

Erfahrungen mit geotextilen Containern bei der Ufersicherung von Tagebauen bei aufgehendem Wasserspiegel

Wilke, Markus

Huesker Synthetic GmbH, Fabrikstraße 13-15, 48712 Gescher, wilke@huesker.de

Flügge, Frank

Huesker Synthetic GmbH, Charles-Darwin-Ring 4, 18059 Rostock, fluegge@huesker.de

Die Umgestaltung und Umnutzung der ehemaligen Tagebaugebiete geht einher mit geotechnischen und wasserbaulichen Herausforderungen. Auf Grund des aufgehenden Wasserspiegels und der bodenmechanischen Eigenschaften des Kippenmaterials stellt vor allem die Sicherung der Böschungen der sich in der Flutung befindenden Restlöcher hohe Anforderungen an Planung und Bauausführung. Konventionelle Verbaumethoden und Systeme stoßen wegen der vorliegenden Bedingungen an ihre Grenzen. Geotextile Containersysteme bieten hier weiterführende Lösungen. Nachfolgend wird ein Überblick der gängigsten Sicherungsoptionen gegeben. Im Vergleich dazu werden die geotextilen Containervarianten vorgestellt und deren Funktionsweise erläutert. Abschließend wird anhand ausgewählter Projektbeispiele deren Anwendbarkeit illustriert.

1 Einleitung

Im Zuge der Rekultivierung von Tagebauen und der häufig damit einhergehenden Flutung des Restlochs sind in der Regel technische Sicherungsmaßnahmen der Böschungen erforderlich. Dass locker geschüttete Böden sehr empfindlich auf Wasser, nachträglich aufgebrachte Lasten und dynamische Einwirkungen reagieren, ist hinlänglich bekannt. Dies wird umso kritischer, je weniger Kohäsion der Boden aufweist und falls der Boden zusätzlich in Form von Böschungen ansteht. Genau mit dieser Problematik hat man es aber in den meisten Fällen bei Tagebauen zu tun.

Erschwerend kommt hinzu, dass es sich hier vielfach um relativ steile und sehr lange Böschungen handelt, die teilweise auch noch aus unterschiedlichen Schüttphasen mit wechselnden Bodenarten stammen. Werden die Tagebaue dann gezielt geflutet, kommt es sehr schnell zu örtlichen Bodenumlagerungen resultierend aus Welleneinwirkung aber auch Fließ- oder Rutschungsvorgängen infolge Reduzierung der Scherfestigkeit.

Ufer- und Böschungsbefestigungen werden bei der Tagebauflutung meist viele Jahre vor Erreichen der endgültigen Stauziele und ausschließlich im oberen Bereich der Böschung hergestellt. Teilweise sind aber auch nachträgliche operative Sicherungsmaßnahmen an einzelnen besonders gefährdeten Uferbereichen notwendig. Die Grundvoraussetzung für alle Sicherungsmaßnahmen ist eine ausreichende globale Standsicherheit der Böschungen, die teilweise durch Abflachung oder z.B. auch Nachverdichtung über eine Rütteldruckverdichtung erreicht werden kann.

Zur Stabilisierung der Böschungsoberfläche werden aufgrund der immensen Flächengrößen vorrangig ingenieurbio-logische Sicherungen vorgenommen. Im oberen Bereich der Böschung bzw. in der Wasserwechselzone kommen teilweise Schüttsteindeckwerke zum Einsatz. Darüber hinausgehend können auch ingenieurbio-logische Maßnahmen mit technischen Systemen wie Erosionsschutzmatten, Gabionen, Steinwalzen usw. kombiniert werden. Zunehmend werden aber auch Sonderlösungen auf Basis

geotextiler Containerelemente verwendet. Die Einsatzbereiche sowie Vor- und Nachteile der einzelnen Bauweisen sollen in diesem Beitrag näher beleuchtet werden.

2 Konventionelle Sicherungsvarianten

Im Hinblick auf klassische Sicherungsmaßnahmen kann zwischen Lebend- und Totverbau unterschieden werden. Während beim Totverbau rein der technisch-wirtschaftliche Aspekt im Vordergrund steht und lediglich „tote“ Materialien wie z.B. Steine und Beton zum Einsatz kommen, werden beim Lebendverbau Pflanzenteile oder ganze Pflanzen als Baumaterialien verwendet [Bretschneider, 1982]. Beide Baumaßnahmen können auch in Kombination zum Einsatz kommen. Bei Ingenieurbiologischen Verbaumaßnahmen steht der Lebendbau im Vordergrund.

2.1 Ingenieurbiologische Sicherungen

Die einfachste Form der biologischen Sicherung sind Grasflächen, bei denen durch den Einfluss des sich ausbildenden Wurzelhorizonts der Boden gehalten und gegen Umlagerung durch Wassereinwirkung gesichert wird. Im Laufe der letzten Jahrzehnte wurden die unterschiedlichsten Ingenieurbiologischen Maßnahmen systematisch wissenschaftlich in Bezug auf Wirkungsweise, Leistungsfähigkeit, Anwendungsbereiche, Pflege und Unterhaltung untersucht und deren Entwicklung deutlich vorangetrieben [SMUL, 2005].

Neben der Anlage von Grasflächen kommen je nach Standortbedingungen verschiedenste Pflanzenarten und Bauweisen in Frage [SMUL, 2005]:

- Anlage von Röhricht und Schilfbeständen (Vegetationswalzen)
- Anlage von Gehölzbeständen
- Anpflanzung von Gehölzen
- Bauweisen mit Gehölzteilen und ausschlagfähigen Gehölzen (Steckhölzer, Setzstangen, Lebende Wurzelstöcke, Flechtzäune, Uferfaschinen, Spreitlagen)
- Kombinierte Bauweisen (Begrünte Böschungsschuttmatten, Raubäume, Lebende Buhnen, Begrünte Holzkrainerwände, Buschbauleitwerke, Begrünte Steinschüttungen, Begrünte Gabionen)

Diese Vielzahl von möglichen Maßnahmen wird generell zusammengefasst als Ingenieurbiologische Bauweise bezeichnet. Hiermit besteht die Möglichkeit einer ökologischen und naturnahen Gestaltung von Gewässern. Ein wesentlicher Vorteil und gleichzeitiger elementarer Nachteil besteht in der Vielzahl von möglichen Sicherungsoptionen, die es nach den vorherrschenden Standortbedingungen abzuwägen und dementsprechend auszuwählen gilt.

Weiterhin nachteilig ist die Jahreszeitabhängige Konstruktion sowie die erforderliche Pflege und Unterhaltung. Des Weiteren bedarf es bis zum Erreichen des voll umfänglichen Schutzes des zu sichernden Abschnittes einer Entwicklungsphase, die sich unter Umständen je nach Bauweise und klimatischen Bedingungen über mehrere Vegetationsperioden erstrecken kann [LUBW, 2013]. Grundlegender Nachteil der Ingenieurbiologischen Bauweise ist die geringere hydraulische Belastbarkeit im Vergleich zu konventionellen bzw. geosynthetischen Bauweisen.

2.2 Schüttsteindeckwerke

Da Tagebauseen vielfach beträchtliche Ausmaße haben, können hier wegen der daraus resultierenden großen Windeinwirkklängen bereits erhebliche Wellen entstehen. Wellenhöhen von 1 m und mehr sind keine Seltenheit. Vor allem auch in Bereichen von Einlauf- und Auslassbauwerken kann es darüber hinaus zu erhöhten Strömungsbelastungen der Böschungen und der Sohle kommen. Dies macht in einzelnen Uferabschnitten hydraulisch widerstandsfähigere Sicherungsmethoden erforderlich, die durch Ingenieurbiologische Maßnahmen nicht mehr zu gewährleisten sind. Das Schüttsteindeckwerk hat sich hier bei entsprechender Dimensionierung seit langem bewährt. Für Details hinsichtlich der Bemessung

und Konstruktion von Schüttsteindeckwerken kann beispielhaft auf die Richtlinien der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) [BAW, 2008] oder auch auf „Die Küste“ [EAK, 2007] verwiesen werden.

Für Tagebaue ergeben sich auf Grund der Flutung und des damit einhergehenden Anstiegs des Wasserspiegels besondere Herausforderungen für die Errichtung von Schüttsteindeckwerken. Vor allem der Fußpunkt des Deckwerkes bzw. die Einbindung in die existierende Böschung stellen unter diesem Gesichtspunkt einen neuralgischen Punkt dar. Infolge des aufgehenden Wasserspiegels und der geotechnischen Eigenschaften des Kippenmaterials ist es häufiger schon zur Unterminierung bzw. Kliffbildung unterhalb von bereits installierten Schüttsteindeckwerken auf Niveau des Stauendziels gekommen.

Mögliche Maßnahmen bei einer derartigen Problemstellung, sowohl konventionell als auch unter Verwendung geotextiler Container, können sein [Wagner, 2013]:

- Minderung der äußeren Einwirkung (z.B. Bau eines Wellenbrechers)
- Flach geböschte Kiesvorlage unterhalb des Fußpunktes
- Ausbildung einer horizontalen Fußvorlage aus Wasserbausteinen
- Verbau mit geotextilen Containern

Abgesehen von dem minimalen Unterhaltungsaufwand und der Langlebigkeit der Deckwerkselemente (Steine) wird die Ausführung von Deckwerken aus Wasserbausteinen problematisch bei steileren Neigungen und größeren Böschungslängen. Besonders im Fall der Kliffausbildung, gleichbedeutend mit einem annähernd vertikalen Geländeversprung mehrerer Meter Höhe, ist der Schüttsteindeckwerksbau nahezu ausgeschlossen, da umfassende Profilierungsmaßnahmen zwecks Abflachung der Böschung erforderlich wären. In der Regel werden Kliffe in Tagebauseen bis zu einer Höhe von 0,5 m noch als akzeptabel angesehen [Wagner, 2009]. Darüber hinausgehende größere Kliffhöhen stellen eine ernsthafte Gefahr für angrenzende Bereiche dar und machen Sicherungsmaßnahmen erforderlich.

2.3 Erosionsschutzsysteme aus Kunststoffen, Stahldraht, usw.

Auch oberflächliche flächige Erosionsschutzsysteme in Form von Matten oder Matratzen kommen vermehrt zum Einsatz. Es existiert eine Vielzahl verschiedenster Produkte gefertigt aus unterschiedlichsten Rohstoffen (z.B. Kunststoffe, Metall, natürliche Werkstoffe, etc.) am Markt. Eine eindeutige Kategorisierung ist auf Grund der Vielzahl der Produkte und Anwendungsmöglichkeiten sowie der Kombination der verschiedensten Werkstoffe schwierig. Prinzipiell kann jedoch hierbei zwischen Matten ohne zusätzliche in-situ Verfüllung und Matratzen, die lokal mit einem Material (Steine, Boden, etc.) verfüllt werden, unterschieden werden.

Im Bereich der Matten können als zweidimensionale Erosionsschutzsysteme Vliesstoffe und Gewebe verwendet werden. Dreidimensionale Produkte aus Wirtgelegen oder auch aus Gitterstrukturen, etc. ermöglichen die Einlagerung von Boden und bieten Pflanzen den Raum für die Ausbildung ihres Wurzelwerkes [SKZ, 2011]. Alle diese Systeme bedürfen einer nachträglichen Begrünung zur Gewährleistung eines dauerhaften Erosionsschutzes und sind somit nicht für den permanenten Einsatz unterhalb des Wasserspiegels geeignet. Darüber hinaus sind sie nicht in der Lage stärkeren hydraulischen Beanspruchungen zu widerstehen.

Matratzen in Form von aus Stahldraht gefertigten Gabionen gefüllt mit Steinen oder auch Geozellen gefüllt mit Kies ermöglichen eine Sicherung von Bereichen unterhalb der permanenten Wasserspiegelhöhe. Unabhängig von dem Füllmaterial sind Geozellen jedoch auch nur für gering beanspruchte Bereiche geeignet. Im Falle der Verfüllung mit erdigem Material ist wiederum eine Begrünung erforderlich. Somit ist der Einsatzbereich der Geozelle relativ beschränkt bei gleichzeitig kostenintensiver Installation. Durch die Verwendung von Gabionen oder auch Schottermatratzen können relativ hoch belastbare Deckwerke hergestellt werden, die aber gleichzeitig auch im Verhältnis zu anderen Lösungen sehr kostenträchtig sind. Gabionen als ein nicht adaptives Deckwerkssystem erfordern ein stabiles Planum, das im Falle der Verwendung von Matratzen ähnlich dem der Schüttsteindeckwerke nur an flach geböschten Abschnitten zum Einsatz kommen kann.

3 Alternativlösungen auf Basis geotextiler Container

Als Alternative zu herkömmlichen Sicherungsmaßnahmen können geotextile Container zum Einsatz kommen. Geotextile Container können auf eine lange Historie zurückblicken, die bereits in den Sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts startete und deren Anfänge umfangreich dokumentiert worden sind [Zitscher, 1971]. Allerdings haben erst in den letzten 20 Jahren die Anwendungen vor allem im Wasserbau kontinuierlich zugenommen. Dies liegt sowohl in den fortgeschrittenen und weiterentwickelten Materialien als auch an der zunehmenden Akzeptanz von Geokunststoffen in der gesamten Baubranche.

Nachfolgend wird das grundlegende Prinzip geotextiler Container erläutert und die potentiell zu verwendenden Elemente vorgestellt. Im Weiteren wird von geotextilen Containern als Obergriff gesprochen. Container im Sinne von per Klappschute eingebauten Elementen für große Wassertiefen werden in Rahmen dieser Publikation nicht weiter abgehandelt.

3.1 Geotextile Container

Geosynthetische Container bestehen aus einer geotextilen Hülle, die mit Erdbaustoffen (vorzugsweise Sand) gefüllt und anschließend verschlossen werden. Je nach Größe und Art des Containersystems erfolgt die Befüllung mechanisch mittels Bagger und Trichter oder hydraulisch mit einer Feststoffpumpe. Die Containergrößen variieren von sogenannten Handsäcken mit ca. 25 kg Inhalt, über ein bis zwei Kubikmeter fassende Sandsäcke bis hin zu mehreren hundert Kubikmeter fassenden sogenannten geosynthetischen Schläuchen. Die präzise Festlegung der unterschiedlichen Elementabgrenzungen kann je nach Literaturquelle und Autor variieren (vgl. [Bezuijen, 2013] oder [Pianc, 2011]).

In Abhängigkeit der Größe und des Verwendungszweckes können unterschiedlichste Geokunststoffe zum Einsatz kommen. In der Regel werden kleinformatigere Sandsäcke aus Vliesstoffen und großformatigere Schläuche aus Geweben oder aus Geoverbundstoffen gefertigt. Untersuchungen bezüglich des ökologischen Potentials von Geotextilien haben eine hohe Akzeptanz der Marinen Flora und Fauna sowohl in der Nordsee [BfG, 2009] als auch im Mittelmeer [Mori, 2009] festgestellt. Die geotextile Oberfläche wird schnell und nachhaltig kolonialisert, wodurch die geotextile Struktur unterhalb der „ökologischen“ Schutzschicht nicht mehr erkennbar ist bzw. von einer natürlichen nicht mehr zu unterscheiden ist.



Abb. 1: Durch die Marine Flora und Fauna kolonisierte Oberfläche eines Riffwellenbrechers aus geotextilen Sandelementen (Schläuche) im Mittelmeer ca. ein Jahr nach Installation

Die Verwendung von geosynthetischen Containerlösungen bietet elementare Vorteile gegenüber konventionellen Bauweisen. Durch die filterstabile Verpackung des eingefüllten Materials (vorzugsweise und in der Regel Sand) wird dessen Erosion verhindert. Der Einsatz lokaler vorhandener Erdbaustoffe als Füllmaterial minimiert den Transportaufwand und ermöglicht auch eine Kostenreduktion. Da es sich um eine im Englischen Sprachgebrauch so genannte „soft solution“ („sanfte Lösung“) handelt, ist unter der Voraussetzung des Einsatzes geeigneter Geokunststoffe, vor allem die Integration in die Umgebung

wesentlich „sanfter“ und natürlicher. Darüber hinaus tritt durch die Verfüllung mit Sand und die prinzipielle Elementflexibilität ein verändertes bzw. „gemildertes“ Kolk- und Erosionsverhalten unmittelbar um die geosynthetischen Elemente auf. Im Vergleich zu oberflächlichen Deckwerkssystemen ermöglichen geotextile Säcke und Schläuche nicht nur den Bau eines Deckwerkes sondern auch den (Wieder-) Aufbau der gesamten Böschung.

Nachfolgend ein kurzer Überblick der im vorliegenden Fall zur möglichen Anwendung kommenden geosynthetischen Containerlösungen.

3.1.1 Säcke

Geotextile Sandcontainer mit einem Füllvolumen von ca. 0,05 bis 2,5 m³ werden auch als "Sandsäcke" bezeichnet. Es handelt sich in der Regel um im unverfüllten Zustand rechteckige an den Längsseiten vernähte geotextile Container, die mit trockenen oder erdfeuchten Materialien (vorzugsweise Sand) verfüllt und anschließend mit Hilfe von transportablen Handnähmaschinen verschlossen werden. Als Standardbauweise in Deutschland haben sich 1 m³ Sandsäcke (unverfüllte Abmessungen flach ausgelegt: 1,45 m x 2,38 m) aus einem BAW zertifiziertem minimal 600 g schweren Vliesstoff etabliert. Hierzu haben in den letzten Jahren detaillierte Untersuchungen vor allem hinsichtlich der hydraulischen Stabilität der kleinformateren geotextilen Elemente stattgefunden. Wesentliche Erkenntnisse dieser Untersuchungen sind auch in das Regelwerk des Landes Mecklenburg-Vorpommern „Entwurfs- und Ausführungsgrundsätze im Küstenschutz M-V: Uferlängswerke – Geotextilwälle“ [MV, 2013] eingeflossen. Die Anwendung des Regelwerkes ist fokussiert auf den Einsatz der Sandsäcke als Dünenverstärkung mit einer permanenten Überdeckung durch Sand. Weitere Bemessungsgrundlagen und Konstruktionsempfehlungen finden sich in internationalen Werken wie [Bezuijen, 2013] und [Pianc, 2011]. Im Zuge der weitervorschreitenden Entwicklung und Evolution des Sandsacksystems haben auch andere Geokunststoffe (z.B. Geoverbundstoffe) mit Hebevorrichtungen (Schlaufen) oder auch alternativen Verschlussystemen Verwendung gefunden.

Die Befüllung des Sandsackes erfolgt in der Regel mit Hilfe eines mobilen oder stationären Trichters und einem Bagger zur Aufgabe des Sandes. Der typische Befüllvorgang des 1 m³ Standardsackes wird anhand der folgenden Abbildung illustriert.



Abb. 2: Typischer Befüllvorgang eines geotextilen Sandsackes mit Hilfe eines mobilen Befülltrichters

Nach Verfüllung und Verschluss durch eine Baustellennaht erfolgt der Einbau normalerweise durch einen Bagger mit entsprechender Verlegevorrichtung beziehungsweise einem modifiziertem Sortiergreifer.



Abb. 3: Installationsvorgang des befüllten und verschlossenen 1 m³ Sandsackes mit Hilfe eines Baggers mit modifiziertem Sortiergreifer

Die Vorteile der kleinformatischeren Sandsäcke liegen in dem geringen Aufwand an Installationsequipment sowie in dem prinzipiell einfachen Einbauablauf. Der zur Verfüllung erforderliche Sand kann vor Ort gewonnen oder antransportiert werden. Im Hinblick auf den Installationsort und die damit einhergehenden auftretenden hydraulischen Einwirkungen kann die geringere hydraulische Stabilität im Vergleich zu den großformatigen geosynthetischen Schläuchen nachteilig sein. Mit beiden geosynthetischen Elementen lassen sich größere Verbauhöhen bei wesentlich steileren Neigungen als mit konventionelle Lösungen realisieren.

3.1.2 Schläuche

Geosynthetische Schläuche für den Küsten- oder Uferschutz sind nach der Verfüllung längliche, im Querschnitt annähernd ellipsenförmige Container. In der Regel werden die Schläuche nach Auslage am Installationsort in-situ hydraulisch mit einem Sand/Wassergemisch verfüllt werden. Optional kann auch eine kombinierte mechanisch/hydraulische Methode zum Einsatz kommen. Hierzu Verwendung findet entweder ein Saugbagger oder eine Feststoff-/Schlammpumpe.

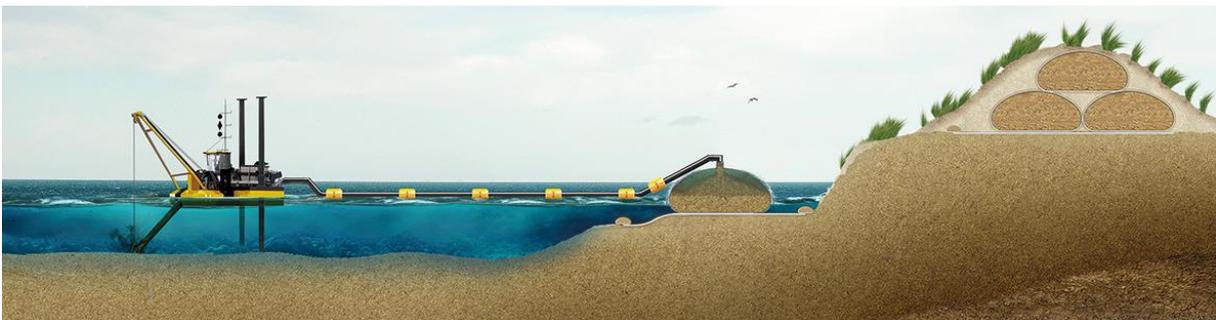


Abb. 4: Schematische Illustration des hydraulischen Befüllvorganges eines geotextilen Schlauches mittels eines Saugbaggers

Direkt nach Start der hydraulischen Befüllung drainiert das Transportmedium (Wasser) aus dem Schlauch durch die permeable Hülle bestehend aus einem Gewebe bzw. Komposit. Die Sandpartikel werden durch das Geotextil innerhalb des Schlauches zurückgehalten und lagern sich dort ab.

Die Schlauchgrößen für wasserbauliche Anwendungen liegen in der Regel im Durchmesser bei 1,0 m bis zu 5,0 m, bei einer Länge von 10,0 m bis zu 50,0 m. Je nach Durchmesser und Länge kann das Füllvolumen von 10 m³ bis zu mehreren hundert Kubikmetern betragen.

Ein wesentlicher Vorteil der geosynthetischen Schläuche, abgesehen von der Lagestabilität, ist das schonende und nachhaltige Installationsverfahren, das sich durch nahezu keinen Einfluss auf die Umwelt auszeichnet.

3.1.3 Geotextile Matten

Im Sinne der Definition von Matten und Matratzen (vgl. Kapitel 2.3) handelt es sich bei sogenannten „Geotextile Matten“ um Matratzen: ein flächenhaftes geosynthetisches Element mit einer im Verhältnis zur Fläche sehr geringen Aufbauhöhe wird in-situ mit einem Material verfüllt. Der Begriff Matten hat sich am Markt durchgesetzt, weshalb im Folgenden weiter der Terminus „Matten“ verwendet wird. Prinzipiell kann zwischen zwei Arten von Matten unterschieden werden:

- Schlauchmatten
- Betonmatten

Schlauchmatten bestehen aus mehreren kontinuierlich miteinander verbundenen kleineren Schlauchelementen, die entsprechend den geosynthetischen Schläuchen hydraulisch mit einem Sand/Wassergemisch befüllt werden. Die Anwendung dieser Matten erstreckt sich von dem klassischen Erosionsschutz von Böschungen bis hin zum Kolkschutz und der Verwendung als Lastverteilendes Element bei der Gründung von Schlauchwellenbrechern.



Abb. 5: Verfüllte Schlauchmatte als Fundationsmatte für einen Schlauchwellenbrecher

Betonmatten dienen als eine verlorene geotextile Schalung für die Herstellung eines kontinuierlichen fugenfreien Betondeckwerkes. Hierzu wird die Schalungsmatte vor Ort mit einem ausreichend fließfähigem Beton verfüllt. Die Konfiguration der Matte ermöglicht sowohl die Herstellung eines permeablen als auch eines impermeablen Deckwerkes. Durch die Vernähung mehrerer Mattenbahnen lassen sich bis zu 1000 m² große Panels fertigen.



Abb. 6: In der Befüllungsphase befindliche Betonmatte

Hauptanwendungsbereiche liegen im Bereich der Kanalauskleidung, der Böschungs- bzw. Sohlsicherung und in der Herstellung erosionssicherer Deckwerke für Ablaufrinnen und Überströmstrecken. Als

elementarer Vorteil bei diesen Bauwerken hat sich die Möglichkeit herausgestellt, dass Betonmatten auch bei steilen und übersteilen Böschungen eingebaut werden können.

4 Anwendungsbeispiele

Zur Veranschaulichung der Einsatzmöglichkeiten geotextiler Container und Matten zum nachhaltigen Schutz der Böschungen von Tagebaurestseen werden in diesem Kapitel einige ausgewählte Projektbeispiele illustriert.

4.1 Großräschener See (Ilsesee), 2006

Der aus der Flutung des Restlochs des Tagebaus Meuro entstehende Großräschener See, südlich der Stadt Großräschchen und westlich des Senftenberger Ortsteils Sedlitz gelegen, wird mit Erreichen des finalen Stauzieles auf 100 Meter über Normalnull im Jahre 2018 bei einer Tiefe von maximal 55 m eine Fläche von 771 Hektar abdecken. Ein Großteil der seit März 2007 in den See eingeleiteten 153 Millionen m³ Wasser wird über das zur Flutung errichtete Einlaufbauwerk eingespeist. Das Wasser stammt aus dem Restloch Sedlitz, wird übergehoben und in der Grubenwasserreinigungsanlage Rainitz aufbereitet. Mit Hilfe eines 1,20 Meter durchmessenden Rohres wird das Wasser dann von der Aufbereitungsanlage mit einer maximalen Kapazität von 120 m³/min in die ehemalige Grube geführt.

Um den maximal zu erwartenden Zustrom von ca. 7200 m³/h sicher aufnehmen zu können, wurde unterhalb des Rohres auf 65 Metern über Normalnull ein ungefähr 60 Meter langes und 30 Meter breites Tosbecken errichtet. Von hier fließt das Flutungswasser mittels einer Rampe noch einmal weitere 12,5 Höhenmeter zum Restsee.

Um die Voraussetzungen für einen ungestörten Flutungsablauf zu schaffen, wurde im Jahr 2006 das Tosbecken mit einer Betonmatte des Typs Incomat[®] Flex 20.118 ausgekleidet.



Abb. 7: Installation der Incomat[®] Flex 20.118 im Tosbecken des Einlaufbauwerkes

Hierzu wurden werkseitig vorkonfektionierte Panels im Becken ausgelegt und in-situ mit ausreichend fließfähigem Beton verfüllt. Die Panelverbindung zur Herstellung einer durchgehenden fugenfreien Betonplatte erfolgte mit Industriereißverschlüssen. Durch die besondere Betonieretechnik in circa 5 m breiten Betonierabschnitten kommt es zur Ausbildung von sogenannten Pressfugen, bekannt aus dem fugenlosen Industriebodenbau. Hierdurch lässt sich eine kohärente Betonplatte erstellen.



Abb. 8: Mit Incomat® Flex 20.118 gesicherter Bereich des Tosbeckens unterhalb des Einlaufrohres

Ein Jahr vor Erreichung der finalen Wasserspiegellage hat sich die Tosbeckenauskleidung im Betrieb über einen Zeitraum von 10 Jahren bewährt.

4.2 Blunoer Südsee (2016)

Gelegen im sächsischen Teil des Lausitzer Seenlandes auf dem Gebiet der Gemeinde Elsterheide ist der Blunoer Südsee ein Bestandteil der Lausitzer Seenkette. Als Tagebaurestsee entsteht er durch Flutung des Restlochs Nordschlauch des ehemaligen Tagebaues Spreetal. Wenn die im Jahr 2005 begonnene Flutung nach heutigem Stand in 2020 bei einem Endwasserstand von 104 Meter über Normalhöhenull (NHN) angelangt sein wird, dann wird das Gewässer eine Fläche von knapp 350 Hektar umfassen bei einem Wasservolumen von circa 64 Millionen m³. Aktuell liegt der Wasserstand bei ungefähr drei Meter unter dem geplanten Mindestwasserstand, wodurch die untere ungesicherte Steilböschung dem Wellenschlag und der damit verbundenen Erosion schutzlos ausgesetzt ist. Durch die Rückverlagerung der unteren Steilböschung in das bereits gestaltete Ausgleichsprofil wird die Standsicherheit der oberen Steilböschung gefährdet. Somit wurden zusätzliche Sicherungsmaßnahmen des Randsaumes des Nordschlauches des ehemaligen Tagebaus Spreetal-Nord erforderlich.

Als ökonomischste und effizienteste Lösung gestaltete sich die Sicherung der Nordböschung auf einer Länge von 1.600 Meter mit einer Kombination aus Sandcontainern und Wasserbausteinen.



Abb. 9: Mit 1 m³ Sandcontainern des Typs SoilTain® gesichertes Nordufer des Blunoer Südsees

Zum Einsatz kamen rund 14.000 Sandcontainer mit einem theoretischen Füllvolumen von 1 m³ bei einem Füllgrad von ungefähr 80 %. Die aus einem mechanisch verfestigten Vliesstoff hergestellten Sandsäcke haben im unverfüllten Zustand eine Länge von 2,38 Meter bei einer Breite von 1,45 Meter.

Das vorgegebene Sanierungsziel der Stabilisierung der unteren Uferböschung wurde unter Einhaltung des vorgegebenen Zeitplanes erreicht.

4.3 Sedlitzer See (2014-2017)

Der Sedlitzer See zählt wie der Großräschener See und der Blunoer Südsee zu der Lausitzer Seenkette und liegt in deren unmittelbaren Nachbarschaft. Als Hinterlassenschaft des früheren Tagebaus Ilse-Ost wird der Sedlitzer See nach der Flutung auf den Zielpegel von 100 Meter über Normalhöhenull (NHN) Ende 2019 beziehungsweise Anfang 2020 eine Fläche von 1.330 Hektar vorweisen. Somit wird der Sedlitzer See der flächenmäßig größte der Lausitzer Seenkette sein. Bei einer maximalen Wassertiefe von 27 Metern wird das Gewässer im Endzustand ein Wasserspeichervolumen von 206 Millionen Kubikmeter besitzen.

Neben verschiedensten bergbaulichen Sanierungsmaßnahmen entlang des Seeufers, galt der Sicherung der Nordostböschung des Restloches besondere Beachtung. In diesem Bereich wurde seit dem Sturm „Kyrill“ am 18./19. Januar 2007 eine ausgeprägte Kliffformation beobachtet. Auf Grund des sich verzögernden Anstieges des Seewasserspiegels im Restloch, kam es in Folge Wind induzierter Wellen mit einer Wellenhöhe von mehr als 0,7 m zur weiteren kontinuierlichen Erosion und deutlichen Rückverlagerung des Ufers unter Versteilung und Nachbrechen der Böschung. Weitere größere Sturmereignisse, wie zum Beispiel Sturm Emma im März 2008, begünstigten die Ausbildung von Abbruchkanten entlang der Nordost-Böschung mit einer maximalen Höhe von bis zu 5 Metern. Im Mittel lag die Kliffhöhe von der Böschungsoberkante bis zur Wasserlinie zwischen 3 und 4 Meter bei einer Länge von 1.500 m.



Abb. 10: Das im Vordergrund liegende Installationsponton während der Befüllung der zweiten geotextilen Schlauchlage im Hintergrund

Unmittelbar vor dem Kliff hatte sich eine flach geneigte (1:10) und mindestens 10 m breite Unterwasserböschung mit Wassertiefen kleiner als einem Meter ausgebildet.

Nach Abwägung unterschiedlichster Sanierungsansätze für diese Sektion wurde im Zuge der Sofortmaßnahme Kliffsicherung Lieske seitens der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft (LMBV) Neuland betreten. Es kam zum erstmaligen Einsatz großformatiger geotextiler Schläuche als Sicherungsmaßnahme an Tagebaurestseen. Nach Profilierung und Herstellung einer Plattform wurde darauf die erste Lage der hydraulisch verfüllten geotextilen Schläuche mit einem Umfang von 12,6 m und einer Füllhöhe von 2,0 m +/- 0,2 m installiert. Um die erforderliche Höhe zum vollständigen Kliffverbau zu erzielen, wurde eine zweite Lage Schläuche darüber platziert. In Abhängigkeit der erforderlichen Verbauhöhe und der Kliffausbildung kam in anderen Bereichen ein technischer Flächenverbau aus Wasserbaudeckwerk zur Anwendung. Die gesamte Sicherung der Nordböschung (Kliff

Lieske) des zukünftigen Sedlitzer Sees erstreckt sich über 2 Hauptbauabschnitte mit einer jeweiligen Länge von 1,2 Kilometern (Bauabschnitt 1) beziehungsweise 1,7 Kilometern (Bauabschnitt 2).



Abb. 11: Fertig gestellter Abschnitt der Kliffsicherung Lieske mit SoilTain® Küstenschutzschläuchen

Das Ziel der Sicherungsmaßnahme in Form der Gestaltung einer dauerstandsiseren Böschung gegen von Windwellen verursachte Einwirkungen wurde mit Hilfe des umfangreichen Einsatzes verschiedenster Geokunststoffe erreicht.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Neben den hier aufgeführten Beispielen kamen Geokunststoffe in vielen weiteren Projekten bei der Re-kultivierung von ehemaligen Tagebauen erfolgreich zum Einsatz. Hinsichtlich der Anwendbarkeit von geotextilen Containern existiert sowohl bei Planern als auch bei Behörden und Anwendern eine gewisse Unsicherheit. Vor allem im Angesicht der Herausforderungen bei der Flutung von Restlöchern und der Vielzahl der anstehenden Maßnahmen, ist das Potenzial der Geokunststoffe noch lange nicht in vollem Umfang ausgeschöpft worden. Nicht in jedem Fall bieten geotextile Container eine bessere Lösung, dennoch stellen sie ein probates Mittel bei der Sanierung von Bergbaugebieten dar und erweitern das zur Verfügung stehende Spektrum an Werkzeugen nachhaltig. In Zukunft gilt es diese Möglichkeiten im Zusammenspiel mit allen Beteiligten abzuwägen und nachhaltige Lösungen zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

Bezuijen, A., Vastenburg, E.W. (2013): Geosystems - Design Rules and Applications, Leiden, Niederlande.

Bretschneider, H., Lecher, K., Schmidt, M. (1982): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 6. Auflage, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, Deutschland.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Wetzel, A. (2009): Das Ökologische Potential von Geotextilien, Koblenz, Deutschland.

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (2008): Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR), Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Deutschland.

Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken durch den Ausschuss für Küstenschutzwerke (EAK) 2002 (2007): Die Küste, Empfehlungen für Küstenschutzwerke, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co., Heide in Holstein, Deutschland.

Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) (2013): Ingenieurbio-logische Bauweisen an Fließgewässern – Leitfaden für die Praxis, WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH, Karlsruhe, Deutschland.

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (MV) (2013): Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern – Uferlängswerke – Geotextilwälle, Schwerin, Deutschland.

Mori, E. (2009): Coastal Structures made of Geotextiles filled with Sand: Field and Experimental Research, Florenz, Italien.

PIANC Maritime Navigation Commission Report No. 113 (2011): The Application of Geosynthetics in Waterfront Areas, PIANC Secretariat General, Brüssel, Belgien.

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) (2005): Ufersicherung – Strukturverbesserung, Anwendung ingenieurbio-logischer Bauweisen im Wasserbau. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, Deutschland.

Das Kunststoff-Zentrum (SKZ), Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (2011): Erarbeitung und Verifizierung von Auswahlkriterien für geosynthetische Erosionsschutzsysteme, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Deutschland.

Wagner, H., Götz, A., Starke, T. (2009): Durch Wellen erzeugte Sedimentbewegungen in Bergbaufolgeseen, Binnenschiffahrt, Nr. 11, 2009.

Wagner, H., Wagner, R., Schulz, S., Reinsch, R., Köhler, F. (2013): Sanierung einer erosionsgefährdeten Böschungsbefestigung am Störmthaler See, Binnenschiffahrt, Nr. 2, 2013.

Zitscher, F. (1971): Kunststoffe für den Wasserbau, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin-München-Düsseldorf, Deutschland.