

FIBO EXCLAY

Dokumentation

Geotechnik

Vortrag 1.7

Sanierung des Straßendamms der B 202 zwischen Grevenhorst und Erfde in halbseitiger Bauweise mit LECA[®] GEO und Geokunststoffen

Hans-Joachim Weist, mit freundlicher Unterstützung des Straßenbauamtes Flensburg und des Ingenieurbüros für Geotechnik Dr.-Ing. Christoph Lehnert + Dipl.-Ing. Niels Wittorf

Sanierung des Straßendamms der B 202 zwischen Grevenhorst und Erfde in halbseitiger Bauweise mit LECA[®]GEO und Geokunststoffen

Hans-Joachim Weist, mit freundlicher Unterstützung des Straßenbauamtes Flensburg und des Ingenieurbüros für Geotechnik Dr.-Ing. Christoph Lehnert + Dipl.-Ing. Niels Wittorf

Zusammenfassung

Die Sanierung des Straßenabschnittes Sandschleuse - Grevenhorst der B 202 wurde vom SBA Flensburg 1997 in verschiedenen Varianten geplant. Nach der Vorstellung des Leichtbaustoffes LECA[®]GEO durch die Firma Fibo Exclay Deutschland GmbH im Jahre 1999 beauftragte das SBA Flensburg das Büro für Geotechnik Dr.-Ing. Lehnert + Dipl.-Ing. Wittorf das Bauvorhaben mit der Variante „Leichtbaustoff Blähton“ zu überarbeiten. So wurde dieser Bauabschnitt im Frühjahr 2001 ausgeschrieben und von der Firma Matthäi Bremen im Juni 2001 mit der Bauausführung begonnen, Ende der Bauarbeiten war September 2002.

Die Sanierung war nur mit halbseitiger Sperrung von max. 200 Metern durchzuführen. Dadurch ergibt sich die Bauweise mit Spundwand, ~ 8,50 m Länge, ohne Verankerung (ein erstmals in Norddeutschland durchgeführtes Bauverfahren) -bewehrter Verbau mit dem Leichtbaustoff Blähton (LECA[®]GEO der Körnung 8-16 mm) von der Herstellerfirma Fibo Exclay Deutschland GmbH aus dem Werk Lamstedt. Eingeschlagen wurde der Blähton in Geotextil (PET Stablenka 400) der Firma Huesker.

Im zu sanierenden Streckenabschnitt zwischen km 21,500 und 23,100 weist die B 202 erhebliche Fahrbahnschäden auf, die sich nach Angaben des Straßenbauamtes Flensburg als Risse mit zunehmenden Öffnungsweiten, Absackungen und Abrisse zeigen.

Vom Straßenbauamt Flensburg wurde Blähton (LECA[®]GEO 8-16 mm) als Leichtbaustoff bei der Sanierung des Straßendamms der B 202, km 21,500 – 22,300 (Sandschleuse – Grevenhorst) eingesetzt. Von diesem Projekt wird nachfolgend berichtet.

1. SANIERUNG DES STRAßENDAMMES IM ZUGE DER B 202 - SANDSCHLEUSE GREVENHORST

1.1 Baubeschreibung

Im Untersuchungsgebiet verläuft die Straße durch ein von der EU im Rahmen der FFH-Richtlinie definiertes Naturschutzgebiet mit Geländehöhen zwischen ca. NN +0,3 m und -1,2 m. Die Fahrbahn liegt auf einem ca. 2 bis 3 m hohen Dammkörper in der Flußniederung der „Alten Sorge“, westlich des Königsmoores.

Zwischen den km 21,500 und 22,100 kreuzt die Bundesstraße das ehemalige Bett des Gewässers, das in diesem Abschnitt vor der Umlegung relativ stark mäandrierte und nordwestlich der Straße noch Altarme aufweist.

Beiderseits der Fahrbahn steht im Abstand von ca. 2 m ein hoher Pappelbewuchs mit Stammdurchmessern von ca. 0,5 bis 0,7 m, der von der Unteren Naturschutzbehörde des Kreises Schleswig-Flensburg als prägendes Landschaftselement bewertet wird.

Nach der geologischen Übersichtskarte, Blatt Neumünster, sind im Untersuchungsabschnitt holozäne Bildungen der Marschengebiete in Form

von brackischen Ablagerungen (Tone, teilweise humos) im Nordosten, Richtung Meggerholm, sowie Hochmoorbildungen (Torfe unterschiedlichen Zersetzungsgrades) im Südwesten, Richtung Grevenhorst, zu erwarten.

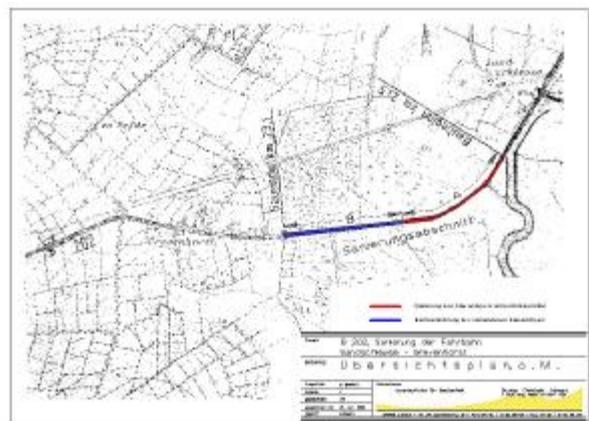


Bild 1: Lageplan

Diese gehen an den Rändern der Niederung in glazifluviale Ablagerungen des Pleistozän über.

Im Südwesten sind dies Sande der Saale-Kaltzeit (Warthe-Stadium) die auf Grundmoräne lagern, dagegen handelt es sich im Nordosten um wechsel-eiszeitliche Sande und Dünen. Dementsprechende Bodenverhältnisse wurden tatsächlich angetroffen.

Die Verkehrsbelastung ist nach einer Erhebung aus dem Jahre 1995 wie folgt:

4788	KFZ/24h gesamt, davon
4201	KFZ Personenverkehr und
587	KFZ Güterverkehr mit
442	KFZ Schwerverkehr

1.2 Bodenverhältnisse

Zur Erkundung des Straßenaufbaus und der Bodenverhältnisse wurden im Oktober 1996 insgesamt 9 Schürfruben ausgehoben und 20 Sondierbohrungen zwischen 7,0 und 15,0 m unter Geländeoberkante niedergebracht.

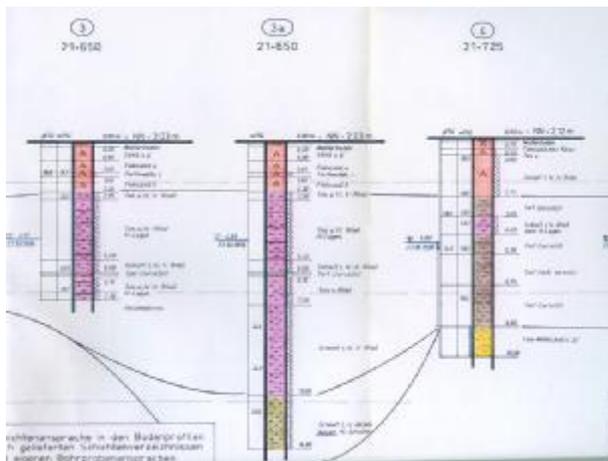


Bild 2: Bohrprofile

Nach den Schürfrubenaufnahmen besteht der Straßenaufbau aus ca. 3 bis 6 cm Asphaltdecke über einer sehr wechselhaften, ca. 7 bis 30 cm starken Tragschicht, die aus Schotter und Sand oder als bituminöse Tragschicht hergestellt wurde. Die einzelnen Schichten sind bis zu 5-lagig ausgeführt oder als Paket mehrfach im Wechsel gelagert. Darunter folgt überwiegend eine 15 bis 20 cm dicke Steinlage aus kantengerundeten Geröllen.

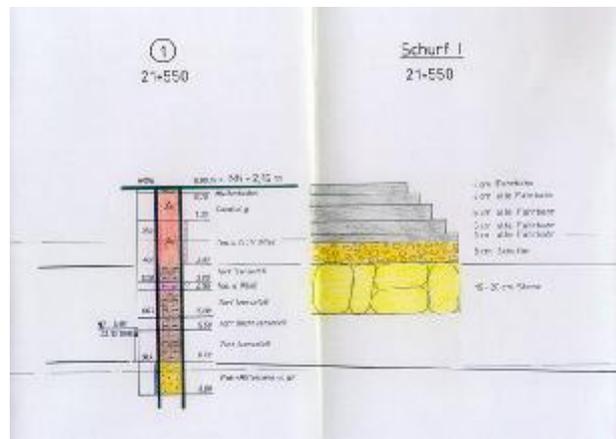


Bild 3: Schurf bei km 21, 550

Die Auffüllungen des Dammkörpers bestehen vornehmlich aus Sanden mit unterschiedlich ausgeprägten Anteilen von Schluffen und Kiesen, aus Schluffen und Tonen, sowie Kleiaufschüttung (insbesondere in Richtung Meggerholm).



Bild 4: Rissbildung auf der Fahrbahn

Örtlich enthalten die Auffüllungen auch geringmächtige Lagen aus humosen Feinsanden oder Torfmudden.

Die Gesamtstärke der Aufschüttungen beträgt ca. 1,0 bis 3,0 m. In Richtung Grevenhorst wurden ca. 4,0 bis 4,9 m ermittelt, da hier unter dem Dammkörper selbst noch Kiese und Sande aufgefüllt sind.

Darunter stehen im Abschnitt etwa bis km 21,870 in Wechsellagerung Klei und Torfe an, während etwa ab km 21,870 fast ausschließlich Torfe angetroffen wurden.

Die Mächtigkeit dieser organischen Weichschichten beträgt im Abschnitt bis km 21,870 generell ca. 3,7 bis 6,1 m, in den zwei festgestellten Rinnen bei km 21,650 und 21,756 sogar ca. 9,3 bzw. 11,2 m, ab km 21,900 dagegen nur etwa 2,1 bis 4,2 m.

Bis zu den Endteufen wurden sodann in flächenhafter Verbreitung Fein- und Mittelsande und lokal auch Geschiebelehm bzw. -mergel angetroffen. Die Auffüllungen des Dammkörpers sind bei vorwiegend sandiger Ausprägung etwa locker bis mitteldicht gelagert. Dagegen haben die Kleiaufschüttungen mit natürlichen Wassergehalten von ca. 16,0 % bei überwiegend schluffiger Ausprägung steife bis halb feste Konsistenz und mit bis zu 55,7 % bei toniger Zusammensetzung weiche (eigentlich schon breiige) bis etwa steife Zustandsform.

Die organische Substanz wechselt beim Ton zwischen 9,9 und 56,5 % sehr stark aufgrund der humosen Beimengungen und beträgt bei Torfmudden ca. 80,9 %.

Die Tragfähigkeit der Dammaufschüttungen ist somit als sehr wechselhaft, jedoch als gering bis mäßig einzustufen. Formänderungen treten bei den Sanden als Kornumlagerungen durch statische oder dynamische Belastungen (Erschütterungen) oder durch Wassersättigung auf.

Für die im Untersuchungsgebiet an der Bundesstraße B 202 vorhandenen Straßenschäden sind insgesamt folgende Ursachen festzustellen:

1. Durch die eingeschränkte Tragfähigkeit der Böden sind Bruchzustände im Dammkörper und im Untergrund unter hohen Verkehrslasten vorhanden. Diese Brüche sind (noch) nicht durch die charakteristischen Aufwölbungen des Dammfußes sichtbar, wohl aber durch die Risse im Straßenbelag („Spreizbruch des Dammkörpers“).
2. Der Straßenoberbau bzw.-unterbau ist unter hohen Verkehrslasten an vielen Stellen zu schwach und allgemein sehr unregelmäßig. Dies ergibt sich aus dem Vergleich der örtlichen Verhältnisse mit dem Regelaufbau der Bauklasse III.
3. Außergewöhnliche Klimaeinflüsse (Feuchte- / Trocken- bzw. Frost-/Tauwechsel im Boden und Straßenaufbau), die gerade in den vergangenen Jahren zu verzeichnen waren, beschleunigen eine fortschreitende Schadensentwicklung in den vorhandenen Rissen im Straßenbelag.

4. Langfristige Verformungen des Dammkörpers bzw. -untergrundes durch Konsolidierungsvorgänge und den anhaltenden biochemischen Abbau der organischen Substanz in organogenen Böden sind noch wirksam.

Das festgestellte, beträchtliche Schadensbild und die Ursachen, die zum überwiegenden Teil auch mit wirtschaftlichem Einsatz beeinflussbar sind, machen eine durchgreifende Sanierung des Straßenabschnittes erforderlich.

1.3 Sanierungsmöglichkeiten

Die Schadensbilder und die in der Schadensanalyse durchgeführten, vergleichenden Standsicherheitsberechnungen deuten bereits darauf hin, daß örtlich differenzierte Anforderungen an die Sanierungsmaßnahmen zu stellen sind.

Es sind zwei Sanierungsabschnitte zu unterscheiden:

Sanierungsabschnitt

„A“ km 21,5 bis km 22,3 (ca. 800 m)

„B“ km 22,3 bis km 23,1 (ca. 800 m)

Allgemein gelten die folgenden Bedingungen für die Sanierung:

Der Dammkörper muß im Bau- und Endzustand unter allen Belastungen standsicher und verformungsarm sein

Bauzeitlich muß zumindest eine einspurige Verkehrsführung, ggf. über neue seitliche Anschüttungen (z.B. für einen Radweg), gewährleistet sein.

Der Pappelbewuchs am Straßenrand ist zu schützen.

Mögliche durchgreifende Sanierungsverfahren, die erfahrungsgemäß wirtschaftlich vertretbar sind, sind zwischen des Bodenersatzes und der Bodenverbesserung zu unterscheiden.

1.4 Sanierung mit Leichtbaustoff Blähton

Die Sanierungsvariante „Bodenaustausch“ wurde unter dem Aspekt der Herstellung eines neuen Straßendamms mit erhöhter Scherfestigkeit und geringer Verformungsneigung angeführt.

An ein derartiges Bodenersatzmaterial zu stellende Eigenschaften werden nach Hersteller- und Literaturangaben auch von dem Produkt Blähton erfüllt. Die Korngrößenverteilung liegt zwischen ca. 0 mm und 32 mm, angewendet wird im Straßenbau vielfach die Lieferkörnung 8–16 mm.

Der Blähton wird in Drehöfen bei Temperaturen von 1.000 bis 1.200 °C in einem kontrollierten Prozeß hergestellt, wobei das Granulat geschlossene Poren und eine geschlossene Kornoberfläche erhält.

Nach Literatur- und Herstellerangaben liegen eine Vielzahl von Erfahrungen mit dem Material (insbesondere aus Skandinavien) vor. Demnach sind die wesentlichen Vorteile die Beständigkeit gegen biologische und chemische Angriffe sowie Witterung (Feuchtigkeit und Frost), so daß die Umweltverträglichkeit und die langfristige Beständigkeit dieses mineralischen Baustoffes vorhanden ist.



Bild 5: Drehrohrofen Werk Lamstedt

Das Material weist ein geringes Korn- und Schüttgewicht sowie eine gute Scherfestigkeit auf. Unterkornanteile erhöhen das Schüttgewicht entsprechend stark.

Die Korndruckfestigkeit ist im Vergleich zu Sanden oder Kiesen naturgemäß geringer, so daß der lastverteilenden Wirkung des Straßenoberbaus besondere Bedeutung zuzumessen ist. Bedingt durch die geringe Korndichte ist für Schüttungen, die zumindest zeitweise unter dem Grundwasserspiegel liegen können, die Auftriebssicherheit nachzuweisen.



Bild 6: LECA®GEO der Körnung 8/16 mm

Prüfmethoden zur Qualitätssicherung der eingebauten Schüttung sind im neuen Merkblatt enthalten.



Bild 7: Geotextil zur Trennung der Schüttung

Aufgrund der großen Hohlräume des geschütteten Kornhaufwerkes ist die Anordnung eines Geotextils zum benachbarten Boden und zum Straßenaufbau erforderlich.

Weiterhin ist eine Dammkern-Entwässerung erforderlich um das Blähton-Material dauerhaft trocken zu halten. Im Abstand von ca. 100 m sind seitliche Ausläufe als spülbare Bögen anzuordnen. Wegen der Hochwassermöglichkeit, bei der eine Flutung des Dammkernes eintreten kann, werden Rückstauverschlüsse erforderlich.



Bild 8: Drainage zur Entwässerung des Dammes

Nach Angaben des Eider-Verbandes liegt der zu sanierende Straßendamm im möglichen Hochwasser-Einflußbereich der Eider, für den ein Bemessungshochwasser von NN +2,0 m anzusetzen ist. Durch einen möglichen Rückstau der Eider beim Schließen des Sperrwerkes ist demnach beiderseitig des Straßendamms der Wasseranstau auf NN +2,0 m einzuplanen. Dies bedeutet, daß der Dammkörper aus Blähton an beiden Flanken eine mineralische Dichtung erhalten muß.

1.5 Regelquerschnitt mit dem Leichtbaustoff Blähton (LECA® GEO)

Um auf der ganzen Sanierungsstrecke „A“ einen gleichmäßigen Dammaufbau zu gewährleisten, sollte der Bodenersatz (Bodenaustausch) den gesamten Dammkörper umfassen.



Bild 9: Dammkern aus Blähton

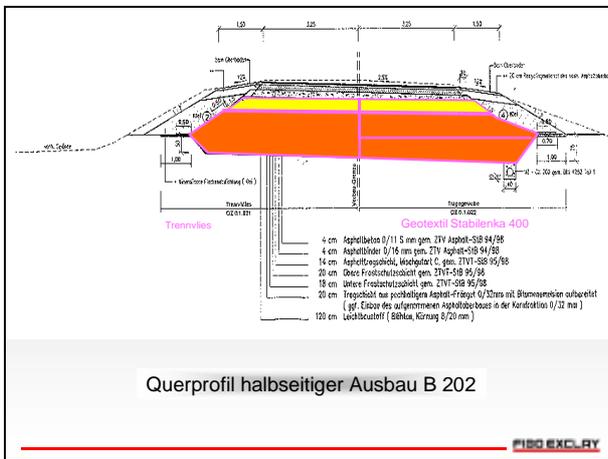


Bild 10: Querprofil

In dem nachfolgend dargestellten Regelquerschnitt sind die besonderen Entwurfsbedingungen der angefuhrten Bauteile zu unterscheiden:

- Dammkern aus Blähton-Schuttung (1,2 bis 1,4 m stark) mit Trennvlies (und z.T. ggf. hochfeste Gewebbahn) zum umgebenden Boden sowie Langsdragen
- Aufbau des Straenoberbaus (60 cm) mit zusätzlicher Unterbauverbesserung (20 cm stark, Bodengruppen SW - GW nach DIN 18196 oder Wiederverwendung des vorhandenen Asphaltaufbau-Materials, gebrochen auf eine Körnung von 0 – 32 mm) zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Unterbaus.



Bild 11: Unterbauverbesserung

- Dammfu aus bindigem mineralischen Material (vorhandener Klei, ca. 0,8 m Höhe) als seitlicher Stützkörper für die Blähton-Schuttung und unterer Teil der mineralischen Flankenabdichtung
- Oberer Teil der mineralischen Flankenabdichtung aus bindigem mineralischen Material (z.B. Aushubmaterial aus dem vorhandenen Dammkörper, Klei $\geq 0,6$ m Stärke)



Bild 12: Mineralische Flankenabdichtung

- Oberer Teil der mineralischen Flankenabdichtung aus bindigem mineralischen Material (z.B. Aushubmaterial aus dem vorhandenen Dammkörper, Klei $\geq 0,6$ m Stärke)
- Oberflächenbefestigung der Bankette aus Kies-Sand oder Recycling-Material



Bild 13: Stützkörper für die Schuttung

1.6 Herstellungsverfahren

Aufgrund der notwendigen halbseitigen Verkehrsführung während der Bauzeit und der vorgegebenen Maketten ergibt sich die folgende Variante



Bild 14: Spundwandverbau - Straenmitte

für die Herstellung des Bodenaustausches mit dem Leichtbaustoff LECA®GEO:
 Bodenaustausch im Schutz eines Spundwandverbau in Straßenmitte, der für beide Bauzustände nutzbar ist.

1.7 Erdstatische Nachweise

Infolge der Bodenentspannung können – insbesondere bei den Torfen im Untergrund – Hebungen verursacht werden, die nach der Wiederbelastung als rasch abklingende Verformung eintreten. Der Entlastungsmodul E_E (MN/m²) beträgt bei den organogenen Böden erfahrungsgemäß etwa das Doppelte des Steifemoduls E_S (Belastungsmodul). Die Hebung der Untergrundschichten infolge Abtrags einer ca. 2,0 m hohen Dammschüttung mit Raumgewichten von ca. 15 bis 18 kN/m³ beträgt je Meter Torfschichtdicke im Untergrund:

- $s = \sigma_{\bar{u}} \cdot d / E_E$
- $s = 35 \text{ kN/m}^2 \cdot 100 \text{ cm} / (1000 \text{ bis}) 2000 \text{ kN/m}^2$
- $s = 1,8 \text{ (bis } 3,5) \text{ cm}$

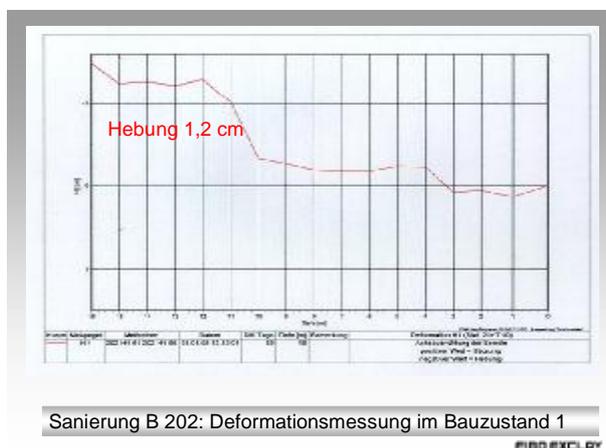


Bild 15: Deformationsmessung Bauzustand 1

Die Wiederbelastung durch die Blähton-Schüttung (i.M. 1,3 m, Raumgewicht 6 kN/m³) und den Straßenaufbau (0,8 m, Raumgewicht 19 kN/m³) führt anschließend zu folgender Setzung je Meter Torfschichtdicke im Untergrund:

- $s = \sigma_{\bar{u}} \cdot d / E_S$
- $\sigma_{\bar{u}} = 19 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,8 \text{ m} + 6 \text{ kN/m}^3 \cdot 1,3 \text{ m} = 23 \text{ kN/m}^2$
- $s = 23 \text{ kN/m}^2 \cdot 100 \text{ cm} / (1000 \text{ bis}) 2000 \text{ kN/m}^2$
- $s = 1,1 \text{ (bis } 2,3) \text{ cm}$

Es tritt somit eine Verminderung der Sohlspannung in der Dammsohle von ca. 34 % ($\Delta\sigma_{\bar{u}} = 35 - 23 = 12 \text{ kN/m}^2$) ein. Es sind daher keine zusätzlichen Baugrundverformungen infolge Bodenaustausch zu erwarten; außerdem ist damit zu rechnen, daß die Restsetzungen aus der alten Dammschüttung praktisch nicht mehr eintreten.

1.8 Standsicherheit

Generell muß im Endzustand eine Gelände- bzw. Böschungsbruchsicherheit von $\eta \geq 1,4$ (Lastfall 1) vorhanden sein.

Dieser Sicherheitsabstand zum Versagensfall ist für die Beschränkung der Verformungen im Gebrauchszustand notwendig. Im Rahmen der vorangegangenen Untersuchungen hat sich jedoch erwiesen, daß wegen der ungünstigen Bodenverhältnisse im Dammuntergrund mit der Mehrzahl der Sanierungsmöglichkeiten nur ein (i.a. genügendes) Sicherheitsniveau von ca. vorh. $\eta = 1,2 - 1,3$ erreichbar ist.

Die hinsichtlich der Standsicherheit ungünstigste Dammgeometrie liegt etwa bei km 22,000 vor und wurde bei diesen Berechnungen wiederum angesetzt (siehe vorangegangener Bericht). Der unmittelbare Dammuntergrund (Klei, Torf) wurde angesichts der langen Standzeit als konsolidiert angenommen.

Es wurden nunmehr die folgenden Berechnungen aufgestellt:

Standsicherheitsnachweis im Endzustand mit hoher Verkehrslast: Ergebnis vorh. $\eta = 1,26$.

Standsicherheitsnachweis im Bauzustand 2 mit hoher Verkehrslast (Var. I mit Geotextil-Bewehrung aus hochfester Gewebbahn): Ergebnis vorh. $\eta = 1,38$

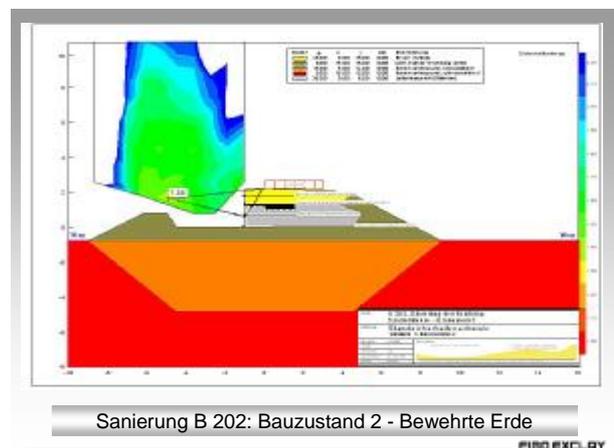


Bild 16: Bewehrte Erde Bauzustand 2

Die mit Sanierung durch Bodenaustausch gegen Blähton-Schüttung erreichbare Sicherheit gegen Böschungsbruch ist in diesen Fällen gegenüber dem vorhandenen Zustand vorh. $\eta = 1,02$ ausreichend.

Der bauzeitliche Verbau in der Fahrbahnmitte ist als gerammte bzw. vibrierte Spundwand ausgeführt worden.

Der maßgebende Zustand für die Betrachtung des Lastfalles „Auftrieb der Blähton-Schüttung“ ergibt sich, wenn der Dammkörper im Hochwasserfall (NN+1,3 bis 2,0 m) durch den Ausfall der Rückstauverschlüsse vollständig wassergesättigt ist. Bauzeitlich auftretende extreme Hochwässer (> OK unterer Teil mineralische Flankendichtung, NN+1,0 m) führen zur Flutung der Baugruben.

Im Endzustand beträgt die Auftriebssicherheit auf dem Bezugsniveau OK Blähton-Schüttung (minimale Trockendichte der Schüttung $\gamma = 3 \text{ kN/m}^3$):

$$\eta_A = \sigma_{\ddot{u}} / \sigma_A \geq 1,3$$

$$\sigma_{\ddot{u}} = 19 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,8 \text{ m} = 15,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_A = ((1,0 - 0,6) \cdot 10 - 3) \cdot 1,3 \text{ m} = 1,3 \text{ kN/m}^2$$

(Porenanteil der Schüttung=60 %)

$$\sigma_A = ((1,0 - 0,3) \cdot 10 - 3) \cdot 1,3 \text{ m} = 5,2 \text{ kN/m}^2$$

(Porenanteil der Schüttung=30 %)

Die Auftriebssicherheit ist somit auch bei minimalem Porenanteil der Schüttung gegeben:

$$\text{vorh. } \eta_A = 15,2 / 5,2 = 2,9 > 1,3$$

1.9 Qualitätsicherung

Bei dem vorgeschlagenen Regelquerschnitt wurde der Qualitätssicherungsplan nach folgenden Bauelementen aufgestellt:

- Blähton-Schüttung
- Geotextilien
- Dränagen und Rückstauverschlüsse
- Mineralische Flankendichtung (unterer und oberer Teil)
- Straßenunterbau-Verbesserung
- Straßenoberbau

Das Untersuchungsprogramm für den Einbau der Blähtonschüttung bestand aus:

- Korngrößenverteilung
- Schüttgewicht
- Wassergehalt
- Plattendruckversuch

Die Beprobungshäufigkeit lag je nach Losgröße zwischen ca. 500 m³ und 1.000 m³ eingebauter Schüttung.

Die Qualitätssicherungs- bzw. die Qualitätslenkungs-Maßnahmen für die Bauelemente sind von vorhandenen Regelwerken erfasst worden.

1.10 Meßtechnische Überwachung

In drei ausgewählten Meßstationen wurde die horizontale Verschiebung des neuen Straßendamms in zwei Ebenen mit dem Vertikalinklinometer gemessen. Die Verschiebungen betragen über einen Zeitraum von 104 d bis 233 d nach Fertigstellung maximal ca. 1 cm.

Die Setzungen auf der neuen Ebene des Damms wurden in den gleichen Stationen mit je einem Horizontalinklinometer bestimmt. Das Verformungsbild in den drei Meßstationen zeigt unterschiedliche Erscheinungen. Während es in der Station 21+750 immer noch zu Hebungen von nunmehr 1,5 cm in der Gründungsebene kommt (Untergrund Klei) sind in den Stationen 21+850 und 21+950 (Untergrund Torf) diese bereits abgeklungen und Setzungen von annähernd 3,0 cm infolge der Wiederbelastung sind zu verzeichnen

LITERATURANGABEN

- [1] World Road Association, PIARC, Technical Committee on Earthworks, Drainage, Subgrade TC12: Lightweight Filling Materials, 1997
- [2] Tinz, F.: Einsatz von Blähton im Straßen- und Wegebau, Asphalt 4/1997
- [3] Albert, I.: Skandinavische Erfahrungen mit Blähton als Leichtbaustoff, Asphalt 4/1997
- [4] Jagau, H., Hensel, K.-H.: Blähton als Leichtbaustoff vor Brückenwiderlagern im Fall der Geestebrücke Bremerhaven, tis 2/2002
- [5] Jäger, S.: Verwendung von Blähton als Leichtbaustoff beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund - Anforderungen an den Baustoff und deren Prüfung, Diplomarbeit an der FH Coburg, Fachbereich Bauingenieurwesen, Lehrgebiet Straßenbau, 2/2003
- [6] Dugan, John P.: Lightweight Fill Solutions to Settlement and Stability Problems on Charter Oak Bridge Project in Hartford, Connecticut, ESCSI-report, 4/2003
- [7] Jagau, H., Weist, H.-J.: Leichtbaustoff Blähton in einer Dammschüttung am Beispiel der Geestebrücke in Bremerhaven, Straße und Autobahn 7/2003
- [8] Lehnert, C.: Erfahrungen mit Blähton als Leichtbaustoff beim Bauen auf wenig tragfähigem Untergrund in der Nutzungsphase, VSVI – SH Straßenbautage Rendsburg 1/2003
- [9] Lehnert, C.: Leichtbaustoffe im Straßenunterbau – Straßensanierung unter Verwendung von Blähton und Geotextilien, VSVI – SH Straßenbautage Rendsburg 1/2002
- [10] Weist, H.-J.: Blähton ein neuer „alter“ Baustoff für die Geotechnik, VSVI – SH Straßenbautage Rendsburg 1/2003
- [11] FGSV Arbeitskreis „Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund“: Merkblatt Blähton als Leichtbaustoff im Straßenbau, Entwurf, Stand vom 14. 01.2004

Verfasseranschriften:

Hans-Joachim Weist, FIBO EXCLAY Deutschland GmbH, Rahdener Straße 1, 21769 Lamstedt

Co Autoren:

Dr.-Ing. Christoph Lehnert, Ingenieurbüro für Geotechnik, an der Dänischburg 10, 23569 Lübeck