

Binnenwasserstraßen – Entwurf, Bau, Betrieb und Unterhaltung (1.2)

Neue Oberflächendichtungssysteme für Binnenwasserstraßen

Dipl.-Ing. Petra Fleischer

Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Dr.-Ing. Jan Kayser

Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

1. Einleitung

Dichtungen haben im Bereich des Verkehrswasserbaus eine zentrale Bedeutung. Ihre Hauptaufgaben bestehen darin, die Standsicherheit von Wasserbauwerken zu gewährleisten und Sickerwasserverluste aus der Wasserstraße zu verhindern bzw. zu begrenzen. Zur Abdichtung der Böschungs- und Sohlenbereiche von Wasserstraßen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Neben den bewährten Verfahren - wie beispielsweise Dichtungen aus Naturton - wurden besonders in letzter Zeit zunehmend neue Dichtungssysteme entwickelt und auf dem Markt angeboten. Die Bewertung dieser neuen Systeme bzw. Verfahren hinsichtlich ihrer technischen und wirtschaftlichen Gleichwertigkeit stellt an den aus-schreibenden Ingenieur immer höhere Anforderungen.

Eine fachtechnische Begutachtung, Prüfung und Bewertung der neuen Dichtungssysteme bzw. -verfahren erfolgt durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) als wissenschaftlich-technische Fachbehörde der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Um den Wasser- und Schifffahrtsämtern (WSÄ) und Neubauämtern (NBÄ) eine Hilfestellung bei der Ausschreibung und Vergabe von Dichtungsarbeiten zu geben, wurde in Zusammenarbeit von BAW und WSV ein Fachbeitrag erarbeitet, der alle wichtigen technischen Informationen zu den derzeit auf dem Markt angebotenen Dichtungsverfahren an Wasserstraßen beinhaltet. Dieser Fachbeitrag ist im Mitteilungsblatt der BAW Nr. 85 (2002) veröffentlicht [1] und kann als pdf-Datei von der Internetseite der BAW (www.baw.de) heruntergeladen werden.

Im vorliegenden Beitrag wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten neuen Dichtungssysteme gegeben.

2. Anforderungen an Dichtungen

Wichtigste Anforderung an Dichtungen ist eine geringe Wasserdurchlässigkeit. Die pro Zeiteinheit durch eine Dichtung tretende Wassermenge wird bei ansonsten gleichen Randbedingungen durch den Durchlässigkeitsbeiwert des Dichtungsmaterials und die Schichtdicke der Dichtung bestimmt. Für Tondichtungen mit einer Schichtdicke von 20 cm wird nach der ZTV-W, LB 210 [2] ein Grenzwert für den Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 1 \cdot 10^{-9}$ m/s gefordert. Die sich daraus ergebende zulässige Durchflussmenge pro m² Dichtung darf auch bei allen anderen Dichtungssystemen nicht überschritten werden.

Hinsichtlich der Witterungs- und Alterungsbeständigkeit muss das Dichtungsmaterial eine ausreichende Sicher-

heit gegen äußere und innere Erosion sowie gegen mechanische, chemische und biologische Angriffe besitzen. Es sind besondere Anforderungen an die Verformbarkeit und Festigkeit zu stellen. Beim Einbau der Dichtung muss eine ausreichende Verlegesicherheit garantiert werden können. Im Betriebszustand werden unter den Belastungen durch die Schifffahrt Langzeitbeständigkeit und eine geringe Schadensanfälligkeit gefordert. Weiterhin ist die Unterhaltungs- und Reparaturmöglichkeit zu beachten und nicht zuletzt die Umweltverträglichkeit und Entsorgungsmöglichkeiten nach einem Ausbau.

3. Übersicht Dichtungssysteme

Im folgenden sind die wichtigsten Dichtungssysteme zusammengestellt, die an den Wasserstraßen der WSV zur Dichtung der Sohle und Böschungen eingesetzt werden bzw. wurden, geordnet nach dem verwendeten Dichtungsmaterial [1]:

- Dichtungen aus natürlichen Materialien:
 - Naturtondichtung
 - Geosynthetische Tondichtungsbahnen
- Dichtungen mit hydraulischen Bindemitteln:
 - Vollvergossene Schüttsteine mit hydraulisch gebundenem Vergussstoff
 - Betonplatten mit gedichteten Fugen
 - Betonmatratzen
- Dichtungen mit hydraulischen Bindemitteln und Ton:
 - Dauerplastischer Dichtungsbelag aus Zement, Ton und Zuschlägen
 - Verfestigender Dichtungsbelag aus Zement, Ton und Zuschlägen
- Dichtungen mit bituminös gebundenen Materialien:
 - Bituminöse Dichtungsbeläge
 - Vollvergossene Schüttsteine mit bitumengebundenem Vergussstoff

Die weiteren Ausführungen beschränken sich hauptsächlich auf die neuen Dichtungssysteme, die erst seit kurzem in Schifffahrtskanälen Anwendung finden. Das sind neue Einbauverfahren von Naturton, Geosynthetische Tondichtungsbahnen und dauerplastische Dichtungsbeläge aus Zement, Ton und Zuschlägen.

4. Vor- und Nachteile sowie Anwendungsgrenzen der Dichtungssysteme

Im Mittelpunkt der weiteren Erläuterungen stehen die Vor- und Nachteile sowie gegebenenfalls Anwendungsgrenzen der neuen Dichtungssysteme bzw. Einbauverfahren und die speziellen Besonderheiten, auf die bei der Ausschreibung und der Kontrolle und Überwachung von Dichtungsarbeiten geachtet werden sollte. Allgemeine Anforderungen, die alle Systeme betreffen - wie zum Beispiel Anforderungen an das Planum vor Dichtungseinbau - werden hier nicht behandelt.

4.1 Naturtondichtungen – neue Einbauverfahren

Naturton als Dichtungsmaterial hat sich über Jahrzehnte im Bereich der Wasserstraße bewährt. Bei Erfüllung

der heutigen Anforderungen nach ZTVW-LB 210 [2] hinsichtlich Tongehalt, Plastizität, Konsistenz und Festigkeit hat Naturton sehr gute Dichtungseigenschaften. Tondichtungen sind Weichdichtungen mit einer hohen Flexibilität. Sie müssen vor Frosteinwirkung und Bewurzelung durch entsprechende Deckschichten geschützt werden.

In der Regel ist vor dem Einbau eine Aufbereitung des anstehenden Naturtones erforderlich. Aufgrund der heute geforderten hohen Plastizität und Erosionsstabilität des Tones ist eine Selbstheilung kleinerer Leckagen durch Aufweichen oder Freisetzen von eigenen Partikeln in der Regel nicht zu erwarten. Lediglich Kriechvorgänge oder der Eintrag von Schwebstoffen aus dem Wasser können zu einer gewissen Selbstheilung führen.

Die Dichtungswirkung der fertig eingebauten Tondichtung wird in starkem Maße auch durch die Ausbildung der Fugen (Überlappungen) und Anschlüsse an Bauteile, z.B. Spundwände, bestimmt und ist dementsprechend abhängig vom Einbauverfahren. Erfolgt der Toneinbau im Trockenbau - wie früher üblich -, entsteht durch das Schütten und Verdichten des Naturtones eine fugenlose Dichtung. Die Problematik der Fugen bzw. Überlappungen spielt in diesem Fall keine Rolle. Nach ZTV-W LB 210 [2] wird beim Trockeneinbau eine Verdichtung des Tones auf 97 % der Proctordichte gefordert. Dadurch besitzt der Ton eine relativ große Festigkeit. Im Anschlussbereich an massive Bauteile wie Spundwände, Stützmauern u.a. wirkt sich die große Festigkeit jedoch negativ aus, da sich der Ton möglichen Verformungen der Bauteile im Betriebszustand nicht anpassen kann. Als Folge können dauerhafte Spaltöffnungen (Leckagen) im Grenzbereich Bauwerk-Ton entstehen. Alte Bauwerke besitzen aus diesem Grund meist sehr lange Kontaktflächen oder wurden insgesamt in Ton oder Lehm „eingehüllt“. Deshalb sollte der Ton bei heutigen Baumaßnahmen im Trockenbau an Schifffahrtskanälen im Anschlussbereich zu Bauwerken abweichend von der ZTV-W etwas weicher ($c_u < 50$ kPa) eingebaut werden [1].

Gegenwärtig ist der Einbau des Dichtungstones auf der Sohle und den Böschungen der Wasserstraßen in der Regel unter Wasser bei Aufrechterhaltung der Schifffahrt erforderlich. Dies stellt besondere Anforderungen an das Verlegeverfahren. Derzeit werden mehrere Verfahren zum Toneinbau unter Wasser angeboten: das Tonplatten-Verfahren (Fa. MÖBIUS, Fa. WATI), das Tonbahnen-Verfahren (Fa. BUNTE, ehemals HIRDES) und das Tonwürfel-Verfahren (Fa. L. FREYTAG). Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Technologie zum Einbringen des Tones und der Ausbildung der Fugen bzw. Überlappungen.

Beim **Tonplatten-Verfahren** der Fa. Möbius (Bild 1) wird der Ton in einzelnen vorgefertigten „Tonplatten“ von etwa 4 m x 4 m verlegt. Der aufbereitete Ton wird mit einem Bagger in der vorgegebenen Schichtstärke in ein sogenanntes „Tonbett“ eingebaut. Die Tonplatten werden mit Hilfe einer Vakuumpumpe „ausgestochen“, aufgenommen und GPS-gesteuert im Kanalbett verlegt. Infolge des Andruckes beim Verlegen des Tones wird bei diesem Verfahren von vornherein eine gute Lagestabilität der Dichtung - auch auf der Böschung - erreicht. Die Überlappungen betragen 10 cm, sie werden nachträglich angedrückt. Eine automatische Kontrolle

der Dichtigkeit der einzelnen Tonplatten erfolgt über das aufgebraute Vakuum. Das Verfahren wird seit Jahren erfolgreich von der Fa. Möbius in der WSV angewendet.



Bild 1: Tonplattenverfahren (Fa. Möbius)

Seit 2005 wird das **Tonplatten-Verfahren** auch von der Fa. WATI angeboten. Hier werden die Tonplatten (3,60 m x 3,60 m) nicht „ausgestochen“, sondern in einer bereits entsprechend großen Form vorgefertigt. Die seitliche Schalung wird abgesenkt und die dann freiliegende Tonplatte mittels Vakuumpumpe aufgenommen. Die Vakuumpumpe besitzt einen 10 cm breiten Überstand, mit dem die Überlappungen bereits beim Ablegen der Tonplatte angedrückt werden. Zur Erzielung einer guten Lagestabilität und zum ausreichenden Zusammendrücken der Überlappungen insbesondere in den Eckpunkten ist ein zusätzliches Nachdrücken erforderlich. Allerdings ist das Verfahren bei praktischen Baumaßnahmen bisher noch nicht angewendet worden. Lediglich in einer Grundprüfung im August 2005 konnte der Nachweis erbracht werden, dass die Fa. WATI grundsätzlich maschinentechnisch und personell in der Lage ist, den Ton mit diesem Verfahren qualitätsgerecht einzubauen. Eine Bewährung dieses Verfahrens unter Baustellenbedingungen muss erst noch erfolgen.

Das **Tonbahnen-Verfahren** wurde von der Fa. HIRDES (heute Fa. BUNTE) entwickelt. Bei der Tonverlegung mit dem Einbaukomplex „Toni 1“ wurde in den sechziger Jahren der Ton unmittelbar an der Verlegestelle durch ein rechteckiges Mundstück gepresst. Die einzelnen Bahnen wurden auf Stoß nebeneinander gelegt. Der Einbau erfolgte zweilagig versetzt, so dass keine durchgehenden Fugen auftraten. Die Anwendung war jedoch nur auf der Sohle möglich, da im Böschungsbereich die zweite Tonlage auf der bereits verlegten abrutschte. Aus diesem Grund wurde „Toni 2“ entwickelt mit einem parallelogrammförmigen Mundstück. Aufgrund der dadurch möglichen Überlappung konnte einlagig und dementsprechend auch im Böschungsbereich eingebaut werden. Die Bahnenbreite betrug 80 cm. Dieses Verfahren wird auch heute noch vereinzelt in der WSV eingesetzt. Um Fehlstellen in der verlegten Dichtung zu vermeiden, muss die Geschwindigkeit der Tonförderung ständig kontrolliert und auf die Verlegegeschwindigkeit abgestimmt werden.

In der Weiterentwicklung des Verfahrens entstand das Verlegegerät „Toni 2000“ mit einer höheren Leistungsfähigkeit (Bild 2). Es wurde in der WSV erstmals 1999 am Wesel-Datteln-Kanal angewendet. Ein zweiter Einsatz erfolgte 2002 am Dortmund-Ems-Kanal im Baulos 15. Hier wurden auch die entsprechend der ZTV-W, LB 210 erforderlichen Grund- und Eignungsprüfungen

durchgeführt. Aufbereiteter Naturton wird in ein trapezförmiges Mundstück gepumpt und aus diesem auf dem Planum abgelegt. Dichtungsschichtdicken von 20 und 30 cm sind möglich. Die einzelnen Bahnen werden mit einer Breite von etwa 1,20 m nebeneinander ohne Überlappung verlegt. Der erforderliche dichte Fugenschluss wird durch Querdehnung der neu verlegten Bahn infolge Längsstauchung beim Ausstoßen erreicht. Zum Aufbringen der Längsstauchung ist das Anfahren gegen eine Wand erforderlich oder das Vorverlegen eines ca. 1,5 m Tonstrangs, um den Stauchdruck über Reibung in den Boden abzutragen. Gleichzeitig muss die Verlegegeschwindigkeit des Gerätes sehr genau auf die Fördergeschwindigkeit des Tones abgestimmt werden, um kontinuierlich den erforderlichen Stauchdruck zu garantieren und Fehlstellen zu vermeiden. Da die Fugen hier im Gegensatz zu allen anderen Verfahren als Stumpfstoß ausgebildet werden, also ohne Überlappungen, sind besondere Anforderungen an die Verlegenauigkeit zu stellen.



Bild 2: Tonbahnenverfahren (Fa. BUNTE)

Im Rahmen der Eignungs- und Kontrollprüfungen bei Einsätzen an Wasserstraßen müssen insbesondere die Abmessungen der extrudierten einzelnen Bahnen, das Querdehnungsmaß und der Fugenschluss benachbarter Bahnen kontrolliert werden. Unter diesen Bedingungen ist das Tonbahnenverfahren der Fa. Bunte mit dem Gerät "TONI 2000" als bewährtes Verlegeverfahren für den Unterwassereinbau anzusehen.

Ein weiteres neues Verfahren zum Einbau von Ton ist das **Tonwürfel-Verfahren** der Fa. L. Freytag (Bild 3). Es wurde 1998/99 erstmals in 1:1 Großversuchen der Firma in Nordenham mit guten Ergebnissen getestet. 2000/2001 wurde das Verfahren am Mittellandkanal im Bereich der Neubaumaßnahme Straßentunnel Wolmirstedt angewendet - in einem begrenzten Bereich der horizontalen Kanalsohle. Es war das erste und bisher einzige Projekt im Bereich der WSV, das dementsprechend sehr intensiv überwacht und kontrolliert wurde. Bei diesem Einbauverfahren wird aufbereiteter Ton in kleine Würfel mit einer Kantenlänge von etwa 8 cm geschnitten. Diese Tonwürfel werden über ein Schüttgerüst eingebracht und mit einem Plattenrüttler bzw. Großflächenrüttler verdichtet. In der Regel wird zweilagig, um 0,5 m versetzt, geschüttet und beide Lagen zusammen in zwei Arbeitsgängen verdichtet. Das Verhältnis der Schichtdicke vor und nach dem Verdichten ist vor Beginn jeder Baumaßnahme in der Eignungsprüfung festzustellen. Im Ergebnis ist die erforderliche Schüttdicke entsprechend der geforderten Sollschichtdicke der fertigen Tondichtung festzulegen. Ein Vorteil

dieses Verfahrens besteht darin, dass auch hier - wie beim Trockeneinbau von Ton - eine weitestgehend fugenlose Dichtungsschicht entsteht. Da die Tonwürfel abschnittsweise über ein Schüttgerüst eingebaut werden, sind allerdings Herstellungsfugen - bedingt durch die überlappende Positionierung des Schüttgerüsts und der Rüttlerbahnen - zu beachten.



Bild 3: Tonwürfelverfahren (Fa. L.Freytag)

Bei erschütterungs- bzw. setzungsempfindlichem Untergrund muss die Anwendbarkeit des Verfahrens vorher überprüft werden. Auf sehr weichem Untergrund wird eine ordnungsgemäße Verdichtung des Tones unter Umständen nicht erreicht.

Im Bereich des Straßentunnels Wolmirstedt am Mittellandkanal konnte die im Tonwürfelverfahren eingebrachte Tondichtung nach Trockenlegung begutachtet werden. Insgesamt konnte eine gute Qualität der Tondichtung festgestellt und damit nachgewiesen werden, dass das Verfahren prinzipiell für den Unterwassereinbau von Ton geeignet ist. Weitere Anwendungen gab es bisher an Wasserstraßen nicht. Der Toneinbau auf Böschungen erfolgte bisher in der WSV noch nicht. Hier sind bei einem ersten Einsatz die entsprechenden Prüfungen noch durchzuführen.

Eine besondere Problematik stellen die **Anschlüsse der Tondichtung an Bauwerke**, wie beispielsweise Spundwände oder Stützmauern, dar. Diese Anschlüsse werden bei jedem Tonverlegeverfahren in ähnlicher Weise ausgeführt. In der Regel wird zuerst ein Dichtungskeil, meist auch aus Ton, eingebaut, der der Bauwerkskontur, beispielsweise dem Profil der Spundwand, angepasst wird. Darüber wird dann die eigentliche Dichtung in planmäßiger Stärke aufgebracht. Die Kontaktfläche zwischen Ton und Bauwerk, die erforderlich ist, um die Entstehung eines durchgehenden Spaltes bei Bauwerksverformungen zu verhindern, ist von der Festigkeit des Tones abhängig. Beim Unterwassereinbau von Ton mit einer Festigkeit von $c_u < 25$ kPa sind mindestens 50 cm, beim Trockeneinbau mit höheren Festigkeiten mindestens 80 cm erforderlich [1].

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Naturton als Dichtungstoff gut geeignet ist und sich in zahlreichen Baumaßnahmen bewährt hat. Jedoch ist die Wirksamkeit der verlegten Dichtung insgesamt sehr stark vom Einbauverfahren, insbesondere von der Ausbildung der Fugen und Anschlüsse, abhängig. Das bedeutet, dass auch bei der eigentlich bewährten Naturtondichtung jedes neue Einbauverfahren vor dem Einsatz in der WSV sehr kritisch geprüft werden muss.

4.2 Geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD)

Die Geosynthetischen Tondichtungsbahnen werden seit längerem bereits im Deponie- und Straßenbau, aber auch zum Abdichten von Rückhaltebecken, Klärteichen u.ä. eingesetzt. Der Einbau erfolgt hier allerdings in der Regel im Trockenen. In der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) muss der Dichtungseinbau heute dagegen fast immer unter Wasser bei laufendem Schiffsverkehr erfolgen. Unter diesen Bedingungen gehören die Geosynthetischen Tondichtungsbahnen noch zu den neueren Dichtungssystemen. Eine erste Anwendung erfolgte 1997/98 im Bereich der Ausweichstelle Eberswalde (Havel-Oder-Wasserstraße) (Bild 4), eine zweite 2000/2001 auf einer 500 m langen Teilstrecke des Bauloses 15 des Dortmund-Ems-Kanals. Beide Versuchsstrecken sind Wasserstraßenabschnitte mit geringem Gefahrenpotential. Die Dichtung wurde besonders überwacht und kontrolliert, so dass hierzu erste Erfahrungen vorliegen.



Bild 4: Verlegung der GTD

Die Geosynthetischen Tondichtungsbahnen bestehen aus zwei Lagen Geokunststoffen, zwischen denen eine Schicht Bentonit, meist Natrium-Bentonit, das zu über 75 % aus dem besonders quellfähigen Tonmineral Montmorillonit besteht, eingeschlossen ist. Sie werden in Bahnen mit einer Breite von 4,85 m fabrikmäßig vorgefertigt und auf Rollen auf die Baustelle geliefert. Die Verlegung erfolgt quer zum Kanal mit seitlichen Überlappungen der einzelnen Bahnen von mindestens 50 cm. Die in Kanalachse befindliche Längsüberlap-

fung bei jeweils halbseitigem Einbau in der Wasserstraße beträgt mindestens 1 m. Die Anschlüsse an Bauwerke werden wie bei Tondichtungen hergestellt. Die GTD ist sehr flexibel und kann sich dementsprechend auftretenden Untergrundverformungen gut anpassen. Wie bei der Tondichtung ist eine Schutzschicht gegen Frosteinfluss und Bewurzelung erforderlich.

Die geringe Dichtungsschichtdicke von nur 1 cm hat gegenüber der Tondichtung den Vorteil, dass weniger Aushub erforderlich wird. Allerdings ist die GTD dementsprechend auch empfindlicher gegenüber direkter mechanischer Beanspruchung - zumal sie im bereits gequollenen Zustand mit Wasserbausteinen beschützt wird. Als erster Schutz und gleichzeitig als Beschwerung der Matten beim Verlegen hat sich eine spezielle Sandmatte bewährt, die mit der GTD zusammen verlegt wird.

Die heute in der Wasserstraße eingesetzten Dichtungsbahnen (BFG 5000 und BZ-13B) der Fa. Naue GmbH & Co. KG besitzen einen Durchlässigkeitsbeiwert von maximal $5 \cdot 10^{-11}$ m/s. Damit erfüllen die GTD im Ausgangszustand die Anforderungen nach ZTV-W, LB 210 [2] und sind mit einer Schichtdicke von 1 cm einer 20 cm dicken Tondichtung mit einem k-Wert von $1 \cdot 10^{-9}$ m/s hydraulisch gleichwertig bei ansonsten gleichen Randbedingungen. Innerhalb von 2 bis 3 Jahren ist bei der Verwendung von Natriumbentonit in der GTD aufgrund des Ionenaustausches eine k-Wert-Erhöhung von bis zu einer Zehnerpotenz möglich. Erfahrungen mit verlegten GTD haben außerdem gezeigt, dass in der Dichtung lokal Bereiche mit erhöhten Durchlässigkeiten durch ein Verquetschen von Bentonit entstehen können - infolge der punktuellen Belastung durch die Wasserbausteine, die direkt auf die Bentonit-Sandmatte aufgebracht werden. Die Anforderungen der ZTV-W [2] an den k-Wert werden dadurch langfristig gerade erfüllt. Reserven wie bei Tondichtungen infolge ihrer in der Regel unter dem Grenzwert von $1 \cdot 10^{-9}$ m/s liegenden Durchlässigkeitsbeiwerte sind dadurch nicht vorhanden.

Wie bei allen anderen Dichtungen mit Fugen bzw. Überlappungen sind diese auch hier die besonders kritischen Bereiche. Um eine Wasserwegigkeit in der Geotextilebene zu vermeiden, werden beim heute üblichen Unterwassereinbau Vliese mit bereits werkseitig eingestreutem und mit den Fasern vernadeltem Bentonit verwendet, die aufeinandergelegt eine den Anforderungen entsprechende geringe Durchlässigkeit garantieren. Oder es wird ein Gewebe, das von vornherein keine Durchlässigkeit in seiner Ebene besitzt, mit einem getränkten Vlies kombiniert. Zusätzliche Sicherheiten sind durch die großen Überlappungsbreiten von mindestens 50 cm gegeben, die bei den in der Regel nur wenig überlappenden oder auf Stoß verlegten Tondichtungen nicht vorhanden sind. Allerdings dürfen in den Überlappungsbereichen keine Falten auftreten.

An die Einbautechnologie und die Gerätschaften sind besondere Anforderungen zu stellen, um ein qualitätsgerechtes Verlegen der GTD unter Wasser bei laufender Schifffahrt zu garantieren. Unbedingt ist eine sichere, durchgehend feste Führung der GTD erforderlich, um Faltenbildung auszuschließen. Eine Korrektur der einzelnen Bahnen während der Verlegung ist nicht zulässig. Wichtig ist außerdem, dass kein rolliges Material wie beispielsweise Sande oder Kiese dauerhaft in den Überlappungsbereichen verbleibt (weitere Anforde-

rungen siehe [1]). Insgesamt muss das Einbauverfahren auf die gegenüber mechanischer Beanspruchung empfindlichen Dichtungsmatten abgestimmt sein, um Beschädigungen der Dichtung beim Einbau auszuschließen. Im Vorfeld jeder Baumaßnahme sollte nachgewiesen werden, dass die punktuelle Belastung durch die als Schutzschicht vorgesehenen Wasserbausteine nicht zum Verquetschen von Bentonit bzw. zur Beschädigung der umschließenden Geotextilien führt. Besondere Anforderungen sind an die Bauüberwachung zu stellen.

Die Erfahrungen aus dem Bereich der Ausweichstelle Eberswalde zeigen, dass ein qualitätsgerechter Einbau der GTD unter Wasser bei Aufrechterhaltung der Schifffahrt möglich ist. Die Erfahrungen beim Einbau in der zweiten Versuchsstrecke am DEK zeigen aber auch, dass im Vorfeld jeder neuen Baumaßnahme das angebotene Verlegeverfahren sehr genau geprüft werden muss, ob es einen qualitätsgerechten Einbau ermöglicht. Bei Baubeginn ist eine Eignungsprüfung durchzuführen. Für die vorgesehene GTD muss ein Grundprüfungszeugnis für die Anwendung im Verkehrswasserbau vorliegen.

Aufgrund zu geringer Reserven hinsichtlich der nach ZTV-W [2] maximal zulässigen Durchlässigkeit ist eine Anwendung der GTD in der jetzigen Ausführung nur in risikoarmen Strecken möglich (Dammstrecken, in denen der Kanalwasserspiegel maximal 2 m über dem angrenzenden Gelände liegt). Um den Anwendungsbebereich zu erweitern, sollte das Dichtungssystem in seiner Gesamtheit einschließlich der Einbautechnologie weiter optimiert werden. Beim Aufbau und Einbau der Dichtung und der Schutzschichten muss berücksichtigt werden, dass die GTD aufgrund der geringen Schichtdicke sehr empfindlich gegenüber mechanischen Beanspruchungen ist.

4.3 Dauerplastischer Dichtungsbelag aus Zement, Ton und Zuschlägen

Als dauerplastische Dichtung aus Zement, Ton und Zuschlägen ist gegenwärtig nur das "Colcredur" - angeboten von der Fa. Colcrete aus Essen - auf dem Markt. Es ist ein Gemisch aus Sand, Compound und Wasser, das in hochtourigen Mixern aufbereitet wird (Bild 5). Das Compound besteht aus Tonmineralen, Zement und Zusatzstoffen, es wird fertig gemischt geliefert, die genaue Zusammensetzung wird vom Hersteller festgelegt. Bei richtigem Mischungsverhältnis härtet Colcredur nicht aus, sondern bildet als dauerplastische Dichtungsschicht eine Weichdichtung. Eine ausreichende Erosionsbeständigkeit des Materials wird durch kolloidale Aufbereitung erreicht. Nach dem Einbau im städtischen Hafen Hildesheim mit einer Schichtdicke von 60 cm wurde es erstmals 1997/98 in der WSV als Dichtungskeil im Anschlussbereich der Sohle an die Uferspundwand im Bereich der Ausweichstelle Eberswalde eingesetzt [3]. Ein erster Einsatz als großflächige Sohlendichtung erfolgte 2004 in einem etwa 200 m langen Abschnitt der Havel-Oder-Wasserstraße, ein weiterer Einsatz in einer begrenzten Fläche im Bereich der Schleuse Uelzen.

Eingebaut werden kann Colcredur wie Vergussmörtel. Das ist dementsprechend auch auf schmalen, begrenzten Flächen möglich. Es entsteht eine fugenlose Dichtung. Aufgrund der Fließfähigkeit des Materials ist die

Herstellung der Anschlüsse an Bauwerke unproblematisch, die konstruktive Ausbildung dieser Anschlüsse und sonstigen Anforderungen entsprechen denen für Tondichtungen. Auch bei Colcredur ist ein Schutz vor Frost und Bewurzelung erforderlich. Zwischen Colcredur und der Schutzschicht aus Wasserbausteinen wurde bisher ein Geotextil verwendet. Wie Versuche in der BAW gezeigt haben, kann auch ein mineralischer Filter angewendet werden. Die punktuelle Belastung durch die Wasserbausteine bei Verwendung eines Geotextils darf nicht zu Eindrückungen der Dichtungsschicht über die Hälfte der Schichtdicke hinaus führen. Aufgrund der geforderten Erosionsbeständigkeit ist wie bei Ton eine Selbstheilung von kleineren Leckagen nur durch Kriechvorgänge oder den Eintrag von Schwebstoffen aus dem Wasser möglich.

Colcredur besitzt einen Durchlässigkeitsbeiwert von $1 \cdot 10^{-9}$ m/s bis $1 \cdot 10^{-10}$ m/s und liegt damit im zulässigen Bereich nach ZTV-W. Es wird dementsprechend in der Regel in Stärken von 20 bzw. 30 cm wie Ton eingebaut. Reserven hinsichtlich der Durchlässigkeit in dem Maße wie beim Ton sind nicht vorhanden. Das Mischungsverhältnis der einzelnen Komponenten des Colcredurs entscheidet in starkem Maße über die Flexibilität der fertigen Dichtung. Wird die Mischung zu spröde, ist verstärkte Rissbildung zu erwarten und dementsprechend auch Probleme im Anschlussbereich an Bauwerke oder bei größeren Verformungen des Untergrundes.



Bild 5: Colcredur im Biegeversuch

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass das Dichtungsmaterial "Colcredur" im Vorfeld und während der Baumaßnahme sehr sorgfältig auf seine Eigenschaften - insbesondere hinsichtlich einer ausreichenden Flexibilität - geprüft werden muss, um letztendlich eine qualitätsgerechte Dichtung herzustellen, die alle Anforderungen nach ZTV-W erfüllt. Das vorgesehene Material muss ein Grundprüfungszeugnis besitzen. Da das Material im Böschungsbereich hangabwärts kriecht, ist die Anwendung bisher auf den Sohlbereich beschränkt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Kanaldichtungen haben neben der Begrenzung der Wasserverluste eine entscheidende Bedeutung für die Standsicherheit der Bauwerke an der Wasserstraße - Massivbauwerke und Erdbauwerke. Sie müssen dementsprechend dauerhaft zuverlässig wirken. Große Schadensfälle infolge des Versagens der Dichtung wie 1976 am Elbe-Seiten-Kanal und 1979 am Main-Donau-Kanal zeigen die möglichen katastrophalen Folgen. Gleichzeitig wurde dabei deutlich, dass gerade die konstruktive Ausbildung und Herstellung der Anschlüsse

se und Fugen eine große Bedeutung für die zuverlässige Wirksamkeit der gesamten Dichtung haben. Das bedeutet, dass die Planung, Ausschreibung und Ausführung von Kanaldichtungen insgesamt sehr sorgfältig erfolgen muss.

Die Entwicklung neuer Verfahren, aber auch die Weiterentwicklung bewährter Verfahren können zu einfacheren Bauweisen und finanziellen Einsparungen führen und nicht zuletzt den Wettbewerb unter den Anbietern beleben. Neue Dichtungssysteme - neue Dichtungsmaterialien oder neue Verfahren der Dichtungsherstellung - müssen jedoch vor dem Einsatz sorgfältig auf ihre Anwendbarkeit unter den besonderen Bedingungen der Wasserstraße geprüft werden. Eine solche Prüfung gehört zu den grundsätzlichen Aufgaben der Bundesanstalt für Wasserbau. Die Basis für eine fachgerechte Beurteilung neuer Dichtungssysteme bilden langjährige Erfahrungen beim Bau und der Unterhaltung von Wasserstraßen, verbunden mit einer objektiven Betrachtungsweise.

Nach dem Nachweis einer grundsätzlichen Eignung müssen die Verfahren in Versuchsstrecken (Pilotprojekten) getestet werden. Dabei ist eine sorgfältige Überwachung während der Baumaßnahme erforderlich. Außerdem muss die Wirksamkeit der neuen Dichtung nach Herstellung und längerfristig unter den Bedingungen der Schifffahrt messtechnisch kontrolliert werden. Erst nach Vorliegen ausreichender Langzeiterfahrungen kann ein Verfahren allgemein technisch anerkannt und dementsprechend für die Wasserstraße zugelassen werden.

Literatur

- [1] Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an Sohle und Böschung von Wasserstraßen, Mitteilungsblatt der BAW, Nr. 85 (2002)
- [2] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Böschungs- und Sohlensicherungen (Leistungsbereich 210), Ausgabe 2000
- [3] FLEISCHER, SCHREIER: „Einsatz von Geosynthetischen Tondichtungsbahnen als Kanaldichtung“, Binnenschifffahrt 19, 1998
- [4] FLEISCHER, HEIBAUM: „Unterwassereinbau von Geosynthetischen Tondichtungsbahnen“, 6. Informations- und Vortragstagung über „Kunststoffe in der Geotechnik“, München März 1999
- [5] FLEISCHER, SCHREIER: „Erste Langzeiterfahrungen mit Geosynthetische Tondichtungsbahnen als Kanaldichtung in der WSV“, Binnenschifffahrt 11, 2001

Verfasser

Dipl.-Ing. Petra Fleischer
Referat Erdbau und Uferschutz
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kussmaulstrasse 17, 76187 Karlsruhe
Tel.: 0721 9726 – 3570
E-Mail: petra.fleischer@baw.de

Dr.-Ing. Jan Kayser
Referat Erdbau und Uferschutz
Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kussmaulstrasse 17, 76187 Karlsruhe
Tel.: 0721 9726 – 3100
E-Mail: jan.kayser@baw.de