

Über 25 Jahre Erfahrungen in Deutschland mit geotextilbewehrten Verkehrsdämmen auf weichem Untergrund

Dr.-Ing. D. Alexiew, HUESKER Synthetic GmbH, Gescher
Dipl.-Ing. K.-H. Blume, Ing. Büro für Geotechnik, Overath
Dipl.-Ing. R. Hillmann, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Beschrieben werden zwei Straßenbauprojekte auf weichen Böden mit einer Basisbewehrung aus hochfestem Geotextilgewebe. Die Projekte, die in den Jahren 1981 bzw. 1986 begonnen wurden, zählen mit zu den ersten, bei denen das Überschütt- bzw. das Vorbelastungsverfahren in Kombination mit geotextiler Bewehrung zur Gründung von Verkehrsdämmen im Bundesfernstraßenbau eingesetzt wurden. Diese Projekte, die Messungen und deren Auswertung einschließlich des Langzeitverhaltens der Bewehrung bis zum Jahre 2010 (für 29 bzw. 24 Jahre) werden kurz vorgestellt. Diese Veröffentlichung ist eine Fortsetzung der Arbeiten, die im Zusammenhang mit diesen Verkehrsdämmen zwischen 1995 und 2005 durchgeführt und publiziert wurden. Unseres Wissens sind derartige Messungen und Untersuchungen über einen Zeitraum von mehr als 25 Jahren sehr selten und somit von großem Interesse.

1. Einleitung

In Deutschland ist das Überschütt- bzw. Vorbelastungsverfahren in Verbindung mit einer hochzugfesten Basisbewehrung aus Geokunststoff beim Bau von Bundesfernstraßen auf weichen Böden mittlerweile etabliert. Diese Entwicklung hängt eng mit der Entwicklung von Geokunststoffen in Deutschland zusammen, deren Bewehrungsfunktion von entscheidender Bedeutung ist.

Seit den 1970er Jahren ist die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) an derartigen Projekten beteiligt. Um die Wirkungsweise hochzugfester Gewebe als Bewehrung unter Dammaufstandsflächen zu untersuchen und Bemessungskriterien für dieses Anwendungsgebiet zu erarbeiten, wurden umfangreiche Untersuchungs- und Messprogramme an großmaßstäblichen Versuchsdämmen durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war es, das Konsolidierungs- und Verformungsverhalten des wenig tragfähigen Untergrundes, das Langzeitverhalten fertiger Straßen sowie das Kurz- und Langzeitfestigkeitsverhalten hochzugfester Gewebe messtechnisch zu erfassen und diese Kenntnisse im praktischen Straßenbau umzusetzen. Auch der Einfluss der Verkehrsbelastung auf das Setzungs- und Verformungsverhalten von Untergrund und Straße wurde im Labor und an Versuchsdämmen untersucht. (BASt (2005), Blume (1995 & 1996), Blume & Hillmann (1996)).

Für die Planung der Bundesautobahn BAB A 26, die die Städte Hamburg und Stade verbinden soll, wurde 1981 ein großmaßstäblicher Versuchsdamm in der geplanten BAB-Trasse nahe der Ortschaft Rübke errichtet („Testdamm Rübke“). Mit diesem Großversuch wurde ein Autobahnabschnitt mit hochfester Basisbewehrung simuliert. Bei dem Projekt, das bis heute verfolgt wird (inzwischen 28 Jahre), werden schwerpunktmäßig Untersuchungen zur Langzeitbeständigkeit der geotextilen Bewehrung durchgeführt.

Basierend auf den ersten, positiven Erfahrungen beim „Testdamm Rübke“ wurde 1986 die Ortsumgehung Großenmeer im Zuge der Bundesstraße 211 bei vergleichbaren Randbedingungen gebaut. Dabei konnte erstmalig auch die Dehnung der geotextilen Bewehrung mit den von der BASt entwickelten Dehnungsmessgeräten über bis heute 24 Jahre erfasst und beurteilt werden. Bei diesem Projekt wird schwerpunktmäßig über die Langzeitverformungen des wenig tragfähigen Untergrundes und über das Langzeitdehnungsverhalten der geotextilen Bewehrung berichtet („Testdamm Großenmeer“).

In den Jahren 1995 und 2009 wurden nach einer Einsatzzeit von 14 bzw. 28 Jahren Teile des hochzugfesten Polyestergewebes unter dem „Testdamm Rübke“ ausgegraben und deren Langzeitbeständigkeit untersucht. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Prüfungen werden präsentiert.

Die vorliegende Veröffentlichung setzt die Arbeiten von Blume & Alexiew (1998) sowie Alexiew & Blume (1999) fort. In diesen Arbeiten und in den Publikationen (BASt 2005, Blume 1995 & 1996, Blume & Hillmann 1996, Blume, Alexiew & Glözl 2006) sind weitere detaillierte Informationen enthalten. Aufgrund des begrenzten Platzes werden in der vorliegenden Arbeit nur die wichtigsten Informationen, Stand 2010, dargestellt.

2. Testdamm Rübke (1981)

2.1 Beschreibung des großmaßstäblichen Versuches

Die Abmessungen des Versuchsdammes richteten sich nach dem für die BAB A 26 vorgesehenen Regelquerschnitt RQ 26. Die wesentlichen Bodenkennwerte zur Charakterisierung der Torfeigenschaften sind in Bild 1 angegeben. Ausgehend von einer mittleren Gradientenhöhe von etwa 1,0 m über Gelände war eine

Schüthöhe von 3,6 m (Sandkörperdicke h_s) erforderlich, damit nach Eintritt der Setzungen der 4,4 m dicken Torfschicht noch eine Entlastung vorgenommen werden konnte. Die Berechnung der Standsicherheiten ergab, dass die Überschüttung bzw. Vorbelastung in zwei Stufen mit einer zwischengeschalteten Schüttpause und einer Böschungsneigung von 1:2 aufgebracht werden konnte und dass die Anordnung einer geotextilen Bewehrung in der Dammsohle erforderlich ist.

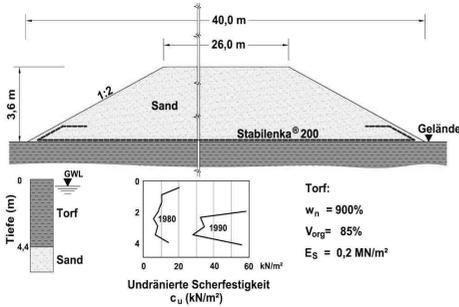


Bild 1: „Testdamm Rübke“: Übersicht

Um die Verformungen in Grenzen zu halten, wurden u. a. folgende typische Kennwerte der Bewehrung angesetzt:

- Kurzfristig mobilisierte Zugkraft ≥ 90 kN/m bei 5 % Dehnung,
- zusätzliche Kriechdehnung ≤ 1 % unter dieser Zugkraft in zwei Jahren,
- höchste Gesamtdéhnung ≤ 10 % unter einer Zugkraft von 200 kN/m.

Das bereits im Jahre 1981 verfügbare hochzugfeste Polyestergerewebe „Stabilenka® 200“ entsprach diesen Kriterien und konnte somit für diesen Großversuch eingesetzt werden.

Das Versuchsprogramm umfasste die Überschüttung bzw. Vorbelastung mit anschließender Konsolidierung, die Entlastung und eine erneute Teilbelastung. Die hochzugfeste geotextile Bewehrung wurde unmittelbar auf dem anstehenden Gelände (Grasnarbe) unter der Dammaufstandsfläche eingebaut.

Zur Beobachtung und Beurteilung des Verformungs- und Spannungsverhaltens wurden Setzungs-, Porenwasserdruck-, Sohldruck-, Neigungs- und Grundwasserstands-messungen durchgeführt.

2.2 Versuchsablauf und Messergebnisse

Der Porenwasserüberdruckverlauf zeigte bereits nach mehrstäufigen Schüttpausen einen raschen Abbau. Am Ende einer weiteren, zweimonatigen Schüttpause bei einer Sandkörperdicke von $h_s = 2,3$ m wurde über die Porenwasserdruckmessungen für diese Belastung bereits ein Konsolidierungsgrad von $U_z \geq 80$ % ermittelt. Nach den Ergebnissen der Porenwasserdruck-

und Setzungsmessungen stellte sich der Übergang zwischen den Primär- und Sekundärsetzungen des Torfes mit einem Konsolidierungsgrad $U_z \sim 90$ % bereits nach etwa 5,5 Monaten ein.

Die Anfangssetzung während der 1. Schüttphase ($h_s = 2,3$ m) betrug etwa 1,1 m. Die Gesamtsetzung nach 2 Jahren unter der Dammauflast von $h_s = 2,3$ m betrug etwa 1,7 m. Damit hatte sich die Ausgangsmächtigkeit des Torfes von etwa 4,4 m auf etwa 2,7 m verringert. Bei der Setzung zeigt sich ein signifikanter Rückgang der Setzungsgeschwindigkeit (Bild 2). Bereits 1998 betrug die Rate unter 0,5 cm/Jahr mit fallender Tendenz. Aufgrund der vernachlässigbaren Setzungszunahmen wurden die Messungen im Jahr 2004 eingestellt.

Die vom Setzungsprofil abgeleitete durchschnittliche Déhnung in der Bewehrung beträgt ca. 3 bis 4 %. Beim „Testdamm Rübke“ wurden noch keine direkten Déhnungsmessungen an der hochzugfesten Bewehrung durchgeführt.

Die horizontale Verformung am Dammfuß betrug in der Torfschicht maximal 18 cm und an der Geländeoberfläche 12 cm.

Die mit der Flügelsonde gemessene undränierete Scherfestigkeit des Torfes unter dem Damm, die im natürlichen Zustand vor Schüttbeginn im Mittel bei $c_u = 8,0$ kN/m² lag, stieg nach der dreimonatigen Schüttpause ($h_s = 2,3$ m) auf das Dreifache und nach Erreichen der Endhöhe ($h_s = 3,6$ m) auf das Vierfache des Ausgangswertes an. Im Jahr 1990 durchgeführte Flügelsondierungen ergaben eine weitere, geringe Verbesserung der Scherfestigkeit mit zunehmender Belastungsdauer (vergl. Sondierdiagramm in Bild 1).

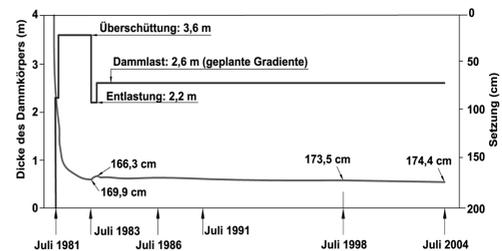


Bild 2: „Testdamm Rübke“: Belastungs- und Setzungsverlauf für 23 Jahre von Juli 1981 bis Juli 2004

2.3 Bewertung der Messergebnisse

Insgesamt verdeutlichen die Messergebnisse eine Verbesserung der Standsicherheitsbedingungen des Damms im Zuge der Konsolidierung unter Auflast. Durch die kontrollierte Laststeigerung beim Schüttrieb und durch die Bewehrungswirkung des hochzugfesten Gewebes konnten grundbruchartige Verformungen vermieden werden. Nachträgliche Berechnungen zur Anfangsstandsicherheit des Testdamms, bei denen

die Scherfestigkeit mit der Kohäsion des undrÄnirten Bodens gleichgesetzt wurde, ergaben eine wesentliche Verbesserung der Standsicherheitsbedingungen wÄhrend der DammschÜttung durch eine hier schnell verlaufende Konsolidierung. Die ausreichende Standsicherheit des Testdammes wurde durch die Ergebnisse der Verformungsmessungen neben der DammaufstandsflÄche bestÄtigt. Grundbruchartige Verformungen oder Verschiebungen des GelÄndes traten nicht auf. Das hochmodule, kriecharme Geogewebe verhinderte auch erfolgreich eine zu hohe Dammspreizung bzw. das Ausquetschen des weichen Untergrundes.

Die Ergebnisse über das Verformungsverhalten, die Konsolidierung und die Standsicherheit des Systems Damm/Basisbewehrung/Untergrund aus dem Messzeitraum von Juli 1981 bis MÄrz 1985 reichten aus, um die Anwendbarkeit des ÜberschÜttverfahrens in Kombination mit einer geeigneten hochzugfesten geotextilen Bewehrung fÜr den Neubau der BAB A 26 zu empfehlen der allerdings erst 2001 begann. Ein etwa 10 km langer Teilabschnitt der BAB A 26 konnte im Dezember 2008 fÜr den Verkehr frei gegeben werden. Dabei wurden Konzept, Bauweise und Basisbewehrung des Testdammes "R¼bke" erfolgreich analog umgesetzt. Zwei weitere Teilabschnitte befinden sich im Bau (Blume & Gl¼tzel 2003, Blume, Gl¼tzel & Lockemann 2004, Blume, Alexiew & Gl¼tzel 2006).

2.4 Dynamische Belastungstests

Im GroÙversuchsstand und im Labor der BASt sowie auf dem „Testdamm R¼bke“ wurden dynamische Belastungsversuche durchgef¼hrt. Damit sollte untersucht werden, ob dynamische Verkehrslasten den statischen Setzungsvorgang beeinflussen und zusÄtzliche Nachsetzungen verursachen. Die Messergebnisse der dynamischen Belastungsversuche am „Testdamm R¼bke“ zeigten, dass keine zusÄtzlichen Setzungen des Torfbodens aus Verkehrslasten zu erwarten sind. Ausf¼hrliche Informationen hierzu finden sich in Blume & Hillmann (1996) sowie Alexiew & Blume (1999).

3. StraÙenbauprojekt B 211 bei Grossenmeer: Test- und Referenzabschnitte (1986)

3.1 Beschreibung des Projekts

F¼r den Neubau der BundesstraÙe 211 bei GroÙenmeer konnte von der BASt aufgrund der positiven Erfahrungen mit dem „Testdamm R¼bke“ das ÜberschÜttverfahren in Kombination mit einer hochzugfesten geotextilen Basisbewehrung empfohlen werden. Von der BASt wurden die f¼r das Bauverfahren erforderlichen baubegleitenden Messungen und zusÄtzlich ein GroÙversuch durchgef¼hrt, mit dem Ziel, das Verhalten des unter der DammaufstandsflÄche eingebauten hochzugfesten Gewebes durch Dehnungsmessungen zu beobachten (Testabschnitt „TA“ und Referenzabschnitt „RA“, siehe unten).

Der StraÙendamm bei GroÙenmeer hat eine LÄnge von 2 km. Der wenig tragfÄhige Untergrund besteht aus 3 m bis 5 m dicken Bodenschichten aus Torf und stark organischen Schluffen, die von tragfÄhigem Sand unterlagert sind. Diese BaugrundverhÄltnisse waren mit denen vom „Testdamm R¼bke“ vergleichbar.

Der „TA“ wurde als Crashtest durchgef¼hrt. Die DammschÜttung mit einer H¼he von 4,5 m erfolgte in nur 4 Tagen mit einer steilen B¼schungsneigung von 1:2. Schwerpunkt beim „TA“ war die Provozierung einer hohen Auslastung der geotextilen Bewehrung in der Dammbasis. Der Damm im „RA“ wurde mit einer flacheren B¼schungsneigung von 1:3 langsam und nach den Ergebnissen der geotechnischen Messungen über einen Zeitraum von 12 Monaten hergestellt. Da sowohl der „TA“ wie auch der „RA“ spÄter in das endg¼ltige Bauwerk integriert werden sollten, musste auch beim „TA“ trotz Crash-Test-Konzept ein Grundbruch vermieden werden. Beide Abschnitte wurden messtechnisch durch Setzungs-, Porenwasserdruck-, Neigungs- und Grundwasserstandsmessungen überwacht.

Erstmalig konnten direkte Dehnungsmessungen an der hochzugfesten Basisbewehrung durchgef¼hrt werden. Insgesamt wurden 27 von der BASt entwickelte DehnungsmessgerÄte auf drei Gewebebahnen im „TA“ und im „RA“ jeweils halbseitig von der Achse der B 211 installiert.

Die Standsicherheitsberechnungen wurden gemÄÙ DIN 4084 (nach Bishop) durchgef¼hrt (Blume 1995 & 1996, BASt 2005, Alexiew & Blume 1999).

Um die geplante ÜberschÜttH¼he von 4,5 m und den erforderlichen Sicherheitsbeiwert von $\geq 1,2$ (globales Sicherheitskonzept, Bauzustand) zu erreichen, war eine effektive Zugkraft in der Basisbewehrung von etwa 200 kN/m erforderlich. Nach den Berechnungsergebnissen musste ohne geotextile Bewehrung bereits nach einer Dammh¼he von 2,6 m mit einem Grundbruch gerechnet werden.

Aus Gr¼nden der VerformungskompatibilitÄt mit dem verdichteten Sand und zur Begrenzung der seitlichen Spreizung des Dammes, wurden unter der Zugkraft von 200 kN/m eine Kurzzeitdehnung von maximal 5 % und aus Sicherheitsgr¼nden eine Gesamtdéhnung von maximal 6 % (Kurzzeit- plus Kriechdéhnung) zugelassen. Basierend auf den Isochronen wurde ein hochzugfestes Polyestergewebe mit einer Kurzzeitfestigkeit von 400 kN/m und einer H¼chstzugkraftdéhnung < 10 % gewÄhlt (Stabilenka® 400). Die BundesstraÙe B 211 (einschlieÙlich des „TA“ und des „RA“) wurde im Oktober 1990 f¼r den Verkehr freigegeben. Eine erste Erneuerung der Fahrbahn erfolgte nach 18 Jahren im Sommer 2008. Die Dehnungs- und Verformungsmessungen werden weiterhin durchgef¼hrt.

3.2 Messergebnisse und Bewertung

Die wichtigsten Ergebnisse für den „TA“ (Crashtest) sind in Bild 3 dargestellt. Die letzte Schüttlage für die geplante Dammhöhe von 4,5 m wurde nach 4 Tagen eingebaut. Bereits nach Einbau der 1. Schüttlage von 1,5 m wurden eine Dehnung des Gewebes von rd. 3 % und eine Setzung von 32 cm unter der Böschungsmittelpunkt gemessen. In diesem Bereich deutete sich lokal eine Schwächezone des Untergrundes an. Dies führte zu hohen lokalen Dehnungen und einer daran gekoppelten hohen Auslastung der geotextilen Bewehrung, was bei den Berechnungen für dieses Projekt nicht berücksichtigt worden war. Bei beiden Abschnitten konnte ein Versagen der Böschung nicht beobachtet werden. Die seitliche horizontale Verschiebung des Untergrundes am Dammfuß im „TA“ betrug maximal 40 cm. Bedingt durch die sehr geringe Tragfähigkeit des Torfes ist das System Damm/Untergrund bereits frühzeitig an die Grenze zum Bruchzustand geraten. Dieser Grenzzustand zeigt sich hier durch den Beginn eines Verdrängungsbruches im Untergrund, bei dem der Torf seitlich ausgequetscht wird. An einigen Stellen überstiegen die gemessenen Dehnungen des Geogewebes die der Bemessung zugrunde gelegten 5 % (Kurzzeit) und 6 % (Langzeit). Der Auslastungsgrad (mobilisierte Zugkraft / Kurzezeitfestigkeit) lag somit bei deutlich über 50 % (Stabilenka® – Daten, Huesker (1990 – 2010)) und näherte sich einem nicht planmäßigen, eher unsicheren Bereich. Derartige „Überraschungen“ müssen durch konservativere Annahmen und Lösungen berücksichtigt werden, denn offensichtlich kann auch ein ordentlich erkundeter und als im Plan homogen gedachter weicher Untergrund risikobehaftete „Schwachbereiche“ aufweisen.

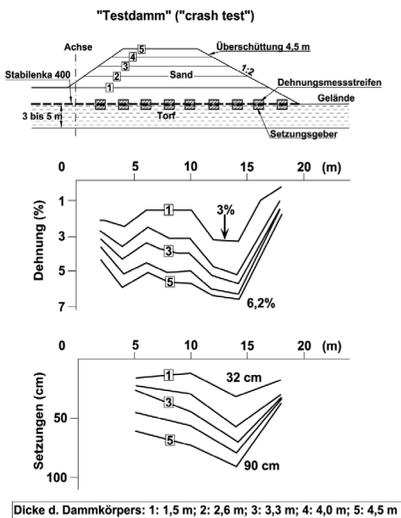


Bild 3: „Testabschnitt“ (TA) Großenmeer: Dammschüttung (5 Lagen in 4 Tagen), Setzungen und Dehnungen

Die Messungen im „Testabschnitt“ (TA) mussten 1993 aus verschiedenen Gründen eingestellt werden. Dagegen konnten die Dehnungs- und Setzungsmessungen im „Referenzabschnitt“ (RA) bis heute fortgesetzt werden. Weiterführende Informationen zum „RA“ finden sich z.B. in Blume & Hillmann (1996) oder BASt (2005). Die Messungen erfolgten bis 2001 einmal jährlich, dann je einmal 2004, 2009 und 2010. Insgesamt wurde bis heute über mehr als 24 Jahre gemessen. In Bild 4 sind die Ergebnisse der Langzeitmessungen dargestellt. Die maximal gemessenen Setzungen betragen zum Zeitpunkt des Abtrages der Überschüttung etwa 205 cm. Der anschließende Abtrag bewirkte eine Hebung um etwa 10 cm. Nach Herstellung des Oberbaus und in den 20 Jahren unter Verkehr erfolgte eine Setzungszunahme von insgesamt etwa 12 cm.

Die gemessenen Dehnungen der geotextilen Bewehrung mit etwa 7,3 % bleiben vom Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe im Jahre 1990 bis 2010 nahezu konstant. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die geotextile Bewehrung 24 Jahre nach dem Einbau noch immer unter Spannung steht. Basierend auf dem kurz- und langfristigen Spannungs-Dehnungs-Verhalten (Isochronen) des verwendeten Geogewebes (Stabilenka® 400) betrug der Auslastungsgrad während einer Peakphase rund 70 %. Danach ging er bis heute auf ca. 60 % zurück. Dies sind ungewöhnlich hohe Auslastungsgrade. Eine exakte Bewertung dieser Ergebnisse ist schwierig. Relaxation und weitere Prozesse können den Zustand der Bewehrung beeinflusst und die effektive Zugkraft reduziert haben.

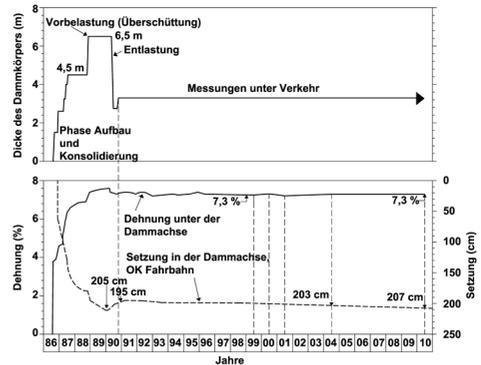


Bild 4: „Referenzabschnitt“ (RA) Großenmeer: Belastung, Setzung und Dehnung der Bewehrung über 24 Jahre (1986 – 2010)

Die Dehnungsmessungen am Gewebe zeigen, dass die durch das Verformungsgeschehen initiierten Dehnungen entsprechend den Belastungsbedingungen in dem System Damm/Geotextil/Untergrund langfristig konserviert sind. Der Rückschluss aus dieser Feststellung auf die noch vorhandene Zugkraft im Gewebe ist jedoch nicht ohne Erkenntnisse über den Erhaltungszustand möglich. Zur Abschätzung der Größe dieser Veränderungen sollen die Untersuchungen an den am

„Testdamm Rübke“ entnommenen Gewebeproben beitragen. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von „Großenmeer“ und vom „Testdamm Rübke“ wird dabei vorausgesetzt.

4. Untersuchungen des Geogewebes der Basisbewehrung des Testdamms Rübke nach 14 und 28 Jahren

4.1 Beschreibung der Ausgrabungen und Prüfungen

In 1995 (nach 14 Jahren)

Die BAST hat 1995 in Absprache mit dem Arbeitsausschuss 5.15 „Anwendung von Geotextilien und Geokunststoffen im Straßenbau“ der FGSV die erforderlichen Maßnahmen für die Untersuchungen an ausgegrabenen Gewebeproben initiiert. Da eine Probeentnahme unter dem Straßendamm Großenmeer der B 211 nicht möglich ist, wurde von der BAST vorgeschlagen, die Ausgrabungen unter dem Testdamm Rübke vorzunehmen.

Im September 1995 (14 Jahre nach Einbau) wurden Teile des hochzugfesten Gewebes Stablenka® 200 (über 100 m²) an der Basis des Testdamms mit finanzieller Unterstützung des Herstellers freigelegt und entnommen.

Das Geotextil lag aufgrund der hohen Setzungen unter der Geländeoberfläche unterhalb des Grundwasserspiegels. Nähere Informationen zur Entnahme der geotextilen Bewehrung finden sich in Blume & Hillmann (1996) und Alexiew & Blume (1999). Das freigelegte Gewebe befand sich in einem gespannten Zustand. Diese Beobachtung passt zu den Ergebnissen der Dehnungsmessungen unter dem Referenzabschnitt (RA) bei Großenmeer (Bild 4).

Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass lokale Beschädigungen des Gewebes inkl. Abriebs beim Entnahmeprozess nicht vermieden werden konnten. An den Gewebeproben und insbesondere an Garnen (Filamenten) wurden bereits in 1995 eingehende mechanische und chemische Untersuchungen durchgeführt, wobei etliche Einflussfaktoren von der Herstellung über Einbau, Ausgrabung und Prüfung analysiert wurden. Die Untersuchungen wurden von der BAM bis 2004 noch detaillierter fortgeführt (BAM 2004).

In 2009 (nach 28 Jahren)

In 2009 begaben sich die Autoren in Abstimmung mit der BAST zurück nach Rübke, um 28 Jahre nach dem Bau erneut Gewebe aus dem Boden zu entnehmen. Es wurden dasselbe Verfahren und dieselben Techniken angewandt wie in 1995 und über 60 m² Material aus unterschiedlichen Positionen entnommen. Alle Umstände und Techniken der Entnahme glichen denjenigen im Jahr 1995, und es wurden daraufhin die gleichen mechanischen und chemischen Untersu-

chungen wie in 1995 durchgeführt, (Alexiew & Blume 1999) womit unter anderem auch eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben ist.



Bild 5: Ausgrabung des Geogewebes in 2009

4.2 Ergebnisse und Bewertung

In 1995 (nach 14 Jahren):

Die mechanischen Untersuchungen (Blume & Hillmann 1996, Alexiew & Blume 1999) an größeren Materialmengen aus unterschiedlichen Geogewebebereichen, insbesondere an Filamenten des Geogewebes (als am besten geeigneten Kriterium in Vergleich zu Daten aus 1981, Alexiew & Blume 1999) ergaben nach statistischer Aufarbeitung die Dehnung-Zugkraft-Kurven auf Bild 6, Kurven „1995“. Bei der Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse der mechanischen Prüfungen wurde wie früher erwähnt eine Reihe von festigkeitsmindernden Einflüssen an den Filamenten berücksichtigt, wobei eine mögliche unpräzise Variable die Einbaubeschädigung ist, und die größte unbekannte die Beschädigung bei dem Ausbau war (Zerrungen, Abrasion, Sandeinlagerungen usw.), und die aufgrund von Erfahrungen eher geschätzt wurde (Alexiew & Blume 1999). Es wurde ein Festigkeitsverlust unter Spannung in gesättigten Böden von ca. 1,5 % in 14 Jahren ermittelt, also knapp unter 1% in 10 Jahren. Die Ergebnisse ließen auf eine hohe Alterungsbeständigkeit des Gewebes gegenüber Umwelteinflüssen schließen. Die chemischen Untersuchungen (Molekulargewicht etc.) ergaben nur geringe Änderungen in Vergleich zum Originalzustand.

Die in der darauffolgenden Zeit durchgeführten sehr detaillierten Untersuchungen an der BAM Berlin (BAM 2004) fielen fast noch positiver aus und lassen einen Festigkeitsverlust unter 1 % statt 1,5 % in 14 Jahren vermuten.

In 2009 (nach 28 Jahren):

Die mechanischen Prüfungen liefen völlig analog zu denen in 1995. Es wurden 45 Tests aus drei unterschiedlichen Entnahmebereichen durchgeführt. Das

Dehnung-Zugkraft-Verhalten des Materials aus 2009 ist auch in Bild 6 dargestellt (Kurven „2009“). Die wesentlichste Tatsache im Vergleich zu den Daten aus dem Jahr 1995 ist die, dass während der weiteren 14 Jahre bis 2009 keine weitere Abnahme der Festigkeit und generell keine Änderung des mechanischen Verhaltens (d.h. des „Zugkraftpfades“) festgestellt werden kann. Auch der Streubereich der Ergebnisse ist identisch. Zwischen 1995 und 2009 beträgt somit der registrierte Festigkeitsverlust praktisch 0 %.

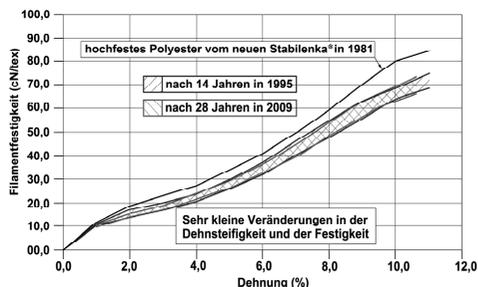


Bild 6: Testdamm „Rübke“, Filamentfestigkeit nach 14 und 28 Jahren in wassergesättigtem Boden unter Spannung

Analog zu 1995 wurden auch chemische Untersuchungen durchgeführt, bei denen die versuchsbedingten Streuungen größer zu sein scheinen als etwaige weitere alterungsbedingte Veränderungen.

Der Vergleich der Auswertungen der Festigkeitsverluste nach 14 Jahren (1995: 1,5%) und nach 28 Jahren (2009: 1,5 %) führt zu drei Hypothesen:

Hypothese 1. Nach einem gewissen Festigkeitsverlust in den ersten 14 Jahren ist der Prozess nach 1995 praktisch zum Stillstand gekommen.

Hypothese 2. Der Einfluss der Streuung im gemessenen Festigkeitsverlust ist vergleichbar mit dem gemessenen Festigkeitsverlust selbst. Dann ist die in 2009 unter den gleichen Voraussetzungen, Annahmen und Streuungen wie in 1995 ermittelte Reduzierung mit immer noch den gleichen ca. 1,5 % tatsächlich über den Gesamtzeitraum von 28 Jahren (1981 – 2009) aufgetreten und zu verteilen. Das entspricht einem Festigkeitsverlust von ca. 5 % in 100 Jahren, und nicht von ca. 10 % wie eine Extrapolation aus Alexiew & Blume (1999) ergibt.

Hypothese 3. Die Festigkeitsabnahme infolge Einbaubeschädigung und insbesondere infolge Ausgrabung und Ausbau (Zerrungen, Abrasion, Sandeinlagerung usw.) ist de facto größer als bei den Auswertungen in 1995 und identisch in 2009 angesetzt. Dann wäre der Verlust an Festigkeit vorwiegend auf diese Faktoren zurückzuführen, und nicht auf die „Alterung“, die dann bei z.B. 1 % oder 0,5 % läge (im Extremfall bei 0 %).

Hypothese 1 ist wenig wahrscheinlich. Die Hypothesen 2 und 3 erscheinen eher plausibel und liefern dann einen Festigkeitsverlust des getesteten Geogewe-

bes Stablenka® zwischen 0 % und 5 % in 100 Jahren. Das korrespondiert gut auch zu den Ergebnissen der BAM (2004) und bedeutet, dass die in Alexiew & Blume (1999) angegebenen Verluste (hochgerechnet ca. 10 % in 100 Jahren) zu hoch angesetzt waren.

Dies ist neben den sehr wertvollen Erkenntnissen zum Bauverfahren, langzeitigen Systemverhalten etc. wohl eines der bis heute wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse nach 28 Jahren „Testdamm Rübke“.

5. Schlussbemerkungen

In Deutschland wurden zwei Projekte von Straßendämmen auf weichem Untergrund mit Basisbewehrung aus hochfestem Gewebe ins Leben gerufen: „Rübke“ im Jahr 1981 und „Großenmeer“ im Jahr 1986. Bei „Rübke“ handelt es sich um einen reinen Testdamm für die spätere BAB A 26 Stade-Hamburg. „Großenmeer“ dagegen ist Bestandteil der Bundesstraße B 211. Es wurde hochmoduliges Polyestergerewebe mit einer Kurzzeifestigkeits von 200 kN/m bzw. 400 kN/m und einer Grenzdehnung < 10 % eingesetzt. In beiden Fällen erfolgte eine langjährige messtechnische Beobachtung. Unter anderem sind die ganz spezifischen Schwerpunkte bei „Rübke“ die Dauerbeständigkeit der Geokunststoffbewehrung nach 28 Jahren und bei „Großenmeer“ deren direkt gemessene Langzeitdehnung über 24 Jahre.

Nach 24 bzw. 28 Jahren lauten die wichtigsten Erkenntnisse aus den Projekten:

Die Stabilitätsberechnungen gemäß DIN 4084 (Bishop) sind ausreichend genau, zumindest, wenn eine hohe Zugkraft bei geringen Kurz- und Langzeitdehnungen gesichert ist, um auch große Verformungen zu begrenzen.

Es sind Überraschungen im Untergrund möglich, die lokal zu Überlastungen der Bewehrung führen können: konservative Ansätze sind geboten, obwohl das hier verwendete Geogewebe die Überlastung „überlebte“.

Die bei diesen Projekten festgestellten zusätzlichen Langzeitsetzungen unter Betrieb sind technisch unkritisch (12 cm in 20 Jahren, Großenmeer).

Das Überschuttverfahren in Kombination mit einer geeigneten Basisbewehrung kann aus jeglicher Sicht als Stand der Technik gelten.

Die Geokunststoffbewehrung steht nach 24 Jahren noch immer unter Spannung und „arbeitet“ trotz praktisch abgeschlossener Konsolidierung.

Die Reduzierung der Festigkeit und der Zugmodule des hier eingesetzten Geogewebes infolge der „Alterung“ (Umwelteinflüsse) beträgt basierend auf der Erfahrung nach 28 Jahren zwischen 0 % und 5 % in 100 Jahren. Das lässt auf eine sehr hohe Dauerbeständigkeit schließen.

6. Literatur

Alexiew D., Blume K.-H. (1999). *German long-term experience with reinforced embankments on soft subsoil: performance and durability*. Proc. 11th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Foz do Iguassu.

Alexiew D., Blume K.-H. (2010). *Two reinforced embankments on soft soils: Experience after more than twenty years*. Proc. 9th Int. Conf. on Geosynthetics, Guarujá. S. 1851-1854.

BAM (Schröder H.) (2004). Abschlussbericht, *Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt, Untersuchungen von ausgegrabenen Proben*, Berlin.

BAST-Bericht S 44: Bürger, Blossfeld, Blume, Hillmann (2005). *30 Jahre Erfahrungen mit Straßen auf wenig tragfähigem Untergrund*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach.

Blume, K.-H. (1995). *Großversuch zum Tragverhalten textiler Bewehrung unter einer Dammaufstandsfläche*. Straße und Autobahn, Heft 06/95.

Blume, K.-H. (1996). *Long-term measurement on a road embankment reinforced with a high-strength geotextile*. Proc. EuroGeo I 1996, Maastricht, Balkema, Rotterdam, S. 237 – 244.

Blume, K.-H., Hillmann, R. (1996). *Untersuchungen an geotextilbewehrten Dämmen auf Torf*. Deutsche Bau-Grundtagung 1996, Berlin, DGGT, S. 481 – 494.

Blume K.-H., Alexiew D. (1998). *Long-term experience with reinforced embankments on soft subsoil: Mechanical behavior and durability*. Proc. 6th Int. Conf. on Geosynthetics, Atlanta, S. 663-668.

Blume, K.-H., Glözl, F. (2003). *Anwendung der Beobachtungsmethode am Beispiel der BAB A 26*. Tagungsband Erd- und Grundbautagung der FGSV 2003, Stade.

Blume, K.H., Glözl, F., Lockemann, K. (2004). *Construction of the Federal Highway A 26 in Germany: Foundation of reinforced dams in soft soils-application of the control method according to DIN 1054*. Proc. EuroGeo 3, München.

Blume, K.-H., Alexiew, D., Glözl, F. (2006). *The new federal highway (Autobahn) A26 in Germany with high geosynthetic reinforced embankments on soft soils*. Proc. of the 8th Int. Conf. on Geosynthetics, Yokohama, S. 912 – 916.

Huesker Synthetic GmbH (1990 – 2010). *Stabilenka® – Firmenliteratur*.