

Deiche durch Geotextilien resilienter gestalten



Regelmäßig kommt es in Deutschland zu Hochwassereignissen, bei denen insbesondere die Deiche als Hochwasserschutzstrukturen im Fokus stehen. Durch die hohen Wasserstände in Verbindung mit oftmals lang anhaltenden Hochwassereignissen, war die Standsicherheit der in der Regel als homogene Erdkörper gebauten Deiche häufig kritisch, teilweise kam es sogar zu einem Versagen der Deiche. Durch den Einsatz von Geotextilien können Deiche sowohl im Zuge eines Neubaus, bzw. einer Ertüch-

tigung als auch unmittelbar vor oder während Hochwassereignissen so verstärkt bzw. gesichert werden, dass die typischen Versagensfälle verhindert oder zumindest deutlich herausgezögert werden können. Einige mögliche Anwendungen von Geotextilien für kurz- und langfristige Vorsorgemaßnahmen werden in diesem Beitrag vorgestellt. Dabei handelt es sich sowohl um Anwendungen, die dem Stand der Technik entsprechen, als auch um innovative Anwendungen von Geotextilien in Deichen.

1. Einleitung

Im Jahr 2023 ist es in Deutschland zu zwei großen Hochwassersituationen gekommen, bei denen resilientere Deiche zum Hochwasserschutz hätten beitragen können. Im Oktober 2023 hat eine folgenschwere Sturmflut an der Ostsee erhebliche Schäden angerichtet. Unter anderem hat die Sturmflut an einigen Küstenabschnitten zu einem Versagen von Deichen geführt. Im Dezember 2023 haben langanhaltende, überregionale Regenfälle das „Weihnachtshochwasser 2023“ verursacht. Beim Weihnachtshochwasser 2023, welches die Mitte sowie den Norden Deutschlands umfasste, haben nicht nur hohe Wasserstände, sondern auch die Dauer des Hochwassers zu Standsicherheitsproblemen an den Deichen geführt. Typische Versagensformen von Deichen werden durch Überströmung, Erosion auf der Wasserseite oder Durchströmung/ Unterströmung hervorgerufen. Diese übergeordneten Versagensmuster sind abstrahiert in Bild 1 dargestellt und lassen sich einzeln noch weiter spezifizieren und miteinander kombinieren.

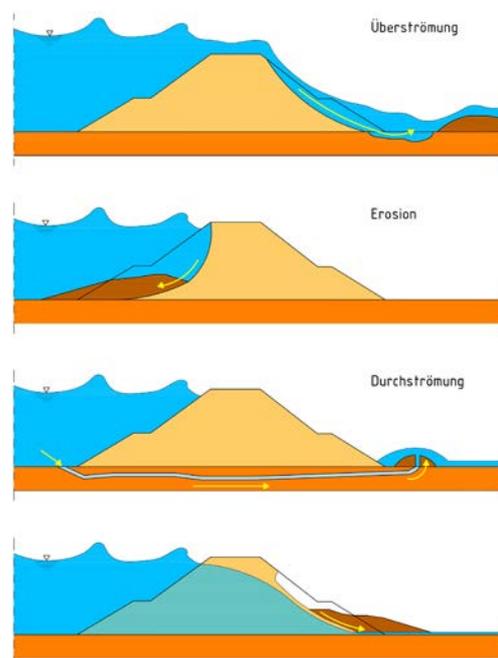


Bild 1: Typische Versagensformen von Deichen
(verändert nach [19])

Deiche sind in DIN 19712 [1] geregelt und stellen das traditionelle Element der Hochwasserschutzanlagen dar. In [1] werden einheitliche Grundlagen und Prinzipien für Neubau, Sanierung, Unterhaltung, Überwachung und Verteidigung von Hochwasserschutzanlagen geregelt. Geotextilien in Deichen werden in [1] beim Hochwasserschutz im Katastrophenfall in den Anwendungen einer filterstabilen Trennung von Drain- und Stützkörper sowie der Verbesserung der Standsicherheit von Deichkörpern erwähnt. In [2] sowie dem zentralen DWA-M 507-1 [3] wird die Anwendung von Geotextilien bzw. Geokunststoffen in einem separaten Unterkapitel aufgeführt und darüber hinaus in vielen weiteren Kapiteln erwähnt. [1] und [3] schließen Seedeiche explizit aus. Empfehlungen zu Seedeichen werden in [4] gegeben. Diese Empfehlungen sind mit Blick auf die Geotextilien sehr viel umfassender. In den in [4] enthaltenen Empfehlungen C 2002 „Baustoffe für

Küstenschutzbauwerke“ gibt es ein ausführliches Kapitel zu Geokunststoffen und Geotextilien, wonach „ingenieurtechnologische Anwendungen in der Geotechnik und im Wasserbau ohne Geokunststoffe unvorstellbar sind“. Weiterhin widmet sich [4] in den Empfehlungen G 2002 „Seedeiche und Tidestromdeiche“ ausführlich der Bewehrung von Deichaufstandsflächen mit Geokunststoffen.

Es zeigt sich, dass Geotextilien in den einschlägigen Normen und Regelwerken zwar enthalten sind, jedoch zum einen in unterschiedlichem Detailgrad behandelt und zum anderen die vielfältigen Einsatz- bzw. Anwendungsfälle nicht in Gänze aufgeführt werden. Der vorliegende Beitrag gibt daher einen Überblick zu den bereits in den Regelwerken vorhandenen Anwendungen und zeigt darüber hinaus weitere Anwendungsfelder von Geotextilien in und an Deichen auf, die zu resilienteren Deichen führen.

2. Anwendungen von Geotextilien in Deichen

Die Anwendungen von Geotextilien in Deichen sind in kurzfristige Vorsorgemaßnahmen, die unmittelbar vor dem Eintritt des Hochwassers oder währenddessen ausgeführt

werden können und langfristige Maßnahmen unterteilt, die beispielsweise im Rahmen eines Neubaus oder einer Sanierung umgesetzt werden können.

2.2 Kurzfristige Vorsorgemaßnahmen

2.2.1 Geotextile Schlauchmatten als Auflast und Erosionsschutz der wasser- oder luftseitigen Böschung

Einführung

Geotextile Schlauchmatten sind flächig nebeneinander angeordnete, zusammenhängende Schläuche, die hydraulisch mit Sand oder anderem Füllmaterial befüllt werden. Hierbei ist auf die Filterstabilität gegenüber dem Gewebe zu achten. Die Matten, deren Schläuche je nach Abwehung unterschiedliche Durchmesser haben können, können werksseitig oder auf der Baustelle mittels entsprechender Handnähmaschine vor Befüllung zu größeren Panels

vernäht werden. Panels untereinander können ebenfalls verbunden oder überlappend verbaut werden.

Im Falle einer einseitigen Anwendung sollte die Schlauchmatte an der Dammkrone verankert werden. Wird die Matte sattelförmig auf den Deich aufgebracht, kann die Lagesicherung durch parallele Befüllung der Schlauchmatte auf beiden Böschungsseiten erzielt werden (Bild 2).



Bild 2: Schlauchmatte als einseitige Anwendung an Luftseite des Deiches

Benefits/Anwendungen

Durch die Aufbringung einer solchen Matte können wasserseitig Beschädigungen an der Deichhaut verhindert werden, gleichzeitig dient die Matte sowohl luft- als auch wasserseitig als Auflast. Luftseitig wirkt sie darüber hinaus als Flächenfilter und unterbindet eine Erosion aus dem Damminnenen heraus. Da es zur Befüllung lediglich einer Pumpe, Wasser, Sand und ggf. eines Baggers bedarf, ist eine Schlauchmatte insbesondere für solche Struktu-

ren geeignet, an denen wenig Ressourcen und Arbeitskraft zur Verfügung stehen. Aufgrund der Breite von 5 m ermöglichen Schlauchmatten einen schnellen Fortschritt der Schutzmaßnahme.

Bedingt durch die hydraulische Befüllung können die Matten im Hochwasserfall auch von der Dammkrone aus unter Wasser befüllt werden.

2.1.2 Sandcontainer als Notfallmaßnahme

Einführung

Geotextile Sandcontainer oder umgangssprachlich Sandsäcke sind Säcke aus hochfestem, gewebtem oder vernetztem Geotextil, die mit lokal verfügbarem Material gefüllt werden können. Mit Größen von bis zu 5 m² bis unterscheiden sie sich von den allgemein bekannten Handsäcken in ihrer Größe. Ihre permeable Beschaffenheit lässt das Wasser durchfließen und verringert das Risiko eines hydrostatischen

Druckaufbaus, während das Füllmaterial dauerhaft im Inneren der Säcke eingeschlossen ist. Geotextile Sandcontainer können nach [5] gegen Wellenlasten und Strömungsangriffe bemessen werden. Die Stabilität dieser Säcke gegen Gleiten und Kippen kann nach [6] nachgewiesen werden.

Benefits

Der Vorteil von geotextilen Sandcontainern liegt in ihrer Fähigkeit, sich durch ihre flexible Struktur an verschiedene Formen und Konturen der Landschaft anzupassen, und in ihrer Verfügbarkeit in verschiedenen Größen (1,0 m² bis 5,0 m²) für unterschiedliche Anwendungen [7]. Größere geotextile Sandcontainer können aufgrund ihrer Beschaffenheit im Vergleich zu kleineren Säcken höheren Fließgeschwindigkeiten und Wellen widerstehen [5]. Ferner ist mit größeren Elementen eine deutlich effektivere und schnellere Sicherung von betroffenen Abschnitten möglich.

Geotextile Sandcontainer können leicht vor Ort mit minimaler Ausrüstung und Fachkenntnis befüllt werden, was sie vielseitig einsetzbar macht. Ihre Einfachheit liegt in der

unkomplizierten Verwendung von lokal verfügbarem Füllmaterial wie Sand, Erde oder Kies. Diese Anpassungsfähigkeit senkt nicht nur die Kosten, sondern minimiert auch die Umweltauswirkungen durch die Nutzung von Ressourcen in der Nähe.

Nach dem Befüllen können die Säcke vor Ort entweder mit einer Handnaht oder einem Kordelzug verschlossen werden, so dass sie im Notfall schnell und einfach eingesetzt werden können. Außerdem sind sie im ungefüllten Zustand aufgrund ihres geringen Gewichts leicht zu lagern, zu transportieren und zu installieren (Bild 3), auch in abgelegenen oder schwer zugänglichen Gebieten.



Bild 3: Transport und Verlegung von großen Sandcontainern

Anwendungen

In Notfällen sind geotextile Sandcontainer ein wichtiges Instrument für den Erosionsschutz, insbesondere für die Verstärkung von Deichen. Diese Container bieten eine schnelle und wirksame Lösung zur Herstellung einer Auflast und zur Verstärkung von Deichen gegen drohende Erosion, sei es aufgrund von Überschwemmungen, Sturmfluten oder anderen Umweltgefahren. Durch die strategische Platzierung von geotextilen Sandcontainern entlang gefährdeter Deichabschnitte können die Behörden die strukturelle Integrität der Deiche schnell verstärken, um Brüche zu verhin-

dern und das Risiko von Überschwemmungskatastrophen zu minimieren [8]. Darüber hinaus bieten geotextile Sandcontainer die Möglichkeit, Deiche schnell zu erhöhen, um in Notfällen sofort auf sich schnell ändernde Wasserstände reagieren zu können (Bild 4). Ferner erleichtern diese Container die Reparatur beschädigter Deiche, indem sie ein haltbares und flexibles Material zur Verstärkung geschwächter Abschnitte oder zum Auffüllen von z.B. Breschen bereitstellen und so eine rasche Wiederherstellung des Hochwasserschutzes ermöglichen.



Bild 4: Temporäre Hochwasserschutzstruktur aus 1 m³ Sandcontainern

2.2 Langfristige Maßnahmen

2.2.1 Bewehrung der Deichaufstandsfläche mit Geotextilien

Einführung/Anwendung

Bei der Errichtung von Deichbauwerken ist es oft notwendig, konstruktive Maßnahmen zu ergreifen, um die Standicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks zu gewährleisten. Bei Stabilitätsproblemen werden geotextile Deichbasisbewehrungen eingesetzt, um Kraftdefizite auszugleichen. Bei der Dimensionierung und Bemessung des Deichkörpers und der baulichen Maßnahmen ist darauf zu achten, dass auftretende Verformungen die Funktionsfähigkeit des Deiches und seiner Bauteile, bei 3-Zonen-Deichen den Stützkörper, die Dichtung und den Entwässerungskörper, nicht beeinträchtigen. In den derzeit gültigen Bemessungsrichtlinien gibt es Unklarheiten und Missverständnisse in Bezug auf das Systemverhalten und den relevanten Anforderungen, die einer technischen Diskussion bedürfen. DIN 19712 [1] fordert für den Einsatz von geotextilen Deichbasisbewehrungen zum Beispiel eine maximale relative Dehnung von 1% unter Dauerlast. Die Bedeutung der Begriffe „relative Dehnung“ und „ständige Belastung“ ist dabei nicht eindeutig definiert. Darüber hin-

aus ist eine generelle Dehnungsbegrenzung ohne Berücksichtigung der Lage und Art des Dichtelements nicht sinnvoll und kann hohe, unnötige Kosten verursachen. Eine Dehnungsbegrenzung ist bei einer innenliegenden Kerndichtung sinnvoll, bei einer außenliegenden, hangparallelen Tondichtung als Dichtungselement jedoch irrelevant. Bei überwiegend horizontaler Schichtung des Untergrundes, d.h. bei Ausbildung einer Setzungsmulde unterhalb des Deichkörpers, werden die Böschungsfanken und damit auch das wasserseitige Dichtelement gestaucht [9].

Bei sehr weichem bzw. geringtragfähigem Baugrund können zur Begrenzung der Setzungen weitere Maßnahmen erforderlich werden. Neben dem Austausch des geringtragfähigen Bodens ist auch eine Bodenverbesserung mit Schottersäulen oder geotextile ummantelten Sandsäulen, wie bei der Geländeerweiterung des Airbus-Geländes in Finkenwerder, Hamburg [10], möglich.

Anwendungsbeispiel

Im Zuge der Umgestaltung des Emschereinzugsgebiets in Dortmund wurde im Bereich des Ortsteils Wischlingen die Herstellung eines Hochwasserschutzdeichs als Lückenschluss erforderlich, um eine topografisch geeignete Fläche zukünftig für die Rückhaltung von Starkregenabflüssen zu nutzen. Die Besonderheit des Projektgebiets besteht in den örtlich anstehenden, stark mächtigen Torfbänken und stark organischen Schluffschichten, welche eine besondere Betrachtung der Standsicherheit und des Zeit-Setzungs-Verhaltens des Deichs bzw. des Deichlagers erforderten. Hierzu wurden in einer Variantenstudie unterschiedliche Verfahren der Baugrundverbesserung zur Erhöhung der Standsicherheit und zur Beschleunigung der eintretenden Verformungen durchgeführt. Die Lösungsvariante sah eine dehnteife Deichbasisbewehrung über ein Geogewebe vor, wodurch die Standsicherheit des

Deichs insbesondere für den Anfangszustand sichergestellt werden konnte. Dadurch entstand die Möglichkeit, den Deichkörper kontinuierlich aufzubauen ohne erforderliche Konsolidationsphasen innerhalb des Bauablaufs abwarten zu müssen und die Herstellungsarbeiten dafür zu unterbrechen. Zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit wurde der Deich um das Maß der zu erwartenden Setzungen überhöht ausgeführt, was angesichts der anstehenden Weichschichten zu einer Überhöhung von bis zu 100 cm führte. Über eine hydraulische Anbindung des Deichlagers an eine zusätzliche Dränageschicht unterhalb des Deichkörpers konnte die Konsolidationsdauer auf ein vertretbares zeitliches Maß begrenzt werden, so dass auf zusätzliche Maßnahmen zur Konsolidationsbeschleunigung verzichtet werden konnte [11].

2.2.2 Erosionsstabiler Stützkörper aus geotextilen Schläuchen

Einführung

Geosynthetische Schläuche, auch Geotextilschläuche oder Küstenschutzschläuche genannt, sind flexible Behälter aus Geotextilien, die für geotechnische und bautechnische Anwendungen entwickelt wurden. Diese röhrenförmigen Strukturen sind in verschiedenen Größen (Längen und Durchmessern) erhältlich und werden hauptsächlich für den Erosionsschutz, den Küstenschutz und die Sicherung sowie Wiederherstellung von Küsten und Flussufern verwendet.

Die geosynthetischen Schläuche werden hydraulisch mit lokal verfügbaren Sedimenten (z.B. Sand) gefüllt, so dass überschüssiges Wasser durch das geotextile Gewebe abfließen kann und nur das Sediment zurückbleibt (Bild 5). Ähnlich wie bei geotextilen Sandcontainern kann nach [5] die Stabilität von geosynthetischen Schläuchen gegen Wellenlasten und Strömungsangriffe ausgelegt werden.



Bild 5: Geotextiler Schlauch während Befüllung

Benefits

Geotextile Schläuche bieten zahlreiche Vorteile für Deiche und Dämme und erhöhen deren Wirksamkeit beim Hochwasserschutz. Sie verstärken diese Bauwerke und erhöhen ihre Stabilität gegen hydraulische Kräfte und Erosion, während sie gleichzeitig Sickerwasser passieren lassen und interne Erosion verhindern. Durch die hochzugfeste, geotextile Hülle wird die Integrität von Deichsystemen insbesondere von homogenen Deichsystemen dauerhaft sichergestellt.

Im Vergleich zu Sandsäcken (vgl. Kapitel 2.1.2), sind geotextile Schläuche aufgrund der hydraulischen Befüllung in Verbindung mit der hochzugfesten, kriecharmen Schlauchhülle setzungsunempfindlich, da sich die Sandpartikel

durch die von der Schlauchhülle aufgebauten Ringkraft nicht umlagern. Geosynthetische Schläuche ermöglichen eine schnelle Konstruktion und Installation, so dass eine kurze Reaktionszeit möglich ist und die Gesamtprojektzeit verkürzt wird.

Darüber hinaus bieten sie im Vergleich zu herkömmlichen Baumaterialien und -methoden kosteneffiziente Lösungen und tragen so zu einer preiswerten und nachhaltigen Deichinfrastruktur bei. Je nach Verfügbarkeit von Schüttmaterial für den Deichkern vs. Füllmaterial für die Schläuche, kann die Verwendung von geotextilen Schläuchen im Kern einer Struktur mit einer erheblichen CO₂ Einsparung einhergehen.

Anwendungen

Anwendung finden die Schläuche vorzugsweise als Stützkörper oder Kern einer Struktur, da die spätere Abdeckung durch Schüttgut die Dauerhaftigkeit der Schlauchhülle sicherstellt. Grundsätzlich können geotextile Schläuche daher in jedwedem Hochwasserschutzelement bzw. wasserbaulichen Struktur zum Einsatz kommen. Bei dauerhaft

unter der Wasseroberfläche liegenden Strukturen, zum Beispiel als untergetauchter Wellenbrecher, können die Schläuche auch ohne Abdeckung eingebaut werden. Nicht abgedeckte Strukturen, die im Trockenen liegen können nur temporärer Natur sein.

Anwendungsbeispiel

Die Stadt Tocopilla in Chile liegt am Pazifischen Ozean. Um den neuen Strand der Stadt gegen Erosion der dort vorherrschenden, massiven Wellen- und Strömungskräfte zu sichern, ist dieser im Schutz zweier Wellenbrecher errichtet worden (Bild 7). Aus unterschiedlichen Gründen ist der Kern der Molen nicht aus Schüttsteinen sondern aus mit lokal verfügbarem Sand, eingespült in geotextile Schläuche, gefüllt worden.

Bild 6 zeigt exemplarisch den Querschnitt eines Wellenbrechers. Mit zunehmender Wassertiefe werden die Küstenschutzschläuche in bis zu drei Lagen übereinander eingebaut und anschließend lagenweise mit dem finalen Deckwerk, welches aus bis zu 10 t schweren Steinen besteht, überbaut.

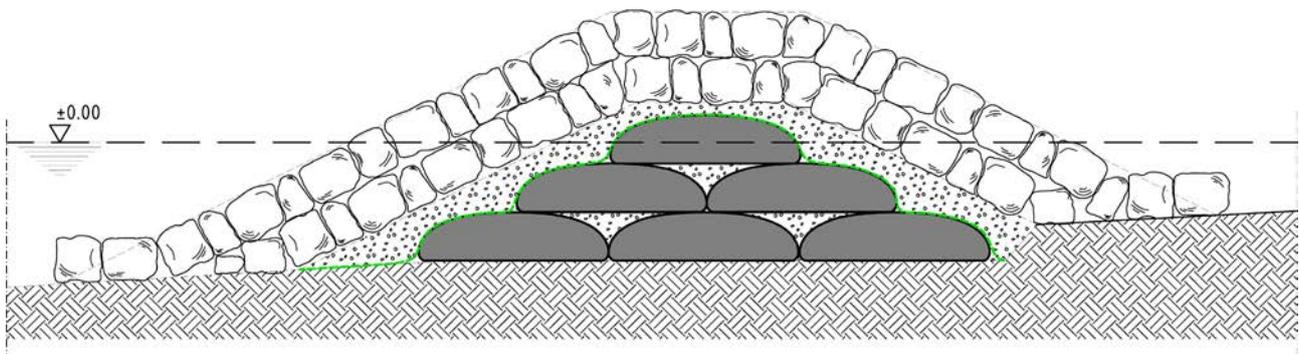


Bild 6: Querschnitt Wellenbrecher

Durch die Verwendung von lokal verfügbarem Material im Wellenbrecherkern, sind im Vergleich zu einer Steinschüttung, ohne Berücksichtigung des Steineinbaues, rund

900 t CO₂ und viele Transporte eingespart worden. Bild 7 zeigt eine Luftaufnahme des Strandes in Tocopilla nach Fertigstellung.

2.2.3 Endlosschläuche aus Schlauchfertiger Einführung



Bild 7: Strand in Tocopilla nach Fertigstellung

Eine weitere Anwendung ist die lokale Konfektionierung und Befüllung von Schläuchen mit einem sogenannten Schlauchfertiger. Der Schlauchfertiger (Bild 8) wird mittels eines Baggers o.ä. über den Fülltrichter mit lokal verfügbarem Boden beschickt und über parallellaufende Förderschnecken in einen aus einer Textilbahn konfektionierten Schlauch gepresst. Dieser wird im selben Arbeitsgang zwecks Verdichtung gerüttelt und mittels ebenfalls auf

der Maschine befindlichen Nähmaschine vollautomatisch mit einer Scheitlnaht und einer Rundnaht geschlossen. Der Schlauch kann sowohl aus synthetischen als auch aus biologisch abbaubaren Geweben gefertigt werden. Das verwendete Gewebe muss je nach Anwendungsfalle eine ausreichend hohe und dauerhafte Zugfestigkeit aufweisen, sodass die Nahtfestigkeit und die innere Standsicherheit des Schlauches gewährleistet sind.



Bild 8: Schlauchfertiger (Dybatec)

Benefits/ Anwendungen

Der fertige Schlauch wird als Endlosschlauch über ein bewegliches Förderband aus der Maschine herausgeführt. Da das Förderband auf einem beweglichen Arm montiert und die Maschine darüber hinaus mit einem Kettenfahrzeug ausgerüstet ist, kann die Schlauchverlegung parallel, entlang eines zu schützenden Hochwasserschutzelementes als Auflast auf der Böschung oder auch als Erhöhung eines Deiches (vgl. Kapitel 2.2.5) verwendet werden, wodurch sich der Einsatz des Schlauchfertigers auch zum Einsatz als kurzfristige Vorsorgemaßnahme eignet (vgl.

Kapitel 2.1). Durch die Scheitelnaht wird das eingekapselte Material dauerhaft im Schlauch gehalten und kann bei einer dauerhaften Überströmung oder in Folge einer Bewegung der Schläuche nicht ausgetragen werden. Die Endlosschläuche mit einem Durchmesser von ca. 0,50 m eignen sich darüber hinaus als strukturgebende Elemente für den Einsatz im Katastrophenschutz, im Erd-, Wasser-, Deich- und Böschungsbau. In allen Einsatzbereichen dienen sie als Tragskelett und geben den Bauwerken eine flexible Stabilisierung.



Bild 9: Schlauch aus Schlauchfertiger

Insgesamt zeichnet sich das Verfahren, welches in Zusammenarbeit mit der TU Dresden und dem Sächsischen Textilforschungsinstitut Chemnitz entwickelt wurde, durch einen hohen Grad an Innovation und Einsatzmöglichkeiten aus. Durch den Schlauchdurchmesser von rund 50 cm sowie eines Outputs von ca. 120 m/h können große Abschnitte in kurzer Zeit gesichert werden.

Auf Basis dieser Technologie läuft momentan eine experimentelle Untersuchung am Zentrum für Küsteningenieurwesen der TU Braunschweig über die Verstärkung und Sicherung von Küstenschutzdünen.

2.2.4 Abdichtung mit geosynthetischer Tondichtungsbahn

Die Abdichtung eines Gewässers, Wasserspeichers oder eines Hochwasserschutzelementes mit einer geosynthetischen Tondichtungsbahn ist mittlerweile bereits Stand der Technik und wird daher in dem vorliegenden Beitrag nur kurz erläutert und anhand eines Anwendungsbeispiels vorgestellt. Eine geosynthetische Tondichtungsbahn ist ein vernadeltes oder vernähtes Komposit bestehend in der Regel aus einer gewebten Trägerlage und einer Decklage aus Vlies, das eine Füllung aus Bentonitgranulat oder -pul-

ver einschließt. Der Einbau der Tondichtungsbahn sollte auf einem vorprofilierten Untergrund erfolgen. Um freies, unkontrolliertes Quellen der Matte zu verhindern, muss diese unmittelbar nach Einbau mit einer Auflastschüttung versehen werden.

Eine detaillierte Beschreibung sowie Bemessungsvorgaben können unter anderem [12] oder [13] entnommen werden.

Anwendungsbeispiel

Der 14,7 km lange Renchflutkanal in Baden-Württemberg nimmt das Hochwasser aus dem Oberlauf der Rench auf. Bodenmechanische und deichbautechnische Gutachten haben ergeben, dass die zwischen 1936 und 1968 erbauten Deiche nicht den heutigen Regeln der Technik entsprechen. Zudem konnte die notwendige Standsicherheit bei Hochwasserabfluss nicht mehr gewährleistet werden. Als größte Schwachstelle erwies sich der in weiten Abschnitten fehlende Freibord zwischen dem höchsten Stauziel und der Deichkrone. Damit der Deich nicht überströmt wird, mussten die betroffenen Bereiche um circa 1 m erhöht und das Trapezprofil insgesamt verstärkt werden. Ausgelegt wurde das künstliche Gewässer für einen Hochwasserabfluss von 230 m³/s.

Hierfür wurden auf der Wasserseite Geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD) vom Typ NaBento® RL-N+ vollflächig in die Böschung eingebaut. Bild 10 zeigt die auf der profilierten Böschung liegende GTD (schwarz) mit aufgebrachtener Überschüttung, mittels der ebenfalls dargestellten Traverse ist der Einbau in Abrollrichtung vom Fuß zur Krone erfolgt. Durch die sandraue Oberflächenstruktur der GTD konnte sowohl im Bauzustand als auch im Endzustand die notwendige Standsicherheit in den steileren Böschungsbereichen erzielt werden. Der sanierte, höhere Deichkörper verfügt nun über eine dauerhafte, funktionelle Dichtung mit deutlich reduzierter Aufbauhöhe im Vergleich zu einer konventionellen Tondichtung.



Bild 10: GTD am Renchflutkanal im Einbauzustand

2.2.5 Erhöhung des Deiches mit geotextilen Schläuchen

Einführung

Dieses Kapitel beschränkt sich auf die Anwendung von geotextilen Schläuchen als Erhöhung einer wasserbaulichen Struktur. Für die Grundlagen von geotextilen Schläuchen sei hier auf Kapitel 2.2.2 verwiesen.

Benefits/ Anwendungen

Im Zuge der stetig an Intensität zunehmenden Hochwasserereignisse, gibt es seit geraumer Zeit die Diskussion die Krone der bestehenden Hochwasserschutzelemente zu erhöhen. In klassischer Bauweise könnte dies durch eine Aufschüttung auf der vorhandenen Krone ausgeführt werden. Dämme und Deiche weisen jedoch aus unterschiedlichen Gründen eine geringe Böschungsneigung auf. Wenn ein Hochwasserschutzelement nun klassisch unter Einhaltung

der Böschungsneigung erhöht wird, ist dieses in der Regel nicht möglich, ohne auch dessen Aufstandsfläche zu vergrößern. Neben Herausforderungen aufgrund von Bebauung bis an den Deichfuß heran oder Grundstücksverfügbarkeiten führt die klassische Art der Erhöhung auch zu einem deutlich erhöhten Materialverbrauch, da dieses nicht nur im Bereich der Krone, sondern auch auf der Böschung eingebaut werden muss.

Bedingt durch die in Kapitel 2.2.2 genannten Vorteile von geotextilen Schläuchen, können vorstehend aufgezeigten Herausforderungen gelöst werden. Bedingt durch die geotextile Hülle, die das Füllmaterial dauerhaft zusammenhält und den geringen Fußabdruck von Küstenschutzschläuchen, können diese auf der vorhandenen Krone installiert werden. Die Dauerhaftigkeit der Schlauchhülle kann projektabhängig beispielsweise durch eine Überschüttung mit

einem ausreichend scherfesten Material gesichert werden. Neben den geotextilen Schläuchen (vgl. Kapitel 2.2.2) können auch Schläuche aus der in Kapitel 2.2.3 vorgestellten Schlauchmaschine als Kronenerhöhung eingesetzt werden. Die Entscheidung für die Auswahl des am besten passenden Systems wird projektspezifisch getroffen.

2.2.6 Wasserseitiger Erosionsschutz mit Erosionsschutzgittern

Einführung und Benefits

Erosionsschutzgitter bestehen im Wesentlichen aus einem dreidimensionalen Wirrgelege, welches den Bodenrückhalt verbessert und in das sich die Wurzeln der darüber angesiedelten Vegetation krallen können. Eine hohe Zugfestigkeit vereinfacht die Installation des Materials auch an sehr

langen und steilen Böschungen. Spezielle Beschichtungen bieten eine hohe UV-Beständigkeit und Schutz vor mechanischen Beschädigungen für eine lange Lebensdauer, die bei anspruchsvolleren Erosionsschutzanwendungen eingesetzt wird.



Bild 11: Erosionsschutzgitter (Fortrac® 3D)



Erosionsschutzgitter mit eingewachsener Grasnarbe, entnommen aus [14]

Anwendungen

Die überwiegende Anzahl der Hochwasserschutzelemente sind Erdbauwerke, die oberhalb der Mittelwasserlinie keine hochbelastbaren Deckwerke aufweisen. Damit im Hochwasserfall keine Erosionsschäden auf den Böschungen oberhalb der Deckwerke entstehen, können diese mit Erosionsschutzgittern resilienter gestaltet werden. Erosionsschutzgitter werden in der Regel auf einer stabilen, ebenen Oberfläche installiert, die frei von Vorsprüngen ist. Der verwendete Untergrund sollte für eine Begrünung geeignet sein, da die Vegetation eine Hauptrolle beim Erosionsschutz des gesamten Systems spielt. Um eine erfolgreiche Begrünung zu erzielen, sollte bereits im Rahmen der Planung ein standortgerechtes Saatgut ausgewählt werden.

Für den Nachweis der Wirksamkeit von Erosionsschutzgittern liegen unter anderem für die Anwendungsfälle Wellen- und Strömungsangriff wissenschaftliche Untersuchungen vor.

Zum Wellenangriff sind im Rahmen eines Forschungsvorhabens in den Niederlanden [14] in-situ-Versuche zur aufnehmbaren Wellenbelastung auf einem typischen Deich bei Delfzijl in der Provinz Groningen durchgeführt worden. Auf der Deichkrone und der 16 m langen, 1:3 geneigten Luftböschung, wurde eine 4 m breite Teststrecke für die Grasbewehrung vorbereitet. Als Referenz wurde daneben eine unbewehrte, nur mit Gras bewachsene Teststrecke gleicher Größe präpariert. Die Wellenbelastung wurde durch unterschiedliche, diskontinuierliche Abflüsse in einer Bandbreite von 0,1 l/s*m bis 50 l/s*m simuliert. Bei keinem der durchgeführten Versuche ist es zu Schäden an den untersuchten Teststrecken gekommen. Daher sind vor der Durchführung weiterer Versuche ($q = 50 \text{ l/s*m}$) künstliche Erosionsstellen (1 m x 1 m sowie 0,45 m x 0,45 m) eingebracht worden, indem die Decklage über dem Erosionsschutzgitter in diesem Bereich entfernt wurde. Im Anschluss daran zeigten sich bei erneuter Überströmung in der unbewehrten Grasnarbe deutliche Erosionsrinnen

unterhalb der künstlich eingebrachten Erosionsschäden, jedoch kein Fortschreiten der Erosion an den bewehrten Abschnitten.

Der Nachweis der aufnehmbaren hydraulischen Belastung erfolgte auf Grundlage von ASTM D 6460 [15]. Der Test [16] wurde in insgesamt 3 großmaßstäblichen Versuchsrinnen durchgeführt, in der Fortrac® 3D-30 als Erosionsschutz zusammen mit einer Strohmatte auf einer 30,5 cm starken Schicht eines sandigen, schluffigen Tons verwendet wurde. In den 3 Rinnen wurden jeweils unterschiedliche Vegetationszustände untersucht, startend in Rinne 1 mit keiner Vegetation bis hin zu Rinne 3 mit einer einem Jahr alten Vegetation (vgl. Tabelle 1). Mindestens vier aufeinander-

der folgende Durchgänge mit einer Durchflussdauer von 30 Minuten (unbegrünt) bzw. einer Stunde (begrünt) wurden für jede Begrünungssituation (unbegrünt, sechswöchiges Wachstum, einjähriges Wachstum) durchgeführt. Dabei wurde die Durchflussmenge in jedem Durchgang erhöht, bis die zulässige Schubspannung erreicht wurde. Diese entsprach einem durchschnittlichen Bodenverlust von 1.3 cm entlang des gesamten Rinnenbodens. Dieses Kriterium wurde nach jedem Durchgang überprüft.

Die wichtigsten Versuchsergebnisse wie die zulässige Schubspannung und die maximale Fließgeschwindigkeit sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

	Unbegrünt	Begrünt, Sechswöchiges Wachstum	Begrünt, Einjähriges Wachstum
Wachstumsdauer [Wochen]	0	6	64
τ_{limit} [N/m ²]	110	225	630
v_{limit} [m/s]	2.8	3.5*	7.3*

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse des Großversuches mit Fortrac® 3D-30 und sandigen, schluffigen Ton

Anwendungsbeispiel

Der Tagliamento ist ein italienischer Fluss, der im Oberlauf weitgehend frei mäandrieren kann, im weiteren Verlauf jedoch, vor der Einmündung in die Adria, kanalisiert worden ist, um diesen kontrolliert durch einige Ortschaften zu führen. In den Jahren 1965 und 1966 gab es in der Region größere Hochwasserereignisse, bei denen es unter anderem in der Ortschaft Latisana zu erheblichen Zerstörungen durch Deichbrüche kam. Im Laufe der Jahre sind die Deiche in der

Region daher verstärkt und gegen Erosion geschützt worden. An einem Abschnitt in Latisanotta, einem Vorort von Latisana, ist auf der Luftseite des Deiches, der die Aue des Tagliamento von der Ortschaft trennt, Fortrac 3D als Erosionsschutz verwendet worden. Das Erosionsschutzgitter dient dem Schutz vor rückschreitender Erosion im Falle einer Überströmung der Deichkrone und ist im Anschluss mit Mutterboden überbaut und begrünt worden (Bild 12).



Bild 12: Erosionsschutzgitter während des Einbaus;



nach Begrünung

Im Jahr 2023 kam es zu einem erneuten Hochwasserereignis in der Region, mit vergleichbaren Wasserständen wie 1965 und 1966. Bedingt durch den Erosionsschutz auf der

Luftseite des Deiches ist es jedoch nicht zu einem Versagen des Deiches durch Überströmung und einhergehenden Überflutung von Latisanotta gekommen.

2.2.7 Hochbelastbare Überströmstrecken

Einführung

Betonmatten sind innovative Erosionsschutzlösungen, bei denen zwei Lagen durchlässiger Geotextilien als Schalung verwendet werden, die entweder durch Abstandshalter oder vordefinierte Filterpunkte miteinander verbunden sind. Durch das Befüllen der textilen Schalung mit hoch fließfähigem Beton entstehen anpassungsfähige Strukturen, die für verschiedene Anwendungen wie Erosionsschutz an Überlaufstrecken und Uferbefestigung geeignet sind [17]. Wird eine Betonmatte mit konstantem Querschnitt, ohne Filterpunkte verwendet, kann diese auch als Abdichtung eingesetzt werden.

Die Dicke einer Betonmatte kann je nach den Bedingungen vor Ort angepasst werden. Nach [17] kann die erforderliche Dicke und Type einer Betonmatte für Strömungs- und Wellenlasten ausgelegt werden, wobei verschiedene Standortvariablen berücksichtigt werden müssen, z. B. Gefälle, Durchlässigkeit des Untergrunds usw. Teilweise sind jedoch auch anwendungsspezifische Untersuchungen notwendig, [18] ist ein Beispiel hierzu.

Benefits

Betonmatten sind kohärente Systeme und bieten eine Reihe von technischen Vorteilen, darunter die Möglichkeit, projektspezifische Formen und Konfigurationen zu erstellen, eine verbesserte strukturelle Integrität zu geben, eine kontrollierte Materialplatzierung und eine gleichmäßige Betondicke zu gewährleisten sowie den Widerstand gegen hydraulische Kräfte. Da es sich um ein kohärentes System handelt, entfällt im Vergleich zu einem herkömmlichen Steindeckwerk der Nachweis der Sicherheit des Herausziehens des Einzelsteins, wodurch ein Deckwerk aus einer Betonmatte um ein Vielfaches dünner ist.

Die leichte und flexible Beschaffenheit von Betonmatten ermöglicht eine einfache Anpassung an unterschiedliche Geländeformen, Umweltbedingungen und Unterwasser-

installationen und ermöglicht gleichzeitig das Wachstum der Vegetation und passt sich somit ins Landschaftsbild ein. Darüber hinaus sind Deckwerke aus Betonmatten kosteneffizient und umweltfreundlich, da im Vergleich zu herkömmlichen Bauweisen weniger Material und Arbeitskräfte erforderlich sind, was sie zu einer nachhaltigen Wahl für viele Projekte macht.

Betonmatten mit einer durchschnittlichen Dicke von nur 10-20 cm können problemlos sehr hohen Strömungsgeschwindigkeiten von 10,0 m/s und mehr standhalten [18], wenn sie an den Überströmungsabschnitten eines Deichs eingesetzt werden. Dies ist unter anderem auf die kohärente Beschaffenheit von Betonmatten im Vergleich zu herkömmlichen Steinschüttungen zurückzuführen

Anwendungen

Betonmatten haben bedingt durch die Vielfalt an verfügbaren Typen verschiedene Anwendungsfelder. Für Hochwasserschutzstrukturen bieten diese jedoch die wirksame Möglichkeit, hochbelastete Dammscharten oder Überlaufbereiche eines Deichs zu schützen und diese anschließend zu Begrünen und somit ins Landschaftsbild einzupassen. Dazu wurde an der Technischen Universität Wien eine Betonmatte mit großen, im Raster angeordneten Filterpunkten (30 cm x 30 cm) (Incomat® Crib 10.200 von HUESKER Synthetic GmbH) für den Einsatz im Überlaufbereich eines Deiches getestet [18]. Bei diesem Versuch wurde eine Be-

tonmatte in der Überströmcharte (von Deichkrone über luftseitiger Böschung bis hinter das Ende des Tosbeckens) des Deichkörpers eingebaut und später einer Langzeitbelastung mit unterschiedlichen spezifischen Überströmungen ausgesetzt. Die maximale Durchflussmenge betrug 2,0 m³/(s x m) über 17 Stunden, mit einer resultierenden maximalen Fließgeschwindigkeit von 10,5 m/s. Im Rahmen des Versuchs konnte die Betonmatte nicht zerstört werden. Eine Erhöhung der Durchflussmenge bzw. der Fließgeschwindigkeit war laborseitig nicht möglich.

Anwendungsbeispiel

Um die Gemeinde Oberaich, nahe Bruck an der Mur (Steiermark, Österreich), gegen die verheerenden Folgen von lokalen Starkregenereignissen zu wappnen, wurden im Einzugsgebiet des Picheldorfer Baches verschiedene Schutzbauwerke errichtet. Die Planung sah unter anderem die Errichtung eines Regenrückhaltebeckens vor, dessen Hochwasserentlastung über eine Dammscharte, in den angrenzenden Kraftwerkskanal St. Dionysen erfolgen sollte. Der betroffene Abschnitt des bereits bestehenden Dammes ist im Falle einer Überströmung erheblichen hydro-

lysischen Belastungen ausgesetzt, die starke Erosionen und letztlich einen Dammbbruch zur Folge haben können. Damit durch überströmendes Wasser keine Schäden entstehen, die die Standsicherheit des Bauwerkes gefährden, musste das Deckwerk im Bereich der Überlaufcharte erosionssicher ausgebildet werden. Zur Ausbildung der Dammscharte wurde die bestehende Krone zunächst abschnittsweise eingetieft und der gewünschten Geometrie angepasst. Anschließend wurde darüber eine Betonmatte eingebaut.

Auf der Betonmatte wurde eine humushaltige Überdeckung eingebaut und begrünt, so dass die Betonmatte nicht mehr sichtbar ist (Bild 13). Im Falle einer Überströmung ist ein Abtrag dieser Vegetationsschicht zulässig, da die Funktion



Bild 13: Erosionsschutzgitter während des Einbaus;

des Erosionsschutzes von der darunter liegenden Betonmatte übernommen wird. Das bald nach der Fertigstellung einsetzende Pflanzenwachstum profitiert von der Wasserdurchlässigkeit des darunter liegenden Erosionsschutzes.



nach Begrünung

3 Schlussfolgerungen

Der vorliegende Beitrag macht deutlich, dass die Vielzahl an geotextilen Lösungen sowohl für kurzfristige Vorsorgemaßnahmen als auch für langfristige Maßnahmen zum Hochwasserschutz eingesetzt werden können. Bei einigen der vorgestellten Anwendungsmöglichkeiten von Geotextilien in Hochwasserschutzstrukturen handelt es sich um Anwendungen, die den Stand der Technik widerspiegeln, weshalb es dazu eine Vielzahl von Anwendungsbeispielen gibt. Andere vorgestellte Maßnahmen wiederum haben einen innovativeren Charakter, weshalb bisher nur wenige Anwendungsbeispiele bekannt sind. Bei den Maßnahmen ohne Anwendungsbeispiele handelt es sich um hoch innovative Anwendungsvorschläge, die seitens Planer, Behörde

und Auftragnehmer Bereitschaft, neue Wege zu gehen, und Innovationsgeist zur Umsetzung bedürfen, da die Vorteile des Einsatzes von Geotextilien, wie bei den übrigen Maßnahmen, klar auf der Hand liegen. Etwaig höhere Kosten in der Bauphase werden durch eine geringere Anfälligkeit und somit einem höheren Schutzgrad der Struktur kompensiert.

Alle vorgestellten Maßnahmen haben den gemeinsamen Vorteil, dass durch diese die Resilienz von Hochwasserschutzstrukturen gesteigert wird und diese somit weniger anfällig für ein Versagen nach den einschlägig bekannten Versagensmustern sind.

Literatur

- [1] DIN 19712:2013-01 [2013] **Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern**. Berlin: Beuth Verlag.
- [2] Pohl, R. [2013] **Hochwasserschutzanlagen in der Normung und Regelung**. 36. Dresdner Wasserbaukolloquium, https://izw.baw.de/publikationen/dresdner-wasserbauliche-mitteilungen/0/40_Heft_48_Hochwasserschutzanlagen_Normung_Regelung.pdf [Zugriff am: 10. July 2024]
- [3] DWA-M 507-1 [2011] **Deiche an Fließgewässern – Teil 1: Planung, Bau und Betrieb**. DWA
- [4] EAK 2002: **Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzbauwerken**. 3. korrigierte Ausgabe 2020, Heft 65, Die Küste, Karlsruhe: BAW
- [5] Bezuijen, A., Vastenburg, E.W. (Eds.) [2013] **Geosystems: Design Rules and Applications**, CRC Press.
- [6] Recio, J., Oumeraci, H. [2009] **Process based stability formulae for coastal structures made of geotextile sand containers**. Coastal Engineering. 56, No. 5-6, pp. 632-658. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2009.01.011>
- [7] PIANC [2011] **Application of Geosynthetics in Waterfront Areas**, PIANC Report No. 113. ISBN 978-2-87223-188-1
- [8] Bundesanstalt Technisches Hilfswerk [2001]. **Handbuch: Hochwasserschutz Deichverteidigung**
- [9] Lavasan, A.A.; Detert, O.; Schäfer, R. [2023] **Geotextile Dammbasisbewehrung im Deichbau – Was ist zu beachten?** Beiträge zum RuhrGeo-Tag 2023, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Bodenmechanik, Grundbau und Umweltgeotechnik der Ruhr-Universität Bochum, Heft 76, S. 69-83.
- [10] Raihel, M.; Kempfert, H.-G. [2001] **Erfahrungen mit dem Gründungsverfahren „geokunststoffummantelte Sandsäulen“**. 3. Österreichische Geotechniktagung. Wien.
- [11] Amchislavski, A.; Schäfer, R.; Hangen, H. [2013]. **Geotechnische Lösungen für die Herstellung eines Hochwasserschutzdeichs auf stark mächtigen Torfablagerungen**. Beiträge zum RuhrGeo-Tag 2023, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Bodenmechanik, Grundbau und Umweltgeotechnik der Ruhr-Universität Bochum, Heft 76, S. 85-103.
- [12] DWA-M 512-1 [2012] **Dichtungssysteme im Wasserbau**. - Teil 1: Erdbauwerke.
- [13] BRAD16 [2016] **Brandenburgische Richtlinie für die Anwendung Geosynthetischer Tondichtungsbahnen im Deichbau**. Potsdam
- [14] Akkermann, G. J.; Bernadini, P.; van der Meer, J.; Verheij, H.; van Hoven, A. [2007] **Field tests on sea defences subject to wave overtopping**. Proceedings of the 5th Coastal Structures International Conference, CSt07, Venice, Italy, Franco, L., Tomasicchio, G.R., Lamberti, A. (eds), Vol. II, pp. 657-668. https://doi.org/10.1142/9789814282024_0058
- [15] ASTM D6460 **Standard Test Method for Determination of Rolled Erosion Control Product (RECP) Performance in Protecting Earthen Channels from Stormwater-Induced Erosion**. American Society for Testing and Materials
- [16] TRI/Environmental, Inc. [2011] **Versuchsbericht „Large scale channel erosion testing (ASTM D 6460) – Fortrac 3D-30+Straw blanket over loam“**. AASHTO/NTPET Washington, D.C.
- [17] Pilarczyk, K. [2000] **Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering**. A.A. Balkema, Rotterdam. ISBN 90 5809 302 6.
- [18] Tschernutter, P. [2010] **Überströmbare Dämme – Bericht über die Versuche mit der Incomat® Crib 10.200 Matte – Hydraulische Modellversuche Schnittmodell M = 1:4**. Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, TU Wien.
- [19] Public Works Research Institute [2017] **Building levees that are resistant to heavy rain disasters** [Bildtext ins Deutsche übersetzt] von <https://www.pwri.go.jp/eng/about/pr/webmag/wm048/kenkyu.html> [Zugriff am: 8. August 2024]

Autoren

Simon Ebbert M.Sc.
 Dr.-Ing. Oliver Detert
 Abdullah Zafar M.Sc.

Jetzt scannen!

Treten Sie über unser Kontaktformular
 mit uns in Verbindung.



HUESKER Synthetic GmbH

Fabrikstraße 13–15, 48712 Gescher
 Tel.: +49 (0) 25 42 / 701 - 0
 Fax: +49 (0) 25 42 / 701 - 499
 Mail: info@HUESKER.de
 Web: www.HUESKER.de



HUESKER Synthetic ist zertifiziert nach ISO 9001, ISO 14001 und ISO 50001.

SoilTain®, Fortrac® und Incomat® sind registrierte Marken der HUESKER Synthetic GmbH.

12/24 Copyright by HUESKER Synthetic GmbH, Gescher