

GESTALTUNG UND BEMESSUNG DER AUSSENHAUT GEOKUNSTSTOFFBEWEHRTER BÖSCHUNGEN UND WÄNDE

JAN RETZLAFF

Colbond Geosynthetics GmbH, Obernburg

KURZFASSUNG: Mit der zunehmenden Akzeptanz von geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen haben sich auch die Anwendungsgebiete erweitert. Die hier vorgestellten Lösungen können weitergehende landschaftsarchitektonische Ansprüche an die Gestaltung der Außenhaut von solchen Böschungen und Wänden erfüllen. Eine Vielzahl der vielfältigen Außenhautelemente kann durch Reibung in den bewehrten Erdkörper eingebunden werden. Kombinationen aus großmaßstäblichen Versuchen und analytischen Bemessungsverfahren ermöglichen eine einfache Berechnung dieser Konstruktionen.

1 EINLEITUNG

Mit Geokunststoffen bewehrte Erdkonstruktionen haben sich in den vergangenen Jahren in verschiedensten Anwendungsgebieten und –variationen etabliert. Die umfangreichen Erfahrungen, die auf Baustellen und durch Modellversuche gewonnen werden konnten, geben die erforderliche Sicherheit bei der Planung immer anspruchsvollerer Bauvorhaben. Damit einhergehend haben sich die gestalterischen Anforderungen an geokunststoffbewehrte Konstruktionen gewandelt. Für die Ausbildung der Ansichtsf lächen werden in zunehmendem Maße Kombinationen aus Geokunststoffen und anderen Bauteilen vorgesehen. Hinzu kommt die Abgrenzung von Erdkonstruktionen zu anderen Bauwerken bzw. Bauwerksteilen.

2 MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN

Die Ideen zur Gestaltung von Böschungsoberflächen sind sehr vielfältig. Je nach Lage des Bauwerkes besteht der Wunsch die Böschung zu begrünen, sie so zu gestalten, dass sie auf lange Sicht keine Pflege benötigt oder ihr auch bei beengten Platzverhältnissen ein solides Erscheinungsbild zu geben.

Eine begrünzte Böschung kann durch die Umschlagmethode, bei der der Geokunststoff von der Böschungsf ront in den Erdkörper zurückgeschlagen wird, hergestellt werden. Die Möglichkeit der Begrünung bieten auch Böschungsnetze aus Stahl. Die Grenzen für die Begrünung liegen in den natürlichen Randbedingungen, die eine Vegetation gedeihen lassen und den eventuell erforderlichen Pflegearbeiten, die auf die Böschungsneigung und deren Länge abzustimmen sind. Bermen oder andere konstruktive Maßnahmen können den Rahmen der Möglichkeiten erweitern.

Zusätzliche konstruktive Maßnahmen können bereits ab Böschungsneigungen von über 50° erforderlich sein, da dann die projizierte Grundfläche zu gering ist um das

aus Regenfällen benötigte Wasser aufzunehmen. Hinzu kommt, dass je steiler die Böschung ist, desto größer wird der Einfluss Ihrer Ausrichtung hinsichtlich der Sonneneinstrahlung. Ebenso sind die Möglichkeiten für die Pflegearbeiten der Böschungen zu kalkulieren. Mittels Bermen oder abgeflachten Teilbereichen sowie zusätzlichen Bewässerungsmaßnahmen können günstigere Bedingungen für das Wachstum der Pflanzen geschaffen und gleichzeitig Wege für Pflegemaßnahmen angelegt werden. Dabei ist aber darauf zu achten, dass durch das eindringende Wasser die Standsicherheit der Konstruktion nicht beeinträchtigt bzw. diese bereits in der Bemessung berücksichtigt wird. Weitere Empfehlungen zum Anlegen begrünbarer Böschungen aus landschaftsarchitektonischer Sicht können [Herold, A.; Hoy, G.; Artmann, S.] entnommen werden.

Wände aus gesetzten Steinen haben in vielen Regionen Deutschlands eine lange Tradition. Dass diese Konstruktionen auch heute noch vielerorts zu finden sind spricht für Ihre lange Lebensdauer. Ein Abbild dessen sind die heutigen Gabionen bzw. Steinkörbe und Betonsteinwände. Diese stellen neben Ihrem massiven Erscheinungsbild einen stabilen Abschluss der Stützkonstruktion dar. Durch die Rückverhängung dieser Fassadenelemente ist es möglich geworden wesentlich steilere und höhere Stützkonstruktionen wirtschaftlich herzustellen. Stützkonstruktionen mit massiven Frontelementen sind ab ca. 70° Frontneigung interessant, denn dann ist die Begrünung der Oberfläche ohne zusätzlichen Aufwand, wie Bewässerungsleitungen, i.d.R. nicht mehr möglich.

3 AUSBILDUNG DER ANSCHLÜSSE

3.1 Flexible Außenhautelemente

Die Möglichkeiten des Anschlusses der Oberflächensicherung an die Bewehrung von Stützkonstruktionen ist vielfältig. Diese Flexibilität zeichnet auch die Bauweise aus, die

sich somit an die unterschiedlichsten Anforderungen anpassen lässt. Gängige Methoden sind bei einer Böschung mit einer zu begrünenden Oberfläche neben speziellen Systemlösungen, verschiedene Möglichkeiten, die den Anforderungen auf der Baustelle angepasst werden können, wie die Umschlagtechnik, die auch mit sogenannten Böschungsnetzen, als verlorene Schalung ausgeführt werden kann oder das Einlegen von Bewehrungsgeokunststoffen nur bis in den vorderen Zwickel eines abgewinkelten Böschungsnetzes aus Stahl.



Abbildung 3.1-1: Sicherung der Oberfläche mit abgewinkelten Böschungsnetzen aus Stahl

3.2 Starre Außenhautelemente

Die Verbindung zwischen starren Außenhautelementen und Bewehrungsgeokunststoffen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Die Varianten reichen vom bloßen Verlegen der Geokunststoffe zwischen Betonsteinen oder Gabionen bis hin zum Einbetonieren in Ortbetonelemente.



Abbildung 3.2-1: Rückverhängte Fassade aus Betonsteinen

4 BEMESSUNG DER ANSCHLÜSSE

Die Ausbildung der Anschlüsse hat entscheidenden Einfluss auf die Auswahlmöglichkeiten der kombinierbaren

Geokunststoffe und Außenhautelemente sowie die statischen Nachweise. Die Anschlüsse und Verbindungen können wie in der EBGEO vorgesehen durch den speziellen Abminderungsfaktor A_3 für Fugen oder Überlappungen, Nähte und Anschlüsse an andere Bauteile berücksichtigt oder im Einzelfall nachgewiesen werden, so dass der Abminderungsfaktor A_3 mit 1,00 in die Bemessung einfließt. Unter Umständen lassen sich konstruktive Lösungen finden, durch die die Verbindungsfestigkeit der Zugfestigkeit des Bewehrungsgeokunststoffes entspricht. Dies setzt die Verwendung vorgegebener Systemkomponenten voraus. Aus vielen Gründen kann es sinnvoll sein, verschiedene Geokunststoffe mit unterschiedlichsten Außenhautelementen zu kombinieren. Das erforderliche Kraftaufnahmevermögen dieser Verbindungen lässt sich durch Reibung gewährleisten. Die für die rechnerischen Nachweise erforderlichen Beiwerte können mit Herauszieh- und Scherversuchen ermittelt werden. Diese Untersuchungen sind spezifisch und hängen vom verwendeten Geokunststoff, dem Außenhautelement und gegebenenfalls vom verwendeten Füllmaterial ab. Insbesondere die vielfältigen Geometrien der Betonsteine machen Nachweise im Einzelfall erforderlich. Die Geometrien und das Verformungsverhalten der Geokunststoffe spielen für den Verbund zwischen Geokunststoff und Betonstein ebenfalls eine wesentliche Rolle. Das bedeutet, dass bei Kombinationen mit Geokunststoffen einer Produktreihe aber unterschiedlichen Zugfestigkeiten ein verändertes Verbundverhalten zu erwarten ist.

Für die Bemessung der Außenhautanschlüsse ist in der Regel die ebene Betrachtung der statischen Systeme ausreichend. Die beschriebenen Flächen und damit auch die Einwirkungen und Widerstände beziehen sich dabei auf 1,00 m Breite der Böschung oder Wand.

Der Nachweis der Anschlusskraft ist für jede Lage der Geokunststoffbewehrung, die mit der Außenhaut verbunden ist zu führen, da sowohl der auf die Außenhaut wirkende Erddruck als auch das Verbundreibungsverhalten zwischen Geokunststoff und Außenhautelement von der Auflast, damit von der Höhe der Stützkonstruktion und der Neigung der Oberfläche abhängig ist. Bedingt durch die Geometrie und die gleichbleibende Schenkellänge des Böschungsnetzes die zur Verankerung zur Verfügung steht ist die Verbundkraft für die unteren Reihen ab einer bestimmten Überdeckung gleich.

Der Erddruck, der durch die rückverhängten Außenhautelemente aufzunehmen ist, ist nach den hinlänglich bekannten Methoden für jedes Außenhautelement zu ermitteln.

Es ist angeraten eine vorhandene Kohäsion des Füllbodens nicht in Ansatz zu bringen. Für den Fall, dass eine Kohäsion nach einer Stabilisierung oder Verfestigung des Füllbodens mit angesetzt werden soll, ist zu überprüfen, ob der Mindesterddruck maßgebend ist. Dieser ist mindestens einzuhalten, um Unsicherheiten infolge von Inhomogenitäten im Boden auszuschließen, da durch die Kohäsion in den oberen Bereichen der Stützkonstruktion negative Werte für den Erddruck ermittelt werden können.

Für den Erddruckansatz ist die Nachgiebigkeit der Stützkonstruktion in Abhängigkeit von der Dauerhaftigkeit zu beachten. Daraus können sich variierende Anteile des aktiven und des ruhenden Erddruckes ergeben.

Die über die Reibung aufnehmbare Kraft muss größer sein als der vorhandene Erddruck. Die Verankerung der geosynthetischen Bewehrung zwischen den einzelnen Außen-

hautelementen kann durch großmaßstäbliche Versuche nachgewiesen werden.

4.1 Flexible Außenhautelemente

Flexible Außenhautelemente sind meist begrünbar. Als begrünbare Außenhautelemente sollen hier Böschungsnetze aus Stahl oder mit Boden verfüllte Gabionen betrachtet werden.

Die Umschlagmethode ist das wohl älteste zur Oberflächensicherung bewehrter Erdkonstruktionen angewendete Verfahren für das bereits eine breite Akzeptanz besteht.

Bei den Verkleidungen der Böschungsfrent mit abgewinkelten Böschungsnetzen aus Stahl und den mit Boden verfüllten Gabionen spielt durch die große Öffnungsweite der Stahlmatten, aus denen die Außenhautelemente gefertigt werden, das Verbundverhalten von Geokunststoff und Boden sowie Stahlmatte und Boden die entscheidende Rolle. Durch Herauszieh- und Scherversuche kann ermittelt werden, welche der Verbundkombinationen aufgrund ihres geringeren Widerstandes für die Bemessung maßgebend ist.

Mit Hilfe des so ermittelten Reibungsbeiwertes μ kann die Verbundkraft, den das Böschungsnetz bzw. die mit Boden verfüllte Gabione und der Bewehrungsgeokunststoff haben, ausgerechnet werden.

$$F_{z,i} = (G_{\text{Boden}} + p) \mu \times \tan \varphi' / \gamma$$

$F_{z,i}$: Verbundkraft der i-ten Lage

G_{Boden} : Gewichtskraft der Gabione oder des Bodens über dem Schenkel des Böschungsnetzes

p : Auflast über der Gabione oder dem Schenkel des Böschungsnetzes

μ : Verbundreibungsbeiwert

φ' : Innerer Reibungswinkel des Bodens

γ : Sicherheitsbeiwert für den Anschluss

4.2 Starre Außenhautelemente

Für die Verbindungskraft zwischen starren Außenhautelementen aus Beton oder mit Setzsteinen verfüllten Gabionenkörpern und geosynthetischen Bewehrungen sind ebenfalls großmaßstäbliche Versuche durchzuführen.



Abbildung 4.2-1: Versuchsaufbau zur Ermittlung des Verbundverhaltens Geokunststoff - Betonstein

Diese Versuche sind materialspezifisch und lassen keine Schlussfolgerungen von einer Kombination aus Außenhautelement und Geokunststoff auf andere eventuell gleichgeartete Kombinationen zu. Es müssen also für jede Kombination produktspezifische Untersuchungen durchgeführt werden. Im Ergebnis dieser Herausziehversuche kann in Abhängigkeit von der wirkenden Auflast auf den betrachteten Verbindungsbereich die Verbundkraft ermittelt werden. Dabei ist zu unterscheiden, ob es sich um den Höchstwert handelt, der auftritt, bevor es zu einer Verschiebung des Bewehrungsgeokunststoffes zwischen den Betonsteinen kommt oder um den Restwert, der nach einer Verschiebung von 20 mm gemessen wird.

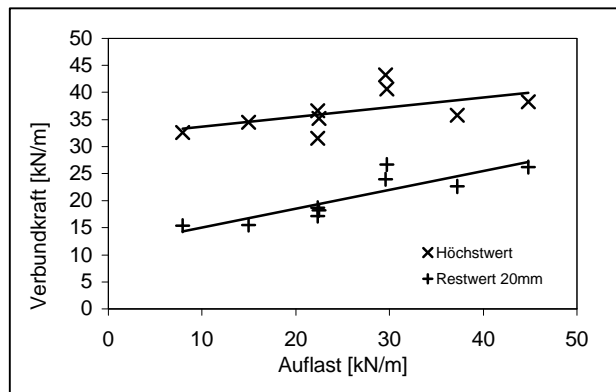


Abbildung 4.2-2: Verbundkraft in Abhängigkeit von der Auflast für das Geogitter Enkagrid PRO 40 und einen bestimmten Fassadenstein aus Beton

Es gibt verschiedene Ansätze um das Langzeitverhalten derartiger Verbindungen einzuschätzen. Dies ist aber nur erforderlich, wenn die Verbundkraft an die Grenzen der Langzeitzugfestigkeit der Geokunststoffe stößt. Die Langzeitzugfestigkeit der Geokunststoffe limitiert die Verbundkraft. Das Kriechen des Betons, aus dem die Fassadensteine hergestellt worden sind, ist im Vergleich zu den Kriechdehnungen des Geokunststoffes vernachlässigbar gering. Aus den Isochronen der Geokunststoffe unter Zugbeanspruchung können die Dehnungen während der Installation, der Aufbauphase des Bauwerkes und der späteren Nutzungsdauer abgeschätzt werden. Sie sind aber im Allgemeinen immer kleiner als durch Laborversuche prognostiziert, da die größten Verformungen der Stützkonstruktion während der Bauzeit auftreten und diese während des Aufbaus korrigiert werden können.

Mit den oben genannten Ansätzen lassen sich einfache statische Modelle rechnen, durch die ein ökonomischer Einsatz der Geokunststoffe gewährleistet werden kann. Diesen Anforderungen genügen mittlerweile auch verschiedene Computerprogramme. Dadurch lässt sich die Bemessung von geokunststoffbewehrter Erde auch zeitlich optimieren. Es ist je nach Programm möglich entweder die absoluten Beträge der Verbundkraft je Geokunststofflage einzugeben oder die Relation der Reibungskraft als prozentualen Anteil an der Langzeitzugfestigkeit des Geokunststoffes einzugeben. Spezielle auf den Bereich von rückverhängten Fassadenelementen zugeschnittene Programme erlauben die Eingabe von auflastabhängigen Verbundkraftkurven, wie in Abbildung 4.2-2 dargestellt. Dies erleichtert die Bemessung der Konstruktion, da für eine bestimmte Kombination aus Fassadenelement und Geokunststoff verschiedene Konstruktionen berechnet werden können.

5 EINBAUHNWEISE

Neben den allgemein üblichen Hinweisen für das Verlegen von Geokunststoffen können je nach geplanter Außenhaut und Geometrie der Konstruktion weitere Arbeitsschritte hinzukommen. Auf der einen Seite sind zusätzliche Arbeitsschritte erforderlich wie das Errichten eines Fundamentes für Betonsteine, wenn die Tragfähigkeit des Untergrundes nicht ausreichend ist. Auf der anderen Seite können die Elemente der Außenhaut die Funktion einer Schalung mit übernehmen, so dass keine temporären Schalungen erforderlich sind. Dies ist z.B. bei den Böschungsnetzen aus Stahl der Fall.



Abbildung 5-1: Rieselerschutz und Trägermaterial für die Anspritzbegrünung hinter einem Böschungsgitter

Wenn Geogitter oder Böschungsnetze aus Stahl für die Oberflächensicherung eingesetzt werden sollen, ist ein Rieselerschutz vorzusehen, der verhindert, dass feine Bestandteile durch die großen Maschen hindurchfallen können. Hierfür können Strukturmatte verwendet werden, die gleichzeitig als Träger für eine Anspritzbegrünung dienen.

Die Ausbildung von Bögen in der Böschungsfront ist mit Betonsteinen kein Problem. Bei konvexen Bögen wird der Radius jedoch meist durch die Geometrie der Betonsteine begrenzt.

Werden Fassadenelemente aus Beton verwendet, die nahezu wasserundurchlässig sind, dann ist gemäß den Empfehlungen in [NCMA] direkt hinter der Verkleidung eine Dränung einzubauen. So kann der möglicherweise entstehende Wasserdruck auf die Betonelemente schadlos abgebaut werden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Eine gute Möglichkeit, die weitgefächerten Kombinationsmöglichkeiten zwischen Geokunststoffen und Bauelementen bei der Gestaltung der Außenhaut von Erdkonstruktion zu nutzen, ist die Kraftübertragung zwischen den einzelnen Bauteilen durch Reibung. Dadurch lassen sich mit erforderlichen Nachweisen standsichere Bauwerke errichten, Arbeitsprozesse auf der Baustelle vereinfachen und der Materialeinsatz optimieren. Nichtsdestotrotz verlangt diese Bauweise ein hohes Maß an Qualitätsbewusstsein sowohl auf der Baustelle, als auch von den Produzenten der Komponenten.

7 LITERATUR

- Koerner, R. M.: Designing with Geosynthetics. 4th edition. Upper Saddle River: Prentice Hall Inc., 1998
- Schneider, K.-J. (Hrsg.): Bautabellen für Ingenieure. 15. Auflage. Düsseldorf: Werner, 2002
- DGGT (Hrsg.): Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen – EBGEO. Berlin: Ernst & Sohn, 1997
- Herold, A.; Hoy, G.; Artmann, S.: Ansätze zur Begrünung kunststoffbewehrter Stützkonstruktionen. Geotechnik 2000/2, S. 87-93. Essen: Glückauf, 2000
- NCMA (Hrsg.): Segmental Retaining Walls. 2nd edition. NCMA, Publikation Nr. TR 127. 1998