Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 20

Artikel: Sehr hohe geogitterarmierte Stützmauer
Autor: Jaecklin, Felix P.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79735

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 31.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Felix P. Jaecklin, Ennetbaden

Sehr hohe geogitterarmierte Stützmauer

Für die neue Autobahn Madrid–Coruña, im Norden Spaniens bei Ponferrada, war an einer Steilböschung eine vierspurige Autobahn zu erstellen. Die engen Platzverhältnisse zwischen der Hauptlinie der Bahn am Böschungsfuss und der Provinzstrasse an der Böschungskrone erforderten auf der Talseite der Autobahn eine 28 Meter hohe Stützmauer.

Ursprünglich sah das Projekt eine vertikale Mauer aus verankerten Betonfertigteilen vor, die jedoch mit dem Landschaftsschutz und der Ästhetik nicht verträglich war. Die gründliche Evaluation weiterer Lösungsmöglichkeiten seitens des projektierenden Ingenieurs und des Ministeriums für Strassenbau und die Resultate des Offertenvergleichs führten zum Entscheid, diese Stützmauer nach einem neuartigen System auszuführen, so wie es in der Schweiz entwickelt und dann für Spanien lizenziert wurde.

Konzept

Gemäss dem Normalquerschnitt (Bild 2) besteht die Stützmauer aus vier Steilböschungen von je 7,0 m Höhe, mit Zwischenbermen von 3,0 m Breite für den Unterhalt, erstreckt sich über 1 km Länge und umfasst rund 7000 m^2 vertikale Wandfläche. Der Bau der Mauer begann im Juni 98 und war Ende Oktober bereits beendet. Die darüber verlaufende Autobahn wurde noch vor Ende 1999 in Betrieb genommen. Diese engen Terminvorgaben verlangten eine wirklich rationelle Baumethode mit minimalem Zeit- und Kostenaufwand. Die Bepflanzung bildet Teil des Konzepts: Die Samen wurden mit den Gabionen (Drahtkörbe) bereits eingebaut, was innert weniger Wochen zu einer vollbegrünten Wand führte.

Geologie

Die geologischen Schichten des Hangs bestehen aus tertiären Tonablagerungen mit dazwischen gelagerten Linsen steiniger Schwemmaterialien. Alle Schichten waren in Oberflächennähe verwittert, also aufgeweicht und teilweise leicht wasserführend, wie an den Aushubböschungen ersichtlich - wahrlich keine günstigen Verhältnisse, vor allem bei der Bedingung, die beträchtlichen Auffüllungen mit dem anstehenden Ton auszuführen.

Zahlreiche Felduntersuchungen und Laborversuche ergaben die eher vorsichtigen Bodenkennwerte:

- Auffüllung: $\varphi' = 28°$, $c' = 2\ kN/m^2$, $\gamma = 21\ kN/m^3$
- Untergrund: $\varphi' = 32°$, $c' = 3\ kN/m^2$, $\gamma = 22\ kN/m^3$

Bemessung

Zweifellos fällt der Wahl der geeigneten Bemessungsmethode der sehr hohen Stützmauer eine bedeutende Rolle zu. Entsprechend gründlich wurden zahlreiche Methoden zur Berechnung geotextilarmierter Stützwände herangezogen und verglichen, insgesamt etwa 12 verschiedene Computerprogramme: abgewandelte Programme zur Berechnung von Baugruben und Böschungstabilität mit Ankern oder Nagelwänden sowie mehrere Spezialprogramme, wie sie von Herstellern von Geotextilien und Geogittern zur Verfügung gestellt werden. Die Vergleiche ergaben weit auseinander klaffende Resultate, vor allem weil gewisse Programme wichtige, aber nicht immer alle kritischen Lastfälle untersuchen.

Ausgewählt wurde schliesslich das Reslope-Programm, das unabhängig von Geotextil-Fabrikaten frei wählbare Eigenschaften und eine gleichzeitige und gründliche Bemessung von verschiedenen Bruchmechanismen auf jeder Geotextillage erlaubt. Es handelt sich dabei um die folgenden Nachweise:

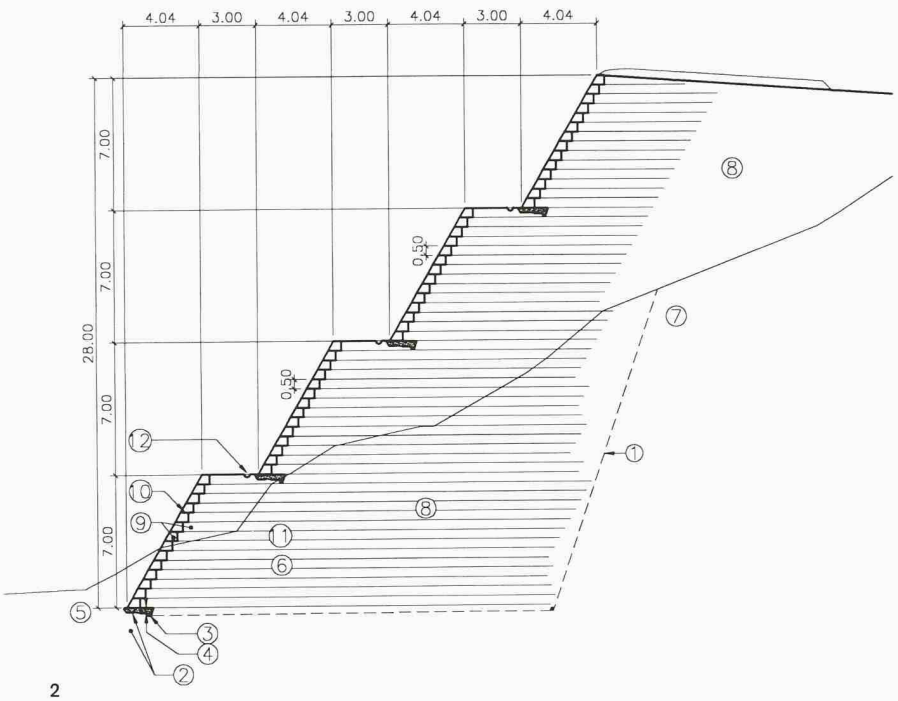
- innere Stabilität der bewehrten Erdmasse mit spiralförmigen Gleitflächen
- äussere Stabilität mit geradlinigem Blockgleiten (direct sliding)
- Gesamtsicherheit mit tiefliegenden Gleitkreisen nach Bishop
- kombinierte innere und äussere Stabilität mit Gleitkreisen, die sowohl die verankerte Masse als auch den Bereich dahinter umfassen.

Erfahrungsgemäss erweisen sich gerade diese kombinierten Gleitflächen als kritisch: Sie bestimmen die Stärke der erforderlichen Geotextilverankerungen in den unteren Lagen, was offensichtlich den kritischen Bereich betrifft. Gemäss der Literatur und den Publikationen werden diese kombinierten Gleitlinien, die sowohl die innere als auch äussere Stabilität betreffen, oft übersehen, was dann zu einer zu optimistischen Bemessung führt.

Sicherheitsfaktoren

Die Hauptaufgabe des Planers besteht wie bei anderen Grundbauberechnungen im Festlegen der Bodenkennwerte, der Bemessungsmethode und der erforderlichen Sicherheitswerte. Gerade im Grundbau sind jedoch diese drei Gruppen von Ausgangsdaten wegen der stark unterschiedlichen Genauigkeit und dem Differenzierungsgrad der Berechnungsmethoden sowie den dazu angemessenen Sicherheitsvorgaben oft voneinander abhängig. Bei Geotextilmauern beziehen sich die Si-

1
Ansicht der fertig erstellten Stützwand von 28 m Höhe an der Autobahn bei Ponferrada, Spanien



1: Aushublinie, variiert örtlich stark
2: Untergrund mit $M_{E,min}$ = 15 kPa
3: Drainageleitungen, eine am Wandfuss, eine ganz bergseits, HDPE NW 150, min. 1% Gefälle
4: Fundationsschicht: 0,30 m durchlässiger Kies
5: Baubeginn beim tiefstliegenden Fundament
6: Verankerungen mit Geogittern, Zugfestigkeit 20 bis 200 kN/m
7: Bergseite: φ'_{min} = 32°, c'_{min} = 3 kPa, γ_{min} = 22 kN/m^3
8: Auffüllung: w = w_{opt} ± 2%, φ'_{min} = 28°, c'_{min} = 2 kPa, γ_{min} = 21 kN/m^3, verdichtet auf min. 95% Proctor Standard bzw. $M_{E,min}$ = 150 kPa
9: Gabionen: Front min. 0,15 m Kulturerde, krümelig, erdfeucht. 2 Lagen gut verdichtbares, kiesiges Material, max. 10–15% Feinanteil
0: Verbindung der Gabionen mit Verankerung: min. 50% der Gitterstäbe als Haken aufgebogen
1: Verdichtung mit Kleingeräten im Nahbereich zur Aussenfläche, dahinter mit 5-t-Vibrationswalze
2: Gabionen mit 0,10 m Kulturerde überdecken und ansäen, Berme mit min. 0,20 m Kiessand und 3–4% Quergefälle zur Wasserrinne

2
Normalprofil der 28 m hohen Stützmauer, bestehend aus 4 Teilabschnitten mit 60° Neigung, je 7 m Höhe und mit 3 m breiten Zwischenbermen

cherheitsfaktoren auf grundbauliche Mechanismen und Geotextil- oder Geogitter-Eigenschaften, mit folgender typischer Auswahl:

Geotechnik

- F_{soil} = 1,0 für die Bodenkennwerte φ' und c', die untere vertretbare Grenzwerte darstellen
- F_{pull} = 1,5 als Sicherheit gegen Ausziehen der Geogitter
- F_{slid} = 1,35 als Sicherheit gegen Blockgleiten (direct sliding)
- δ = 20° als «Wandreibungswinkel» zwischen den inneren Begrenzungslinien der Teile des Blockgleitens.

Geotextil/Geogitter Eigenschaften

- F_{fab} = 1,2 für die Fabrikationstoleranz der verwendeten Geogitter. Dieser Wert wird für die Geogitter-Festigkeit als Mittelwert oft zu 1,3 angesetzt, bei garantierter Mindestfestigkeit des Geogitters, wie nach neuem Produktekatalog des SVG in der Schweiz, oft nur zu 1,1 bis 1,12
- F_m = 1,2 für mechanische Einbauschäden am Geogitter. Dieser Wert ist bei steinigen Böden zu erhöhen und liegt bei Sand und Ton eher noch tiefer
- F_{um} = 1,32 für Umwelteinflüsse wie biologische (F_{bd} = 1,1) und chemische, sowie UV Stabilität (F_{cd} = 1,2), also total 1,1 · 1,2 = 1,32
- F_{cr} = 2,0 für Kriechen von Polyester. Auch dieser Wert variiert oft von 1,66 für geprüfte Geogitter bis 3,0 oder 4,0 für Polypropylen
- $F_{tot} = F_{fab} \cdot F_m \cdot F_{um} \cdot F_{cr}$ = 1,2 · 1,2 · 1,32 · 2,0 = 3,80 (Gesamtsicherheit)
- C_i = 0,8: Reduktion der Reibung zwischen Geotextil und Fundation oder Auffüllung
- C_{ds} = 0,8: Reduktion der Reibung für Blockgleiten zwischen Geotextil und Fundation oder Auffüllung.

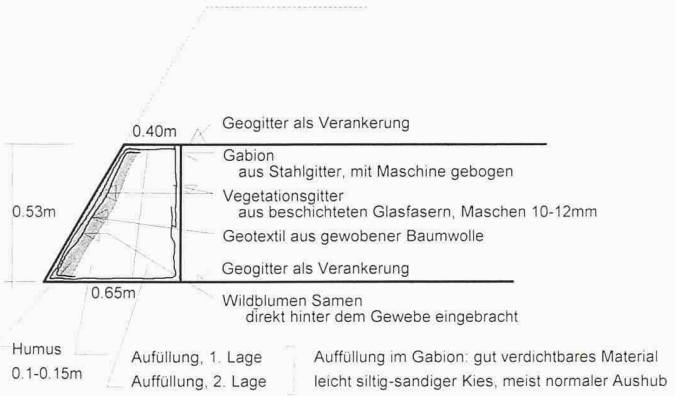
Die geotextilbedingte Gesamtsicherheit F_{tot} ist oft entscheidend für den Vergleich von Berechnungsmethoden und internationalen Vorschriften und variiert in breiten Grenzen, nämlich von 3,0 bis 4,5 für Polyester und von 4,5 bis 9,0 für Polypropylen und Polyethylen (die grösseren Werte beziehen sich auf die französischen Richtlinien). Verständlicherweise interessieren sich die Geotextilhändler für diese Einzelheiten, da niedrigere Sicherheitsfaktoren die Geotextilmengen und damit die Kosten ohne Schmälerung der Gewinnmargen reduzieren; ein Umstand, den Ingenieure oft zuwenig in Betracht ziehen.

Die grossen Unterschiede der anzuwendenden Sicherheitsfaktoren rühren primär vom - gegenüber den enger definierten Eigenschaften von Stahl und Beton - anderen Verhalten der Kunststoffe unter Dauerbelastung her; besonders im Bestreben, die Spannungen im Kunststoff klein zu halten, um Deformationen von Stützmauern zu reduzieren und spontanen Kriechbruch zu vermeiden.

Spezielle Projekteigenschaften

Beim Projekt in Spanien wurde die gesamte Aushubfläche mit einer neuartigen und relativ dünnen Drainagematte abge-

3
Montage der Gabionen mit dem Einbaukran direkt vom Camion, eine besonders schnelle und effiziente Methode



4
Detail der Gabionen mit dem inneren Aufbau. Von aussen nach innen: Stahlgitter, Vegetationsgitter, Samen, 10–15 cm Humus, 1. und 2. Lage Einfüllung

deckt, bestehend aus einem Kern aus steifen und dicken Fäden im Wirrgelege, beidseitig geschützt durch leichte Geovliese. Die drei Schichten sind nicht etwa wie üblich miteinander verklebt, sondern in breiten Abständen vernäht. Nachteilig wäre eine durch diese Drainagematte auf der Aushubfläche erzeugte Gleitfläche bergseits der Geotextilmauer. Daher erfolgte der Aushub in steilen Etappen und breiten Zwischenbermen, was die Ausbildung solcher Gleitflächen praktisch ausschliesst.

Um die Drainage weiter zu verbessern, erfolgte im bergseitigen Bereich eine etwa 2 m breite Auffüllung aus «Jabre», einem zu leicht siltigem Sand verwitterten Granit, der sehr gut verdichtbar und durchlässiger ist, als die Masse der Auffüllung mit Ton. Die Frontpartie direkt hinter den Körben wurde ebenfalls auf rund 1 m Breite mit «Jabre» aufgefüllt und sehr gut verdichtet. Beide Massnahmen erwiesen sich als besonders ökonomisch und wirksam, um die Drainage zu verbessern und vor allem die Deformationen klein zu halten.

Nach einer langen Evaluationsphase und genauer Prüfung der in den USA ausgeführten Laborversuche wählte der Unternehmer in Barcelona hergestellte Polyester-Geogitter mit Zugfestigkeiten im Bereich von 20 bis 150 kN/m, also schwache bis ausserordentlich starke Geogitter, die in Lagen mit 0,5 m vertikalem Abstand eingebaut wurden. Die Bemessung zeigte deutlich, dass für sehr hohe Geotextilmauern (über 12 m) kaum andere Materialien als Polyester-Geogitter zur Bewehrung in Frage kommen, da kaum andere Materialien mit den erforderlichen, sehr grossen Festigkeiten hergestellt werden.

Für die niedrigen Bodenkennwerte erforderte die Bemessung der Geotextilmauer in den unteren Lagen besonders lange (bis zu 22 m) Geogitter, dies hauptsächlich wegen des Blockgleitens und der Gesamtstabilität (Gleitkreise) und erst in zweiter Linie wegen der kombinierten inneren und äusseren Stabilität. Die Sicherheit für Tragfähigkeit und Kippen war nicht massgebend, da sie bei weitem erfüllt war.

Fabrikation und Montage der Gabionen

Das Bauprogramm war besonders gedrängt. Einerseits wegen der riesigen Erdverschiebung zum Abbauen und Einfüllen hinter der Mauer und anderseits durch Verzögerungen infolge Bürgerprotesten und Streiks auf der Baustelle (Forderungen nach einer ergänzenden Fussgängerbrücke und einer Unterführung zum Friedhof und zu einem Weiler, die durch die Autobahn vom Dorf abgeschnitten werden).

Die Gabionen bestehen aus erdverfüllten Gitterkörpern von 6,3 m Länge, 0,5 m Höhe und etwa 3,5 t Gewicht, die lagenweise aufeinander gesetzt und hinterfüllt werden. Die Verankerungsgeotextile sind zwischen jedem Korb eingeklemmt und sichern so die Frontpartie.

Die in der Gabione eingelegten Vegetationsgitter schützen die Aussenfläche gegen Erosion von Erde und sichern die eingelegten Samen. Zudem dient die Überlappung zwischen Vegetations- und Verankerungsgitter zur langfristigen Sicherung der Frontpartie. Die Stahlgitter der Gabionen dienen nur der formgerechten Herstellung und Errichtung der Stützwand und können anschliessend gefahrlos verrosten. Ein Galvanisieren dieser Körbe ist somit weder erforderlich noch zweckmässig.

Wie bereits erwähnt, bezwecken die speziellen Vegetationsgitter den Schutz der Samen bis zum Keimen und den langfristigen Erosionsschutz. Diese Vegetationsgitter bestehen daher nicht aus Kunststoff, sondern aus Glasfaser-Material, das nicht oder nur schwer brennbar ist und somit selbst einen Brand überstehen würde.

Der Hauptunternehmer bestand mit einer vertraglich scharfen Konventionalstrafe darauf, dass der Wandhersteller alle Gabionen, ungeachtet der erwähnten Bürgerbesetzung und dem Arbeitsunterbruch, bis zum 5. September 1998 hergestellt hatte und zum Einbau bereit hielt. Darum wurden mit einem speziellen Team und in mehreren Schalungen die Gabionen in einer Art Feldfabrik besonders rationell gefertigt und auf einem fertigen Autobahnstück deponiert. Ende August waren dort über 1000 Gabionen fertig produziert und montagebereit ausgelegt. Entsprechend schnell erfolgte anschliessend der Bau der Mauer mit mehreren hundert Quadratmetern Wandfläche pro Tag. Ein Camion mit Anbaukran holte jeweils ein Dutzend Körbe und versetze sie direkt, was sich als besonders schnell und effizient erwies (Bild 3).

Nach der Fertigstellung der Wand begann der Unternehmer die Körbe zu bewässern. Das Gras wuchs sofort, so dass die Wand schon nach wenigen Wochen als einziger Teil der ganzen Autobahn grün überwachsen war und damit die ursprüngliche Zielsetzung rasch erfüllte.

Adresse des Verfassers:
Felix P. Jaecklin, dipl. Bauing. ETH, Dr. sc. techn., Geotechnikbüro, Geissbergstrasse 46, 5408 Ennetbaden

Am Bau Beteiligte

Entwicklung, Planung und Berechnung der Geogreen-Gabionen-Wand:
Dr. Felix P. Jaecklin, Geotechnikbüro, Ennetbaden

Programmentwicklung:
Prof. Dr. Dov Leshchinsky, University of Delaware, USA

Wandhersteller:
DSP Desarrollo de Servicios y Proyectos, Olot, Spanien