

GÖBEL, C., Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“, Dresden, DDR

HOY, G., VE Bau- und Montagekombinat Kohle und Energie, DDR

PIESKER, F., VE Meliorationskombinat Frankfurt/Oder, DDR

STÜTZBAUWERKE AUS TEXTILBEWEHRTER ERDE

RETAINING STRUCTURES MADE OF EARTH REINFORCED WITH TEXTILES

OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT EN TERRE AVEC ARMATURES TEXTILES

In diesem Beitrag werden die Konstruktion und Errichtung von Stützbauwerken aus textilbewehrter Erde beschrieben und die Grundzüge der Nachweise der inneren und äußeren Stabilität dargestellt. Zur Gewährleistung der Stabilität während der Errichtung sind stabilisierende Elemente notwendig, die in der Regel als Montagehilfen eingesetzt werden. Zur Erhaltung der Festigkeit der Geotextilien an der Außenhaut des Stützbauwerkes ist ein UV-Schutz aus lichtundurchlässigem Material erforderlich. Weitere Festlegungen zur Konstruktion, Bemessung und Errichtung sind in einer speziellen Vorschrift enthalten. Als erstes großes Bauwerk wurde eine geotextilbewehrte übersteile Böschung mit einer Höhe von 6,5 m ausgeführt, deren Konstruktion beschrieben wird.

In this paper the design and erection of retaining structures made of textile-reinforced earth are described and the main features of indicating the inner and outer stability are outlined. To ensure stability in the erection phase, stabilizing elements are required which are generally used as erection aids. For maintaining the strength of the geotextiles at the external wall of the retaining structure, it is necessary to use UV-protected material which is impervious to light. Further specifications for the design, dimensioning and erection of retaining structures are contained in a specific building regulation. The first major structure was a very steep embankment 6.5 m in height made of geotextile-reinforced earth the construction of which is described in the following.

1. KONSTRUKTION UND ERRICHTUNG

Stützbauwerke aus textilbewehrter Erde bestehen aus den Konstruktionselementen Außenhaut, Bewehrungen und Verfüllmaterial (Abb.1). Die Außenhaut und die Bewehrungen werden aus Geotextilien hergestellt. Die Geotextilien übernehmen die aus dem aktiven Erddruck auf die Außenhaut in ihnen entstehenden Zugkräfte und übertragen sie durch Reibung in das Verfüllmaterial. Eine gewisse Rauigkeit, hohe Zugfestigkeit bei minimaler Dehnung sind neben einem guten Langzeitverhalten Voraussetzungen für die Eignung des Geotextils als Bewehrungsmaterial. Das Verfüllmaterial soll aus nichtbindigen Lockergesteinen bestehen, wobei bestimmte Körnungsbedingungen einzuhalten sind (1).

Geotextilien können nur Zugkräfte, aber keine Druckkräfte und Biegemomente aufnehmen, wodurch Probleme bei der Gewährleistung der Stabilität während der Errichtung der Bauwerke auftreten. Deshalb sind biegesteife stabilisierende Elemente notwendig, die vorübergehend den aktiven Erddruck aus der herzustellenden Lockergesteinsschicht bis zur Wirkung des Reibungsmechanismus übertragen. Diese stabilisierenden Elemente werden als Stabilisatoren bezeichnet. Mit ihrer Hilfe ist die Errichtung von Stützbauwerken aus textilbewehrter Erde ohne äußere Abstützung möglich (Abb.1).

Die Stabilisatoren können im Bauwerk verbleiben und werden dann als gekantete biegesteife Metallabschnitte ausgebildet (Abb.2). Sie können aber auch nur vorübergehend als Montagehilfen eingesetzt und nach Fertigstellung ei-

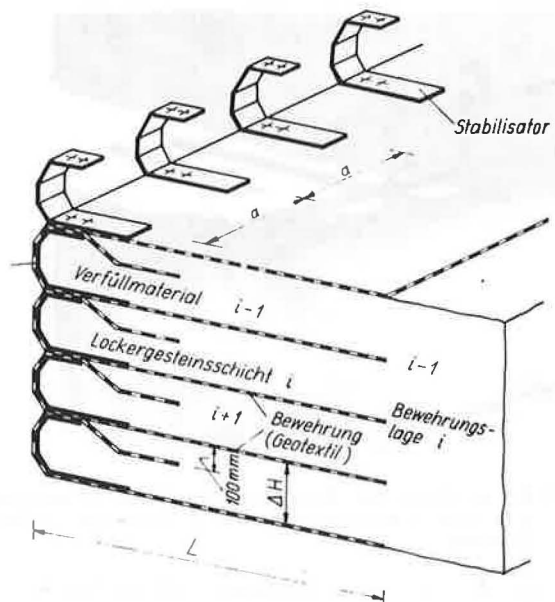


Abb.1 Schematische Darstellung der Konstruktion von Stützbauwerken aus textilbewehrter Erde

ner Schicht herausgezogen und für die Montage

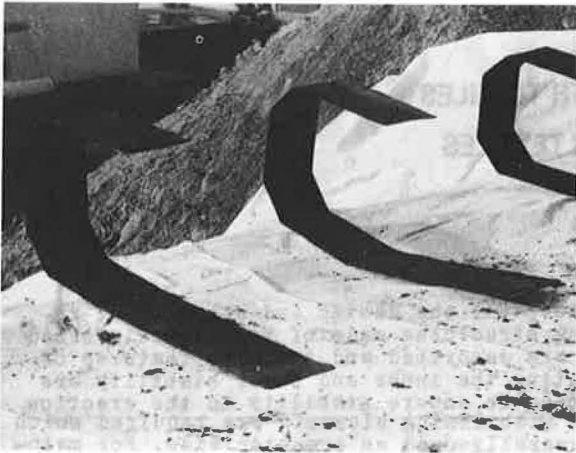


Abb.2 Gekantete biegesteife Metallabschnitte als Stabilisatoren, die im Bauwerk verbleiben

der folgenden Schicht wiederverwendet werden (Abb.3).

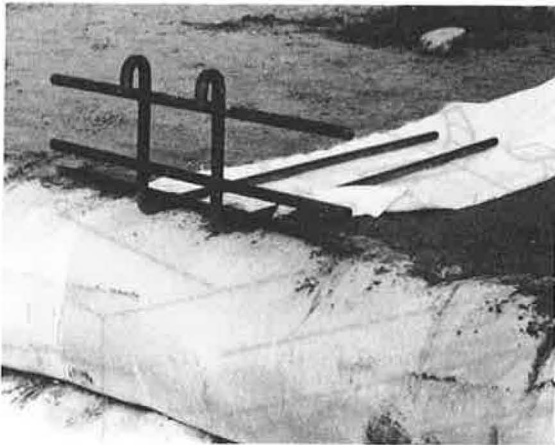


Abb.3 Winkelförmige biegesteife Stabilisatoren, die nur vorübergehend als Montagehilfen dienen

Zwischen den nicht im Bauwerk verbleibenden winkelförmigen Stabilisatoren und der Außenhaut können als weitere Montagehilfen Schalbretter vorgesehen werden. Durch die vorübergehende Anordnung der Schalbretter werden die Maßhaltigkeit und die gesamte Qualität des Bauwerks wesentlich erhöht.

Textilbewehrte Stützbauwerke werden schichtwei-

se errichtet. Die Dicke der Lockergesteinsschicht und damit der vertikale Abstand der Bewehrungslagen beträgt in der Regel $\Delta H = 330 \text{ mm}$. Nach Herstellung des Gründungsplanums und nach dem Einbau einer eventuell erforderlichen Entwässerung wiederholen sich folgende Arbeitsschritte von Schicht zu Schicht (Abb.1):

- Verlegen der Bewehrungsbahnen der Bewehrungslage 1 auf der Lockergesteinsschicht 1+1 und Versetzen der Stabilisatoren;
- Herstellen der Außenhaut durch Hochziehen der Bewehrungsbahnen an den Stabilisatoren;
- Einbringen und Verdichten der Lockergesteinsschicht 1;
- Umlegen der Geotextilbahnen in Richtung des Bauwerks und Überdecken des Geotextils mit Verfüllmaterial;
- Vollständige Einbringung und Verdichtung der Lockergesteinsschicht 1 und Verlegen der Bewehrungsbahnen der Bewehrungslage 1-1.

2. EXPERIMENTALBAUWERK AUS TEXTILBEWEHRTER ERDE

Im Jahre 1981 wurde in der DDR ein Experimentalbauwerk aus textilbewehrter Erde errichtet (2). Das Bauwerk hat eine Höhe von $H = 3,26 \text{ m}$ und eine Länge von $L = 9,0 \text{ m}$. Als Bewehrungs- und Außenhautelement wurde ein Polyamid-Nähgewirk mit einer Zerreißfestigkeit von 44 kN/m und einer Reißdehnung in Längsrichtung von 40% verwendet. Bei einem vertikalen Abstand der durchgängig flächenhaft verlegten Geotextilbewehrungen von $\Delta H = 0,33 \text{ m}$ war eine Bewehrungslänge von $L = 3,50 \text{ m}$ erforderlich. Der Baugrund bestand aus Geschiebelehm mit $\phi = 28^\circ$, $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$ und $c = 5 \text{ kN/m}^2$. Als Verfüllmaterial wurde ein Mittelsand mit $\phi = 32,5^\circ$ und $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ verwendet.



Abb.4 Fertiggestelltes Experimentalbauwerk mit teilweise lichtgeschützter Außenhaut

Das fertiggestellte Bauwerk zeigt Abb.4. Es wurde zur Hälfte ohne Lichtschutz und zur

Hälfte mit einem UV-Schutz aus Wellasbesttafeln versehen, um den Einfluß der ultravioletten Strahlung des Sonnenlichts auf die Veränderung der Festigkeit der Geotextilien langfristig untersuchen zu können. Seit 3 Jahren werden in regelmäßigen Abständen Geotextilproben aus der Außenhaut mit und ohne Lichtschutz entnommen und im Labor geprüft. Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen sind in Abhängigkeit von der Sonnenglobalstrahlung im Abb.5 zusammengestellt. Abb.5 zeigt, daß die Geotextilien ohne Lichtschutz ihre Festigkeit bis zum 2. Jahr etwa proportional mit der Sonnenglobalstrahlung auf etwa 30% der Anfangsfestigkeit verringern. Danach bleibt die Festigkeit kurzzeitig konstant, um im 4. Jahr weiter abzunehmen. Es hat den Anschein, als ob die angegriffene Oberschicht des Textils zumindest kurzzeitig einen gewissen Schutz für das darunterliegende Gewebe bildet.

Für das UV-geschützte Material vollzieht sich der Festigkeitsabbau wesentlich langsamer. So beträgt die Reißkraft nach 3 Jahren noch 93,5% der Anfangsfestigkeit. Der UV-Schutz ist somit die entscheidende bautechnische Maßnahme zur Erhaltung der Festigkeit der Geotextilien. Deshalb sind Stützbauwerke aus textilbewehrter Erde grundsätzlich mit einem UV-Schutz an der Außenhaut zu versehen.

von Stützbauwerken aus textilbewehrter Erde ist seit 1983 in der DDR die Vorschrift "Bewehrte Erde - Bewehrung mit Geotextilien" verbindlich (1). Diese Vorschrift gilt für statisch und durch Straßenfahrzeuge dynamisch belastete Stützkonstruktionen im Bau- und Verkehrswesen.

Da es nach wie vor schwierig ist, eine Prognose über das Langzeitverhalten zugbeanspruchter Geotextilien zu geben, wird in Abhängigkeit von der geplanten Nutzungsdauer des Bauwerks und dem Grundmaterial des Geotextils die Zerreißfestigkeit G_{Br} UV-geschützter Geotextilien durch einen zeitabhängigen Faktor k vermindert. Mit der verminderten Festigkeit $G_{Br}^* = k \cdot G_{Br}$ werden die Bewehrungen bemessen. Die k -Werte sind in Abb.6 angegeben.

Der zeitabhängige Faktor k begrenzt die Anwendung von Stützbauwerken aus textilbewehrter Erde zunächst auf temporäre Zwecke. Diese k -Werte enthalten jedoch noch große Sicherheiten, und es ist zu erwarten, daß bei weiterer Erforschung des Langzeitverhaltens von Geotextilien die Abminderungsfaktoren k erhöht werden können.

Bei der Bemessung von Stützbauwerken aus textilbewehrter Erde unterscheidet man zwischen

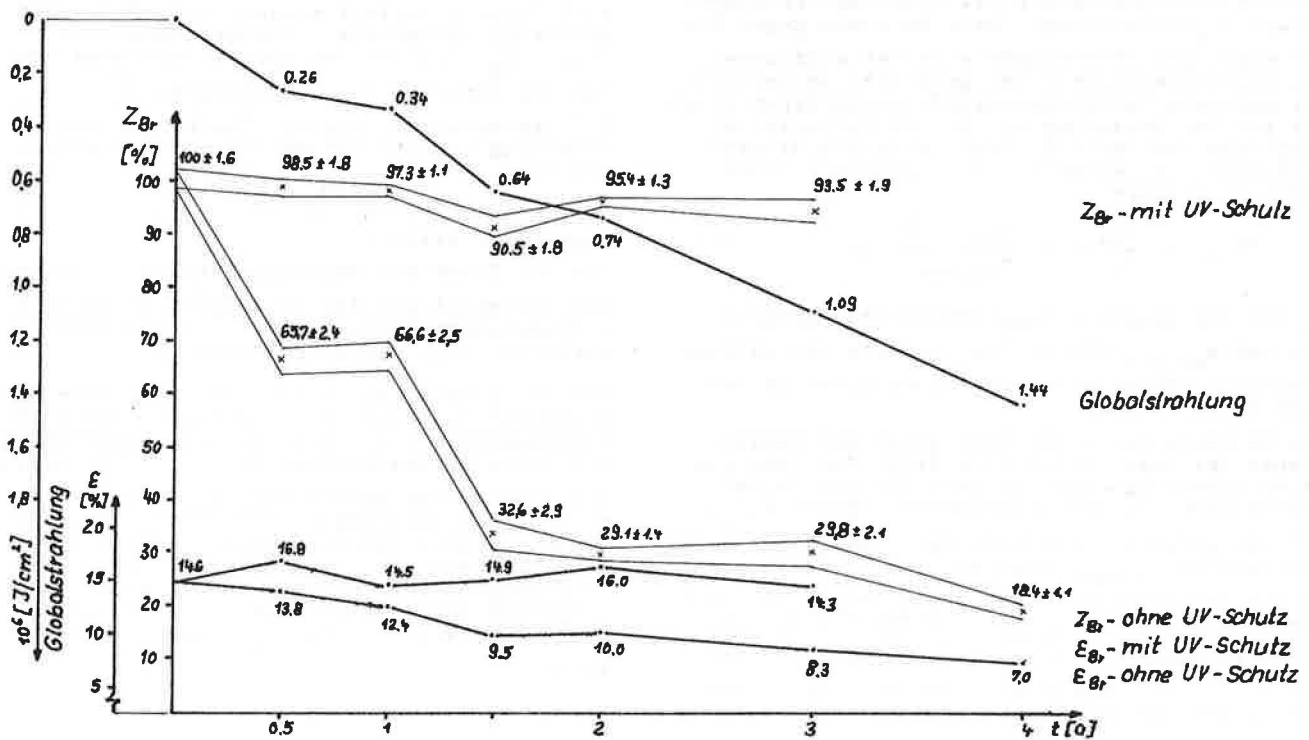


Abb.5 Zeitabhängige Veränderung der Festigkeit der Geotextilien der Außenhaut mit und ohne Lichtschutz

3. VORSCHRIFT "BEWEHRTE ERDE - BEWEHRUNG MIT GEOTEXTILIEN"

Für die Konstruktion, Bemessung und Errichtung

der inneren und äußeren Stabilität. Die innere Stabilität ist erfüllt, wenn ein Herausziehen der Bewehrungen aus dem Verfüllmaterial ausgeschlossen ist (Bemessung der Bewehrungen ge-

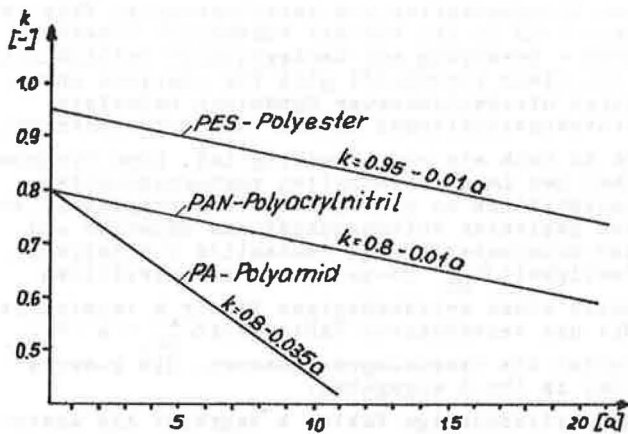


Abb.6 Abminderungsfaktoren k für die Festigkeit von Geotextilien

genüber Herausziehen) und wenn die Bewehrungen nicht zerreißen (Bemessung der Bewehrungen gegenüber Bruch). Wenn diese Nachweise erfüllt sind, dann kann das textilbewehrte Stützbauwerk wie ein massiver Körper aufgefaßt werden, der in sich stabil ist. Für diesen Körper ist die äußere Stabilität nachzuweisen.

Für den Nachweis der inneren Stabilität wird der aktive Erddruck auf die Außenhaut nach der klassischen Erddrucktheorie mit einem Wandreibungswinkel $\delta_a = 0$ berechnet. Beim Nachweis gegen das Zerreißen der Bewehrungen wird der abgeminderten Zerreißfestigkeit des gewählten Geotextils die maximale Teilerddruckkraft gegenübergestellt, die von der Bewehrung auf das Verfüllmaterial abgetragen werden muß. Damit wird die Sicherheit gegen Zerreißen für durchgängig flächenhafte Bewehrungen

$$\eta_{Br.} = \frac{Z_{Br.}^*}{Z_1} = \frac{Z_{Br.} \cdot k}{e_{ah,max} \cdot \Delta H} \quad (1)$$

Z_1 ist die maximale Zugkraft in den Bewehrungen und $e_{ah,max}$ die größte Ordinate des aktiven Erddrucks unter Berücksichtigung aller Lasten (Abb.7).

Der Nachweis der Sicherheit gegen das Herausziehen der Bewehrungen wird nicht für jede einzelne Bewehrungslage, sondern für das Gesamtsystem geführt. Die Gesamterddruckkraft $E_{ah,max}$ auf die Außenhaut wird mit der Summe aller Reibungskräfte $Z_{r,ges.}$ zwischen dem Verfüllmaterial und den Geotextilbewehrungen verglichen. Für die Ermittlung von $Z_{r,ges.}$ dürfen nur die Bewehrungslängen L_{a1} außerhalb des aktiven Gleitkeils nach Abb.7 angesetzt werden. Die Sicherheit gegen Herausziehen wird dann

$$\eta_{HC} = \frac{Z_{r,ges.}}{E_{ah,max}} \quad (2)$$

Zu beachten ist, daß die maximale Reibungskraft in einer Bewehrungslage im Grenzfall nur die Zerreißkraft des Geotextils sein kann. Treten Probleme beim Nachweis der Sicherheit gegen Zerreißen auf, dann können die Bewehrungsbahnen

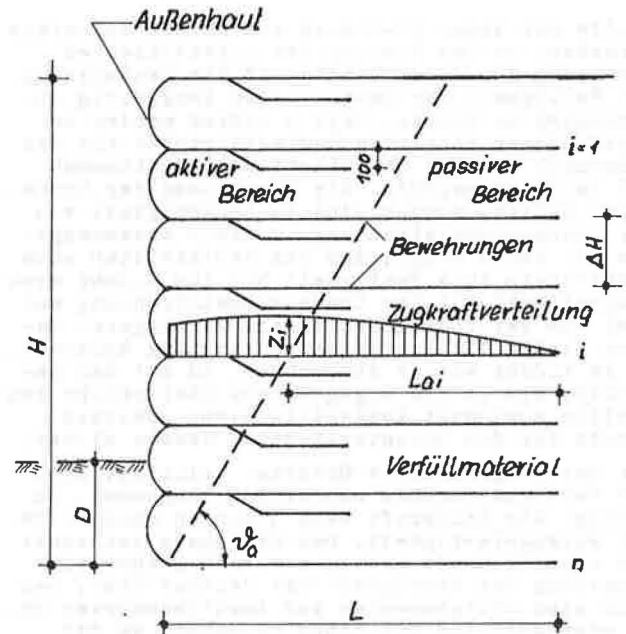


Abb.7 Bezeichnungen für die Nachweise der inneren und äußeren Stabilität

auch doppelt verlegt werden. Bei statischer Belastung müssen die Sicherheitsfaktoren $\eta_{Br.} = \eta_{HC} = 2,5$ und bei dynamischer Belastung für die obersten 2 m des Bauwerks $\eta_{Br.} = \eta_{HC} = 3,0$ nachgewiesen werden. Unabhängig von der Bemessung muß die Mindestlänge der Bewehrungen mit

$$L_{min.} = H \cdot \cot \delta_a = 1,50 \text{ m} \quad (3)$$

angenommen werden.

Für die Größe des Reibungswinkels δ_s zwischen dem Geotextil und dem Lockergestein wurde aus umfangreichen Versuchen für verschiedene Materialien $\delta_s = 0,8 \phi$ gefunden (3).

Für die äußere Stabilität ist der aktive Erddruck auf die ideale Stützmauerückwand (Verbindungsline der Enden der Bewehrungsbahnen) mit einem Wandreibungswinkel $\delta_s = \phi$ zu berechnen. Die äußere Stabilität ist gewährleistet, wenn eine ausreichende Sicherheit gegen Grundbruch, Gleiten und Geländebruch vorhanden ist. Beim Nachweis der Gleitsicherheit wird davon ausgegangen, daß das Bauwerk auf einer Bewehrungslage gleitet. Deshalb muß auch hier der Reibungswinkel δ_s mit $\delta_s = 0,8 \phi$ angesetzt werden.

4. ERRICHTUNG EINER ÜBERSTEIFEN BÖSCHUNG AUS TEXTILBEWEHRTER ERDE

Im Zusammenhang mit der Errichtung eines Industriewerkes machte sich eine Geländeauffüllung von etwa 7 m Höhe erforderlich. Aus Platzgründen wurde in der ersten Projektierungsphase eine Winkelstützmauer aus Fertigteilen vorgesehen. Gleichzeitig wurden mögliche Leichtbauweisen untersucht, wobei im Er-

gebnis eine übersteile Böschung aus textilbewehrter Erde ausgeführt worden ist. Dieses Objekt stellt das erste größere Bauwerk aus textilbewehrter Erde in der DDR dar. Es ist 140 m lang und 6,5 m hoch. Die Konstruktion der textilbewehrten Böschung zeigt Abb. 8.

in das Grassamen eingearbeitet war, abgedeckt. Die bisherigen Erfahrungen mit dieser Begrünung führten zu der Erkenntnis, daß die Neigung von 60° ein Maximum darstellt. Deshalb sollten bei diesem Schutz der Außenhaut 50° nicht überschritten werden.

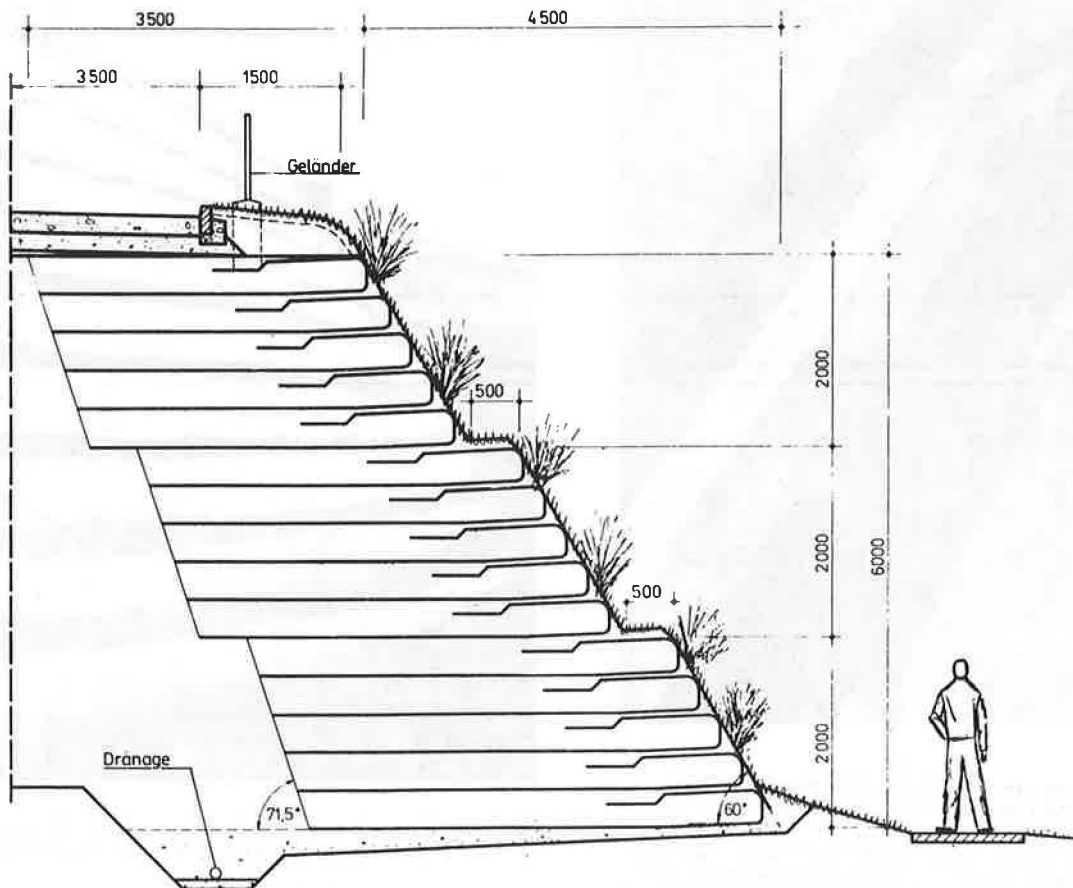


Abb.8 Lösung übersteile Böschung aus textilbewehrter Erde

Im vertikalen Abstand von jeweils 2 m wurde eine 0,5 m breite Berme zur späteren Begehung der Böschung angelegt. Die Dicke der Lockergesteinsschichten beträgt 0,4 m. Die Länge der Bewehrungsbahnen beträgt für die unterste Lage 5,0 m und für die oberste Lage 3,5 m. Der bleibende Schutz des Geotextils gegen die UV-Strahlung erfolgte durch Abdeckung mit Kulturboden und durch Begrünung. Die Begrünung wurde durch einen Wildrasen mit Strauchwerk erreicht. Zur Gewährleistung der Standfestigkeit des Kulturbodens und zur Beschleunigung der Begrünung wurde der Kulturboden mit einem verrottbaren Geotextil,

Als Bewehrungselement wurde ein Nähgewirke aus Polyester mit einer Flächenmasse von 155 g/m^2 , einer Zerreißfestigkeit von 26 kN/m längs und 30 kN/m quer sowie einer Reißdehnung von 20% längs und 15% quer verwendet. Die Alterungsbeständigkeit dieses Geotextils ist mit wenigstens 50 Jahren angegeben. Als Erdstoff wurde ein Kiessand mit 10 bis 15% Feinkornanteil eingebaut.

Der gesamte Erdstoffeinbau erfolgte lagenweise und maschinell. Manuelle Arbeiten sind die Verlegung des Geotextils sowie der Aufbau der Hilfsschalung. Als Schalung wurden 40 mm dicke Holzbohlen gewählt, welche von speziellen Stabilisatoren gehalten worden sind (Abb.9). Die Schalkonstruktion wird nur vorübergehend benötigt und "wandert" mit der Errichtung des



Abb.9 Anordnung der Stabilisatoren und der Hilfsschalung an der Außenhaut

Bauwerks nach oben. Die Hilfsschalung muß den aktiven Erddruck einer Lockergesteinsschicht und den Verdichtungserddruck aufnehmen. Die Verdichtung der Lockergesteinsschichten wurde mit Vibrationsplatten bis an die Schalung durchgeführt, wobei eine Standarddichte (Proctordichte) von 98% erreicht wurde. Durch die Verdichtung und die Hilfsschalung entsteht eine gleichmäßige Außenhaut (Abb.10).

Nach der maschinellen Verteilung, dem Andrücken und Planieren des Kulturbodens erfolgte das Ausrollen der Begrünungsmatte mit eingearbeitetem Grassamen. Die Matte wird mit Erdnägeln an die Böschungsfäche angedrückt. Anschließend sollte die Böschung zur Sicherung einer schnellen Verwurzelung und Begrünung für etwa einen Monat berieselt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Errichtung der textilbewehrten übersteilen Böschung vom Baubetrieb zügig und ohne Probleme durchgeführt werden konnte. Im Vergleich zur Variante "Winkelstützmauer" konnte eine Kosteneinsparung sowie eine Einsparung an Material und Transportleistungen nachgewiesen werden. Gleichzeitig ist gegenüber der Vergleichsvariante eine erhebliche Verkürzung der Bauzeit eingetreten.



Abb.10 Ansicht der Außenhaut der übersteilen Böschung während des Bauzustandes

Literaturverweise

- (1) Vorschrift der Staatlichen Bauaufsicht 120/83, Blatt 2 "Bewehrte Erde - Bewehrung mit Geotextilien", Staatliche Bauaufsicht 1983, Heft 8/9
- (2) Piesker, F. und Göbel, C.: Stützbauwerke aus textilbewehrter Erde. Bauplanung/Bautechnik 36 (1982) 2, S. 63 - 66
- (3) Piesker, F.: Untersuchungen zur Konstruktion und Berechnung von Stützbauwerken aus textilbewehrter Erde. Dissertation A, Hochschule für Verkehrswesen "Friedrich List" Dresden, 1983.