Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 104 (1986)
Heft: 40

Artikel: Stütz- und Dammkonstruktionen
Autor: Studer, Jost
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76260

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: 08.08.2025

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

Stütz- und Dammkonstruktionen

Von Jost Studer, Zürich

Geotextilien ermöglichen bei Stütz- und Dammkonstruktionen technisch und wirtschaftlich interessante Problemlösungen. Dabei kann das Geotextil sowohl dank seiner Festigkeits- wie auch seiner hydraulischen Eigenschaften zu einer grösseren Widerstandskraft der Baukonstruktion beitragen. Verschiedene solcher Möglichkeiten werden skizziert. Am Beispiel der übersteilen Böschung - einem sogenannten Polsterdamm - werden die spezifischen Probleme bei der Dimensionierung und konstruktiven Ausbildung geotextilarmierter Bauwerke dargestellt.

Einleitung

Der Einsatz von Geotextilien bei Stützkonstruktionen steht erst am Anfang der Entwicklung; es entsteht dadurch ein neuer Baustoff mit eigenen, neuen Eigenschaften. Der Baustoff «Boden plus Geotextil» kann höhere Belastungen aufnehmen als die Baustoffe «Boden» oder «Geotextil» allein. Mit der Kombination Boden-Kunststoff lässt sich ein Synergieeffekt im Materialverhalten erzielen, der zu neuen Baukonstruktionen führt.

Gründe zum Einsatz eines Geotextils bei Stütz- und Dammkonstruktionen sind mannigfach. Die Tabelle 1 zeigt mögliche Anwendungsgebiete.

Schlechte Materialeigenschaften der Schüttmaterialien oder des Untergrundes verlangen beim Bau eines Strassendammes kleine Schütthöhen bzw. längere Wartezeiten nach jeder einzelnen Schüttetappe. Beide Fälle führen zu einem langsameren Baufortschritt und damit meist zu höheren Kosten. Geotextilien können die Bauzeit verkürzen helfen.

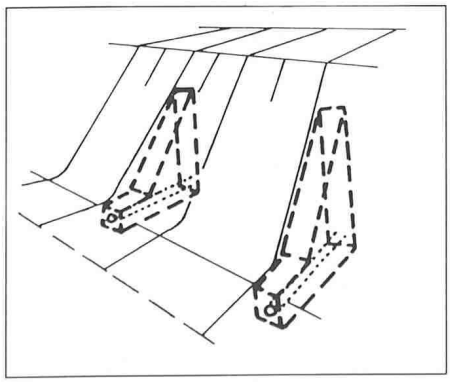
Die Festigkeit eines Lockergesteins hängt von seinem Spannungszustand ab. Beim Auftreten von Porenwasserspannungen sinkt die Festigkeit. Die Drainage von Porenwasserüberdrücken verhindert somit einen Festigkeitsabfall. Daher verändern Geotextilien das Festigkeitsverhalten eines Bodens nicht nur mit ihren mechanischen Eigenschaften, sondern auch mit den hydraulischen. Bei bestimmten Anwendungen können deshalb grundsätzlich verschiedene Geotextilien zur Lösung des Problems beitragen. Der Ingenieur als Anwender muss sich entscheiden, welcher Funktion er Priorität einräummen will. Zur Erhöhung der Stabilität der Böschung können daher in bestimmten Fällen die hydraulischen Eigenschaften eines Geotextils massgebend sein. Das Bild 1 zeigt eine solche Möglichkeit: die Stabilisierung einer Böschung durch Sickerstützscheiben [1]. Wenn auch die in Tabelle 1 und Bild 1 skizzierten Lösungen einfach und plausibel erscheinen, ist doch darauf hinzuweisen, dass es sich z. T. um neue Baumaterialien und Bauverfahren handelt und dass deshalb speziell bei grösseren Bauwerken noch zusätzlich weitere Erfahrung gesammelt werden muss.

Dies verlangt spezielle Sorgfalt bei der Dimensionierung und eine Überwachung des Bauwerksverhaltens während und nach dem Bau.

Geotextilien ermöglichen in bestimmten Fällen:

- die Bauzeit zu verkürzen,
- hochwertige Materialien durch billigere lokale Materialien zu ersetzen,
- Bauvorgänge, die sonst kaum oder nur erschwert durchgeführt werden können (z. B. Erdeinbau bei ungünstigen Witterungsbedingungen). Wo dies möglich ist, wird die Anwendung von Geotextilien sinnvoll und wirtschaftlich interessant.

Bild 1. Sickerscheibe zur Drainage und damit zur Stabilisierung einer Böschung, aus [1]



Polsterdämme

Am Beispiel der Dimensionierung und konstruktiven Ausbildung von übersteilen Böschungen - sogenannten Polsterdämmen - sollen die Probleme der Verstärkung und Armierung von Erdkörpern durch Geotextilien diskutiert werden.

Polsterdämme können vielerorts konventionelle Stützmauern und Lärmschutzwände ersetzen. Sie können aus lokalem Material erstellt werden und benötigen wegen ihrer steilen Böschungen weniger Kulturland. In schwerzugänglichen Gebieten entfällt das Baustoff-Transportproblem weitgehend. Solche Konstruktionen sind bereits in der Praxis vielerorts erstellt worden, sowohl mit Geweben wie auch mit Vliesen. Es ist damit zu rechnen, dass sie in Zukunft vermehrt, vorab im sekundären Strassenbau, im Gebirge (Forststrassen, Bachverbau, Hangstabilisierung) und als unbelastete Konstruktionen, z. B. als begrünbare Lärmschutzwände, erstellt werden.

Fachgerechtes Erstellen solcher Polsterwände erfordert einerseits eine korrek-

Tabelle 1. Anwendungsgebiete im Dammbau und bei Stützkonstruktionen

Bauwerk	Problem	Lösungsmöglichkeit mit Geotextil
Strassendamm	Mangelnde Tragfähigkeit des Untergrundes	Armieren Baugrundverbesserung durch Tiefendrainage
Strassendamm aus wenig durchlässigem Material	hohe Porenwasserspannungen beim Bau zu erwarten	Filtern/Drainieren
Böschung	mangelnde Stabilität (zu steil)	Armieren, Verstärken (Polsterwand)
Böschung	ungenügende Erosionsfestigkeit	Filtern/Trennen

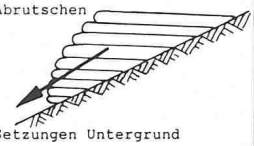
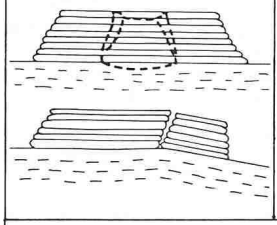
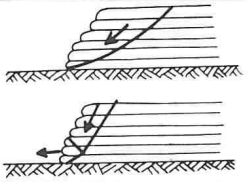
Versagensarten	Auswirkungen	Mögliche Massnahmen:
Versagen Untergrund	Ausquetschen	- Baugrundverbesserung - Sehr flache Böschungen
	Mangelnde Tragfähigkeit	- Baugrundverbesserung - "Tiefere Fundation" - flachere Böschung - Rückverankerung
	Abrutschen 	- Rückverankerung
	Setzungen Untergrund 	- Untergrundverbesserungen - flexiblere Dammkonstruktionen
	Bemerkungen: - Polsterdämme meistens nur sinnvoll bei genügend tragfähigem Baugrund, sonst wird Untergrund massgebend und nicht Böschung.	
Stabilität Böschung		- Bessere Qualität Schüttmaterial - Bessere Verdichtung - Mehr Armierung - Flachere Böschung
	Bemerkungen: - Korrekte Dimensionierung	
Wasser, Frost	Schadenbilder wie vorhergehend	- Verhindern des Eindringens - Drainieren - Kein frostempfindliches Material verwenden
	Bemerkungen: - Konstruktive Massnahmen, richtige Ausbildung	
Schäden an Endkappen	Vandalismus	- Blendschutz - Vegetation

Tabelle 2. Mögliche Versagensarten von Polsterdämmen

te Dimensionierung und andererseits die Einhaltung bestimmter konstruktiver Massnahmen. Studiert man die möglichen Versagensarten, so erkennt man leicht die kritischen Stellen und wie man diesen Problemen begegnen kann. Tabelle 2 zeigt mögliche Versagensarten von Polsterdämmen, deren Auswirkungen und mögliche Gegenmassnahmen.

Die Tabelle 2 zeigt deutlich, dass Polsterdämme nur auf genügend tragfähigem Untergrund sinnvoll sind, da sonst der Vorteil einer steilen Böschung nicht zum Tragen kommt. Die Stabilität der Böschung muss durch eine korrekte Dimensionierung gewährleistet werden, daneben sind aber, namentlich um die Dauerhaftigkeit zu gewährleisten, eine Vielzahl von konstruktiven Gesichtspunkten zu berücksichtigen. Die neu gewonnenen Möglichkeiten mit dem verhältnismässig billigen Baustoff Geotextil müssen also mit vermehrtem geistigen Aufwand des Ingenieurs erkauft werden.

Entwurf eines Polsterdammes

Das Vorgehen beim Entwurf eines Polsterdammes ist grundsätzlich konventionell. Es treten aber dennoch einige spezifische Fragen auf. Die Tabelle 3 zeigt das Vorgehen und ausgewählte spezifische Fragen.

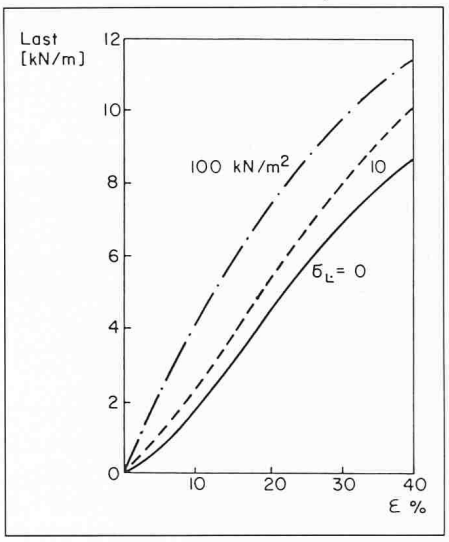


Bild 2. Kraft-Dehnungsdiagramm eines vernadelten Vlieses in Abhängigkeit von senkrecht zur Geotextilebene wirkenden Spannungen, aus [2]

Berechnungsmöglichkeiten

Grundsätzlich bieten sich zwei in der modernen Bodenmechanik eingeführte Methoden zur Analyse des Geotextil-Boden-Bauwerkes an:

- Spannungs- und Deformationsberechnung, z. B. mittels der Methode der Finiten-Elemente,
- Grenzgleichgewichtsbetrachtungen (Grenzwertprobleme). Beide Methoden haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile.

Die Methode der Finiten-Elemente erfasst die Bauwerks- und Materialgeometrie mit praktisch beliebiger Genauigkeit. Das Spannungs-Dehnungsverhalten der Materialien kann weitgehend der Natur entsprechend berücksichtigt werden. Diese Möglichkeiten müssen allerdings mit einem detaillierten Input und relativ hohen Rechenkosten erkauft werden. Schon einfache Probleme erfordern eine Vielzahl von Eingabegrössen, die bei praktischen Problemen meist nicht vollständig verfügbar und oft auch nicht genügend genau bekannt sind. Die Methode ist deshalb eher für Forschungszwecke geeignet, und ihre Anwendung ist aus Kostengründen in der Praxis höchstens für sehr wichtige Bauwerke gerechtfertigt.

Dass die Anwendung der Finite-Element-Methode nicht ganz einfach ist, soll anhand des Spannungs-Dehnungs-Diagramms eines vernadelten Vlieses kurz erläutert werden. Bild 2 zeigt die Resultate eines Streifenzugversuches eines entsprechenden vernadelten Vlieses mit und ohne Belastung senkrecht auf die Geotextilebene. Deutlich ist zu erkennen, dass das Steifigkeitsverhalten stark von der Belastung senkrecht zur Geotextilebene (wie sie beim einge-

bauten Geotextil auftritt) abhängig ist. Ähnliches gilt auch für die Kriecheigenschaften [2]. Dieses Phänomen ist zudem vom Geotextil abhängig. Der Effekt ist einerseits schwierig in die Berechnung einzuführen; anderseits fehlen für die konkrete Berechnung oft genügend genaue Angaben. Berechnungen, die diesen Effekt nicht berücksichtigen, führen namentlich bei vernadelten Vliesen zu fragwürdigen Resultaten.

Grenzgleichgewichtsuntersuchungen wie sie z. B. bei Stabilitätsanalysen verwendet werden, haben sich in der Bodenmechanik seit Jahrzehnten bewährt. Sie sind einfach, benötigen einen relativ geringen Rechnungsaufwand und gehören zum Rüstzeug jedes Ingenieurs. Der grosse Nachteil ist, dass über Deformationen *keine* Aussagen möglich sind. Bei konventionellen Aufgabenstellungen wird das Deformationsverhalten durch die Grösse des Sicherheitsfaktors bestimmt. Dies ist auch bei geotextilarmierten Stützkonstruktionen möglich. Die optimalen Sicherheitsfaktoren müssen aber durch Beobachtung erstellter Polsterwände ermittelt werden. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass Polsterwände mittels solcher Ansätze berechnet werden können.

Arbeitsschritt	Fragestellung/Aufgabe
1. Zielformulierung	- was will ich mit dem Geotextil erreichen? - Festlegung der Haupt- und Nebenaufgaben des Geotextils
2. Festlegen und Ermitteln der Grunddaten	- Geometrie - Lasten, (Eigengewicht, statische Lasten, dyn. Lasten (z.B. Verkehrslasten)); Stosszuschläge? Sind Filterkriterien wichtig?
3. Dimensionierung	Materialeigenschaften: Boden: - Raumwichte - Festigkeit - Schichtgrenzen - Wasser Geotextil: - Kraft-Dehnungsverhalten - Kriechen - Hydraulische Eigenschaften - Reibungswinkel Boden-Geotextil Modellierung: Bei der Modellierung müssen alle möglichen Schadensarten erfasst werden können. Bau- und Endzustand erfassen
4. Konstruktive Ausbildung	Sie soll garantieren, dass der Dimensionierung zugrunde gelegte Modellierung auch auftritt. z.B. Drainage kein Wasserdruck, Kraftübertragung (keine Stösse im Geotextil) usw.
5. Bauvorgang, Ueberwachung	Mit Ueberwachung Modellierung und Wirkung konstruktive Massnahmen überprüfen

Tabelle 3. Arbeitsschritte beim Erstellen eines Polsterdammes

Vorgehen bei der Berechnung

Grundsätzlich ist zuerst der Erddruck zu bestimmen; damit ist die Stärke der Geotextilarmierung festgelegt. Mittels einer entsprechenden Länge der Geotextilien ist der Erddruck zurückzuverankern (intere Stabilität). Zuletzt ist das Kippen des armierten Erdkörpers sowie die Tragfähigkeit der Fundation nachzuweisen.

Dieses Vorgehen ist grundsätzlich sowohl für Vliese wie auch Gewebe anwendbar. Die Verfahren müssen aber im Detail den einzelnen Produkten angepasst werden. Speziell ist der Sicherheitsfaktor für die Geotextilarmierung produkteabhängig. Der Sicherheitsfaktor hat z. B. die Kriecheigenschaften mit der Wahl eines bestimmten Spannungsniveaus zu berücksichtigen. Ebenso ist mit ihm die Deformierbarkeit des Geotextils zu berücksichtigen. Dies führt dazu, dass ein eher zum Kriechen neigendes, dehnfähiges Geotextil einen höheren Sicherheitsfaktor benötigt als ein kriechunempfindliches, eher steifes Geotextil.

Grundsätzlich hat der Ingenieur zu entscheiden, welches Rechenverfahren er anwenden will. Er kann eine Handrechnung durchführen oder den Computer einsetzen. Er kann die Diagramme aus dem Geotextilhandbuch oder produktspezifische Diagramme von Geotextilfabrikanten verwenden. Wesentlich ist, dass das Verfahren der Problemstellung angepasst ist. Bei der Berechnung ist massgebend, dass Versagensarten, Lasten und Materialeigenschaften zutreffend erfasst sind. Soweit dies der Fall ist, sind die Unterschiede der einzelnen Rechenverfahren für die Sicherheit der Stützkonstruktion nicht massgebend.

Es ist aber darauf hinzuweisen, dass einige Versagensmöglichkeiten berücksichtigt werden müssen, die bei andern Konstruktionen eher selten auftreten. Die Geotextilarmierung ist eine flächenmässige, übereinanderliegende Rückverankerung des Erddruckes. Es ist z. B. zu überprüfen, ob nicht das Herausziehen eines auf einem Geotextil ruhenden Erdkeils möglich ist. In diesem Fall kann zur Rückverankerung des Erddruckes nur die eine Reibungsseite des Geotextils herangezogen werden. Besitzt das Geotextil ungünstige hydraulische Eigenschaften, so können Porenwasserdrücke auf der flächenförmigen Geotextilarmierung auftreten, die die Übertragung von Reibungskräften vermindern.

Im Geotextilhandbuch [1] sind verschiedene Berechnungsmöglichkeiten dargestellt. Unterschiede in den Resultaten kommen daher, dass teilweise der massgebende Erddruck verschieden angesetzt ist, mit gekrümmten oder geraden Gleitflächen gearbeitet wird oder der Sicherheitsfaktor sowohl für das Geotextil wie für die Gesamtkonstruktion unterschiedlich gewählt worden ist.

Diagramme haben den Vorteil, dass sie einfach und rasch gebraucht werden können. Ihr Nachteil ist, dass sie nur

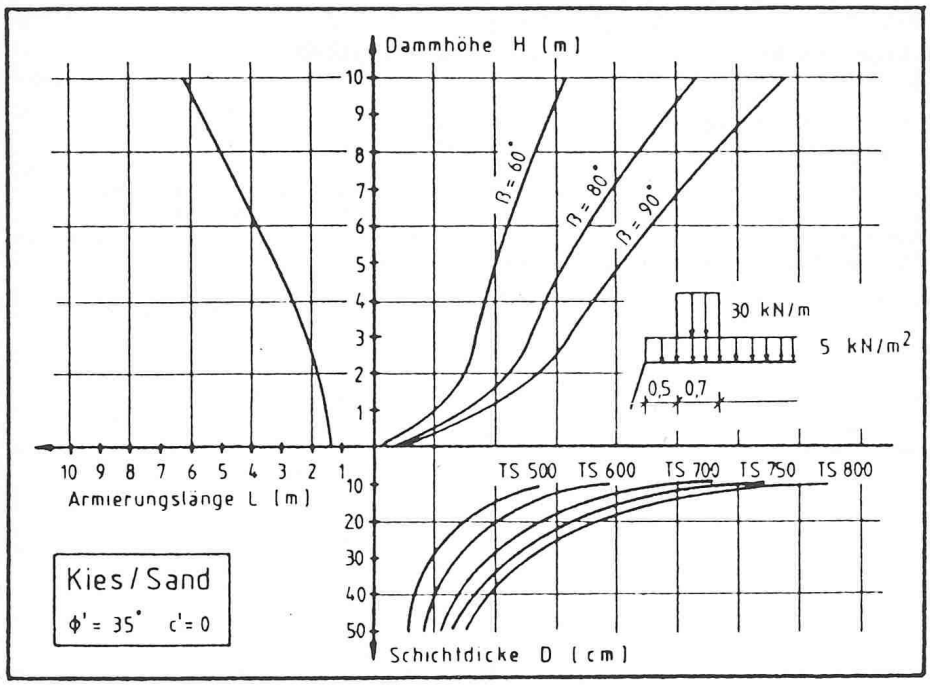


Bild 3. Bemessungsdiagramm, aus [1]

für einige Standardbelastungen und einzelne Materialtypen gültig sind. Wieweit diese Standardfälle für die konkrete Fragestellung zutreffen, ist deshalb genau zu überprüfen. Die Einfachheit eines solchen Diagramms zeigt das Bild 3.

Konstruktions-Gesichtspunkte

Mit konstruktiven Massnahmen ist zu gewährleisten, dass die Stützkonstruktion sich verhalten kann, wie in den Rechenannahmen angenommen wurde.

Damit das Geotextil die Kräfte zuverlässig zurückverankern kann, sind einige Gesichtspunkte zu berücksichtigen, die bei anderen Konstruktionen zum Teil nicht auftreten. Es ist z. B. darauf zu achten, dass auf dem Geotextil keine Porenwasserdrücke auftreten können, welche die Reibungskräfte Geotextil-Boden verringern würden (Durchlässigkeit des Geotextils, Drainage usw.). Selbstverständlich sind Reibungsstösse der Geotextilien senkrecht zur Hauptkraftrichtung unzulässig.

Eine geeignete Verdichtung muss dafür sorgen, dass der Boden genügend Festigkeit aufweist und das Deformationsverhalten begrenzt ist (z. B. ME·600 kg/m2). Dies führt zu einer Beschränkung der Schichtstärke, die kleiner als 30 bis 40 cm sein sollte. Falls Wasser die Stützkonstruktion durchfliessen kann, ist mittels einer Drainage zu verhindern, dass unzulässige Wasserdrücke aufgebaut werden. Gegebenenfalls müssen die Geotextilien vor Chemikalien geschützt werden. Die Oberfläche ist gegen Zerstörung durch Vandalen und Witterung zu schützen.

Dieser Schutz hat mit dem Geotextil chemisch verträglich zu sein und ist, falls er steif ist, erst nach Abklingen der Setzung der Stützkonstruktion anzubringen, da er sonst zerrissen wird.

Eines der Hauptprobleme ist das Erstellen einer möglichst einheitlichen Böschungsneigung. Hiezu sind Hilfskonstruktionen gemäss Bild 4 nützlich. Zu bemerken ist, dass Böschungen steiler als 80 °aus herstellungstechnischen und ästhetischen Gründen vermieden werden sollten.

Schlussfolgerungen

Polsterwände sind vielerorts erfolgreich erstellt worden. Sie ermöglichen, vermehrt lokale Materialien zu verwenden, und sie ergeben deshalb vor allem in schwer zugänglichem Gelände grosse Kosteneinsparungen. Die beiden Baustoffe Boden und Geotextil garantieren ein flexibles Bauwerk, das sich

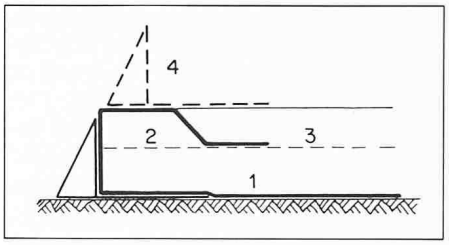


Bild 4. Erstellen eines Polsterdammes. Arbeitsschritte:
1. Stützkonstruktion setzen, Geotextil auslegen, erste Schicht schütten, Verdichten
2. Zweite Schicht am Rand schütten, Verdichten, Geotextil umschlagen
3. Rest der zweiten Schicht schütten
4. Neuer Arbeitszyklus wie unter 1.

gut unterschiedlichen Untergrundseigenschaften anpassen kann.

Es können sowohl geeignete *Vliese* wie auch *Gewebe* verwendet werden. Konstruktionen grösserer Höhe werden dabei eher den stärkeren und steiferen Geweben vorbehalten bleiben.

Grundsätzlich können zur Dimensionierung in der Bodenmechanik bewährte Berechnungsverfahren herangezogen werden. Im Detail ist aber das ganze Dimensionierungsverfahren *noch im Fluss.*

Deshalb ist eine sorgfältige Beobachtung der Stützkonstruktion auch nach der Fertigstellung notwendig. Aufgrund dieser Beobachtung lassen sich Annahmen der Sicherheitsfaktoren und einzelnen Rechenschritte verifizieren und damit durch Erfahrung die Dimensionierung optimieren. Aus diesem Grund sind namentlich die Bauherren aufgerufen, nach Möglichkeit solche kontrollierten Bauwerke zu erstellen und beobachten zu lassen; sie helfen damit den Bau von Polsterwänden weiter zu entwickeln.

Literatur

[1] Geotextilhandbuch Schweizer Verband der Geotextilfachleute (SVG) 1986, Vogt-Schild AG, Druck und Verlag, Solothurn.
[2] *McGown, A. et al.:* Load-Extension Testing of Geotextiles Confined in Soil. Proceedings, 2nd International Conference on Geotextiles, Las Vegas, USA, 1982.

Adresse des Verfassers: Dr. sc. techn. *Jost Studer*, GSS Glauser Studer Stüssi, Ingenieure SIA/ASIC AG, Witikonerstr. 15, 8032 Zürich.