

Die Deichzustandsanalyse als Grundlage von Ertüchtigungs- und Instandhaltungskonzepten bei Flussdeichen

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner
Dr.-Ing. Alexander Schmitt
Dipl.-Ing. Jan Kretzschmar

Die Deichzustandsanalyse ist ein entscheidender Bestandteil einer Deichertüchtigungsmaßnahme und Basis der grundsätzlichen Einschätzung, ob an einem Deich Ertüchtigungsbedarf besteht oder nicht. Die Zustandsanalyse beinhaltet neben der Aus- und Bewertung der vorhandenen Dokumente i.d.R. auch die Ergebnisse einer Deichschau inklusive Schadensaufnahme und ggf. weitere geotechnische Erkundungsergebnisse. Auf Basis einer Deichzustandsanalyse können, wenn Ertüchtigungsbedarf festgestellt wurde, zu einer relativ frühen Projektphase bereits grundlegende Aussagen zu konkreten Maßnahmen der Deichertüchtigung getroffen werden. Eine systematische Aufbereitung von vorhandenen und zu ermittelnden Daten hat sich hierbei als hilfreich erwiesen.

Stichworte: Deich, Ertüchtigung, Sanierung, Deichzustandsanalyse

1 Einleitung

Die Deichzustandsanalyse bildet die Grundlage für die Bewertung des Deichzustandes und daraus abgeleiteter notwendiger Maßnahmen, die im Rahmen von turnusmäßiger Instand-/Unterhaltung oder im Rahmen von Ertüchtigungs-/Ausbaumaßnahmen durchgeführt werden sollen.

Die Deichzustandsanalyse beinhaltet i.d.R. die visuelle Inaugenscheinnahme des Deiches und die Sichtung der vorhandenen Informationen und Unterlagen. Bei entsprechend alten Deichen liegt meist wenig Information über Untergrund und Deichaufbau, -material und -beschaffenheit vor, weshalb entsprechende geotechnische Untersuchungsmaßnahmen im Feld und im Labor notwendig sind (DWA 507/2011).

Anhand von den im Rahmen der Deichbegehung ermittelbarer Informationen und visuell zu erfassender Zustände und Schäden kann bereits in einer ersten Phase mit dem Blick in Richtung der nächsten Projektschritte, welche i.d.R. eine geotechnische Erkundung beinhalten sollte, beurteilt werden, ob der Deich den

a.a.R.d.T. entspricht, und wenn dies nicht der Fall ist, ob und wie der Deich in einen entsprechenden Zustand innerhalb einer bestimmten zeitlichen Vorgabe versetzt werden soll. Für die Umsetzung von Hochwasserschutz- und Deicher-tüchtigungsmaßnahmen gibt es landesspezifische Ansätze, welche neben den technischen Fakten sowohl Aspekte hinsichtlich überregionaler Planungen und Konzepten des Hochwasserschutzes als auch des Zeit- und Finanzierungsplans berücksichtigen (Müller, 2007; Haselsteiner & Strobl, 2007).

Ziel einer Deichzustandsanalyse ist es stets, mit möglichst niedrigem Aufwand ein ausreichend genaues Bild über den Zustand des Deiches zu erhalten. Hierbei hilft es, die entsprechenden Informationen und Daten systematisch z. B. anhand eines Schadenskatasters zu sammeln.

2 Grundlegende Aspekte

Zur Zustandsanalyse von Bauwerken werden i.d.R. die vorhandenen und mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand zu beschaffenden Informationen herangezogen. Die Güte und Tiefe der Deichzustandsanalyse hängt hierbei vom Ziel der Weiterverwendung der Analyse, der Planungsphase und letztendlich vom Deichzustand selbst ab. Sofern der Deich in einem guten Zustand ist und keine Schäden während Hochwasser aufgetreten sind, reicht die Dokumentation einer Deichschau u. U. aus, um den Zustand hinreichend genau beurteilen zu können.

Zur Ermittlung/Erhebung der Daten und Grundlagen werden i.d.R. mehrere von folgenden Maßnahmen durchgeführt:

- Sichtung von vorhandenen Unterlagen
- Deichbegehung / -schau
- Schadensaufnahme / -kataster
- Vermessung
- Geotechnische/geophysikalische Untersuchungen

Auf Basis der zusammengetragenen Daten wird der Deichzustand dokumentiert und anschließend dieser dokumentierte Zustand weiterführend analysiert:

- Stufe A. Bewertung der Informationen und Formulierung von und Vergleich mit technischen Anforderungen
- Stufe B. (Stand-)Sicherheitsbetrachtungen und Nachweise
- Stufe C. Probabilistische Bewertung – Risikoanalyse

Je nach Aufgabenstellung werden die Stufen A, B und C nacheinander oder in sich greifend durchgeführt. In Stufe A kann man i.d.R. den Vergleich mit den a.a.R.d.T. ziehen und die Funktionstüchtigkeit des Bauwerks abschätzen.

Sofern Deichaufbau und Untergrund Fragen offen lassen, müssen die entsprechenden Nachweise mit entsprechenden Sicherheiten erbracht (Stufe B) und die Funktionalität auf entsprechend aufwendigem Weg beurteilt werden. Bei der Durchführung von Nachweisen an Bestandsdeichen kommt der Festlegung von realistischen Eingangsparametern und die Ermittlung eines zutreffenden Deich- und Untergrundaufbaus (geotechnisches Modell) besondere Bedeutung zu. Speziell bei Altdeichen stellen auch bei Einsatz von flächendeckenden geophysikalischen Erkundungsverfahren und einer großen Anzahl an direkten Aufschlüssen diese Modelle eine grobe Abschätzung dar. Die Prozesse, welche die Standsicherheit gefährden, treten zudem temporär kurzfristig auf und verändern das Deichsystem so nachteilig, dass es bei Hochwasser versagen kann, ohne dass der Mensch zuvor die Möglichkeit hat, dies zu erkennen oder Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Die probabilistische Betrachtung von ganzen Deichabschnitten zur Ermittlung von Versagensrisiken (Stufe C), wie z. B. in Möllmann (2009) oder Heyer et al. (2012) beschrieben, ist derzeit noch eher ein wissenschaftlicher Ansatz zur Bewertung von Deichzuständen.

3 Alterungsprozesse an Deichen

Der Deichzustand unterliegt einem Alterungsprozess hinsichtlich des Bauwerks bzw. dessen Materialien. Die folgenden Einwirkungen/Aspekte tragen u. A. zur Alterung bzw. zur nachteiligen Veränderung der Eigenschaften von Materialien und des Gesamtbauwerks bei:

- Biologischer/mechanischer Angriff durch Fauna und Flora
- Chemische Prozesse
- Frost-Tau-Wechsel
- Hitzebeanspruchung und Austrocknung von Böden
- Veränderung des Wasserhaushalts
- Verformung/Kriechen von Deich und Untergrund

Diese Einwirkungen/Aspekte sollten bereits im Rahmen der Planung von Maßnahmen hinsichtlich der Lebensdauer des Ingenieurbauwerks berücksichtigt

werden (Strauss & Suda, 2007). Desto kleiner die Deichkubatur ist, umso stärker wirken sich die genannten Umwelteinflüsse auf das Deichbauwerk aus.

Ein Anschauungsbeispiel wird in Abbildung 1 gezeigt. Die Wurzeln des auf dem Deich befindlichen Baumes haben den Deichkörper durchörtert und dadurch den Boden verdrängt, so dass nach dem Bruch nur noch eine Wurzelmatrix übrig geblieben ist. Diese Art der Alterung hat den Aufbau und die Eigenschaften des Bauwerks und somit auch sein (Widerstands)Verhalten komplett verändert.



Abbildung 1: Deichbruch an der Ammer bei Pschorn während Hochwasser 1999 (Quelle: WWA Weilheim, Bayern) – Deichmaterial von Wurzeln durchörtert und verdrängt (aus Haselsteiner & Strobl, 2006)

Anthropogene Einflüsse müssen nicht zur Alterung, sondern können eher zu Schädigungsprozessen gezählt werden. Darunter fällt z. B. die Nutzung von Deichflächen als Ackerland oder als Weideland. Weiteres zu Deichschäden ist in Haselsteiner & Strobl (2006) zu finden.

Dem Alterungsprozess kann man durch regelmäßige Unterhaltungs- und Instandhaltungsmaßnahmen begegnen. Dazu muss man diese Prozesse natürlich erst entdecken und dann überwachen (USSD, 2010). Da in Deichen i.d.R. keine Messinstrumente eingesetzt werden und sie nur temporär belastet werden, ist die Voraussage eines anomalen Verhaltens bei Belastung stark von der visuellen, regelmäßigen Kontrolle und entsprechend ausgerichteten Unterhaltungsmaßnahmen abhängig. Dies unterstreicht wieder die Wichtigkeit von Deichbegehungen/-schauen und deren Dokumentation.

Mindestens jährlich stattfindende Deichschauen, die Erstellung und Pflege eines Deichbuchs, die Dokumentation von allen Beobachtungen und Tätigkeiten am und auf dem Deich und der bei Deichklasse I und II nach DWA 507/2011 geforderte jährliche Statusbericht sind die richtigen Werkzeuge, um den im Zuge von Alterungsprozessen sich verschlechternden Deichzustand zu erfassen und zu kontrollieren und um entsprechende Gegenmaßnahmen ableiten zu können.

4 Erhebung von Informationen und Erkundung

4.1 Allgemeines

Sofern bereits ein Anlagen-/Deichbuch erstellt wurde und gepflegt wird und/oder ein jährlicher Statusbericht vorliegt, ist die Informationserhebung weitgehend eine Schreibtischarbeit, wobei die Deichbegehung i.d.R. lediglich dazu dient, den im Anlagenbuch bzw. in den vorliegenden Dokumenten beschriebenen Zustand zu verifizieren und die Schadensaufnahme durchzuführen.

Die nächsten Schritte umfassen geotechnische und geophysikalische Erkundungsverfahren. Hierzu sind Feld- und Laborversuche notwendig, welche anschließend die Eingangsdaten für die entsprechenden Nachweise liefern. Die Vorgaben zu Erkundung von Deichen sind in DIN 19712/2013, DWA 507/2011 und den entsprechenden geotechnischen Normen ausreichend genau beschrieben. Vermessungsarbeiten werden i.d.R., sofern nicht aktuelle Daten vorliegen, den Erkundungsmaßnahmen vorgezogen.

Bei den Bohrungen sollte man in jedem Fall alle hydraulisch beaufschlagten Bereiche und Schichten untersuchen. Die geophysikalischen Methoden können im Zusammenspiel mit den direkten Aufschlüssen eingesetzt werden und zur Verbesserung des Baugrundmodells beitragen. Bei Deichen werden vor allem Georadar und Geoelektrik eingesetzt. Die Anwendungsgrenzen sind stark abhängig vom Aufbau und der Zusammensetzung des Untergrunds und den Grundwasserhältnissen. Meist dient die Geophysik dazu, entlang von Untersuchungsachsen oder flächig Anomalien zu entdecken, welche dann wieder mit direkten Verfahren untersucht werden (Hohlfeld et al., 2004). Die Wahl eines guten Büros für Geophysik stellt sich in der Praxis nicht einfach dar.

Im Rahmen der Deichertüchtigungsmaßnahmen der letzten zwei Jahrzehnte sind zahlreiche Deichstrecken bereits ertüchtigt worden und/oder es wurde an zahlreichen Deichstrecken bereits eine Deichzustandsanalyse durchgeführt bzw. der Ertüchtigungsbedarf festgestellt. Aneinander grenzende Deichabschnitte ähneln sich nicht selten bzgl. Aufbau, Untergrund und Beschaffenheit, so dass wertvolle Erkenntnisse bereits von einem bereits ertüchtigten Deichabschnitt gewonnen werden können und die Deichzustandsanalyse auch auf den Erkenntnissen von angrenzenden Bereichen zurückgreifen kann.

Für den günstigen Fall, dass Unterlagen vorhanden sind, und die Inaugenscheinnahme entsprechende Erkenntnisse bringt, haben die geotechnischen und geophysikalischen Untersuchungen nur noch den Zweck der Verifikation und Klärung von Details hinsichtlich der Planung und des Auffindens von Störungsbe-
reichen, wie z. B. überschüttete Flussaltarme.

4.2 Unterhaltung und Überwachung nach Regelwerk

DIN 19712/2013 (S. 58) fasst sich bzgl. Maßnahmen an bestehenden Deichen kurz, schreibt jedoch fest, dass für *„bauliche Maßnahmen zur Ertüchtigung von Hochwasserschutzanlagen ... die gleichen Anforderungen an Planung, Ausführung, verwendete Baustoffe und Überwachung wie bei Neuanlagen“* gelten. *„Die Voraussetzung für die wirksame Durchführung von Baumaßnahmen an bestehenden Hochwasserschutzanlagen sind hinreichende Kenntnisse über den Zustand der Anlage, die bestehenden hydraulischen und hydrologischen Randbedingungen sowie den Untergrund (Zustandsanalyse).“*

Ferner ist nach DIN 19712/2013 (S. 62), die *„Funktions- und Betriebssicherheit von Hochwasserschutzanlagen... ganzjährig sicherzustellen. Hierzu bedarf es einer regelmäßigen Überwachung“* (vgl. DWA 507/2011). Dies sollte prinzipiell ständig und vorausschauend im Vorfeld der gewässerspezifischen Hochwasserzeiten zu erfolgen.

Regelmäßige Begehungen und eine Aussichtsschau sind mit dem Träger der Bau- und Unterhaltungslast durchzuführen. Die Ergebnisse dieser Deichinspektionen sind zu dokumentieren und in einem Anlagen-/Deichbuch verwahrt werden (DIN 19712/2013).

Im Merkblatt DWA 507/2011 wird ein „Anlagenbuch“ bzw. „Deichbuch“ eingeführt. Das Deichbuch sollte alle Informationen enthalten, die für eine Deichzustandsanalyse erforderlich sind. Die Aktualität sollte hierbei, wie bereits erwähnt, im Jahresrhythmus hergestellt werden. Als Hilfsmittel der Aktualisierung sollte für Deiche der Klasse I und II ein jährlicher Statusbericht angefertigt werden. Der Statusbericht enthält die Ergebnisse der Überwachungstätigkeiten und den daraus abgeleiteten Handlungsbedarf. Die Häufigkeit der Deichschau ist teilweise in den Landesgesetzen niedergeschrieben.

Sind Deichbuch und Statusbericht vorhanden, sollte es in einem ersten Schritt genügen, diese Unterlagen zu sichten, um daraus die notwendigen Schlüsse hinsichtlich weiterführender Untersuchungen und Ertüchtigungsmaßnahmen schließen zu können.

5 Erfahrungen an Deichen während Hochwasser und Deichschäden

Bei größeren Hochwassern sollten Deiche lückenlos und ständig von „Deichläufern“ überwacht werden. Deiche, die an ihre Grenzen belastet werden, zeigen in diesem Fall Schäden, die mehr oder minder sichtbar sein können. Oft werden

diese Erfahrungen jedoch nicht dokumentiert und müssen von den Experten im Nachhinein rekonstruiert werden.

Bereits visuell nicht sichtbare Durch- und Unterströmung kann zu Erosionsvorgängen führen, welche den Deich und den Untergrund substantiell schwächen können. Dann sind im Hochwasserfall Deichverteidigungsmaßnahmen notwendig. Die Verteidigungsmaßnahmen richten sich nach der Art der Vorgänge am und im Deich und geben wertvolle Hinweise auf die im Rahmen der Ertüchtigung notwendigen baulichen Maßnahmen.

Abbildung 2 zeigt Deiche, die während Hochwasser erfolgreich verteidigt wurden. Bei beiden Deichen kam es zu einer starken Durchsickerung vom Deichkörper selbst. Die Schäden an Deichen, die nicht nur während Hochwasser auftreten können (Haselsteiner, 2006), sind Indizien dafür, dass das Bauwerk selbst den Anforderungen nicht gewachsen ist oder der Umgang mit dem Bauwerk nicht entsprechend sorgfältig stattfindet.

Eine systematische Aufnahme von Deichschäden und deren Dokumentation innerhalb der mindestens jährlich stattfindenden Deichschau und nach dem Hochwasser gehört mittlerweile zum Stand der Technik und wird von den Trägern der Unterhaltungslast bzw. der technischen Gewässeraufsicht entsprechend direkt oder im Auftrag von diesen durchgeführt.



Abbildung 2: Links - Deichverteidigung an einem homogenen Deich an der Gera 2013 (aus TLUG, 2013); Rechts – Deichaufhöhung und –verteidigung an einem Deich an der Loisach (Kölbl, 2006)

6 Katalogisierung von Erhebungsdaten und Deichschaudokumente

Bei der Deichbegehung und Sichtung der Unterlagen, jedoch vor allem bei der Aufnahme von Deichschäden sind Formblätter hilfreich, welche den Ingenieur Vorort anleiten und die Gefahr, irgendetwas zu vergessen, eliminieren. Nach Festlegung der Deichabschnitte wird ein Datensatz für jeden der Deichabschnitte erstellt, der u. a. aus folgenden Einheiten bestehen kann:

- Allgemeines / Deichspezifische Daten
- Einschätzung, ob die a.a.R.d.T. eingehalten sind (ThürTAStau, 2005)
- Einschätzung, ob der Deich funktionstüchtig ist
- Schadensaufnahme / -kataster
- Übersichtslageplan
- Übersicht über vorhandene Dokumente
- Fotodokumentation
- Skizzen in Lageplan und Querschnitten
- Maßnahmenkatalog und Art der empfohlenen Ertüchtigungsmaßnahme
- Anleitung, Erläuterung und Hinweise

Ein systematisierter, umfassender Datenerhebungskatalog kann direkt als Dokumentation einer Deichbegehung in das Deichbuch oder als Teil des Statusberichts verwendet werden.

Bei längeren Deichabschnitten können auch mobile Tablets eingesetzt werden, über die die Schäden direkt als GIS-Daten in den Lageplan eingetragen werden können. Ein effizientes Deichschauteam besteht mindestens aus zwei besser aus drei Personen.

7 Konzeptionelle Ausrichtung von Ertüchtigungsmaßnahmen

Bereits nach der Erhebung der existierenden Daten inklusive Deichschau, Schadensaufnahme und ggf. Vermessung sollte es möglich sein, Alternativen von Deichertüchtigungsmaßnahmen gegenüberzustellen und eine Vorzugslösung zu entwickeln, insofern nicht wichtige Aspekte, wie z. B. das Vorhandensein von wirtschaftlichen Deichbaumaterial und/oder die Möglichkeit der Wiederverwertung von Material in Altdeichen, eine erhebliche Datenunsicherheit offenlassen.

Dies hilft bei der Festlegung der Feld- und Laboruntersuchungen ebenso wie bei der Kostenschätzung im Rahmen der Vorplanung. Die Planungen müssen jedoch stets flexibel gehalten werden, da nicht immer technische Gesichtspunkte dominieren und abweichend von den Empfehlungen des Ingenieurs zu anders gelagerten Lösungen kommen kann, die technisch nicht den Vorzug erhalten würden.

In Abbildung 3 ist ein Maßnahmenkatalog dargestellt, wie er zu einer ersten Konzeption von notwendigen Maßnahmen Verwendung finden kann (Haselsteiner, 2008).

Art der Maßnahme			
64	<input type="checkbox"/> Notsicherungsmaßnahme (sofort)	67	<input type="checkbox"/> Vorwegmaßnahme (nach Teilplanung)
65	<input type="checkbox"/> Sofortmaßnahme (vor dem nächsten Hochwasser)	68	<input type="checkbox"/> Komplettertüchtigung (nach Planung)
66	<input type="checkbox"/> Teilerfüchtigungsmaßnahme (nach (Teil-)Planung)		
Zutreffendes bitte ankreuzen!			
Maßnahmenkatalog nach Haselsteiner (2008)			
Zutreffendes bitte ankreuzen!		Erläuterungen:	
Erdbauliche Maßnahmen	Deichrückverleugung / Neutrassierung	Abflächung der Böschungen	Anschüttungen
	(Teil-)Jahrtag Neubau / Bodenaustausch	Anordnung Uram/Filler	Anschüttung
	Deichweg / Bettreivernichtung der Krone	Erdbauliche Erhöhung	Anschüttungen
Bauwerke	Stützwerke	Mauern / Mobile Elemente	
	Dichtungen	Oberflächenabdichtung	
Material-Verlebung	Geokunststoffe	Boden-/Degrundverlebung	
	Oberflächensicherung	Erosionssicherung wasserseitige Böschung	Überstromstrecken
Sicherung von Deichen mit Gehäzen		Überprofil	Wurzelschichten
	Sicherung von Einzelbäumen	Statisch wirksame Sicherungselemente	
<p>Bemerkung: Die aufgeführten Maßnahmen betreffen nur den Deichquerschnitt. Die Deichtrasse bzw. HWS-Maßnahmen am Gewässer sind ebenfalls Gegenstand der Diskussion.</p>			

Abbildung 3: Maßnahmenkatalog und Art der Ertüchtigungsmaßnahme aus Deicherhebungskatalog

8 Literatur

DIN 19712/2013: Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern. Deutsches Institut für Normung (DIN), Berlin

DWA 507/2011: Deiche an Fließgewässern. Teil 1: Planung, Bau und Betrieb. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef

Haselsteiner, R.; Strobl, Th. (2006): Deichertüchtigung unter besonderer Berücksichtigung des Gehölzbewuchses. Sicherung von Dämmen, Deichen und Stauanlagen - Handbuch für Theorie und Praxis. Hrsg. Prof. Dr.-Ing. Richard A. Hermann und Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jensen, Universitätsverlag Siegen - universi

Haselsteiner, R., Strobl, Th. (2007): Priorisierungskonzepte zur optimalen Umsetzung von Deichertüchtigungsmaßnahmen. Dresdner Wasserbaukolloquium 2007 "Fünf Jahre nach der Flut", 08. bis 09. Oktober 2007, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 35, S. 343 – 352

Block 1
Saal 4

Block 1
Saal 5

Block 2
Saal 4

Block 2
Saal 5

Block 3
Saal 4

Block 3
Saal 5

Block 4
Saal 4

Block 4
Saal 5

Block 5
Saal 4

Block 5
Saal 5

Block 6
Saal 4

Block 6
Saal 5

- Haselsteiner, R. (2008): Maßnahmen zur Ertüchtigung von Deichen. Korrespondenz Wasserwirtschaft (KW), Heft 3/08, S. 139 - 149, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.
- Heyer, T.; Horlacher, H.-B.; Stamm, J. (2012): Zuverlässigkeitsbewertung von Flussdeichen nach dem Verfahren der logistischen Regression. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 40/2010, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, S. 65-74
- Hohlfeld, T.; Geiling, P.; Dörrer, T. (2004): Geophysikalisch-geotechnische Untersuchung zur Einschätzung der Baugrundverhältnisse an Hochwasserschutzdeichen. Geotechnik 27, Heft Nr. 4, S. 356 – 363
- Kölbl, A. (2006): Erfahrungen bei der Deichverteidigung in Eschenlohe während der Hochwasser 1999, 2002 und 2005. Fachtagung „Deichertüchtigung und Deichverteidigung in Bayern“, 13.-14. Juli 2006 in Wallgau, S. 158-164
- Müller, U. (2007): Die Hochwasserschutzkonzepte im Freistaat Sachsen – Erstellung, Priorisierung, Umsetzung. Dresdner Wasserbaukolloquium 2007 "Fünf Jahre nach der Flut", 08. bis 09. Oktober 2007, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 35, S. 55 – 64
- Möllmann, A. (2009): Probabilistische Untersuchung von Hochwasserschutzdeichen mit analytischen Verfahren und der Finite-Elemente-Methode. Dissertation, Fakultät für Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen, Universität Stuttgart
- Neumann, A. (2006): Deichnachrüstungsprogramm – Teil des Aktionsprogramms zum Hochwasserschutz. Fachtagung „Deichertüchtigung und Deichverteidigung in Bayern“, 13.-14. Juli 2006 in Wallgau, S. 8-12
- Strauss, A.; Suda, J. (2007): Bewertung und Sicherheit von Ingenieurbauwerken in der Natur. Bautechnik und Natur, Kongressunterlagen, Ernst & Sohn, Berlin
- ThürTAStau (2005): Thüringer Technische Anleitung Stauanlagen (ThürTA-Stau: 2005-06). Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt, Erfurt
- TLUG (2013): Das Hochwasserereignis im Mai/Juni 2013 in Thüringen. Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG)
- USSD (2007): The Aging of Embankment Dams. United States Society on Dams (USSD), Denver, USA

Autoren:

Dr.-Ing. Ronald Haselsteiner
Dr.-Ing. Alexander Schmitt

Dipl.-Ing. Jan Kretzschmar

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Fachgebiete Wasserbau und Geotechnik
Maria Trost 3
56070 Koblenz

Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt
GmbH
Brühler Herrenberg 2a
99092 Erfurt

Tel.: +49 261 8851 359

Tel.: +49 361 22490

Fax: +49 261 8057 25

Fax: +49 361 224911

E-Mail: Ronald.Haselsteiner@bjoernsen.de
Alexander.Schmitt@bjoernsen.de

E-Mail: Jan.Kretzschmar@bjoernsen.de