



# Überströmungssicherung von Deichen mit Geokunststoffen

Ronald Haselsteiner, Michael Mett, Theodor Strobl

Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München

## Kurzfassung

In folgendem Beitrag werden die Möglichkeiten der Überströmungssicherung von Deichen aufgezählt und die Methoden, die ausschließlich Geokunststoffe verwenden, näher erläutert. An der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München wurden hierzu im Auftrag der Fa. NAUE GmbH & Co. KG und der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung im Rahmen des Vorhabens „Geodeich“ Versuche durchgeführt, die die prinzipielle Brauchbarkeit einiger ausgewählter Konstruktionen überprüfen sollten. Das dazugehörige Versuchsprogramm und die entsprechenden Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt. Abschließend wird auf die Einbindung von Überströmungssicherungen in Deichertüchtigungsmaßnahmen eingegangen und der notwendige Forschungsbedarf zur Entwicklung von Bemessungshilfen angesprochen.

## 1 Einleitung

Die Möglichkeiten, überströmbare Deiche und Dämme auszubilden, sind vielseitig. Die einfachste Art und Weise, ein Erdbauwerk für diese Art der Belastung zu sichern, stellt nach wie vor eine sehr flach geneigte, mit Gras bewachsene Böschung dar. Da i. Allg. Platzmangel herrscht und deshalb steilere Böschungen, als für eine Grassicherung notwendig sind, zur Anwendung kommen, sind Sicherungsmaßnahmen, wie z. B. Steinschüttungen, Drahtgitterkörbe, etc. notwendig. Während bei Hochwasserrückhaltebecken auf diese Art und Weise Hochwasserentlastungsanlagen gebaut werden, tritt dagegen bei Hochwasserschutzdeichen i. Allg. die Ausführung von planmäßig, überströmbaren Deichstrecken in den Vordergrund. Die haben den Vorteil, das Retentionsvolumen von sich hinter den Deichen befindlichen Poldern nutzbar zu machen und durch diesen Rückhalt eine Verbesserung der Hochwassersituation im Unterwasser zu schaffen. Überströmstrecken so auszubilden, wie z. B. Hochwasserentlastungsanlagen aus Beton, wie sie im Talsperrenbau (Schussrinnen) Verwendung finden, ist für lange Überlaufstrecken bei Deichen i. d. R. nicht wirtschaftlich.

Eine unplanmäßige Überströmung nicht gesicherter Deiche tritt je nach der Jährlichkeit des Bemessungshochwasserstands (BHW) und dem zur Verfügung stehenden Freibord ( $f$ ) äußerst selten auf ( $T \gg T_{BHW}$ ). Dies kann jedoch zu einem schlagartigen Versagen des Deiches führen und daraus im Einzelfall ein erhöhtes Unfall- bzw. Schadensrisiko im Hinterland resultieren. Das Risiko einer mit einem Deichbruch verbundenen schlagartigen Überflutung des Hinterlandes „lässt sich durch Sicherung der landseitigen Böschung gegen Erosion verringern.“ Eine derartige, durchgängige Sicherung von ganzen Deichstrecken „gehört bisher nicht zur wasserbaulichen Praxis.“ (DIN 19712/1997)

DIN 19712/1997 führt weiter aus: „Bei jeder Deichplanung ist zu überprüfen, ob sich die Katastrophengefahr verringern lässt durch die Ausbildung von gegen Erosion gesicherten

*Überlaufstrecken in günstig gelegenen Deichabschnitten.*“ Unter dem Begriff „Deichplanungen“ sind alle Planungen an Deichen also auch Planungen von Deichertüchtigungsmaßnahmen inbegriffen. In der Praxis wird dieser Forderungen jedoch i. d. R. nicht Folge geleistet.

Infolge der Überströmungssicherung von nicht planmäßig dafür ausgelegten Deichstrecken, d. h. von Deichstrecken, die erst überströmt werden, wenn der Wasserstand BHW + f überschreitet, existieren trotzdem entscheidende Aspekte, die eine solche Baumaßnahme rechtfertigen können. Voraussetzung ist natürlich, dass im Deichhinterland ein erhebliches Schadenspotential vorhanden ist. Zum einen wird durch eine Sicherung die Flutung des Polders wesentlich verzögert. Anstelle eines Abflusses ggf. mit der maximalen Einströmhöhe der Höhe des gebrochenen Deichs tritt eine Überströmung mit der entsprechenden Überströmhöhe, die i. Allg. nur einen Bruchteil der Deichhöhe ausmacht. Da der entstehende Schaden u. a. vom Wasserstand im Polder abhängt (vgl. z. B. MERZ 2006), können so Schäden reduziert oder sogar vermieden werden, wenn man gleichzeitig berücksichtigt, dass das Hochwasser ein zeitlich begrenztes Ereignis darstellt und ggf. die Überströmdauer des Deichs so kurz auftritt, dass eine Befüllung des gesamten Polders bzw. die Flutung eines jeden im Polder befindlichen Schadensobjekts nicht stattfindet. Eine Verzögerung der Flutung des Polders stellt zudem Zeit zur Verfügung, Maßnahmen zur Schadensvermeidung, -reduktion und generell zur Hochwasserabwehr zu treffen. Näheres zu den Auswirkungen der Sicherung von normal bemessenen Deichen gegen Überströmen auf den zu erwarteten Schaden kann WERTH ET AL. (2007) entnommen werden.

## **2 Möglichkeiten der Überströmungssicherung**

### **2.1 Allgemeines**

Überlaufstrecken sind *„sorgfältig zu planen, auszuführen und zu unterhalten. ... Bei geringer Belastung genügt ein Abflachen der landseitigen Böschung auf 1:10 bis 1:20 mit gesichertem Böschungsfuß.“* (DIN 19712/1997)

Für planmäßige Überlaufstrecken zur Nutzung von Retentionsräumen hinter den Deichen sind als günstig gelegene Deichabschnitte im Wesentlichen Bereiche geeignet, deren Hinterland ein geringes Schadenspotential aufweist und an welchen günstige Strömungsverhältnisse sowie gute Voraussetzungen für eine Baumaßnahme (Platzverhältnisse, Deichzustand, Untergrundverhältnisse etc.) vorherrschen. Die Leistungsfähigkeit von Überlaufstrecken muss in Abhängigkeit der gewünschten Retentionswirkung und der ausgeführten Sicherungsart festgelegt werden. In der Literatur sind für eine erreichbare und auch notwendige Leistungsfähigkeit Werte von  $q = 0,15 - 1,00 \text{ m}^3/\text{sm}$  angegeben. Für höhere Belastungen sind massive Bauwerke notwendig, die für Deichstrecken jedoch i. d. R. unwirtschaftlich sind.

Dagegen ist ein hohes Schadenspotential bei der Sicherung für Überströmung von normal bemessenen Deichen notwendig, um die Maßnahme und ggf. auch Einbußen bei der Nutzung von Retentionsräumen zu rechtfertigen. Hier steht im Vordergrund, den Schutz des Hinterlandes und somit die Standsicherheit des Deichs zu gewährleisten und in diesem Zuge auch den Zufluss in den Polder entsprechend zu reduzieren.

Die Kriterien, die i. Allg. an eine Überströmungssicherung für Deiche und Hochwasserrückhaltebecken zu stellen sind, lassen sich in folgenden Stichpunkten zusammenfassen (BIEBERSTEIN ET AL. 2004, LFU BW 2004, STALMANN 1980):

- Ausreichende Dauerhaftigkeit/Langzeitstabilität
- Hohe Wasserdurchlässigkeit
- Erosionsstabilität
- Plastizität
- Ggf. Fugenlosigkeit
- Angepasste Rauheit
- Stabilität (bei Überströmung und Durchströmung)
- Begrünung
- Möglichkeit des Einbaus in bestehende Bauwerke (Hochwasserschutzdeiche)
- Wirtschaftliche Bauweise

Neben dem Schutz der Böschung sind die Krone und der landseitige Deichfuß gegen die hydrodynamischen Kräfte zu schützen. Im Bedarfsfall sollte am landseitigen Deichfuß die Energieumwandlung durch entsprechende Vorrichtungen, wie z. B. mit einem Tosbecken oder mit einer Tosmulde, sichergestellt werden (LFU BW 2004).

Die zu sichernden Bereich und deren Belastung lassen sich anhand der Betrachtung vereinfachter Verhältnisse eines überströmten Dammbauwerks einschätzen (Abb. 1).

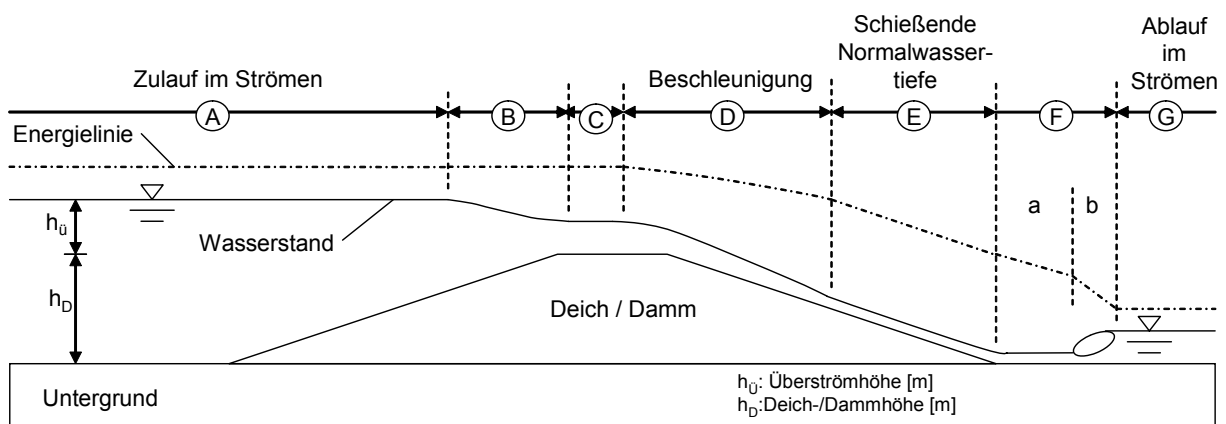


Abb. 1: Hydraulische Verhältnisse an einem überströmten Dammbauwerk (nach LFU BW 2004, vgl. FRITZ 1999)

Die Aufteilung wird unter Zuhilfenahme der Energienlinie durchgeführt. Im Bereich A, dem Zuströmbereich, treten vernachlässigbare Energieverluste auf. Im Zuströmbereich B erfolgt die Einschnürung. Über der Dammkrone, die i. Allg. als breiter Überfall angesehen werden kann, stellt sich ein konstanter Wasserspiegel ein, bevor aufgrund der Beschleunigung an der Deichböschung (Bereich D) die Grenzverhältnisse erreicht werden und sich i. d. R. schießende Abflussverhältnisse einstellen (Bereich E). Der Übergang der Fließzustände bzw. der Fließwechsel von Strömen zum Schießen erfolgt abhängig von der Kronenform im Bereich der Böschungskante. Die Beschleunigung auf der Böschung setzt sich fort, bis ein

konstanter Fließzustand, der stationär schießende Abfluss (Bereich E), erreicht ist. Im Bereich F treten hohe Energieverluste aufgrund des Neigungswechsels auf (Bereich F a). Schließlich kann sich im Idealfall ein Wechselsprung ausbilden, bei dem sich ein Fließwechsel von Schießen zu Strömen vollzieht und auf kurzer Strecke viel Energie umgewandelt wird (Bereich F b). Die Ausbildung und die Art des Wechselsprungs sind abhängig vom Unterwasserstand. Im Bereich G herrschen stationäre strömende Abflussverhältnisse. Die gezeigten Zusammenhänge verändern sich wesentlich, wenn der Unterwasserstand infolge der Befüllung des hinter den Deich liegenden Polders ansteigt und sich z. B. ein rückgestauter Wechselsprung mit Tauchstrahl ausbilden kann (siehe z. B. FRITZ 1999).

Bei kaskadenartigen Böschungsstrukturen bilden sich i. Allg. abhängig von der Beaufschlagung die entsprechenden hydraulischen Verhältnisse aus.

## 2.2 Übersicht

Folgende Maßnahmen können zur Sicherung von Böschungen an Überlaufstrecken herangezogen werden (Abb. 2):

- Abflachen der Böschungen mit Inanspruchnahme der Festigkeit der Vegetationsdecke (z. B. auf 1:15)
- Naturnahe Sicherungsbauweisen (z. B. Lebender Steinsatz)
- Bodenverfestigung (z. B. mit Kalk und Zement)
- Gebundene, dränfähige Baustoffe (z. B. Dränasphalt, - beton, Mastix-Schotter)
- Deckwerke (z. B. Steinwurf oder Steinsatz)
- Besondere Konstruktionslösungen / Kombinationen (z. B. mit Geogittern)
- Verwendung von Geokunststoffen (z. B. Bewehrung mit Geogitter oder Maschenware)

Vegetationsdecken an Deichen werden i. d. R. aufgrund von ökologischen sowie landschaftsästhetischen Gründen immer angelegt werden. In Kombination mit anderen Sicherungsmaßnahmen dienen sie zum einen, wie z. B. als Abdeckung von Steinsätzen, den o. g. Gründen und werden als „Opferschicht“ bei Belastung mehr oder weniger schnell abgetragen. Zum anderen können sie im Zusammenwirken mit z. B. Bindemitteln u. ä. Maßnahmen zur Bodenverbesserung einen stabilen Verbund herstellen.

In der Vergangenheit wurden zahlreiche Untersuchungen zu dieser Thematik durchgeführt (SCHAEF 1964, IDEL 1972, STALMANN 1980, GERODETTI 1981, BAUMGARTEN & THIES 1983, POWLEDGE ET AL. 1989, DORNACK 2000 & 2001, MAIER 2002, RATHGEB 2001, MARTINI 2002, BIEBERSTEIN 2003, BIEBERSTEIN ET AL. 2003 & 2004, KLIK ET AL. 2003, WESTRICH ET AL. 2002 & 2003 & 2004). Hervorzuheben sei hier die Arbeit von BOSSART (1991), die eine Übersicht der zum damaligen Zeitpunkt herangezogenen Bauweisen und der grundlegenden physikalischen Zusammenhänge beinhaltet. LFU BW (2004) stellt hingegen aktuell gängige Bauweisen dar. Beide Werke enthalten zu Bauweisen mit Geokunststoffen Hinweise, jedoch keine Bemessungsanweisungen. BOSSARD (1991) verweist auf einige Erfahrungen, die mit Sicherungen bestehend aus einer Kombination von Geokunststoffen und Rasendecken in den U.S.A. gemacht wurden.

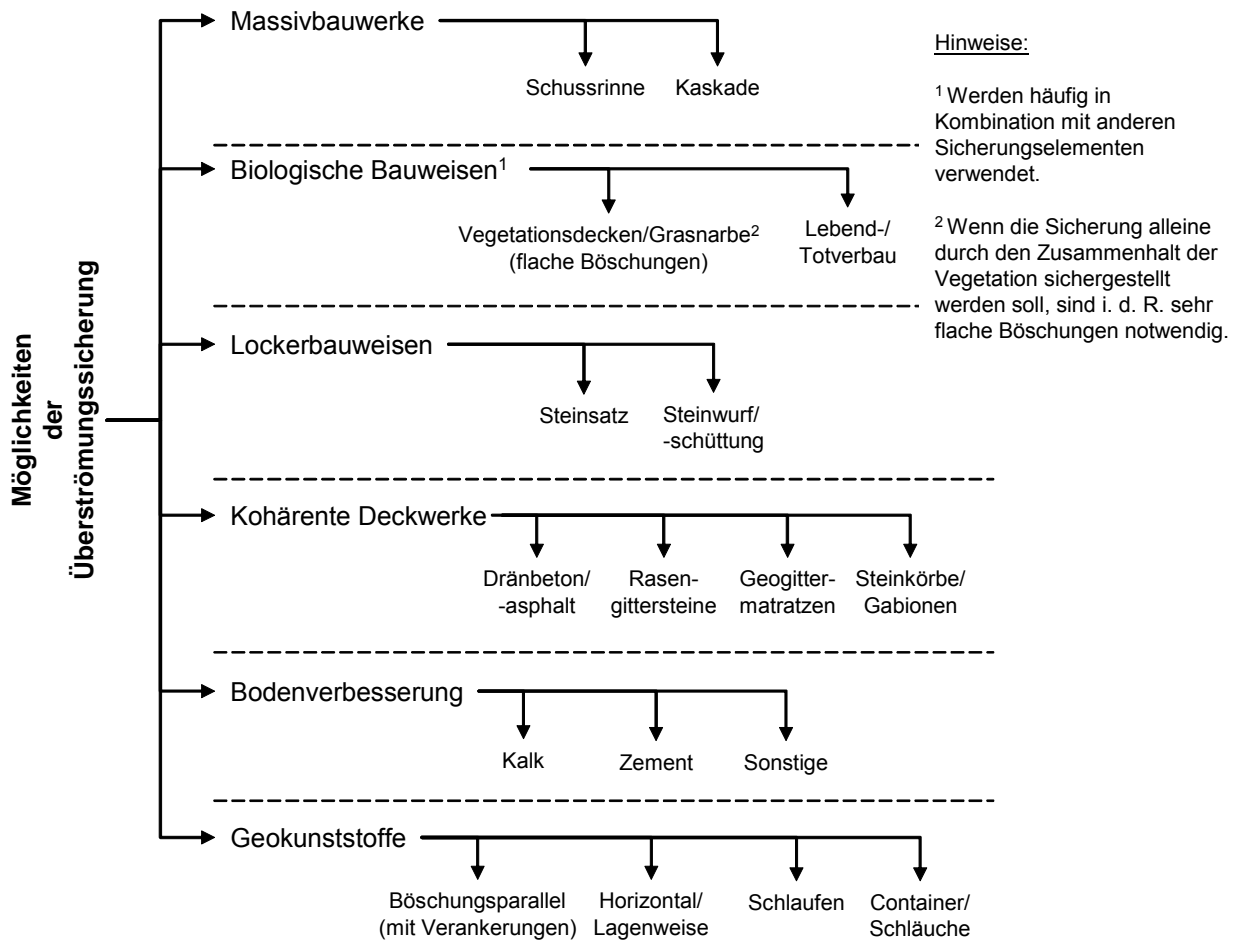


Abb. 2: Überströmungssicherungen für Deiche und Dämme

BIEBERSTEIN ET AL. (2004) und WESTRICH ET AL. (2004) untersuchten landschaftsverträgliche Varianten zur Ausbildung von überströmbaren Deichen und Dämmen. Im Zuge dessen wurde u. a. eine Bauweise unter Verwendung von Mastixschotter weiterentwickelt. Ein Großteil der Erkenntnisse wurde von LFU BW (2004) aufgegriffen. Für Methoden, die ausschließlich Geokunststoffe verwenden<sup>1</sup>, gibt es bislang kein „umfassendes statisches Nachweiskonzept“ (LFU BW 2004).

Weitere Ausführungen zu Überströmungssicherungen i. Allg. und beispielhafte Querschnitte, wie sie im Zuge von Deichertüchtigungen umgesetzt werden könnten, sind in HASELSTEINER & STROBL (2005) enthalten.

### 3 Überströmungssicherung von Deichen mit Geokunststoffen

#### 3.1 Anwendung von Geokunststoffen im Deichbau

In Deichen und bei der Deichertüchtigung können Geotextilien nach SAATHOFF U. WERTH (2003) als Schutz vor Erosionsprozessen im Deich und an der Dechoberfläche und zur Erhöhung der statischen Tragfähigkeit von Deichbereichen und/oder des Untergrundes

<sup>1</sup> Bauweisen, die ausschließlich Geokunststoffe verwenden, werden in LFU BW (2004) als Verbundbauweisen bezeichnet.

besonders an den Böschungen und unter Fahr- bzw. Deichverteidigungswegen (Abb. 3) zur Anwendung kommen.

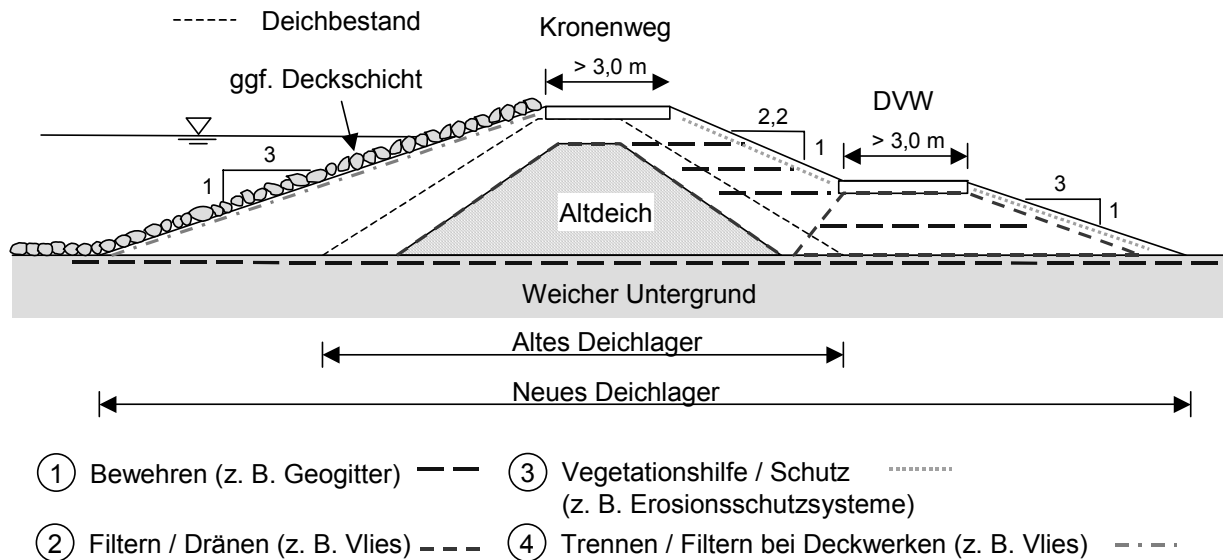


Abb. 3: Anwendungsbereiche von Geokunststoffen bei der Deichertüchtigung

Zur Erhöhung der Tragfähigkeit von weichen Untergrundschichten können auf der Deichaufstandsfläche und im Bereich des Deichverteidigungsweges Bewehrungen, z. B. mittels Geogitter, angeordnet werden. Zur Sicherstellung der Erosionsbeständigkeit von unterschiedlichen Deichmaterialien wie z. B. zwischen Altdeich und durchlässigen Anschüttungen können Vliesstoffe verwendet werden. Dreidimensionale Erosionsschutzsysteme (Drahtgeflecht, Krallmatten, Wirrgelege) können zur Erhöhung des Oberflächenerosionsschutzes und als Vegetationshilfe an Böschungen Anwendung finden. Als Dichtungen werden beim Deichbau geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD) als Oberflächenabdichtungen verwendet (vgl. WERTH ET AL. 2007).

### 3.2 Möglichkeiten der Sicherung mit Geokunststoffen

#### 3.2.1 Allgemeine Konstruktionshinweise

Im Zuge der Verwendung von Geokunststoffen wird die hohe Zugfestigkeit von Vliesen, Geogittern oder mit Geogitter kombinierten Vliesen ausgenutzt, um den damit verstärkten oder eingepackten Erdkörper bei Durch- oder Überströmung zu stabilisieren. Die Durchlässigkeit der Geokunststoffe sollte bei Bedarf so hoch sein, dass sich kein Wasserdruck unter einer Konstruktion aufbauen kann. Gleichzeitig sollten sie je nach Anwendung die Filterstabilität sicherstellen und Erosion von Bodenteilchen verhindern. Dabei muss zum einen auf die globale Standsicherheit acht gegeben werden, damit nicht die ganze Böschungskonstruktion an einer Gleit- oder Bruchfläche abrutschen kann. Zum anderen müssen hydrodynamische Bodendeformationsvorgänge beurteilt, im Idealfall ausgeschlossen oder zumindest ihre Unbedenklichkeit festgestellt werden. Die Erosionsstabilität kann durch einen geschlossenen Verbund z. B. eines ausreichend durchlässigen Vliesstoffes sichergestellt werden.

Schwachpunkte der linienhaften Sicherungen von Deichstrecken stellen die Fugenstöße dar. Diese sollten ausreichend überlappend ausgebildet und konstruktiv, z. B. mit Klettband, gesichert werden.

Die Sicherung des Kronenbereichs kann i. Allg. durch das Führen einer Geokunststofflage oder durch die Anordnung von Schläuchen bewerkstelligt werden. Auf eine weitere Sicherung des Kronenbereichs z. B. durch Borde, wie bei größeren Absperrbauwerken von Hochwasserrückhaltebecken vorgeschlagen wird, kann i. Allg. bei kleinen Überströmhöhen verzichtet werden. Der landseitige Deichfuß, der besonders großen Belastungen ausgesetzt ist, muss geschützt werden, um einer Kolkbildung zuvorzukommen und ein Böschungsversagen zu verhindern. Dazu können mit Geokunststoffen ummantelte Bodenpackungen angeordnet werden. Sind größere Kolke zu erwarten, sollten zusätzlich Sicherungsmaßnahmen, wie z. B. Steinwürfe, Leichtspundwände, etc., vorgesehen werden. Im Falle des Vorhandenseins einer bindigen Deckschicht kann ggf. auf eine Fußsicherung verzichtet werden.

Je nach hydraulischer Beaufschlagung kann es notwendig werden, ein Bauwerk zur Energieumwandlung am Deichfuß anzuordnen. Bei einer kaskadenartigen Ausbildung der Böschung wird ein Großteil der Energie bereits auf der Böschung umgewandelt, so dass ggf. auf eine Energieumwandlungsanlage verzichtet werden kann.

Geokunststoffe werden bei den in Kapitel 2 aufgezählten Methoden natürlich ihrem Zweck entsprechend ergänzend verwendet (vgl. Abschnitt 3.2).

Die Böschungen werden, wie es im Deichbau üblich ist, mit Vegetationsdecken versehen, welche die Geokunststoffe auch vor der Einwirkung von UV-Strahlen schützen. Die Vegetationsdecken sollten dafür auch die in DIN 19712/1997 benannte Mächtigkeit von 10 – 25 cm aufweisen. Der Bewuchs sollte auf Rasensorten beschränkt werden. Gehölze können sowohl mit ihren Wurzeln die Konstruktion zerstören als auch bei Windwurf eine Gefährdung darstellen. Darüber hinaus beeinflussen und reduzieren sie den möglichen Abfluss. Näheres zu Gehölzen auf Deichen ist z. B. in HASELSTEINER U. STROBL (2006) enthalten.

Wühltiere, wie z. B. Mäuse, Ratten, Bisam, etc., können Vliese und insbesondere geschlossene Schläuche u. ä. durch ihre Grab- und Wühltätigkeiten schwächen. Ist mit verstärktem Wühltieranfall zu rechnen, können Sperrschichten, wie z. B. grobe Kiesschichten, Drahtgitter und PEHD-Dichtungsbahnen angebracht werden (siehe z. B. DVWK 247/1997).

### 3.2.2 Konstruktionsarten

Wie bereits in Abb. 2 erwähnt wurde, können parallel zur Böschung oder waagrecht verlegte Geokunststoffe, Schlaufen oder als geschlossene Container bzw. Schläuche verlegte Geokunststoffe zur Sicherung herangezogen werden. Diese einzelnen Arten der Sicherung können innerhalb einer Gesamtmaßnahme zur Sicherung von Krone, Böschung und Deichfuß in Kombination auftreten (Abb. 4).

In Schlaufenform werden Geokunststoffe, wie z. B. Vliese oder mit Geogitter verstärkte Vliese, wie in Abb. 4 an Beispiel A gezeigt wird, verlegt. Dabei werden die Schlaufen an der landseitigen Böschung umgeschlagen und in bestimmten Schlaufenabständen  $a_{Sch}$  [m] zurückverlegt. Dabei muss sowohl die Länge der Schlaufen und als auch die Überlappung mit der darüber liegenden Schlaufe ausreichend lang bemessen werden. Die oberste Schlaufe, die ggf. direkt unter einem Kronenweg liegt, kann, wie z. B. in BIEBERSTEIN 2003 vorgeschlagen wird, komplett eingepackt und somit als Schlauch ausgebildet werden, oder wie hier abgebildet (Abb. 4, A), unter der wasserseitigen Böschungsoberfläche rückverankert werden.

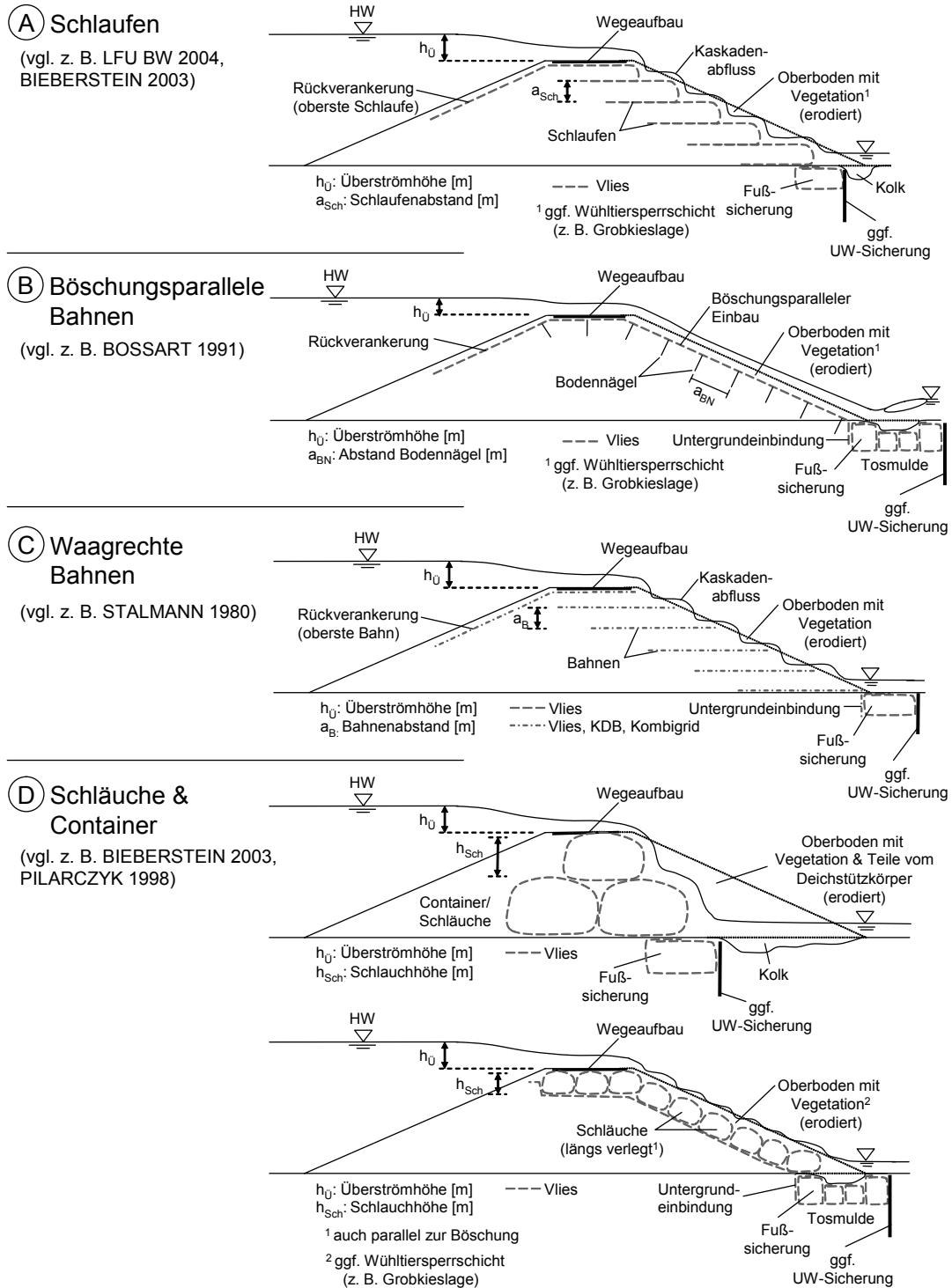


Abb. 4: Beispielhafte Konstruktionen zur Überströmungssicherung von Deichen mit Geokunststoffen

Einfach einzubauen sind Geokunststoffe, die auf die fertig profilierte, landseitige Böschung aufgelegt und mit Bodennägeln fixiert werden (Abb. 4, B). Die Bodennägel begrenzen die möglichen Verformungen, die maßgeblich vom Abstand der Bodennägel  $a_{BN}$  [m] abhängen. Die Größe und Anzahl der Erdnägeln hängt u. a. von der hydraulischen Belastung, der Böschungsneigung, dem Deichmaterial und dem Verformungsverhalten des Geokunststoffs ab. Diese Art und Weise der Überströmungssicherung ist auch im Zuge von



Deichertüchtigungen, wenn bereits ein Deich vorhanden ist, ohne größeren Mehraufwand durchzuführen (Abb. 4, B).

Werden Geokunststoffe, wie bei der Bodenbewehrung waagrecht ohne Umschlag verlegt, führt dies bei Überströmung dazu, dass Material an der Oberfläche ausgespült wird, sich im Idealfall aber ein Gleichgewichtszustand einstellt, der einen Deichbruch verhindert (Abb. 4, C). Steife undurchlässige Materialien, wie PEHD-Dichtungsbahnen, wie sie z. B. STALMANN (1980) bei seinen Untersuchungen verwendet hat, scheinen dafür geeigneter zu sein, als es Vliesstoffe sind, da erstere eine Kaskade ausbilden und sich relativ wenig verformen. Ergebnisse eigener Versuche zu dieser Konstruktionsart unter Verwendung von Vliesstoffen zeigten, dass bei Überströmung auf diese Weise kein stabiler Zustand erreicht werden konnte (siehe Abschnitt 3.3).

Geschlossen verpackte Bodenkörper, die je nach Form und Herstellung als Schläuche oder Container bezeichnet werden, können entweder im Deichinneren als erosionsfester Kern oder zur Sicherung der Böschungen angeordnet werden (Abb. 4, D). Die Größe der Schläuche oder Container hängen dabei vom Anwendungsgebiet, aber vor allem von der Möglichkeit der Herstellung ab. Auf den Böschungen können Schläuche böschungsparell verlegt werden, wie z. B. in MARTINI 2003 gezeigt wird, oder längs, wie in Abb. 4 (Beispiel D, unten) gezeigt wird. Bei der Anordnung im Kern des Deiches kann ein mehr oder weniger großer Teil des Deiches infolge der Überströmung weggespült werden.

Neben den in Abb. 4 gezeigten Beispielen sind auch Kombinationsanwendung von Geokunststoffen mit natürlichen Vegetationsdecken denkbar. Wirrgelege, die u. a. als Vegetationshilfe eingesetzt werden, können die Verwurzelung im Boden verstärken und ggf. Wühltierbefall reduzieren bzw. verhindern. Zu Erhöhung der Erosionsfestigkeit von Fertigrasen und Wirrgelege werden von den Autoren noch Versuche durchgeführt.

### **3.3 Eigene Untersuchungen**

An einem 1:1 Deichmodell an der Versuchsanstalt Oberrach wurden unterschiedliche Konstruktionen zur Überströmungssicherung mit Geokunststoffen geplant und zum Großteil bereits getestet.

#### **3.3.1 Versuchsübersicht und Versuchsaufbauten**

Insgesamt wurden 17 Versuche zu den Überströmungssicherungsmethoden mit Geokunststoffen konzipiert (Tab. 1). Davon sind 15 bereits abgeschlossen. Die Versuche, die das Zusammenwirken von Fertigrasen und Geokunststoffen testen sollen, werden im Laufe des Jahres 2007 durchgeführt.

Der Großteil des Deichs und der Untergrund bestehen aus Sand der Körnung 0/4 mm. Im Bereich der Böschungssicherungen und im Kronenbereich wurde weitgehend Kies der Körnung 8/32 mm verwendet. Die landseitige Fußsicherung wurde durch eine mit Vlies ummantelte Kiespackung (8/32 mm) gebildet. Das Vlies wurde komplett umgeschlagen und mit einem Klettband fixiert. Ein auf der Krone eingestecktes Stahlblech sorgte für eine gleichmäßige Beaufschlagung der gesicherten Deichböschung. Zwischen Sand und Kies wurde ein Vlies zur Verhinderung von Erosionsvorgängen verlegt, welches auch in den Untergrund im Bereich der Fußsicherung eingebunden wurde.

Tab. 1: Versuchsübersicht mit Versuchsparametern und Kurzbewertung

Nr.	Bezeichnung/Aufbau	q [l/s*m]	h <sub>Ü</sub> [cm]	b <sub>Ü</sub> [cm]	1:m [-]	n <sub>spez.</sub> [1/m <sup>2</sup> ]	Kurzbewertung / Ergebnisbeschreibung
1	Vlies parallel ohne Nägel	50	10	1.0	2.5	-	Sofortiges Versagen
2	Vlies parallel mit Nägel (3)	130	17	2.3	1.5	1.9	Instabile Konstruktion / deutliche Verformung
3	Schlaufen verpackt	50	10	1.0	1.5	-	Stabile Konstruktion / geringe Verformungen
4	Schlaufen verpackt	80	15	1.0	1.5	-	
5	Schlaufen verpackt	130	17	2.3	1.5	-	
6	Lagen horizontal	80	15	1.0	2.5	-	Instabile Konstruktion / deutliche Verformung
7	Lagen horizontal	130	35	2.3	2.5	-	
8	Gittervlies parallel mit Nägel (0)	50	10	1.0	2.5	3.5	Stabile Konstruktion / geringe Verformungen
9	Gittervlies parallel mit Nägel (1)	300	35	1.0	2.5	2.6	
10	Gittervlies parallel mit Nägel (2)	300	35	1.0	2.5	1.3	
11	Gittervlies parallel mit Nägel (1)	130	17	2.3	2.5	2.6	
12	Sandmatte parallel mit Nägel (1)	300	35	1.0	2.5	2.6	
13	Sandmatte parallel mit Nägel (2)	300	35	1.0	2.5	1.3	
14	Sandmatte parallel mit Nägel (1)	130	17	2.3	2.5	2.6	
15	Aufbau mit Deichhinterweg	130	17	2.3	1.5	-	Abrutschen des Deichhinterwegs
16	Fertigrasen	in Vorbereitung					-
17	Fertigrasen + Maschenware	in Vorbereitung					-

Erklärung:

q: spezifische Belastung [l/s\*m]

h<sub>Ü</sub>: Überströmhöhe [m]b<sub>Ü</sub>: Überströmbreite [m]

m: Neigung der Böschung 1:m [-]

n<sub>spez.</sub>: spezifische Anzahl der Erdnägel pro m<sup>2</sup> [1/m<sup>2</sup>]

Nagelraster:

(0) 100% (Raster 0)

(1) 75% (Raster 1)

(2) 37.5% (Raster 1)

(3) 55% (Raster 2)

Der Aufbau des Versuchsdeichs Nr. 1 stimmt in etwa mit den in Abb. 5 gezeigten Querschnitt überein. Lediglich bestand bei Nr. 1 der gesamte Deichquerschnitt aus Sand (0/4 mm) und es wurden keine Erdnägel zur Fixierung des Vlieses eingesetzt.

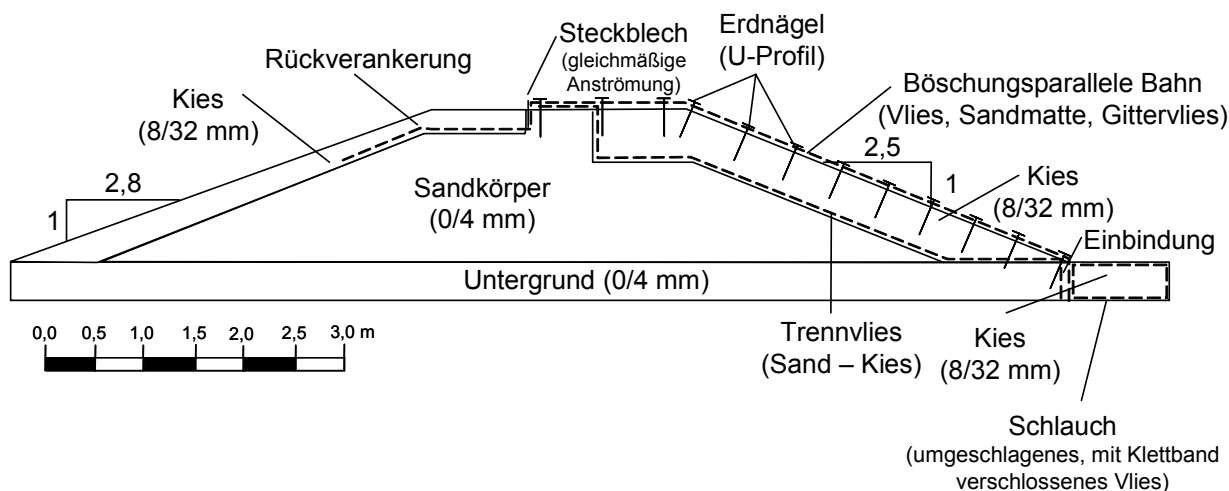


Abb. 5: Versuchsaufbau mit böschungsparallelen Bahnen

Die Versuche Nr. 2 und Nr. 8 bis 14 stimmen mit dem Querschnitt aus Abb. 5 überein. Versuchsdeich Nr. 2 wies eine steilere Böschung von 1:1,5 auf. Zur Fixierung wurden durchgängig Erdnägel aus Rundstahl ( $\varnothing = 8$  mm) verwendet, die zu einem U-Profil mit der Schenkellänge 40 cm gebogen wurden. Die Breite des U-Profiles betrug 10 cm. Im

Kronenbereich wurden ebenfalls Erdnägel zur Fixierung eingesetzt. Die Rückverankerung erfolgte durch Einbindung der Geokunststoffbahn unter die wasserseitige Kiesanschüttung.

Die Versuchsaufbauten Nr. 6 und 7 mit waagrecht verlegten Bahnen hatten den in Abb. 6 dargestellten Querschnitt. Der Abstand der Bahnen betrug in etwa  $a_B = 0,3$  m. Die Lagen wurden auf der Sandböschung überlappend verlegt.

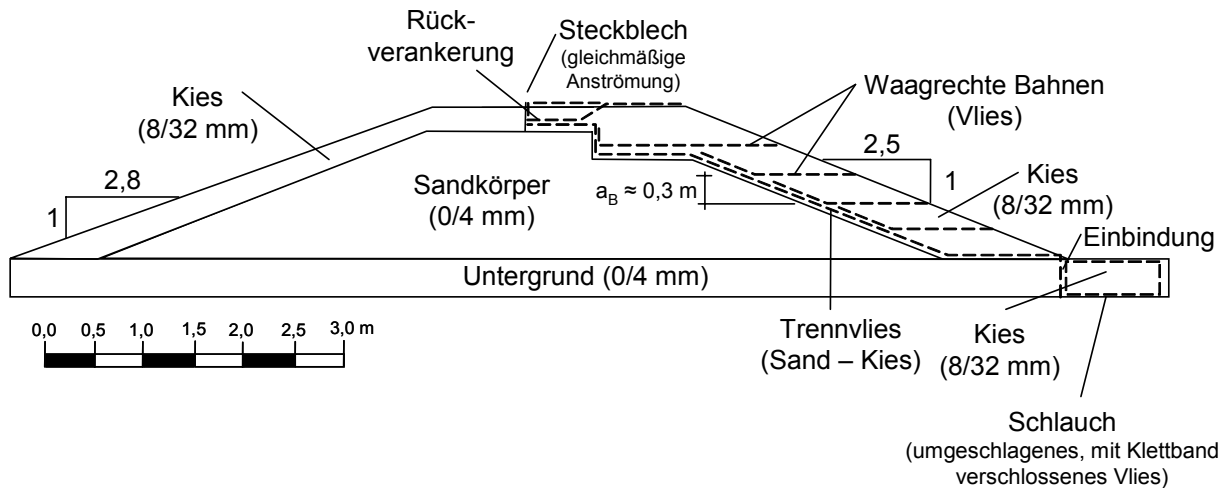


Abb. 6: Versuchsaufbau mit waagrechten Bahnen

Die Versuche Nr. 3 bis 5 hatten den in Abb. 7 gezeigten Aufbau. Die Neigung der landseitigen Böschung bei der Schlaufenkonstruktion betrug in etwa 1:1,5. Die Vliesschlaufen wurden an der Sandböschung überlappend verlegt. Die oberste Schlaufe wurde unter die wasserseitige Kiesanschüttung eingebunden. Die unteren drei Schlaufen hatten einen Schlaufenabstand von  $a_{Sch} = 0,25$  m, die oberste einen Abstand von  $a_{Sch} = 0,45$  m und die zweite von oben  $a_{Sch} = 0,40$  m. Das Füllmaterial war ein Kies der Körnung 8/32 mm.

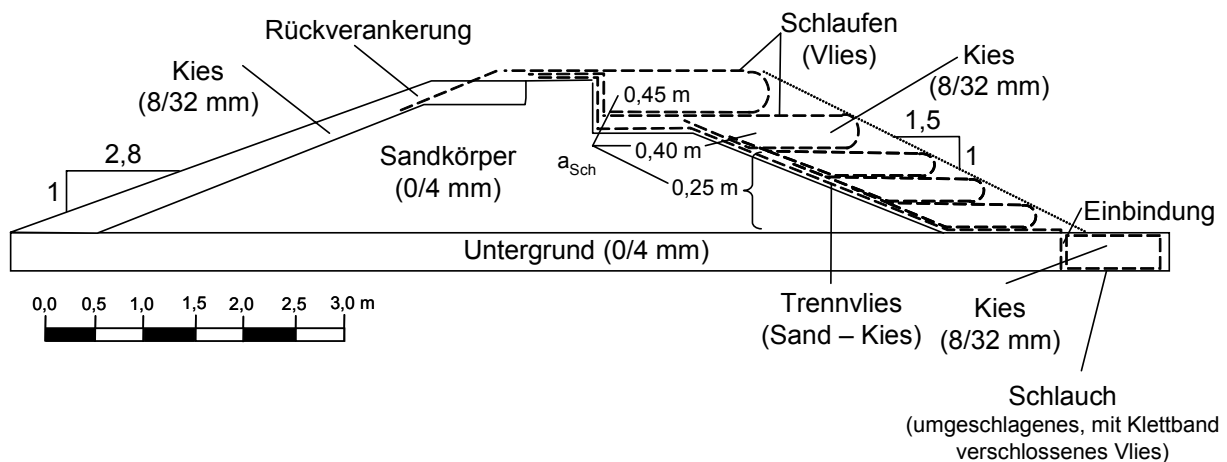


Abb. 7: Versuchsaufbau mit Schlaufen

Der Versuch Nr. 15 mit Deichhinterweg hatte den in Abb. 8 dargestellten Aufbau. Die landseitige Deichböschung hatte eine Neigung von 1:1,5. Der Deichhinterweg war 0,4 m hoch und hatte eine waagrechte Breite von 1,6 m. Während die Deichböschung mit einem böschungsparell geführten und mit Erdnägeln fixierten Gittervlies gesichert war, wurde der Deichhinterweg komplett mit einem Vlies ummantelt und dieses mit einem Erdnagel auf der

Deichböschung geschlossen. Das verwendete Material an der Deichböschung bzw. das Füllmaterial des Deichhinterwegs war Kies mit einer Körnung von 8/32 mm. Es kamen die gleichen Erdnägel zum Einsatz, die bereits bei den Versuchen 2 und 8 bis 14 verwendet wurden.

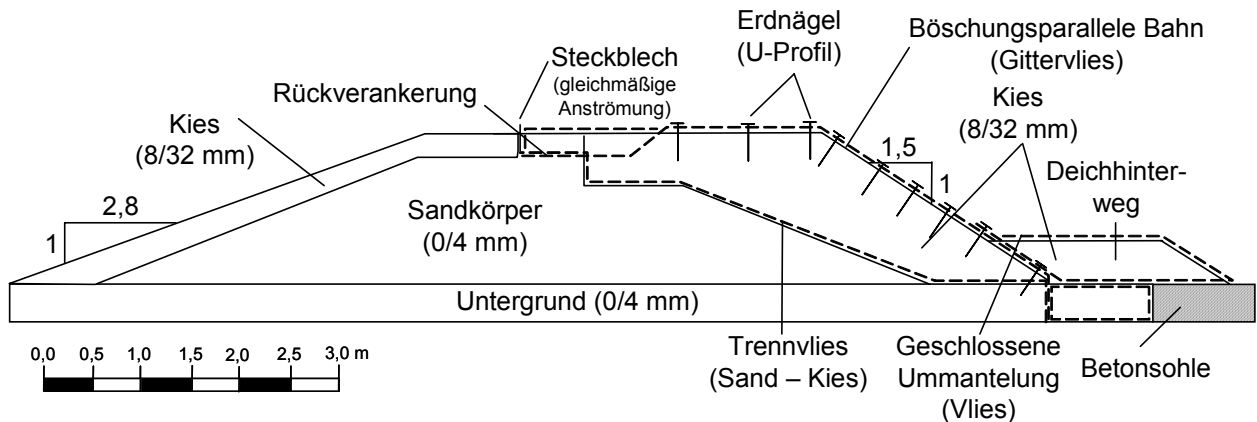


Abb. 8: Versuchsaufbau mit Deichhinterweg

### 3.3.2 Durchführung und Ergebnisse

Wie in Tab. 1 bereits kurz erwähnt wurde, verhielten sich die getesteten Konstruktionen unterschiedlich. Die böschungsparallele Sicherung ohne zusätzliche Befestigung mit Bodennägeln (Tab. 1, Nr. 1, Abb. 5 ohne Nägel) stellte sich als absolut ungeeignet heraus. Bemerkenswerte Bodenumlagerungsprozesse gefährdeten die Standsicherheit des gesamten Deiches innerhalb weniger Minuten bei einer relativ geringen Belastung von  $q = 50 \text{ l/s} \cdot \text{m}$ . Unkritischer jedoch ebenfalls nicht stabil verhielt es sich mit den waagrechten Bahnen (Tab. 1, Nr. 6 & 7, Abb. 5). Die Konstruktion erreichte zwar während des Versuchszeitraums von ca. 20 Minuten einen stationären Zustand, d. h. der Bodenaustrag in den ungesicherten Zwischenräumen stoppte, jedoch war zu vermuten, dass ohne die Einspannung an den Rändern der Austrag fortschreiten würde (Abb. 9).



Abb. 9: Versuchsaufbau (links), überströmter Deich (Mitte) und Deich nach Überströmung (rechts) mit waagrechten Bahnen bei einer Überströmbreite von 1,0 m

Die Beschädigung des Versuchs mit einer Überströmbreite von  $b_U = 2,3$  m mit  $q = 130$  l/s\*m war im Vergleich zu der Beschädigung des Versuchs mit  $b_U = 1,0$  m mit  $q = 80$  l/s\*m schwerwiegender (Abb. 10).



Abb. 10: Versuchsaufbau (links), überströmter Deich (Mitte) und Deich nach Überströmung (rechts) mit waagrechten Bahnen bei einer Überströmbreite von 2,3 m

Auch die Versuchskonstruktion mit Deichhinterweg (Tab. 1, Nr. 15, Abb. 8) versagte. Dies lag daran, dass die Böschung des Deichs sehr steil war ( $1:m = 1:1,5$ ) und somit mit einer böschungsparellen Bahn mit Bodennägeln nicht ausreichend stabil ausgebildet wurde. Darüber hinaus war der Deichhinterweg nur mit einer Schlaufe befestigt, was tendenziell zu wenig war, da die Verformung so groß wurden und eine Rutschung nicht mehr zu verhindern war. Primär ist das Versagen dieser Konstruktion jedoch auf die unzureichende Böschungssicherung zurückzuführen.

Anders verhielten sich die Konstruktionen mit Schlaufen oder mit Erdnägeln fixierten böschungsparellen Bahnen. Böschungsparell mit Erdnagelfixierung wurden eine Sandmatte, ein Vlies und ein mit einem Geogitter verstärktes Vlies getestet (Tab. 1, Nr. 2 & 8 – 14, Abb. 5). Die spezifischen Belastungen variierten von 50 bis 300 l/s\*m. Lediglich der Versuch mit Vlies bei einer Überströmbreite von  $b_U = 2,3$  m und einer Belastung von  $q = 130$  l/s\*m verhielt sich aufgrund der steilen Böschungsneigung von  $1:1,5$  und der wahrscheinlich zu geringen Anzahl und Länge der Erdnägeln instabil (Tab. 1, Nr. 2).

Die anderen Versuche verhielten sich bei einer Böschungsneigung von  $1:2,5$  stabil (Tab. 1, Nr. 8 – 14, Abb. 11). Die Verformungen wurden von den Erdnägeln begrenzt. Unwesentlich verlagerte sich zwischen den Fixierungspunkten der darunter anstehende Kies, so dass kleinere bauchige Wölbungen auftraten. Auch nach Reduktion der Erdnägeln sowie bei unterschiedlichen Rasteranordnungen – ausgenommen sei wiederum Versuch-Nr. 2 – war die Standsicherheit des überströmten Deiches gegeben.

Ohne Probleme hielten die Schlaufenkonstruktionen den Belastungen stand (Tab. 1; Nr. 3 – 5, Abb. 7). Die Verformungen der einzelnen Schlaufen waren minimal, die maximale Belastung von  $q = 130$  l/s\*m bei einer Überströmbreite von  $b_U = 2,3$  m wurde über einen Kaskadenüberfall ins Unterwasser abgeführt (Abb. 12).

Die bei allen Versuchen eingesetzte Fußsicherung hielt den Belastungen ebenfalls stand. Bei Versuch Nr. 15 mit Deichhinterweg übernahm die angrenzende Betonsohle die Aufgabe der Fußsicherung. Es traten keine größeren Kolke im weiteren Unterwasserbereich auf. Der

unterwasserseitige Einstau betrug bei der maximalen Beaufschlagung mit 300 l/s in etwa 0,30 m.



*Abb. 11: Versuchsaufbau Raster 0 (links) und Raster 1 (Mitte) und überströmter Deich (rechts) der mit Bodennägel fixierten böschungsp parallelen Bahnen (Geogitter-Vliesstoff-Kombinationen)*

Ausspülungen (Erosion, Suffosion), welche ursächlich auf die Durchsickerung zurückzuführen waren, traten bei den stabilen Konstruktionen nicht auf, während infolge des Versagens der Böschungssicherung auch die für die Filterstabilität zwischen Deichkies und – sand eingesetzten Vliese sich verformten und Materialtransport zuließen.



*Abb. 12: Versuchsaufbau (links) und überströmter Deich (rechts) der Schlaufenkonstruktion*

In den nächsten Versuchen wird ein Fertiggras auf Oberboden getestet. Die Deichböschung wurde in drei Abschnitte untergliedert, zwei der Abschnitte weisen unter dem Fertiggras im Oberboden im Abstand vom Fertiggras von 4 cm und 8 cm ein Wirrgelege auf. Am angewachsenen Fertiggras werden nach der nächsten Vegetationsperiode im August/September 2007 Überströmungsversuche durchgeführt.

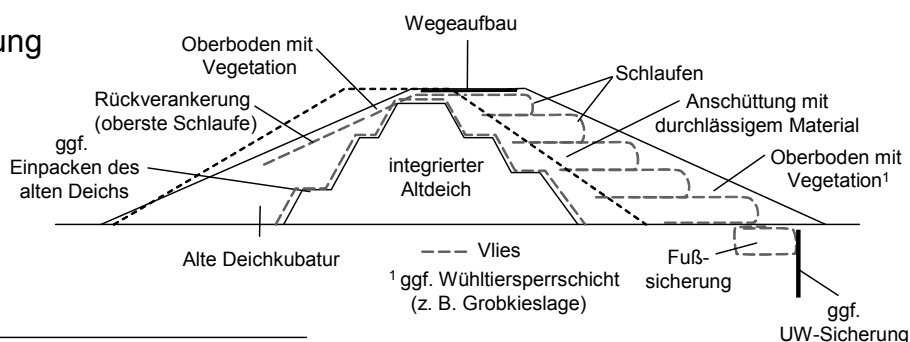
### **3.4 Umsetzung im Zuge von Deichertüchtigungsmaßnahmen**

Überströmungssicherungen im Zuge von Deichertüchtigungsmaßnahmen einzubauen (vgl. Abb. 13), bietet sich zum einen an, da dies u. U. im Zuge lediglich einer einzelnen Baumaßnahme umgesetzt werden kann, und zum anderen können Geokunststoffe auch dazu verwendet werden, um die Deichböschung steiler auszubilden.

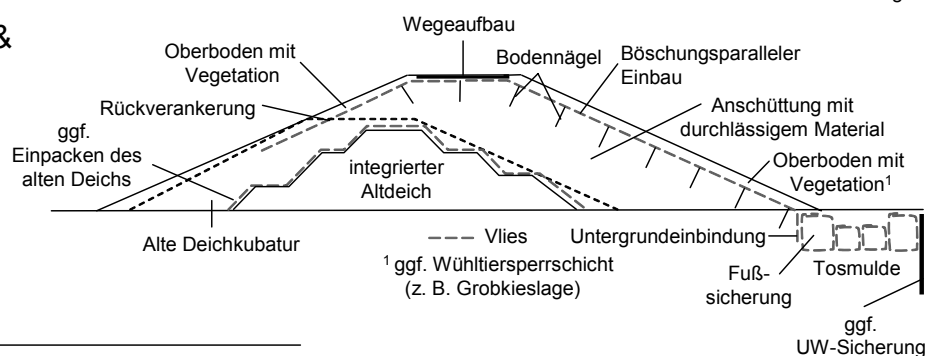
Eine Übersicht von Deichertüchtigungsmaßnahmen und deren Randbedingungen sind in HASELSTEINER & STROBL (2005, 2006) beschrieben. Dort wird allgemein auf die Verwendung von Geokunststoffen im Rahmen von Ertüchtigungsmaßnahmen hingewiesen.

Handelt es sich um eine Ertüchtigungsmaßnahme, ist i. d. R. ein alter Deich vorhanden, der, falls sein Zustand dies zulässt, in den neuen Deichquerschnitt integriert werden kann. Maßnahmen konzentrieren sich häufig auf den landseitigen Bereich des Deichs, da eine wasserseitige Flächenbeanspruchung eine Reduktion des Retentionsraums bewirkt und dies somit aufgrund der Gesetzeslage Ausgleichsmaßnahmen bedarf. An Deichen, die nicht den a. a. R. d. T. entsprechen, muss häufig die Krone auf 3,0 m verbreitert, die Böschungen abgeflacht und ein Weg zur Unterhaltung und Verteidigung – meist auf einer landseitigen Berme gelegen – angebracht werden.

### (A) Deichverbreiterung



### (B) Deicherhöhung & -verbreiterung



### (C) Deicherhöhung & -verbreiterung mit Deichhinterweg

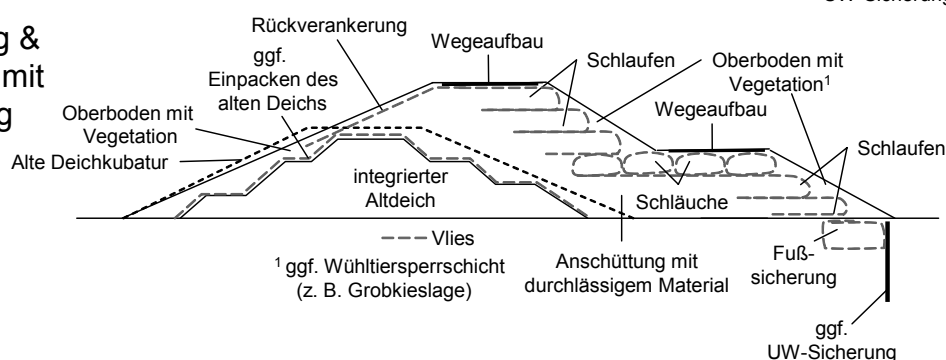


Abb. 13: Möglichkeiten zur Ausbildung überströmungssicherer Deichkonstruktionen mit Geokunststoffen mit Integration eines Altdeichs für eine Deichverbreiterung (A) und eine Deicherhöhung und -verbreiterung (B) und mit Deichhinterweg (C)

Im Falle der Durchführung einer Überströmungssicherung sollte in Abstimmung mit den Katastrophenschutzbehörden, der Wasserwirtschaftsverwaltung und den Betroffenen Bürgern entschieden werden, ob im Bedarfsfall die Möglichkeit, Maßnahmen zur Deichverteidigung (Aufkadung, Erhöhung mit Sandsäcken), die eine Überströmung

verhindern sollen, durchzuführen, noch gegeben sein soll. Wenn dies nicht der Fall sein sollte, kann auf eine landseitige Berme mit Deichverteidigungsweg verzichtet werden.

In Abb. 13 sind beispielhaft drei Deichquerschnitte skizziert, wie sie im Zuge von Deichertüchtigungsmaßnahmen mit Geokunststoffen zur Überströmungssicherung ausgestattet werden können.

Während in Abb. 13 an Beispiel A eine Deichverbreiterung mit Schlaufenkonstruktion gezeigt wird (vgl. Abb. 4, A), stellt Beispiel B in Abb. 13 dar, wie ein Deich verbreitert, erhöht und mittels einer böschungsparellen Bahn mit Erdnägeln verstärkt wird. Beispiel C in Abb. 13 zeigt eine Maßnahme, im Zuge derer ein Deichhinterweg angeordnet wird. Die Sicherung der Böschungen erfolgt mit Schlaufen. Um den erhöhten Angriff auf den Deichhinterweg zu widerstehen, sind unter dem Deichweg Schläuche vorgesehen, deren Verformungen ausreichend gering sein sollten. Der Rest der Böschung unter dem Deichhinterweg wird wieder mit Schlaufen gesichert.

Eine spezielle Sicherung der Krone ist in den gezeigten Beispielen, wie bereits erwähnt, nicht vorgesehen. Die Fußsicherungen und Ausbildung der Kronenbereiche entsprechen den Ausführungen in Abb. 4. Sicherungen gegen Wühltierangriff können, wie bereits erwähnt, durch Drahtgeflechte oder Grobkiesschichten gebildet werden.

Nutzt man die Funktion der verlegten Vliese bzw. mit Geogitter verstärkten Vliese als Bodenbewehrung sind steilere Böschungen möglich, wie z. B. in Abb. 13 in Beispiel C angedeutet ist. Die auf diese Art und Weise eingesparte Querschnittsfläche und die somit reduzierten Kosten können u. U. den Einbau der Geokunststoffvariante inklusive Überströmungssicherung decken. Ein mit Geokunststoffen verstärkter Deich kann somit u. U. eine Lösung ohne Mehrkosten darstellen, die zusätzlich einen Schutz bei Überströmung bietet.

#### **4 Ausblick**

Die vorgestellten Möglichkeiten zur Überströmungssicherung von Erdbauwerken, hier insbesondere von Deichen, zeigen die Perspektiven auf, die sich mit derartigen Konstruktionen eröffnen. Vliese finden entsprechend ihrem Spektrum im Deichbau verbreitet Anwendung. Gleichzeitig werden sie in Form von Schläuchen und Containern bereits zum Hafen- und Küstenschutz eingesetzt. Eine analoge Anwendung bei Hochwasserschutzdeichen zur Überströmungssicherung spricht somit ebenfalls nichts entgegen. Aber es müssen noch einige technische Details geklärt und Bemessungshinweise auch hinsichtlich der hydraulischen Randbedingungen entwickelt werden.

Das Kräftezusammenspiel von hydraulischer Belastung und der Kraftabtragung durch Reibung von z. B. Schläuchen oder Schlaufen in Abhängigkeit von verschiedenen Bodenarten sollten in diesem Zusammenhang noch untersucht und Bemessungskriterien zu u. a. Einbindelängen und Festigkeitsanforderungen an Geokunststoffen formuliert werden. Ein Punkt, der auch bei den eigenen Untersuchungen nicht näher betrachtet wurde, war der Einfluss der Anströmung und inwiefern die Deichgeometrie bzw. Kronenbreite (breiter Überfall, Erreichen der Grenztiefe) einen Einfluss auf diese ausüben.

Auch sollten Überlegungen angestellt werden, inwiefern die Möglichkeit besteht, bei derart gesicherten Deichstrecken eine zweite „Verteidigungslinie“ zur Verhinderung der Überflutung des Hinterlands zu errichten. Da der Abfluss über einen Deich nur einen Bruchteil dessen



darstellt, der bei einem Deichbruch ins Hinterland strömt, wäre es vorstellbar, eine zweite Deichlinie oder eine Flutmulde so anzuordnen, dass das Wasser stromabwärts wieder dem Vorfluter zugeleitet wird.

## Literatur

BIEBERSTEIN, A. (2003): Überströmbare Dämme – Landschaftsverträgliche Ausführungsvarianten für den dezentralen Hochwasserschutz in Baden-Württemberg. Zwischenbericht anlässlich des Staatsseminars von BWPLUS am 11./12.03.2003, Forschungszentrum Karlsruhe

BIEBERSTEIN, A.; BRAUNS, J.; BERNHART, H.H.; QUEIBER, J. (2003): Überströmbare Dämme und Deiche für den Hochwasserschutz. Sicherung von Dämmen und Deichen: Handbuch für Theorie und Praxis. S. 135 – 146. Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi

BIEBERSTEIN, A.; WÖRSCHING, J.; BERNHART, H.H.; QUEIBER, J. (2004): Überströmbare Dämme – landschaftsverträgliche Ausführungsvarianten für den dezentralen Hochwasserschutz in Baden-Württemberg, Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe

BOSSHARD, M. (1991): Überflutbarkeit kleiner Dämme. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich

DORNACK, S. (1999): Dammscharten in Lockerbauweise, Deckwerke aus Steinsatz und steil geneigten Böschungen. Wasserbauliche Mitteilungen Heft 15, S.153-167, Hrsg. Horlacher, Martin, Wagner, Selbstverlag der Technische Universität Dresden

FRITZ, H. M. (1999): Strömungsverhältnisse bei Dammüberfällen. Wasser & Boden, 51.Jahrg. Heft 1+2, S. 29 - 33

GERODETTI, M. (1981): Model Studies of an overtopped rockfill dam. Water Power and Dam Construction, September 1981, pp. 25 – 31

DIN 19712 (1997): Flussdeiche. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DVWK 247 (1997): Bisam, Biber, Nutria – Erkennungsmerkmale und Lebensweisen – Gestaltung und Sicherung gefährdeter Ufer, Deiche und Dämme. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 247, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

DWA (2005): Dichtungssysteme in Deichen. DWA-Themen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef

HASELSTEINER, R.; STROBL, TH. (2005): Deichsanierung. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, Endbericht, im Auftrag vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW), Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München (Erhältlich beim Bayerischen Landesamt für Umwelt: <http://www.bayern.de/lfu>)

HASELSTEINER, R.; STROBL, TH. (2006): Deichertüchtigung unter besonderer Berücksichtigung des Gehölzbewuchses. Sicherung von Dämmen, Deichen und

Stauanlagen. Handbuch für Theorie und Praxis. Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi, Siegen

IDEL, K. H. (1972): Überströmbare Dämme. Wasserwirtschaft 62, S. 55 - 61

LFU BW (2004): Überströmbare Dämme und Dammscharten. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU BW), 1. Auflage, Karlsruhe

KLIK, A.; MANNSBART, G.; JESTER, W. (2003): Untersuchung der erosionshemmenden Wirkung einer Erosionsschutzmatte. Sicherung von Dämmen und Deichen. Handbuch für Theorie und Praxis. S. 251 – 264, Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi

MARTINI, J. (2002): Deichsicherungs- und Deichsanierungssystem mit geotextilen Schläuchen; Sicherung von Dämmen und Deichen. Handbuch für Theorie und Praxis, S. 31 - 35, Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi

MAIER, CH. (2002): Oberflächensicherung eines überflutbaren Dammes durch Stahlnetze und durch dreidimensionale Stahlgittermatten. Mitteilungen 175 , Wasserbausymposium „Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau“ ETH Zürich, Band 2, S. 111 – 120

MERZ, B. (2006): Hochwasserrisiken – Grenzen und Möglichkeiten der Risikoabschätzung. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart

POWLEDGE G. R.; CLOPPER, P. E.; MILLER, P.; RALSTONE, D. C.; TEMPLE, D.M.; YUNG HAI CHEN (1989): Mechanics of overflow erosion on embankments. Part I: Research activities. & Part II: Hydraulic and design considerations. Journal of Hydraulic Engineering (ASCE), Vol.115, No. 8, 1989, pp. 1040 - 1055 & 1056 - 1075

STALMANN, V. (1980): Überströmungssicherung von Deichen. Wasser und Boden 3, S. 109 – 112

SAATHOFF, F.; WERTH, K. (2003): Geokunststoffe in Dämmen und Deichen. Sicherung von Dämmen und Deichen: Handbuch für Theorie und Praxis, S. 221 – 237, Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi

WERTH; K.; HASELSTEINER, R.; HEERTEN, G.; STROBL, TH. (2007): Deichquerschnitte mit integrierten Geokunststoffen. 37. Internationales Wasserbau-Symposium (IWASA), Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH), 04./05. Januar 2007, Aachen

WESTRICH, B.; SIEBEL, R.; SALDEN, D.; ZWESCHPER, B. (2002): Neue naturnahe Bauweisen für überströmbare Dämme an dezentralen Hochwasserrückhaltebecken und Erprobung von Erkundungsmethoden zur Beurteilen der Sicherheit von Absperrdämmen. Zwischenbericht, BWPLUS, Institut für Wasserbau, Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart

WESTRICH B.; SIEBEL, R.; ZWESCHPER B. (2003): Überströmbare Erdämme und Deiche – Erosionssichere Deckwerke, Bodenverfestigung, Bemessungsgrundlagen; Sicherung von Dämmen und Deichen. Handbuch für Theorie und Praxis, S. 203 - 220, Hrsg. Hermann und Jensen, Universitätsverlag Siegen – universi

WESTRICH, B.; SIEBEL, R.; VERMEER, P. A.; ZWESCHPER, B. (2004): Neue naturnahe Bauweisen für Überströmbare Dämme an dezentralen Hochwasserrückhaltebecken.

Forschungsbericht FZKA-BWPLUS, Institut für Wasserbau, Institut für Geotechnik,  
Universität Stuttgart

**Autoren**

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner

Dipl.-Geol. Michael Mett

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Theodor Strobl

Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Technische Universität München

Arcisstraße 21

80290 München

[r.haselsteiner@bv.tum.de](mailto:r.haselsteiner@bv.tum.de)