

## Kurzfassung

### Geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen mit Betonfacing – eine dauerhafte Alternative im Verkehrswegebau?

Marie-Therese van Keßel, M.Sc., Dipl.-Ing. Hartmut Hangen  
HUESKER Synthetic GmbH

#### 1 Einleitung

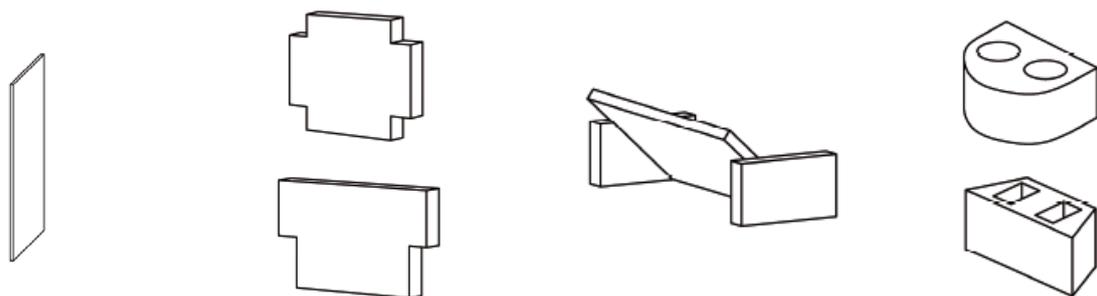
Für den Verkehrswegebau, bei dem Geländesprünge oftmals unter beengten Platzverhältnissen in unmittelbarer Nähe von Bestandsstraßen oder –gleisen und dadurch bedingten Einwirkungen ausgeführt werden müssen, bieten sich geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen mit Facingsystemen aus Beton oder Betonfertigteilen an. Derartige Systemlösungen erfüllen wichtige Auswahlkriterien im Hinblick auf die Betriebsphase, sind einfach in der Handhabung und erfordern nur geringe Wartung. Zudem ist Beton ein bekannter und bewährter Baustoff in der Bauindustrie, dessen Qualität mithilfe erprobter Standardverfahren geprüft und beurteilt werden kann. Daher stellt die Verwendung von Beton oder der daraus hergestellten Fertigteile für viele Ingenieure oder Bauherren eine vertraute und risikoarme Variante dar.

Die Möglichkeiten, aber auch die speziellen Anforderungen an Planung und Ausführung, die sich aus der Kombination eines duktilen bewehrten Erdkörpers und eines starren Betonelements ergeben, werden im Folgenden vorgestellt. Besonders werden die verschiedenen Varianten der Betonfacings hinsichtlich ihrer Dauerhaftigkeit analysiert.

#### 2 Frontelemente und Systeme

Die Gruppe der s.g. Betonfacings umfasst Paneele voller Bauhöhe bzw. teilweiser Bauhöhe, Pflanztröge oder Blocksteine (siehe Abb. 1) u.v.m. All diese Varianten können bezüglich individueller Anforderungen des Bauvorhabens spezielle Vorteile bieten.

Betonpaneele sind zumeist Bauteile aus Stahlbeton, die in verschiedenen Formen und Oberflächenbeschaffenheiten hergestellt werden können. Sie werden häufig eingesetzt, wenn geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen mit großen Ansichtsflächen wie bspw. an



a) Paneele mit voller Bauhöhe

b) Paneele mit teilweiser Bauhöhe

c) Pflanztröge

d) Blocksteine, Formsteine

Brückenwiderlagern erbaut werden. Durch die Verwendung von Betonpaneelen voller Bauhöhe können große Flächen auch in eingeschränkter Bauzeit realisiert werden. Der Transport und das Handling der Betonpaneele voller Bauhöhe muss im Baubetrieb jedoch durch die Verwendung eines entsprechend ausgelegten Kranes bewältigt werden. In der Praxis sind dies in der Regel Mobilkrane, deren Einsatz einen kostenintensiven Faktor für das Bauvorhaben darstellen kann.

Generell ist bei Betonpaneelen, unabhängig von ihrer Größe, die Wahl einer geeigneten Verbindungsvariante zwischen den Fertigteilen und der Geokunststoffbewehrung von großer Bedeutung (siehe Abschnitt 2.1). Grundsätzlich wird für alle Facingsysteme im Merkblatt über Stützkonstruktionen aus Betonelementen, Blockschichtungen und Gabionen (2013) [10] empfohlen, mindestens eine Ausgleichsschicht oder Tragschicht zwischen Untergrund und Sohle der Facingelemente auszuführen. Für Betonpaneele wird jedoch empfohlen, diese auf einem bewehrten, frostfreien Streifenfundament zu gründen. So wird ein Durchstanzen in den Untergrund verhindert und eine lagegenaue Errichtung der Konstruktion ermöglicht.

In der Regel können unbewehrte Block- bzw. Formsteine sowohl als massive als auch hohle Elemente hergestellt werden. Häufig werden Block-, Formsteine oder auch Pflanztröge in Projekten des Landschaftsbaus eingesetzt, da mit ihnen anspruchsvolle Geometrien hergestellt werden können. Eine wichtige Voraussetzung für eine hochwertige Umsetzung ist dabei die Qualität der Blocksteine. Geringe Ungenauigkeiten z.B. der Formsteinmaße können insbesondere bei hohen Wänden zu signifikanten Abweichungen von der gewünschten Wandneigung oder lokalen Überbeanspruchungen der Steinelemente führen.

Ein entscheidender Vorteil von geokunststoffbewehrten Blockwänden hingegen ist das äußerst duktile Verhalten bei Erdbebenlasten, welches sowohl in realen Bauwerken beobachtet (Tatsuoka et al. 1998, [12]) als auch in Laborversuchen bestätigt wurde (Ling et al. 2003, [9]).

Separat betrachtet weisen Bauweisen mit Betonbauteilen insbesondere aufgrund der Zementherstellung ein hohes globales Erderwärmungspotential (GWP) auf und sind im Vergleich zu anderen Facingarten eher nachteilig. Insgesamt weist eine geokunststoffbewehrte Stützkonstruktion auch mit Betonfacing jedoch einen weitaus geringeren ökologischen Fußabdruck auf als ein vergleichbares Bauwerk in der Massivbauweise (siehe Corney et al.

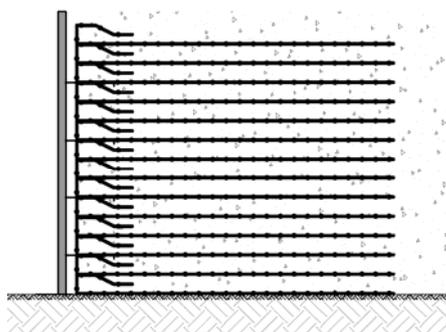


Abbildung 2 Passives System

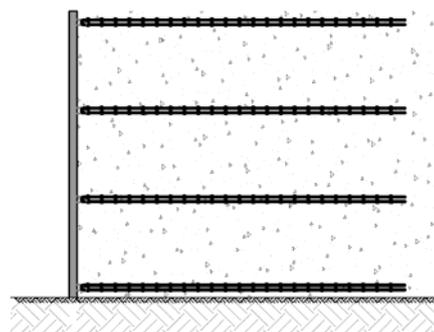


Abbildung 3 Aktives System

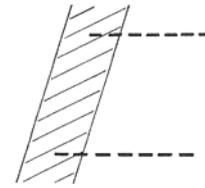
2010, [3]).

## 2.1 Verbindungen

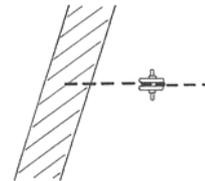
Häufig wird eine geokunststoffbewehrte Erde in der passiven Bauweise unter Anwendung der Rückumschlagmethode aufgebaut (vgl. Abb. 2). Die Frontelemente werden dabei also nicht aktiv durch den Erddruck belastet. Bei einem aktiven System werden an der Frontseite des bewehrten Erdkörpers Frontelemente angebracht und über verschiedene Verbindungsmechanismen mit den Geogittern verbunden (vgl. Abb. 3). Die Frontelemente werden folglich unmittelbar durch den Erddruck der Hinterfüllung belastet. Die Erddruckbelastung, die auf das Frontelement wirkt, wird über Verbindungselemente in die Geogitter eingeleitet und im Erdkörper rückverankert. Ein Versagen der Frontelemente führt daher schnell zu einem Versagen des gesamten Systems. In Abb. 4 (siehe auch Rügger R. und Hufenus R. 2003, [11]) sind gängige Verbindungsmöglichkeiten aufgeführt.

Wird die Geokunststoffbewehrung durch Einbetonieren (Abb. 4a) mit dem Facelement verbunden, muss die Dauerhaftigkeit der Geogitter in dieser Einbindung im Beton sichergestellt sein. Dies hat zwangsweise die Wahl eines Geokunststoffes zur Folge, welcher aus einem alkaliresistenten Rohstoff produziert wird (z.B. PVA). Durch den Betonageprozess wird das Geogitter starr und unverschieblich an das Facelement angeschlossen. Potentielle Setzungen des Füllmaterials kann das einbetonierte Geogitter nicht kompensieren, was zur Beeinträchtigung der Anschlussfestigkeiten führen kann. Eine Beschädigung der Geogitter muss zu jedem Zeitpunkt von der Herstellung bis zum Einbau vermieden werden, da ein nachträglicher Austausch der Bewehrung nicht möglich ist. Dies kann auch ein Nachteil sein, wenn kurzfristige Änderungen der erforderlichen Geogitterfestigkeit notwendig werden. Einer entsprechenden Werks- und Einbauplanung ist somit viel Aufmerksamkeit zu widmen.

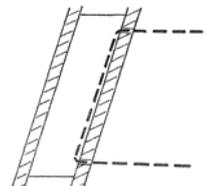
Eine Verbindung über Klemmen oder anderen Bauteile, welche erst im Bauort montiert werden (Abb. 4b), kann im Gegensatz zum Einbetonieren mehr Flexibilität für den Bauablauf bieten. Die erforderliche Geokunststoffbewehrung kann im Falle von Änderungen des Systems bis unmittelbar vor dem Einbau ausgetauscht werden. Bei der Entwicklung eines Verbindungselementes muss die Dauerhaftigkeit aller kraftübertragenden Komponenten (bspw. Korrosionsbeständigkeit von Stahlteilen) des Verbindungselementes gewährleistet werden.



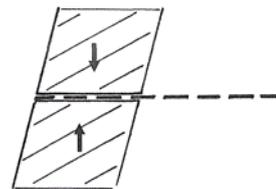
a) Einbetonieren



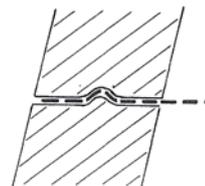
b) Verbindungen mit Klemmen



c) Einschlaufen



d) Reibung zwischen den Elementen



e) Reibung und Verzahnung

Abb. 4 Arten von Verbindungen (Rügger und Hufenus, 2003, [11])

In diesem Zusammenhang ist es vorteilhaft, ein Verbindungselement zu wählen, welches etwaige Setzungen des Füllmaterials kompensieren kann (siehe van Keßel et al. 2015, [13]). Soll die Geokunststoffbewehrung durch das Einschlaufen (siehe Abb. 4c) mit dem Betonfacing verbunden werden, ist die Anpassung der Bewehrungsbreite an die im Facingelement vorgesehenen Schlitzte zu beachten. Häufig kommen hierbei Bewehrungsbänder zum Einsatz.

Neben den oben genannten Verbindungsarten können die Bewehrungselemente zwischen zwei Facingelementen eingeklemmt werden (siehe Abb. 4d bzw. Abb. 4e). Dabei beruht der Verbindungsmechanismus auf Reibung und Verzahnung. Die Geokunststoffbewehrung darf jedoch durch das Einklemmen nicht unverhältnismäßig stark beschädigt werden. Block- und Formsteine mit einer großen Aufstandsfläche eignen sich daher besser für diese Verbindungsart als schlanke Betonpaneele. Wenn Hohlsteine verwendet werden, können diese mit Schotter gefüllt werden, was die Verbindungsfestigkeit zwischen den Blöcken und der Geokunststoffbewehrung erhöht.

## 2.2 Bemessung

Die Empfehlungen für den Bau und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO, 2010) [7] beinhalten die Grundlagen und Konzepte zum Nachweis der Standsicherheit einer geokunststoffbewehrten Stützkonstruktion. Spezifische Anforderungen für die Bemessung der Außenhaut sind in Abschnitt 7.6 in Abhängigkeit der Verformbarkeit der Facingelemente gegeben. Laut EBGEO (2010) [7] werden die Außenhautelemente in

- nicht verformbare,
- bedingt verformbare und
- verformbare (flexible)

Frontelemente unterteilt. Betonpaneele mit voller oder teilweiser Bauhöhe und Blöcke, die kraftschlüssig miteinander verbunden sind, werden zu den nicht verformbaren Frontelementen gezählt. Bei Blöcken, die sich gegeneinander verschieben können, handelt es sich laut dieser Definition hingegen um bedingt verformbare Frontelemente. Basierend auf dieser Definition kann die auf die Frontelemente wirkende Horizontalspannung ermittelt werden. Mithilfe der Anpassungsfaktoren kann der Erddruck für verformbare und bedingt verformbare Außenhautelemente abgemindert werden. Die Anpassungsfaktoren sind nach EBGEO (2010), [7] Tabelle 7.2 zu wählen.

Die innere Standsicherheit der Betonelemente wird im Merkblatt über Stützkonstruktionen aus Betonelementen, Blockschichtungen und Gabionen (2013) [10] Abschnitt 8.4.6 bzw. 8.5.9 laut DIN 1045 [5] geregelt. So sind der rechnerische Nachweis und Belastungsversuche durchzuführen.

Verformungsmessungen an Stützkonstruktionen mit Betonfacings wurden mehrfach durchgeführt und werden beispielsweise in Hangen und Herold (2009) [8] für Blocksteine oder in

van Keßel et al. (2015) [13] für Paneele voller Bauhöhe vorgestellt. Hierbei ist herauszuheben, dass die gemessenen Verformungen an der Front einer kunststoffbewehrten Stützwand die Summe der horizontalen Verformungen innerhalb des bewehrten Erdkörpers und der Facingelemente sind. Mit qualitativ hochwertigen Systemkomponenten und einem sachgemäßen Einbau lassen sich diese Verformungen auf wenige Zentimeter reduzieren.

### **2.3 Dauerhaftigkeit**

Die Dauerhaftigkeit einer geokunststoffbewehrten Stützkonstruktion mit Betonfacing wird durch die Dauerhaftigkeit des Betons selbst aber auch durch die Dauerhaftigkeit der ggf. eingebauten Verbindungselemente und der Geokunststoffbewehrung bestimmt.

Alle Bauteile werden während ihrer Nutzungsdauer durch chemisch / biologische Einflüsse oder durch mechanische Einwirkungen bspw. beim Einbau beansprucht. Im Gegensatz zum bewehrten Erdkörper ist das Facing einer Stützkonstruktion auch allen äußeren Einflüssen ausgesetzt, z.B. UV-Strahlung, regulärer oder außergewöhnlicher Temperaturbelastung, Tausalzen, Herbiziden, Pestiziden, aggressivem Grundwasser. Um die Dauerhaftigkeit des Facings und den Schutz des bewehrten Erdkörpers sicher zu stellen, ist es daher erforderlich, bei der Herstellung der Facingelemente entsprechende Anforderungen zu stellen und Qualitätsstandards für den eingesetzten Beton einzuhalten. Neben der Druckfestigkeit und chemischen Beständigkeit sind hierbei ggfs. auch Kriterien an Farbgebung und Kantengestaltung zu berücksichtigen. Vorteilhaft ist in dieser Hinsicht, dass die Herstellung, Qualitätssicherung oder Prüfung von Betonbauteilen in Deutschland allgemein weit verbreitet sind. Eine hohe Standardisierungsgrad und ausgereifte Maschinenteknik sorgen ferner für eine gute Qualität normierter Betonbauteile. Eine Übersicht der notwendigen Anforderungen für ungenormte Betonprodukte ist z.B. in BGB-RiNGB (2006) [1] aufgezeigt, die zumeist auf die standardisierten Verfahren für genormte Bauteile verweist. Desweiteren ist eine Empfehlung für eine werkseigene Produktionskontrolle in BGB-RiWPK (2015) [2] zu finden. Weniger gut geregelt sind jedoch die Anforderungen an Verbindungselemente. Im Allgemeinen wird die Eignung des Gesamtsystems Facing, Verbindung und Geogitter daher gemäß EBGEO (2010) [7] im Rahmen von Eignungsprüfungen, s.g. Verbindungsprüfungen, nachgewiesen. Die Grundlagen und Prüfverfahren zum Nachweis der Dauerhaftigkeit der Geokunststoffbewehrung werden u.a. in EBGEO (2010) [7] oder CUR Building & Infrastructure (2012) [4] vorgestellt und zusammengefasst.

### **3 Resümee**

Im Frontbereich kann eine geokunststoffbewehrte Stützkonstruktion mit verschiedenen Betonfacings vor UV-Einstrahlung, Feuer oder Vandalismus sehr effizient geschützt werden. Unter den s.g. Betonfacings lassen sich u.a. Betonpaneele verschiedener Größe und Block- bzw. Formsteine zusammenfassen, die auf unterschiedliche Weise mit der Geokunststoffbe-

wehrung verbunden oder als passive Facingelemente vor dem bewehrten Erdkörper platziert werden. Betonfacingsysteme zeichnen sich durch eine geringe Wartungsintensität aus, was insbesondere für Stützkonstruktionen entlang von Verkehrswegen mit großen Ansichtsflächen höchst vorteilhaft ist.

Obwohl Beton selbst ein hohes Global Warming Potential (GWP) besitzt, kann durch den Einsatz einer geokunststoffbewehrten Stützkonstruktion mit Betonfacing im Vergleich mit einer massiven Stahlbetonkonstruktion die Umweltbelastung signifikant reduziert werden.

Werden bei Planung und Ausführung eingeführte Qualitätsstandards eingehalten, stellen geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen mit Betonkonstruktionen eine äußerst robuste und dauerhafte Bauweise dar. Im Vergleich zu massiven Stahlbetonkonstruktionen stellt diese Bauweise besonders bei Bauhöhen von mehr als 2m eine kostengünstige Alternative zu anderen Bauweisen dar.

#### 4 Referenzen

- [1] BGB-RiNGB (2006), Bund Güteschutz-Richtlinie, Nicht genormte Betonprodukte – Anforderungen und Prüfungen, Bund Güteschutz, Beton- und Stahlbetonfertigteile e.V., Bonn, 2006
- [2] BGB-RiWPK (2015), Bund Güteschutz-Richtlinie, Werkseigene Produktionskontrolle, Überwachung und Zertifizierung von Bauprodukten in Beton- und Fertigteilwerken, Bund Güteschutz, Beton- und Stahlbetonfertigteile e.V., Bonn, 2015
- [3] Corney, N., Cox, P., Norgate, S., Thrower, A. (2010), Sustainable geosystems in civil engineering application, Geosystems Report, WRAP, 2010
- [4] CUR Building & Infrastructure (2012), Report 243, Durability of Geosynthetics, Gouda, Stichting CURNET´
- [5] DIN 1045 Tragwerke aus Beton (2014), Stahbeton und Spannbeton, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Beuth Verlag, 2014
- [6] DIN 14475:2006 (2006), Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – bewehrte Schüttkörper, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, Beuth Verlag, April 2006
- [7] EBEGO (2010), Empfehlungen für den Bau und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, 2. Auflage, Ernst und Sohn, Berlin, 2010
- [8] Hangen, H. Herold, A. (2009), Kunststoffbewehrte Erde (KBE) an der Südbrücke in Riga, Lettland, Geotechnik, 32, Nr. 3, 2009
- [9] Ling, Hoe I., Leshchinsky, D., Burke, C., Matsushima, K., Liu, H.(2003), Behavior of a large-scale modular-block reinforced soil retaining wall subject to earthquake shaking, 16th ASCE Engineering Mechanics Conference, Seattle, 2003
- [10] Merkblatt über Stützkonstruktionen aus Betonelementen, Blockschichtungen und Gabionen (2013), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2003
- [11] Rügger R. und Hufenus R. (2003), Bauen mit Geokunststoffen – Ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender, Schweizerischer Verband für Geokunststoffe (SVG), St. Gallen, Juni 2003
- [12] Tatsuoka, F., Koseki, J., Tateyama, M., Munaf, Y. and Horii, N. (1998), Seismic stability against high seismic loads of geosynthetic-reinforced soil retaining structures, Keynote Lecture, Proc. 6th Int. Conf. on Geosynthetics, Atlanta, Vo.1, pp.103-142, 1998

[13] van Keßel, M.-T., van Duijnen, P.-G. van Eekeren, H. und Detert, O. (2015),  
Entwicklung, Wirkungsweise und Installation eines aktiven Wandsystems für  
Geogitterbewehrte Wände, Fachsektion Geokunststoffe, München, 2015