

## **HRB Straußfurt (Reg.-Nr. 030)**

<b>Leistung:</b>	Nachweis der Hochwassersicherheit
<b>Unternehmer:</b>	Thüringer Fernwasserversorgung Haarbergstraße 37 99097 Erfurt
<b>Betreiber:</b>	Betrieb – Bereich Stauanlagen Nordthüringen Friedrich-Engels-Straße 84 99885 Luisenthal
<b>Datum:</b>	26. August 2020
<b>Bearbeiter:</b>	Thüringer Fernwasserversorgung Dipl.-Ing. Jochen Mehl (Fachingenieur) Dipl.-Ing. Steffen Renner (Leiter Stauanlagen Nordthüringen) Dr.-Ing. Michael Sabrowski (Leiter Stauanlagenmanagement)
	Institut für Wasserwirtschaft, Siedlungswasserbau und Ökologie GmbH
	Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH
	Thiele und Büttner GbR Ingenieurgemeinschaft für Hydrologie, Hydraulik und Hydroin- formatik

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Zielstellung .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Arbeitsunterlagen .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Anlagenverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Grundlagen .....</b>	<b>5</b>
4.1	Wasserrechtliche Verhältnisse .....	5
4.2	Hydrologie .....	5
4.3	Wasserwirtschaftlicher Betriebsplan .....	5
4.4	Absperrbauwerke .....	6
4.5	Hochwasserentlastungsanlage .....	6
4.6	Luftseitiges Dammvorland .....	7
4.7	Abschlussbauwerk.....	7
<b>5</b>	<b>Klassifizierung .....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>Hochwasserbetrieb .....</b>	<b>8</b>
6.1	Bemessungshochwasserzuflüsse .....	8
6.2	Vor- und Parallelentlastung .....	8
6.3	Retention und Hochwasserstauziele .....	9
6.4	Unsicherheiten und Festlegungen.....	10
<b>7</b>	<b>Modellversuche .....</b>	<b>11</b>
7.1	Vorgehensweise und Festlegungen .....	11
7.2	Hochwasserentlastungsanlage .....	11
7.3	Abschlussbauwerk.....	12
7.4	Luftseitiges Dammvorland und Durchlässe Verkehrsdämme .....	13
7.5	Zusammenfassung .....	14
<b>8</b>	<b>Nachweis der Hochwassersicherheit .....</b>	<b>15</b>
8.1	Erforderlicher Freibord .....	15
8.2	Vorhandener Freibord und Nachweis.....	16
8.3	Festlegungen und verbleibendes Risiko .....	19
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und weiteres Vorgehen .....</b>	<b>20</b>

## 1 Veranlassung und Zielstellung

Der bestätigte und aktuell gültige Nachweis der Hochwassersicherheit für das Hochwasserrückhaltebecken (HRB) Straußfurt datiert auf das Jahr 1998 (*Gebhardt 1998*). Entsprechend der damaligen normativen Sicherheitsanforderungen basiert der Nachweis auf folgenden Scheitelwerten der Bemessungshochwasserzuflüsse:

$$HQ_{200} = 310 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ_{1.000} = 450 \text{ m}^3/\text{s}$$

Änderungen gegenüber den Eingangswerten des Nachweises aus 1998 ergeben sich aus folgenden aktuellen Randbedingungen:

- normative Sicherheitsanforderungen
- Klassifizierung
- Hydrologie
- tatsächliche Leistungscharakteristiken der Betriebseinrichtungen

Im Zuge der Anpassung an die allgemein anerkannten Regeln der Technik wird der Nachweis der Hochwassersicherheit unter Berücksichtigung aktueller Randbedingungen mit vorliegender Unterlage neu aufgestellt.

Untersuchungen zur Hochwasserschutzwirkung des HRB Straußfurt für den Bestand erfolgten durch Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH (BCE 2015). Weiterführende Untersuchungen dazu erfolgen aktuell im Zuge der Aufstellung des Hochwasserschutzkonzeptes Untere Unstrut. Diese Untersuchungen sind nicht Gegenstand des vorliegenden Berichts.

## 2 Arbeitsunterlagen

Normen: DIN 19700:2004-07: Stauanlagen

Richtlinien: DVWK-Merkblatt 246/1997: Freibordbemessung an Stauanlagen

Arbeitsunterlagen: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (1957): Bericht über die Modellversuche Rückhaltebecken Straußfurt-Gebesee.

Staatliche Bauaufsicht des Ministeriums für Umweltschutz und Wasserwirtschaft (1989): Vorläufige Richtlinie für die Ermittlung der Freibordhöhe infolge Windwellenwirkung.

Bollrich G., Preißler G. (1992): Technische Hydromechanik, Band 1, Grundlagen. Verlag für Bauwesen, Berlin und München.

Thüringer Landesverwaltungsamt (12.01.1998): Feststellung des Inhalts und Umfangs eines alten Rechts und 1. Nachtrag zur wasserrechtlichen Nutzungsgenehmigung (WNG) Reg.-Nr.: 091142/0496/882 45/614/0476/82 zum Aufstau der Unstrut und zur Entnahme von Wasser für die Bewässerung von Amts wegen (Zeichen 604.20-8822.24-6/97).

Gebhardt E. (1998): Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt, Überflutungsnachweis.

Staatliches Umweltamt Erfurt (1998): Hochwasser-Rückhaltebecken (RHB) Straußfurt, Bewirtschaftungsplan (Entwurf).

Thiele & Büttner GbR (2008): Hydrologisches Gutachten für das HRB Straußfurt inklusive Prüfbericht der TLUG vom 27. Januar 2009.

Deutscher Wetterdienst (2013): Amtliches Gutachten – Expertise zum Bemessungswind über der Stauanlage Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt.

Thiele & Büttner GbR (2014): Hydrologisches Gutachten für die Hochwasserbemessungsfälle HWBF<sub>1</sub> und HWBF<sub>2</sub>.

Thüringer Fernwasserversorgung (2015): Erweiterung des hydrologischen Gutachtens für das Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt und Weiterverwendung der berechneten Werte für die Hochwassersicherheitsnachweise (Aktenvermerk).

Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH (2015): HRB Straußfurt (Reg.-Nr. 030) – Nachweis Hochwasserschutz und –sicherheit nach DIN 19700/2004.

m4 Ingenieure GmbH (2016): Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt, vertiefte Überprüfung, Absperrbauwerke und Untergrund.

Vermessungsbüro Schröder (2017): Lage- und Höhenplan.

Labor für Hydraulisches Versuchswesen, Gewässerschutz und Ökologie (2017): Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt (Reg.-Nr. 030) – Ermittlung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage und des Abschlussbauwerkes (6 Teilberichte).

Teilbericht 1: Hochwasserentlastungsanlage <sup>1</sup>

Teilbericht 2: Durchlässe in den Verkehrsdämmen <sup>1</sup>

Teilbericht 3: Strömung im luftseitigen Dammvorland <sup>2</sup>

Teilbericht 4: Abschlussbauwerk <sup>1</sup>

Teilbericht 5: Schwingungsneigung der Doppelhakenschützen <sup>1</sup>

Teilbericht 6: Abschlussbauwerk – Hydraulische Leistungsfähigkeit im Betriebszustand <sup>1</sup>

<sup>1)</sup> gegenständlich-physikalische (wasserbauliche) Modellierung

<sup>2)</sup> zweidimensionale mathematisch-physikalische (numerische) Modellierung

m4 Ingenieure GmbH (2018): Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt, vertiefte Überprüfung, Hochwasserentlastungsanlage.

Thüringer Fernwasserversorgung (2019): Betreiberbericht 2018 – Eigenüberwachung.

### 3 Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Amtliches Gutachten – Expertise zum Bemessungswind über der Stauanlage Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt, DWD (2013)
Anlage 2	Hydrologisches Gutachten für die Hochwasserbemessungsfälle HWBF <sub>1</sub> und HWBF <sub>2</sub> , Thiele & Büttner GbR (2014)
Anlage 3	Aktenvermerk über die Erweiterung des hydrologischen Gutachtens für das Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt und Weiterverwendung der berechneten Werte für die Hochwassersicherheitsnachweise, Thüringer Fernwasserversorgung (2015)
Anlage 4	HRB Straußfurt (Reg.-Nr. 030) – Nachweis Hochwasserschutz und –sicherheit nach DIN 19700/2004, Björnsen Beratende Ingenieure Erfurt GmbH (2015)
Anlage 5	Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt (Reg.-Nr. 030) – Ermittlung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage und des Abschlussbauwerkes (bestehend aus 6 Teilberichten), Labor für Hydraulisches Versuchswesen, Gewässerschutz und Ökologie (2017) Teilbericht 1: Hochwasserentlastungsanlage Teilbericht 2: Durchlässe in den Verkehrsdämmen Teilbericht 3: Strömung im luftseitigen Dammvorland Teilbericht 4: Abschlussbauwerk Teilbericht 5: Schwingungsneigung der Doppelhakenschützen Teilbericht 6: Abschlussbauwerk – Hydraulische Leistungsfähigkeit im Betriebszustand

## 4 Grundlagen

### 4.1 Wasserrechtliche Verhältnisse

Für das Hochwasserrückhaltebecken Straußfurt liegt die Feststellung des Inhalts und Umfangs des alten Rechts (Altrechtsfeststellung) für den Aufstau der Unstrut und die Entnahme von Wasser für die Bewässerung vom 12. Januar 1998 vor (Zeichen 604.20-8822.24-6/97).

In der Altrechtsfeststellung wird als höchstes Stauziel ein Wert von 150,70 m NN angegeben.

Für die Umrechnung zwischen den am HRB Straußfurt gültigen Höhensystemen gilt:

$$\begin{aligned}H_{\text{DHHN2016(amt.)}} &= H_{\text{DHHN92}} + 0,007 \text{ m} \\H_{\text{DHHN2016(amt.)}} &= H_{\text{DHHN12(örtl.)}} - 0,028 \text{ m} \\H_{\text{DHHN92}} &= H_{\text{DHHN12(örtl.)}} - 0,035 \text{ m}\end{aligned}$$

Im vorliegenden Bericht werden ausschließlich die Höhensysteme  $H_{\text{DHHN92}}$  und  $H_{\text{DHHN12(örtl.)}}$  verwendet, um die Konsistenz zu den Arbeitsunterlagen und Anlagen zu bewahren.

### 4.2 Hydrologie

Für den Standort des Hochwasserrückhaltebeckens Straußfurt liegt ein eigenständiges hydrologisches Gutachten vor (*Thiele & Büttner GbR, 2008*) sowie einer Neuberechnung von Bemessungshochwasserwellen für das Wiederkehrintervall von 1.000 und 10.000 Jahren vor (*Thiele & Büttner GbR, 2014*).

Für das hydrologische Gutachten liegt die fachtechnische Prüfung durch die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie mit Datum vom 25. August 2008 (Zeichen 51/22258-me-lie) sowie vom 27. Januar 2009 (Zeichen 51-22258/me-lie) vor.

Die Feststellung und Freigabe der neu berechneten Bemessungshochwasserwellen aus dem Jahr 2014 für den Nachweis der Hochwassersicherheit erfolgte durch qualifiziertes Fachpersonal der Thüringer Fernwasserversorgung mit Aktenvermerk vom 6. März 2015.

Die Neuberechnung der Bemessungshochwasserwellen für das Wiederkehrintervall von 1.000 und 10.000 Jahren (*Thiele & Büttner GbR, 2014*) sowie die Feststellung und Freigabe dieser Bemessungshochwasserwellen (*TFW 2015*) ist als Anlage 2 und 3 beigelegt.

### 4.3 Wasserwirtschaftlicher Betriebsplan

Die Bewirtschaftung erfolgt gemäß dem Entwurf des Bewirtschaftungsplans vom Oktober 1998.

Folgende gewöhnliche Hochwasserrückhalteräume werden aktuell vorgehalten:

$$\begin{aligned}I_{\text{GHR,Winter}} &= 18,64 \text{ Mio. m}^3 \\I_{\text{GHR,Sommer}} &= 12,70 \text{ Mio. m}^3\end{aligned}$$

#### 4.4 Absperrbauwerke

Der Hauptdamm Nord und Süd ist als zonierter Erdschüttdamm aufgebaut. Die Wasserseite ist mittels einer Asphaltbetonschutzschicht gesichert, den oberen Abschluss bilden Wellenumlenker mit der Höhe 0,81 m, die Neigung beträgt 1 : 3. Die Luftseite ist mit einer Grasnarbe gesichert, die Neigung beträgt 1 : 2,3 bis 3,0. Die Kronenlänge beträgt circa 1.860 m und die Kronenbreite 4,8 bis 5,4 m. Die Dammkrone ist mittels Dammkronenweg befestigt.

Der Schutzdamm Henschleben ist als Zweizonendamm aufgebaut. Auf der Wasser- und Luftseite befindet sich eine Grasnarbe, die Neigungen betragen 1 : 3 und 1 : 2,5. Unter der Grasnarbe befindet sich auf der Wasserseite eine Steinschüttung bis auf Höhe des Vollstauziels. Die Kronenlänge beträgt circa 700 m und die Kronenbreite 3,0 m. Die Dammkrone ist unbefestigt.

Weitere Informationen zu den Absperrbauwerken können *BCE (2015)* sowie *m4 (2016)* entnommen werden.

Für den Nachweis der Hochwassersicherheit maßgebende Höhenangaben ergeben sich entsprechend dem Betreiberbericht der *Thüringer Fernwasserversorgung (2019)* wie folgt:

##### a) Hauptdamm Nord

Oberkante Dammkrone Soll = 153,00 m NN = 152,96 m NHN (1992)  
Oberkante Dammkrone IST = 152,81 m NN bis 153,02 m NN  
Fußpunkt Wellenumlenker = 152,00 m NN bis 152,21 m NN

##### b) Hauptdamm Süd

Oberkante Dammkrone Soll = 151,80 m NN = 151,76 m NHN (1992)  
Oberkante Dammkrone IST = 151,69 m NN bis 151,81 m NN  
Fußpunkt Wellenumlenker = 150,88 m NN bis 151,00 m NN

##### c) Schutzdamm Henschleben

Oberkante Dammkrone Soll = 151,80 m NN = 151,76 m NHN (1992)  
Oberkante Dammkrone IST = 151,58 m NN bis 151,80 m NN

#### 4.5 Hochwasserentlastungsanlage

An der linken Dammschulter des Hauptdamms ist die Hochwasserentlastungsanlage angeordnet. Diese besteht aus einem 270 m langen freien Überfall sowie einer parabelförmigen Sammel- und Ablaufrinne. Über das Tosbecken entlastet die Strömung aus der Ablaufrinne in das luftseitige Dammvorland.

Detaillierte Angaben zu der Hochwasserentlastungsanlage sind in *BCE (2015)*, *IWSÖ (2017)* sowie in *m4 (2018)* enthalten.

Für den Nachweis der Hochwassersicherheit maßgebende Höhenangaben zum Vollstauziel ergeben sich entsprechend dem Betreiberbericht der *Thüringer Fernwasserversorgung (2019)* wie folgt:

Vollstau Soll = 149,84 m NN = 149,80 m NHN (1992)  
Vollstau IST = 149,79 m NN bis 149,88 m NN

Die Hochwasserentlastungsanlage wurde in der Projektierungsphase anhand eines wasserbaulichen Modells im Maßstab 1:30 (Längen und Höhen) untersucht. Für den damaligen Bemessungsabfluss von HHQ = 400 m<sup>3</sup>/s wurde ein Stauziel von 150,50 m NN angegeben (*Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, 1957*).

Die Hochwasserentlastungsanlage wird nach circa 300 m ab Beginn des Überfallprofils (Angabe entsprechend *IWSÖ (2017)*, Teilbericht 1, Abbildung 88, von einer Brücke gequert. Die Oberkante der Brücke beträgt zwischen 152,79 m NN und 153,00 m NN. Die Unterkante der Brücke liegt zwischen 151,59 m NN und 151,80 m NN (*m4, 2018*).

#### 4.6 Luftseitiges Dammvorland

Das luftseitige Dammvorland wird bei Abflüssen von circa größer 120 m<sup>3</sup>/s in der Unstrut und/oder bei in Betrieb befindlicher Hochwasserentlastungsanlage überströmt. In circa 60 bis 300 m Abstand luftseitig vom Hauptdamm wird das Vorland von zwei hintereinander liegenden Verkehrsdämmen gequert (Straßen- und Bahndamm). Die Verkehrsdämme enthalten sechs über die gesamte Länge ungleichmäßig angeordnete Durchlässe sowie zwei hintereinander liegende Brücken im Bereich der Unstrut, im Nachlaufbereich des Tosbeckens vom Abschlussbauwerk.

Die Untersuchung der Strömungssituation im luftseitigen Dammvorland inklusive der Leistungsfähigkeit der Durchlässe in den Verkehrsdämmen erfolgte in der Projektierungsphase an einem wasserbaulichen Modell im Maßstab 1:100 (Längen) und 1:40 (Höhen). Eine Parallelentlastung über das Abschlussbauwerk wurde bei diesen Untersuchungen nicht berücksichtigt (*Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, 1957*).

Durch eine Optimierung der Tosbeckenkonstruktion und der Richtung des aus der Hochwasserentlastung in das Dammvorland einströmenden Wassers wurde eine Minimierung der Belastung der Grasnarbe des Dammvorlandes erreicht. Der damalige Bemessungsabfluss von HHQ = 400 m<sup>3</sup>/s konnte vollständig im wasserbaulichen Modell ohne unzulässigen Aufstau abgeführt werden.

Die Durchlässe in den Verkehrsdämmen wurden im wasserbaulichen Modell jedoch nicht als geschlossene Konstruktion abgebildet, so dass kein Druckabfluss berücksichtigt werden konnte.

Der Abfluss erfolgte über die Durchlässe in das linksseitige Gewässervorland der Unstrut (in Fließrichtung gesehen) unterhalb der Verkehrsdämme sowie durch seitliches Einströmen in die Unstrut zwischen Abschlussbauwerk und den Verkehrsdämmen ohne Berücksichtigung einer Parallelentlastung am Abschlussbauwerk.

#### 4.7 Abschlussbauwerk

Die Unstrutquerung erfolgt im Hauptdamm über ein Massivbauwerk (Abschlussbauwerk). Das Abschlussbauwerk enthält vier Doppelhakenschützen mit einer Öffnungsweite von jeweils circa 3,30 m.

Detaillierte Angaben zum Abschlussbauwerk sind in *BCE (2015)* und *IWSÖ (2017)* enthalten.

Für den Nachweis der Hochwassersicherheit maßgebende Höhenangaben ergeben sich entsprechend der Aufnahme von *IWSÖ (2017)* wie folgt:



Oberkante Abschlussbauwerk = 153,15 m NN = 153,11 m NHN (1992)  
Unterkante Brücke = 152,45 m NN = 152,41 m NHN (1992)

Es lagen keine wasserbaulichen Modellversuche zur Bestimmung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit der Doppelhakenschützen vor.

## 5 Klassifizierung

Gemäß Schreiben des Thüringer Landesverwaltungsamtes vom 15. Mai 2006 (AZ 440.3-8822.60-353/2004-160) ist das HRB Straußfurt in die Talsperrenklasse 1 eingeordnet (großes Becken).

## 6 Hochwasserbetrieb

### 6.1 Bemessungshochwasserzuflüsse

Für den Standort des Hochwasserrückhaltebeckens Straußfurt ergeben sich gemäß den aktuell vorliegenden hydrologischen Untersuchungen (*Thiele & Büttner GbR, 2008 und 2014*) sowie unter Ansatz der Klassifizierung entsprechend Abschnitt 5 folgende maximale Scheitelwerte der Bemessungshochwasserzuflüsse.

Hochwasserbemessungsfall 1:	$BHQ_1 = HQ_{1.000}$	= 446 m <sup>3</sup> /s (KOSTRA) = 506 m <sup>3</sup> /s (REWANUS)
Hochwasserbemessungsfall 2:	$BHQ_2 = HQ_{10.000}$	= 793 m <sup>3</sup> /s (KOSTRA) = 757 m <sup>3</sup> /s (REWANUS)

Die Wellenfüllen liegen für alle Dauerstufen der Jährlichkeiten 1.000 und 10.000 vor.

### 6.2 Vor- und Parallelentlastung

Bei Hochwasserbetrieb erfolgen Vor- und Parallelentlastung situationsbedingt in Abstimmung mit der Hochwassernachrichtenzentrale (HNZ) unter Berücksichtigung der Hochwassersituation im Flussgebiet der Unteren Unstrut. Erforderliche Steuerhandlungen können daher nicht für jede Hochwassersituation standardisiert dargestellt werden.

Für alle Retentionsberechnungen wurde durch die Thüringer Fernwasserversorgung daher folgende Steuerregel vorgegeben (*BCE, 2015, Abschnitt 4.3.3*):

Bis zum Erreichen des schadlosen Abflusses von 100 m<sup>3</sup>/s wird über die Doppelhakenschützen am Abschlussbauwerk der Abfluss in Schritten von 20 m<sup>3</sup>/s nach jeweils 6 Stunden erhöht. Bei Anspringen der Hochwasserentlastungsanlage wird die Abgabe am Abschlussbauwerk gedrosselt, so dass die abfließende Gesamtwassermenge (Abschlussbauwerk und Hochwasserentlastungsanlage) 100 m<sup>3</sup>/s nicht übersteigt. Bei Abflussmengen mehr als 100 m<sup>3</sup>/s über die Hochwasserentlastungsanlage erfolgt am Abschlussbauwerk keine Abgabe. Der Abfluss erfolgt dann ausschließlich über die Hochwasserentlastungsanlage. Die Kontrolle des Abflusses für diese Steuervorgaben erfolgt im praktischen Hochwasserbetrieb über den Abgabepiegel (Pegel Straußfurt) und den Hilfspegel Wundersleben.

### 6.3 Retention und Hochwasserstauziele

#### **Retentionsberechnungen**

Für die Ermittlung der Hochwasserstauziele wurde in *BCE (2015)* ein Retentionsmodell erstellt und mit den Hochwasserganglinien gemäß *Thiele & Büttner (2014)* belastet.

Die Steuervorgaben gemäß Abschnitt 6.2 wurden berücksichtigt.

Für die Ermittlung der Hochwasserstauziele wurde die aktuell gültige Stauinhaltsbeziehung aus dem Betriebsplan (Abschnitt 4.3) zu Grunde gelegt (Quelle: zentrale Datenbank der Thüringer Fernwasserversorgung).

Die Leistungskurve der Hochwasserentlastungsanlage wurde ausgehend von der in den historischen Modellversuchen ermittelten Leistungskurve bis 400 m<sup>3</sup>/s in erster Näherung bis zu den aktuellen Bemessungshochwasserzuflüssen gemäß Abschnitt 6.1 extrapoliert.

#### **Vorbemessung zum Hochwasserstauziel ZH<sub>1</sub>**

Gemäß *BCE (2015)*, Abschnitt 5.3, Tabelle 4, folgt aus den Retentionsberechnungen das maximale Hochwasserstauziel ZH<sub>1</sub> für den Hochwasserbemessungsfall 1 mit

ZH<sub>1</sub> = 150,78 m NN = 150,74 m NHN (1992).

Der Scheitelwert des Bemessungshochwasserzuflusses wird dabei von BHQ<sub>1</sub> = 506 m<sup>3</sup>/s auf BHQ<sub>1,Ret</sub> = 503 m<sup>3</sup>/s abgemindert (REWANUS, 120 Stunden).

Für den Fall KOSTRA, 48 Stunden, wird der Scheitelwert des Bemessungshochwasserzuflusses von BHQ<sub>1</sub> = 446 m<sup>3</sup>/s auf BHQ<sub>1,Ret</sub> = 417 m<sup>3</sup>/s abgemindert und das resultierende Stauziel beträgt 150,62 m NHN (1992).

#### **Vorbemessung zum Hochwasserstauziel ZH<sub>2</sub>**

Gemäß *BCE (2015)*, Abschnitt 5.3, Tabelle 4, folgt aus den Retentionsberechnungen das maximale Hochwasserstauziel ZH<sub>2</sub> für den Hochwasserbemessungsfall 2 mit

ZH<sub>2</sub> = 151,07 m NN = 151,03 m NHN (92).

Der Scheitelwert des Bemessungshochwasserzuflusses wird dabei von BHQ<sub>2</sub> = 757 m<sup>3</sup>/s auf BHQ<sub>2,Ret</sub> = 755 m<sup>3</sup>/s abgemindert (REWANUS, 120 Stunden).

Für den Fall KOSTRA, 24 Stunden, wird der Scheitelwert des Bemessungshochwasserzuflusses von BHQ<sub>2</sub> = 793 m<sup>3</sup>/s auf BHQ<sub>2,Ret</sub> = 746 m<sup>3</sup>/s abgemindert und das resultierende Stauziel beträgt 151,02 m NHN (1992).

Die Retentionswirkung ist bei REWANUS-Ereignissen bereits ab HQ<sub>1.000</sub> auf ein Minimum reduziert, der Scheitelwert wird nahezu ungedämpft über die Hochwasserentlastung abgegeben.

Bei KOSTRA-Ereignissen ist noch eine geringe Retentionswirkung vorhanden.

#### 6.4 Unsicherheiten und Festlegungen

Die Retentionsberechnungen und Hochwasserstauziele in *BCE (2015)* unterliegen folgenden Unsicherheiten:

- a) Die Leistungskurve der Hochwasserentlastungsanlage wurde vom ursprünglichen Bemessungswert  $HHQ = 400 \text{ m}^3/\text{s}$  (*Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, 1957*) bis zum aktuellen maximalen Scheitelwert von  $BHQ_2 = 793 \text{ m}^3/\text{s}$  linear extrapoliert. Die wasserbaulichen Modellversuche (*Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau, 1957*) zeigten bereits bei dem ursprünglichen Bemessungsabfluss von  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  Rückstaueffekte.

Es ist die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage für Abflüsse größer  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  beziehungsweise bis zum Kronenstau unter Berücksichtigung der Rückstaueffekte sowie der Strömungsverhältnisse im luftseitigen Dammvorland (Punkt b) zu ermitteln.

- b) Im Vergleich zu den wasserbaulichen Modellversuchen der *Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (1957)* wird das luftseitige Dammvorland aufgrund der nur geringen Retentionswirkung in den Hochwasserbemessungsfällen 1 und 2 mit Abflüssen größer als  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  belastet.

Die tatsächliche Strömungssituation im luftseitigen Dammvorland und insbesondere auch die Belastung der luftseitigen Dammböschung des Hauptdamms ist zu ermitteln. Hier können Wechselwirkungen aus dem Rückstau durch die Verkehrsdämme bis in den Bereich des Abschlussbauwerkes und der Hochwasserentlastungsanlage nicht ausgeschlossen werden.

Der Druckabfluss in den Durchlässen der Verkehrsdämme sowie der Einfluss der differenzierten Anströmrichtung auf die Leistungsfähigkeit der Durchlässe ist zu berücksichtigen.

- c) Die Doppelhakenschützen am Abschlussbauwerk wurden in den Retentionsberechnungen von *BCE (2015)* nicht für eine Parallelentlastung berücksichtigt. Für die aktuellen Bemessungshochwasserzuflüsse ist in Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage eine Parallelentlastung bislang unbekannter Größenordnung am Abschlussbauwerk erforderlich.

Es ist die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Doppelhakenschützen unter Berücksichtigung der Strömungsverhältnisse im luftseitigen Dammvorland (Punkt b) zu ermitteln.

Die in *BCE (2015)* ermittelten Hochwasserstauziele besitzen aufgrund der skizzierten Unsicherheiten nur einen vorläufigen Charakter.

## 7 Modellversuche

### 7.1 Vorgehensweise und Festlegungen

In *IWSÖ (2017)* wurden die Unsicherheiten gemäß Abschnitt 6.4 umfassend untersucht. Es erfolgten wasserbauliche Modellversuche zur Bestimmung der tatsächlichen Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage, des Abschlussbauwerkes und der Durchlässe in den Verkehrsdämmen.

Um die Wechselwirkung mit der Strömungssituation im luftseitigen Dammvorland zu berücksichtigen, erfolgte eine indirekte Kopplung der drei Teilmodelle mit einem zweidimensionalen mathematisch-physikalischen (2D-HN - ) Modell. Durch die Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz wurde dafür ein im Jahr 2014 erstelltes Modell der Unteren Unstrut zur Verfügung gestellt.

Da aufgrund der Vielzahl von Randbedingungen im Hochwasserbetrieb (siehe Abschnitt 6.2) keine konkreten und belastbaren Hochwasserstauziele ermittelt werden konnten, erfolgte der Nachweis der Hochwassersicherheit über den Nachweis des Abflussvermögens der Hochwasserentlastungsanlage und des Abschlussbauwerkes (Doppelhakenschützen) bei Einhaltung vorab festgelegter Hochwasserstauziele. Durch die Thüringer Fernwasserversorgung wurden folgende maximal zulässigen Hochwasserstauziele vorgegeben:

$$Z_{H1,max} = Z_{H2,max} = 150,88 \text{ m NN} = 150,84 \text{ m NHN (1992)}$$

Dieses maximal zulässige Hochwasserstauziel entspricht der minimalen Höhe Dammkrone Hauptdamm Süd abzüglich der Höhe der Wellenumlenker (siehe Abschnitt 4.4, Punkt b). Zur Funktionsweise der Wellenumlenker bei diesen Hochwasserstauzielen wird auf Abschnitt 8.2 verwiesen.

Zusätzlich zu den festgelegten maximalen Hochwasserstauzielen wird die Leistungsfähigkeit der Entlastungsanlagen für drei weitere ausgezeichnete Stauhöhen betrachtet.

### 7.2 Hochwasserentlastungsanlage

Die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage ist in *IWSÖ (2017)*, Teilbericht 1, Tabelle 7 dokumentiert. Die Untersuchungen erfolgten an einem wasserbaulichen Modell im Maßstab 1 : 17,5.

Für ausgezeichnete Stauhöhen ergeben sich folgende Werte:

150,40 m NN = 150,36 m NHN (1992) mit 195,8 m<sup>3</sup>/s  
150,50 m NN = 150,46 m NHN (1992) mit 254,4 m<sup>3</sup>/s  
150,70 m NN = 150,66 m NHN (1992) mit 365,1 m<sup>3</sup>/s  
150,88 m NN = 150,84 m NHN (1992) mit 410,0 m<sup>3</sup>/s

Bei Kronenstau am Süddamm (Minimalwert nach Abschnitt 4.4) mit 151,69 m NN = 151,65 m NHN (1992) erreicht die Hochwasserentlastungsanlage eine Leistungsfähigkeit von 576 m<sup>3</sup>/s.

Beim Vergleich mit den Ergebnissen der historischen Modellversuche durch die *Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau (1957)* zeigt sich, dass der damals gewählte Maß-

stab von 1 : 30 durch Maßstabseffekte zu einer signifikanten Überschätzung der Leistungsfähigkeit bei dem angegebenen Stauziel von 150,50 m NN = 150,46 m NHN (1992) geführt hat (Abschnitt 4.5).

Die hydraulische Wirksamkeit (Energieumwandlung) des Tosbeckens ist bis zu Abflüssen von circa 300 m<sup>3</sup>/s gegeben. Bei höheren Abflüssen kommt es durch die nicht ausreichende Energieumwandlung im Tosbecken zu schießenden Abfluss in das luftseitige Dammvorland (*IWSÖ 2017*), Teilbericht 1, Abschnitt 7.4.2.

Aus der Modellkopplung mit dem 2D-HN – Modell ergab sich, dass die Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage sowie die Lages des Wechselsprungs im Tosbecken nicht durch einen Rückstau aus den Verkehrsdämmen im luftseitigen Dammvorland beeinflusst wird (*IWSÖ 2017*), Teilbericht 3, Abschnitt 5.3.5.

Der Abstand des Wasserspiegels in der Abflusssrinne zur Unterkante der Brücke über die Hochwasserentlastungsanlage ist für alle Abflüsse größer 2 m (*IWSÖ 2017*), Teilbericht 1, Abbildung 88, Station circa 300 m.

### 7.3 Abschlussbauwerk

Die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Doppelhakenschützen ist in *IWSÖ (2017)*, Teilbericht 4, Tabellen 8 und 9 dokumentiert. Die Untersuchungen erfolgten an einem wasserbaulichen Modell im Maßstab 1 : 15.

Zur Berücksichtigung der (n-1) – Bedingung wurde in *IWSÖ (2017)* zusätzlich zu der geometrischen Aufnahme aller vier Schützöffnungen sowie der Doppelhakenschützen selber die Leistungsfähigkeit jedes einzelnen Schützes am wasserbaulichen Modell bestimmt.

Für das geschlossene Schützpaket in oberer Endstellung ergeben sich folgende Leistungsfähigkeiten für die maximal zulässigen Hochwasserstauziele:

150,88 m NN = 150,84 m NHN (1992) mit 320,4 m<sup>3</sup>/s (mit n-1 – Bedingung)  
150,88 m NN = 150,84 m NHN (1992) mit 436,0 m<sup>3</sup>/s (ohne n-1 – Bedingung)

Nach Bestimmung der Beiwerte für den Abfluss unter einer Schützkonstruktion anhand der Messwerte an dem wasserbaulichen Modell (*Bollrich & Preißler, 1992*) und den Messwerten für weitere Stützstellen aus *IWSÖ (2017)*, Teilbericht 7, ergeben sich für das geschlossene Schützpaket in oberer Endstellung die folgenden Leistungsfähigkeiten für die (n-1) - Bedingung:

150,40 m NN = 150,36 m NHN (1992) mit 310,8 m<sup>3</sup>/s  
150,50 m NN = 150,46 m NHN (1992) mit 312,7 m<sup>3</sup>/s  
150,70 m NN = 150,66 m NHN (1992) mit 316,6 m<sup>3</sup>/s

Für alle 4 Doppelhakenschützen (Schützpaket geschlossen, obere Endstellung) ergeben sich folgende Leistungsfähigkeiten (ohne n-1 – Bedingung):

150,40 m NN = 150,36 m NHN (1992) mit 423,4 m<sup>3</sup>/s  
150,50 m NN = 150,46 m NHN (1992) mit 426,1 m<sup>3</sup>/s  
150,70 m NN = 150,66 m NHN (1992) mit 431,3 m<sup>3</sup>/s

Die hydraulische Wirksamkeit (Energieumwandlung) des Tosbeckens ist im untersuchten Abflussspektrum zwischen 320 und 436 m<sup>3</sup>/s nicht gegeben (*IWSÖ 2017*), Teilbericht 4, Abschnitt 7.5.

Aus der Modellkopplung mit dem 2D-HN – Modell ergab sich im untersuchten Abflussspektrum eine Leistungsminderung der Doppelhakenschützen von 2 bis 3 % aufgrund des Rückstauinflusses durch die Verkehrsdämme (*IWSÖ 2017*), Teilbericht 3, Abschnitt 5.3.5.

Der Abstand der festgelegten maximalen Hochwasserstauziele zur Unterkante der Brücke über die Hochwasserentlastungsanlage beträgt 152,45 m NN – 150,88 m NN = 1,57 m.

#### 7.4 Luftseitiges Dammvorland und Durchlässe Verkehrsdämme

Die Strömungssituation im luftseitigen Dammvorland als unterwasserseitige Randbedingung der Teilmodelle für die Hochwasserentlastungsanlage und das Abschlussbauwerk wurde über eine indirekte Kopplung mit einem zweidimensionalen mathematisch-physikalischen (2D-HN) Modell berücksichtigt (*IWSÖ 2017*), Teilbericht 3. Das 2D-HN – Modell enthält die Verkehrsdämme mit Durchlässen und bildet den Rückstau effekt sowie die Überströmung der Verkehrsdämme ab.

Die Durchlässe wurden exemplarisch an zwei wasserbaulichen Detailmodellen im Maßstab 1 : 15 untersucht (*IWSÖ 2017*), Teilbericht 2. Die Ergebnisse dieser Detailmodelle dienen zur Kalibrierung der internen Parameteransätze des 2D-HN – Modell für derartige Sonderkonstruktionen.

Aus *IWSÖ (2017)*, Teilbericht 3, Anlagen B-4 und B-8, können folgende Ergebnisse für die maximalen Hochwasserstauziele in Verbindung mit der Strömungssituation mit und ohne (n-1) – Bedingung abgeleitet werden:

Die Belastung der luftseitigen Dammböschung des Hauptdamms liegt für die festgelegten maximalen Hochwasserstauziele und die resultierende Strömung im luftseitigen Dammvorland in beiden Hochwasserbemessungsfällen unter 10 N/m<sup>2</sup>, die anstehende Grasnarbe ist nicht erosionsgefährdet.

In den weiteren Zulaufbereichen zu den Durchlässen sowie im weiteren Umfeld der Tosbecken (Hochwasserentlastungsanlage und Abschlussbauwerk) werden im luftseitigen Dammvorland höhere Schubspannungen erreicht, die insbesondere im Nahfeld der Durchlässe und Tosbecken Werte von über 50 N/m<sup>2</sup> erreichen. Aufgrund des Abstands dieser erosionsgefährdeten Bereiche zur luftseitigen Böschung des Hauptdamms ist eine kritische Belastung des Absperrbauwerks nicht vorhanden.

Aufgrund der Überströmung der Verkehrsdämme bei Abflüssen ab circa 500 m<sup>3</sup>/s wurde mit dem 2D-HN – Modell zusätzlich ein Versagensszenario der Verkehrsdämme betrachtet (*IWSÖ 2017*), Teilbericht 3, Abschnitt 5.3.5. Die dabei ermittelte Größenordnung und Geschwindigkeit der Wasserspiegelabsenkung ist bei den Zuverlässigkeitsnachweisen für den Hauptdamm zu berücksichtigen.

## 7.5 Zusammenfassung

Die Gesamtleistungsfähigkeit der Hochwasserentlastungsanlage und der Doppelhakenschützen am Abschlussbauwerk ergibt für ausgezeichnete Stauhöhen und unter Berücksichtigung der Strömungssituation im luftseitigen Dammvorland folgende Werte:

### **Hochwasserbemessungsfall 1 mit (n-1) – Bedingung**

150,40 m NN = 150,36 m NHN (1992) = 506,6 m<sup>3</sup>/s

150,50 m NN = 150,46 m NHN (1992) = 567,1 m<sup>3</sup>/s

150,70 m NN = 150,66 m NHN (1992) = 681,7 m<sup>3</sup>/s

150,88 m NN = 150,84 m NHN (1992) = 730,4 m<sup>3</sup>/s

Sollwert nach Abschnitt 6.1 = 506 m<sup>3</sup>/s

### **Hochwasserbemessungsfall 2 ohne (n-1) – Bedingung**

150,40 m NN = 150,36 m NHN (1992) = 619,2 m<sup>3</sup>/s

150,50 m NN = 150,46 m NHN (1992) = 680,5 m<sup>3</sup>/s

150,70 m NN = 150,66 m NHN (1992) = 796,4 m<sup>3</sup>/s

150,88 m NN = 150,84 m NHN (1992) = 846,0 m<sup>3</sup>/s

Sollwert nach Abschnitt 6.1 = 793 m<sup>3</sup>/s

Mit den wasserbaulichen Modellversuchen (*IWSÖ, 2017*) konnte nachgewiesen werden, dass die Scheitelwerte der Bemessungshochwasserzuflüsse in den Hochwasserbemessungsfällen 1 und 2 mit den Entlastungsanlagen am HRB Straußfurt für definierte Stauziele abgeführt werden können.

## 8 Nachweis der Hochwassersicherheit

### 8.1 Erforderlicher Freibord

#### Grundlagen

Die Berechnung des erforderlichen Freibords erfolgte gemäß *DVWK-Merkblatt 246/1997* und ist in *BCE (2015)* dokumentiert.

#### Bemessungswindgeschwindigkeiten

Die Größen für Wellenauflauf und Windstau wurden für den Hauptdamm Nord und Süd sowie für den Schutzdamm Henschleben jeweils an mehreren Punkten entlang der Längsachse bestimmt (*BCE 2015*). Die Übersicht zur Lage der einzelnen Punkte ist hier in der Anlage 22 gegeben.

Zum Ansatz kam dabei die richtungsabhängige Verteilung der Bemessungswindgeschwindigkeiten aus dem amtlichen Windgutachten (*DWD, 2013*) für ein Wiederkehrintervall von 25 Jahren im Hochwasserbemessungsfall 1 und für ein Wiederkehrintervall von 10 Jahren im Hochwasserbemessungsfall 2.

Für die Bestimmung von Wellenauflauf und Windstau wurden die sektoriellen Maximalwerte der Bemessungswindgeschwindigkeiten gewählt (*BCE, 2015*).

#### Hochwasserbemessungsfall 1

Für den erforderlichen Freibord gilt:  $f_{1, \text{erf.}} = h_{\text{Au}} + h_{\text{Wi}}$

Es ergeben sich folgende Maximalwerte (*BCE 2015*), Tabelle 8:

Hauptdamm Nord (Punkt D <sub>N5</sub> )	$f_{1, \text{erf.}} = 1,83 \text{ m}$
Hauptdamm Süd (Punkt D <sub>S2</sub> )	$f_{1, \text{erf.}} = 1,84 \text{ m}$
Schutzdamm Henschleben (Punkt D <sub>H1</sub> )	$f_{1, \text{erf.}} = 1,73 \text{ m}$

Abschlussbauwerk: Bei senkrechten Wänden entspricht die Auflaufhöhe der Wellenhöhe (*DVWK-Merkblatt 246/1997*). Mit dem Umrechnungsfaktor  $k_{hWe} = 2,4$  für die Überschreitungswahrscheinlichkeit der Wellenhöhe von 1 % (*DVWK-Merkblatt 246/1997*), Tabelle 4, ergibt sich für die mittlere Wellenhöhe  $h_{We,m}$  am nächstgelegenen Punkt zum Abschlussbauwerk (*BCE 2015*), Tabelle 10

Abschlussbauwerk (Punkt D <sub>S1</sub> )	$f_{1, \text{erf.}} = h_{We,1\%} = k_{hWe} \cdot h_{We,m}$
	$f_{1, \text{erf.}} = h_{We,1\%} = 2,4 \cdot 0,51 = 1,22 \text{ m}$

#### Hochwasserbemessungsfall 2

Für den erforderlichen Freibord gilt:  $f_{2, \text{erf.}} = h_{\text{Au}} + h_{\text{Wi}} + h_{\text{Si}}$

Es ergeben sich folgende Maximalwerte (*BCE 2015*), Tabelle 8:

Hauptdamm Nord (Punkt D <sub>N5</sub> )	$f_{2, \text{erf.}} = 1,73 \text{ m}$
Hauptdamm Süd (Punkt D <sub>S2</sub> )	$f_{2, \text{erf.}} = 1,73 \text{ m}$
Schutzdamm Henschleben (Punkt D <sub>H1</sub> )	$f_{2, \text{erf.}} = 1,62 \text{ m}$



Am Abschlussbauwerk erfolgt die Ermittlung analog wie vor mit der mittleren Wellenhöhen am nächstgelegenen Punkt zum Abschlussbauwerk (*BCE 2015*), Tabelle 10

$$\begin{aligned}\text{Abschlussbauwerk (Punkt } D_{S1}) \quad f_{2, \text{ erf.}} &= h_{We, 1\%} = k_{hWe} \cdot h_{We, m} \\ f_{2, \text{ erf.}} &= h_{We, 1\%} = 2,4 \cdot 0,48 = 1,15 \text{ m}\end{aligned}$$

Auf die Wahl eines Sicherheitszuschlages wird verzichtet, für die Begründung dazu wird auf Abschnitt 8.3 verwiesen.

## 8.2 Vorhandener Freibord und Nachweis

Die vorhandenen Freibordmaße werden aus den Minimalwerten für die Konstruktionsoberkanten entsprechend Abschnitt 4.4 bestimmt.

Als Hochwasserstauziele werden die Stauziele festgelegt, für die bei der jeweiligen (n-1) – Bedingung der Sollwert des Bemessungshochwasserzuflusses entsprechend der aktuellen hydrologischen Grundlagen erreicht wird (Abschnitt 7.5).

Damit gilt für den

$$\text{Hochwasserbemessungsfall 1:} \quad ZH_1 = 150,40 \text{ m NN} = 150,36 \text{ m NHN (1992)}$$

$$\text{Hochwasserbemessungsfall 2:} \quad ZH_2 = 150,70 \text{ m NN} = 150,66 \text{ m NHN (1992)}$$

### **Hauptdamm Nord ohne Wellenumlenker**

$$\begin{aligned}\text{vorhandener Freibord:} \quad f_{1, \text{ vorh.}} &= \text{OK Damm} - ZH_1 \\ f_{1, \text{ vorh.}} &= 152,77 - 150,36 = 2,41 \text{ m} \\ f_{2, \text{ vorh.}} &= \text{OK Damm} - ZH_2 \\ f_{2, \text{ vorh.}} &= 152,77 - 150,66 = 2,11 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{erforderlicher Freibord:} \quad f_{1, \text{ erf.}} &= 1,83 \text{ m} \\ f_{2, \text{ erf.}} &= 1,73 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nachweis:} \quad f_{1,2 \text{ vorh.}} &\geq f_{1,2 \text{ erf.}} \\ 2,41 &> 1,83 \\ 2,11 &> 1,73\end{aligned}$$

Der Nachweis ist für den Hauptdamm Nord in beiden Hochwasserbemessungsfällen ohne Berücksichtigung der Wellenumlenker erfüllt.

### **Hauptdamm Süd ohne Wellenumlenker**

$$\begin{aligned}\text{vorhandener Freibord:} \quad f_{1, \text{ vorh.}} &= \text{OK Damm} - ZH_1 \\ f_{1, \text{ vorh.}} &= 151,65 - 150,36 = 1,29 \text{ m} \\ f_{2, \text{ vorh.}} &= \text{OK Damm} - ZH_2 \\ f_{2, \text{ vorh.}} &= 151,65 - 150,66 = 0,99 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{erforderlicher Freibord:} \quad f_{1, \text{ erf.}} &= 1,84 \text{ m} \\ f_{2, \text{ erf.}} &= 1,73 \text{ m}\end{aligned}$$

Nachweis:

$$f_{1,2 \text{ vorh.}} \geq f_{1,2 \text{ erf.}}$$

$$1,29 < 1,84$$

$$0,99 < 1,73$$

Der Nachweis ist für den Hauptdamm Süd in beiden Hochwasserbemessungsfällen ohne Berücksichtigung der Wellenumlenker nicht erfüllt.

### **Hauptdamm Süd mit Wellenumlenkern**

Die Wirkung der Wellenumlenker wird über die Berechnung der Resthöhe  $h_c$  entsprechend „Vorläufige Richtlinie für die Ermittlung der Freibordhöhe infolge Windwellenwirkung“ (*Staatliche Bauaufsicht des Ministeriums für Umweltschutz und Wasserwirtschaft, 1989*) erfasst.

$$h_c = H_A \cdot \left[ 1 - (1 - b) \cdot \frac{h_U \cdot \tan \alpha}{H_A \cdot h_U^*} \right]$$

mit

$h_c$  = Wellenaufbauhöhe infolge Windwellenwirkung mit Wellenumlenkern

$H_A$  =  $h_{Au,1\%}$  Wellenaufbauhöhe infolge Windwellenwirkung mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1 % ohne Wellenumlenker

$b$  = 0,64 Parameter für die Form der Wellenumlenker analog *Gebhardt (1998)*

$h_U^*$  = 0,115 Parameter für die Form der Wellenumlenker analog *Gebhardt (1998)*

$h_U$  = 0,81 m Höhe der Wellenumlenker

$\tan \alpha$  = 0,333 Neigung der wasserseitigen Böschung

Entsprechend *BCE (2015)*, Abschnitt 6.9, Tabelle 8 ergibt sich für die Maximalwerte aus Wellenaufbau und Windstau am Punkt  $D_{S2}$

Hochwasserbemessungsfall 1

$$h_{Au,1\%} = 1,77 \text{ m}$$

$$h_{Wi} = 0,07 \text{ m}$$

Hochwasserbemessungsfall 2

$$h_{Au,1\%} = 1,67 \text{ m}$$

$$h_{Wi} = 0,06 \text{ m}$$

Damit ergibt sich die Wellenaufbauhöhe infolge Windwellenwirkung unter Berücksichtigung der Wellenumlenker am Punkt  $D_{S2}$  im

Hochwasserbemessungsfall 1

$$h_c = 0,93 \text{ m} < 1,29 \text{ m} = f_{1, \text{ vorh.}}$$

Hochwasserbemessungsfall 2

$$h_c = 0,83 \text{ m} < 0,99 \text{ m} = f_{2, \text{ vorh.}}$$

Der Nachweis ist für den Hauptdamm Süd in beiden Hochwasserbemessungsfällen mit Berücksichtigung der Wellenumlenker erfüllt.

Für die festgelegten maximalen Hochwasserstauziele der wasserbaulichen Modellversuche von

$$Z_{H1,max} = Z_{H2,max} = 150,88 \text{ m NN} = 150,84 \text{ m NHN (1992)}$$

folgt ein vorhandener Freibord von

$$f_{1,2 \text{ vorh.}} = \text{OK Damm} - Z_{H1,2}$$

$$f_{1,2 \text{ vorh.}} = 151,65 - 150,84 = 0,81 \text{ m}$$

Die Wellenaufbauhöhe mit Berücksichtigung der Wellenumlenker überschreitet in beiden Hochwasserbemessungsfällen den vorhandenen Freibord, es kommt zu einem Wellenaufbau auf die befestigte Dammkrone.

### **Schutzdamm Henschleben**

vorhandener Freibord:

$$f_{1, \text{ vorh.}} = \text{OK Damm} - Z_{H1}$$

$$f_{1, \text{ vorh.}} = 151,54 - 150,36 = 1,18 \text{ m}$$

$$f_{2, \text{ vorh.}} = \text{OK Damm} - Z_{H2}$$

$$f_{2, \text{ vorh.}} = 151,54 - 150,66 = 0,88 \text{ m}$$

erforderlicher Freibord:

$$f_{1, \text{ erf.}} = 1,73 \text{ m}$$

$$f_{2, \text{ erf.}} = 1,62 \text{ m}$$

Nachweis:

$$f_{1,2 \text{ vorh.}} \geq f_{1,2 \text{ erf.}}$$

$$1,18 < 1,73$$

$$0,88 < 1,62$$

Der Nachweis ist für den Schutzdamm Henschleben in beiden Hochwasserbemessungsfällen nicht erfüllt (weiteres Vorgehen gemäß Abschnitt 9).

### **Abschlussbauwerk**

vorhandener Freibord:

$$f_{1, \text{ vorh.}} = \text{OK Damm} - Z_{H1}$$

$$f_{1, \text{ vorh.}} = 153,11 - 150,36 = 2,75 \text{ m}$$

$$f_{2, \text{ vorh.}} = \text{OK Damm} - Z_{H2}$$

$$f_{2, \text{ vorh.}} = 153,11 - 150,66 = 2,45 \text{ m}$$

erforderlicher Freibord:

$$f_{1, \text{ erf.}} = 1,22 \text{ m}$$

$$f_{2, \text{ erf.}} = 1,15 \text{ m}$$

Nachweis:

$$f_{1,2 \text{ vorh.}} \geq f_{1,2 \text{ erf.}}$$

$$2,75 > 1,22$$

$$2,11 > 1,15$$

Der Nachweis ist für das Abschlussbauwerk in beiden Hochwasserbemessungsfällen erfüllt.

### 8.3 Festlegungen und verbleibendes Risiko

- a) Es werden folgende Hochwasserstauziele abschließend festgelegt:

Hochwasserbemessungsfall 1                       $ZH_1 = 150,40 \text{ m NN} = 150,36 \text{ m NHN (1992)}$

Hochwasserbemessungsfall 2                       $ZH_2 = 150,70 \text{ m NN} = 150,66 \text{ m NHN (1992)}$

- b) Für die Hochwasserstauziele gemäß Punkt a können die Scheitelwerte der Bemessungshochwasserzuflüsse unter Berücksichtigung der jeweiligen (n-1) – Bedingung (mit/ohne) über die Hochwasserentlastungsanlage und das Abschlussbauwerk abgeführt werden (Abschnitt 7.5).
- c) Für die Hochwasserstauziele gemäß Punkt a ist am Hauptdamm Nord und Süd sowie am Abschlussbauwerk der vorhandene Freibord größer als der erforderliche Freibord (Abschnitte 8.1 und 8.2).

Am Hauptdamm Süd ist zur Gewährleistung des erforderlichen Freibords der Wellenumlenker erforderlich. Die hydraulische Funktionalität der Wellenumlenker ist bei den festgelegten Hochwasserstauzielen gegeben.

Am Schutzdamm Henschleben ist der vorhandene Freibord geringer als der erforderliche Freibord. Das Defizit beträgt ohne Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlags gleich  $1,62 - 0,88 = 0,74 \text{ m}$  (weiteres Vorgehen gemäß Abschnitt 9).

- d) Das HRB Straußfurt ist bei Hochwasserbetrieb 24 Stunden besetzt und für die redundante Stromversorgung steht eine mobile Netzersatzanlage zur Verfügung. Die Funktionsfähigkeit der Doppelhakenschützen ist bei Hochwasserbetrieb gesichert.
- e) Bei Anwendung der (n-1) – Bedingung im Hochwasserbemessungsfall 2 (Ausfall eines Doppelhakenschützes) wird der Scheitelwert des Bemessungshochwasserzuflusses  $BHQ_2 = 793 \text{ m}^3/\text{s}$  bei einem Stauziel von  $151,19 \text{ m NN} = 151,15 \text{ m NHN (1992)}$  abgeführt.

Hochwasserentlastungsanlage	= $474,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (WSÖ 2017, Teilbericht 1, Tabelle 7)
Abschlussbauwerk	= $320,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abschnitt 7.3)
Summe	= $794,7 \text{ m}^3/\text{s}$

Der Freibord wird in Anspruch genommen. Das resultierende Stauziel liegt unterhalb der Dammkrone und die Wellenumlenker sind eingestaut. Der Wellenaufbau auf die befestigte Dammkrone wird durch die Wellenumlenker begrenzt.

- f) Bei einem Stauziel von  $151,19 \text{ m NN} = 151,15 \text{ m NHN (1992)}$  entsprechend Punkt e und vier geschlossenen Schützpaketen in oberer Endstellung wird folgender Abfluss erreicht:

Hochwasserentlastungsanlage	= $474,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (WSÖ 2017, Teilbericht 1, Tabelle 7)
Abschlussbauwerk	= $436,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abschnitt 7.3)
Summe	= $910,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Bei der Überschreitung des Bemessungshochwasserzuflusses wird der vorhandene Freibord in Anspruch genommen. Das resultierende Stauziel liegt unterhalb der Dammkrone und die Wellenumlenker sind eingestaut. Der Wellenaufbau auf die befestigte Dammkrone wird durch die Wellenumlenker begrenzt.

- g) Bei Einstau der Wellenumlenker (Überschreiten des Fußpunktes) entsprechend der Punkte e und f ist eine konstruktive Sicherheit gegen Gleiten durch die Einbindung der Wellenumlenker über die gesamte Höhe in den befestigten Dammquerschnitt gegeben.
- h) Die Ermittlung des erforderlichen Freibords (Wellenaufbau und Windstau) basiert auf Bemessungswindgeschwindigkeiten eines amtlichen Windgutachtens.

Unter Berücksichtigung der Punkte a bis h ist der unter Abschnitt 8.1 festgelegte Sicherheitszuschlag von  $h_{SI} = 0$  normgerecht, weil keine Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Ermittlung des Hochwasserstauziels  $Z_{H2}$  bestehen und für eine Überschreitung der Hochwasserstauziels  $Z_{H2}$  konstruktive Reserven vorhanden sind.

## **9 Zusammenfassung und weiteres Vorgehen**

Die Hochwassersicherheit des Hauptdammes und des Abschlussbauwerkes am HRB Straußfurt ist gemäß DIN 19700:2004-07 in Verbindung mit dem DVWK-Merkblatt 246/1997 gegeben, wenn die Hochwasserstauziele gemäß Abschnitt 8.3 eingehalten werden.

Für die Einhaltung der Hochwasserstauziele wird kurzfristig eine Steueranweisung erstellt.

Die Hochwassersicherheit für den Hochwasserschutzdamm Henschleben konnte nicht nachgewiesen werden. Innerhalb von 5 Jahren nach der Festlegung zum zukünftigen gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum (im Rahmen des aktuell in Bearbeitung befindlichen Hochwasserschutzkonzeptes Untere Unstrut gemäß Abschnitt 1) ist die Hochwassersicherheit des Hochwasserschutzdammes Henschleben herzustellen.

Gemäß Abschnitt 7.2 ist im Hochwasserbemessungsfall 1 bei Einhaltung der Hochwasserstauziele gemäß Abschnitt 8.3 die Energieumwandlung im Tosbecken der Hochwasserentlastungsanlage sichergestellt. Im Hochwasserbemessungsfall 2 erfolgt die Energieumwandlung im Nachlauf des Tosbeckens. Hier ist eine konstruktive Sicherung vorhanden und gemäß DIN 19700:2004-07 sind im Hochwasserbemessungsfall 2 lokale Schäden zulässig. Aufgrund des Abstands zum Hauptdamm ist kein Globalversagen des Absperrbauwerks zu besorgen.

Gemäß Abschnitt 7.3 ist im Hochwasserbemessungsfall 1 und 2 bei Einhaltung der Hochwasserstauziele gemäß Abschnitt 8.3 die Energieumwandlung im Tosbecken des Abschlussbauwerkes nicht sichergestellt. Im Nachlauf des Tosbeckens erstreckt sich eine konstruktive Sicherung bis unterhalb der Brücken über die Unstrut. Die Notwendigkeit einer zusätzlichen Sicherung ist in Verbindung mit der Instandsetzung beziehungsweise des Ersatzneubaus vom Abschlussbauwerk zu prüfen.

Gemäß Abschnitt 7.4 ist eine Erosionsgefahr auf der Dammluftseite des Hauptdamms nicht gegeben.

Die Zuverlässigkeitsnachweise für den Hauptdamm wurden auf der sicheren Seite liegend für die Hochwasserstauziele  $Z_{H1,max} = Z_{H2,max} = 150,88 \text{ m NN} = 150,84 \text{ m NHN (1992)}$  erstellt.

Die Berücksichtigung der Strömung im luftseitigen Dammvorland (Wasserstand, Fließgeschwindigkeiten) ist bei den Zuverlässigkeitsnachweisen für den Hauptdamm sowohl für die Verkehrsdämme im Bestand als auch für den Fall eines Versagens mit schneller Wasserspiegelabsenkung erfolgt (m4, 2018). Es ergeben sich keine Defizite.

Ende der Eintragung