

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

## **Sabrowski, Michael; Weichelt, Sebastian; Sauerwein, Jens Hybridmodellierung für hochgradig gekoppelte hydraulische Systeme**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:  
**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische  
Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103296>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Sabrowski, Michael; Weichelt, Sebastian; Sauerwein, Jens (2017): Hybridmodellierung für hochgradig gekoppelte hydraulische Systeme. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Bemessung im Wasserbau - Klimaanpassung, Untersuchungen, Regeln, Planung, Ausführung. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 58. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 413-422.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Hybridmodellierung für hochgradig gekoppelte hydraulische Systeme

Michael Sabrowski  
Sebastian Weichelt  
Jens Sauerwein

Am Beispiel des Hochwasserrückhaltebeckens Straußfurt werden aktuelle Untersuchungen zur Hochwassersicherheit im Rahmen der vertieften Überprüfung vorgestellt. Aufgrund der spezifischen räumlichen und hydraulischen Randbedingungen ist die Kopplung von vier gegenständlich-physikalischen (wasserbaulichen) Bauwerksmodellen mit einem zweidimensionalen mathematisch-physikalischen Modell erforderlich.

Stichworte: Hochwassersicherheit, Hybridmodellierung, Kopplung

## 1 Veranlassung und Zielstellung

Die Thüringer Fernwasserversorgung betreibt als Dienstleister für den Freistaat Thüringen unter anderem 21 Hochwasserrückhaltebecken aller Größenordnungen mit einem gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum von insgesamt 29,31 Mio. m<sup>3</sup>. Das Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt besitzt aufgrund seines gewöhnlichen Hochwasserrückhalterumes von 18,64 Mio. m<sup>3</sup> sowie der Verbundwirkung mit dem Hochwasserrückhaltebecken Kelbra (Sachsen-Anhalt) überregionale Bedeutung für den Hochwasserschutz im gesamten Unstrut-Helme-Gebiet bis hin zum Flussgebiet der Saale.

Im Rahmen der aktuell laufenden vertieften Überprüfung des Hochwasserrückhaltebeckens Straußfurt sind gemäß DIN 19700-10:2004-07 alle Sicherheitsnachweise erneut zu führen, wenn sich Veränderungen der Eingangsparameter ergeben haben. So erfolgte in der Projektierungsphase in den 1950er Jahren die Untersuchung der Hochwassersicherheit für einen Bemessungsabfluss von HHQ = 400 m<sup>3</sup>/s. Aufgrund einer geänderten Klassifizierung von einem mittleren Becken in ein großes Becken gemäß DIN 19700-12:2004-07 im Jahr 2006 sowie der im Rahmen der vertieften Überprüfung neu ermittelten hydrologischen Bemessungsgrößen im Jahr 2014 ist die Anlagensicherheit aktuell für ein Extremhochwasser von BHQ<sub>2</sub> = HQ<sub>10.000</sub> = 793 m<sup>3</sup>/s nachzuweisen.

## 2 Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt

Das Absperrbauwerk des Hochwasserrückhaltebeckens Straußfurt besteht aus einem circa 9 m hohen Erddamm mit einer Länge von rund 1.850 m. Auf etwa halber Länge quert das Gewässer Unstrut den Erddamm in einem Massivbauwerk (sogenanntes Abschlussbauwerk). Der Abfluss wird hier über vier Doppelhakenschnitten mit einer Öffnungsweite von je 3,30 m gesteuert.

An der linken Dammschulter ist die Hochwasserentlastungsanlage angeordnet. Diese besteht aus einem 270 m langen freien Überfall mit einer mittleren Vollstauhöhe von  $Z_V = 149,80$  m NHN sowie einer parabelförmigen Sammel- und Ablaufrinne. Über das Tosbecken entlastet die Ablaufrinne in das luftseitige Dammvorland (Abbildung 1 links).

Das luftseitige Dammvorland wird bei Abflüssen von größer  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  in der Unstrut und/oder bei in Betrieb befindlicher Hochwasserentlastungsanlage überflutet (Abbildung 1 rechts). In circa 60 bis 300 m Abstand luftseitig vom Absperrbauwerk wird das Vorland von zwei hintereinander liegenden Verkehrsdämmen gequert (Straßen- und Bahndamm). Die Verkehrsdämme enthalten sechs über die gesamte Länge ungleichmäßig verteilte Bereiche mit Durchlässen sowie zwei hintereinander liegende Brücken im Bereich der Unstrut.



**Abbildung 1:** Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt bei Normalbetrieb (sommerlicher Teildauerstau) und bei Hochwasserbetrieb 1994

Die Hochwassersicherheit wurde in der Projektierungsphase anhand eines wasserbaulichen Modells für die Hochwasserentlastungsanlage im Maßstab 1:30 (Längen und Höhen) untersucht. Für den Bemessungsabfluss von  $HHQ = 400 \text{ m}^3/\text{s}$  wird ein Stauziel von 150,50 m NHN angegeben (*Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, 1957*).

Gleichzeitig erfolgte die Untersuchung der Strömungssituation im luftseitigen Dammvorland inklusive der Leistungsfähigkeit der Durchlässe in den Verkehrsdämmen an einem separaten wasserbaulichen Modell im Maßstab 1:100 (Län-

gen) und 1:40 (Höhen). Eine Parallelentlastung über das Abschlussbauwerk (Doppelhakenschützen) wurde bei diesen Untersuchungen nicht berücksichtigt.

### 3 Nachweiskonzept und erste Ergebnisse

#### 3.1 Grundlagen

Im Rahmen der Grundlagenermittlung zur Hochwassersicherheit (*Björnsen Beratende Ingenieure, 2015*) wurde unter Berücksichtigung der tatsächlichen Ausbildung der Dammkrone und der vorhandenen Wellenumlenker eine normgerechte Hochwassersicherheit für ein Hochwasserstauziel von  $Z_{H2} = 150,84$  m NHN ermittelt. Für dieses Hochwasserstauziel und den zugehörigen Bemessungshochwasserzufluss sind folgende Fragestellungen zu beantworten:

- Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage
- Leistungsfähigkeit der Doppelhakenschützen am Abschlussbauwerk
- Leistungsfähigkeit der Durchlässe in den Verkehrsdämmen für den Fall ohne und mit lokaler Überströmung der Verkehrsdämme
- Einfluss des Rückstaus aus den Verkehrsdämmen auf die Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage und der Doppelhakenschützen
- Einfluss von Querströmungen auf die Leistungsfähigkeit der Doppelhakenschützen bei Abflüssen über die Hochwasserentlastungsanlage

Aufgrund der hydraulischen Wechselwirkung zwischen den einzelnen Komponenten ist die Leistungsfähigkeit der Anlagenteile sowie des Gesamtsystems durch analytische Berechnungen nicht eindeutig bestimmbar, so dass den Empfehlungen der DIN 19700-11:2004-07 folgend Modellversuche zur Beantwortung der Fragestellungen herangezogen werden.

Aufgrund der Ausdehnung des luftseitigen Dammvorlandes sowie der Größenverhältnisse zu den Anlagenteilen und Durchlässen erfolgt die Untersuchung anhand unterschiedlicher physikalischer Teilmodelle. Die Entscheidung fiel auf je ein wasserbauliches Teilmodell für die Hochwasserentlastungsanlage und das Abschlussbauwerk sowie je ein wasserbauliches Teilmodell für zwei charakteristische Durchlassbereiche in den Verkehrsdämmen. Die Kopplung zwischen allen wasserbaulichen Teilmodellen erfolgt über ein zweidimensionales mathematisch-physikalisches Modell.

### 3.2 Vorgehensweise

In einem ersten Untersuchungsschritt wurde die grundsätzliche hydraulische Charakteristik und Leistungsfähigkeit von Hochwasserentlastungsanlage und Abschlussbauwerk unter rein qualitativer Berücksichtigung der Wechselwirkung mit der Strömungssituation im luftseitigen Dammvorland untersucht. Die Strömungssituation im luftseitigen Dammvorland wurde dabei vorerst unter Anwendung der modellinternen Ansätze für Bauwerke (Durchlässe) im mathematischen Modell und auf Basis abgeschätzter, von der tatsächlichen Leistungsfähigkeit abweichender, Abflussanteile für die Hochwasserentlastungsanlage und das Abschlussbauwerk bestimmt.

Im zweiten Untersuchungsschritt erfolgt auf Basis der qualitativen Strömungssituation aus Untersuchungsschritt eins und der konstruktiven Ausbildung der Durchlassbereiche die Auswahl von zwei charakteristischen Durchlassbereichen für die Untersuchung am wasserbaulichen Teilmodell. Die Leistungsfähigkeit der Durchlassbereiche wird in Abhängigkeit der spezifischen Randbedingungen gemäß Abschnitt 3.4 bestimmt. Im Ergebnis wird das mathematische Modell anhand von abgeleiteten Übertragungsfunktionen für alle Durchlassbereiche abschließend kalibriert.

Im dritten Untersuchungsschritt erfolgt die iterative Bestimmung der tatsächlichen (quantitativen) Leistungsfähigkeit der einzelnen Anlagenteile (Hochwasserentlastungsanlage, Abschlussbauwerk) und des Gesamtsystems (mit allen Durchlassbereichen) unter Berücksichtigung der hydraulischen Wechselwirkung auf Basis der Ergebnisse aus den Untersuchungsschritten eins und zwei.

Zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses ist der zweite Untersuchungsschritt noch nicht vollständig abgeschlossen.

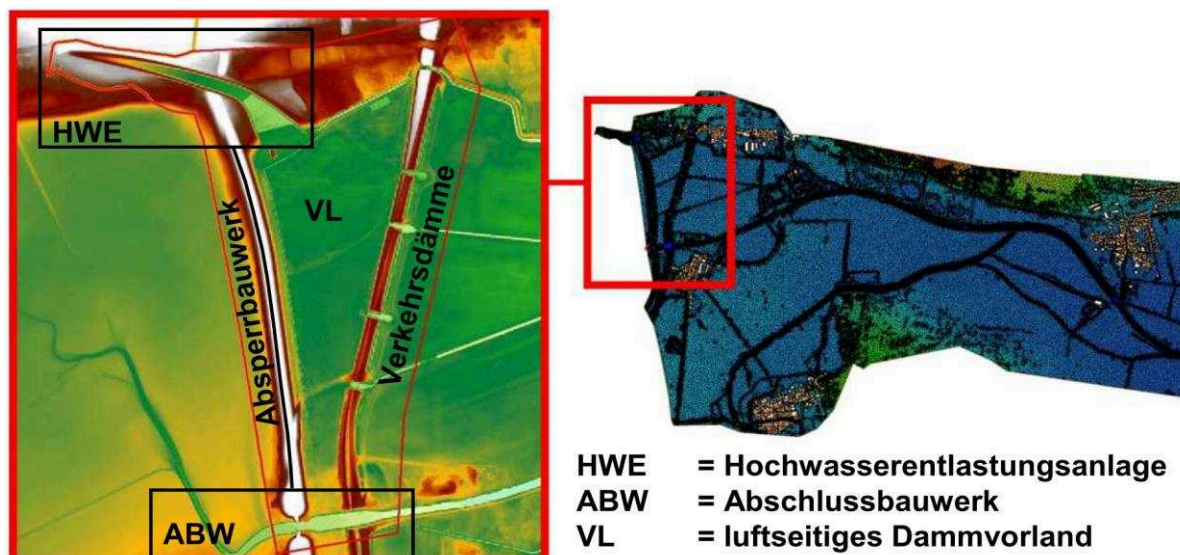
### 3.3 Mathematisches Modell und Modellkopplung

Das zweidimensionale hydrodynamisch-numerische (mathematische) Modell basiert auf dem Rechenkern Hydro\_as-2d. Ausdehnung und Größe des mathematischen Modells gewährleisten, dass die Berechnungsergebnisse im luftseitigen Dammvorland zwischen Absperrbauwerk und Verkehrsdämmen nicht von den Randbedingungen an offenen (unterstrom) und geschlossenen Modellrändern beeinflusst sind und ausschließlich durch die hydraulischen und numerischen Randbedingungen im Untersuchungsgebiet gesteuert werden.

Die wasserbaulichen Teilmodelle sind hinsichtlich Lage und Geometrie exakt im mathematischen Modell integriert. Sie bilden Stützstellen für die Bereiche innerhalb derer die allgemeinen Anwendungsgrenzen der tiefengemittelten

Flachwassergleichungen verletzt und die Ergebnisse des mathematischen Modells von der Festlegung von Parametern abhängig sind.

Durch die exakte Integration der wasserbaulichen Teilmodelle sind eindeutige Übergabestellen (Schnittstellen) für den Austausch von hydraulischen Informationen an beliebigen Positionen innerhalb des Untersuchungsgebietes definierbar. Der Austausch von hydraulischen Informationen erfolgt dabei von den wasserbaulichen Teilmodellen auf das mathematische Modell in Bereichen mit dreidimensionalen Strömungscharakteristiken und räumlich variabler Wirbelviskosität anhand von gesteuerten internen Randbedingungen. Bereiche mit annähernd tiefengemittelten Strömungsverhältnissen sind zur Übertragung von Randbedingungen vom mathematischen Modell auf die wasserbaulichen Teilmodelle geeignet.



**Abbildung 2:** Modellbereich luftseitiges Dammvorland (links) und zugehöriger Ausschnitt aus dem mathematischen Modell (rechts)

Die Kalibrierung des mathematischen Modells erfolgte vorerst auf Basis der „historischen“ Modellversuche für das luftseitige Dammvorland anhand von Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten sowie der Abflussverteilung in den einzelnen Durchlässen. Für den in der Projektierungsphase zugrunde gelegten Bemessungsabfluss erfolgte kein Druckabfluss in den Durchlässen sowie kein Überströmen der Durchlassbereiche an den Verkehrsdämmen.

Eine Validierung des mathematischen Modells gelang auf Basis abgelaufener Hochwasserereignisse mit in Betrieb befindlicher Hochwasserentlastungsanlage (1994, 2003, 2011 und 2013) anhand von Referenzpegeln und Luftbildaufnahmen. Auch für diese Situationen lag kein Druckabfluss in den Durchlässen sowie kein Überströmen der Durchlassbereiche an den Verkehrsdämmen vor.

Nach Vorliegen der Ergebnisse aus Untersuchungsschritt 2 erfolgt die abschließende Kalibrierung des mathematischen Modells zur Abbildung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit der Durchlassbereiche in den Bemessungssituationen.

### 3.4 Wasserbauliche Teilmodelle

#### Hochwasserentlastungsanlage

Der Aufbau des wasserbaulichen Teilmodells, bestehend aus Überfallprofil, Sammel- und Ablaufrinne, Tosbecken und Vorländer, erfolgte unter Berücksichtigung der Höhenschwankungen für das Vollstauziel, der parabelförmigen Querschnitte und der langgestreckten S-Form auf Basis von 30 Querprofilen nach dem Froudeschen Ähnlichkeitsgesetz im Maßstab 1:17,5 (Längen und Höhen).



**Abbildung 3:** Modellbereich der Hochwasserentlastungsanlage

Der gewählte Übertragungsmaßstab begrenzt dabei insbesondere Effekte aus der Stromfadenkrümmung und der Kapillarwirkung beziehungsweise ermöglicht eine entsprechende Korrektur der Versuchsergebnisse bei den maßgebenden Überfallhöhen.

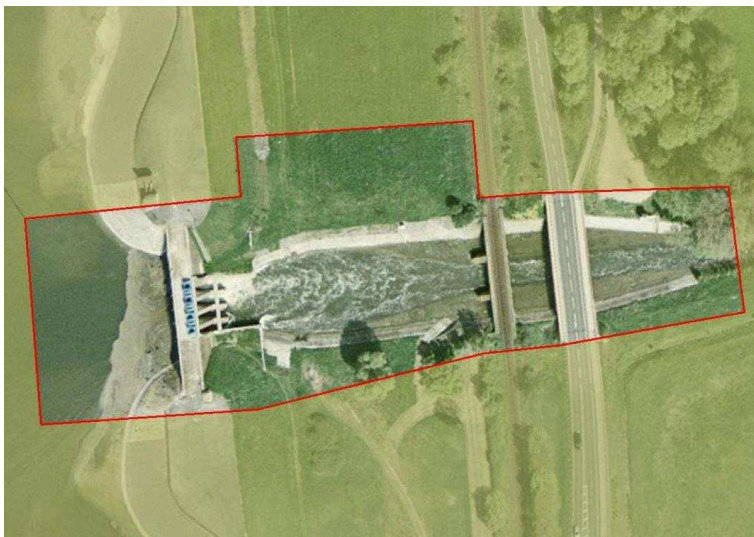
Im Ergebnis des ersten Untersuchungsschrittes beträgt die Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage für den Sollwert von  $Z_{H2} = 150,84$  m NHN rund  $410 \text{ m}^3/\text{s}$ . Der Überfallvorgang ist dabei im ersten Drittel des Überfallprofils bereits durch einen Rückstau aus der Sammelrinne aufgrund der begrenzten Leistungsfähigkeit beeinflusst. Dieses Ergebnis ist aktuell für Wasserspiegellagen im luftseitigen Dammvorland bis auf Höhe maßgebender variabler Oberkanten der Verkehrsdämme gültig. Eine Verschiebung dieses Ergebnisses auf Basis der weiteren Untersuchungsschritte ist möglich.

Als weiteres wesentliches Ergebnis ist die offensichtliche Überschätzung der Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage bei den „historischen“

Modellversuchen im Maßstab 1:30 zu erwähnen. Gründe dafür bestehen in der Nichtberücksichtigung der Effekte aus der Stromfadenkrümmung und der Kapillarwirkung sowie in möglichen Abweichungen der damaligen Modellgeometrie von den tatsächlich realisierten Geometrien.

### **Abschlussbauwerk**

Das wasserbauliche Teilmodell umfasst das Massivbauwerk inklusive der vier Doppelhakenschützen, den oberwasserseitigen Einlaufbereich mit Dammkonturen, die Unstrut selber mit Vorländern sowie die unterwasserseitigen Verkehrsdämme einschließlich der Brücken über die Unstrut. Das Froude-Modell bildet einen Naturausschnitt von 225 m mal 75 m im Maßstab 1:15 ab.



**Abbildung 4:** Modellbereich des Abschlussbauwerk

Durch die Integration der Brücken und der entsprechenden Bereiche der Verkehrsdämme in einem wasserbaulichen Teilmodell wird hier der Rückstau einfluss auf die Leistung der Doppelhakenschützen direkt erfasst. Die unterwasserseitige Randbedingung (stromab der Verkehrsdämme) ist unabhängig von der Leistungsfähigkeit der einzelnen Durchlassbereiche und kann direkt aus dem mathematischen Modell als Randbedingung übernommen werden.

Die bei Betrieb der Hochwasserentlastungsanlage wirksame Querströmung im luftseitigen Dammvorland wird im wasserbaulichen Modell als separate seitliche Zuströmung aus dem luftseitigen Dammvorland berücksichtigt. Die Größenordnung ergibt sich aus dem mathematischen Modell anhand der Leistungsfähigkeit der einzelnen Durchlassbereiche.

Die Ermittlung der Leistungsfähigkeit der Doppelhakenschützen erfolgt für zwei Hauptzustände:



- Schützstellung 1: Das Schützpaket ist vollständig zusammengeschoben und auf den Boden abgesenkt (minimaler Einfluss aus Rückstau und Querströmung).
- Schützstellung 2: Das Schützpaket ist vollständig zusammengeschoben und maximal angehoben (maximaler Einfluss aus Rückstau und Querströmung).

Im Ergebnis des ersten Untersuchungsschrittes hat sich herausgestellt, dass die Schützstellung 2, trotz maximal zu erwartendem Einfluss aus Rückstau und Querströmung, aufgrund der spezifischen Öffnungsverhältnisse für den Sollwert von  $Z_{H2} = 150,84$  m NHN die leistungsfähigste Randbedingung für den Nachweis der Hochwassersicherheit darstellt. Für Wasserspiegellagen im luftseitigen Dammvorland bis auf Höhe maßgebender variabler Oberkanten der Verkehrsdämme und mit dem mathematischen Modell im ersten Untersuchungsschritt qualitativ ermittelter Querströmungen ergibt sich eine mittlere Leistungsfähigkeit je Doppelhakenschütz von rund  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Eine Verschiebung dieses Ergebnisses auf Basis der weiteren Untersuchungsschritte ist möglich.

### Durchlässe

Die Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Durchlassbereiche ausschließlich auf Basis von Parametern im mathematischen Modell ist mit zu großen Unsicherheiten behaftet. Gleichzeitig sind vorliegende Bemessungstabellen (zum Beispiel in *Bollrich, 2008*) aufgrund der dabei gültigen idealisierten Randbedingungen nicht oder nur bedingt anwendbar.

Die für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit der Durchlassbereiche geltenden spezifischen Randbedingungen sind wie folgt:

- nicht axiale Anströmrichtung
- variable ober- und unterwasserseitige Eintaubedingungen aufgrund höhenmäßig ansteigender Verkehrsdämme
- partiell simultane lokale Überströmung der Verkehrsdämme in Durchlassbereichen aufgrund höhenmäßig ansteigender Verkehrsdämme
- partiell Freispiegel- oder Druckabfluss oder Strömungsvorgänge im Übergangsbereich in den Durchlässen

Stellvertretend für die sechs Durchlassbereiche in den Verkehrsdämmen (ohne Brückenbauwerke im Bereich der Unstrut) werden zwei Durchlassbereiche als Froudesches Modell im Maßstab 1:15 unter diesen spezifischen Randbedingungen untersucht.

Ziel ist die Ableitung von Übertragungsfunktionen für alle Durchlassbereiche zur Anwendung im mathematischen Modell, um die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Durchlassbereiche und damit den Rückstau einfluss sowie den Anteil der Querströmung im luftseitigen Dammvorland korrekt wiederzugeben.

Zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses sind die Untersuchungen an den Durchlassbereichen noch nicht vollständig abgeschlossen.

#### 4 Weiteres Vorgehen und Ausblick

Gemäß aktuellem Untersuchungsstand kann am Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt der Bemessungshochwasserzufluss  $BHQ_2 = HQ_{10.000} = 793 \text{ m}^3/\text{s}$  über die Hochwasserentlastungsanlage bei massiver Parallelentlastung am Abschlussbauwerk mit allen Doppelhakenschützen unter Einhaltung des Sollwertes  $Z_{H2} = 150,84 \text{ m NHN}$  abgeführt werden.

Eine Bestätigung dieses ersten Ergebnisses auf Basis der tatsächlichen Strömungssituation im luftseitigen Dammvorland (Untersuchungsschritte zwei und drei) wird erwartet. Dazu erfolgt eine iterative Bestimmung der Abflussanteile für die Hochwasserentlastungsanlage, das Abschlussbauwerk und alle Durchlassbereiche einschließlich der Brückenquerschnitte an der Unstrut und die Überströmung der Verkehrsdämme.

Die Untersuchungsergebnisse finden anschließend Eingang in die im Rahmen der vertieften Überprüfung laufenden Zuverlässigkeitsnachweise (Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit) für das Absperrbauwerk. Für die Hochwasserbemessungsfälle 1 und 2 sind die Hochwasserstauziele und die zugehörigen luftseitigen Wasserstände als Einwirkung zu definieren. Als Risikolastfälle sind zusätzlich die Situationen „Wasserstand im luftseitigen Dammvorland ohne Verkehrsdämme“ (nach Versagen) sowie „schnelle Wasserspiegelabsenkung auf der Luftseite des Absperrbauwerkes im Falle des plötzlichen Versagens der Verkehrsdämme“ zu untersuchen. Entsprechende Eingangsdaten werden über die hybride Modelltechnik zur Verfügung gestellt.

Abschließend erfolgt auf Basis der Untersuchungsergebnisse und weiterer charakteristischer Schützstellungen mit spezifischen ober- und unterwasserseitigen Einstaubedingungen die Untersuchung der Schwingungsanfälligkeit der Doppelhakenschützen. Identifizierbare Grenzzustände sind im Rahmen der Aktualisierung der Betriebsvorschrift über entsprechende Randbedingungen im laufenden Betrieb auszuschließen, um die Dauerhaftigkeit der Betriebseinrichtung zu gewährleisten.

## 5 Literatur

- Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH (2015): Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt – Nachweis Hochwasserschutz und -sicherheit.
- Bollrich, G. (2008): Hydraulische Leistungsfähigkeit kurzer Durchlässe. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, Heft 10.
- DIN 19700-10:2004-07: Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen. Deutsches Institut für Normung e. V.
- DIN 19700-11:2004-07: Stauanlagen – Teil 11: Talsperren. Deutsches Institut für Normung e. V.
- DIN 19700-12:2004-07: Stauanlagen – Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken. Deutsches Institut für Normung e. V.
- Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (1957): Bericht über die Modellversuche Rückhaltebecken Straußfurt-Gebesee.

### Autoren:

Dr.-Ing. Michael Sabrowski

Thüringer Fernwasserversorgung  
Haarbergstraße 37  
99097 Erfurt

Tel.: +49 361 5509 125  
Fax: +49 361 5509 123  
E-Mail: michael.sabrowski@  
thueringer-fernwasser.de

Dipl.-Ing. Jens Sauerwein

IWSÖ GmbH  
Hydrolabor Schleusingen  
Themarer Str. 16c  
98553 Schleusingen

Tel.: +49 36841 5309 15  
Fax: +49 36841 5309 14  
E-Mail: jens.sauerwein@iwsoe.de

Dipl.-Ing. Sebastian Weichelt

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Brühler Herrenberg 2a  
99092 Erfurt

Tel.: +49 361 2249 16  
Fax: +49 361 2249 11  
E-Mail: [s.weichelt@bjoernsen.de](mailto:s.weichelt@bjoernsen.de)