

TAGUNGSBAND



HTG-Kongress 2015

Maritim Hotel Bremen 09. bis 11. September 2015

Erfahrungen aus der Ausführung einer innovativen Böschungssicherung im Tidebereich

Frau Dipl.-Ing. (FH) Ragna Arentz, Fichtner Water & Wind GmbH, Hamburg Herr Dipl.-Ing. Søren Schnarre, Fichtner Water & Wind GmbH, Hamburg Herr Dipl.-Ing. Tijl Staal, Hamburg Port Authority, Hamburg

Elastocoast® stellt eine innovative Alternative zu konventionellen Deckwerkssicherung in einfacher oder vergossenen Schüttsteinbauweise dar. Die Verarbeitung und der Einbau des Materials unterliegen jedoch Witterungseinflüssen. Die Verarbeitung und der Einbau erfordern eine hohe Sorgfalt. Daraus resultieren hohe Anforderungen an die Arbeitsvorbereitung und Baustellenorganisation. Bei ordnungsgemäßer Verarbeitung und Einbau erhält man ein unterhaltungsarmes, dauerhaftes und wasserdurchlässiges Deckwerk. Im vorliegenden Bericht werden Erfahrungen beim Einbau im Tidebereich dargestellt.

1. Einleitung

Durch strömungsbedingte Umlagerungen des losen Schüttsteindeckwerkes am Hamburger Elbufer bei Nienstedten bestand erheblicher Sanierungsbedarf. Zur dauerhaften Böschungssicherung plante die Hamburg Port Authority (HPA) auf ca. 130 m Länge statt der Regelbauweise versuchsweise eine weniger unterhaltungsintensive Böschungssicherung in Form von Elastocoast®, einem Verklammerungssystem aus Schotter und Polyurethan. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten war es erforderlich das Deckwerk teilweise unter Wasser einzubauen. Hierzu lagen für Elastocoast® bisher nur wenige Erfahrungswerte vor.

Die Fichtner Water & Wind GmbH wurde durch die HPA mit der örtlichen Bauüberwachung beauftragt. Während der Bauphase konnten viele Erfahrungen beim Einbau von Elastocoast® an Land und unter Wasser gemacht werden.

2. Das Projekt "Nordufer Böschungssicherung Elbuferweg"

<u>Lage</u>

Der zu sanierende Böschungsabschnitt befindet sich zwischen dem Jollenhafen Mühlenberg und dem Fähranleger Teufelsbrück am nördlichen Elbufer zwischen Strom-km 632,390 und 632,520. Aufgrund der zum Elbstrom exponierten Lage kam es während der Bauphase zu Einschränkungen und Beeinflussung des Bauablaufs durch schiffsinduzierte Wellen und Strömung zwischen wasserseitigem Einbaugerät und Ufer.



Abb. 1: Lageplan [5]

Geländehöhen und Wasserstände

Die Geländehöhen und Wasserstände sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Tab. 1: Geländehöhen und Wasserstände

GOK	+2,50 m NHN
Böschungsfuß	-2,50 m NHN
MThw	+2,12 m NHN
MTnw	-1,54 m NHN

Aufgrund der Wasserstände und Geländehöhen war es teilweise erforderlich das Elastocoast® unter Wasser einzubauen. Der Unterwassereinbau wurde durch die Firma Elastogran GmbH (heute BASF Polyurethanes GmbH) untersucht. Dabei wurde für den Unterwassereinbau eine maximale Wassertiefe von 1,70 m empfohlen [2]. In Ermangelung von anwendbaren Erfahrungswerten bzw. genaueren Untersuchungen wurde die ausführende Baufirma vertraglich verpflichtet, den Einbau in den betreffenden Bereichen bei Niedrigwasser auszuführen, um die Wassertiefen möglichst gering zu halten.

Regelaufbau des vorhandenen Deckwerks

Nach dem 2. Weltkrieg wurde auf dem Urgelände ein Wall aus Trümmerschutt hergestellt und durch Natursteine gesichert. In den 1970-er Jahren wurde die Böschung zusätzlich mit Wasserbausteinen (Eisensilikat) verstärkt. Untersuchungen der HPA ergaben, dass der Aufbau des Deckwerkes sehr heterogen war und die Deckwerksstärke überschläglich zwischen 0,5 und 1,0 m betrug.

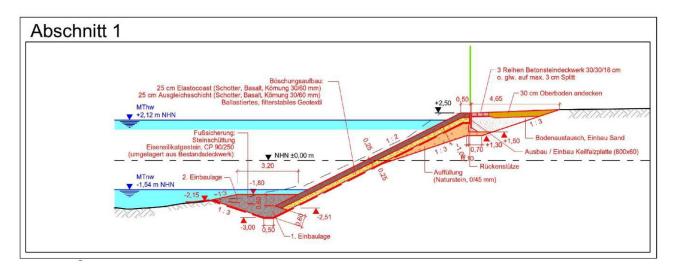
Regelaufbau des neuen Deckwerks

Der zu sanierende Böschungsabschnitt mit einer Länge von insgesamt 130 m wurde in drei Abschnitte unterteilt. Zwischen jedem 30 m langen Abschnitt und am Anfang und Ende des neuen Deckwerkes wurde ein Übergangsbereich von jeweils 10 m angeordnet. Nach dem Abtrag des vorhandenen Deckwerks (Abschnitt 1 und 2) bzw. der Profilierung (Abschnitt 3) des vorhandenen Deckwerks wurde der jeweilige Aufbau des neuen Deckwerks wie folgt hergestellt:

Abschnitt 1: Böschungsneigung 1:2

25 cm Elastocoast® (Basaltschotter 30/60 mm) 25 cm Ausgleichsschicht (Granodiorit 30/60 mm)

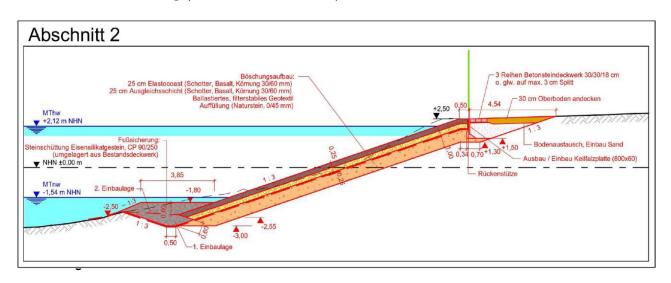
Ballastiertes, filterstabiles Geotextil



Abschnitt 2: Böschungsneigung 1:3

25 cm Elastocoast® (Basaltschotter 30/60 mm) 25 cm Ausgleichsschicht (Granodiorit 0/60 mm)

Ballastiertes, filterstabiles Geotextil Auffüllung (Naturstein, 0/45 mm)

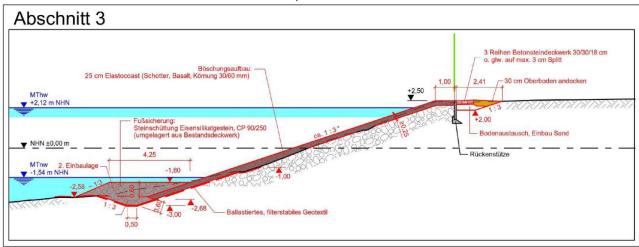


Abschnitt 3: Böschungsneigung 1:3

25cm Elastocoast® (Basaltschotter 30/60 mm)

auf vorhandenem, profiliertem Schüttsteindeckwerk

Im Fußbereich: Ballastiertes, filterstabiles Geotextil



3. Der Werkstoff Elastocoast®

Allgemeines

Das Verklammerungssystem Elastocoast® besteht aus dem 2 Komponenten-Kunststoff Polyurethan (PUR) und Wasserbausteinen. Es wurde durch die Firma Elastogran GmbH (heute BASF Polyurethanes GmbH) entwickelt. In Forschungsprojekten der BASF gemeinsam mit der TU-Harburg sowie der TU Braunschweig wurde die Eignung für den Einsatz im Küstenschutz nachgewiesen. Ebenfalls wurde nachgewiesen, dass beim Einsatz von Elastocoast® gegenüber herkömmlichen Deckwerken die Schichtdicke verringert werden kann.

Anmischen

Der 2-Komponenten Kunststoff PUR besteht aus der Komponente A (Polyol) und der Komponente B (Isocyanat). PUR entsteht bei einer Polyadditionsreaktion der beiden Stoffe. Die Komponenten müssen im, vom Hersteller vorgegebenen, Verhältnis (hier: 100:65) mindestens 3 Minuten miteinander vermischt werden. Vor dem Mischen ist darauf zu achten, dass die Komponente A durch Aufrühren (mind. 5 Minuten [6]) ausreichend homogenisiert wird. Die Verarbeitungszeit ab dem Vermischen der beiden Komponenten beträgt gemäß Herstellerangaben, abhängig von der Verarbeitungs- und Umgebungstemperatur, circa 20 Minuten [6,7].

Verarbeitung

Nach Ablauf der Mischzeit wird das entstandene, kalt härtende PUR-Bindemittel zu den bereits im Mischer befindlichen trockenen und sauberen Steinen (hier: Basaltschotter 30/60mm) hinzu gegeben und mit diesen vermischt. Die Steine werden mit dem Bindemittel benetzt und verkleben später an den Berührungspunkten. Es entsteht ein homogenes Gefüge mit einer hohen Offenporigkeit welche die Energie der auflaufenden Wellen effizient abbauen kann.

Nach einem mindestens drei minütigen Mischvorgang der Steine mit dem PUR im Zwangsmischer wird das Mischgut auf der Böschung durch einen Bagger abgesetzt und glattgestrichen. Nach Aufbringen des Materials auf der Böschung, jedoch vor dem Aushärten des Bindemittels, wird die Oberfläche oberhalb des Wasserspiegels mit Sand abgestreut, um eine rutschsichere Oberfläche zu erhalten. Gleichzeitig wird durch das Abstreuen das Ansiedeln von Flora (z.B. Algen) und Fauna erleichtert.

Randbedingungen

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Elastocoast® sind u.a. nachfolgende Randbedingungen einzuhalten:

- Vor der Verarbeitung der beiden PUR-Komponenten muss der jeweilige maximale Lagerungszeitraum beachtet werden.
- Die vom Hersteller vorgegebenen Lagerbedingungen (u.a. trocken, 10-30°C) für die PUR-Komponenten müssen eingehalten werden.
- Die Komponente A muss ausreichend (mind. 5 Minuten) homogenisiert werden.
- Das Anmischen und Verarbeiten der Komponenten A und B muss bei einer Verarbeitung- und Außentemperatur zwischen 5 und 30°C erfolgen.
- Die zu verwendenden Steine müssen trocken, staubfrei und ohne Anhaftungen sein.
- Das vom Hersteller vorgegebene Mischungsverhältnis muss eingehalten werden.
- Beim Anmischen des Elastocoast®s ist aufgrund der gesundheitsschädlichen Wirkung die vorgeschriebene Schutzkleidung zu tragen.
- Das PUR und die Steine müssen bis zur vollständigen Benetzung der Steine gemischt werden (mind. 3 Minuten)
- Die maximale Fallhöhe von Elastocoast® im Wasser beträgt 1,70 m Höhe [2]
- Die maximale Verarbeitungszeit sollte, abhängig von der Außentemperatur, maximal 20 Minuten betragen.
- Erst nach 24 Stunden darf das neue Deckwerk belastet werden.

4. Projektbezogener Arbeitsablauf

Die Einhaltung aller Randbedingungen wurde am Elbufer wie folgt umgesetzt.

Baustelleneinrichtung

Die beiden Komponenten wurden in großen Gebinden vorschriftsmäßig gelagert.

Ein Mischplatz wurde eingerichtet, an dem die Steine gelagert, das PUR gemischt und dieses mit den Steinen in den Zwangsmischer gefüllt wurde.

Die trocken und sauber angelieferten Steine wurden mit Planen gegen Feuchtigkeit gesichert.

Zur Einhaltung des erforderlichen Mischungsverhältnisses der beiden Komponenten A und B wurden entsprechende Messeimer verwendet. Um einen kontinuierlichen Bauablauf zu sichern, wurden zwei Rührgeräte zur PUR-Herstellung und zwei Radlader mit jeweils einem montiertem Zwangsmischer eingesetzt.

Das zu verarbeitende Steinvolumen wurde anfangs über die Baggerschaufelgröße, später über einen justierten Befülltrichter ermittelt.

Der Einbau erfolgte mit Hilfe von Baggern. Von der Landseite wurde mit einem Longfrontbagger gearbeitet. Wasserseitig wurde ein Bagger auf einem Ponton eingesetzt

Transportwege / Anmischen

Zunächst wurden die Steine in die Zwangsmischer am Radlader gefüllt. Dann wurde das angemischte PUR hinzugegeben. Während des darauf folgenden Mischvorgangs fuhr der Radlader zum Einbauort bzw. dem Stellplatz des Longfrontbaggers. Die Überwachung der Misch- und Reaktionszeiten erfolgte durch die Fahrer der Radlader und Bagger mittels Stoppuhr. Die Kontrolle der ausreichenden Benetzung der Steine erfolgte zusätzlich mittels Sichtkontrolle durch die Radladerfahrer da sich herausstellte, dass die vorgegebene Mischzeit von 3 Minuten hier meist nicht ausreichte. Die Übergabe des fertigen Mischgutes an den landseitigen Bagger erfolgte in einer Lademulde. Für den Unterwassereinbau wurde das Verfahren nach ersten Einbauerfahrungen angepasst. Das Mischgut wurde nach dem Mischen des PUR mit dem Schotter zunächst auf der Böschung oder in der Lademulde 10 bis 15 Minuten zwischengelagert, da es nach einem direktem Einbau zu Aufschäumen des PUR kam.

Verarbeitung

Aus der Lademulde wurde das Mischgut vom Longfrontbagger aufgenommen und abschnittsweise auf der Böschung verteilt. Für den wasserseitigen Einbau wurde das Material durch den Longfrontbagger auf dem unteren Teil der Böschung abgesetzt und anschließend vom wasserseitigen Bagger unter Wasser eingebaut. Die Einbauhöhen wurden über ein GPS gestütztes Bagger-DGM kontrolliert und dokumentiert.

Nachbearbeitung

Nach dem Einbau des Elastocoast®s wurde die Fläche oberhalb des Wasserspiegels (in der Regel bis in eine Tiefe von -1,0 m NHN) mit Sand abgestreut. Dies erfolgte per Hand mittels Schaufel.

5. Erfahrungen auf der Baustelle

Im Folgenden werden die Erfahrungen, die im Zusammenhang mit dem Einbau des Elastocoast®s auf der Baustelle am Elbuferweg gemacht wurden, geschildert.

Versuche zu Beginn der Maßnahme zeigten, dass das Material auch über die vom Hersteller angegebenen 20 Minuten hinaus, bis zu 40 Minuten verarbeitbar bleibt.

Vor dem Vermischen der beiden PUR-Komponenten wurde die A-Komponente zunächst wie vorgegeben homogenisiert. Hierbei stellte sich heraus, dass die von der TU-Harburg angegebenen 5 Minuten nicht ausreichten, da immer noch Schlieren im Polyol zu erkennen waren. Daher wurde die A-Komponente am Elbuferweg mindestens 30 Minuten homogenisiert.

Der trockene Zustand der Steine ist zwingend erforderlich. Wurden feuchte Steine, die nur leicht durch Regen oder Bodenfeuchte benetzt waren, mit dem PUR gemischt, schäumte dieses auf. Durch die entstehenden Luftblasen verlor hierbei das Material an Festigkeit, was an einem schlechten Verbund der Steine festzustellen war. Damit die trocken und sauber angelieferten Steine in diesem Zustand bleiben war es unerlässlich die Steine über Nacht und bei Regenschauern abzudecken. Bei Regen wurden die Elastocoastarbeiten eingestellt.

Das Aufschäumen des PUR trat auch auf, wenn das Elastocoast® direkt nach dem Mischen mit Wasser in Kontakt kam. Daher wurde das unter Wasser einzubauende Elastocoast® zunächst in der Lademulde oder auf der Böschung oberhalb des Wassers

für einige Minuten zwischengelagert. Damit die Reaktion der beiden Komponenten miteinander an der Oberfläche abklang.



Abb. 5: nach Wasserkontakt aufgeschäumtes PUR

Wurde das Elastocoast® nach dem Einbau zu früh belastet, z.B. durch Berührung mit der Baggerschaufel beim Einbau des nächsten Abschnittes, kam es zum Brechen der Verbindung und damit zu einem Verlust der Gefügestruktur.

Bei der Verarbeitung von Steinen mit einem erhöhten Feinanteil kam es zu einem höheren Bindemittelverbrauch oder einer nicht ausreichenden Benetzung der Gesteinsoberfläche. Das mit erhöhten Feinanteilen "verschmutzte" Steinmaterial wurde vor dem Beladen der Zwangsmischer aussortiert.



Abb. 6: hoher Anteil Feinmaterial

Durch die im frisch angemischten Zustand weiche Konsistenz war das Einbaumaterial für den Baggerfahrer für eine Lagekontrolle insbesondere im Unterwassereinbau nicht tastbar. Da eine Sichtkontrolle nur bedingt möglich war, kam es zu Abweichungen bei der Schichtdicke. Die Schwierigkeiten wurden dadurch verstärkt, dass der Bagger auf dem Ponton für den Unterwassereinbau durch die Wasserbewegungen der Elbe beeinträchtigt wurde.



Abb. 7: Höhendifferenzen

Da das Elastocoast® auch mit bereits abgebundenem Material einen guten Verbund eingeht, konnten Fehlstellen (z.B. nicht ausreichende Schichtdicken) einfach nachgearbeitet werden.

Dadurch, dass das Elastocoast® abschnittsweise eingebaut wurde und ein Abstreuen der Fläche nach unterschiedlichen Abbindezeiten des Elastocoast®s stattfand, kam es zu einem nicht einheitlichen Erscheinungsbild der Fläche.



Abb. 8: nicht einheitliches Erscheinungsbild

6. Zusammenfassung und Fazit

Während der circa 2 monatigen Bauzeit auf der Baustelle am Elbuferweg in Nienstedten wurde festgestellt, dass die trockene Lagerung und die Sauberkeit der Steinen sowie eine wasserfreie Verarbeitung des Materials maßgeblich für die erfolgreiche Anwendung von Elastocoast® war.

Um einen störungsfreien Bauablauf zu ermöglichen werden bei zukünftigen Baumaßnahmen eine Silolagerung des Gesteinsmaterials und ein Anmischen unter Zelten oder anderen Schutzeinrichtungen empfohlen.

Die schlecht einschätzbare Reaktionsgeschwindigkeit des PURs in Verbindung mit unterschiedlichen Temperaturen auf der Baustelle und Mischungsverhältnissen sollte

durch weitere Forschungen untersucht und vertieft werden. Es empfiehlt sich zu Beginn einer Maßnahme eine Testphase zu berücksichtigen, in der die richtigen Randbedingungen in der Erzeugung des einbaubaren PUR-Stein-Gemisches erarbeitet werden

Beim Anmischen des Elastocoast®s (Vermischung Gestein mit PUR im Zwangsmischer) war es schwierig ein exaktes Mischungsverhältnis zwischen Bindemittel und Steinen zu erreichen. Durch die Umstellung des zuerst verwendeten Verfahrens auf eine Trichterbefüllung konnte eine gleichmäßigere Beschickung der Zwangsmischer mit Steinen erreicht werden. Eine weitere Vereinfachung des Befüllvorgangs könnte eine Wiegevorrichtung am Radlader sein.

Beim wasserseitigen Einbau ist durch die weiche Konsistenz des Materials die Einbaugenauigkeit schwer einzuhalten. Dies kann durch einen feststehenden Bagger (landseitig oder auf Stelzenponton) vermieden werden, gleichzeitig würde hierdurch das Verteilen auf der Böschung vereinfacht werden.

Die auf der Baustelle am Elbuferweg in Nienstedten gemachten Erfahrungen bestätigen, dass ein Einbau von Elastocoast® grundsätzlich auch unter Wasser möglich ist. Die zur Einhaltung der Randbedingungen erforderlichen Vorkehrungen auf der Baustelle machen das Verfahren jedoch relativ aufwendig.

Die Verarbeitungsschritte und Verfahren sollten weiter angepasst und verfeinert werden. Weiterhin sollte das Material Elastocoast® weiteren Untersuchungen unterzogen werden, so dass die Materialeigenschaften und das Materialverhalten genauer in den Verdingungsunterlagen beschrieben und besser bei der Verarbeitung berücksichtigt werden können.

Zur Sensibilisierung für die Verarbeitung des Materials wird durch den Hersteller von Elastocoast® eine technische Einweisung für die Mitarbeiter der ausführenden Firma angeboten. Dies sollte idealerweise jedoch schon im Rahmen der Planung beginnen, da kalkulationsrelevante Aspekte wie Mischzeiten und die Reifung des angemischten Materials vor dem Unterwassereinbau klar definiert werden sollten.

Quellen:

- [1] "Nordufer Böschungssicherung Elbuferweg"; Baubeschreibung und Bemerkungen zum LV; Hamburg Port Authority, Verfasser: IMS Ingenieurgesellschaft mbH; 8. Mai 2014
- [2] "Unterwassereinbau mit Elastocoast® Teil I Grundlagenforschung"; Dipl.-Ing. Denis Vugrek AC/M Elastogran (später BASF Polyurethanes GmbH); 2008
- [3] Flyer: "Zwischen Katastrophe und Sicherheit liegt oft nur eine Idee" BASF Polyurethanes GmbH;
- [4] auf Grundlage von Ausschreibungszeichnungen; Hamburg Port Authority, Planverfasser: IMS Ingenieurgesellschaft mbH, Juli 2014
- [5] www.openstreetmap.org; 22.4.2015
- [6] "Elastomeriche Deckwerke Eigenschaften, Bemessung, Anwendung"; TU Hamburg-Harburg; Juli 2005
- [7] "11 Punkte für ein erfolgreiches Elstocoast® Deckwerk"; PU Solutions Elastogran