



Technische
Universität
Braunschweig



Technische Universität Braunschweig
Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittich
Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau
Beethovenstr. 51 a, 38106 Braunschweig

Bericht Nr. 939a

Hochwasserentlastungsanlage (HWE) der Talsperre Wendebach - Ergänzende hydraulische Modellversuche -

Braunschweig, Februar 2012



Technische Universität Braunschweig
Prof Dr.-Ing. habil Andreas Dittrich
Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau
Beethovenstr. 51 a, 38106 Braunschweig

Hochwasserentlastungsanlage (HWE) der Talsperre Wendebach

- Ergänzende hydraulische Modellversuche -

Auftraggeber: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft,
Küsten- und Naturschutz (NLWKN)

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Stephan Niewerth
Dr.-Ing. Jochen Aberle
Prof. Dr.-Ing. Bernd Ettmer (Hochschule Magdeburg-Stendal)

Braunschweig, Februar 2012

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittrich

Dipl.-Ing. Stephan Niewerth

Dr.-Ing. Jochen Aberle

Prof. Dr.-Ing. Bernd Ettmer

Inhaltsverzeichnis

	Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen	I
	Abbildungsverzeichnis.....	II
	Tabellenverzeichnis.....	II
1	Veranlassung und Problemstellung	1
2	Verwendete Unterlagen und Literatur	2
3	Modell und Messtechnik.....	3
4	Versuchsprogramm	5
5	Experimentelle Untersuchungen.....	7
5.1	Vorbemerkung	7
5.2	Feste Wehrschwelle und Schusrinne	7
5.3	Tosbecken	9
6	Zusammenfassung	14

Verwendete Abkürzungen

BHQ	Bemessungsabfluss;
HRB	Hochwasserrückhaltebecken;
HWE	Hochwasserentlastungsanlage;
HQ _x	Hochwasserabfluss mit einer Jährlichkeit von x Jahren;
IfW	Institut für Wassermanagement GmbH;
LF	Lastfall;
LWI	Leichtweiß-Institut für Wasserbau;
mNN	Meter über Normalnull, entspricht Meter über Normalhöhennull (mNHN)
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasser-, Küsten und Naturschutz;
WSP	Wasserspiegel.

Verwendete Formelzeichen

a	[m]	Schussrinnenbreite bzw. Tosbeckenbreite;
B	[m]	Überfallbreite;
b _p	[m]	Breite der Prallblöcke;
b _s	[m]	Breite der Strahlaufreißer;
h _ü	[m]	Überfallhöhe;
h _p	[m]	Höhe der Prallblöcke;
h _s	[m]	Höhe der Strahlaufreißer;
h _{sch}	[m]	Höhe der Endschwelle;
L	[m]	Tosbeckenlänge;
L _e	[m]	Länge des Einlaufbereichs des Tosbeckens;
l _g	[m]	Länge des geradeb Abschnitts des Entenschnabelwehrs;
l _k	[m]	Länge des gekrümmten Abschnitts des Entenschnabelwehrs;
l _{ko}	[m]	Kopflänge der Prallblöcke;
l _p	[m]	Länge der Prallblöcke an der Tosbeckensohle;
l _s	[m]	Länge der Strahlaufreißer;
l _{sch}	[m]	Länge der Endschwelle;
N	[1]	Modellmaßstab;
n _e	[1]	Neigung Einlaufbereich;
n _p	[1]	Neigung der Schräge der Prallblöcke;
n _{sch}	[1]	Neigung Endschwelle;
Q	[m ³ /s]	Abfluss;
q	[m ² /s]	spezifischer Abfluss;
r	[m]	Innenradius des Entenschnabelwehrs
s _p	[m]	Abstand der Prallblöcke;
s _s	[m]	Abstand der Strahlaufreißer.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1: Fotografien des physikalischen Modells aus (2006) mit Lage der Stechpegel M1, M ₄ und M7.....	3
Abb. 5.1: a) Draufsicht Entenschnabelwehr mit der inneren Überfallbreite von B = 28 m und b) Fotografie des Planungsvorschlags.....	6
Abb. 5.2: Fotografien Strömungsverhältnisse bei den Abflüssen für LF1 - 3.....	7
Abb. 5.3: Tosbeckenabmessungen, modifizierte Strahlaufreißer und Prallblöcke nach USBR Typ III + IV.....	8
Abb. 5.4: Strömungsverhältnisse im Tosbecken mit und ohne Einbauten für LF1/ HQ ₅₀₀₀ = 93,3 m ³ /s.....	10
Abb. 5.5: Strömungsverhältnisse im Tosbecken mit und ohne Einbauten für LF2/ HQ ₅₀₀ = 66,5 m ³ /s.....	10
Abb. 5.6: Strömungsverhältnisse im Tosbecken mit und ohne Einbauten für LF3/ HQ ₁₀₀ = 48,8 m ³ /s.....	11

Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1: Lastfälle 1 bis 5	5
Tab. 5.1: Wasserspiegellagen im Wendebachstausee	7
Tab. 5.2: Wasserspiegellagen und Wassertiefen am Messpunkt M4	8
Tab. 5.3: Wasserspiegellagen und Wassertiefen im Tosbecken und am Messpunkt M7	9
Tab. 5.4: Tosbeckenabmessungen.....	12

1 Veranlassung und Problemstellung

Das Hochwasserrückhaltebecken (HRB) Wendebach soll unter Erhaltung des Stauziels von 171 mNN teilweise zurückgebaut werden. Hierzu ist der Neubau einer unregelmäßigen Hochwasserentlastungsanlage (HWE) erforderlich, so dass die Bemessungsabflüsse BHQ_1 und BHQ_2 nach DIN 19700 mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten $T = 500$ ($HQ_{500} = BHQ_1$) und $T = 5.000$ ($HQ_{5000} = BHQ_2$) sicher abgeführt werden können, ohne dass im Stauraum das höchste Stauziel von 173 mNN überschritten wird.

Das Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI) der Technischen Universität Braunschweig wurde bereits im Jahr 2006 vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (NLWKN) mit experimentellen Untersuchungen zur Vordimensionierung und hydraulischen Gestaltung der HWE beauftragt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde vom LWI ein Planungsvorschlag mit fester Wehrschwelle in der Bauform eines sogenannten Entenschnabelwehres mit unterwasserseitig angeschlossener Schusssrinne und Tosbecken konzipiert, vgl. LWI-Bericht 939. Diese Untersuchungen basierten auf Bemessungsabflüssen des NLWKN aus den Jahren 2004 bis 2006.

In den Jahren 2006 bis 2011 wurden weitere hydrologische Berechnungen durchgeführt, u.a. vom Institut für Wassermanagement GmbH (IfW). Diese Berechnungen führten zu einem veränderten Abfluss HQ_{100} und in der Konsequenz zu veränderten maßgebenden Bemessungsabflüssen BHQ_1 und BHQ_2 . Gegenüber den bisherigen Abflussgrößen wurden die neuen Bemessungswerte um rd. 15 - 23 % verringert (vgl. IfW-Bericht).

Aufgrund der veränderten Bemessungsgrößen und zur abschließenden hydraulischen Dimensionierung der Anlage wurde das LWI mit Schreiben vom 15.09.2011 vom NLWKN mit ergänzenden physikalischen Modellversuchen beauftragt. Die experimentellen Untersuchungen wurden in der wasserbaulichen Versuchshalle des LWI durchgeführt. Hierzu wurde das noch vorhandene physikalische Modell des Wendebachstausees wieder in Betrieb genommen.

Ziel der experimentellen Untersuchungen war es, die Bauwerksdimensionen der Hochwasserentlastungsanlage, der Schusssrinne und des Tosbeckens hydraulisch zu optimieren und insbesondere die baulichen Abmessungen an die verminderten Bemessungsabflüsse anzupassen.

2 Verwendete Unterlagen und Literatur

Der vorliegende Bericht ist eine Ergänzung zum LWI-Bericht 939 und basiert auf den in diesem Bericht angegebenen Quellen. Die im vorliegenden Bericht zusätzlich verwendeten als auch zitierten Quellen sind:

- a) Hochwasserentlastungsanlage (HWE) der Talsperre Wendebach - Physikalischer Modellversuch. Bericht 939 des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Braunschweig, Juni 2010.
- b) Überprüfung der Faktoren zur Ermittlung von BHQ_1 und BHQ_2 für das HRB Wendebach - Hydrologische Untersuchungen. Bericht des Instituts für Wassermanagement IfW GmbH, NLWKN Betriebsstelle Süd, 30.11.2011.
- c) DIN 19700-10, Stauanlagen, Teil 10: Gemeinsame Festlegungen, Teil 11: Talsperren, Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken, 07/2004.
- d) HQ100 am Pegel Reinhausen und HQ100-Zulauf in das HRB Wendebach, NLWKN – GLD, Vermerk 27.10.2010.

Nach Aussage des NLWKN entsprechen die in den zur Verfügung gestellten Unterlagen angegebenen Höhen in Meter über Normalnull (mNN) der Höhenangabe Meter über Normalhöhennull (mNHN). Somit können die Höhenangaben in diesem Bericht 1 : 1 von mNN auf mNHN übertragen werden.

3 Modell und Messtechnik

Die ergänzenden Modellversuche wurden im noch bestehenden physikalischen Modell des HRB Wendebach in der LWI-Versuchshalle durchgeführt, vgl. Abb. 3.1. Der Modellmaßstab betrug $1:N = 1:30$. Das Froude'sche Ähnlichkeitsgesetz ergibt nachfolgende Relationen zwischen Modell und Natur:

Längen, Breiten, Höhen	$1:N$	=	$1:30$
Geschwindigkeit	$1:N^{0,5}$	=	$1:5,48$
Durchfluss	$1:N^{2,5}$	=	$1:4929$



Abb. 3.1: Fotografien des physikalischen Modells aus (2006) mit Lage der Stechpegel M1, M4 und M7.

Vor der Wiederinbetriebnahme des bestehenden physikalischen Modells aus 2006 wurden die Bauwerke und die gesamte Modellfläche an charakteristischen Markierungsmarken neu vermessen. Die Messungen zeigten, dass zwischen den Jahren 2006 und der Wiederinbetriebnahme in 2011 keine Setzungen in der Modelloberfläche vorlagen, so dass die selbe Fehlergrenze des Modellnivelements wie im LW-Bericht 939 bei $\pm 0,5$ mm, entsprechend $\pm 1,5$ cm in der Natur vorlag. Zudem wurde in Vorversuchen festgestellt, dass die im Jahr 2006 gemessenen hydraulischen Verhältnisse, wie bspw. Wasserspiegellagen, Fließgeschwindigkeiten u.a. im wieder in Betrieb genommenen Modell reproduziert werden konnten. Somit war nachgewiesen, dass die geplanten experimentellen Untersuchungen auf Grundlage eines vermessungstechnisch und hydraulisch gleichwertigen physikalischen Modells wie 2006 durchgeführt werden konnten.

Für die experimentellen Untersuchungen wurden die Wasserstände im Stauraum, in der Schusrinne und im Unterwasser des Tosbeckens mit Spitzenmaßstäben mit einer Ablesegenauigkeit von $\pm 0,5$ mm gemessen, entsprechend $\pm 1,5$ cm in der Natur, vgl. Abb. 3.1.

Der Spitzenmaßstab M1 war im Stauraum in einer ausreichend großen Distanz zur Überfallkante angebracht, so dass die Absenkung des Wasserspiegels im Überfallbereich keine Auswirkung auf die Wasserspiegellage im HRB hatte. Die Bestimmung der Wasserstände in der Schusrinne erfolgte unmittelbar vor dem Tosbecken (Spitzenmaßstab M4), während ein weiterer Spitzenmaßstab (M7) im Unterwasser des Tosbeckens zur Messung der Untertiefe diente. Der Modellzufluss im Oberwasser des Staudamms wurde manuell eingestellt und mit einem induktiven Durchflussmesser mit einer Messwertabweichung von $\pm 0,5$ % gemessen.

Für die Optimierung der Hochwasserentlastungsanlage wurden die als Entenschnabelwehr ausgebildete feste Wehrschwelle, die Schusrinne und das Tosbecken neu dimensioniert.

Für die Optimierung der Strömungsverhältnisse im Tosbecken wurde, wie in den Modelluntersuchungen in 2006, ein seitliches Beobachtungsfenster aus transparentem Plexiglas im Tosbeckenbereich eingebaut, so dass die Strömungsprozesse im Tosbecken visuell beurteilt werden konnten. An der Plexiglasberandung angebrachte Maßstäbe dienten dazu, die Wassertiefe im Tosbecken zu messen.

4 Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm sah vor, die grundlegenden experimentellen Untersuchungen zur Dimensionierung der festen Wehrschwelle, der Schusssrinne und des Tosbeckens mit den veränderten Bemessungsabflüssen durchzuführen. Aufgrund der Änderungen der Bemessungsabflüsse wurde in umfangreichen Voruntersuchungen zunächst eine Vordimensionierung der festen Wehrschwelle, der Schusssrinne und des Tosbeckens vorgenommen. Die Voruntersuchungen ergaben, dass die Länge der festen Wehrschwelle auf 28 m, die Breite der Schusssrinne auf 8,5 m und die Breite des Tosbeckens ebenfalls auf 8,5 m verringert werden konnten. Mit diesen Vordimensionierungen wurden die Hauptversuche durchgeführt. Diese gliederten sich in:

- Untersuchungen zur Optimierung der festen Wehrschwelle und der Schusssrinne
- Untersuchungen zur Optimierung des Tosbeckens

Die Hauptuntersuchungen wurden mit den vom NLWKN vorgegebenen Abflüssen durchgeführt. Lastfall 1 (LF1) entsprach dabei einem Bemessungshochwasser $BHQ_2 = HQ_{5000} = 93,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Lastfall 2 (LF2) entsprach einem Bemessungshochwasser $BHQ_1 = HQ_{500} = 66,5 \text{ m}^3/\text{s}$ und Lastfall 3 (LF3) entsprach einem Hochwasserabfluss $HQ_{100} = 48,8 \text{ m}^3/\text{s}$. D.h. die Lastfälle LF1 bis LF3 wurden gegenüber den im LWI-Bericht 939 verwendeten Abflüssen vermindert. Der maßgebliche Lastfall für die Dimensionierung des Bauwerkes ist der Lastfall LF1, weshalb die experimentellen Untersuchungen schwerpunktmäßig mit diesem Lastfall durchgeführt wurden.

Der Lastfall 4 (LF4) und der Lastfall 5 (LF5) entsprachen Hochwasserabflüssen von $Q = 47 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $Q_{10} = 28,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die Lastfälle LF4 und LF5 gegenüber den Abflussgrößen des LWI-Berichtes 939 nicht verändert wurden. Diese beiden Lastfälle stellen keine bemessungsrelevanten Lastfälle dar und werden im Wesentlichen zur Vervollständigung der Abflussreihe LF1 bis LF5 sowie zur Visualisierung der Strömungsverhältnisse genutzt.

Weitere zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführte Untersuchungen ergaben, dass die Werte für das HQ_{100} und das HQ_{10} auf die Werte $Q_{100} = 47,6 \text{ m}^3/\text{s}$ und $Q_{10} = 12,0 \text{ m}^3/\text{s}$ verringert werden konnten. Da diese Werte kleiner als die hier angenommenen Werte sind, befinden sie sich auf der sicheren Seite und erhöhen somit noch die Sicherheit der Anlage.

Eine Zusammenstellung der Lastfälle und Abflusswerte zeigt Tab. 4.1.

Tab. 4.1: Lastfälle 1 bis 5

Lastfälle	
Lastfall	Q [m ³ /s]
LF1 / HQ ₅₀₀₀	93,3
LF2 / HQ ₅₀₀	66,5
LF3 / HQ ₁₀₀	48,8
LF4	47,0
LF5	28,9

Anmerkung: In Absprache mit dem Auftraggeber wurde die Abflussleistung von $Q \approx 10 \text{ m}^3/\text{s}$ für die vorhandenen Grundablässe nicht zur Verminderung der verschiedenen Bemessungsabflüsse berücksichtigt, da eine Verlegung der Grundablässe bzw. Betriebsstörungen während des Bemessungsereignisses nicht ausgeschlossen werden kann.

5 Experimentelle Untersuchungen

5.1 Vorbemerkung

Vorberechnungen und Voruntersuchungen ergaben, dass die Breite der Schussrinne auf $a = 8,50$ m gegenüber $a = 10$ m (LWI-Bericht 939, 2006) reduziert werden konnte. Für den Bemessungsabfluss $LF 1 / HQ_{5000} = 93,3$ m³/s ergab sich somit der spezifische Abfluss zu $q = 11,0$ m³/(s·m). Das Entenschnabelwehr wurde auf die Öffnungsbreite der Schussrinne $a = 8,50$ m angepasst. Zudem wurde die Länge des geraden Stücks des Entenschnabelwehrs auf $l_g = 7,32$ m und die Länge des Krümmungsbereichs $l_k = 13,35$ m (mit einem Innenradius des Halbkreises von $r = 4,25$ m) festgelegt. Die gesamte Überfallbreite betrug somit $B = 28$ m, vgl. Abb. 5.1.

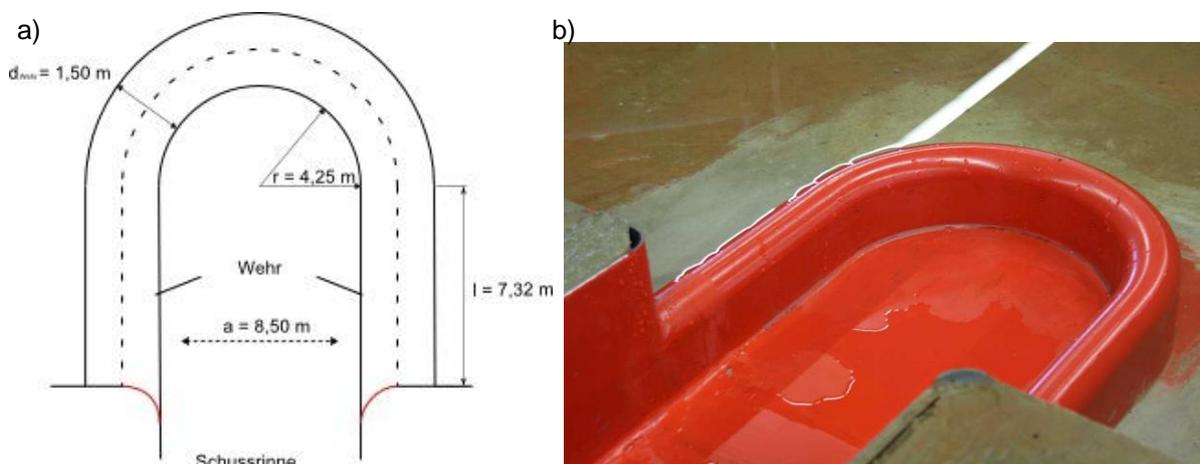


Abb. 5.1: a) Draufsicht Entenschnabelwehr mit der inneren Überfallbreite von $B = 28$ m und b) Fotografie des Planungsvorschlags.

Die Überfallkrone wurde mit 171,50 mNN, die Sohlenhöhe der Schussrinne hinter der festen Wehrrschwelle mit 169 mNN festgelegt. Zudem wurde die feste Wehrrschwelle in den Stausee vorgelagert, um eine beruhigte An- und Überströmung zu ermöglichen. Die seitlichen Anschlusshöhen an das Absperrbauwerk wurden auf eine Höhe von 174 mNN festgelegt. Gegenüber dem Planungsvorschlag im LWI-Bericht 939 blieben somit die Höhenlagen des Bauwerkes unverändert.

5.2 Feste Wehrrschwelle und Schussrinne

Die in Kap. 5.1 definierte Wehrrschwelle wurde in das physikalische Modell des Wendebachstausees eingebaut und mit den Lastfällen LF1 bis LF5 untersucht. Dabei zeigte sich eine gleichmäßige Anströmung auf die Wehrrschwelle, wobei die Überströmung gleichmäßig ohne ausgeprägte Wirbel- und Walzensysteme erfolgte. Insgesamt zeigte sich, dass die Anströmung auf die feste Wehrrschwelle, deren Überströmung als auch die komplexen Strömungsprozesse unterhalb der Wehrrschwelle mit der Ausbildung von hoch turbulenten Wirbel- und Walzenstrukturen, ein beruhigtes und geführtes Strömungsverhalten aufwies. Die Übergänge zwischen der festen Wehrrschwelle des Entenschnabelwehres und der anschließenden Schussrinne wurden im Zuge der hydraulischen Optimierung ausgerundet. Eine Strömungsfotografie der Lastfälle LF1 bis LF3 ist in Abb. 5.2 dargestellt.

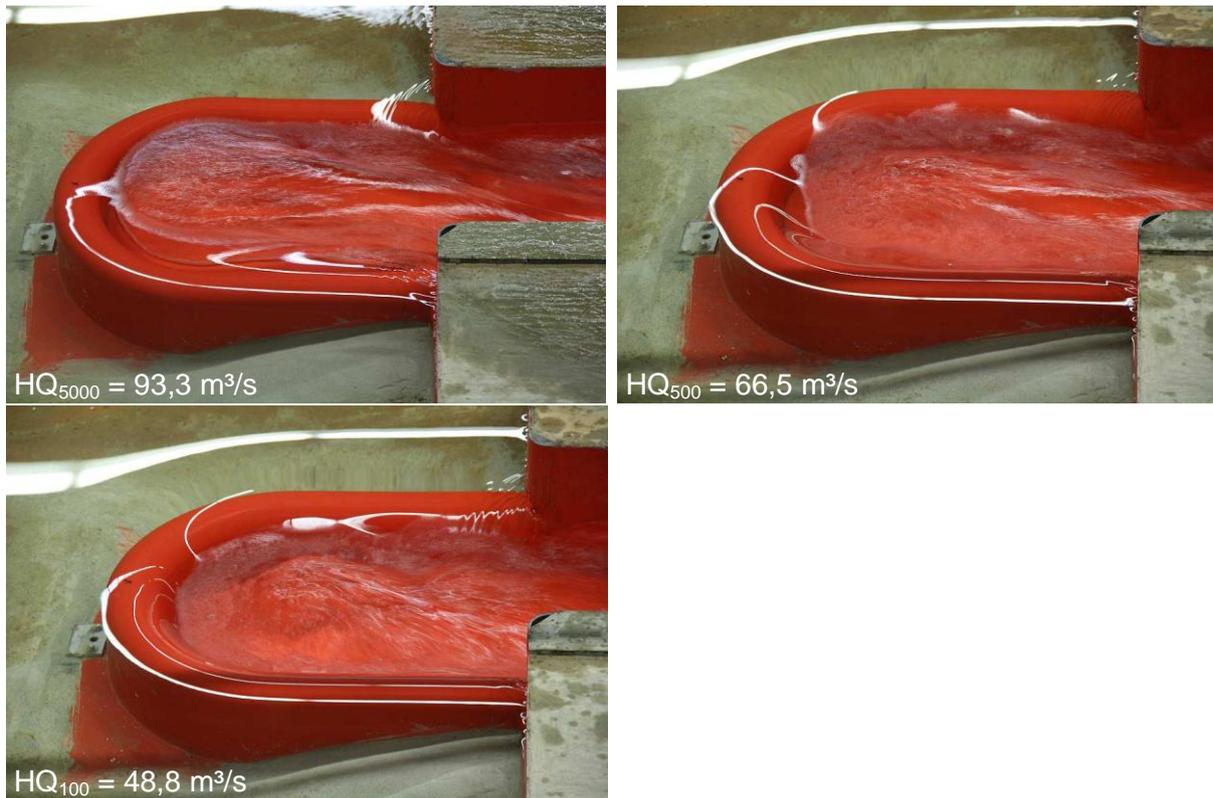


Abb. 5.2: Fotografien Strömungsverhältnisse bei den Abflüssen für LF1 - 3.

Eine Zusammenstellung der am Pegel M1 (im Wendebachstausee) gemessenen Wasserspiegellagen (WSP) sowie der Überfallhöhen ($h_{\bar{u}}$) zeigt Tab. 5.1. Es wird ersichtlich, dass das beim HQ_{5000} maximal zulässige Stauziel von 173,00 mNN für den LF 1 eingehalten wird. Die gemessene Wasserspiegellage für LF1 betrug 172,92 mNN und lag somit 8 cm unterhalb des maximalen Stauziels.

Tab. 5.1: Wasserspiegellagen im Wendebachstausee

Bezeichnung	Q^1 [m³/s]	WSP [mNN]	$h_{\bar{u}}$ [m]
Wehrkrone		171,50	
LF1 (HQ_{5000})	93,3	172,92	1,42
LF2 (HQ_{500})	66,5	172,53	1,03
LF3 (HQ_{100})	48,8	172,34	0,84
LF4	47,0	172,33	0,83
LF5	28,9	172,12	0,62

¹: Beide Grundablässe wurden als verschlossen angenommen.

Der Übergang vom Unterwasser der Wehranlage in die Schusrrinne erfolgte mit einer ausgerichteten und beruhigten Strömung. In der Schusrrinne war der Abfluss schießend. Am Pegel M4 betrug die gemessenen Wasserspiegellagen für die Lastfälle LF1, LF2 und LF 3 zwischen 0,89 m bis 1,43 m, vgl. Tab. 5.2. Im Übergang zwischen der festen Wehrschwelle und der Schusrrinne betrug die gemessenen Wassertiefen rd. 3 m (LF1), 2,45 m (LF2) bzw. 1,95 m (LF3).

Tab. 5.2: Wasserspiegellagen und Wassertiefen am Messpunkt M4

Bezeichnung	Q [m ³ /s]	WSP [mNN]	h [m]
LF1 (HQ ₅₀₀₀)	93,3	168,44	1,43
LF2 (HQ ₅₀₀)	66,5	168,08	1,11
LF3 (HQ ₁₀₀)	48,8	167,82	0,89

5.3 Tosbecken

Das Tosbecken wurde für den Lastfall LF 1/ HQ₅₀₀₀ = 93,3 m³/s optimiert. Die grundsätzliche Konfiguration des Tosbeckens mit Strahlaufreißer, Prallblöcken und Endschwelle beruhte auf den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen im LWI-Bericht 939. Da der spezifische Abfluss geringfügig gegenüber den Ausgangsuntersuchungen auf $q = 11 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ verringert werden konnte, erfolgten die experimentellen Untersuchungen mit dem Ziel, die Anordnung der Stromaufreißer und der Prallböcke auf die Breite von 8,5 m anzupassen. Aus Voruntersuchungen zeigte sich wiederum, dass eine direkte Übertragung der Ergebnisse aus dem LWI-Bericht 939 nicht möglich war, vielmehr erforderte die Dimensionierung der Tosbeckeneinbauten eine abgewandelte Konfiguration. Das Tosbecken wurde deshalb mit den in Abb. 5.3 aufgeführten Abmessungen umgebaut.

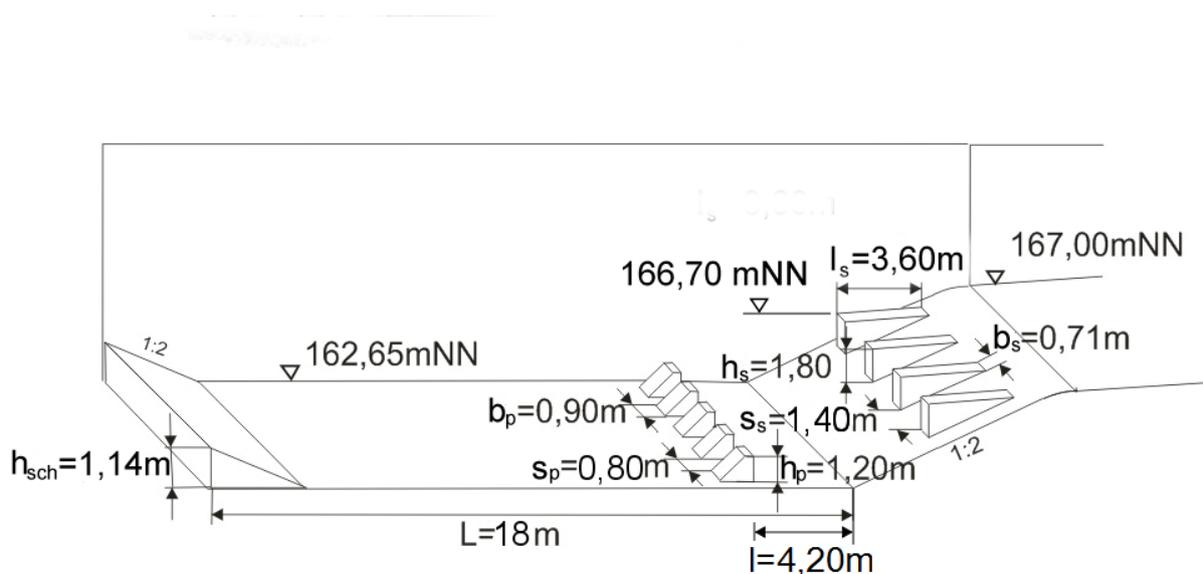


Abb. 5.3: Tosbeckenabmessungen, modifizierte Strahlaufreißer und Prallblöcke nach USBR Typ III + IV.

Die Strömungsverhältnisse wurden durch das Beobachtungsfenster dokumentiert. Um die Wirkung der Tosbeckeneinbauten zu visualisieren, sind in den Abb. 5.4 bis 5.6 die Strömungsfotografien mit Einbauten und ohne Einbauten für die maßgeblichen Lastfälle LF1 bis LF3 gegenübergestellt. Die Beurteilung der Ausbreitung und der Intensität des in das Tosbecken eingetragenen Abflussstrahls für die LF1 -3 (HQ₅₀₀₀, HQ₅₀₀ und HQ₁₀₀) erfolgte anhand der visuellen Interpretation der Luftaufnahme des Wechselsprungs und des Luftaustrags aus dem Abflussstrahl.

Die Strömungsfotografien zeigen, dass im Tosbecken ohne Einbauten der Wechselsprung durch ausgeprägte Pulsationen geprägt war und zu einer erheblichen Wellenbildung an der Wasseroberfläche führte. Zudem zeigte sich in der Deckwalze eine unregelmäßig auftretende Drehrichtungsumkehr in der Walzenströmung, welche die auftretenden Pulsationen im Abflusstrahl temporär deutlich erhöhten.

Demgegenüber lag im Tosbecken mit den Einbauten ein Wechselsprung vor, der im Wesentlichen zwischen den Strahlaufreißern und den Prallblöcken stabilisiert war. Es fanden keine Fluktuationen oder Pulsationen im Abflusstrahl statt, was u.a. auf eine gute Energieumwandlung hinwies. Zudem zeigte sich, dass die Abströmverhältnisse in das Unterwasser beruhigt waren und eine gleichmäßige Abströmung ohne erhebliche Wellenbildung erfolgte. D.h. die Strömungsverhältnisse für das optimierte Tosbecken waren den Strömungsverhältnissen sehr ähnlich, die im LWI-Bericht 939 für den damaligen Ausbauvorschlag ermittelt wurden.

Anmerkung: Auf eine Beurteilung der Energieumwandlung anhand der turbulenten kinetischen Energie (TKE) im Abflusstrahl wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung verzichtet. Zwar wurden entsprechende Messungen mit ADV-Vectrino Sonden im Tosbeckenbereich durchgeführt, jedoch war die Signalgüte bei den Messungen ohne Tosbeckeneinbauten aufgrund des hohen Lufteintrags unzureichend, so dass die Messungen nicht ausgewertet werden konnten.

Zusammenfassend zeigten die Untersuchungen der Lastfälle LF 1 bis 3 mit dem optimierten Tosbecken, dass die Abströmung in das Unterwasser beruhigt erfolgte. D.h. die Einbauten in das Tosbecken konnten somit eine hinreichende Energieumwandlung in einer stabilen Deckwalze erzeugen.

Die Wasserstände im Tosbecken und unterstrom des Tosbeckens (Pegel M7) sind für die Lastfälle 1 -3 in Tabelle 5.3 zusammengestellt. Die wesentlichen Abmessungen des Tosbeckens sowie der Tosbeckeneinbauten (vgl. Abb. 5.3) sind in Tab. 5.4. zusammengestellt.

Tab. 5.3: Wasserspiegellagen und Wassertiefen im Tosbecken und am Messpunkt M7

Bezeichnung	Q [m ³ /s]	WSP [mNN]	h [m]	WSP [mNN]	h [m]
		Tosbecken		Messpunkt M7	
LF1 (HQ ₅₀₀₀)	93,3	169,10	6,45	167,82	1,98
LF2 (HQ ₅₀₀)	66,5	168,95	6,30	167,75	1,91
LF3 (HQ ₁₀₀)	48,8	168,50	5,85	167,25	1,41

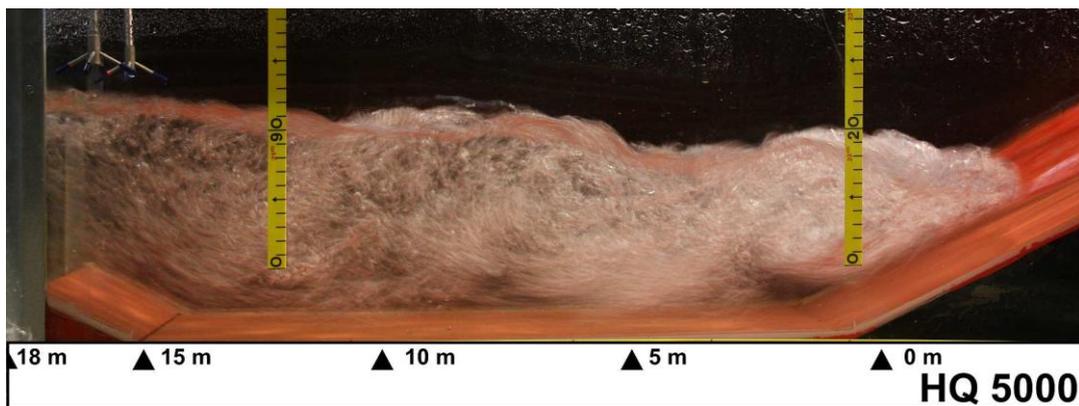
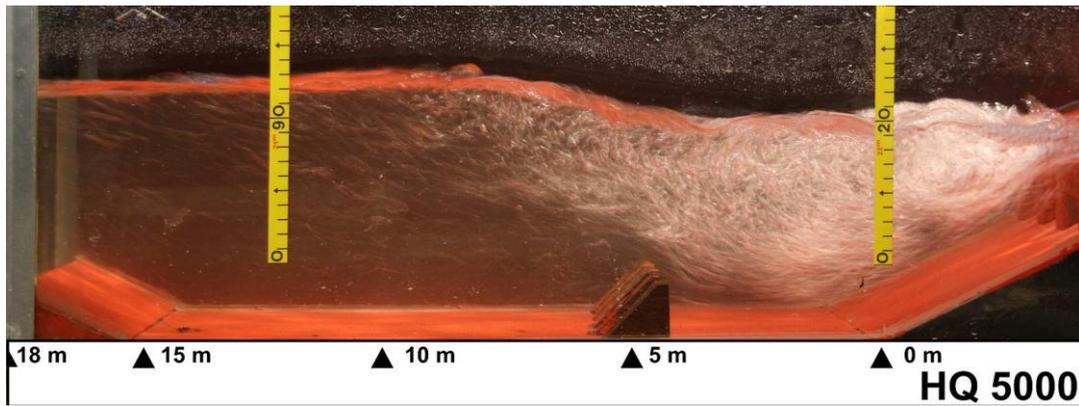


Abb. 5.4: Strömungsverhältnisse im Tosbecken mit und ohne Einbauten für $LF1/ HQ_{5000} = 93,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

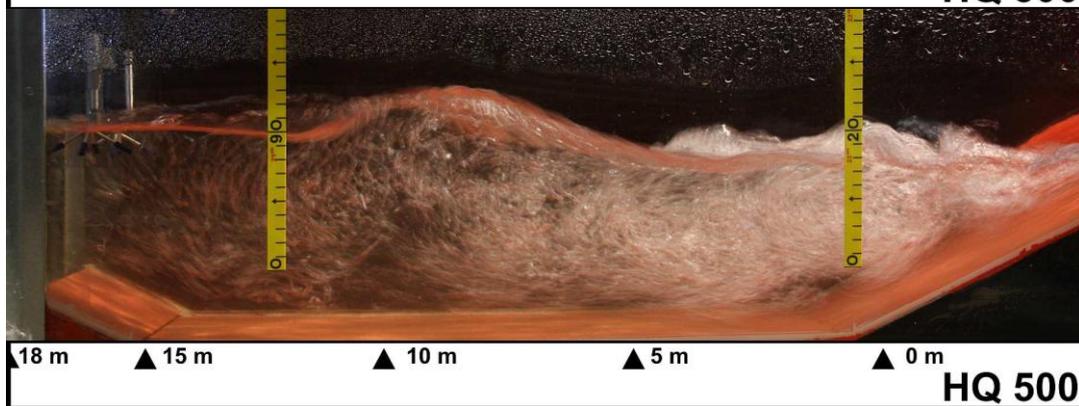
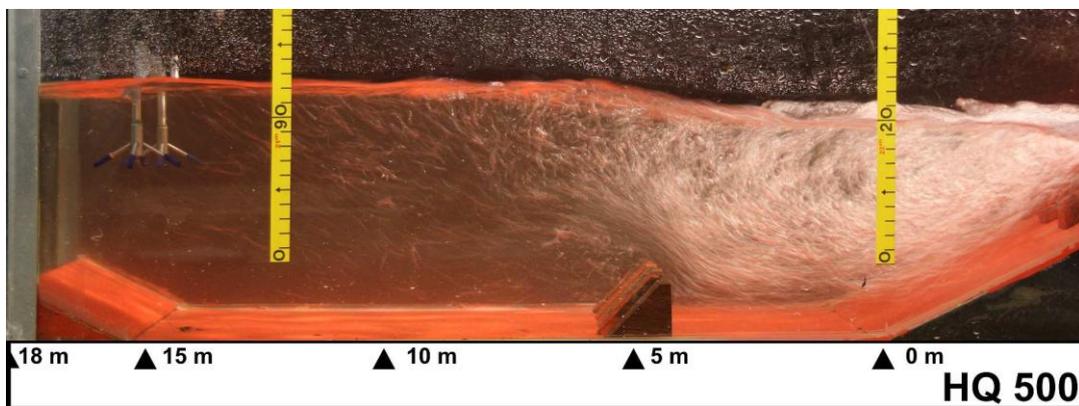


Abb. 5.5: Strömungsverhältnisse im Tosbecken mit und ohne Einbauten für $LF2/ HQ_{500} = 66,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

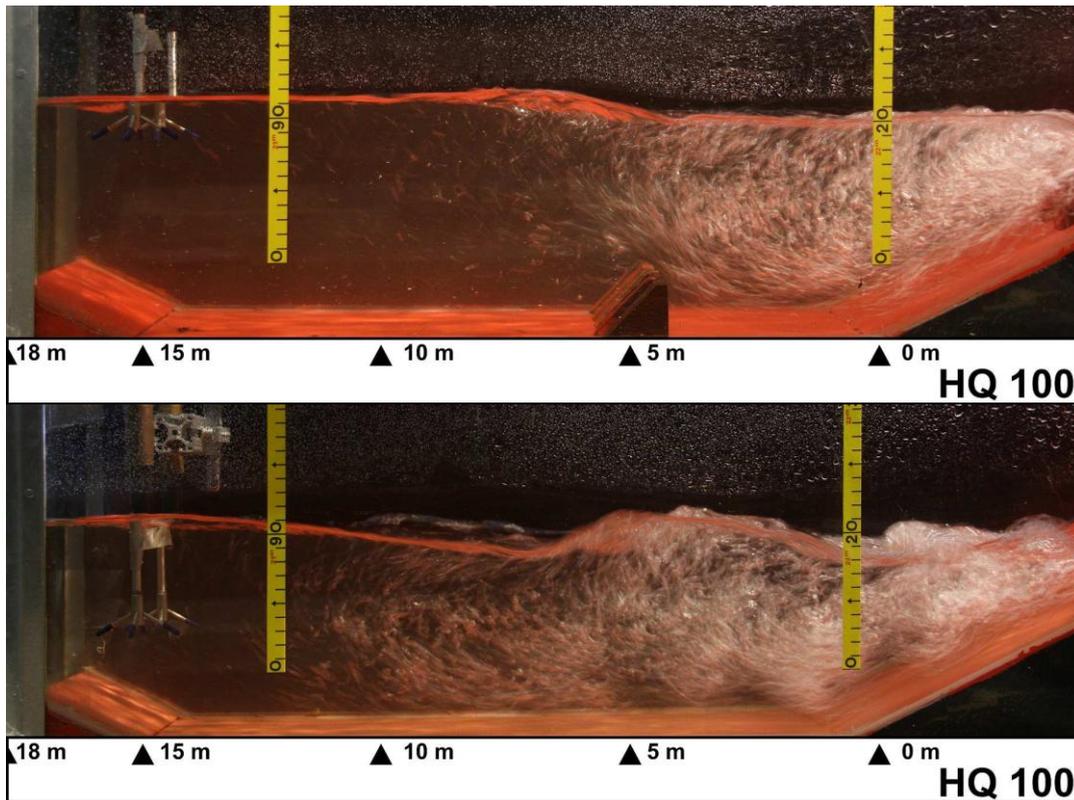


Abb. 5.6: Strömungsverhältnisse im Tosbecken mit und ohne Einbauten für $LF3/HQ_{100} = 48,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tab. 5.4: Tosbeckenabmessungen

		Prototyp	Modell
Tosbecken			
Neigung Einlauf n_e	[1]	1:2	1:2
Länge Einlauf L_e	[m]	8,70	0,29
Länge L	[m]	18	0,60
Breite a	[m]	8,50	0,283
Sohlhöhe	[mNN]	162,65	
Strahlaufreißer			
Anzahl	[1]	4	4
Länge l_s	[m]	3,60	0,12
Breite b_s	[m]	0,71	0,024
Höhe h_s	[m]	1,80	0,06
Abstand s_s	[m]	1,40 (0,73) ¹	0,047 (0,024) ¹
Höhenlage Fuß	[mNN]	164,90	
Höhenlage Kopf	[mNN]	166,70	
Prallblöcke			
Anzahl	[1]	5	5
Länge an Sohle l_p	[m]	1,44	0,048
Kopflänge l_k	[m]	0,24	0,008
Breite b_p	[m]	0,90	0,03
Höhe h_p	[m]	1,20	0,04
Abstand s_p	[m]	0,80 (0,40) ¹	0,0267 (0,0133) ¹
Neigung der Schräge n_p	[1]	1:1	1:1
Abstand vom Tosbeckenbeginn	[m]	4,20	0,14
Endschwelle (durchgängig über Tosbeckensohle)			
Höhe h_{sch}	[m]	1,14 m	0,038
Höhenlage	[mNN]	163,79	
Neigung n_{sch}	[1]	1:2	1:2
Länge l_{sch}	[m]	2,28	0,076

¹: Abstand zur seitlichen Berandung

6 Zusammenfassung

Das Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI) der Technischen Universität Braunschweig wurde am 15.09.2011 vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) mit ergänzenden hydraulischen Modellversuchen zur abschließenden Dimensionierung und hydraulischen Gestaltung der neuen Hochwasserentlastungsanlage für die Talsperre Wendebach beauftragt.

Die neu zu gestaltende Hochwasserentlastungsanlage wurde aufbauend auf den bereits vom LWI durchgeführten umfangreichen experimentellen Modelluntersuchungen (LWI-Bericht 939) in einen Planungsvorschlag mit fester Wehrschwelle – in der Bauform eines sog. Entenschnabelwehres - mit unterwasserseitig angeschlossener Schussrinne und Tosbecken auf Grundlage der DIN 19700 für einen Bemessungsabfluss $HQ_{5000} = 93,3 \text{ m}^3/\text{s}$ konzipiert. Im Rahmen der experimentellen Versuche wurden die Wasserstände im Stauraum, die Anströmungen auf die Wehranlage, das Strömungsverhalten in der Schussrinne und die Energieumwandlung im Tosbecken untersucht.

Die experimentellen Untersuchungen zeigten, dass die Strömungsverhältnisse im Anströmbereich zur festen rundkronig ausgeformten Wehrschwelle und die Strömungsverhältnisse in der Schussrinne für den erarbeiteten Planungsvorschlag optimierte Strömungsverhältnisse lieferten, so dass das maximale Stauziel im HRB Wendebach von 173 mNN für den maßgebenden Bemessungsabfluss nicht überschritten wurde. Das 18 m lange Tosbecken wurde aufbauend auf der Dimensionierung im LWI-Bericht 939 mit Strahlaufreißern, Prallblöcken und einer Endschwelle an den neuen Bemessungsabfluss angepasst.

Der für die Gesamtanlage relevante Abströmbereich zwischen Tosbecken und unterwasserseitigem Geländeanschluss bis zur Einmündung in den Wendebach wurde im Rahmen der ergänzenden hydraulischen Modellversuche nicht gesondert untersucht. Entsprechend den Untersuchungen im LWI-Bericht 939 sollte dieser Bereich mit Wasserbausteinen LMB5/40 (entsprechend Klasse III) gesichert werden. Zwischen Tosbecken und Wendebach ist eine geradlinig verlaufende Mulde vorgesehen, in der das Wasser aus dem Tosbecken in den Wendebach abgeleitet wird.