

Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft

STUDIENARBEIT

**Möglichkeiten und Grenzen der Schließung
von Deichbrüchen im Hochwasserfall auf der
Grundlage internationaler Erfahrungen**

Von

cand. ing. Mona Lisa Keller

Abgabedatum: 14.10.2014

Betreuender Mitarbeiter: Jan Dagher, B. Sc.

Betreuender Hochschulleiter: Prof. Dr. Robert Jüpner

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung in die Thematik	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Durchführung	2
2	Vorbetrachtung	3
2.1	Hochwasser und Hochwasserschutzmaßnahmen	3
2.1.1	Hochwasserentstehung	3
2.1.2	Hochwasserschutzmaßnahmen	4
2.2	Hochwasserschutzdeiche	5
2.3	Deichprofil	6
2.3.1	Deichgeometrie	6
2.3.2	Deichaufbau	6
2.3.3	Sickerverhalten	7
2.3.4	Bauwerke am und im Deich	8
2.4	Deichverteidigung	8
2.4.1	Grundsätze der Deichverteidigung	9
2.4.2	Schäden an der landseitigen Böschung und deren Verbau	9
2.4.3	Schäden an der wasserseitigen Böschung und deren Verbau	10
2.4.4	Gefahr der Deichüberflutung	12
2.5	Deichbruch	12
2.5.1	Ursachen und Versagensmechanismen eines Deichbruchs	13
2.5.2	Fallbeispiel: Ursachen des Deichbruchs am rechtsseitigen Elbedeich bei Fischbeck....	14
3	Mittel und Kriterien zur Schließung eines Deichbruchs	16
3.1	Ausgangsmaterialien	16
3.2	Transportmöglichkeiten	16
3.2.1	Transport zu Land	17
3.2.2	Transport zu Wasser	17
3.2.3	Transport zu Luft	18
3.2.4	Sonstige Transportwege	19
3.3	Anforderungen an die Verschluss technik	20

4	Maßnahmen zur Schließung von Deichbrüchen.....	23
4.1	Herkömmliche Verschlusssysteme.....	23
4.1.1	Verschlussoptionen für Bruchtiefe ≤ 2 m	23
4.1.2	Sandsackverbau.....	24
4.1.3	Verfüllen mit losem Bodenmaterial, BigBags, Blöcke und Gabionen.....	25
4.1.4	Einsatz von Senkschiffen	31
4.1.5	Einsatz von Senkkästen	33
4.1.6	Spundwandverbau.....	34
4.1.7	Notdeich	35
4.1.8	Sonstige Schließungsmaßnahmen.....	36
4.2	Praktische Beispiele/ Erfahrungen	38
4.2.1	Fischbeck	38
4.2.2	Jiujiang am Yangtse	40
4.3	Innovative Ideen.....	42
4.3.1	Grundidee zur Deichschließung mittels Textilschläuchen.....	42
4.3.2	PLUG (Portable Lightweight Ubiquitous Gasket).....	45
4.3.3	AquaDam ®	46
4.3.4	Ähnliche Schlauchsysteme	47
5	Handlungsempfehlungen & Fazit.....	48
5.1	Internationaler Vergleich	48
5.2	Potentielle Erfolgschancen	50
5.3	Handlungsempfehlungen	52
5.4	Fazit	54
	Literaturverzeichnis.....	55
	Anhang A	58
	Anhang B.....	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema einer Abflussganglinie eines Hochwasserereignisses [Patt & Jüpner]	3
Abbildung 2: Querschnitt durch einen Flussdeich- Begriffe [Patt & Jüpner]	6
Abbildung 3: Aufbau nach dem Drei-Zonen-Deichs [Patt & Jüpner].....	7
Abbildung 4: Eindeichung punktueller Wasseraustritte mit Sandsäcken [LUBW].....	10
Abbildung 5: Beispiele zur Böschungsbeschwerung bei Gefahr von Rutschungen [LUBW]	10
Abbildung 6: Abdeckmöglichkeiten der Schadstelle [LUBW].....	11
Abbildung 7: Schutz vor weiterer Auskolkung mittels Senkbäumen [LUBW]	11
Abbildung 8:Auffüllen von wasserseitigen Böschungsrutschungen [LUBW]	12
Abbildung 9: Deicherhöhung mittels Sandsäcken [LUBW]	12
Abbildung 10: Deichbruch bei Fischbeck, Junihochwasser 2013 [LHW]	15
Abbildung 11: Schließung eines kleinen Deichbruchs [Clausnitzer et al.].....	24
Abbildung 12: Befüllen von Sandsäcken durch freiwillige Bürger [1]	25
Abbildung 13: Schließung eines Deichbruchs durch Verfüllen mit Boden [Clausnitzer et al.].....	26
Abbildung 14: Einbau von Stahlrohren zum Schutz des Wegspülens [Clausnitzer et al.].....	27
Abbildung 15: Gefüllte BigBags bei dem Junihochwasser von 2013 in Kammern [1].....	28
Abbildung 16: Absetzen von BigBags im Deichbruch 17th Street New Orleans (2005) [2]	29
Abbildung 17: Gestapelte Steinblöcke innerhalb einer Deichbresche [Joore].....	30
Abbildung 18: In-Situ hergestellte Gabionen auf trockenem Land [Joore].....	30
Abbildung 19: Systematik der Abdichtung durch Senkschiffe [Clausnitzer et al.]	32
Abbildung 20: Versenktes Schiff bei Nieuwerkerk aan den IJssel 1953 [Gerritsen]	33
Abbildung 21: Deichschließung durch einen Senkkasten nahe Oudendoorn 26Februar 1953 [Förster]	34
Abbildung 22: Provisorische Spundwand nach dem Deichbruch 2013 in Fischbeck [3].....	35
Abbildung 23: Sicherung eines Deichbruchs durch Schüttung eines Schlossdeiches [Clausnitzer et al.]	36
Abbildung 24: Deichbruch bei Fischbeck während des Versuches der Breschenschließung [LHW].....	39
Abbildung 25: Erfolgreich geschlossener Deichbruch bei Fischbeck [LHW]	39
Abbildung 26: Foto von dem Deichbruch Jiujiang am Yangtse 1998 [IWHR].....	40
Abbildung 27: Querschnittszeichnung der geplanten Schließungsmaßnahmen [IWHR].....	41
Abbildung 28: Foto von der Deichbruchschließung [IWHR].....	41
Abbildung 29: Darstellung von gestapelten Schläuchen [Joore].....	44
Abbildung 30: Versuch Deichbruchschließung mittels PLUG [Resio et al. 2011].....	45
Abbildung 31: An beiden Enden geöffneter AquaDam® [Förster]	46
Abbildung 32: Mobildeich Beaver® Hochwasserschutzschläuche [4]	47
Abbildung 33: Rangfolge des zu wählenden Transportweges	50
Abbildung 34: Anforderungen an die Schließungssysteme	51
Abbildung 35: Handlungsschema der Schließungsmaßnahmen bei Deichbrüchen.....	53
Abbildung 36: Querschnitt des Stadtdeichs von Jiujiang City an der Bruchstelle [IWHR]	58
Abbildung 37: Deichbruchschließung mittels Lastkahn [IWHR].....	58

Abbildung 38: Sicherung der Arbeitskräfte mit Seilen [IWHR]	59
Abbildung 39: Verfüllen des Skelettbaus mit Steinen und Sandsäcken [IWHR]	59
Abbildung 40: Einrammen der Holz-und Stahlstangen in die Bruchstelle durch Handarbeit der Arbeitskräfte [Förster].....	60
Abbildung 41: Sicherung des Notfallverschlusses mit Sandsäcken [IWHR]	60
Abbildung 42: Zeremonie Feier nach der Deichbruchschließung [IWHR].....	61
Abbildung 43: AquaDam [®] -Notfallverschluss bei dem Deichbruch bei Humboldt Bay	62
Abbildung 44: Folgeerosion in der Deichbresche.....	62
Abbildung 45: Unterbau des AquaDams [®]	63
Abbildung 46: Platzierung des AquaDam [®]	63
Abbildung 47: Verschluss durch den AquaDam [®]	63
Abbildung 48: Stabilisierung des AquaDam [®]	64
Abbildung 49: AquaDam [®] im Einsatz	64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile eines Textilschlauchs als Deichbruchverschluss.....	44
---	----

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studienarbeit werden die Möglichkeiten und Grenzen der Schließung von Deichbrüchen im Hochwasserfall erläutert. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf dem Vergleich der internationalen Erfahrungen.

Die Wichtigkeit sich innerhalb des Hochwasserrisikomanagements auch mit dem Bauwerksversagen von Hochwasserschutzanlagen zu beschäftigen, findet in letzter Zeit zunehmend an Interesse. Viel zu groß ist der in Kauf zunehmende Schaden, wenn es zu einem Versagen einer Hochwasserschutzanlage, wie einem Hochwasserschutzdeich, kommt. Die Ausmaße der Deichbrüche von Fischbeck 2013 und New Orleans 2005 rufen regelrecht nach einer dezidierten Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten einer rapiden Schließung von Deichbrüchen.

Als Basis für das Zusammenstellen eines Maßnahmenkatalogs mit spezifischen Handlungsempfehlungen, die im Falle eines Deichbruchs ergriffen werden sollten, dient das Ermitteln der relevanten Zielgrößen. Kriterien, wie die des Transports und Materials, sowie die Anforderungen ermöglichen eine präzise Differenzierung der einzelnen Handlungsmöglichkeiten. Erfahrungen aus konkreten Praxisbeispielen und innovative Lösungsansätze werden bei dem Erarbeiten der Handlungsempfehlungen ebenso berücksichtigt, wie die gebräuchlichsten Methoden. Abschließend runden der internationale Vergleich und konkrete Handlungsempfehlungen in Form eines Handlungsschemas diese Arbeit ab.

Abstract

This study paper deals with the possibilities and limits of rapid solutions for the repair of levee breaches during the flood. Particular attention is given to a comparative analysis of international experiences.

In terms of the flood risk management the importance to engage with the failure of flood defenses is increasing in recent times. The potential extent of damage in case of a failure of a flood protection system, such as a flood levee, is extremely high. The dimensions of the levee breaches of Fischbeck 2013 and New Orleans 2005 leads to an examination of the possibilities of a rapid closure of levee breaches.

The development of relevant criteria serves as the basis of the compilation of a catalog of emergency measures for flood defenses in the event of a levee breach. Those criteria, such as the transport or material, as well as the requirements enable a precise differentiation of the particular measures. Moreover, experiences of practical examples as well as innovative aspects are also taken into account for compiling of recommended action plans. In a conclusion, an international comparison of the common measures and concrete recommendations for breach emergency repairs in form of a plot are given to finalize this study.

1 Einführung in die Thematik

1.1 Motivation

Hochwasserereignisse kommen und gehen, aber deren Folgen bleiben meist lange Zeit bestehen. Insbesondere das Juni-Hochwasser des Jahres 2013 in Deutschland zeigt, wie sehr die Menschheit trotz zunehmender technischer Fortschritte und Kenntnisse der Mutter Natur unterlegen ist. Oftmals richten Hochwasserereignisse nicht nur hohe Sachschäden an, sondern kosten bedauerlicherweise auch Menschenleben. Der Umgang mit dem Hochwasserrisiko hat sich innerhalb der letzten Jahre bzw. Jahrzehnte erheblich verbessert und Hochwasserschutzmaßnahmen haben zunehmend an Bedeutung gewonnen. Ein Augenmerk liegt hierbei auf den Entwicklungen im Handlungsbereich des „Technischen Hochwasserschutzes“, wie Hochwasserrückhaltbecken, Polder, Schutzmauern und Hochwasserschutzdeiche. Der Deichbruch von Fischbeck beim Juni-Hochwasser 2013 macht deutlich, dass auch ein Versagen der Hochwasserschutzanlagen, in diesem Fall das Szenario eines Deichbruchs, grundsätzlich möglich ist und daher unbedingt im Hochwasserrisikomanagement aufgegriffen werden sollte. Denn selbst eine optimale Kombination aus vorbeugendem und technischem Hochwasserschutz wird keine absolute Sicherheit für die Menschen hinter den Deichen gewährleisten können. Einem unerwarteten oder raschen Eintreten eines Deichbruchs folgt meist großes Schadensausmaß. Ein anschauliches Beispiel für das Ausmaß eines Deichbruchs ist die durch Hurrikane Katrina im Jahre 2005 ausgelöste Überflutungskatastrophe von New Orleans. Zudem ist ein Deichbruch meist aufgrund der hochwasserbedingten Randbedingungen nur schwer logistisch zu erreichen und die Transportmöglichkeiten zur Bruchstelle sind somit sehr eingeschränkt. Oftmals kann die Deichbruchstelle nur via Helikopter erreicht werden, was natürlich auch die potentiellen Schließungsmöglichkeiten sehr einschränkt. So wurde beispielsweise in von New Orleans versucht den Deichbruch mittels Sandsäcken zu schließen. Dieser Prozess zog sich über mehrere Tage, in denen sich die Bruchstelle durch die Seitenerosion infolge der starken Strömungsgeschwindigkeit bis zu einer ca. 130 m breiten Lücke erweiterte. Dieses Beispiel lässt erkennen, dass das Warten bis der Wasserstand sinkt bzw. die Fließgeschwindigkeit sich reduziert oder auch langsame Schließungsmethoden sehr kostspielig ist. Eine noch so kleine Bruchstelle kann sich binnen kürzester Zeit zu einer irreparablen Bruchstelle entwickeln. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit von raschen und effektiven Schließungsmaßnahmen bei Deichbrüchen.

1.2 Zielsetzung

Bisher gibt es keinen Überblick über die Maßnahmen, die im Falle eines Deichbruchs ergriffen werden sollen und keine konkrete Lösung für schnelle (Not-) Verschlüsse. Die Wichtigkeit der schnellen Schließungsmethoden wurde im Absatz zuvor betont, denn im Hochwasserfall stehen bei einem Deichbruch große Material-, Wirtschafts- und Personenschäden auf dem Spiel. Da jeder Deichbruch ein individuelles Ereignis darstellt, kann es auch keine Patentlösung für eine Deichbruchschließung geben. Denn ja nach Fließgeschwindigkeit und Bruchgröße, können die damit verbundenen Parameter wie Wachstum, Wassertiefe, Strömungsgeschwindigkeit und Durchflussrate

variieren. Im Allgemeinen gilt: Je höher die Fließgeschwindigkeit, desto schwieriger wird der Verschluss.

Diese Studienarbeit dient dazu, einen Überblick über die Möglichkeiten des Notverschlusses zu verschaffen und soll helfen die weltweit verwendeten Methoden sowie auch innovative Lösungsansätze zur Deichbruch-Schließung zu verstehen. Diskutiert wird hierbei die Fragestellung, welche Methode sich am besten zur Schließung der Schadensstelle im Hochwasserfall in Anbetracht der relevanten Randbedingungen eignet. Die jeweiligen Randbedingungen, wie Transportmöglichkeit, Hinterland, Materialverfügbarkeit usw., sind letztendlich maßgebend für die Entscheidung des effizientesten Schließungssystems.

Der Verlauf der letzten Hochwasserereignisse hat gezeigt, wie wichtig es ist, möglichst viele Beteiligte über die Probleme des Hochwasserschutzes zu informieren und Kenntnisse bei der Vorbereitung und Durchführung der erforderlichen Abwehrmaßnahmen zu vermitteln. Insofern dient diese Studienarbeit auch im Sinne der Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die Problematik der Deichbruchschließung.

1.3 Durchführung

Zu der Thematik des Deichbruchs an sich gibt es viele Veröffentlichungen und Untersuchungen, gleichgültig, ob über den Ablauf des Deichbruchs oder die Versagensmechanismen. Jedoch existieren bisher kaum Publikationen zu den Handlungsempfehlungen zur Schließung von Deichbrüchen im Hochwasserfall, noch zu Auswertungen von vorgefallenen Deichbruchschließungen. Daher ist es unerlässlich, möglichst breit, sprich auch außerhalb des innerdeutschen Raums, nach Beispielen und Erfahrungswerten zu suchen. Diese Studienarbeit orientiert sich deshalb auch an den Erkenntnissen aus der USA (US Army), den Niederlanden und China.

Im Rahmen dieser Studienarbeit wird auf Basis der Vorbetrachtungen, wie der allgemeine Deichaufbau, eine Deichverteidigung bis hin zum Deichbruch, die zur Schließung potentiell einsetzbaren Materialien und Transportmöglichkeiten erläutert. Anerkannte Schließungsmethoden, bestehende Techniken und deren Kriterien werden zusammenfassend geschildert. Anhand lehrreicher Fallbeispiele der Deichbruchschließung (Fischbeck und Jiujiang am Yangtse) erfolgen eine Auswertung der praktischen Beispiele sowie ein Vergleich mit innovativen Lösungsideen.

2 Vorbetrachtung

2.1 Hochwasser und Hochwasserschutzmaßnahmen

2.1.1 Hochwasserentstehung

Hochwasserereignisse sind Bestandteil des natürlichen Wasserkreislaufes und sind daher nicht zu vermeiden. Als Folgeerscheinung von besonderen meteorologischen und hydrologischen Bedingungen, unterscheidet man generell zwischen Winterhochwasser und Sommerhochwasser. Während bei einem Winterhochwasser das Hochwasser durch plötzlich einsetzendes Tauwetter entsteht, bildet sich ein Sommerhochwasser durch unmittelbar vorhergegangene Starkregenereignisse. In beiden Fällen übersteigt die Niederschlagsintensität die Infiltrationskapazität des Bodens und lang anhaltenden Niederschläge können zu einem Erschöpfen der Wasserspeicherkapazität des Bodens, folglich dem Erreichen der Sättigungsgrenze, führen. Wird die Sättigungsgrenze des Bodens überschritten, erfolgt der Abfluss der ergiebigen Niederschläge als erhöhter Oberflächenabfluss. Die erhöhten Abflussbeiwerte führen zu steigenden Wasserständen des Fließgewässers. Ausschlaggebend für ein Hochwasser sind somit sowohl der Niederschlag als auch der Sättigungsgrad des Bodens des jeweiligen hydrologischen Einzugsgebietes. Sobald ein deutlicher Pegelanstieg zu verzeichnen ist, werden einleitende Maßnahmen getroffen. Bei dem Überschreiten der Hochwassermeldegrenze gilt der Gewässerabfluss als Hochwasser. Abbildung 1 zeigt die typische Ganglinie eines Hochwasserereignisses.

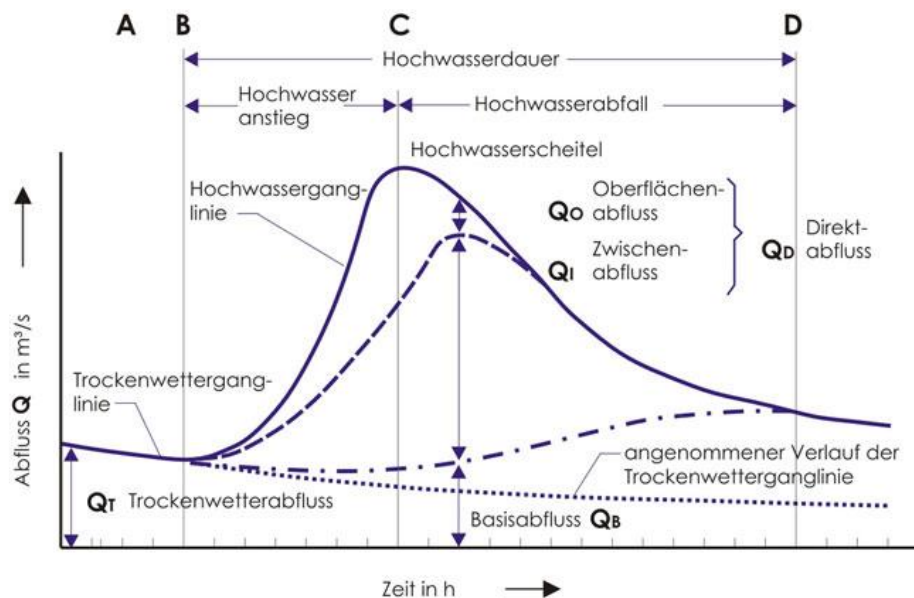


Abbildung 1: Schema einer Abflussganglinie eines Hochwasserereignisses [Patt & Jüpner]

Die Ausprägung des Hochwasserscheitels sowie die Dauer des Hochwassers können sehr stark variieren. Ebenso ist ein Szenario mit mehreren Hochwasserscheiteln nicht unrealistisch.

2.1.2 Hochwasserschutzmaßnahmen

Die Bandbreite der Hochwasserschutzmaßnahmen ist groß und umfasst viele unterschiedliche Handlungsbereiche, von der Flächenvorsorge bis hin zur Informationsvorsorge für die Bevölkerung. Die Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser LAWA hat 1995 die „Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz“ veröffentlicht und damit einen charakteristischen Grundstein für die Neustrukturierung des Hochwasserschutzes gelegt. Deren Handlungsbereich beinhalten: Flächenvorsorge, Natürlicher Wasserrückhalt, Technischer Hochwasserschutz, Bauvorsorge, Risikovorsorge, Vorbereitung Gefahrenabwehr und Katastrophenschutz, Verhaltensvorsorge, Informationsvorsorge und Auswertung der Hochwasserbewältigung sowie der Regeneration. Im Folgenden werden nur die themenrelevanten Maßnahmen des Hochwasserschutzes erklärt.

Hochwasserrückhalt

Zu den vorbeugenden Hochwasserschutzmaßnahmen gehört grundlegend ein natürlicher Wasserrückhalt. Wird ein großer Anteil des Hochwasser verursachenden Niederschlags noch im Einzugsgebiet zurückgehalten, reduziert sich der schnelle Direktabfluss. Je mehr Niederschlag auf der Fläche des Einzugsgebiets zurückgehalten werden kann, desto geringer ist das abfließende Hochwasservolumen. Konkrete Maßnahmen sind beispielsweise die Entsiegelung von Flächen und die Förderung der natürlichen Versickerung. Bei einem steigenden Direktabfluss steigen die Wasserstände und die Fließgewässer beginnen auszufernen. Dieser Ausuferungsprozess führt zu einer Abflachung der Spitzenabflüsse und zu einem reduzierten Hochwasserscheitel. Durch anthropogene Eingriffe wurden in der Vergangenheit viele natürliche Überschwemmungsgebiete an den Fließgewässern entwendet und damit die natürlichen Speicherkapazitäten geraubt. Eine Verbesserung des Wasserrückhalts kann dann nur durch Erhalten und Wiederherstellen der natürlichen Retentionsräume erfolgen. Hierzu eignet sich beispielsweise die Rückverlegung von Deichen, Schaffung von Polder und Erhaltung von Auengebieten.

Technischer Hochwasserschutz

Im Handlungsbereich des Technischen Hochwasserschutzes unterscheidet man prinzipiell den flächenhaften Hochwasserschutz und den Gebäudeschutz. Bauliche Maßnahmen wie Deichsysteme, Hochwasserschutzpolder, Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken schützen das hochwassergefährdete Gebiet vor Überflutungen. Weitere Erläuterungen über Deiche und deren Aufbau werden in den folgenden Kapiteln 2.2 und 2.3 gegeben. Hochwasserschutzmauern, mobile Hochwasserschutzanlagen und Sandsackdeiche bieten einen objektbezogenen Gebäudeschutz. Für alle wichtigen Schutzbauwerke gilt jedoch, dass es mit einem einzelnen Bau nicht getan ist. Sie müssen betrieben und bewirtschaftet, sowie vor unsachgemäßer Nutzung und Beanspruchung geschützt werden. Aber auch hinter den Technischen Hochwasserschutzanlagen existiert immer ein Hochwasserrisiko, da die technischen Rückhaltemaßnahmen oftmals zu einer räumlichen Problemverlagerung, manchmal auch zu einer Problemverstärkung.

Hochwassermeldedienst

Im Sinne der Vorbereitung der Gefahrenabwehr und des Katastrophenschutzes dient der Hochwassermeldedienst der Gewinnung und Übermittlung aller Daten, die über die Entstehung, den zeitlichen Ablauf und die räumliche Verteilung von Hochwasserereignissen definiert werden können. Der Hochwassermeldedienst veröffentlicht Warnungen, Informationen und Vorhersagen zu erwarteten Wasserständen und Abflüssen. Sobald aufgrund der meteorologischen Einflussgrößen und Wasserständen eine Hochwasserentwicklung erkennbar ist, werden Hochwasserwarnungen herausgegeben. Besteht eine Hochwasserwarnung oder ist eine bestimmte Hochwassermarke überschritten, werden Hochwasserinformationen über die voraussichtliche Entwicklung bekannt gegeben. Hochwasservorhersagen werden veröffentlicht, sobald mit einer hinreichenden Genauigkeit die zu erwartenden Wasserstände und Wasserführung ermittelt werden können. Eine rechtzeitige und präzise Hochwasservorhersage definiert die Vorwarn- und Reaktionszeiten für Schutzmaßnahmen. Überdies ist der Hochwassermeldedienst für das rechtzeitige Einleiten von erforderlichen Abwehrmaßnahmen entsprechend der festgelegten Alarmstufen verantwortlich. Je nach definierten Pegelständen sind im Hochwasseralarmplan die unterschiedlichen Handlungsmaßnahmen festgelegt. Die Gewährleistung eines zuverlässigen Informationssystems ist somit ein wichtiges Mittel zur Reduzierung von Schäden.

2.2 Hochwasserschutzdeiche

Als technisches Bauwerk zählt der Deich neben den Hochwasserrückhaltebecken und –speichern zu den wichtigsten Hochwasserschutzmaßnahmen. Der Bau von Flussdeichen ist eine seit Jahrhunderten praktizierte Methode, um genutztes Hinterland an Flüssen vor Überflutungen zu schützen. Im Allgemeinen kann man Deiche als aus Erdbaustoffen (Bodenmaterial) bestehenden zeitweilig eingestauten Dämmen an Fließgewässern bezeichnen. Im Gegensatz zu Dämmen werden sie nur temporär und unregelmäßig während des hochwasserbedingten Wasseraufstaus beansprucht. Bei Bedarf müssen Deiche saniert werden, um die Standsicherheit des Bauwerkes zu gewährleisten. Die folgende Abbildung 2 zeigt die substanziellen Begriffe des Deichquerschnitts. Um einen reibungslosen Ablauf der Deichverteidigung im Notfall zu ermöglichen, ist es wichtig, Kenntnis über die Begriffe zu besitzen.

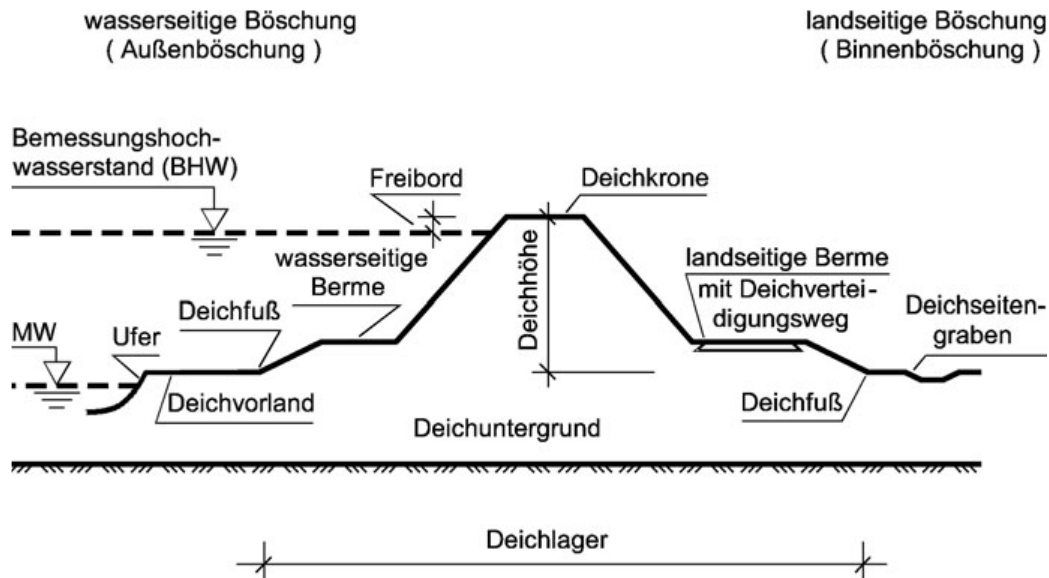


Abbildung 2: Querschnitt durch einen Flussdeich- Begriffe [Patt & Jüpner]

2.3 Deichprofil

2.3.1 Deichgeometrie

Die äußere Gestalt eines Deiches wird im Wesentlichen nach den essentiellen Annahmen zur erwartenden Hochwasserhöhe und den lokalen Gegebenheiten sowie der vorherrschenden Hauptwindrichtung gewählt. Grundsätzlich bestimmt die Deichgeometrie die Standsicherheit des Deiches. Je breiter die Deichkrone und je flacher die Böschungsneigungen, desto höher ist die Standsicherheit beim Einstau des Deiches im Hochwasserfall. Die Deichhöhe wird prinzipiell nach dem Schutzziel (Bemessungshochwasserstand) und dem Freibord bemessen. Der Freibord (Deichsicherheitshöhe) bezeichnet den vertikalen Abstand zwischen Deichkrone und dem maßgebenden Bemessungshochwasserstand (siehe Abbildung 2). Er setzt sich aus den Sicherheitszuschlägen für Wind- und Eisstau, Wellenaufbauhöhe und gegebenenfalls weiteren Zuschlägen zusammen. In der Regel beläuft sich dessen Höhe auf 0,8 - 1 m bei den Hauptdeichen und 0,5 - 0,7 m bei Deichen der übrigen Gewässerläufe. Die Deichkrone sollte mindestens 3,0 m breit sein und die Böschungsneigungen sollten wasser- und landseitig nicht steiler als 1:2 bzw. 1:3 sein [LUA]. Eine landseitige Deichberme erhöht zum einen die Standsicherheit, zum anderen kann sie als Deichverteidigungsweg ausgebildet werden, die der besseren Erreichbarkeit für Unterhaltungszwecke dient.

2.3.2 Deichaufbau

Ein Deich muss in erster Linie den Einwirkungen aus dem Einstau widerstehen und hinreichend dicht sein. Daher spielt neben der Deichgeometrie der innere Aufbau und die Dichtigkeit des Deichbaumaterials eine wichtige Rolle. In der Regel spricht man nach DIN 19712 von einem Drei-Zonen-Deich, wenn der Deich aus einem nicht-bindigen Stützkörper mit wasserseitiger Dichtungsschicht und einem landseitigen stark durchlässigen Dränkörper besteht (siehe Abbildung 3). Der Stützkörper dient der Standsicherheit und muss der Dichtungsschicht eine sichere Stützung bieten. Die Wahl des Materials folgt den regional verfügbaren Bodenarten. Um die Wasserdichtigkeit

des Flussdeichs zu gewährleisten, wird wasserseitig ein Dichtungselement in den Stützkörper eingeschlossen. Als Dichtelement eignen sich Böden mit geringer Wasserdurchlässigkeit, wie beispielsweise Auelehm oder andere bindige Bodenarten. Ebenso eignen sich auch Materialien, wie Beton, Asphalt usw., als Dichtungen, bedingen dann jedoch teilweise einen anderen Aufbau. Der landseitig platzierte Dränkörper, überwiegend in Form eines Fußfilters mit Drainage, dient zum kontrollierten Sickerwasseraustritt.

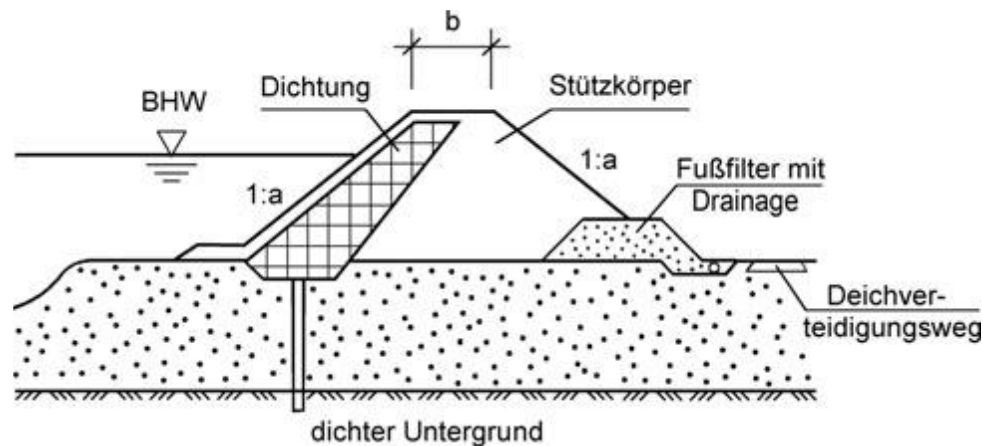


Abbildung 3: Aufbau nach dem Drei-Zonen-Deichs [Patt & Jüpner]

Um ein Unterspülen des Deichkörpers zu verhindern, ist ein Anschluss des Dichtungselements an eine wasserundurchlässige Bodenschicht notwendig. Mit Hilfe einer Untergrundabdichtung in Form von einer wandartigen Dichtung (Dichtwand) kann der tiefer liegende, dichte Untergrund mit Dichtung verbunden werden. Ist ein hochliegender, dichter Untergrund anzutreffen, sollte die Dichtung nur in ausreichender Menge eingebettet werden.

Eine andere Dichtungsvariante stellt der Drei-Zonen-Deich mit Kerndichtung dar. Hierbei ist das Dichtungselement anstatt wasserseitig mittig im Stützkörper platziert und ebenso an eine dichte Bodenschicht mittels Dichtwand anzuschließen.

2.3.3 Sickerverhalten

Infolge des Einstaus von Deichen und geringen Undichtigkeiten, sowie Brüchen in den Dichtungselementen kann Wasser in den Deich und den darunter befindlichen Untergrund eindringen. Teilweise kann dies sogar zum Durchströmen des Deiches führen. Die obere Begrenzung des durchströmten Bereiches oder mit anderen Worten, die Grenze zwischen dem trockenen und durchfeuchteten Bodenmaterial, wird Sickerlinie genannt. Mit dem Anstieg des Wasserspiegels steigt ebenso die Sickerlinie im Deich. Eine zunehmende Durchströmung führt zu einer Aufweichung des Deichmaterials, was eine Schwächung der Standsicherheit bewirkt. Auf diese Weise wird der Deichkörper empfindlicher gegen Erschütterungen und andere Belastungen. Bei einem lang anhaltenden Hochwasserstand kann es zu Wasseraustritten am Fuß der landseitigen Böschung kommen. Solange nur klares Sickerwasser im unteren Drittel der Böschung austritt, gilt dies in der Regel als unkritisch. Im Allgemeinen sollte der Austritt von landseitigem und klarem Sickerwasser

nicht unterbunden und während des Verlaufs des Hochwasserereignisses beobachtet werden. Bei einem zu hohen oder unklaren Sickerwasseraustritt ist jedoch Vorsicht geboten. Mehrheitlich verbergen sich hinter der Eintrübung Erosionsvorgänge im Deichkörper.

In gleicher Weise besteht Erosionsgefahr bei einem schnell fallenden Wasserspiegel. Im Falle eines schnellen Absinkens des Hochwasserspiegels, sinkt die Sickerlinie im Deich erfahrungsgemäß langsamer als der Flusswasserspiegel. Dies führt zu einer hohen inneren Belastung an der wasserseitigen Böschung, welche große Abrutschungen zur Folge hat. Der Deichkörper wird bei diesem Prozess in seiner Standsicherheit stark beeinträchtigt und kann einer eventuellen zweiten Hochwasserwelle nicht mehr widerstehen.

2.3.4 Bauwerke am und im Deich

Im Deichbau gilt nach DWA-M 507-1: „Im Deich sind Bauwerke Fremdkörper, die nur geduldet werden sollten, wo sie unvermeidbar sind. Leitungen in Deichen können nur aus unabdingbaren versorgungstechnischen Gründen gestattet werden, wirtschaftliche Gründe allein sind nicht hinreichend.“

Bauliche Anlagen am und im Deich bedürfen einer strengen Kontrolle und Überwachung. Grund hierfür ist das unterschiedliche Setzungsverhalten des Deichkörpers gegenüber den Bauwerken. An den Übergängen zwischen massivem Bauwerk und Deich befinden sich die kritischen Bereiche. Nur ein kleiner Spalt in diesem Bereich kann zum Versagen der Dichtung und somit auch zur Deicherosion führen. Im Hochwasserfall drängt sich das Sickerwasser durch jenen noch so kleinen Spalt und die relativ hohe Fließgeschwindigkeit des Sickerwassers führt zum Erosionsprozess. Daher müssen alle Bauwerke am und im Deich so ausgebildet sein, dass sie die Standsicherheit des Deichkörpers nicht gefährden. Alte, nicht mehr benötigte Anlagen, sind nach Möglichkeit aus dem Deichkörper zu entfernen. Bei den notwendigen Bauwerken sind die Bauwerksbegrenzungen durch geeignete konstruktive Maßnahmen so auszuführen, dass potentiell Sickerwasser durch klaffende Fugen oder bei Kontakterosion unterbunden wird.

2.4 Deichverteidigung

Unter der Deichverteidigung versteht man alle bautechnischen Notmaßnahmen, die dazu dienen, die Deichsicherheit zu gewährleisten. Die Deichverteidigung gehört zu den Mitteln des Technischen Hochwasserschutzes und bewirkt zusammen mit dem Katastrophenmanagement die Sicherstellung der Deichsicherheit in Katastrophenfällen. Im Allgemeinen beginnt eine Deichverteidigung mit dem Feststellen von Schäden und/oder dem Überschreiten von kritischen Hochwassermarken.

Mit der Ausrufung von Alarmstufen beginnt die Pflicht der betroffenen Gemeinden, den Deichwachdienst zu gewährleisten. Dieser besteht in der Regel aus zwei geschulten Personen, die den Ihnen zugeteilten Deichabschnitt gewissenhaft beobachten sollen. Es ist nicht die Aufgabe der Deichwachen die Schadensbekämpfung eigenhändig auszuführen. Vielmehr dient die Deichwache zur Erkennung von Schadensstellen und der Meldung von Informationen an den zuständigen Einsatzstab bzw. Leitstelle, der dann, wenn notwendig, eine eventuelle Deichverteidigung einleitet.

2.4.1 Grundsätze der Deichverteidigung

- In der Regel kann ein Deichschaden nicht während des Hochwasserereignisses beglichen werden. Ziel ist es daher, eine Vergrößerung des Schadensausmaßes zu verhindern.
- Oberste Priorität ist der Schutz von Menschenleben. Dies gilt sowohl für die betroffenen Bewohner des überschwemmungsgefährdeten Gebietes als auch für die Einsatzkräfte der Hochwasserabwehr. In diesem Sinne sollten an einer Schadensstelle immer mindestens zwei Personen arbeiten, welche mit entsprechender Schutzausrüstung ausgestattet sind. Bei Arbeiten im Wasser oder an vereisten Böschungen sind die Arbeitskräfte anzuleinen. Des Weiteren sind Schutzvorkehrungen, wie das Ausstatten des Arbeitsplatzes mit Schwimmwesten, Rettungsringen, Sicherungsgeräten und –seilen zu treffen.
- Unnötiges oder zweckentfremdetes Befahren des Deiches sollte stets unterlassen werden. Der Deich ist durch das Hochwasser bereits stark beansprucht und darf keinen zusätzlichen Einwirkungen und Erschütterungen ausgesetzt werden. Der Gefährdungsgrad darf durch die Deichsicherungsmaßnahmen nicht erhöht werden.
- Bei der Auswahl der durchzuführenden Abwehrmaßnahme sollten auch mögliche Folgewirkungen bedacht werden.
- Die Schadensbekämpfung muss unverzüglich erfolgen und solange wie notwendig durchgeführt werden. Besonders bei einem absinkenden Hochwasserspiegel ergeben sich Gefährdungen für den Deich.
- Weiterhin gilt der Sandsack als das wichtigste Deichverteidigungsmittel (siehe Kapitel 4.1.2).
- Ist die Standsicherheit des Deiches gefährdet und droht ein Deichbruch, dann sind Evakuierungsmaßnahmen einzuleiten und Maßnahmen zur Schadensbegrenzung zu treffen.

2.4.2 Schäden an der landseitigen Böschung und deren Verbau

Infolge des Einstaus durch einen lang anhaltenden Hochwasserpegel kann es zu einer Durchfeuchtung des Deichkörpers und daraus resultierend zu punktförmiger oder flächenhafter Sickerwasseraustritte kommen. Ein punktförmiger Wasseraustritt bezeichnet man als Quelle. Grund für die Durchfeuchtung sind einerseits durch Wühltiere verursachte Hohlräume und andererseits ein inhomogener Deichaufbau infolge von baulichen Veränderungen. Solange das austretende Sickerwasser klar ist, ist meist von keiner Gefahr auszugehen. Eine größere Gefahr besteht jedoch, sobald es zum Austritt von trübem Sickerwasser kommt. Die Trübung deutet auf einen Materialaustrag hin, der Rutschungen und Ausspülungen zu Folge haben kann.

Solange sich die Quellenbildung im unteren oder mittleren Böschungsbereich befindet, kann man mit einer Eindeichung aus Sandsäcken häufig erfolgreiche Abwehrmaßnahmen treffen. Fachsprachlich nennt man diesen, um den Quellbereich ringförmig verlegten Sandsackwall auch Quellkade, siehe Abbildung 4. Die Austrittsstelle wird durch Sandsäcke umschlossen und es kommt zu einem Wasseranstieg in der Quellkade, bis der durch das aufgestaute Wasser aufgebaute Gegendruck den Sickerwasseraustritt versiegen lässt.

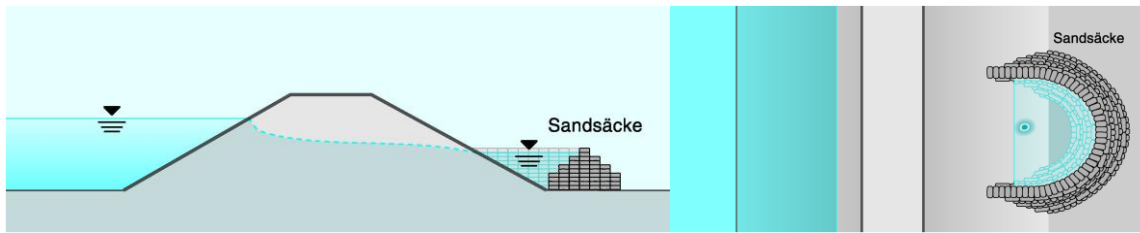


Abbildung 4: Eindeichung punktueller Wasseraustritte mit Sandsäcken [LUBW]

Der Sandsackwall ist dabei so hoch auszuführen, bis das Ausströmen von trübem Sickerwasser nachlässt. Im Falle einer Quellenbildung im oberen Bereich hilft ein Abdecken der wasserseitigen Eintrittsstelle mit Sandsäcken.

Besteht das Risiko eine Böschungsabrutschung oder eines hydraulischen Grundbruchs, sollte schnellstmöglich eine Stützung im luftseitigen Böschungsfußbereich erfolgen, um einen ausreichenden Gegendruck zu erzielen. Anzeichen für solch eine Gefahr sind meist Längsrisse im landseitigen Böschungsbereich, die teils bis zur Deichkrone reichen können, und Verformungen des Geländes auf der Luftseite. Je nach örtlichen Gegebenheiten kann die Böschungsauflast aus den verfügbaren Materialien gebildet werden. Wie in Abbildung 5 zu erkennen, verwendet man in aller Regel nicht bindige Erdstoffe, wie Sand, Kies oder Sandsäcke für die Beschwerung der Böschung.

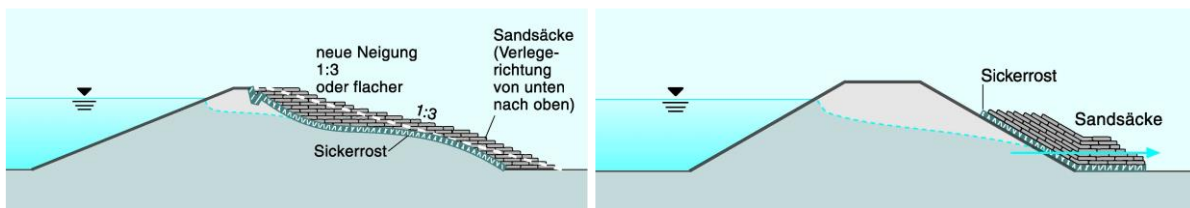


Abbildung 5: Beispiele zur Böschungsbeschwerung bei Gefahr von Rutschungen [LUBW]

Zusätzlich darf der Sickerwasseraustritt in keinem Fall unterbunden werden, um weitere Beschädigungen und Gefahren zu vermeiden. Um die Ableitung des Sickerwassers sicherzustellen, verbaut man unterhalb der Beschwerung einen Sickerrost. Dieser kann beispielsweise aus Buschwerke (wie Faschinen) oder Geotextile bestehen. Während den gesamten Deichverteidigungsarbeiten muss der Deich strengstens beobachtet werden, um im Falle von Anzeichen eines Deichbruchs schützende Maßnahmen, wie die Sicherung der Einsatzkräfte, durchzuführen. Denn im Falle eines hydraulischen Grundbruchs, besteht akute Deichbruchgefahr.

2.4.3 Schäden an der wasserseitigen Böschung und deren Verbau

Die wasserseitige Böschung ist im Hochwasserfall neben dem ansteigenden Wasserdruck auch dem direkten Angriff der Strömung ausgesetzt. Starke Wellenschläge oder mitgeführtes Treibgut führen zu oberflächigen Beschädigungen an der wasserseitigen Böschung. Eine Schadensstelle bildet Angriffspunkte für weitere Erosionsvorgänge. Egal ob abschwimmende Baumstämme oder Eisgang, im Falle einer Schälung an der Böschungsoberfläche, müssen Abwehrmaßnahmen zum Schutz gegen Zerstörung der Böschung getroffen werden. Zu diesen zählen das Entfernen des auf der Böschung lagernden oder schwimmenden Treibguts und das Abdecken der Schadstelle, wie etwa mit

Sandsäcken oder ein aus Faschinen hergestelltes Rauwehr. Die Abbildung 6 zeigt die Möglichkeiten, um eine lokal begrenzte und oberflächige Beschädigung zu behandeln.

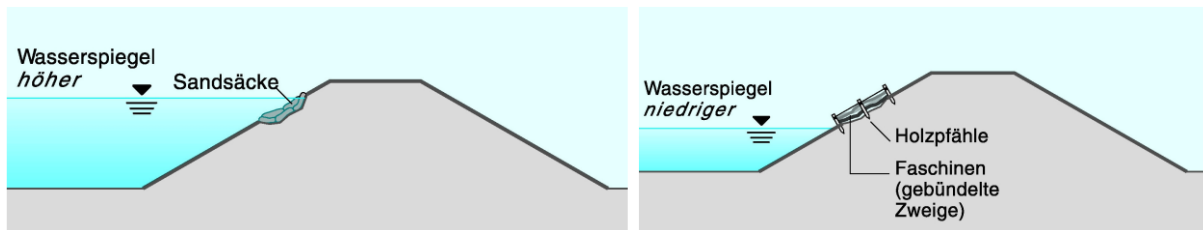


Abbildung 6: Abdeckmöglichkeiten der Schadstelle [LUBW]

Außerdem kann es auf der wasserseitigen Böschung auch zu Rutschungen infolge von verstärkten Auskolkungen kommen. Sohl- und Böschungskolke beginnen generell von unten und wenn der Auskolkungsprozess erst bei Erkennen eines Schadens über dem Wasserspiegel festgestellt wird, ist eine Schadensbekämpfung meist zwecklos. In der Regel wird mittels Senkbäumen, falls Bäume in der näheren Umgebung vorhanden sind, die Schleppgeschwindigkeit des Wassers reduziert. Wie in Abbildung 7 zu erkennen, werden die Senkbäume von unterstrom nach oberstrom in den Kolk eingehängt und mit Ketten oder Seilen gesichert.

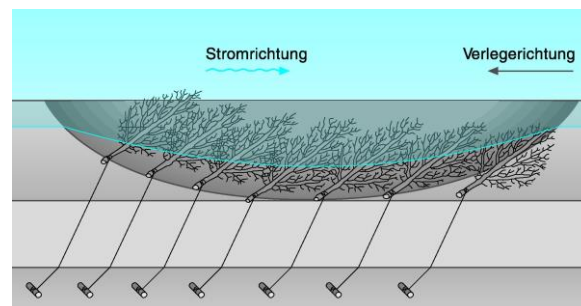


Abbildung 7: Schutz vor weiterer Auskolkung mittels Senkbäumen [LUBW]

Mit dieser provisorischen Methode wird der bereits beschädigte Böschungsbereich vor dem direkten Angriff der Strömung geschützt. Eine Alternative, wenn keine Bäume vor Ort verfügbar sind, kann der Verbau des Kolks, auch mit Sandsäcken unter Einsatz von Hubschraubern, sein.

Eine Böschungsabrutschung kann ferner auch infolge eines stark fallenden Wasserspiegels erfolgen. Bedingt durch den hydrostatischen Druck im Deichkörper können Rutschungen an der wasserseitigen Böschung bis hin zur Deichkrone entstehen. Das im Falle eines Einstaus stark durchfeuchtete Bodenmaterial kann aufgrund dessen hohen Fließwiderstandes das Wasser nicht so schnell ableiten und es kommt zu einem Druckaufbau. Als Folge resultieren oft großflächige Rutschungen, wie in der folgenden Abbildung 8 zu sehen ist. Um die Böschung vor dem weiteren Erosionsprozess zu schützen, sollte die Schadenstelle mit Sandsäcken, Steinschüttung und Ähnliches beschwert werden. Auch hier gilt: Senkbäume reduzieren die Schleppgeschwindigkeit und schützen somit vor weiterer Zerstörung.

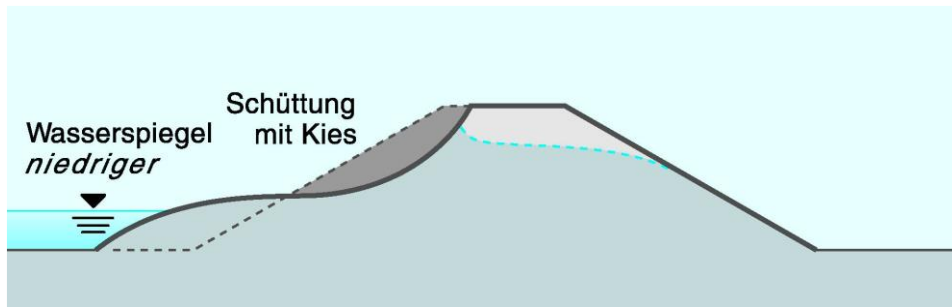


Abbildung 8: Auffüllen von wasserseitigen Böschungsrutschungen [LUBW]

2.4.4 Gefahr der Deichüberflutung

Alle Flussdeiche sind für einen bestimmten Hochwasserstand, inklusive Sicherheitszuschläge, bemessen. Diese Bemessungswerte beruhen auf Wahrscheinlichkeiten. Bei dem Auftreten eines größeren Hochwasserereignisses als bemessen, kommt es zur Überflutung des Deichkörpers. Ist dies der Fall, besteht akute Deichbruchgefahr. Die Abwehrmaßnahmen liegen in der reinen Deicherhöhung. Wie in den Medien bei einem Hochwasserereignis oft zu verfolgen, erfolgt die Erhöhung durch eine Aufkragung von Sandsäcken (Abbildung 9) oder alternativ durch eine mit einer Folie abgedichtete Kiesschüttung. Die Deicherhöhung muss immer auf der Wasserseite der Deichkrone erfolgen. Ergänzend ist zu bemerken, dass mit einer Deicherhöhung die Standsicherheit des Deiches verschlechtert wird und es zu einer statischen Überlastung kommen kann.

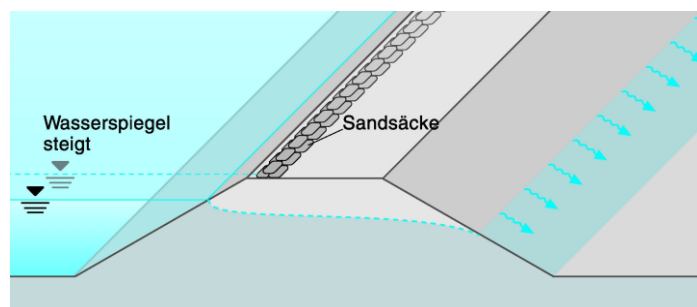


Abbildung 9: Deicherhöhung mittels Sandsäcken [LUBW]

2.5 Deichbruch

Deiche werden, wie alle Bauwerke nach einem vordefinierten Bemessungswert errichtet und eine absolute Sicherheit, sowohl Sicherheit gegen Überflutung als auch die Standsicherheit des Deichkörpers selbst, wird es nie geben. In dem vorherigen Kapitel 2.4 wurden Möglichkeiten zur Verhinderung von Deichbrüchen erklärt. Greifen die beschriebenen Deichverteidigungsmaßnahmen nicht, kommt es zu einem Versagen des Deichkörpers, einem Deichbruch. Einen Deichbruch definiert man üblicherweise als eine Art Kettenreaktion: beginnend mit einer kleinen undichten Fehlstelle im Deichkörper, entwickelt sich diese binnen kürzester Zeit zu einer rasch wachsenden großen Schadensstelle. In der Regel ist ein Rückzug der Deichverteidigung von der Schadstelle aufgrund der weiteren Abbruchgefahr notwendig. Ist der Deichbruch nicht zu verhindern, hat eine rechtzeitige Evakuierung des betroffenen hochwassergefährdeten Gebietes oberste Priorität. Je nach Nutzungsart des Deichhinterlandes entsteht hier unterschiedlicher Handlungsbedarf. Der fortschreitende Erosionsprozess findet prinzipiell erst mit den Abwehrmaßnahme oder einem

zurückgehenden Wasserstand ein Ende. Klassifiziert werden Deichbrüche nach ihrer Deichbruchtiefe, ob Teilbruch, Totalbruch oder sogar Totalbruch mit Kolk, und nach der Breschenweite. Die Deichbresche definiert die nach einem Deichbruch zurückbleibende Deichlücke. Die Größe der Deichbresche ist aufgrund des langanhaltenden Erosionsprozesses nur schwer im Voraus abschätzbar. Als potentieller Indikator für eine akute Deichbruchgefahr steht der Anteil des durchweichten Bodenmaterials, welches durch die Ermittlung der Bodenfeuchte charakterisiert werden kann.

Bei dem vergangenen Junihochwasser von 2013 kam es alleine in Sachsen-Anhalt zu zehn Deichbrüchen [LHW]. Aber ein Deichbruch ist nicht gleich ein Deichbruch. Die Ausmaße von Deichbrüchen können extrem unterschiedlich ausgeprägt sein. Der wohl bekannteste Deichbruch in Sachsen-Anhalt ist der Deichbruch von Fischbeck an der Elbe, der in dieser Studienarbeit als Fallbeispiel dient (siehe Kapitel 2.5.2 und 4.2.1).

2.5.1 Ursachen und Versagensmechanismen eines Deichbruchs

Die Ursachen von Deichbrüchen sind genauso verschieden wie deren Ausmaße. Fest steht, dass eine Hochwasserschutzanlage nur so gut ist, wie ihr schwächster Punkt und deshalb bei der Deichverteidigung ein einheitlicher Schutzgrad für den kompletten Deichkörper und sein Umfeld angestrebt wird. Versagt auch nur ein substanzieller Teil des Deichs, bricht oft das Kräftegleichgewicht und zieht dementsprechende Folgeerscheinungen mit sich. Die Gründe für einen Deichbruch liegen jedoch in der Regel nicht bei einem einzigen Prozess, sondern in der Kombination aus mehreren Mechanismen.

Maßgebend für einen Deichbruch sind die spezifischen geotechnischen und hydrogeologischen Randbedingungen vor Ort. Um die Versagensmechanismen umfassend zu verstehen, bedarf es einer intensiveren Auseinandersetzung mit dem Thema. Im Rahmen dieser Studienarbeit wird dieses Themenfeld jedoch nur leicht angeschnitten, da der Fokus auf den Möglichkeiten und Grenzen der Schließung von Deichbrüchen und nicht auf dem Prozess des Deichbruchs selbst beruht.

Die Ursachen von Deichbrüchen werden im Allgemeinen nach den folgenden vier Versagensmechanismen aufgeteilt:

Piping

Als Piping bezeichnet man den Versagensmechanismus der inneren und rückschreitenden Erosion. Piping ist die häufigste Ursache für das Versagen von Deichen. Dabei bilden sich ausgelöst durch innere Erosion röhrenartige Kanäle in und unterhalb des eingestauten Deichkörpers, die das Zusammensacken des Deiches nach sich ziehen. Eine Art des Piping stellt der hydraulische Grundbruch dar. Durch den hohen Wasserdruckunterschied strömt bei dem hydraulischen Grundbruch Wasser in die unterhalb des Deichs befindlichen Grundwasser leitenden Schichten und hebt die wasserundurchlässige Bodenschicht (meist bindige Auelehmschicht) an. Kommt es zum Aufbruch, beginnt ab der Aufbruchstelle eine, in Richtung Wasserseite des Deiches, rückwärts schreitende Erosion. Der an der Luftseite beginnender Erosionskanal spült immer mehr

Bodenmaterial aus und es kommt zu einer Vergrößerung der Röhre. Folglich kommt es zum Einsinken und Versagen des Deichkörpers.

Gleichermaßen kann das Piping auch durch zusätzliche Wasserwegsamkeiten, infolge von Wühltieren oder der Bepflanzung, hervorgerufen werden. Die von Wühltieren (wie Nagetiere oder Insektenfresser) angelegten Gänge dienen im Hochwasserfall als bevorzugte Sickerwege für das durchströmende Wasser und führen ebenso zu einer rückschreitenden Erosion. Auch entlang von Durchwurzelnungen bilden sich bevorzugte Wasserwege. Alle vorangelegten Gänge beschleunigen eine Durchnässung und somit den inneren Erosionsprozess.

Böschungsbruch

Bei einem Böschungsbruch versagt die Standfestigkeit der Böschung und aufgrund des Überschreitens der Scherspannung im Boden kommt es zum Abrutschen eines Erdblocks. Ausgelöst wird der Böschungsbruch beispielsweise durch Erdstoffaustrag (Erosion) zufolge von Sickerwasseraustritt oder einem hohen Strömungsdruck durch veränderte Wasserverhältnisse. Nicht immer, aber oft, kommt es in Folge des Versagens der Böschung zur Folgeerosion des übrigen Deichkörpers.

Überströmung

Überströmungen treten dann auf, wenn die Deichhöhe nicht mehr für die Begrenzung des Hochwassers ausreicht. Infolge der Überströmung kommt es zur Erosion an der Deichkrone und der luftseitigen Böschung bis hin zum Deichversagen. Das überströmende Wasser an sich ist nicht das Problem, sondern der daraus resultierende und fortschreitende Bodenabtrag. Um ein Überströmen zu verhindern, erfolgt die Deicherhöhung (2.4.4). Auch im Fallbeispiel von Fischbeck (siehe folgendes Kapitel 2.5.2) ist ein Überströmen die entscheidende Ursache für den Deichbruch.

Wellenüberlauf

Der Mechanismus des Wellenüberlaufs ähnelt sehr dem der Überströmung. Der Unterschied liegt darin, dass bei einem Wellenüberlauf zwar noch das Bemessungshochwasser zurückgehalten, aber kein Freibord als Sicherheitshöhe eingehalten werden kann. Im Falle von Wellenschlag kommt es zum Wellenüberlauf, der ebenso zu einer Erosions- bzw. Infiltrationsbelastung und u.U. zu einem Versagen des Deichkörpers führen kann.

2.5.2 Fallbeispiel: Ursachen des Deichbruchs am rechtsseitigen Elbedeich bei Fischbeck

Bei dem am 10.06.2013 entstandenen Deichbruch des rechtsseitigen Elbedeichs bei Fischbeck (Deich-km 45+300) war die Ursache laut [LHW] eine Überströmung der Deichkrone bzw. der Aufkadung. Am Tag zuvor hatte man Rutschungen an der landseitigen und wasserseitigen Böschung beobachtet und infolgedessen ein Absacken der Deichkrone um mehrere Dezimeter bemerkt. Sicherungsmaßnahmen wurden eingeleitet und eine Deicherhöhung mit Sandsäcken erfolgte, wie auf der Abbildung 10 zu erkennen ist. Aufgrund der für weitere Aufkadungen fehlenden Deichkronenbreite (Aufstandsfläche), konnte keine ausreichend standsichere Deicherhöhung erzielt

werden und es kam zum Überströmen der Deichkrone. Unverzüglich erfolgte eine Erosion und das Versagen des Deichkörpers. Der Deichkörper an sich war nach fachkundlicher Meinung zum Zeitpunkt des Bruchs stabil. Die Abbildung 10 zeigt den Deichbruch von der Wasserseite in Fließrichtung ca. 18 h nach dem Deichbruch. [LHW]



Abbildung 10: Deichbruch bei Fischbeck, Junihochwasser 2013 [LHW]

3 Mittel und Kriterien zur Schließung eines Deichbruchs

3.1 Ausgangsmaterialien

Zur Schließung eines Deichbruchs kann man in der Regel fast alle Materialien verwenden. Im Großen und Ganzen beruht man sich aber auf folgende Ausgangsmaterialien:

- Sand
- Kies
- Stein
- Beton
- Holz
- Stahl
- Folien & Kunststoffgewebe
- Wasser
- Ton
- Abfall

Diese Ausgangsmaterialien werden nur im Einzelfall als loses Material oder als Einzelelement zur Deichschließung benutzt. Loses Material würde meist durch die hohe vorhandene Fließgeschwindigkeit in der Deichbresche einfach weggespült werden und muss daher in Kombination mit einem oder mehreren Ausgangsmaterialien gesichert und/oder abgedichtet werden. Wie die gebräuchlichsten Verschlussysteme und bestehenden Techniken zur Schließung eines Deichbruchs aufgebaut sind, ist Inhalt des Kapitels 4.1. Dieses veranschaulicht die in der Vergangenheit eingesetzten Schließungstechniken und deren spezifischen Aufbau.

Bei der Auswahl der Ausgangsmaterialien spielt vor allem die lokale Verfügbarkeit, der Flächenbedarf für Lagerung und die Verarbeitbarkeit ein Kriterium (siehe Kapitel 3.3). Größtenteils bezieht man sich auf natürliche Baustoffe, weil diese vor Ort vorhanden sind, den angreifenden Kräften Widerstand leisten können und auch keine weiteren Gefahren, wie eine Beeinträchtigung des Ökosystems, darstellen. Kunststoffe werden weitgehend zusammen mit Tonmaterial zu Abdichtungszwecken benötigt. [Joore]

3.2 Transportmöglichkeiten

Ein sehr wichtiges Kriterium bei der Auswahl der Verschlussysteme bilden die Transportmöglichkeiten. Abhängig von der lokalen Lage des Deichbruchs, kann die Schadensstelle nur auf begrenzten Transportwegen erreicht werden. Somit ist die Auswahl der einzusetzenden Materialien und Systeme stark von den gegebenen Transportkapazitäten beeinflusst. Im Allgemeinen unterscheidet man in die Transportwege zu Lande, zu Wasser und in der Luft. In der Regel werden diese jedoch, falls möglich, zwecks eines effizienteren Handelns miteinander kombiniert. Es gilt bezüglich Kapazitäten, Effizienz und Wirtschaftlichkeit die Rangfolge: Landtransport, Wassertransport und schließlich Hubschraubereinsatz.

3.2.1 Transport zu Land

Der Transport zu Land ist der wichtigste und einfachste Transportweg bei den Abwehrmaßnahmen einer Deichbruchschließung. Im Regelfall ist der Landtransport aber nur bedingt möglich. Solange noch kein Deichbruch eingetreten ist, dienen die landseitigen Bermen als Verteidigungswege. Kommt es jedoch zu einem Deichbruch, sind diese genauso wie das Hinterland und sonstige Wege überflutet. Die direkte Anfahrt der Schadensstelle von Land aus kann dann nur über die Deichkrone selbst erfolgen. Aber schon aufgrund der Geometrie der Deichkrone bzw. des Deichkörpers ist dies nicht für alle Fahrzeuge zulässig. Bedingt durch den Wassereinstau kommt es zum Durchweichen des Deichkörpers. Dies hat zur Folge, dass der Deichkörper einen Teil seiner Stabilität verliert und deshalb nicht mehr den aus der Bemessung definierten Druckbelastungen widerstehen kann. Sprich, bei einem zu starken Durchweichen kann der Deich nur eine bestimmte maximale Last aufnehmen und es kann daher zu gewichtsbedingten Einschränkungen bei den Fahrzeugen oder Geräten kommen. Außerdem können durch die zusätzliche Schwingungsbelastung der vibrierenden Geräte Erschütterungen des Deichkörpers ausgelöst werden. Demzufolge können die Schadstellen teilweise gefahrenlos mit dem PKW befahren oder zu Fuß für Sicherungsmaßnahmen betreten werden, obwohl das Befahren mit großen Gerätschaften zu kritisch ist. Ferner ist es möglich, dass der beschädigte Deichkörper zwar befahrbar ist, aber ein auf der Strecke befindlicher Part beeinträchtigt ist. In diesem Fall wird die Befahrbarkeit auf die der schwächsten Stelle begrenzt.

In der Regel können über den Landtransport alle Verschlussoptionen transportiert und verbaut werden. Die meisten der Schließungssysteme aus Kapitel 4.1 können teilweise nur eingeschränkt vom Land eingesetzt werden. Ein gutes Beispiel hierfür ist die wichtige Sicherung und der Verbau der beiden betroffenen Deichhäupter, zum Schutz vor einer weiteren Erosion, welcher nur von den beiden Landseiten verwirklicht werden kann. Daher gilt der Landweg als erste Wahl unter den Transportwegen, insbesondere in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit.

3.2.2 Transport zu Wasser

Wenn schon überall Wasser steht, warum erfolgt dann nicht der Verbau der Schließungsmaßnahmen von Wasser aus? Diese Frage stellen sich vielleicht viele, wenn es zu einem Deichbruch kommt. Allerdings ist der Sachverhalt überwiegend komplexer als gedacht. Nur unter bestimmten Randbedingungen ist es zulässig, einen Deichbruch vom Wasser aus zu verbauen. Je nach Art des Verbaus werden unterschiedliche Anforderungen gestellt. Muss mittels Wasserweg loses Material in die Schadensstelle geschüttet werden, bedingt dies andere Voraussetzungen als, wenn ein Lastkahn selbst Mittel zum Zweck wird und vor dem Deichbruch versenkt wird. Bei beiden Einsätzen muss jedoch ein hindernisfreier Wasserweg gewährleistet werden. Dies bezieht sich zum einen auf die topographische Lage und die Wassertiefe in bzw. an der Schadenstelle und zum anderen auch auf mögliche Hindernisse. Oftmals können mit dem Hochwasser mitgeführten Treibgüter oder sonstige behindernde Gegenstände (Bäume) einen wasserseitigen Einsatz verhindern. Genauso beeinträchtigend wirken sich eine relativ hohe Fließgeschwindigkeit und die komplexen Strömungsverhältnisse aus. Die Fließgeschwindigkeit ist dabei primär abhängig von der Deichbruchtiefe und dem Höhenunterschied der beiden Deichseiten. Mit jeder Veränderung und

weiteren Erosion der Deichbresche können sich die Strömungen in Sekundenschnelle dramatisch verändern. Eine planmäßige Fahrt bei einem Deichbruch ist daher nicht möglich und es sollten immer unerwartete Risiken mit eingerechnet werden. Außerdem können die, durch einen Schiffsmotor, erzeugten Schwingungen weitere Beschädigungen der Deichhäupter hervorrufen.

Besonders der Einsatz von Senkkästen oder Senkschiffen ist eine weltweit verbreitete Methode. Meist bedarf der wasserseitige Einsatz aber eine zusätzliche Fixierung oder Sicherung durch Anker/Ankerpfähle. Schwimmkörper, wie Pontons, ermöglichen einen Materialtransport übers Wasser und bieten Hilfestellung beim Manövrieren eines Senkkörpers.

3.2.3 Transport zu Luft

Der Transport zu Luft bedeutet, dass die Logistik mittels verfügbarer Helikopter abgewickelt wird. In Anbetracht der möglichen Hindernisse auf Land- und Wasserwegen ist der Lufttransport die effektivste Lösung, gäbe es keine Gewichtsbeschränkung eines Helikopters. Ein regulärer Hubschrauber in Deutschland kann im Normalfall nur maximal zwischen 9-13 t Nutzlast aufnehmen [Resio et al. 2011]. Angemerkt sei hierbei, dass ein BigBag von 1 m³ und einer Dichte von 2000 kg/m³ (nasser Sand) schon 2 t wiegt. Dementsprechend kann ein Hubschrauber nur loses Material, Sandsäcke, BigBags, Schläuche oder Senkkästen zu einer kompletten Bruchstellenschließung aufnehmen. Ab einem Deichbruch der Breschenweite von 1,5-4,5 m wird der Sandsackbedarf größer als die verfügbare Hubschraubertransportkapazität [Resio et al. 2011]. Im Allgemeinen erfolgt, wenn über den Landweg nicht möglich, jeglicher Materialtransport zum Abdichten der Verschlussysteme per Hubschrauber. Neben der relativ strengen Gewichtsbeschränkung existieren noch weitere Kriterien, die für den Einsatz von Hubschraubern zu erfüllen sind. Hierzu zählt das Errichten eines Hubschrauberlandeplatzes in der Nähe des Einsatzortes, welcher auf einem tragfähigen Boden gegründet werden muss [Clausnitzer et al.]. Der Hubschraubereinsatz ist zudem von Witterungsbedingungen abhängig: günstige Wetterlage, gute Sicht und geringe Windgeschwindigkeiten sind von Vorteil. Ein Korridor für den Hubschrauber sollte gewährt werden. Zu beachten ist, wenn mehrere Hubschrauber am Einsatz beteiligt sind, besteht ein erhöhtes Gefahrenrisiko, da sich die Hubschrauber den kleinen Bereich teilen und aufeinander achten müssen. Dies erfordert eine konkrete Planung. Ein weiteres Kriterium stellt die Deichsensibilität dar: Durch den Rotor eines Hubschraubers können so starke Luftströmungen, die als Abwind gegen die Deichoberflächen prallen, erzeugt werden, dass diese zur Instabilität und einem Zerstören des Deichkörpers führen können. Auch beim Abladen von transportierten Materialien ist Präzision der entscheidende Faktor. Wegen der Gefährdung des Deiches durch auftretende Erschütterungen dürfen die transportierten Ladungen nicht abgeworfen, sondern stets nur abgesetzt werden. Weiterhin sind auch die Auswirkungen durch möglichen Wellenschlag zu berücksichtigen. Abschließend ist anzumerken, dass der Hubschraubereinsatz generell ein sehr kostspieliges Einsatzmittel ist. [Joore]

3.2.4 Sonstige Transportwege

Die folgenden Transportmöglichkeiten werden eher selten bei den bekannten Deichschließungsmaßnahmen eingesetzt. Sie sollten aber, aufgrund ihres Potentials, für neue und innovative Konzepte nicht außer Betracht gelassen werden.

Druckleitung

Druckleitungen werden häufig zusätzlich zu einem gebräuchlichen Verschlusssystem eingesetzt, um loses Beschwerungsmaterial (wie Sand) an seinen Bestimmungsort zu transportieren. Würde man das lose Material einfach so in die Bruchstelle schütten, würde dies durch die starke Strömung bedingt weggespült werden. Nur wenn die Fließgeschwindigkeit weniger als 2 m/s beträgt, kann loses Material ohne die Gefahr des Wegspülens eingesetzt werden. Auch zum Auffüllen von Schläuchen mit Sand wird eine Druckleitung benötigt. Meist ist der Einsatz von Druckleitungen nicht kosteneffizient, weil der Sand zum Transport mit Wasser gemischt werden muss. Das Sandlager befindet sich dazu oft in größerer Distanz, die von der Druckleitung überwunden werden muss. Des Weiteren können Probleme durch einen vermeintlichen Druckabfall oder einer Rohrverstopfung ausgelöst werden.

Kran

Mittels eines Krans können beispielsweise BigBags, Schläuche, Blöcke oder Gabionen in eine Deichbruchöffnung gesetzt werden. Als Unterstützungspunkt eignet sich nur in den seltensten Fällen der Deichkörper selbst, da dieser aufgrund des Durchweichens keine Bodenstabilität mehr bietet. Alternativ kann der Kran auch auf einem Ponton befestigt werden, wenn es die Gegebenheiten zulassen. Der Vorteil beim Kran besteht darin, dass es sich hierbei um gebräuchliche Kräne handelt, die auch von vielen Baufirmen genutzt werden und deshalb meist schnell und direkt vor Ort verfügbar sind. Um solch einen Kran jedoch auf seine Position, egal ob auf oder neben dem Deich, zu lokalisieren, werden Rampen benötigt.

Seilbahn

Eine Seilbahn ermöglicht es, Sandsäcke, BigBags oder auch Blöcke in eine Deichbruchstelle zu werfen. Räumlich benötigt man hierzu: Platz zum Lagern des Materials, einen Hebemechanismus, mehrere Säulen/Stützpunkte für die Seilbahn und einen Wendepunkt. Die Säulen können auf schwimmenden Pontons gegründet werden, da die Installation auf dem Deich selbst, meist aufgrund des aufgeweichten Damms, nicht möglich sind. Zu deren Nachteil verläuft die Seilbahn nur in einer Linie über der Schadstelle und kann diese auch nur von dieser Linie aus befüllen. Da sich meist der Lagerplatz, die Materialien und weiteres Equipment in einer größeren Entfernung befinden, muss das Seil sehr lang sein. Der Hebemechanismus müsste mit einem schnellen Tempo das Material aufgreifen, um den Deichbruch schnellstmöglich zu schließen.

Förderband

Ein Förderband dient im Grunde zum Transport diverser Materialien und wäre daher ebenso für den Einwurf von Materialien in die Deichbruchstelle geeignet. Je nach Größe des Förderbandes könnten auch BigBags transportiert werden. Die Länge des Transportbandes ist jedoch der maßgebende Faktor für die Wirksamkeit des Systems. Wenn das Füllmaterial direkt von vor Ort stammt und nicht zwischendeponiert werden muss, bestehen größere Kapazitäten. Nur der Aufbau und das Grundgerüst für solch ein langes Förderband sind sehr schwierig und teuer.

3.3 Anforderungen an die Verschlusstechnik

Prinzipiell kann man nicht sagen, dass eine spezifische Verschlusstechnik (Kapitel 4.1) für alle Deichbruchfälle die perfekte Lösung bildet. Vielmehr ist das Verschlussystem abhängig von den lokalen Randbedingungen und erfordert immer einen individuellen Lösungsansatz. In allen Fällen werden jedoch spezifische Anforderungen an die Verschlusstechnik gestellt, die für alle Systeme gelten. Anhand derer lassen sich die unterschiedlichen Verschlussmethoden vergleichen und evaluieren. Besonders bei dem Entwickeln von innovativen Schließungsmethoden dienen diese Parameter als Stützpunkte, die man weitgehend berücksichtigen sollte. Im Folgenden werden die einzelnen Anforderungsparameter vorgestellt.

Stabilität

Die Stabilität des Schließungssystems während und nach der Ausführung ist das wichtigste Kriterium. Fehlende Stabilität kann zu einem außer Kontrolle geratenen Chaos führen. Dabei muss das System vor allem zwei kritische Bedingungen erfüllen: Es muss zum einen in der Lage sein, die Position zu halten bzw. nicht weggespült zu werden und zum anderen muss das Material den auswirkenden Kräften ohne strukturelle Schäden standhalten. Relativ hohe Fließgeschwindigkeiten, im Extremfall bis zu 6 m/s [Resio et al. 2011], erfordern eine hohe Widerstandsfähigkeit des Verschlussystems. Die dynamisch wirkenden Kräfte können auch größer als die eigentlichen statischen Kräfte ausfallen. Materialversagen aufgrund der ausgesetzten Kräfte sollte stets ausgeschlossen werden. Von System zu System kommen dabei unterschiedliche Verbundarten mit den jeweiligen Materialeigenschaften, wie die Biegesteifigkeit, zum Einsatz. Maßgebend für die gesamte Systemstabilität ist die Stabilität der Auflager, an denen die lokal wirkenden Kräfte übertragen werden. Dabei müssen die Kontaktstellen zu den verletzten Deichhäuptern so ausgebaut werden, dass der beschädigte Deich die zusätzlichen Kräfte problemlos aufnehmen kann. Die auf dem anzuschließenden Deich wirkenden Kräfte sind zu minimieren und die Qualität der Deichhäupter darf sich durch die zusätzliche Belastung nicht verschlechtern.

Wasserundurchlässigkeit

Ein Notverschluss muss in erster Linie wasserdicht sein, da es sonst keinen Sinn macht das System für die Deichschließung in Betracht zu ziehen. Kritische Stellen sind hierfür die Verbindungen mit dem Boden/ Bodenoberfläche und zu den beiden verletzten Deichhäuptern. Effektives Ziel ist grundsätzlich die Minimierung der möglichen Lücken zwischen Verschlussystem und dessen

Anschluss. Ansonsten können rasch hohe Strömungsgeschwindigkeiten entstehen, die Erosionen hinter sich ziehen. Da bei den meisten Verschlusstechniken das einzelne Hauptelement nicht zur Wasserundurchlässigkeit führen kann, wird im Regelfall die Dichtigkeit durch das zusätzliche Verfüllen mit Bodenmaterial oder Sandsäcken erzeugt. Außerdem sollte beachtet werden, dass sich die Bruchstelle erfahrungsgemäß im Verlauf des Schließungsprozesses in seiner Form verändert und so zusätzlich zu kritischen Stellen führen kann.

Zeitbedarf

Der Zeitfaktor ist ebenso einer der wichtigsten Kriterien bei der Auswahl des Verschlusssystems. Dabei gilt: Je schneller, desto besser. Das Deichbruch-Beispiel aus der 17th Street in New Orleans lässt erkennen, dass langsame Schließungssysteme sehr kostspielig sind. Die Zeit bis zum endgültigen Verschluss ist daher maßgebend für die eintretende Wassermenge und dementsprechendes Schadensausmaß. Zusätzlich steigt mit der Zeit auch die Erosionsgefahr an den beiden verletzten Deichhäuptern. Eine Bruchstelle kann sich um 3 -30 m/h vergrößern [Resio et al. 2011] und innerhalb weniger Stunden von einem kleinen Schaden zu einem irreparablen Schaden heran wachsen. Da besonders der Transport unter den gegebenen Bedingungen sehr zeitaufwändig ist, ist ein im näheren Umfeld verfügbares oder vorpositioniertes Reparatursystem lukrativer.

Wirtschaftlichkeit

In Zeiten der Not sind nicht die Kosten der maßgebende Parameter, sondern der wirtschaftliche Wert. Aus ökonomischer Sicht sollte daher immer abgeschätzt werden, ob sich der Einsatz von großen Maschinen und den damit verbundenen Kosten gegenüber dem potentiellen Schaden rechnet. Anzumerken sei, dass der Schutz von Menschenleben oberste Priorität hat. Da viele Städte und Betriebe auf erhöhtem Gelände gegründet wurden, sind bei einem glimpflichen Deichbruch oft nur Ackerland und Vieh der Überflutungsgefahr ausgesetzt. In solchen Fällen bezahlt sich eine Notverschließung aus ökonomischer Sicht oftmals nicht aus.

Verfügbarkeit

Eine effektive Verschlusstechnik muss innerhalb eines vordefinierten Zeitrahmens anwendbar sein. Dies erfordert, dass die Materialien und die Ausrüstung direkt vor Ort zur Verfügung stehen oder in binnen kürzester Zeit geliefert werden können. Der Optimalfall wäre, wenn die Materialien aus dem unmittelbaren Umfeld entnommen werden könnten. Loses Bodenmaterial bzw. Sand ist generell überall verfügbar.

Verarbeitbarkeit

Bei diesem Kriterium wird überprüft, ob besonders knifflige Maßnahmen für die Arbeit der Schließungsmethode notwendig sind. Die weniger aufwendigen Methoden sind selbstverständlich den aufwendigeren vorzuziehen. Meist besitzen die aufwendigeren Systeme ein hohes Maß an Komplexität. Denn je komplexer ein System ist, desto anfälliger wird es für Fehler und umso

schwieriger sind folglich auch die Reparaturen. Daher sollte das System so einfach und aus so wenigen Komponenten wie möglich bestehen.

Platzbedarf

Viele der Methoden erfordern einen Lagerplatz bzw. Umschlageplatz für das notwendige Material, der im Idealfall in unmittelbarer Nähe zu dem Deichbruch sein sollte. Diese Räumlichkeiten sind jedoch in den meisten Fällen nur sehr begrenzt gegeben. Die Anforderungen an den Platzbedarf variieren mengenmäßig mit der Verschlusstechnik und örtlich von der gewählten Transportart. Ist keine nutzbare Fläche im unmittelbaren Umfeld zur Deichbresche vorhanden, muss man die Schließungsmaßnahmen demzufolge danach richten.

Potentielle Weiternutzung

Des Weiteren sollte abschließend die potentielle Weiternutzbarkeit eines Systems nicht außer Betracht gezogen werden. Spätestens, wenn das Hochwasserereignis vorüber ist, muss der provisorische Verbau in eine endgültige Lösung umgewandelt werden. Wenn das Notschließungssystem weiterhin auch nach dem Hochwasser genutzt werden kann, erspart dies viele Kosten und viel Arbeit. Oftmals bringen die provisorischen Maßnahmen jedoch Verschmutzungen oder auch Umweltbelastungen mit sich, die es nach dem Geschehnis zu beheben gilt.

4 Maßnahmen zur Schließung von Deichbrüchen

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den Maßnahmen, die im Falle eines Deichbruchs, zur Schließung beitragen können. Im Sinne des Hochwasserschutzes ist es elementar wichtig, konkrete Handlungsempfehlungen für den Notfall im Voraus festgelegt zu haben. Dies gilt auch für den Fall eines Deichbruchs. Um größere Schäden vorzubeugen, ist es somit erforderlich, sich für den Fall eines Deichbruchs mit erfolgsversprechenden Handlungsempfehlungen bzw. Schließungsmethoden auseinander zu setzen. Daher dient diese Arbeit dem Überblick über die gebräuchlichsten und innovativsten Lösungsmethoden aus der ganzen Welt. Aufbauend, auf die in Kapitel 3 erläuterten Grenzen durch Material- und Transportmöglichkeiten sowie den Anforderungen, werden die einzelnen Verschlussmethoden attribuiert. Ergänzend werden in Kapitel 4.2 zwei sehr unterschiedliche praktische Beispiele einer erfolgreichen Deichbruchschließung aufgegriffen, um die theoretischen Maßnahmenkonzepte zu unterlegen.

4.1 Herkömmliche Verschlusssysteme

In der Praxis kommen bei einer Deichbruchschließung weltweit gesehen sehr unterschiedliche Verschlusssysteme zum Einsatz. Prinzipiell kann man jedoch sagen, dass es nicht die eine perfekte Lösung gibt, da sich die Randbedingungen von Fall zu Fall unterscheiden und ein Deichbruch immer individuell betrachtet werden sollte. Demnach wird im Folgenden ein Überblick über die herkömmlichen Verschlussmaßnahmen gegeben.

4.1.1 Verschlussoptionen für Bruchtiefe ≤ 2 m

Bei kleinen Deichbrüchen bis zu einer Wassertiefe von maximal 2 m ist das Verschließen mittel Sandsäcken, Holzpfählen und Faschinen möglich. Dies ist eine sehr alte Methode, die ausführlich im Buch „Hochwasserschutz in der DDR“ [Clausnitzer et al.] erklärt ist. Im Folgenden wird der Ablauf der Verbaumaßnahme geschildert.

Als Erstes sollten die beiden erosionsgefährdeten Seiten der verletzten Deichhäupter gesichert werden. Diese Absicherung erfolgt durch Einschlagen von Pfählen um das Deichhaupt sowie das Verfüllen des Zwischenraums zwischen Pfahlreihe und Deichhaupt. Die Schließung der Bruchstelle erfolgt durch mehrere bogenförmig zur Wasserseite hin eingerammte Pfahlreihen. Normalerweise werden die Pfähle ca. 0,6–1 m in den Untergrund eingerammt. Falls die Wassertiefe weniger als 1 m beträgt, können diese Arbeiten auch in Wattanzügen ausgeführt werden. Hierbei müssen die Arbeiter mit Sicherheitsgurten und Halteleinen gesichert werden. Falls die Wassertiefe mehr als 1 m beträgt, sollte wasserseitig von der Bruchstelle eine Arbeitsbrücke sowie eine Arbeitsbühne gebaut werden. Dies kann beispielsweise aus Kähnen, Pontons oder anderen Schwimmkörpern erfolgen. Die Schwimmkörper sollten zur Wasserseite mit einem Anker gesichert werden. Die Arbeitsbrücke kann aus starken Bohlen hergestellt werden und lagert auf dem Heck des Schwimmkörpers. Von der Arbeitsbühne werden schließlich die Pfahlschlagarbeiten ausgeführt. Sobald die Pfahlreihen eingerammt sind, beginnt der Verbau mit Sandsäcken und Faschinen. Beidseitig werden in allen Pfahlreihen quer zur Durchbruchstelle Faschinen eingelegt. Diese werden durch Draht an den Pfählen

befestigt, um sie gegen ein Aufschwimmen zu sichern. Direkt hinter den Faschinenreihen werden in vier bis fünf Reihen Sandsäcke verbaut.

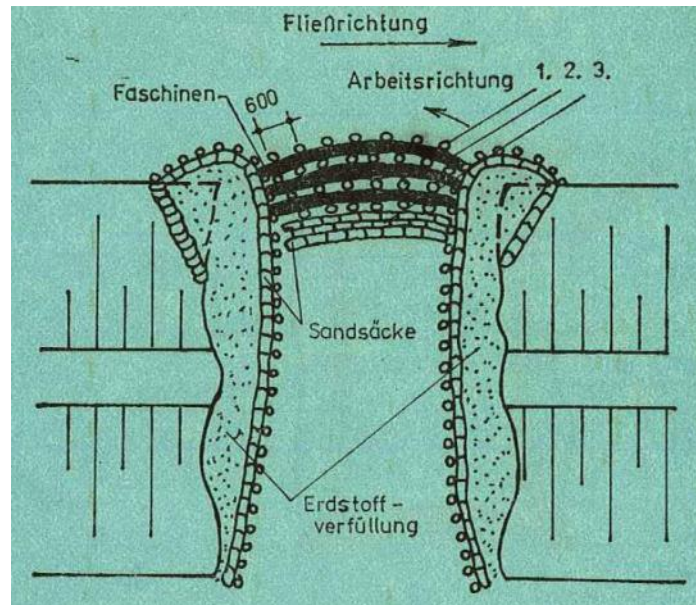


Abbildung 11: Schließung eines kleinen Deichbruchs [Clausnitzer et al.]

Anzumerken sei, dass im Falle einer zu starken Strömung auch wasserseitig Sandsäcke verlegt werden soll, um die Strömung abzuschwächen.

4.1.2 Sandsackverbau

Sandsäcke sind das wichtigste Arbeitsinstrument bei der Hochwasserabwehr schlecht hin. Aber auch bei den Schließungsmaßnahmen kommt der Sandsack fast immer zum Einsatz. Bei kleinen Deichbrüchen kann einzig ein Sandsackverbau die Bruchstelle verschließen. Bei den größeren Deichbrüchen verwendet man den Sandsack zum Beschweren und/oder zum Abdichten möglicher Zwischenräume. Bei größeren Deichbrüchen hingegen entwickeln sich höhere Fließgeschwindigkeiten, denen der Sandsack nicht standhalten kann und deshalb mit der Strömung mitgerissen wird. Ab einer geschätzten Strömungsgeschwindigkeit von 1,5-2 m/s besteht die Gefahr des Wegspülens. Daher müssen Sandsäcke bei größeren Deichbrüchen gegen das Wegspülen durch andere Elemente gesichert werden. Hierzu eignen sich beispielsweise Schwimmbäume, Pfähle, Gabionen, Strommasten etc. Alternativ können auch größere Säcke, sogenannte Bigbags benutzt werden. Die Verwendung von BigBags ist präziser in Kapitel 4.1.3 beschrieben.

Der Einsatz von Sandsäcken ist simpel und bedingt keinen spezifischen Anforderungen. Das Material ist überall direkt vor Ort verfügbar und kann mit Hilfe von Bürgern und Bürgerinnen befüllt werden. Wobei die Unterstützung durch die Bevölkerung beim Befüllen und Verlegen von Sandsäcken bedingt durch den hohen Arbeitsaufwand auch notwendig ist. Abbildung 12 zeigt Bürger beim Befüllen von Sandsäcken in Kammern 2013.



Abbildung 12: Befüllen von Sandsäcken durch freiwillige Bürger [1]

Das Füllen der Sandsäcke erfolgt entweder an der Sandentnahmestelle oder direkt vor Ort. In der Deichverteidigung gibt es klare Regeln für das Befüllen und Verlegen von Sandsäcken. Befüllt werden die Säcke nur bis zu zwei Drittel und dann umgeschlagen. Denn ein sicherer Sandsackverbau kann nur gewährleistet werden, wenn die Sandsäcke zum einen aus gleichem Material bestehen und zum anderen auch die gleiche Größe haben. Die Verlegemethoden weichen von Einsatz zu Einsatz ab, gleich ist jedoch, dass der umgeschlagene Teil des Sandsackes durch die Eigenmasse des Sandsackes zur Unterseite gedrückt wird und hierdurch ein Ausspülen des Sandes verhindert wird. Falls die Sandsäcke nicht aufgekadet, sondern per Hubschrauber in die Bruchstelle abgesetzt werden, gelten andere Prioritäten. Da die Sandsäcke bei einem Einwurf nicht kontrolliert platziert werden können, kann keine regelmäßige Aufkadung entstehen. Daher ist es besonders wichtig, dass der Sand nicht aus dem Sandsack ausgewaschen wird. Um ein Materialauswasch zu verhindern, werden diese nach dem Befüllen an der Spitze zusammen genäht.

Als Weiterentwicklung könnte man aber auch die Sandsäcke anstelle des reinen Sandes mit einer Mischung aus Sand und Superabsorber befüllen. Durch ihre hohe Wasseraufsauge-Kapazität (bis zum 1000-fachen seines Eigengewichtes) kann der Superabsorber eine sehr hohe Dichte erzielen.

4.1.3 Verfüllen mit losem Bodenmaterial, BigBags, Blöcke und Gabionen

Das Verfüllen einer Deichbruchstelle mit unterschiedlichen Materialien ist eine einfache und sehr kostengünstige Verschlussoption. Die im Folgenden erläuterten Verfüllvarianten bedienen sich Materialien, die ein Wasserbauer aus der Hochwasserverteidigung oder dem Verbau von Ufer- und Sohleinfassungen kennt. Im Allgemeinen werden die Verfüllmaterialien per LKW transportiert und mittels Helikopter, Bagger oder Transportschiff verladen. Überwiegend wird das Verfüllen einer Deichbruchstelle mit Bodenmaterial, Sand und weiteren Materialien als Ergänzung von anderen Schließungsvarianten angewandt [Ciria C731].

Loses Bodenmaterial

Die einfachste Methode einen Deichbruch zu verschließen, ist lockeres Bodenmaterial in die Bruchstelle zu schütten. Loses Bodenmaterial ist überall vor Ort verfügbar und bedarf keines langen Transportweges. Außerdem ist es leicht zu handhaben, da das Einschütten keiner Präzision bedarf und eine sehr kostengünstige Variante darstellt. Es scheint, als wäre das Verfüllen mit losem Bodenmaterial eine einfache und effiziente Schließungsmaßnahme. Leider trifft diese Aussage nur auf Deichbrüche mit einer maximalen Strömungsgeschwindigkeit von 2 m/s zu [Joore]. Bei höheren Fließgeschwindigkeiten wird das lose Material durch die Strömungskraft abgetragen und weggespült. Es kann somit keine effiziente Schließung erfolgen, da das Material immer wieder erodiert. Beträgt die Fließgeschwindigkeit im Deichbruch jedoch einen kleineren Wert als 2 m/s, kann ein Deichbruch mittels Verfüllen mit Bodenmaterial geschlossen werden. Im Großen und Ganzen greift man hierbei auf Sand, Kies oder Ton zurück. Das lose Material kann durch unterschiedliche Wege in die Deichbruchstelle geführt werden. Unproblematischster Weg ist es, das Material direkt mit dem Transport-LKW von beiden Deichhäuptern in die Bruchstelle zu schütten. Meist ist jedoch mindestens eine Teilstrecke des Deiches nicht mit Fahrzeugen befahrbar. In solch einem Fall kann das Material mit Planiertrauben herangeschoben werden (siehe Abbildung 13). Sobald die benötigte Menge an Material vorhanden ist, beginnt, gleichzeitig von beiden Seiten aus, das Verfüllen der Bruchstelle.

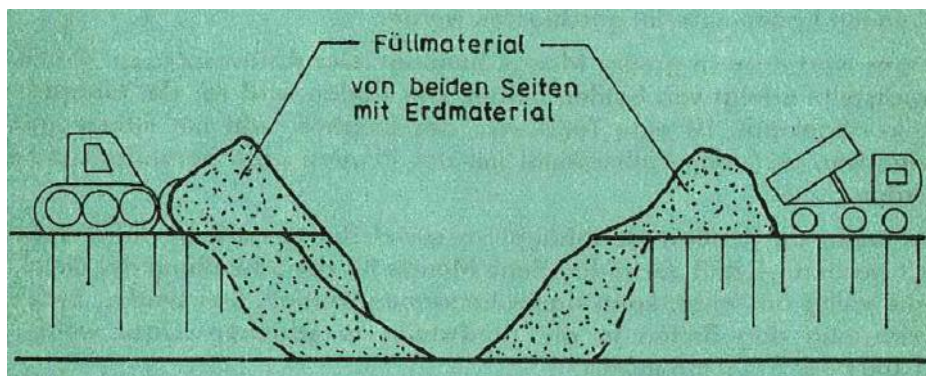


Abbildung 13: Schließung eines Deichbruchs durch Verfüllen mit Boden [Clausnitzer et al.]

Abbildung 13 demonstriert, wie solche eine Verfüllung aussehen könnte. Die Verfüllung sollte schnellst möglich erfolgen, denn je länger der Prozess dauert, desto höher steigt die Gefahr des Materialabtrages. Wenn eine Befüllung von beiden Seiten der Bruchstelle möglich ist, sollte dies in jedem Fall beidseitig vonstattengehen. Der Verfüllungsprozess kann auch durch Pipelines oder von Transportschiffen aus erfolgen.

Um das Wegspülen des Verfüllmaterials zu verhindern oder zu vermindern, kann mit Hilfe von Stahlrohren ein Vorlauf erzeugt werden. Die Stahlrohre sollten dabei vor der Schließung der Bruchstelle rechtwinklig zur Bruchstelle im Abstand von 1 m verlegt werden (siehe Abbildung 14). „Hochwasserschutz in der DDR“ [Clausnitzer et al.] ergänzt, dass die Stahlrohre entsprechend der Durchflussmenge gewählt werden und mindestens 4 m länger sein sollten, als der Deichfuß breit ist. Erst nach der Verdichtung der Deichbruchstelle erfolgt das Verschließen der Rohre.

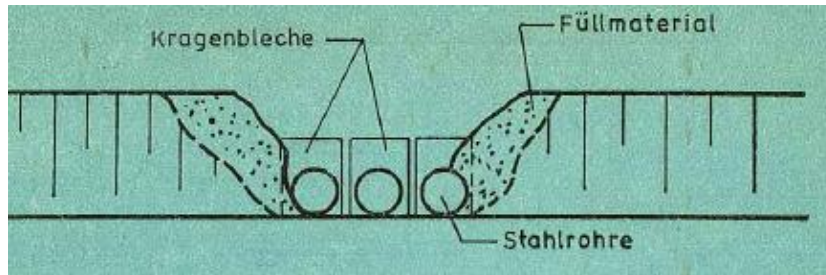


Abbildung 14: Einbau von Stahlrohren zum Schutz des Wegspülens [Clausnitzer et al.]

Außerdem wird loses Bodenmaterial sehr oft in der Ergänzung zu anderen Verschlussmethoden eingesetzt. Viele der im weiteren Verlauf dieser Arbeit erläuterten Schließungsmethoden führen einzeln nicht zu einem kompletten Verschluss. Meist entstehen formbedingt Hohlräume in den Abwehrkonstruktionen, die es mit losen Materialien aufzufüllen gilt. Eine durchaus erfolgreiche kombinierte Variante ist beispielsweise das Verfüllen und Absenken von Senkschiffen (Kapitel 4.1.4) oder Senkkästen (Kapitel 4.1.5).

BigBags

BigBag ist die englische Bezeichnung für einen großen Sack und beschreibt einen flexiblen Schüttgutcontainer. Es gibt viele verschiedene Arten an Säcken, die für die Zwecke des Hochwasserschutzes eingesetzt werden können. Aber im Standardfall greift man auf den BigBag mit einem Volumen von 1000 l zurück. Weltweit verglichen kommen jedoch auch Kunststoffsäcke in sehr unterschiedlichen Größen zum Einsatz. Wichtigstes Kriterium für alle Arten von Säcken ist, dass das Material stark genug ist, um das Füllmaterial zu halten. Scharfe Kanten könnten das Material des BigBags eventuell beschädigen und sollten aus diesem Grund vermieden werden. Der BigBag besteht daher aus einem stabilen Kunststoffgewebe, an dem zur offenen Seite hin mehrere stabile Schlaufen zwecks Befüllung und Transports angenäht sind. (siehe Abbildung 15). Befüllt werden die BigBags zumeist mit Sand, Sandsäcken oder Kies, wobei sich auch andere Materialien, wie beispielsweise Ton, Stein oder Abfall hierfür eignen. Das Füllmaterial wird durch das Kunststoffgewebe gegen ein Wegwaschen geschützt. Transportiert werden BigBags, je nach Art der Verwendung, mittels Helikopter, Gabelstapler oder auch mit einem Kran. Verwendung finden sie im Hochwasserschutz, wie etwa bei der Deichverteidigung, Deichbruchschließung oder als mobiles Hochwasserschutzsystem. Bei den regulären Deichverteidigungsmaßnahmen reicht im Regelfall, falls die zu verteidigenden Stellen befahrbar sind, ein Gabelstapler aus.



Abbildung 15: Gefüllte BigBags bei dem Junihochwasser von 2013 in Kammern [1]

Bei den Schließungsmaßnahmen eines Deichbruchs wird jedoch zwingend ein Helikopter benötigt, der die BigBags an den benötigten, überfluteten Stellen abwerfen bzw. absetzen kann. Ein Abwerfen aus zu hoher Flughöhe verursacht Erschütterungen und kann zu weiteren Deichverletzungen führen. Daher sollten die BigBags so nah wie möglich am Boden abgesetzt werden. Bedingt durch die beschränkte Traglastkapazität der Helikopter, kann je Flug nur ein gefüllter BigBag transportiert werden, sprich 1 m^3 Sandfüllung oder etwa 120 Sandsäcke. Bei großen Deichbreschen oder geringer Anzahl an verfügbaren Hubschraubern ist dies allerdings eine zeitintensive Schließungsmethode.

Als Beispiel für die Zeitintensität einer Deichbruchschließung mittels BigBags-Verbau dient die Flutkatastrophe durch den Deichbruch in der 17th Street Kanal in New Orleans 2005. Damals sah man, bedingt durch die örtlichen Randbedingungen, keine andere Lösung, als den Deichbruch mittels Großsandsäcken zu verschließen. Die Abbildung 16 zeigt das Absetzen eines Großsandsackes mittels eines Militärhelikopters in die Deichbruchstelle bei der 17th Street Kanal. Da sich diese Methode auf viele Tage erstreckte und der Wasserstand selbst noch nach dem Hurrikan anhielt, flossen gewaltige Wassermassen durch den Deichbruch in das Hinterland. Die Methode war somit gescheitert, da der Sandsackverbau erst wirkte, als keine zusätzlichen Wassermassen mehr in das Hinterland flossen. [Resio et al. 2011]



Abbildung 16: Absetzen von BigBags im Deichbruch 17th Street New Orleans (2005) [2]

Eine andere nennenswerte Verwendung findet der BigBag mittlerweile im Bereich des mobilen Hochwasserschutzes als Ersatz von Sandsackpyramiden. Viele Unternehmen werben mit den Vorteilen von BigBags. Mobile Hochwasserschutzmauern aus BigBags benötigen eine geringere Aufstandsfläche als Sandsackpyramiden, sind von wenigen Helfern in kürzester Zeit aufzubauen, sind stabiler und sehr preiswert.

Stein- und Betonblöcke

Anstelle einer Verfüllung der Deichbruchstelle mit losem Bodenmaterial können ebenso Steine oder Ähnliches eingesetzt werden. Folglich ergibt sich jedoch auch hier wieder die Problematik des strömungsbedingten Wegspülens. Zu kleine und leichte Steine werden ab einer spezifischen Fließgeschwindigkeit von der Strömung abgetragen und mitgerissen. Aus diesem Grund bezieht sich dieser Absatz nur auf größere Stein- bzw. Betonblöcke, die aufgrund ihrer Größe einer höheren Fließgeschwindigkeit widerstehen können.

Im Allgemeinen werden Blöcke zwecks Hochwasserschutzes entweder aus Beton oder Stein hergestellt. Ressourcenbedingt wird vielerorts, wie beispielsweise in den Niederlanden, aber auf Beton zurückgegriffen. Ursprünglich findet die Blockbauweise im Hochwasserschutz Verwendung beim Verbau von Ufermauern oder Sohlen. Gleichwohl können die Stein- und Betonblöcke aber auch zum Verfüllen einer Deichbruchstelle und ergo als Schließungsmethode verwendet werden. Ein entscheidendes Manko ist jedoch, dass die Blöcke in Vorproduktion hergestellt werden und deshalb auch eine zwischenzeitliche Lagerung bedingen. Es bedarf daher einer großen und im näheren

Umfeld verfügbaren Lagerfläche. Auch die Platzierung der Blöcke in der Deichbresche kann nicht exakt erfolgen, was eine wasserdichte Schließung unmöglich macht. Durch noch so kleine Lücken zwischen den Blöcken können sich starke Strömungen entwickeln, die zu Auswaschungen führen. Demnach muss der Blockstapel zusätzlich durch Folien oder dem Auftragen von Tonschichten abgedichtet werden. An den Anschlussstellen zu den verletzten Deichhäuptern sind ebenfalls weitere Abdichtungsmaßnahmen zu treffen. Falls es doch zu einer Materialauswaschung kommt, ist die Stabilität des gesamten Stapels gefährdet.

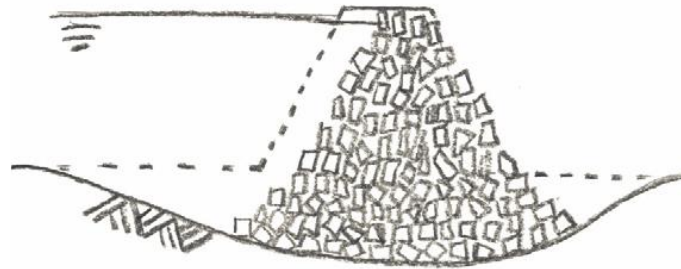


Abbildung 17: Gestapelte Steinblöcke innerhalb einer Deichbresche [Joore]

Gabionen

Gabionen sind Drahtnetzkörbe aus verzinktem oder rostfreiem Stahl und können mit unterschiedlichen Materialien befüllt werden. Im eigentlichen Sinn werden die Drahtnetzkörbe mit Schuttsteinen oder Schotter gefüllt und im Hochwasserschutz zur Böschungs-, Ufer- und Sohlsicherung verwendet. Durch ihre naturnahe Gestaltungsmöglichkeit finden sie ebenso Einsatz in Deichaufbauten oder anderen Wasserbauwerken. Sie wirken nach dem Prinzip der Schwergewichtsmauern und benötigen daher kein besonderes Fundament (siehe Abbildung 18). Außerdem sind sie funktional, nachhaltig, naturfreundlich, witterungsbeständig und in nahezu jeder Umgebung zu installieren. Die Größe der Netze (Fenster) variiert mit den Füllstoffen.



Abbildung 18: In-Situ hergestellte Gabionen auf trockenem Land [Joore]

Parallel zu den Steinblöcken können auch Gabionen ihres eigentlichen Zweckes entwendet und für eine Deichbruchschließung eingesetzt werden. Da die Drahtkörbe mit unterschiedlichen Materialien verfüllt werden können, ist ihre Herstellung simpel und mit geringen Materialkosten verbunden. Beachtet werden sollte jedoch, dass die Bodenfläche der Deichbresche und die Kontaktflächen zu

den beiden noch intakten restlichen Deichhäuptern sehr unregelmäßig sein können und sich sogar im Laufe des Schließungsprozesses verändern könnten. Somit können die Gabionen nicht gleichmäßig wie auf trockenem Boden, wie in der Abbildung 18 zu sehen ist, errichtet werden und müssen an den kritischen Anschlussstellen zusätzlich verfüllt werden. Eine zu starke Strömungsgeschwindigkeit in der Deichbresche erschwert das richtige Platzieren und kann bis zur Instabilität der gestapelten Gabionen führen. Sie finden daher eine bevorzugte Anwendung bei flachen Deichbrüchen. Größter Nachteil der Gabionen ist die Wasserdurchlässigkeit durch die Netzlöcher. Um die Wasserwege und die damit verbundene Erosion zu unterbinden, sollten die Netzlöcher mit Füllmaterial gefüllt werden. Wesentliche Schwachstelle bildet dann lediglich der erosionsgefährdete Bereich unterhalb des Gabionenstapels. In Bezug zur Weiternutzbarkeit als endgültige Schließungsmethode eignen sich die Gabionen als gute Stützkörper, welche jedoch der Oxidationsgefahr des Stahls ausgesetzt sind.

4.1.4 Einsatz von Senkschiffen

Der Begriff Senkschiff steht in diesem Zusammenhang für Schiffe mit und ohne eigenen Antrieb, die an einer bestimmten Örtlichkeit versenkt werden. Worunter Frachtschiffe genauso wie Schleppkähne fallen. Ein Schleppkahn, auch unter dem Begriff Lastkahn, Schleppschiff oder Schute bekannt, dient zum Transport von Gütern und muss von einem selbst angetriebenen Schiff geschleppt werden. Demnach müssen Schleppkähne entweder gezogen oder geschoben werden. Für den Einsatz bei der Deichbruchschließung kommen alle möglichen Arten von Senkschiffen in Frage. Falls mehrere potentielle Senkschiffe in näherer Umgebung zur Deichbruchstelle vorhanden sind, gelten die wirtschaftlichen Aspekte.

Neben der Verfügbarkeit von Schiffen oder Schleppkähnen bedingt diese Schließungsmethode noch weitere Kriterien: Zum einen muss die Deichbruchstelle über Wasserwege befahrbar sein, sprich eine ausreichende Wassertiefe nachweisen und der Fahrweg darf nicht durch Bäume oder andere Gegenständen gestört werden (vergleiche Kapitel 3.2.2). Zum anderen bedingt es der Manövrierbarkeit bei unkontrollierten Strömungsverhältnissen. Die starken Strömungen machen das Manövrieren im Hochwasserabfluss gefährlich und könnten somit auch zu weiteren Beschädigungen an der Bruchstelle führen. Außerdem sollte das zu versenkende Schiff wesentlich länger als die Bruchstelle sein, oder mehrere Schiffe kommen zum Einsatz.

Herkömmlicherweise werden die zur Verfügung stehenden ausgedienten Schiffe oder Lastkähne flussaufwärts in die Bruchstelle eingefahren und dann mit der Fließrichtung treiben gelassen (Abbildung 19). Handelt es sich um ein selbst angetriebenes Frachtschiff, kann es auch alleine in die Bruchstelle fahren.

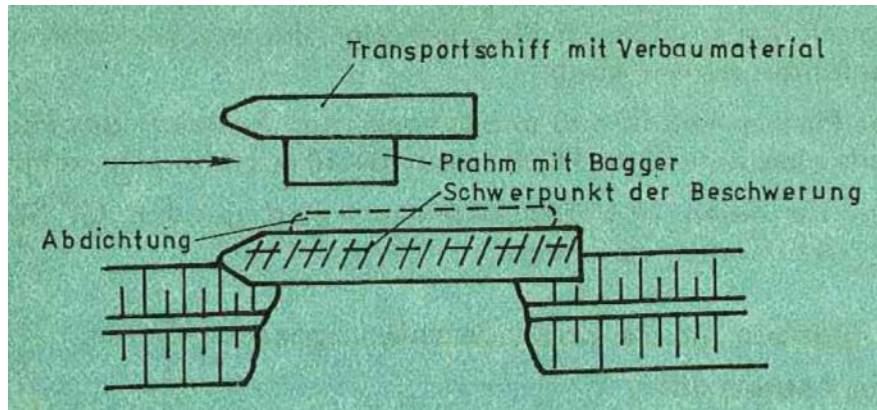


Abbildung 19: Systematik der Abdichtung durch Senkschiffe [Clausnitzer et al.]

Durch ein Transportschiff, geladen mit dem zu verfüllenden Baumaterial und einem Bagger auf der Prahm, wird Verbaumaterial in das zu versenkende Schiff eingefüllt. Anstelle des Transportschiffes können auch Hubschrauber zum Verfüllen des Schwimmkörpers benutzt werden. Ausschlaggebend ist jedoch, dass das Einfüllen mit einem einseitigen Beschweren zur Wasserseite erfolgt (siehe Abbildung 19). Das Prinzip der Beschwerung erfolgt mittels Sandsack, BigBags, loseem Material und Ähnlichem. Manchmal werden auch Sprengungen eingesetzt, um den Schwimmkörper rapider abzusenken. Nach dem Versenken sollten Strömungslöcher durch Auftragen von Bodenmaterial abgedichtet werden.

Ein vorbildliches Beispiel ist, die neben der Deichschließung bei Fischbeck (explizit erläutert in Kapitel 4.2.1), die Deichschließung bei Nieuwerkerk aan den IJssel: In der Nacht vom 31. Januar 1953 auf den 1. Februar wurde Niederlande und seine Bewohner von einer sehr mächtigen Sturmflut überrascht, welche viele Menschenleben forderte. Als der Deich bei Nieuwerkerk aan den IJssel, der tiefste Punkt in den Niederlanden, brach, kommandierte ein beherzter Fischer sofort ein nah gelegenes Frachtschiff und Skipper, um dieses in die Bruststelle zu manövrieren und abzusenken. Ihm ist es somit zu verdanken, dass die zwei bis drei Millionen Menschen gerettet wurden und ein größeres Desaster ausblieb. [Gerritsen]



Abbildung 20: Versenktes Schiff bei Nieuwerkerk aan den IJssel 1953 [Gerritsen]

Das Foto in Abbildung 20 zeigt das erfolgreiche Schließen der Deichbruchlücke. Auch hier wurden die verbleibenden Lücken mit Sandsäcken oder körnigem Material verfüllt und mit Planen abgedichtet.

4.1.5 Einsatz von Senkkästen

Der Einsatz von Senkkästen beruht auf den gleichen Prinzipien wie bei den Senkschiffen. Bei den Senkkästen (französisch auch Caisson) handelt es sich jedoch um einen nach unten offenen und absenkbaren Kasten aus Stahl oder Stahlbeton. Seine eigentliche Verwendung findet er bei Gründungsarbeiten unter Wasser. Der Senkkasten wird in der Regel an Land erbaut und danach an die erforderliche Stelle auf dem Wasser geschleppt und versenkt. Nachteilig ist, dass die Produktion der Senkkästen im Voraus erfolgt und sie nicht selbst gefahren werden können. Daher werden Schiffe oder Hilfskonstruktionen (wie Anker und Winden) benötigt, um die Senkkästen an die gewünschten Stellen zu manövrieren. Um eine effiziente Abdichtung zu erzielen, sollten die Senkkästen wie die Senkschiffe wesentlich länger als die Bruchstelle sein. Die nach dem Versenken noch vorhandenen Löcher werden mittels Spundwand oder Sandsäcken gefüllt. Durch seine Form bedingt, kann er sich nicht an die sehr variierende Form der Deichbrüche anpassen und es entsteht die Gefahr einer Unterspülung. Mittels zusätzlichen Matten kann eine solche unebene Bodenoberfläche für den Senkkasten angepasst werden. Letztendlich wird jedoch für den Transport und die Platzierung sehr viel Zeit benötigt.



Abbildung 21: Deichschließung durch einen Senkkasten nahe Oudenhorn 26Februar 1953 [Förster]

Auf Abbildung 21 ist das Schließen des Deichbruchs bei Oudenhorn während der Holland-Sturmflut 1953 zu erkennen. Desgleichen verdeutlicht das Foto den mit den Senkkästen verbundenen hohen Aufwand.

Alternativ können anstelle der Senkkästen auch Container benutzt werden. Um die Stabilität des Containers zu gewährleisten, müssen diese mit Füllmaterial beschwert werden. Und aufgrund der relativ geringen Abmessungen wird eine große Menge an Container benötigt, welche im Idealfall miteinander verbunden werden.

4.1.6 Spundwandverbau

Spundwände können sowohl aus Beton, Holz oder auch aus Stahl hergestellt werden, wobei Letzteres die verbreitete Variante ist. Festigkeit und Haltbarkeit von Stahl (bzw. Beton) kann während des Herstellungsverfahrens wesentlich besser kontrolliert werden als von Holz. Der Vorteil besteht darin, dass Spundwände wiederverwendet werden können und sie deshalb in der Regel gelagert werden, sprich an vielen Orten verfügbar sind. Spundwände können außerdem ungleiche Böden sowie ungleiche Deichbruchseiten ausgleichen, da diese direkt in den Boden und Deichkörper eingeschlagen werden. Im Vergleich zu den anderen Verschlussoptionen ist dies eine große Bereicherung. Dazu sind Spundwände nach dem Verschließen komplett wasserdicht und durch ihre lange Lebensdauer wirtschaftlich. Dennoch kann es bei unzureichender Steifigkeit der Spundwand zu Verformungen bzw. Verspannungen kommen. Aus diesen Verspannungen resultiert ein gegenseitiges Verschieben der miteinander verschlossenen Spundwände, sowie ein Entstehen von einzelnen Lücken zwischen den Spundwänden, welche jedoch durch das Aufbringen einer Folie zu minimieren sind.

Das Manko des Spundwandverbbaus liegt jedoch bei seiner Installation. Der Einbau erfolgt durch das Einrammen der einzelnen Spundwände in den Boden. Hierbei entstehen einerseits gefährliche Schwingungen, welche die Stabilität des Deiches gefährden könnten und andererseits fehlen meist aufgrund fehlender Befahrbarkeit der Bruchstelle die Transportwege. Das Einrammverfahren scheitert daher oft an einer zu geringen Deichreststabilität.

Ein Beispiel für den Einsatz von Spundwänden zum Verschließen von Deichbrüchen zeigt Abbildung 22 von Fischbeck. Wie im späteren Verlauf dieser Arbeit (siehe Kapitel 4.2.1) beschrieben, erfolgte der Verbau mit Spundwänden auch hier erst, nachdem andere Maßnahmen zur Reduzierung des Durchflusses und zur Sicherung der Bruchstelle getroffen wurden.



Abbildung 22: Provisorische Spundwand nach dem Deichbruch 2013 in Fischbeck [3]

4.1.7 Notdeich

Für den Fall, dass, es nicht möglich ist den Deichbruch an der Bruchstelle provisorisch zu schließen, besteht noch die Möglichkeit des Errichtens eines Notdeiches. Ein Notdeich ist charakterisiert durch die Errichtung einer zweiten Verteidigungslinie außerhalb der Bruchstelle. Die Platzwahl der zweiten Verteidigungslinie erfolgt systematisch angepasst an die örtlichen Gegebenheiten. Meist eignen sich hierfür erhöhte Geländelinien, die durch ihre bauliche Gestaltung eine Grundbasis für einen Notdeich bilden. Straßen- und Bahnlinien liegen meist erhöht im Geländerelev und stellen damit eine potentielle Standortlinie für einen Notdeich dar. Alternativ können für das Hochziehen auch mobile Hochwasserschutzelemente verwendet werden. In der Regel kommen für den Aufbau Sandsäcke und verfügbares Bodenmaterial in Betracht. Das nichtbindige Bodenmaterial, wie Sand und Kies, wird zwecks der Wasserundurchlässigkeit mit einer wasserdichten Geotextilfolie abgedeckt. Obwohl das Errichten eines Notdeichs viel Personal, Material und Zeit erfordert, ist dies eine weitverbreitete Methode, um Hochwasser auf eine bestimmte Örtlichkeit zu beschränken.

Oftmals werden Notdeiche bei einem akuten Hochwasserereignis auch aus vorsorglichen Gründen errichtet. Wie für den Fall, wenn der eigentliche Deich droht, instabil zu werden. In solchen Fällen wirkt der im überschwemmungsgefährdeten Gebiet errichtete Notdeich als reine vorsorgliche Schutzmaßnahme für den Katastrophenfall. Auch das Errichten eines provisorischen Sandsackdammes kleineren Ausmaßes, um einzelne Gebäude vor dem Hochwasser zu schützen, kann ebenso als Notdeich bezeichnet werden. Demnach definiert ein Notdeich alle möglichen Arten des Errichtens von erhöhten Geländelinien zum Schutz vor Hochwasser.

Clausnitzer et al. („Hochwasserschutz in der DDR“) bezieht sich das Errichten einer zweiten Verteidigungslinie direkt auf den Anschluss an die beiden verletzten Deichhäupter (siehe Abbildung 23). Diesen Vorgang nennt man auch Schüttung eines Schlossdeiches. Der Schlossdeich wird beginnend von beiden Seiten des noch stehenden Deiches mit Hilfe von LKW- Kipper und Planiertraupen errichtet. Der Bau ist auf ca. 50 m voranzutreiben und demzufolge werden dann in die noch zu schließende Deichlücke Stahlrohre im Abstand von 1 m und mindestens 4 m länger als der zu schüttende Deichfuß breit verlegt. Dies dient der Abmilderung der starken Spülwirkung des relativ schnell fließenden Wassers. Erst wenn der Schlossdeich geschlossen und verdichtet ist, werden diese Rohreinläufe mit einer Platte verschlossen.

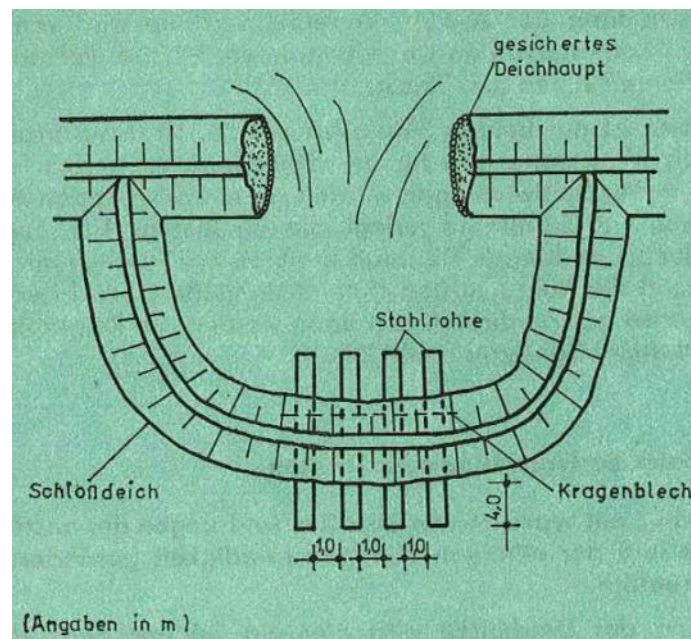


Abbildung 23: Sicherung eines Deichbruchs durch Schüttung eines Schlossdeiches [Clausnitzer et al.]

4.1.8 Sonstige Schließungsmaßnahmen

Strommasten

Strommasten wirken wie Schiffe oder Senkkästen als große und stabile Absperrbauwerke, die mit losem Material, Sandsäcken oder BigBags aufgefüllt werden müssen. Als Stahlskelett sind Strommasten relativ leichtgewichtig, was einen Transport via Hubschrauber ermöglicht. In der Regel

werden sie daher mit dem Hubschrauber in die Bruchstelle eingeschwommen. Sie wirken als widerstandsfähiges Grundgerüst zur Sicherung der Sandsäcke gegen das Wegspülen.

Diese bewährte Methode, um Sandsäcke zu stabilisieren, wurde auch erfolgreich bei dem Deichbruch an der Schwarzen Elster bei Meuselko 2010 angewandt. Bundeswehrehubschrauber hatten damals zwei alte Strommasten eingeflogen, um diese an der Bruchstelle zu verkeilen und ein Wegspülen der verbauten Sandsäcke zu verhindern.

Pfähle

Ähnlich wie bei einer Spundwand können auch Pfahlreihen als Schließungssysteme genutzt werden. Sie bestehen entweder aus massiven Beton-Holzpfählen oder auch aus hohlen Stahlprofilen. Im Vergleich zu den Spundwänden sind die Pfähle steifer und stabiler, verursachen dafür aber noch stärkere Schwingungen beim Einbauprozess. Da die Pfähle meist jedoch nicht exakt nebeneinander in einer Reihe gesetzt werden können, besteht die Gefahr von starken Strömungen in den Zwischenräumen. Möglicherweise könnte man Pfähle mit Spundwänden oder anderen Verschlusselementen kombinieren, um ein zielgerichteteres Ergebnis zu erreichen.

Schläuche

Eine weitere potentielle Schließungsmaßnahme ist der Verbau der Bruchstelle mittels stabilen Textilschläuchen. Die Schläuche werden hierzu mit einem schweren Material, wie Sand oder Wasser, gefüllt und gegen ein unkontrolliertes Wegschwimmen mit Anker gesichert. Sie werden parallel zu den Strommasten per Hubschrauber transportiert und dann in die Bruchstelle eingeschwommen und verfüllt. In der Praxis ist diese Methode jedoch noch nicht weit verbreitet und findet kaum Anwendung. Allerdings wird besonders in den U.S.A. viel zu dieser Thematik erforscht. Kapitel 4.3 beschäftigt sich detailliert mit innovativen Schließungsoptionen, worunter auch diese Schläuche fallen.

4.2 Praktische Beispiele/ Erfahrungen

Im Folgenden werden zwei lehrreiche Beispiele zur Deichbruchschließung und deren Erfahrungen geschildert. Das erste Beispiel ist die sehr populäre und jüngste Deichbruchschließung bei Fischbeck beim Elbhochwasser 2013. Als Kontrast und zur Verdeutlichung der extremen Differenzen folgt das Beispiel der Deichbruchschließung bei Jiujiang am Yangtse 1998.

4.2.1 Fischbeck

Der Deichbruch am 10.06.2013 des rechtsseitigen Elbdeichs bei Fischbeck wurde damals häufig von den Medien präsentiert und ist daher in Deutschland ein sehr bekanntes Beispiel. Die genaue Ursache für den Deichbruch ist in Kapitel 2.5.2 erwähnt.

Unmittelbar nach dem Eintreten des Deichbruchs begannen die ersten Überlegungen, wie man solch eine Deichbresche verschließen könnte. Als erster Versuch wurden BigBags in die Lücke gelassen, was aber an der hohen Fließgeschwindigkeit in der Bresche scheiterte. Fünf Tage nach dem Deichbruch, am 15.06.14, begann man mit den Maßnahmen der Umsetzung des vom Vortag vereinbarten Schließungsvorschlages. Zunächst wurden bis zu 150 kreuzförmige Panzersperren mittels Helikopter in der Elbe versenkt. Die kreuzförmigen Sperren aus Eisenbahnschienen wiegen pro Stück 250 kg und sollen ein Widerlager für das Aufliegen der zu versenkenden Lastkähne bilden. Um die Panzersperren zu beschweren und zu stabilisieren, wurde ein Netz mit überdimensionalen Pflastersteinen darüber abgesetzt. Danach begann das Einschwimmen der zwei zu versenkenden Lastkähne. Die Lastkähne wurden damals laut [Kranert-Rydzzy] für einen Schrottpreis von 400.000 € von einer Binnenreederei abgekauft. Angesichts der drohenden Schäden war die Summe noch gering. Mit Hilfe einer starken Schubeinheit wurden die zwei, zwischen 35 und 75 m langen Lastkähne an die ca. 90 m breite Deichbruchstelle gebracht und zusätzlich durch ein zweites Schubschiff und einen Schlepper vor dem Abtreiben gesichert. Nach der planmäßigen Sprengung zeigte sich, dass die endgültige Lage der versenkten Kähne nicht der Geplanten entsprach (Abbildung 24). In der Form von einer Hypotenuse eines rechtwinkligen Dreiecks sollte sich der gesamte Schiffsverband an den Deich und die durch Panzersperren erzeugte Ankerstelle anlegen [LHW]. Durch die unvorteilhafte Lage verblieb eine Bresche, die am darauffolgenden Tag mit einem weiteren dritten Lastkahn geschlossen wurde. Darauffolgend wurde die verbleibende Bresche mit Hilfe eines „Bau-Recyclingdeich“ geschlossen, so dass nur noch eine geringe Wassermenge in das Hinterland floss (siehe Abbildung 25) [Jonkman et al.]



Abbildung 24: Deichbruch bei Fischbeck während des Versuches der Breschenschließung [LHW]



Abbildung 25: Erfolgreich geschlossener Deichbruch bei Fischbeck [LHW]

4.2.2 Jiujiang am Yangtse

Im Jahre 1998 kam es aufgrund des El-Niño-Phänomens in China zu einer Jahrhundertflut und daraus resultierend zu zahlreichen Deichbrüchen entlang des längsten Flusses von China, dem Yangtse Fluss. Der Stadtdeich bei Jiujiang City (Provinz Jiangxi) befindet sich direkt im städtischen Gebiet und ist mit einer zusätzlichen Flutmauer oberhalb des Deiches ausgerüstet (siehe Abbildung 36, Anhang A). Am 07. August 1998 kam es dort zu einem Deichbruch, der sich bis zu den Maßen von 61 m Breite und 7 m Tiefe ausweitete [Hartmann]. Die Ursache für den Deichbruch war der Versagensmechanismus Piping mit einem anschließenden Böschungsbruch [IWHR].

Wenige Stunden nach dem Bruch wurde ein ca. 75 m langer Stahlkahn, beladen mit 1650 t Kohle, mit Hilfe von drei Schleppern in der Bruchstelle positioniert und versenkt (siehe Abbildung 37). Bedingt durch seine endgültige Lage konnte der Schiffsboden nicht auf dem Grund aufliegen und durch die entstandenen Zwischenräume flossen immer noch Wassermassen mit bis zu einer Geschwindigkeit von ca. $300 \text{ m}^3/\text{s}$. Daraufhin wurden sieben weitere Boote versenkt, um die Strömungsgeschwindigkeit so schnell wie möglich zu reduzieren. Entlang der Außenseite der Boote wurde ein Stahlrohrzaun versenkt, um die Bodenerosion unterhalb der Schiffe zu minimieren und die Steinblöcke vor dem Wegspülen zu sichern. Hinter den versenkten Schiffen wurde mittels Holzpfählen und mithilfe eines Stahl-Holzverbundsystems ein Skelettbau erstellt, der mit Blocksteinen und sonstigem Material verfüllt wurde (Abbildung 28 und Abbildung 40). Vier Tage nach dem Deichbruch musste nur noch eine Lücke von ca. 10 m von dem Holz-Stahlgerüst verfüllt werden. Insgesamt wurden bei dieser Deichbruchschließung zehn Boote versenkt, von denen zwei von der Strömung mitgerissen wurden. Es waren ca. 260 Schiffe und 200 Fahrzeuge und 24 000 Soldaten der Befreiungsarmee und der Volkspolizei im Einsatz. Mit den weiteren Helfern waren zu Spitzenzeiten ca. 10 000 Personen gleichzeitig im Einsatz [IWHR]. Zum Abschluss der erfolgreichen Deichbruchschließung fand eine Zeremonie statt. (Abbildung 42).



Abbildung 26: Foto von dem Deichbruch Jiujiang am Yangtse 1998 [IWHR]

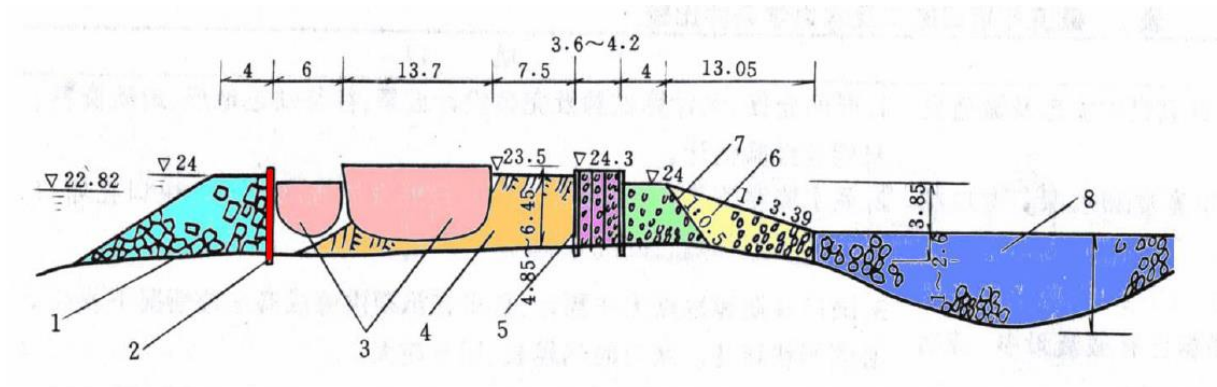


Abbildung 27: Querschnittszeichnung der geplanten Schließungsmaßnahmen [IWHR]

Erläuterungen zur Abbildung 27:

1. Wasserseitige Böschung
2. Stahlrohrzaun
3. Versenkte Boote
4. Verfüllung mit Bodenmaterial
5. Kombiniertes Holz-Stahlgerüst
6. Landseitige Böschung
7. Temporäre Schnittlinie
8. Mögliche Teichbildung hinter der Deichlinie



Abbildung 28: Foto von der Deichbruchschließung [IWHR]

Anmerkung: In Anhang A sind weitere Bilder zu der Deichbruchschließung von Jiujiang am Yangtse dargestellt.

4.3 Innovative Ideen

Bis heute gibt es noch keine universale Lösung für eine Deichbruchschließung. Von Fall zu Fall können die maßgebenden Parameter, wie Fließgeschwindigkeit, Breschengröße und Wassertiefe variieren, und erfordern jeweils eine individuelle Betrachtung. Trotz der vielen vorangegangenen Deichbrüche, ist heutzutage kaum Wissen über die Möglichkeiten eines Notverschlusses vorhanden. In diesem Themengebiet befinden sich klare technologische Lücken, die es zu überwinden gilt.

Auf der Suche nach neuen und innovativen Ansätzen geben die maßgebenden Kriterien (Kapitel 3.3) eine Orientierung. Zu diesen gehört unabdingbar der Zeitbedarf der Verschlusstechnik. Ziel ist es, ein Konzept zu entwickeln, mit denen Deichbrüche innerhalb kürzester Zeit zu schließen sind. Die Notwendigkeit für rasche Schließungsmaßnahmen resultiert aus der zusätzlichen Gefahr der Deicherosion an den beiden verletzten Deichhäuptern. Das sich mit dieser Thematik beschäftigende Forschungszentrum „U.S. Army Engineer Research and Development Center“ hat sich beispielsweise als Leitgedanke auf eine maximale Nenneinsatzzeit von sechs Stunden festgelegt. Diese sechs Stunden beinhalten alles, von der Erkennung des Deichbruchs bis hin zur endgültigen Minderung bzw. Stoppen des Abflusses. Dementsprechend ist es relevant, ob die Reparatursysteme im Umfeld verfügbar sind bzw. vorpositioniert werden. Denn allein der Transport von Systemen kann beachtliche Zeit in Anspruch nehmen. Gleichmaßen soll die optimale Verschlussmethodik ohne großen Aufwand und ohne Hilfsmaschinen einsetzbar sein. In vielen Fällen ist ein Landtransport nur schwer möglich, wodurch der Lufttransport häufig die effektivste Transportmethode bildet. Da jedoch die Tragfähigkeit von Hubschraubern beschränkt ist, wäre es von Vorteil, wenn die Verschlusselemente leichtgewichtig sind. Außerdem sollte sich das System flexibel, ohne Stabilitätseinschränkungen, an die unterschiedlichen Formen und die Unregelmäßigkeiten von Deichbrüchen anpassen können. Das Material soll den relativ stark dynamisch wirkenden Kräften standhalten und die auf die Anschlussstellen wirkenden Kräfte optimal verteilen. Die im Folgenden erläuterten Methoden sollen diesen Anforderungen genügen.

4.3.1 Grundidee zur Deichschließung mittels Textilschläuchen

Viele Konzepte, wie große Konstruktionen aus Metall oder Beton sind zu schwer, um diese über Luftwege zu transportieren. Eine mögliche, aber nicht universale Lösung wäre, diese Elemente mit Lastkähnen oder Schuten zu transportieren. Leichte und trotzdem stabile Elemente sind daher erfolgsversprechender. Um Ballast an leichten Systemen aufzubringen, bietet es sich an, das vorhandene Wasser zu nutzen. Da Wasser ohnehin in Unmengen an der Bruchstelle verfügbar ist, eignet sich dies hervorragend, um ein Gegengewicht zu erzeugen. Man beachte jedoch, dass für das Gegengewicht nur die Wassermenge oberhalb des eigentlichen Wasserspiegels als zusätzlicher Ballast zählt. Im Wasser selbst gleichen sich die Kräfte aus. Alternativ kann auch auf ein schweres Füllmaterial, wie beispielsweise Sand, zurückgegriffen werden. Sand hat den Vorteil, dass es zwar nicht, wie Wasser, direkt an der Bruchstelle, dafür aber überall verfügbar ist.

Konventionelle Methoden mit Verschlussystemen aus starren Elementen sind sehr unflexibel und können sich nicht in seiner Form und Größe anpassen. Deichbrüche verlaufen sehr unterschiedlich und meist ist die Seitenerosion ein andauernd begleitender Entwicklungsprozess, der bis zum

endgültigen Verschluss anhält. Eine flexible und anpassbare Schließungsmethode deckt die Unregelmäßigkeiten ab und kann dementsprechend in vielen Fällen angewendet werden. Auf der Suche nach Materialien mit der Fähigkeit sich an unregelmäßige Oberflächen anzupassen, bieten sich insbesondere textile Stoffe an.

Textile Stoffe können, ähnlich wie Seile und Schnüre, hohe Zugbeanspruchungen ohne Verformungen aufnehmen und sind nebenbei in ihrer Form anpassbar. Daher eignen sich Textilschläuche aus hochfestem Material besonders gut, um mit Wasser, Sand oder sonstigen Materialien gefüllt zu werden. In der Regel benutzt man, wie oben beschrieben, Wasser oder Sand, um Ballast in leichten Systemen aufzubringen. Im Einzelfall können Schläuche auch mit Luft gefüllt werden, müssen dann aber gegen die relativ großen Kräfte abgesichert werden. Ein maßgebender Faktor für die Steifigkeit eines Schlauchs ist zum einen die Art des Füllmaterials und zum anderen zu viel Prozent der Schlauch befüllt wird. Je geringer das Füllvolumen, desto flexibler ist der Schlauch. Aufgrund der Inkompressibilität von Wasser widersteht ein mit bis zu 100 % mit Wasser gefüllter Gewebeschauch jeglichen Deformationen. Erst wenn die Kompression dieses Levels erreicht hat, ist der Widerstand gegen weitere Verformung proportional zu dem Druck, der über die gesamte Oberfläche des Schlauches wirkt. Die Biegung des Textilschlauches ist bestimmt durch die Volumenbeschränkung innerhalb der Röhre und die Größe der Verformung ist abhängig von dem Verhältnis des Hohlraumes zu dem Durchmesser des Rohres. Maßgebendes Kriterium ist somit der Füllanteil bzw. der spezifische Luftanteil.

Die Installation solcher Textilschläuche bedarf keiner schweren Ausrüstung, noch speziellen Maschinen. Im einfachsten Fall bedingt es lediglich einen Helikopter und geschultes Personal an Land. Handelt es sich um einen kleinen Deichbruch bzw. wird nur ein sehr kleiner Schlauch benötigt, kann dieser bestenfalls auch von zwei Personen getragen werden. Die größeren Varianten müssen mit dem Hubschrauber transportiert werden. Falls der beschädigte Deich noch bis zur Bruchstelle befahrbar ist, könnte man den Textilschlauch auch mittels Lastkraftwagen transportieren und mit einem Gabelstapler oder Mobilkran platzieren. Die endgültige Positionierung des Schlauches erfolgt durch zusätzliche Seile. Möglicherweise gibt es Ansätze, den Schlauch in die Lücke rollen zu lassen, jedoch besteht hierbei die Gefahr, zu sehr in das Twisten zu kommen. In den bisherigen Versuchen wird der Schlauchkörper meist mit Seilen vorpositioniert, und sobald Kontakt zum Deichkörper besteht, treibt sich der Schlauchkörper automatisch in seine Endposition. Hierbei spielt das Füllvolumen und die davon abhängige Verformbarkeit eine große Rolle. Angemerkt sei, dass für das Befüllen lediglich einfache Pumpen benötigt werden.

Textilschläuche werden zurzeit bei der Deichverteidigung als mobile Hochwasserschutzsysteme eingesetzt. Parallel zu den mobilen Hochwasserschutzsystemen, kann der Textilschlauch um seine Wirkungshöhe bzw. -breite zu erhöhen, auch gestapelt werden (Abbildung 29). Hierbei sollte ein besonderes Augenmerk auf die Verbindung der Schläuche und der Anschlussstelle zum Boden geworfen werden. Im Falle eines Loches, ist ein System aus einem einzigen Schlauch anfälliger als aus mehreren, gestapelten Schläuchen.

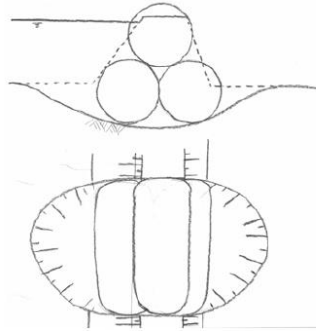


Abbildung 29: Darstellung von gestapelten Schläuchen [Joore]

Der Textilschlauch hat sich sowohl in flachen als auch in tiefen Wassern bewährt. Wichtig ist jedoch, dass während der Installation im strömenden Abfluss, ein ausreichender Gegendruck aufgebaut wird. Oftmals besteht die Gefahr, dass durch Interaktion mit der Bodenfläche der Schlauchkörper selbst zu drehen (rollen) beginnt. Im Normalfall schützt die Reibung zum Boden vor einem Rutschen oder Kippen. Ist die Reibung zu stark, folgt ein unerwünschtes Verdrehen des Schlauchkörpers. Als Gegenmaßnahme kann der Textilschlauch mit Seilen abgesichert werden.

Die Wirksamkeit einer 100 %-igen Wasserabdichtung kann durch zusätzliche Schläuche oder Polster zwischen den Deichauflagern und dem Schlauchkörper erhöht werden.

Zusammenfassend sind in der folgenden Tabelle 1 die Vorteile den Nachteilen von Deichbruchschließungen mittels Textilschläuchen gegenüber gestellt.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile eines Textilschlauchs als Deichbruchverschluss

Vorteile	Nachteile
Wasserdichte Konstruktion	Wenig Erfahrung
Hohe Stabilität	Risiko von Materialschäden
Geringer Zeitbedarf, wenn lokal verfügbar	Sehr hohe Kosten für Einkauf und Lagerung
Flexible Passform	Stabilität während der Platzierung unbekannt
Geringer Aufwand; nur kleinere Geräte für Installation notwendig	Geschultes Personal notwendig
Via Helikopter transportierbar	
Wiederverwendbar	

4.3.2 PLUG (Portable Lightweight Ubiquitous Gasket)

Seit 2007 fördert das Department of Homeland Security der U.S.A. das Projekt mit dem Titel "Rapid Repair of Levee Breaches (RRLB)" zur Entwicklung von schnellen Schließungsmethoden bei Deichbrüchen. Die ursprüngliche Konzeptentwicklung inklusive Kleinversuche wurde im Coastal and Hydraulics Laboratory (CHL), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS durchgeführt. In einer zweiten Phase wurden die Forschungsergebnisse im Rahmen von Großfeldexperimenten in realem Maßstab in Stillwater (Oklahoma) getestet. Ziel ist es ein Konzept zu entwickeln, mit dem Deichbrüche innerhalb kürzester Zeit geschlossen werden können. Als maximale Nenneinsatzzeit für eine effektive und rasche Deichbruchschließung hat man sich maximal sechs Stunden als Grenze gesetzt. Die sechs Stunden beziehen sich auf den Zeitpunkt des Erkennens des Deichbruchs bis zur endgültigen Minderung bzw. Stoppen des Abflusses [Resio et al]. Das RRLB konzentriert sich hierbei hauptsächlich auf Rohre/Schläuche aus hochfesten Materialien, die teilweise mit Wasser gefüllt werden, um diese dann in den Deichbruch treiben zu lassen, wo sie stecken bleiben und dadurch den Wasseraustritt stoppen oder reduzieren. Das Konzept beruht auf der Inkompressibilität des Wassers und dem Einsatz von Textilstoffen. Als Ergebnis wurde der „PLUG“, ein hochfester Textilschlauch, entwickelt. Der PLUG wird beim Einsatz zum Verschließen von Deichbrücken mit Wasser gefüllt und dann in die Bruchstelle manövriert.



Abbildung 30: Versuch Deichbruchschließung mittels PLUG [Resio et al. 2011]

Abbildung 30 zeigt ein Versuch des PLUG-Schlauches im Maßstab 1:16. Der PLUG ist in diesem Fall nur zu 60 % mit Wasser gefüllt und kann sich daher optimal an die Gegebenheiten anpassen. Durch mehrere Versuchsreihen und den Großfeldexperimenten konnte das optimale Material und Füllanteil ermittelt werden.

Zusammen mit dem US-Armee-Ingenieur Forschungs- und Entwicklungszentrum (ERDC) wurde zusätzlich ein bogenförmiger Kofferdamm (ARCH) entwickelt, der in Kombination mit dem PLUG laut den Versuchsergebnissen eine optimale Verschlussmethode darstellt.

4.3.3 AquaDam®

Der AquaDam® wird als Produkt von einem Unternehmen vertrieben und besteht aus einem mit Wasser gefüllten, ausgerollten Rohrsystem. Im Gegensatz zu anderen Systemen ist der AquaDam® im unbenutzten Fall aufgerollt und nur der abgewickelte Teil wird mit Wasser gefüllt. Dadurch ist der AquaDam® stabil und kann direkt zur Hochwasser-Funktion eingesetzt werden. Die wassergefüllte Struktur ist in sich stabil und muss während der Installation nicht verankert werden.

Der AquaDam® ist eine Art mobiler Kofferdamm, der zum Schutz von Ortschaften hinter einem Deichbruch eingesetzt wird. Er besteht aus drei Rohren: Das Außenrohr ist aus robustem Polythylen Geotextil, die zwei inneren Rohre werden mit Wasser gefüllt und stehen in Kontakt zu dem Außenrohr. Durch diesen Kontakt wird Reibung erzeugt, die die Stabilität der Konstruktion gewährleistet. Die Länge des AquaDam® beträgt 100m, auf Anfrage gibt es auch andere Größen. Er ist erhältlich mit „open ended“, „closed ended“, „double closed ended“ und „baffled“. Der „open ended“ ist im Grunde ein Schlauch mit Öffnungen an beiden Enden. Im Einsatzort wird dieser so platziert, dass kein Wasser aus den Endöffnungen strömen kann. Um den Füllprozess zu beginnen, muss der „open ended“ AquaDam® erst vollständig extrahiert werden. Die „closed ended“ Variante ist an einer Seite geschlossen und wird mit der offenen Endung höher platziert. Der „double closed-ended“ Typ wird an beiden Enden geschlossen. Somit müssen die Enden nicht besonders platziert bzw. erhöht platziert werden. Die Variante „baffled“ ist ein Wasserrückdamm, der seine eigene Konstruktionshöhe bestimmt. Die AquaDams® können miteinander gekoppelt werden.



Abbildung 31: An beiden Enden geöffneter AquaDam® [Förster]

Als mobiles Hochwasserschutzsystem ist der AquaDam® in den USA weit verbreitet und bekannt. Zur Deichbruchschließung wurde er ebenfalls schon eingesetzt. In Anhang ist hierzu beispielsweise der Einsatz des AquaDam® bei dem Deichbruch in Arcata (USA) 2004 geschildert. Der Deichbruch mit einer Länge von 50 m wurde damals durch einen Meeressturm verursacht und mittels eines Ringdeichs von AquaDam® geschlossen. [AquaDam]

4.3.4 Ähnliche Schlauchsysteme

Beaver® Hochwasserschutzschläuche

Die Beaver® Hochwasserschutzschläuche der Firma Beaver Schutzsysteme AG, Schweiz bestehen aus zwei parallelen Kunststoffschläuchen, welche mittels Manschetten fest miteinander verbunden werden. Sie werden im eigentlichen Sinne als mobile Hochwasserschutzsysteme eingesetzt. Der Mobildeich besteht aus den wassergefüllten Schlauch-Deichelementen und einem Mantel. Die Schläuche werden hierzu zuerst mit Luft gefüllt und in die gewünschte Position gebracht, um sie daraufhin mit Wasser zu füllen. Zusammen bilden die Schläuche und der Mantel ein statisches System, welches mittels Dichtfolie abgedichtet wird. Im Notfall kann man zusätzlich die Stauhöhe durch das Anbringen eines dritten Schlauches auf den beiden, bereits mit wassergefüllten Schläuchen, gewinnen. Durch das Manschetten-System entsteht ein beliebig langer Deich, der sich zugleich den topografischen Gegebenheiten anpasst. Die folgende Abbildung 32 zeigt solch einen Mobildeich bei der Hochwasserverteidigung.



Abbildung 32: Mobildeich Beaver® Hochwasserschutzschläuche [4]

Topotubes

Topotubes von Topocare GmbH sind wie Beaver geotextile Endlosschläuche, die jedoch anstelle von Wasser mit einem Füllgut (meist Sand) befüllt werden. Sie dienen beim temporären Hochwasserschutz als effizienter Sandsackersatz. Die Topotubes werden mittels bestimmten Maschinen direkt am Verlegort hergestellt und platziert. Hierzu ist es notwendig, dass die Maschinen die Verlegestrecke abfahren können. Dies stellt eine erhebliche Schwierigkeit beim Einsatz einer Deichbruchschließung dar. In der Regel kann die Zugänglichkeit zur Bruchstelle im Falle eines Deichbruchs nicht immer gewährleistet werden kann. Daher finden die Topotubes mehr Verwendung als Deichverstärkungsmaßnahme. Bei der Deichbruchschließung müsste das System umgestellt werden, um das Füllgut mittels Pumpen in einen zuvor platzierten Schlauch zu füllen.

5 Handlungsempfehlungen & Fazit

Ziel dieser vorliegenden Studienarbeit ist, einen Überblick über die Grenzen und Möglichkeiten der Schließung von Deichbrüchen im Hochwasserfall zu gewähren. Abschließend werden nun die im Rahmen dieser Studienarbeit erzielten Ergebnisse in Bezug zum internationalen Vergleich und deren potentieller Erfolgchancen ausgewertet. Darauffolgend werden anhand eines, auf Grundlage der gewonnenen Kenntnisse entwickeltes, Handlungsschema die Handlungsempfehlungen für den Hochwasser-Notfall differenziert. Schlussendlich folgt das Fazit des Autors.

5.1 Internationaler Vergleich

Im internationalen Vergleich gesehen erstellt sich die Suche nach konkreten, praktischen Erfahrungen mit der Schließung von Deichbrüchen im Hochwasserfall in allen Ländern als sehr schwierig heraus. Fast alle Länder besitzen nur geringfügige Erfahrung mit dem Umgang und der Schließung von großen Deichbrüchen. Oftmals sind die Kenntnisse auch einfach nicht dokumentiert. Wobei gerade aus den praktischen Beispielen Kenntnisse für Verbesserungen und weiteren Technologien gewonnen werden könnten. Aufgrund der geringen Erfahrungen ist es daher zwingend notwendig, die Maßnahmen der Deichbruchschließung inklusive Know-how unter den einzelnen Ländern zu vergleichen und auszutauschen.

In diesem Zuge werden folgend die Methoden der in dieser Arbeit aufgegriffenen Länder, China, USA, Niederlande und Deutschland, untereinander ausgewertet. Unter dem Strich lässt sich folgern, dass sich die Maßnahmen der westlichen Länder kaum voneinander unterscheiden.

Weiterhin sei anzumerken, dass im Themengebiet Deiche bereits erfolgreiche, internationale Zusammenarbeit besteht. Im Jahre 2013 wurde „The International Levee Handbook“ [Ciria C731] im Rahmen eines Joint Venture Programmes von England, Frankreich und den USA mit der Unterstützung von Irland, den Niederlanden und Deutschland veröffentlicht. Das Buch handelt von Funktion, Aufbau, Konstruktion, Wartung, Verteidigung von Deichen u.v.m. Das themenrelevante Kapitel (Chapter 6.9) zu den Maßnahmen der Deichbruchschließung ist sehr kurz gehalten und bedarf einer weiteren Aufarbeitung. Aufbauend auf dieser Basis, lässt sich möglicherweise weitere internationale Zusammenarbeit im Bereich der Grenzen und Möglichkeiten der Schließung von Deichbrüchen im Hochwasserfall fundieren.

China

Die gebräuchlichen Methoden aus China zeigen Unterschiede ebenso wie Gemeinsamkeiten zu anderen Ländern auf. Das in Kapitel 4.2.2 erläuterte Beispiel von Jiujiang am Yangtse verdeutlicht die zum Teil sehr unterschiedlichen Umgangsweisen mit solch einer Notsituation. Die Bilder aus Anhang A belegen ferner, wie markant sich die Haltung gegenüber dem Personeneinsatz im Vergleich zu Deutschland oder anderen Ländern unterscheidet. In Deutschland wäre solch eine Situation, in der über 100erte Personen bzw. Soldaten gleichzeitig auf einem Holz-Stahlgerüst arbeiten, heutzutage undenkbar. Es entsteht das Bild, dass in diesem Beispiel das Leben der Soldaten zum Schutz von anderen Menschenleben riskiert wurde. In Deutschland hat der Schutz von Menschenleben oberste

Priorität, sowohl das der Anwohner des Überschwemmungsgebietes genauso wie das der Helfer. Jedoch können dem Beispiel von Jiujiang am Yangtse ebenfalls auch Gemeinsamkeiten zu den weltweit verbreiteten Methoden entnommen werden. Der Aufbau und die verwendeten Mittel bei den Schließungsmaßnahmen entsprechen den Üblichen: Auch in diesem Fall wurden Schiffe versenkt und darauffolgend mit loseem Material verbaut.

USA

In den USA existieren kaum Erfahrungen zur Schließung von Deichbrüchen. Dies begründet sich darin, dass die USA eine viel geringere Bevölkerungsdichte, als die anderen Vergleichsländer, besitzt. Demzufolge sind weniger Flächen in direkter Nähe zu Fließgewässern besiedelt bzw. stark besiedelt. Deichbrüche passieren in den USA nicht seltener als in anderen Ländern, sondern haben einfach meist geringere Ausmaße. Die Flussgebiete in den USA sind weniger stark bewohnt und dementsprechend ist das potentielle Schadensausmaß geringer. Überwiegend wird somit bei einem Deichbruch kein sofortiges Handeln notwendig. Dies zieht den Nachteil mit sich, dass im Falle eines gefährlichen und bedrohlichen Deichbruchs kaum auf Erfahrungswerte aufgebaut werden kann. Das Beispiel der Überflutungskatastrophe der 17th Street in New Orleans durch Hurrikan Katharina 2005 hat gezeigt, dass sich auch die USA besser auf Deichbrüche vorbereiten sollten. Diese Katastrophe bildete den Auslöser für die Gründung des Projekts zur Entwicklung schneller Deichbruch-Verschlussmethoden (rapid repair of levee breaches, RRLB) seitens der USA [Resio et al. 2011]. Wie in Kapitel 4.3.2 beschrieben ist im Rahmen dieses Projekts schon viel erforscht und weiterentwickelt worden. Nichtsdestotrotz müssen sich die theoretischen, gewonnenen Forschungsergebnisse erst in der Realität als erfolgreich beweisen.

Niederlande

Topografisch bedingt erhält die Niederlande in Sachen Hochwasserschutz eine Sonderstellung. Ein Großteil der Landesfläche liegt unterhalb des Meeresspiegels und würde ohne Deichbauwerke regelrecht geflutet werden. Folglich sind die Niederlande im Hochwasserschutz bzw. dem Umgang mit Deichbauwerken sensibilisierter als andere Länder. Sie verfügen über viel Erfahrung im Deichbau und schließlich auch bei der Deichbruchschließung. Die unberechenbare Holland-Sturmflut von 1953 verursachte viele Deichbrüche, die glücklicherweise durch schnelles Eingreifen, wie das in Kapitel 4.1.4 ansatzweise erläuterte Beispiel von Nieuwerkerk aan den IJssel, nicht zur Katastrophe wurden. Seit der Holland-Sturmflut wurde in den Niederlanden vieles in Bezug zum Hochwasserschutz verbessert und erweitert. Wenngleich fehlt es aber auch den Niederlanden trotz der riesigen Erfahrungskompetenz an einer strukturierten Maßnahmenübersicht und konkreten Handlungsempfehlungen. Im Allgemeinen kann man sagen, dass sich die Schließungsmaßnahmen kaum zu denen der Deutschen unterscheiden. Ein Großteil der für Kapitel 4.1 verwendeten Literatur bezieht sich auf die Anwendung in den Niederlanden.

Deutschland

Deutschland hat in den letzten Jahren bedingt durch das Junihochwasser 2013 und dem Elbe-/Donauhochwasser 2002 viele Erfahrungen mit Deichbrüchen sammeln müssen. Hochwasser und Deichbrüche sind aber auch für Deutschland kein neues Phänomen. Mit der Bevölkerungszunahme in Deutschland wurden immer mehr überschwemmungsgefährdete Gebiete bebaut, wodurch sich das Schadenspotenzial bei Deichbrüchen erhöhte. Hochwasser gehört wie auch die anderen Naturkatastrophen zu den Wetterextremen, die möglicherweise durch den Klimawandel in Zukunft noch verstärkt werden bzw. häufiger auftreten. Mit dem Inkrafttreten der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EG-HWRM-RL) von 2007 ist die Notwendigkeit des vorsorgenden Hochwasserschutzes sowie das Hochwasserbewusstsein verstärkt worden. Dennoch fehlt es auch in Deutschland an Erfahrungen und einem Überblick der Handlungsmaßnahmen im Deichbruchfall.

5.2 Potentielle Erfolgchancen

Bei der Auswahl des Verschlussystems spielt die Erfolgswahrscheinlichkeit eine sehr bedeutende Rolle. Die potentiellen Erfolgchancen der Maßnahmen zur Schließung von Deichbrüchen sind von vielen verschiedenen Faktoren abhängig. Die in Kapitel 3 erarbeiteten Kriterien dienen dabei als wesentliche Grundlage für die Auswertung und Differenzierung der einzelnen Maßnahmen und deren Erfolgchancen. Besonders angesichts des Bestrebens nach einer Verbesserung der bisherigen Technologien und einer innovativen Weiterentwicklung ist es wichtig, die maßgebenden Parameter und Nenngrößen herauszuarbeiten. Die nachfolgend erläuterten Kriterien sollen einen Leitfaden für die Auswahl der richtigen Schließungsmaßnahme darstellen.

Bei der Auswahl des Transportweges stehen hauptsächlich die in Abbildung 33 dargestellten Möglichkeiten zur Auswahl. Generell gilt hierbei die Rangfolge, Transport zu Land, Transport zu Wasser und dann Transport zu Luft. Sprich bei einer vorhandenen Zugänglichkeit über Land haben in erster Linie die Maßnahmen Vorrang, die von Land aus durchgeführt werden können. Eine detaillierte Begründung der Rangfolge ist Gegenstand des Kapitels 3.2.

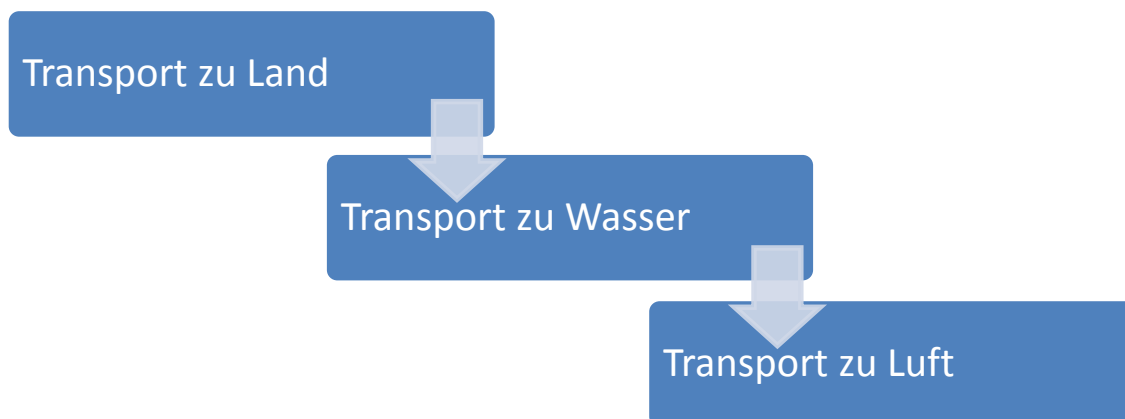


Abbildung 33: Rangfolge des zu wählenden Transportweges

Je nach Fall kann die Prioritätenrangfolge des zu wählenden Transportweges auch abweichen.

Abbildung 34 fasst die in Kapitel 3.3 konzipierten Leitgrößen, für den Vergleich der Handlungsmaßnahmen, zusammen. Anhand der einzelnen Leitgrößen bzw. Anforderungen lassen sich die Verschlusssysteme evaluieren und abgrenzen. Die Systeme, die alle Leitgrößen bestmöglich erfüllen, bieten die höchsten Erfolgschancen. Bei der Erforschung und Entwicklung von innovativen Ansätzen sollten daher alle Anforderungen berücksichtigt werden.

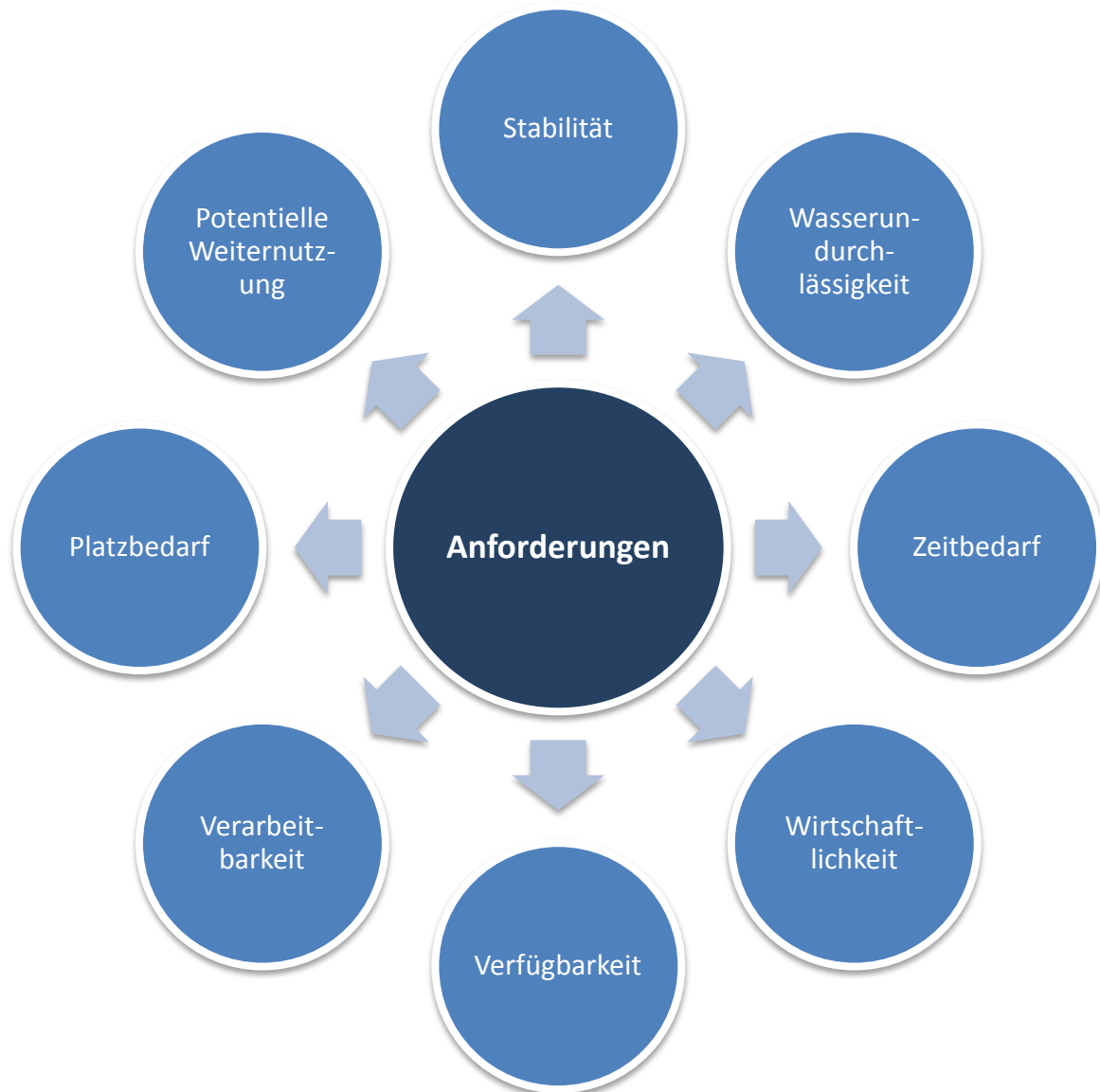


Abbildung 34: Anforderungen an die Schließungssysteme

Die Bandbreite der in Kapitel 4.1 erläuterten, herkömmlichen Verschlussmethoden ist sehr groß. Dementsprechend können sich die innovativen Lösungsansätze auf einer breiten Basis entwickeln. Wie in Kapitel 4.3 dargelegt, empfiehlt sich abgeleitet von den Anforderungsparametern ein Schlauchverschluss als sehr erfolgreich. Daher wurde sich im Rahmen dieser Studienarbeit hauptsächlich auf Schläuche als innovative Ansätze konzentriert. Besonders der Faktor des Zeitbedarfs ist hierfür mit verantwortlich. Hinzukommend wird seitens der USA viel Forschungsarbeit

für die Entwicklung eines rapiden und effizienten Schlauchkonzeptes geleistet, die als gute Literaturlbasis herangezogen werden kann. Mit diesen Forschungsergebnissen wurde somit eine gute, innovative Basis (Kapitel 4.3.2) für die Weiterentwicklung eines effizienten Schlauchsystems erschaffen. Die bisherigen Ergebnisse sind sehr vielversprechend und belegen die potentiellen Erfolgchancen der wassergefüllten Gewebesclhäuche als Verschlussysteme. Zu beachten sei jedoch, dass sich, wie bei allen Forschungsergebnissen, die theoretisch entwickelten Konzepte erst in der Praxis und unter den realen Bedingungen beweisen müssen. Erst dann lassen sich konkrete Aussagen über den Erfolg in der Praxis treffen. Gerade bei experimentellen Versuchen in kleineren Maßstäben ist die Hochrechnung auf größere Maßstäbe meist mit unkalkulierbaren Einflussfaktoren verbunden. Daher gilt eine innovative Idee erst als erfolgreich, wenn sie als praxistauglich bewiesen ist. Darüber hinaus könnte man sich in Zukunft weiter mit einer Verbesserung der Verankerung bzw. der Befestigung des Schlauchsystems vertiefen, wie beispielsweise einer Verankerung durch zusätzliche Pfahlreihen. Insbesondere in diesem Zusammenhang besteht auch weiterhin noch Verbesserungsbedarf.

5.3 Handlungsempfehlungen

Aus den in dieser Arbeit zusammengetragenen Ergebnissen lassen sich konkrete Handlungsempfehlungen für den Deichbruch im Hochwasserfall formulieren. Die Handlungsempfehlungen sollen als Entscheidungsgrundlage für die Auswahl des eingesetzten Verschlussystems dienen. In Form eines Handlungsschemas, Abbildung 35, können die Handlungsempfehlungen anhand eingängiger Ja/Nein- Entscheidungsfragen situationsbedingt abgeleitet werden. Im Deichbruch-Notfall kann somit dieses Handlungsschema als Hilfestellung der einzuleitenden Maßnahmen fungieren.

Grundlage für die konkreten Handlungsempfehlungen bilden die in Kapitel 3 & 4 beschriebenen und ausgewerteten Möglichkeiten und Grenzen der Deichbruchschließung. Das Handlungsschema beinhaltet somit die vom Autor eigen gesetzte Prioritätenrangfolge einschließlich der Bewertung der Handlungsmaßnahmen. Die Berücksichtigung der mitwirkenden Leitgrößen bei dem Erarbeiten der Prioritätenrangfolge erwies sich als eine schwierige Herausforderung. Grundsätzlich wird, anhand der Fließgeschwindigkeit und der Breschengröße bzw. Breschentiefe, in kleine und große Deichbrüche unterschieden. Danach disponierend die Transportmöglichkeiten und die Leitgrößen, wie Verfügbarkeit, Zeitbedarf, usw. In der Summe stellt sich das Zusammenführen der komplexen Beziehungsstruktur als schwierige Aufgabe heraus. Die nun folgende Abbildung veranschaulicht daher nur ein einzelnes Beispiel für ein Handlungsschema.

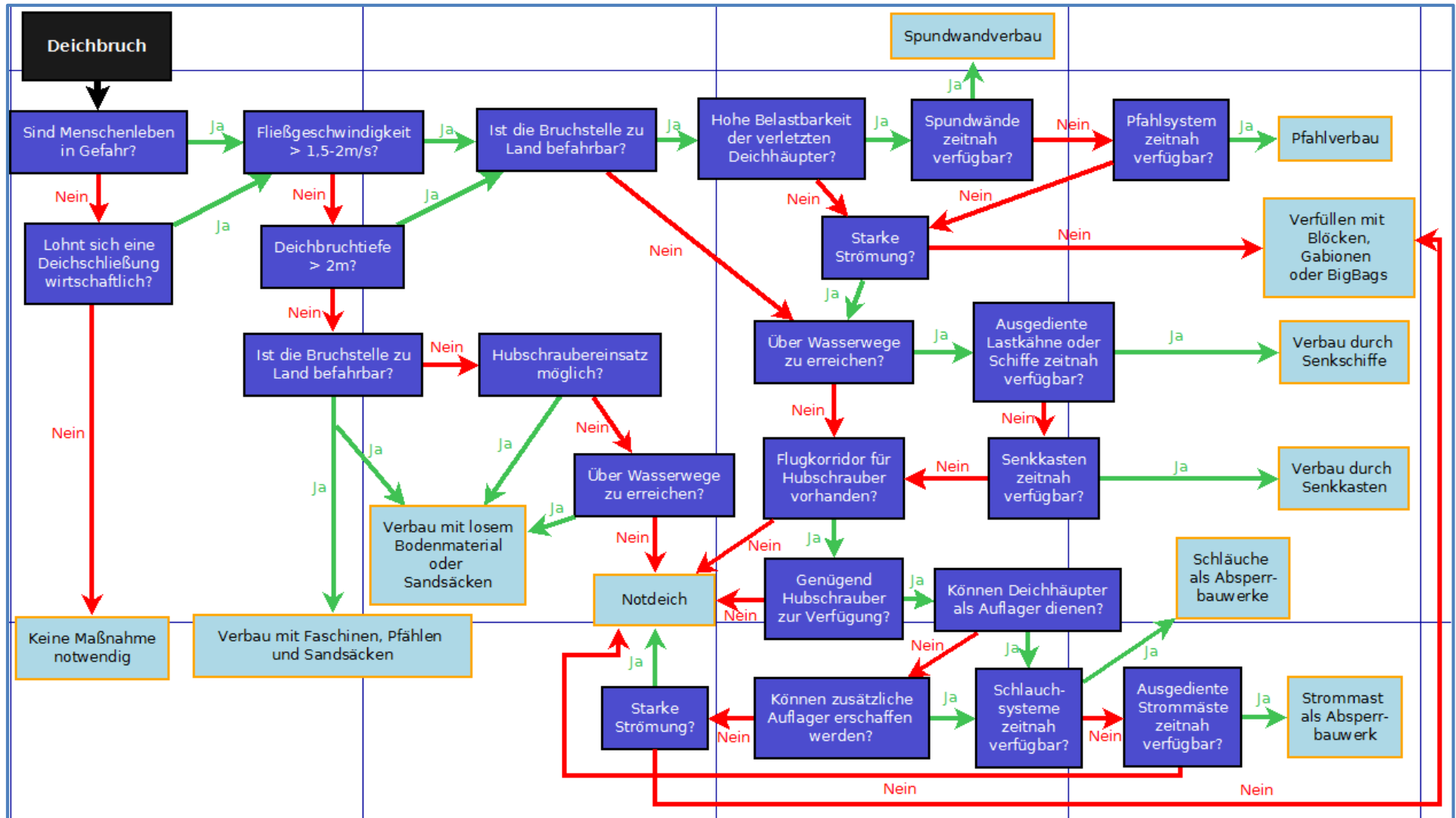


Abbildung 35: Handlungsschema der Schließungsmaßnahmen bei Deichbrüchen

5.4 Fazit

Als Fazit lässt sich folgern, dass im Themenbereich der Deichbruchschließung weiterhin noch viel Forschungsbedarf besteht. Insbesondere im Sinne der in den letzten Jahren eingetretenen Umstrukturierung des Hochwasserrisikomanagements bedarf es einer Ausweitung auf die Krisenmanagementplanung für den Versagensfall von Hochwasserschutzanlagen. Beispiele, wie der Deichbruch von Fischbeck oder New Orleans, zeigen die Wichtigkeit und den Handlungsbedarf dieser Thematik. Die Erfahrungswerte aus den Praxisbeispielen dienen dabei als hervorragende Grundlage für die Optimierung der Schließungsmethoden. Aufgrund der geringen Sammlung an Praxiserfahrung im Umgang mit großen Deichbrüchen ist eine internationale Zusammenarbeit unerlässlich. Nur durch eine länderübergreifende Kooperation kann eine effiziente Weiterentwicklung erfolgen.

Mit dem Beitrag dieser Arbeit wird ein Überblick über die Möglichkeiten und Grenzen der Schließung von Deichbrüchen im Hochwasserfall geleistet, der als Basis für weitere Forschungsarbeit dienen soll. Der erarbeitete Maßnahmenkatalog sollte stets durch neue, innovative Konzepte erweitert werden. Auch die herkömmlichen Methoden bedürfen einer Verbesserung. Bei der Formulierung von Handlungsempfehlungen sollte jedoch fortwährend beachtet werden, dass jeder natürliche Deichbruch individuell betrachtet werden muss. Denn jeder Deichbruch ist durch spezifische Rahmenbedingungen gekennzeichnet. Eine überspitzte Verallgemeinerung hat zur Folge, dass charakteristische und maßgebende Rahmenbedingungen keine Beachtung finden. Das im Rahmen dieser Studienarbeit erarbeitete Handlungsschema soll im Deichbruch-Notfall als Hilfestellung dienen und keinesfalls die individuelle Betrachtung ersetzen.

Zu guter Letzt sollte angemerkt werden, dass die Maßnahmen der Deichbruchschließung nur so gut sind, wie ihre Ausführung. Komplizierte Systeme bedürfen meist Fachkenntnisse seitens der ausführenden Kräfte. In diesem Sinne wäre es empfehlenswert, nicht nur an neuen Systemen zu forschen, sondern gleichermaßen auch Hilfsorganisationen Übungen und Sachkunde zu ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- AquaDam Aqua Dam, Inc.: Emergency Levee Repair, Humboldt Bay, Arcata, CA (2004), verfügbar unter: <http://www.aquadam.net/Construction/Arcata-CA%20Levee/levee1.html> (abgerufen am 29.09.14)
- Ciria C731 Ciria; French Ministry of Ecology; USAECE: The International Levee Handbook, Ciria C731, London, 2013. ISBN: 978-0-86017-734-0.
- Clausnitzer et al. Ministerium für Umweltschutz und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Hochwasserschutz in der DDR, bearbeitet von Clausnitzer, E. et al., Berlin (Ost), 1987.
- DIN 19712 Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN 19712:2013-01: Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2011.
- DWA-M 507-1 Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA): Deiche an Fließgewässern – Teil 1: Planung, Bau und Betrieb, Merkblatt DWA-M 507, Hennef, 2011.
- Förster Förster, U.: KPP Meerlaagsveiligheid: Emergency response, Inventarisatie van wereldwijd beschikbare snelle reparatietechnieken en/of noodmaatregelen bijdijkbressen, Kennzeichen 1204477-016-VEB-0001, Deltares, Delft, 2011.
- Gerritsen Gerritsen, H.: What happened in 1953? The big flood in the Netherlands in retrospect, in: Philosophical Transactions. Series A, Mathematical, Physical, and Engineering Sciences, 2005, Heft 363, S. 1271-1291.
- Hartmann Hartmann, H.: Das Drei-Schluchten-Projekt und sein Einfluss auf die Hochwassersituation am Mittellauf des Yangtze, Diplomarbeit, Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Geographie, Gießen, 2002.
- IWHR China Institute of Water Resources and Hydropower Research (IWHR): City Defense Dyke of Jiujiang City- Jiangxi Province, Beijing, 2008.
- Jacob Jacob, K.: Erarbeitung von Handlungsempfehlungen zur Schließung von Deichbrüchen im Hochwasserfall, Diplomarbeit, Hochschule Magdeburg-Stendal (FH), Fachbereich Wasserwirtschaft, Magdeburg, 2004.
- Jonkman et al. Jonkman, B.; Schweckendiek, T.; Dupuits, G.; Heyer, T.; Bijl, J.; Labrujere, A.: Floods in Germany (June 2013), Präsentation, in: Hochwasser 2013 – Post-flood field investigation 2-3 July 2013, TU Delft, Delft, 2013.
- Joore Joore, I.A.M.: Noodsluiting van een dijkdoorbraak bij hoogwater, Masterarbeit, TU Delft, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Hydraulic Engineering, Delft, 2004.
- Kranert-Rydzky Kranert-Rydzky, H.: Elbe-Deich bei Fischbeck fast geschlossen, verfügbar unter: <http://www.mz-web.de/mitteldeutschland/hochwasser-in-sachsen-anhalt-elbe-deich-bei-fischbeck-fast-geschlossen,20641266,23335914.html>, (abgerufen am 18.09.14)
- Lendering et al. Lendering, K.; Jonkman, S.; Kok, M.: Effectiveness and reliability of emergency measures for flood prevention, TU Delft, Faculty of Civil Engineering, Delft, 2014.

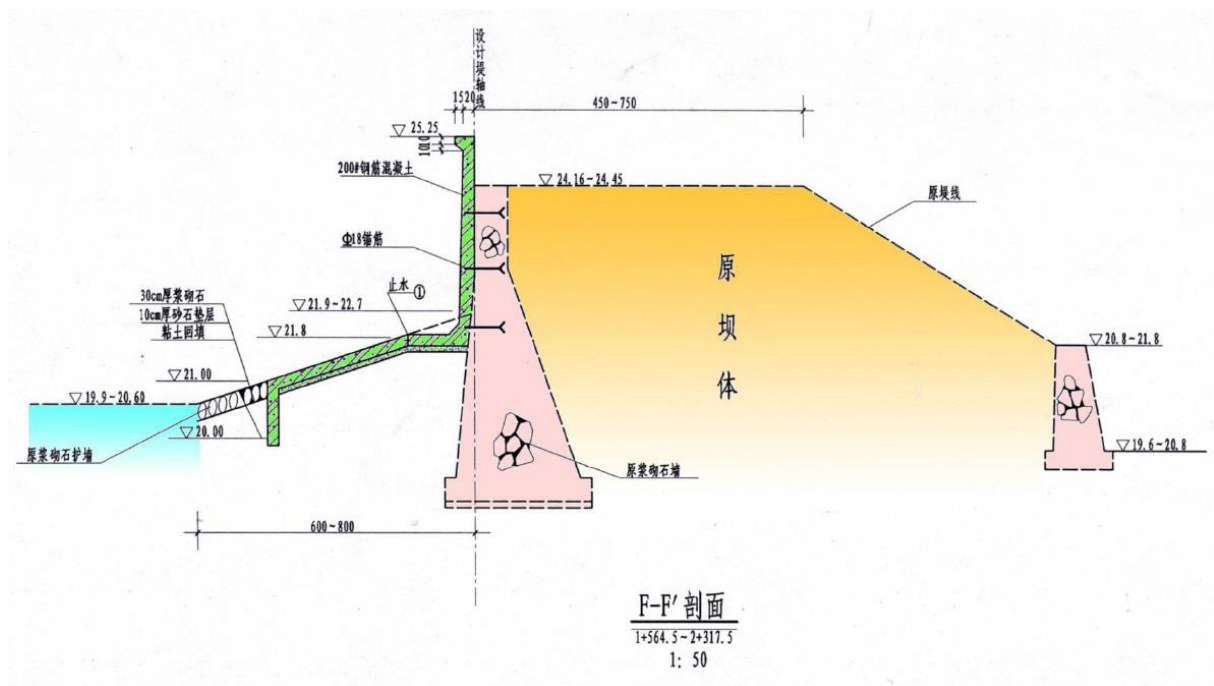
- LfU 2005 Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU): Flussdeiche – Überwachung und Verteidigung, Mannheim, 2005. ISBN: 3-88251-300-4.
- LfU 2010 Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Hinweise zur Deichverteidigung und Deichsicherung, München, 2010.
- LfU 2013 Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Junihochwasser 2013 - Wasserwirtschaftlicher Bericht, Augsburg, 2013.
- LHW Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW): Bericht über das Hochwasser im Juni 2013 in Sachsen-Anhalt - Entstehung, Ablauf, Management und statistische Einordnung, Magdeburg, 2013.
- LUA Landesumweltamt Brandenburg (LUA): Hochwasserschutz in Brandenburg, aktualisierte Neuauflage, Potsdam, 2003.
- LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg (LUBW): Flussdeiche- Deichverteidigung im Hochwasserfall, Poster, Karlsruhe, 2006.
- Müller Müller, O.: Die Verteidigung von Altdeichen an der Sickerfläche, Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften, Hamburg 2006.
- Patt & Jüpner PATT, H.; JÜPNER, R.: Hochwasser-Handbuch – Auswirkungen und Schutz, 2.Aufl., Verlag Springer Vieweg, Berlin-Heidelberg, 2013. ISBN: 978-3-642-28190-7.
- Resio et al. 2009 Resio, D.; Boc, S.; Maynard, S.; Ward, D.; Abraham, D.; Dudeck, D.; Welsh, B.: Development and Demonstration of Rapid Repair of Levee Breaching Technology, Report to Department of Homeland Security, USACE Engineer Research and Development Center, Vicksburg (MS), 2009.
- Resio et al. 2011 Resio, D.; Boc, S.; Ward, D.; Kleinman, A.; Fowler, J.: U.S. Army Engineer Research and Development Center: Rapid Repair of Levee Breaches, SERRI Report 81000-01, Oak Ridge (TN), 2011.
- Schüttrumpf 2012 Schüttrumpf, H.: Hochwasser- eine Daueraufgabe!, Tagungsband, in: 42.IWASA Internationales Wasserbau Symposium, Aachen, 2012.
- Schüttrumpf 2013 Schüttrumpf, H.: Ursachen für Deichbrüche bei den jüngsten Hochwasserereignissen in Süd- und Ostdeutschland, Präsentation, in: Informationsveranstaltung „Runder Tisch Hochwasser“ 20.11.2013, Wesel, 2013.
- TMLNU Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (TMLNU): Anleitung für die Verteidigung von Flussdeichen, Stauhaltungsdämmen und kleinen Staudämmen, Erfurt, 2003.
- Verheij et al. Verheij, H.; Visser, P.; Förster, U.: Analysis of Chinese dike breaches along the Yangtze River and tributaries, Kennzeichen 1001598-000-GEO-0003, Deltares, Delft, 2009.

Sonstige Bildnachweise

- [1] <http://www.kamern.com/hochwasser.html> (abgerufen am 17.09.14)
- [2] <http://www.floodsite.net/juniorfloodsite/html/en/student/thingstoknow/geography/katrina3.html> (abgerufen am 17.09.14)
- [3] <http://www.panoramio.com/photo/94726299> (abgerufen am 17.09.14)
- [4] <http://www.beaver-ag.com/de/beaver-schutz/beaver-schutzsysteme.php>
(abgerufen am 28.09.14)

Anhang A

Bilder zur Deichbruch-Schließung Jiujiang am Yangtse (China) 1998



设计堤轴 design dyke axle 钢筋混凝土 reinforced concrete 浆砌石 stone masonry 砂石垫层 sand-gravel cushion 粘土回填 clay backfilling 原浆石护墙 original mortar protection wall 原浆砌石墙 original mortar wall F-F'剖面 F-F' cross section

Abbildung 36: Querschnitt des Stadtdeichs von Jiujiang City an der Bruchstelle [IWHR]



Abbildung 37: Deichbruchschließung mittels Lastkahn [IWHR]



Abbildung 38: Sicherung der Arbeitskräfte mit Seilen [IWHR]

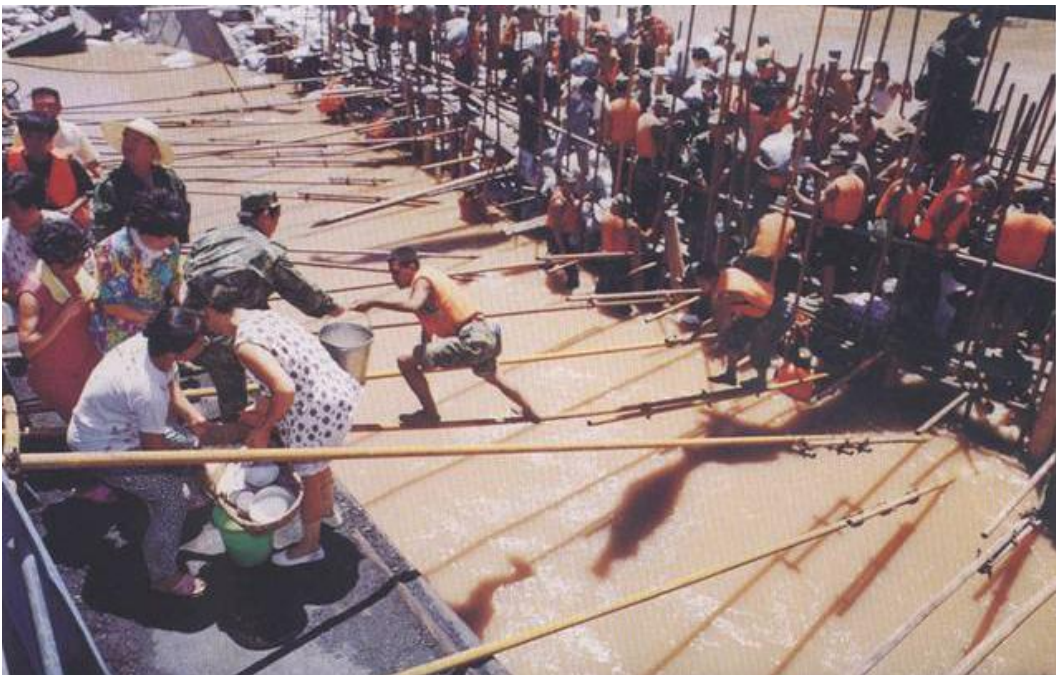


Abbildung 39: Verfüllen des Skelettbaus mit Steinen und Sandsäcken [IWHR]



Abbildung 40: Einrammen der Holz-und Stahlstangen in die Bruchstelle durch Handarbeit der Arbeitskräfte [Förster]



Abbildung 41: Sicherung des Notfallverschlusses mit Sandsäcken [IWHR]



Abbildung 42: Zeremonie Feier nach der Deichbruchschließung [IWHR]

Anhang B

Anwendungsbeispiel: AquaDam® in Arcata in Humboldt County, CA 2004 [AquaDam]

Bereits 2004 wurde der AquaDam® in Arcata (USA) bei einem Deichbruch angewandt. Durch einen Meeresturm verursacht, entstand damals im Gezeiten beeinflussten Überschwemmungsgebiet ein Deichbruch mit einer Länge von ca. 48 m. Dieser Deichbruch wurde mittels eines Ringdeichs von AquaDam® geschlossen wurde. Die Gesamtlänge des AquaDams® war dreimal so lang wie die Bruchstelle, da der AquaDam® als Notdeich außerhalb der eigentlichen Bruchstelle errichtet wurde. Spezifische Besonderheit dieses Beispiels stellt der Einfluss der Gezeiten dar. Bei Ebbe gelten erleichterte Arbeitsbedingungen als bei Flut bzw. einer Deichbruchschließung eines Flussdeichs im Hochwasserfall.



Abbildung 43: AquaDam®-Notfallverschluss bei dem Deichbruch bei Humboldt Bay

Der 137 m lange und 2,5 m hohe AquaDam® wurde insgesamt in drei Abschnitte verlegt. Aufgrund der geringen Böschungstabilität und der verbleibenden Spaltstelle (zusätzlich zu einer Biegung) entschied man sich für einen Bypass. Bedingt durch die Gezeiten floss das Wasser viermal am Tag rein und raus, was eine Folgeerosion verursachte. Die Tiefe der Bruchstelle hatte sich durch die fortschreitende Erosion auf 3,6 m ausgeweitet.



Abbildung 44: Folgeerosion in der Deichbresche

Um den Deichbruch zu schließen und die fließende Wassermasse zu unterbinden, musste zuerst eine Plattform als Unterstützung für den AquaDam® hergestellt werden. Der vorhandene Schlamm wurde in die Außenhaut eines Schlauchs gefüllt. Hierdurch wurde der gesamte Kanal mit mehreren Schlamm-Schläuchen abgedichtet.



Abbildung 45: Unterbau des AquaDams®

Der teilweise mit Wasser gefüllte AquaDam® wurde anschließend über den mit Schlamm gefüllten Schläuchen platziert. Die letzten Meter der AquaDam® Barriere mussten mithilfe von Baggern im überschwemmten Gebiet an die zu schließenden Stellen transportiert werden.



Abbildung 46: Platzierung des AquaDam®

Die letzte Sektion stellte die Verbindung zwischen den zwei vorinstallierten AquaDams® her.



Abbildung 47: Verschluss durch den AquaDam®

Unmittelbar nach der Befüllung wurde der AquaDam® seitlich mit Boden stabilisiert



Abbildung 48: Stabilisierung des AquaDam®

Bei Flut war der Hochwasserstand somit ca. 60 cm niedriger als die Oberkante des AquaDams®.



Abbildung 49: AquaDam® im Einsatz

[AquaDam] & [Förster]