

Neue Entwicklungen im Bereich der geotextilen Betonmattentechnologie zur Deckwerksgestaltung

Geotextile Betonmatten weisen eine mehr als 50-jährige Historie auf. Ihre ursprüngliche Anwendung wurde sowohl für den Küsten- und Binnenwasserbau als auch für den Gebirgsbachverbau dokumentiert. Im Laufe der letzten Jahre ist der Einsatz von Betonmatten für die verschiedensten Anwendungen, mit einem Schwerpunkt für Kanalauskleidungen, wieder vermehrt zu beobachten. Trotz des jahrzehntelangen Einsatzes und der weltweiten Akzeptanz des Systems gibt es hinsichtlich der grundlegenden Funktionsmechanismen immer noch gewisse Fragestellungen zu klären. Dieser Fachbeitrag erläutert die Grundlagen der Betonmattentechnologie und beschreibt die prinzipielle Wirkungsweise, welche durch großmaßstäbliche Vier-Punkt-Biegeversuche, durchgeführt an der Fachhochschule Münster, illustriert werden. Darüber hinaus werden die an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen ausgeführten Untersuchungen zur hydraulischen Rauheit beschrieben und deren Versuchsergebnisse dokumentiert. Weitere kürzlich abgeschlossene Prüfungen, z. B. Eislastversuche in Russland, vervollständigen den Überblick an wissenschaftlichen Untersuchungen. Abschließend wird die Anwendung der Betonmatten als Deckwerkssystem für Kanäle, Wasserstraßen und Überströmstrecken anhand ausgeführter Projekte veranschaulicht.

Stichworte kohärentes Deckwerk; Geotextil; Geokunststoff; Betonmatte; Kanalauskleidung; Abdichtung; Erosionsschutz; Überströmstrecke

1 Die Betonmattentechnologie

1.1 Systemkomponenten und Installation

Das Betonmattensystem besteht aus den beiden elementaren Komponenten:

- geotextiler Schalungskörper (Betonmatte) und
- Ortbeton.

Die geosynthetischen Betonmatten bestehen aus zwei hochzugfesten Gewebelagen, die durch regelmäßig angeordnete Abstandshalter oder Abwebungen miteinander verbunden sind. Der Hohlraum zwischen den beiden Gewebelagen wird vor Ort mit hochfließfähigem Beton verfüllt. Die Abwebungen, in deren Bereich kein Beton eingefüllt wird, fungieren als sog. Filterpunkte zum Abbau von möglichen Porenwasserüberdrücken unterhalb des Deckwerks. Hierdurch kann je nach Betonmattenvariante ein impermeables oder permeables Deckwerk hergestellt werden [1].

New developments concerning geotextile concrete mattresses for revetment construction

Geotextile concrete mattresses provide a more than 50 years lasting history. Their initial application has been documented for coastal and river protection works as well as for mountain stream rehabilitations. Due to several reasons, their application has become more popular again over the last years. Although the system has been in use for decades, there are still some uncertainties left concerning the basic working principles of concrete mattresses. This paper is intended to explain the basic concrete mattress technology in conjunction with the four-point bending tests carried out at the University of Applied Sciences in Münster. Furthermore it describes the research concerning the hydraulic roughness recently carried out at the RWTH Aachen University and the ice load testing performed in Russia. Finally, applications for the mattress as revetment system for canals, waterways and overflow sections are provided.

Keywords coherent revetment; geotextile; geosynthetic; concrete mattress; canal lining; sealing; erosion protection; overflow section

Mit Variation der geotextilen Schalung und Modifikation der Betoncharakteristika (z. B. der Expositionsklassen oder die Zugabe von Bewehrungsfasern etc.) lassen sich die Eigenschaften des Gesamtsystems an die jeweiligen Projekterfordernisse anpassen. Durch textile Füge-techniken (z. B. Vernähen, Reißverschlüsse) können großforma-

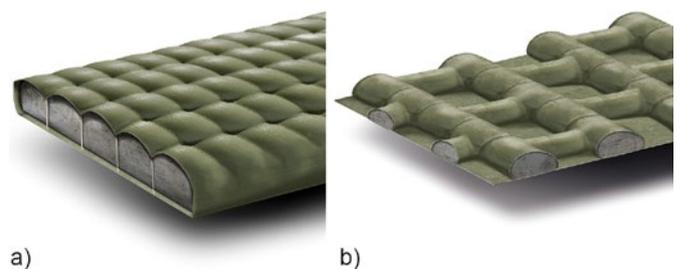


Bild 1 Schematische Ansicht einer impermeablen, gleichförmigen Betonmatte (a) und einer permeablen Betonmatte mit in die Beton-Gitterstruktur eingearbeiteten „Filter- bzw. Begrünungsflächen“ (b)
Schematic view of an impermeable, constant concrete mattress (a) and a permeable concrete mattress with incorporated filter and greening areas (b)

tige Panels mit einer Fläche von bis zu 1000 m² hergestellt werden.

Am Einbauort werden diese Panels dann ausgebreitet, je nach Erfordernis mit dem vorherigen Panel verbunden und abschließend mit fließfähigem Ort beton verfüllt. Falls die Installation unter Wasser erfolgt, ist der Einsatz von Tauchern erforderlich. Entsprechend den vorherrschenden Einbaubedingungen kann der Installationsablauf angepasst und das Einbauverfahren modifiziert werden.

Im Gegensatz zu konventionellen Steindeckwerken unterscheidet sich der Versagensmechanismus eines Betonmattendeckwerks elementar. Während bei Steindeckwerken das Versagen des Einzelsteins bzw. der Beginn der Umlagerung des einzelnen Partikels infolge von einwirkenden hydrodynamischen Lasten als Versagen definiert werden kann, liegen bei einem flächenhaften, kohärenten Deckwerk andere Versagensmechanismen zugrunde. Dies sind vor allem Randkolkerscheinungen, welchen bei der Bemessung durch die entsprechende konstruktive Gestaltung der Peripherie der mattenbelegten Fläche Rechnung getragen werden muss.

1.2 Funktionsweise des Systems „Betonmatte“

Um ein tiefergehendes Verständnis hinsichtlich des Tragverhaltens des Mattensystems als auch des Verbundverhaltens zwischen geotextiler Matte und Betonkern zu gewinnen, wurden im Jahr 2019 wegeregelt Vier-Punkt-Biegeversuche an der Fachhochschule Münster durchgeführt. Um die erhaltenen Versuchswerte in Referenz setzen zu können, wurden neben der geotextilen Betonmatte weitere Prüfkörper erstellt. Jeweils drei Probekörper der folgenden Platten, mit den Abmessungen von 2,0 m × 1,0 m × 0,2 m (Länge × Breite × Dicke), wurden unter Verwendung der gleichen Betonrezeptur produziert:

- unbewehrte Betonplatte,
- mit Glasfasern bewehrte Betonplatte,
- Betonmatte (Typ Incomat Standard),
- Betonmatte (Typ Incomat Standard) befüllt mit glasfaserbewehrtem Beton,
- stahlbewehrte Betonplatte.

Die Stahlbewehrung wurde auf Höhe der Nulllinie in der Mitte der Platte angeordnet. Diese untypische Maßgabe resultierte aus spezifischen Projektanforderungen. Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte mit einem Beton der Güteklasse C25/30 der Konsistenzklasse F6 (fließfähig). Zur Sicherstellung der erforderlichen Fließfähigkeit wurde ein zulässiges Größtkorn von $d = 8,0$ mm gewählt.

Bild 2 veranschaulicht die Testergebnisse der Vier-Punkt-Biegeversuche. In dieser Grafik werden die im Versuch erzielten mittleren Maximalkräfte aller Prüfkörper aufgeführt.

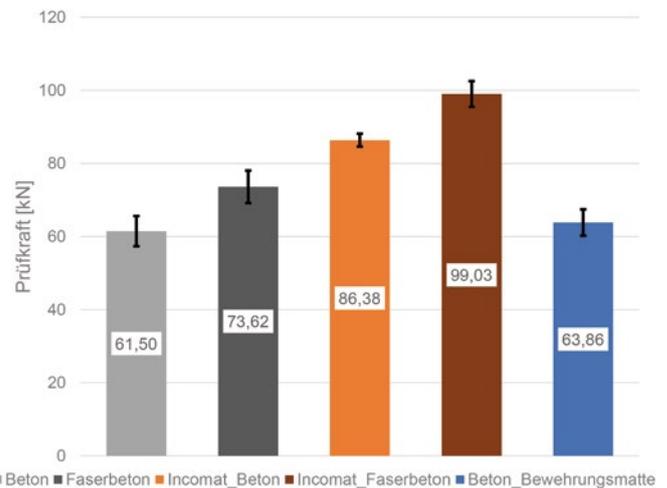


Bild 2 Übersicht über die gemittelten absoluten Maximalkräfte der unterschiedlichen Plattentypen
Overview of the averaged ultimate loads of the different plate types

Die gemittelte Maximalkraft wurde bei der Kombination aus geotextiler Betonmatte mit glasfaserbewehrtem Beton erzielt. Im Vergleich zu der unbewehrten Betonplatte liegt die betongefüllte Matte bei einer um rd. 40% erhöhten Maximallast. Die Zugabe von Glasfasern zum Füllbeton der Matte führt zu einer weiteren Steigerung dieser Kenngröße um 20%. Dieser Effekt soll im Zuge weiterer Untersuchungen an der Fachhochschule Münster aufgeschlüsselt werden.

Bemerkenswert im Zuge der Versuche ist auch die annähernd gleich große Bruchkraft der stahlbewehrten Betonplatte, deren Ursache maßgeblich in der Anordnung der Bewehrung in der Mitte der Betonplatte begründet liegt.

Die Unterschiede der Versagensmechanismen der Platten werden bei Betrachtung der Kraft-Wegdiagramme deutlich. Bild 3 zeigt repräsentative Kraft-Weglinien der untersuchten Plattensysteme. Erwartungsgemäß kommt es nach Bildung des Erstrisses beim unbewehrten System zum plötzlichen Versagen, was im abrupten Lastabfall der grünen Kurve deutlich wird. Die orange Kurve zeigt das Tragverhalten der stahlbewehrten Platte. Deutlich zu erkennen sind der vom Beton dominierte Erstbruch, die Lastübernahme durch die Bewehrung und das anschließende Nachbruchverhalten, welches durch ein Aufhärten der fließenden Stahlbewehrung gekennzeichnet ist. Das endgültige Versagen der Platte tritt durch den Bruch der Bewehrung ein.

Im Gegensatz hierzu steht das Tragverhalten der geotextilen Betonmatte (blaue Kurven in Bild 3). Nach Bruch des Betons übernimmt die untere Textillage in Kombination mit den innen liegenden Stegbändern die auftretenden Kräfte. Dies hat zwei Effekte zur Folge. Die geprüfte Platte bleibt zusammenhängend und weist weiterhin eine geringe Resttragfähigkeit auf. Dies wird in dem annähernd horizontalen Kraftverlauf auf niedrigem Niveau deutlich.

Interessant ist in diesem Kontext ebenfalls der Vergleich der absoluten Wegstrecken bis zum vollständigen Versagen, die in Bild 4 exemplarisch dargestellt sind.

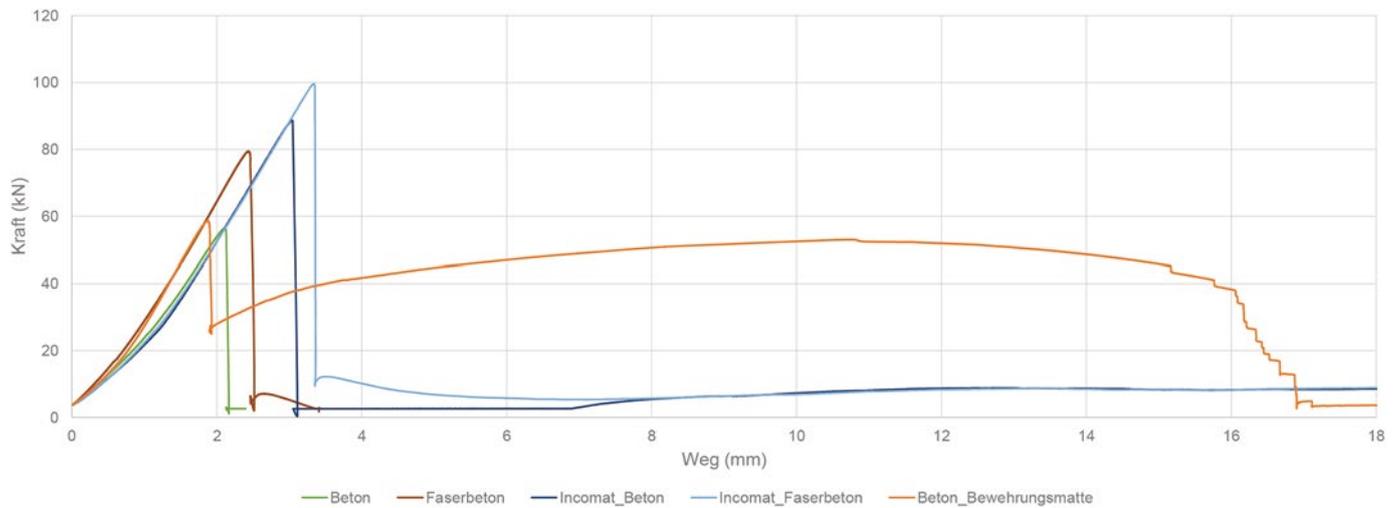


Bild 3 Ausschnitt der Kraft-Wegdiagramme ausgesuchter Prüfkörper der fünf unterschiedlichen Plattentypen
Close-up of the load-displacement curves of selected test specimen of the five different plate types

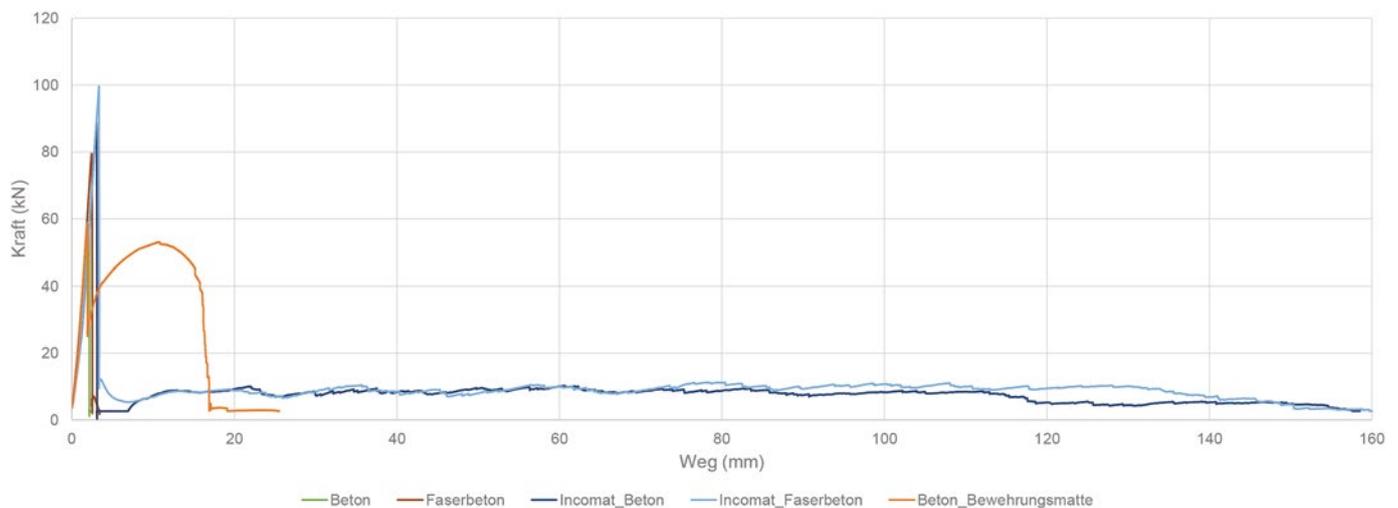


Bild 4 Vollständige repräsentative Kraft-Wegdiagramme ausgesuchter Prüfkörper der fünf unterschiedlichen Plattentypen
Complete representative load-displacement curves of selected test specimen of the five different plate types

Bei den aufgeführten Kurven wurden die Platten zum vollständigen Versagen geführt, was bedeutet, dass sowohl der Stahl als auch das Geotextil und die Stegbänder gerissen sind. Auffällig hierbei ist der ungefähr achtmal längere Weg, den das Betonmattensystem im Vergleich zur stahlbewehrten Platte bis zum vollständigen Versagen aufweist.

Aus diesen Versuchen resultiert die Erkenntnis, dass der Einsatz einer geotextilen Betonmatte im Vergleich mit einer unbewehrten Platte bei der betrachteten Betongüte und den gewählten Abmessungen zu einer um ca. 40% höheren absoluten Maximalkraft im Vier-Punkt-Biegeversuch führt. Des Weiteren führt die Kombination aus Beton und Geotextil zu einer essenziellen Verzögerung des totalen Kollapses der Platte.

1.3 Bemessung

Hinweise zur Dimensionierung und Auslegung des Betonmattensystems finden sich sowohl in den „Empfehlungen

zur Anwendung von Oberflächenabdichtungen an Sohle und Böschung von Wasserstraßen“ der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) [2] als auch im Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) „Dichtungssysteme im Wasserbau – Teil 1: Erdbauwerke“ [3]. Darüber hinaus sind detaillierte Bemessungsansätze z. B. von Pilarczyk im „Handbook of Coastal and Ocean Engineering“ [4] oder auch seitens der Federal Highway Administration in „Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance – Third Edition“ (FHWA) [5] zu finden.

1.4 Anwendungsbereiche und Systemvorteile

Der heutige primäre Einsatzbereich von Betonmatten im deutschsprachigen Raum ist die Sanierung existierender Kanalarinne. Der Grund hierfür liegt darin, dass sich die Erosionsschutzfunktion mit derjenigen einer Dichtung kombinieren lässt und das Betonmattensystem unter Wasser eingebaut werden kann. Somit erfüllt diese Sanierungsmethode alle Anforderungen, die an ein Kanalsanie-

rungsverfahren gestellt werden. Weitere Anwendungsbereiche sind z. B. die Auskleidung von Becken, die Sicherung von Überströmstrecken oder auch der klassische Uferschutz an Fließgewässern.

Prinzipiell ist die Stabilität der Betonmatte in Bezug auf Wellenbelastungen geringer zu erachten als im Vergleich zu Strömungseinwirkungen. Folglich liegt der Haupteinsatzbereich an fließenden bzw. stehenden Gewässern und weniger im Küstenschutz.

Durch die In-situ-Verfüllung mit fließfähigem Beton handelt es sich um ein adaptives System, welches sich den Unebenheiten des Untergrunds anpasst. Somit werden Hohlräume, die bei der Fertigbetonplatteninstallation auftreten, vermieden. Die elementaren Vorteile des Betonmattensystems lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- flexibles, adaptives Installationsverhalten,
- kohärentes Deckwerk,
- hohe hydraulische Belastbarkeit (für Strömungen),
- Installation auf steilen Böschungen,
- Unterwassereinbau als gängiges Verfahren.

Darüber hinaus bietet sich die Möglichkeit der ökologischen und optischen Integration in das Landschaftsbild durch das Aufbringen einer begrüneten Opferschicht. Vor allem bei dem Einsatz als Sicherung für Überströmstrecken bei Dämmen und Deichen hat sich dieses Vorgehen etabliert [6].

2 Physikalische Untersuchungen

2.1 Experimentelle Modellversuche zur Bestimmung der hydraulischen Rauheit

Im Jahr 2016 wurden am Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) der RWTH Aachen physikalische Versuche zur Bestimmung der hydraulischen Rauheit von geotextilen Matten durchgeführt. Zudem wurden die aus den experimentellen Untersuchungen gewonnenen Daten als Grundlage für die Kalibrierung einer numerischen Modellierung genutzt. Hierzu wurde eine numerische Strömungssimulation ausgeführt, bei dem ein Rinnenmodell mit dem Softwarepaket OpenFOAM aufgebaut wurde, das die physikalischen Prozesse der Versuche abbildete. In Bezug auf diesen Aspekt sei im Rahmen dieser Publikation auf Derksen [7] verwiesen.

Unter der Vorgabe der quantitativen Bestimmung der hydraulischen Rauheit gleichförmiger geotextiler Betonmatten wurden die physikalischen Modellversuche in der Kipprinne des IWW im Naturmaßstab durchgeführt, wodurch die Anwendung von Modellgesetzen nicht erforderlich ist und Maßstabeffekte nicht zu erwarten sind. Somit ist eine direkte Übertragbarkeit der geometrischen, kinematischen und dynamischen Größen in die Natur gegeben. Das dreistufige Konzept der experimentellen

Untersuchung sah in Modellphase I (MP I), dem Referenzfall der darauffolgenden Modellkonfiguration, die Bestimmung der Oberflächenrauheit der Rinne vor. In Modellphase II (MP II) wurde die Kipprinne mit dem geotextilen Schalungsgewebe ausgekleidet, um dessen Oberflächenrauheit zu ermitteln. Abschließend wurde in Modellphase III (MP III) die Formrauheit der geotextilen Matte ermittelt. Hierzu wurde das Gerinne mit Beton verfüllten Matten im Originalmaßstab belegt.

Während der Versuchsdurchführung wurde in drei vorher definierten Messquerschnitten entlang der Rinne sowohl die Fließtiefe über die Messung des lagebezogenen Wasserspiegels mittels Ultraschallmesssonde ermittelt als auch die Fließgeschwindigkeit mithilfe eines „Acoustic Doppler Velocimeter“ (ADV) aufgezeichnet. Darüber hinaus wurden die stationären Abflussverhältnisse durch ein magnetisch-induktives Durchflussmessgerät erfasst und kontrolliert.

Folgende Eingangsparameter wurden während der Durchführung variiert:

- Durchfluss Q {200; 300; 400} [l/s],
- Neigung der Kipprinne I {0,0000; 0,0005; 0,0010; 0,0020} [-].

Die Auswertung der unterschiedlichen Versuchsläufe erfolgte anhand zweier voneinander unabhängiger Methoden. Hierzu wurden einerseits die äquivalenten Sandrauheiten (k_s) aus den vertikalen Geschwindigkeitsprofilen abgeleitet und andererseits die Widerstandswerte nach den Fließformeln als Strickler-Beiwert (k_{st}) bestimmt. Im Gegensatz zur Bestimmung der hydraulischen Rauheit auf Basis der Fließformeln, die sowohl von den Strömungsverhältnissen als auch der Querschnittsform des Gerinnes abhängt und bei der zusätzlich der Einfluss der Kipprinnenwände zu berücksichtigen ist, liefert die Herleitung der äquivalenten Sandrauheit aus den aufgenommenen Geschwindigkeitsprofilen eine universell anwendbare Rauheitsgröße. Ein Vergleich der gewonnenen Daten ist darüber hinaus durch die Überführung der äquivalenten Sandrauheit in den Strickler-Beiwert möglich. Die so hergeleiteten Rauheiten, auf Basis der durchgeführten Modellversuche der unterschiedlichen Phasen, sind in Tab. 1 abgebildet.

Die Gesamtrauheit der geotextilen Standardmatte wird maßgeblich durch den Anteil der Formrauheit bestimmt. Im Vergleich zu in der einschlägigen Literatur aufgeführten Werten, wie bspw. Pilarczyk [8], konnte für die hier getestete gleichförmige Betonmatte des Typs Incomat Standard die hydraulische Rauheit am glatteren Ende des Spektrums bestätigt werden.

2.2 Überströmversuche

Zur Verifikation der Eignung der geosynthetischen Betonmatten als Sicherung für Überströmstrecken und zur

Tab. 1 Versuchsergebnisse und Einordnung der hydraulischen Rauheit in den Literaturkontext
Test results in relation to hydraulic roughness values provided by literature

Oberflächenstruktur		Rauheitswerte	
		k_{st} [m ^{1/3} /s]	k_s [mm]
Glatt	Glatte Kipprinne (MP I)	–	0,022
	Kunststoff	–	0,050
Mäßig rau	Geotextiles Gewebe (MP II)	96	0,420
	Glatter Beton	75...95	0,400...1,700
Rau	Geotextile Standardmatte (MP III)	66	3,9
	Gleichförmige Matten nach Pilarczyk	50...66	–
Sehr rau	Sand bis Kies	50	20

Einschätzung der hydraulischen Leistungsfähigkeit wurden im Jahr 2010 an der Technischen Universität Wien am Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie hydraulische Modellversuche im Maßstab 1:4 durchgeführt. Das physikalische Modell bestand aus einem Dammkörper aus sandigem Kies (Körnung 0–40 mm) mit einer luftseitigen Neigung von 1:2,5, bei einer Dammhöhe von 2,0 m und einer Kronenbreite von 1,65 m. Errichtet wurde das Modell in dem 2,02 m breiten Kanal der Versuchshalle. Das Versuchsprogramm bestand aus zwei wesentlichen Teilschritten: der Durchführung der Untersuchung mit der Betonmatte des Typs Incomat Crib und mit der Betonmatte des Typs Incomat Filterpunkt. Hierzu wurden die sensitiven Dammbereiche, das Tosbecken, der Rampen- sowie der Kronenbereich, jeweils mit den beiden ausgewählten Betonmattentypen überbaut. Im Kronenbereich wurde die Betonmatte gemäß den grundsätzlichen konstruktiven Empfehlungen in einen mit Beton verfüllten Ankergraben geführt. Im Fußbereich wurde eine derartige Konstruktion durch eine Fixierung an der Endschwelle simuliert. Als Modellgrundlage diente das Froude'sche Modellgesetz, welches i. d. R. bei Strömungen mit freier Wasserspiegeloberfläche Anwendung findet. Basierend hierauf erfolgten die Umrechnungen der verschiedenen physikalischen Größen bei vollkommener geometrischer Ähnlichkeit. Die Durchflussmengen lagen zwischen 0,5 und 2,5 m³/(s*m) (Werte entsprechend den in der Natur auftretenden spezifischen Abflüssen), wobei die Spitzenabflussmengen über 2,0 m³/(s*m) nur kurzzeitig (0,5 h Natur) auftraten. Während der Versuchsdurchführung wurden an verschiedenen Stellen des Überströmbereichs die Wassertiefe und die Fließgeschwindigkeit gemessen. Die Messungen wurden jedoch, vorwiegend bei niedrigen Abflussmengen, durch einen hohen Lufteintrag erheblich erschwert. Eine Übersicht über die spezifischen Abflüsse und korrespondierenden Belastungsdauern der durchgeführten Versuche ist in Tab. 2 gegeben.

Tab. 2 Spezifische Abflüsse und Versuchsdauer (Werte basierend auf dem Froude'schen Modellgesetz in die Natur umgerechnet)
Specific discharges and test durations (values scaled to nature based on Froude's law)

Spezifischer Abfluss q [m ³ /(s*m)]	Versuchsdauer [h]	
	Filterpunkt-Matte	Crib-Matte
0,50	10,0	14,0
1,00	14,0	15,0
1,50	11,0	15,0
2,00	17,0	72,0
2,25	0,5	0,5
2,50	0,5	0,5

Zusammenfassend konnte vonseiten der TU Wien festgehalten werden, dass Deckwerke aus geosynthetischen Betonmatten der untersuchten Typen spezifischen hydraulischen Abflüssen von 2,0 m³/(s*m) auch bei Dauerbelastung schadlos standhalten können, sofern die konstruktiven Gesichtspunkte und technischen Empfehlungen (wie z. B. entsprechende Fuß- und Kroneneinbindung) berücksichtigt werden.

2.3 Eislastversuche

Unter dem Aspekt des Nachweises der Widerstandsfähigkeit des Betonmattendeckwerks auch unter extremen Eislasten wurden unter der wissenschaftlichen Aufsicht der Samara State University of Architecture and Civil Engineering in den Jahren 2014 und 2015 in Samara (Russland) großmaßstäbliche Feldversuche durchgeführt. Hierzu wurden an den Ufern des Saratower Stausees, der durch den Aufstau der Wolga mit 1 831 km² bei 12,9 Mrd. m³ Stauraum zu den größten der Welt gehört, drei Betonmattenfelder installiert und beobachtet. Alle drei Abschnitte wurden mit der Betonmatte des Typs Incomat Flex bei variierenden Dicken (ca. 10 cm, 20 cm und 30 cm) versehen. Während der Beobachtungsperiode im Winter 2014/2015 wurde eine durchschnittliche Eisdicke von 0,50 m bei einem Maximalwert von 0,69 m dokumentiert. Die max. Wasserspiegeldifferenz betrug in diesem Zeitraum 1,0 m bei einer max. Temperaturdifferenz von 16 °C innerhalb von 24 h. Eine Übersicht über die vorherrschenden klimatischen Bedingungen und die max. auftretenden Eisdicken ist in Tab. 3 aufgeführt.

Die Feldversuche wurden darüber hinaus durch weitere Laborversuche ergänzt. Abschließend wurde, angelehnt an die Russische Gost-Norm SP 38.13300.2012 „Lasten und Einwirkungen auf wasserbauliche Strukturen (durch Wellen, Eis und Schiffe) [9], eine Formel zur Bemessung von Betonmattendeckwerken unter Eislasten hergeleitet. Die nachfolgende empirische Gl. (1) ermöglicht die Bestimmung der erforderlichen Dicke der Betonmatte h in folge der max. Einwirkung des Eises N :

Tab. 3 Übersicht über die aufgezeichneten Klima- und Eisdaten an der Pegelmessstelle
Summary of the recorded climate and ice data at the gauge station

	2014		2015			
	November	Dezember	Januar	Februar	bis 10. März	ab 10. März
Mittlere Temperatur [°C]	+ 1,6	-6,5	-10,1	-9,2	-2,6	+ 3,5
Mittlere nächtliche Temperatur [°C]	-1,6	-8,7	-12,8	-13,7	-7,5	+ 2,3
Temperatur Tiefstwert [°C]	-13,0	-16,0	-24,0	-25,0	-19,0	-12,7
Maximale Eisdicke [cm]	-	40,0	50,0	53,0	69,0	-

$$h = \frac{\gamma_n \cdot A \cdot N^{0,55}}{K_M} \quad (1)$$

Darin ist γ_n ein Sicherheitsbeiwert; A ein empirisch bestimmter Faktor in Abhängigkeit von Betongüte und Mattenart und K_M ein Faktor zur Berücksichtigung der Zunahme der Betonfestigkeit im Vergleich zu konventionellen Betonplattendeckwerken. In der Zusammenfassung, auch unter Berücksichtigung der langjährigen Erfahrung mit Betonmatten in arktischen Regionen, kann der Nachweis des Betonmattensystems für Eislasten als erbracht angesehen werden.

3 Praxisbeispiele

3.1 Der Mittlere Isarkanal im Jahr 2013

Die Kanaldichtung des von 1920 bis 1951 in mehreren Bauphasen hergestellten Mittleren Isarkanal wies deutliche Beschädigungen, Fehlstellen und Risse auf. Insbesondere im Bereich der Fugen und der Wasserwechselzone war dies der Betondichtung anzusehen. Der Kanal mit einem mittleren Abfluss von ca. $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ dient ausschließlich der Elektrizitätserzeugung und speist sieben Wasserkraftwerke, die in ihrer Gesamtheit eine jährliche Leistung von 130 MW erzeugen. Folglich war eine Instandsetzung mit Aufrechterhaltung der Energiegewinnung erstrebenswert. Die in den Jahren zwischen 1997 und 2009 erfolgten Sanierungen gingen jeweils mit einer Trockenlegung des Kanals bzw. einer massiven Absenkung des Wasserspiegels einher. In den im Jahr 2013 instand zu setzenden Abschnitten, den Haltungen 4a und 5, war dies sowohl aus betrieblichen als auch wasserrechtlichen Gründen nicht möglich. Als Konsequenz musste die Installation der neuen Dichtung auf der gealterten Bestandsoberfläche unter Wasser erfolgen.

Das maßgebliche Regelprofil des Mittleren Isarkanal in den betroffenen Abschnitten besteht aus einem Trapezgerinne mit Böschungsneigungen von 1:1,5, bei einer Böschungslänge von ca. 12,5 m und einer variierenden Wassertiefe zwischen 5 und 7 m. Um die gleichförmige Betonmatte mit min. Dicke von 10 cm zu installieren, entwarf die ausführende Baufirma Hagn Umwelttechnik speziell für dieses Projekt einen Verlegeponton (Bild 5).



Bild 5 Pontongestütztes Einbauverfahren mit Installation und Betonage des Sohnelements
Pontoon based installation method with placement and concreting of the bed element

Der auf dem Verlegeponton mit einer vertikal justierbaren Rampe basierende Installationsprozess lässt sich grob in zwei Prozessschritte gliedern:

- Installation des bis zu 1000 m^2 vorkonfektionierten Panels mithilfe der Rampe und gleichzeitige Betonage des Sohnelements,
- nachfolgende Ausbringung der Böschungselemente durch Tauchereinsatz und Einbringen des Betons von der Böschungskrone aus.

Durch dieses Einbauverfahren ließen sich Installationsraten von bis zu 3000 m^2 Dichtung am Tag realisieren.

3.2 Kriegenbrunn am Main-Donau-Kanal (MDK) im Jahr 2017

Die Asphaltabdichtung des Main-Donau-Kanal im Bereich der Haltung Kriegenbrunn wies im oberen Böschungsabschnitt infolge der Rhizome des Schilfbewuchses eine erhöhte Wasserdurchlässigkeit auf. Durch die Dammlage der Wasserstraße war die Sanierung der Nasstelle unzugänglich. Als Dichtungsinstandsetzung wurde eine kombinierte Lösungsvariante gewählt. Zum Einsatz als Oberflächendichtung kam eine Betonmatte mit einer Abdeckung aus teilverklammerten Wasserbausteinen der Klasse CP90/250 im sichtbaren Bereich oberhalb und in-

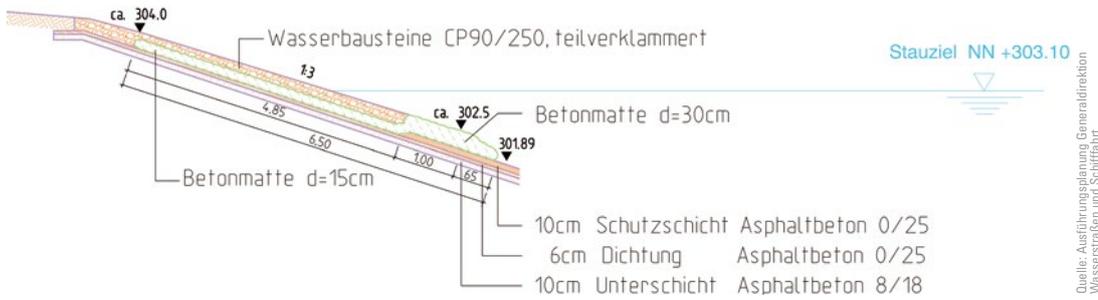


Bild 6 Querprofil der Dichtungsinstanzungsmaßnahme am Main-Donau-Kanal (MDK)
Cross-section of the lining rehabilitation at the Main-Donau-Kanal (MDK)

nerhalb der Wasserwechselzone. Die Besonderheit bestand in der direkten Kopplung einer dünnen Betonmatte ($d = 15\text{ cm}$) im oberen Bereich mit einer dicken Version ($d = 30\text{ cm}$) unterhalb des permanenten Wasserspiegels (Bild 6).

Der verdickte untere Bereich fungiert als permanentes Auflager des teilverklammerten Deckwerks. Hierdurch wird die optische Eingliederung des sanierten Abschnitts in das vorherrschende Bild der übrigen Böschungsbe- reiche garantiert.

3.3 Überströmstrecken am Furtherbach in den Jahren 2015/2016

Die Hochwasserereignisse der Jahre 1991, 1997 und 2002 hatten gezeigt, dass die Abflusssituation im Einzugsgebiet des Furtherbachs, der bei Weissenbach im südlichen Wienerwald in Niederösterreich in die Triesting mündet, einer Verbesserung bedurfte. Im Ortsgebiet Weissenbach betrug der HQ50-Abfluss ca. $85\text{ m}^3/\text{s}$, wobei das existierende Bachbett eine max. Abflussleistung von ungefähr $25\text{ m}^3/\text{s}$ aufwies. Basierend auf einer umfangreichen Studie wurde ein Konzept, bestehend aus Retentionsbeckenerrichtung und ergänzenden Maßnahmen entlang des Bachs, entworfen. Im Zuge der Umsetzung wurden dazu zwei Retentionsbecken (Rückhaltebecken Bigl und Rückhaltebecken Furth-Kreuzbauer) im Gemeindegebiet von

Tab. 4 Kenndaten der beiden Retentionsbecken am Furtherbach
Characteristic data of the flood detention basins at the Furtherbach

	Rückhalte- volumen [m ³]	Einge- staute Fläche [m ²]	Damm- höhe [m]	Bemessungs- HQ100 [m ³ /s]
Bigl	90 000	56 000	max. 7,0	71
Furth-Kreuz- bauer	139 000	47 000	max. 9,1	60

Furth an der Triesting errichtet. Die technischen Kenn- daten der beiden Becken sind in Tab. 4 aufgeführt.

Die Überlaufstrecken der beiden Erddämme der Rückhal- tebecken wurden mit einer durch Filterflächen wasser- durchlässigen Betonmatte gesichert. Zur optischen und ökologischen Integration in das Landschaftsbild wurde die Betonmatte mit einer begrünter Opferschicht ver- sehen (Bild 7).

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das durch weltweite langjährige Erfahrung am Markt bewährte System der geotextilen Betonmatten [10] findet sowohl national [11] als auch international wieder ver- mehrt Anwendung. Dies liegt vor allem in der Flexibilität

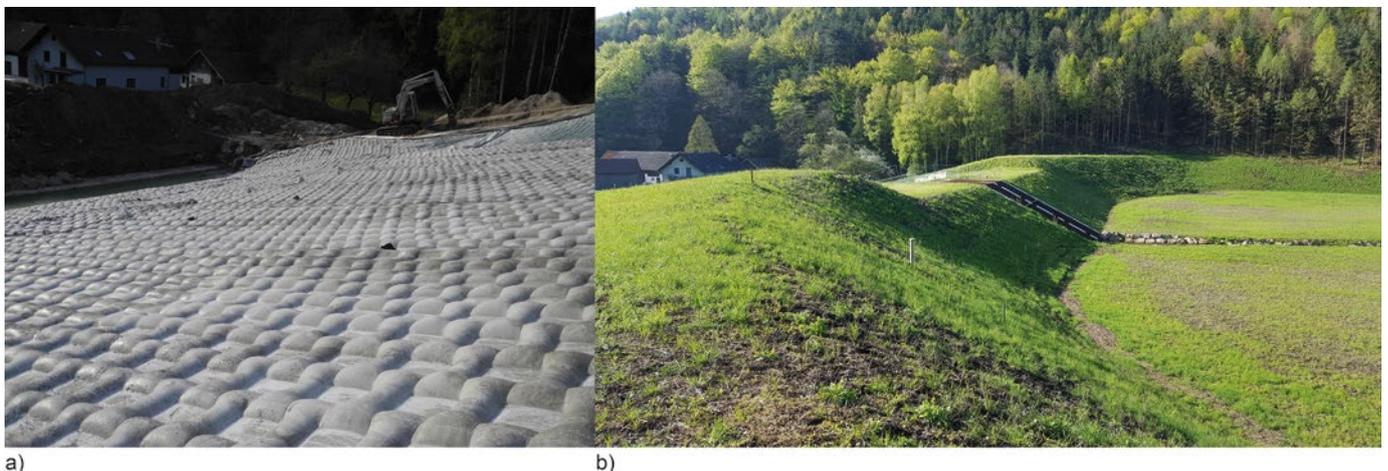


Bild 7 Das Rückhaltebecken Furth-Kreuzbauer während des Einbaus der Betonmatte (a) und nach Fertigstellung mit begrünter Opferschicht (b)
The detention basin Furth-Kreuzbauer during installation of the concrete mattress (a) and after completion with greened sacrificial soil layer (b)

des Systems und der Simplizität des Einbaus begründet. Dennoch gibt es gegenüber dem Verfahren tiefgreifende Vorbehalte. Im Zuge intensiver Forschung während der letzten Dekade konnten jedoch essenzielle Einblicke in die grundlegenden Mechanismen des symbiotischen Systems aus Beton und Geotextil gewonnen werden. Dies hat zu einem weitergehenden Verständnis des Systems geführt. Des Weiteren wurden aus der Literatur über-

lieferte charakteristische Werte wie z. B. die hydraulische Rauheit [8] mittels physikalischer Modellversuche verifiziert. Es bleibt abzuwarten, ob die nun ausgeführten Untersuchungen in Kombination mit der mehr als 60-jährigen Erfahrung am Markt zu einer weiter wachsenden Akzeptanz des Systems und somit zu weiteren Projekten führen werden.

Literatur

- [1] Zitscher, F. (1971) *Kunststoffe für den Wasserbau*. Berlin München Düsseldorf: Ernst & Sohn.
- [2] Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) (1993) *Empfehlung zur Anwendung von Oberflächenabdichtungen an Sohle und Böschung von Wasserstraßen*. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 85, Karlsruhe.
- [3] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) (2012) *Dichtungssysteme im Wasserbau – Teil 1: Erdbauwerke (DWA-M 512-1)*. DWA, Hennef.
- [4] Pilarczyk, K. W. (2009) *Design of Alternative Revetments* in: Kim, Y. C. [Hrsg.] *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*. Singapur: World Scientific, pp. 479–519.
- [5] Federal Highway Administration (FHWA) (2009) *Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection and Design Guidance – Third Edition*. FHWA-NHI-09-111, Washington D. C.
- [6] Wilke, M.; Krüger, B.; Schüll, M.; Tschernutter, P. (2012) *Sicherung überströmbarer Damm- und Deichscharten mittels geosynthetischer Betonmatten* in: Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen Heft 47: Staubauwerke – Planen, Bauen, Betreiben. Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, S. 275–284.
- [7] Derksen, J. (2017) *Hydraulische Rauheit von geotextilen Matten. Physikalische und Numerische Untersuchungen* in: Schüttrumpf, H. [Hrsg.] *Living Rivers – Neues aus Praxis und Forschung*. Mitteilungen Heft 171, RWTH Aachen. 47. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen, 12./13. Jan. 2017, S. 129–145.
- [8] Pilarczyk, K. W. (2000) *Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering*. Rotterdam: A. A. Balkema.
- [9] SP 38.1350.2012 (2012) *Loads and impacts on hydraulic structures (from wave, ice and ships) (December 2011)*. Ministry of Regional Development of Russia, Moskau, Russland.
- [10] Loewy, E.; Burdall, C.; Prentice, A. G. (1984) *Revetment Construction at Port Belawan, Indonesia* in: Proceedings of the International Conference on Flexible Armoured Revetments Incorporating Geotextiles. British National Committee of Permanent International Association of Navigational Congresses, The Institution of Civil Engineers, London, 29./30. March 1984, pp. 285–295.
- [11] Ebbert, S.; Hangen, H.; Nagel, S.; Wilke, M.; Loos, S. (2018) *Der Cottbuser Ostsee – Erosionssicherung des Flutungsbauwerkes* in: Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen Heft 60: Wasserbauwerke im Bestand – Sanierung, Umbau, Ersatzneubau und Rückbau. Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, S. 417–426.

Autoren

Dipl.-Ing. Markus Wilke (Korrespondenzautor)
wilke@huesker.de
HUESKER Synthetic GmbH
Fabrikstraße 13–15
48712 Gescher

Jan Derksen, M.Sc.
dersen@geotechnik.rwth-aachen.de
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen
Mies-van-der-Rohe-Straße 1
52074 Aachen

Simon Ebbert, M.Sc.
ebbert@huesker.de
HUESKER Synthetic GmbH
Fabrikstraße 13–15
48712 Gescher

Prof. Dr.-Ing. Jörg Harnisch
j.harnisch@fh-muenster.de
Fachhochschule Münster
Fachbereich Bauingenieurwesen
Corrensstraße 25
48149 Münster

Zitieren Sie diesen Beitrag

Wilke, M.; Derksen, J.; Ebbert, S.; Harnisch, J. (2021) *Neue Entwicklungen im Bereich der geotextilen Betonmattentechnologie zur Deckwerksgestaltung*. Bautechnik 98, H. 4, S. 285–292.
<https://doi.org/10.1002/bate.202000026>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 5. Mai 2020; angenommen: 1. Dezember 2020.