprogramm rundet den Entwurf ab.

Bauausführung

Zurzeit läuft die Bauausführung. Der Walzbeton wird in einer zentralen Aufbereitungsanlage hergestellt und über ein Förderband zur Einbaustelle transportiert (Bilder 2 und 12). Dort wird er nach dem üblichen Verfahren eingebaut und verdichtet (Bild 12). Die Bauwerksfugen werden mit einem speziell für diesen Zweck gebauten Fugenschneidgerät vor der abschließenden Verdichtung in jeder Lage hergestellt. Sie sind mit einer doppelten, dünnen Plastikfolie versehen, um Zugspannungen durch Schwinden auszuschließen (Bild 13).

Parallel zum Einbau des Walzbetons werden die Injektions- und Dränagegallen in den Hängen gebaut, und es wurde mit den Injektionsarbeiten unter der Talsohle und im Bereich des Widerlagers begonnen.

Quellenverzeichnis

- [1] Wittke, W.: Tunnelstatik, Grundlagen. Geotechnik in Forschung und Praxis, WBI-PRINT 4, Verlag Glückauf GmbH, Essen 1999.
- [2] Wilson, E. L.: Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures. CSI Berkeley, January 2002.