

Untersuchung des Gewässerabschnittes „Weißeritzknick“ am physikalischen Modell – wie viel Restrisiko bleibt für Dresden?

Uwe Müller, Eckehard Bielitz, Helmut Martin, Detlef Aigner

Im August 2002 trat die Weißeritz im Stadtgebiet von Dresden an zwei Stellen über die Ufer und floss in die Innenstadt. Der Hauptbahnhof und die Prager Strasse wurden durch die Ausuferung der Weißeritz in Altplauen überflutet und die Friedrichstadt sowie Teile der Altstadt am sogenannten „Weißeritzknick“ an der Löbtauer Strasse. Hier wurde die Weißeritz 1893 aus der Innenstadt an den Höhenlinien entlang in ein neues Flussbett verlegt, um sie dann in Cotta unterhalb des Dresdener Hafens in die Elbe einzuleiten. Das Modell eines Abschnittes der Weißeritz, der „Weißeritzknick“, wurde im Hubert-Engels-Labor der Technischen Universität Dresden im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen aufgebaut und mit dem Ziel untersucht, ein HQ200 im Flussbett sicher abzuführen. Schlagworte: Modellversuch, Hochwasser, Weißeritz, Hochwasserschutz

1 Einleitung

Das Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden führte vom Juli 2003 bis zum Februar 2004 einen Modellversuch im Maßstab 1:25 zur detaillierten Untersuchung des Gewässerabschnittes „Weißeritzknick“ im Stadtgebiet von Dresden im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) durch. Für die physikalische Modellierung wurde ein Gewässerabschnitt von 875 m zwischen der Freiburger Strasse und der Fröbelstrasse im Hubert-Engels-Labor der Technischen Universität Dresden ausgewählt (Abbildung 1). Die Brücken der Freiburger-Strasse bildeten dabei die Einlauftrandbedingung und die Brücke der Fröbelstrasse die Auslauftrandbedingung. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde als Zielstellung die Optimierung dieses kritischen Bereiches der Weißeritz zur Abführung eines HQ200 innerhalb des Flussbettes festgelegt. Die Untersuchungen erfolgten für 3 Grundvarianten mit zahlreichen Untervarianten. Das Ziel bestand darin, aus den zu untersuchenden Varianten eine Vorzugsvariante herauszuarbeiten und für diese Variante Gestaltungsvorschläge für den Weißeritzknick zu erarbeiten.

2 Der Modellversuch

Das Untersuchungsgebiet (Abbildung 1) wurde auf einer Länge von 35 m im Hubert-Engels-Labor aufgebaut (Abbildung 2). In Vorbereitung des Modellaufbaus wurden die vorhandenen Vermessungsdaten ausgewertet. Es wurden Lagepläne und Querprofile von zwei Vermessungen vom April 2002 (1. Messung) und März 2003 (2. Messung) verglichen und analysiert. Gleichzeitig wurden Profiländerungen analysiert, die im Zuge von Sofortmaßnahmen zur Schadensbeseitigung oder von Beräumungen des Profils nach dem Augusthochwasser 2002 durchgeführt worden sind. Aus diesen Vermessungsdaten und aus Überfliegungsdaten und Luftbildaufnahmen, die für eine 2DSimulation der Weißeritz und ihrer Überschwemmungsgebiete im Stadtgebiet von Dresden am Institut ausgewertet wurden, entstand das geometrisch ähnliche Modell der Weißeritz im Labor.

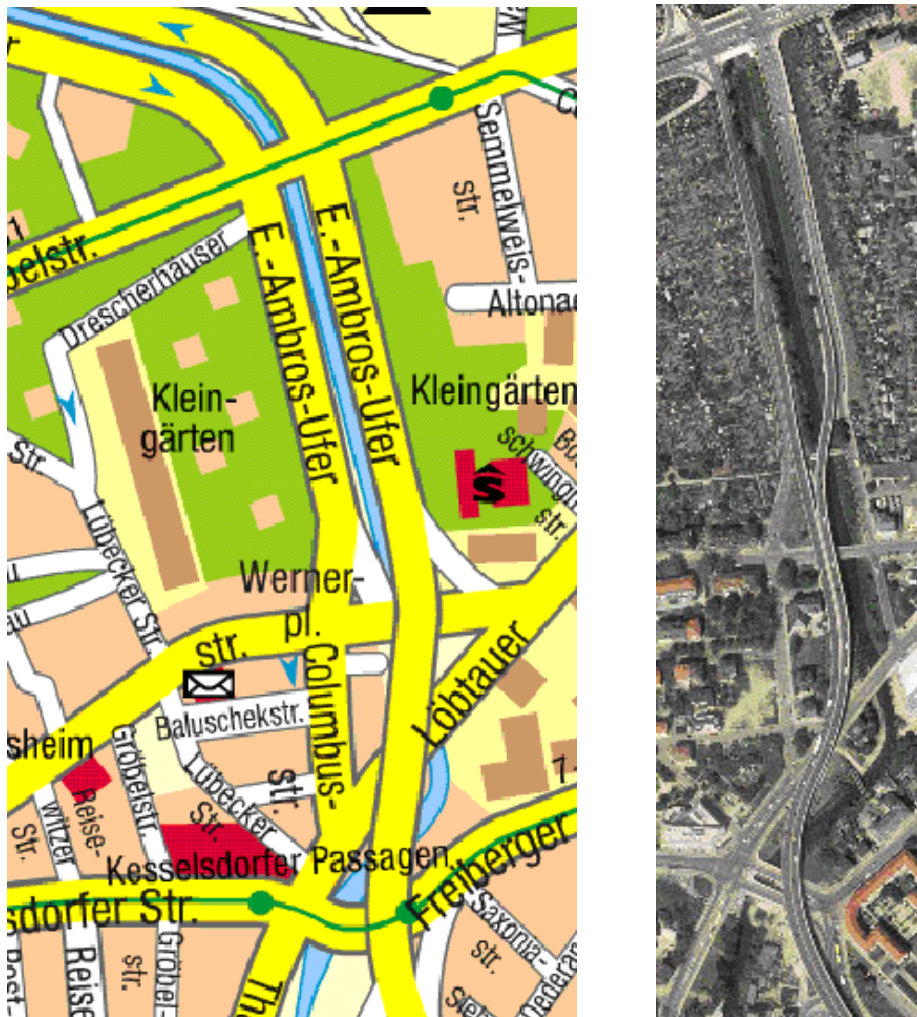


Abbildung 1 Auswahl des Modellgebietes (links: Stadtplan, rechts: Luftbild)

Markante Unterschiede zu den Profilen vor dem Hochwasser waren Änderung des ursprünglichen Doppelprofils im Bereich des Emerich-Ambros-Ufers, welches nach dem Hochwasser zu einem einfachen Trapezprofil umgewandelt wurde. Das Profil am Emerich-Ambros-Ufer wurde im Modell nach der neuen Vermessung 2003, als einfaches Trapezprofil modelliert. Das Grundmodell und die Brücken wurden von der Modellbaufirma „Designprojekt Dresden“ angefertigt und aufgebaut. Die Wasserzuführung erfolgte über zwei Tauchpumpen, davon war eine frequenzgesteuert. In der Zuleitung befand sich ein MID zur Durchflussmessung. Das Wasser wurde in ein Zulaufbecken gepumpt und trat dann durch die drei Felder der Brücke Freiberger Strasse in das Modell ein. Die Brücke Fröbelstraße bildete den Auslauf des Modells. Dort wurde der berechnete Wasserstand über ein verstellbares Überfallwehr eingestellt. Anschließend floss das Wasser in den Rücklaufkanal zurück. Das am Weißeritzknick über die Ufer laufende Wasser wurde in einer Rinne aufgefangen und konnte dann über eine Durchflussmessung im Rücklaufkanal erfasst werden.

Die Wasserstände im Modell wurden an 12 Positionen automatisch ermittelt. Die Messpunkte im Modell waren mit Standröhrchen verbunden, die von einem Ultraschallgeber automatisch abgetastet wurden. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgte mit unterschiedlicher Messtechnik (Ultraschallsonde, Induktionssonde und Mikroflügel).

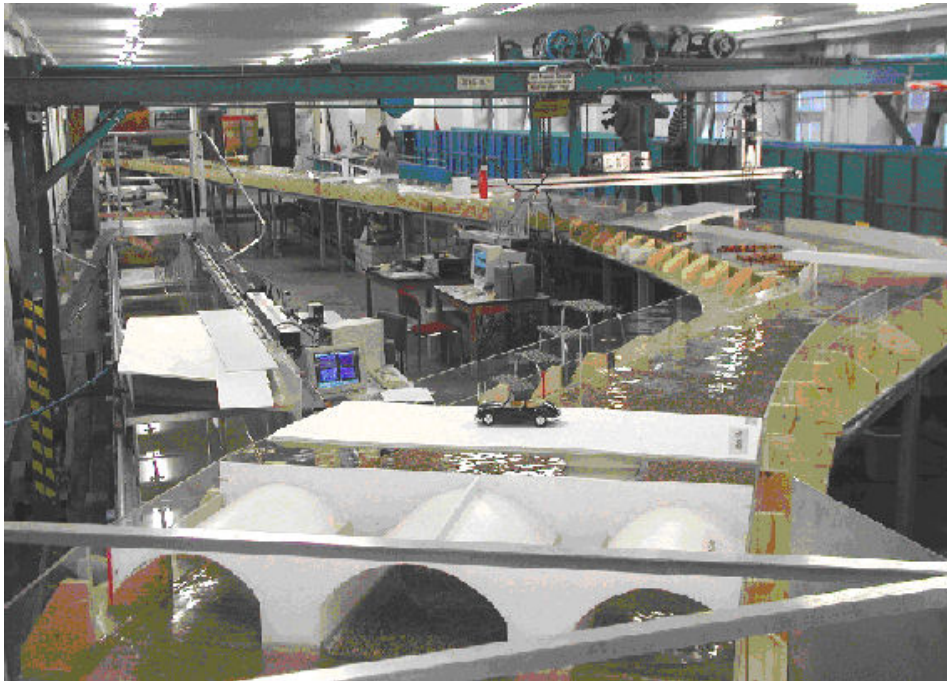


Abbildung 2 Modell „Weißeritzknick“ im Hubert-Engels-Labor

Die Messwerte wurden in den PC eingelesen und mit dem Programm LabView aufgezeichnet, verarbeitet und gespeichert. Zusätzlich wurden Fotos und Videos angefertigt. Die Kalibrierung des physikalischen Modells war erforderlich, um die Rauheiten im Modell so einzustellen, dass eine Nachbildung der Strömungsverhältnisse am Prototyp möglich wurde. Dazu wurden Berechnungen mit einem eindimensionalen numerischen Modell (Mike 11) durchgeführt. Neben der Eichung des Modells wurden mit diesen Berechnungen die Randbedingungen des Wasserstandes am Ende des Modells in Abhängigkeit vom Durchfluss ermittelt (Abbildung 2).

Zulauftrandbedingung Durchfluss am Modell

Die für die Durchführung des Modellversuches festgelegten Abflusswerte wurden vom Auftraggeber vorgegeben. Zur Untersuchung der Situation vom August 2002 (Ist-Zustand) war eine genauere Angabe des Maximalabflusses am Weißeritzknick erforderlich. Das Ingenieurbüro BCE-Erfurt hatte im Rahmen der Erstellung des Hochwasserschutzkonzeptes Berechnungen zu möglichen Abflüssen an den Brücken durchgeführt. Die Berechnungen für „bordvolles“ Gerinne ohne Druckabfluss im Bereich der Brücken ergaben an der Oederaner Str. 355 m³/s, an der Freiburger Straße (1. Brücke) 450 m³/s und Freiburger Straße (2. Brücke) 425 m³/s. Das Büro schloss daraus, dass an der Oederaner Strasse ein Druckabfluss von mehr als 355 m³/s vorlag und zum Weißeritzknick weniger als 450 m³/s durch die Brücken an der Freiburger Strasse abfließen.

Abbildung 3 Situation vor der Brücke Freiburger zum Hochwasser 2002

Wie Abbildung 3 zeigt, wurde die Dreifeldbrücke an der Freiburger Straße nicht bordvoll durchströmt. Etwa 80 bis 90 cm waren am mittleren Durchlass noch frei. Mit einer Überprüfung der in Abbildung 3 erkennbaren Sandsteine im First der Durchlässe konnte ein Wasserstand von etwa 120,9 müHN abgeschätzt werden. Die Firsthöhe im mittleren Durchlass liegt bei 121,74 müHN, am rechten Durchlass ist sie 41 cm und am linken 19 cm

geringer. Am Freibord ist erkennbar, dass durch die Anströmung vor der Brücke die linke Seite mehr beaufschlagt wurde. Im mittleren Durchlass liegt die Sohle unter der Brücke um etwa einen Meter tiefer als in den äußeren Durchlässen.

Abbildung 4 Zulaufbedingung Brücke Freiburger Strasse (Linie entspricht Hochwasserstand 2002)

Für eine Überschlagsrechnung wurde Fließwechsel in den Durchlässen angenommen, der im Modellversuch bestätigt werden konnte, so dass von relativ guter Genauigkeit der

Berechnungen ausgegangen werden kann, da damit der Durchfluss nur vom Oberwasserstand abhängig ist. Für den aus Abbildung 3 abgelesenen Wasserstand von 120,9 müHN ergab sich danach ein Durchfluss durch die Brücke von etwa 430 m³/s.

Bezeichnung	Natur	Modell	Modell	Pegel	Quelle
	m ³ /s	m ³ /s	l/s		
MQ	3,43	0,0011	1,10	Dölzschen	NA-Modell WASY-GmbH
HQ ₁₀	133	0,0426	42,56	Cotta	
HQ ₂₀	159	0,0509	50,88	Cotta	
HQ ₅₀	194	0,0621	62,08	Cotta	
HQ ₁₀₀	234	0,0749	74,88	Cotta	
HQ ₂₀₀	263	0,0842	84,16	Cotta	
HQ _{Modell}	430	0,1376	137,60	Rechnung	TU Dresden
EHQ	490	0,1568	156,80	NA-Modell	WASY-GmbH

Tabelle 1 Abflusswerte am Weißeritz-Pegel Dölzschen und Cotta

Auslauftrandbedingung Wasserstand an der Fröbelstrasse

Mit Hilfe einer eindimensionalen numerischen Simulation des Abschnittes der Weißeritz vom km 0,695 (kurz oberhalb der Raimundtstr.) bis zum km 3,292 (kurz unterhalb der Öderaner-Str.) wurde das physikalische Modell kalibriert. Auf dieser etwa 2,6 km langen Strecke liegen insgesamt 41 Querprofile. Die Geometrie der Weißeritz wurde vereinfacht und es wurde das beräumte Profil verwendet. Die Rauheit wurde über die gesamte Strecke konstant angenommen. Die Berechnung erfolgte in erster Näherung stationär.

Als Randbedingungen wurde die Grenztiefe, die sich am Querschnitt km 0,695 wegen des Sohlabsturzes einstellt, und der Durchfluss am Zulauf zum Modell angenommen.

Abbildung 5 Wasserspiegellagen mit Mike 11 für verschiedene Durchflüsse und Rauheiten

Die Ergebnisse der Berechnungen wurden in der ersten Phase mit den Wasserstandswerten am Pegel Cotta (von der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft) verglichen. Es stellte sich heraus, dass sie mit den Werten für einen KSt-Wert von 30 m^{1/3}/s gut übereinstimmten. Allerdings musste berücksichtigt werden, dass die Pegelwerte auf Messungen vor dem

Augusthochwasser beruhten, bei dem die Weißeritz in diesem Bereich noch als einseitiges Doppeltrapezprofil (Ablagerungen etwa 1 bis 1,5 m bei einer Ablagerungsbreite von etwa 6 bis 8 m mit starkem Bewuchs bzw. Verkrautung) ausgebildet war. Diese Ablagerungen wurden im Sommer 2003 ausgebaggert und somit im physikalischen Modell nicht berücksichtigt. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache kann die heutige Rauheit der Weißeritz zwischen $KSt=30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ und $KSt=40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ angenommen werden.

Abbildung 6 Schlüsselkurven am Pegel Cotta, Pegelmessungen und Rechenwerte

Veränderung der Rauheit im Modell

Eine Umrechnung dieser beiden oben angegebenen Rauheiten auf der Grundlage des Froude-Modells lieferte die Modellrauheiten von $kSt = 51 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (Kies) und von $kSt = 61 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (für groben Beton). Die Übertragung auf der Grundlage der universellen Fließformel liefert wasserstandsabhängige Reibungsbeiwerte. Im Ergebnis dieser Betrachtungen wurde eine mit Kies beschichtete Folie erst teilweise und dann vollständig auf die Modellsohle aufgeklebt. Danach erfolgte eine Vergleichsmessung der Wasserstandswerte mit der 1D-Simulation für unterschiedliche Rauheiten. Es stellte sich eine gute Übereinstimmung der Wasserstände für eine Rauheit zwischen den Naturwerten von $KSt = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ und $KSt = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ mit der Modellrauheit Kies heraus.

3 Untersuchte Varianten

Es wurden 3 Varianten mit insgesamt 12 Untervarianten für die Untersuchungen geplant. Jede dieser Variante wurde mit und ohne Einbauten (Brücken) untersucht. Jede dieser Einstellungen wurde mit unterschiedlichen Durchflüssen bis zum maximal möglichen durchgeführt. Neben den Wasserstandsdaten wurden entlang des Fließweges die Geschwindigkeitswerte ermittelt und in der Krümmung die Geschwindigkeitsverteilungen bestimmt.

Variante1 - Ist-Zustand Hochwasser August 2002.

Variante2 – Krümmungsveränderung, senkrechte Außen- und Innenwände, konstante Gerinnebreite, Einfeldbrücke ohne Querschnittseinengung.

Abbildung 7 Weißeritzknick – Variante2 Einfeldbrücke

Variante3 – weitere Krümmungsveränderung, Gerinneverbreiterung, senkrechte Mauer, alternativ senkrechte Leitwand, Zweifeldbrücke.

Abbildung 8 Weißeritzknick – Variante3 Zweifeldbrücke

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Bereits die visuellen Beobachtungen und die ersten Messungen zeigten, dass sich die hydraulischen Zustände im Weißeritzknick so wie zum August 2002 auch im Modell einstellten. Es wurde festgestellt, dass bereits bei einem HQ50 (194 m³/s) das Wasser am Knick über die Ufer trat. Ursachen dafür waren einerseits der Rückstau durch die Brücke Löbtauer Strasse und andererseits die schnelle, schießende Strömung, die das Wasser aufgrund ihrer Trägheit geradeaus über das Prallufer beförderte.

Bei einem HQ200 wurde ein massives Überströmen der alten Brücke Löbtauer Strasse beobachtet und es wurden etwa 40 m³/s von 263 m³/s über die Außenböschung am Weißeritzknick abgeschlagen.

Es konnten drei wichtige Ursachen für den Wasseraustritt am Weißeritzknick ermittelt werden:

1. Rückstau an der Brücke Löbtauer Strasse.
2. Schnelle z.T. schießende Strömung vor dem Knick.
3. Zu kleiner Krümmungsradius im Knick.

Durch die Entfernung der Brücke Löbtauer Strasse wurde der Rückstau auf die Brücke Wernerstrasse verlagert. Beide Brücken ergeben etwa die gleiche Einengung des Strömungsprofils (Abbildung 9).

Abbildung 9 Einengung an den alten Brücken Löbtauer Strasse und Wernerstrasse (im Hintergrund)

Die Entfernung beider Brücken führte dann im Modell zu einer Absenkung des Wasserspiegels im Knick aber gleichzeitig zu einer Verstärkung der beiden anderen negativen Effekte, noch schnellere Strömung, stehende Wellen und das Bestreben der Strömung geradeaus über die Außenböschung zu fließen.

Abbildung 10 Übergang vom schießenden zum strömenden Abfluss beim Eintritt in den Knick

In der Abbildung 11 ist zu erkennen, dass die Froudezahl nach der Brücke Freiburger Strasse größer als 1 wird, d.h. es tritt schießender Abfluss auf. Die Wassertiefe wird geringer und die Geschwindigkeit liegt über 5 m/s.

Abbildung 11 Wasserstände, Geschwindigkeiten und Froudezahlen entlang der Weißeritz (Variante 1c) bei einem HQ100 (234 m³/s).

In Variante 2 wurde nun die Möglichkeit untersucht, die Strömungsverhältnisse im Bereich des Knickes zu verbessern. Erstens wurde der Krümmungsradius auf etwa 110 m vergrößert und zweitens wurde versucht die Strömung mit senkrechten Uferbegrenzungen ab Rohrbrücke bis zur Brücke Löbtauer Strasse zu führen. Die Modellbrücke an der Löbtauer Strasse wurde

als Einfeldbrücke ohne nennenswerte Querschnittseinengungen eingebaut. Es zeigte sich, dass mit der alten Brücke Wernerstrasse diese wieder bis in den Knick zurückstaute. Ohne Brücke Wernerstrasse konnte die o.g. Zielstellung, die schadlose Abführung eines HQ200 im Fluss erreicht werden.

In Variante 3 wurde eine neue Zweifeldbrücke mit einer Durchlassbreite von $2 \cdot 18,5$ m in das Modell eingebaut. Durch eine größere Aufweitung des Weißeritzprofils ab km 2,900, eine Führung der Strömung mit senkrechten Ufermauern und eine weitere Vergrößerung des Krümmungsradius kam es zur Abminderung der Schrägstellung des Wasserspiegels und ruhigeren Umlenkung der Strömung. Allerdings wurde in der Krümmung ausschließlich der rechte Flussbereich und das rechte Brückenfeld durchströmt, im linken bildeten sich Totraumzonen. Die Führung der Strömung durch eine mittige Trennmauer etwa ab Rohrbrücke führte zu einer Durchströmung beider Teile. Die Zusammenführung der aufgeweiteten Strömung unterhalb der Zweifeldbrücke in das alte Flussprofil am Emerich-Ambros-Ufer führte dann allerdings zu örtlichen Verlusten (Vereinigungsströmung) und dadurch zu einem geringen Aufstau. Eine Trennwand wäre daher nur nützlich, wenn das breite Flussprofil auch nach der Brücke weitergeführt werden könnte.

5 Empfehlungen

Das entsprechend der Aufgabenstellung vom Auftraggeber vorgegebene Ziel, ein HQ200 von $263 \text{ m}^3/\text{s}$ durch den Weißeritzknick schadlos abzuführen, kann durch eine Erhöhung der Durchlassfähigkeit der Brücken Löbtauer Strasse und Wernerstrasse sowie durch die Führung der Strömung in einem kompakten Gerinne mit einer geringfügigen Korrektur des Krümmungsradius und senkrechten Wänden als Uferbegrenzung und einer gleichbleibenden Breite des Flusslaufes von mindestens 20 m erreicht werden. Diese Variante erfordert den mittleren Krümmungsradius im Bereich des Knickes von etwa 80 m auf 110 m zu vergrößern und bei der Planung der Brücken von einer Wasserspiegellage von 118,5 müHN an der Brücke Löbtauer Strasse und von 117,85 an der Brücke Wernerstrasse auszugehen. Diese Variante erfordert nur eine Einfeldbrücke für die Löbtauer Strasse.

Mit der Realisierung dieser Variante würde für die Stadt Dresden ein Restrisiko bleiben. Aus den Ergebnissen der Modelluntersuchungen wird deutlich, dass für eine Abführung eines Extremhochwassers von ca. $490 \text{ m}^3/\text{s}$ (August 2002) durch den Weißeritzknick mindestens eine Flussbreite erforderlich ist, die der Breite des Flusses im Bereich der Freiburger Strasse entspricht, und eine weitere Vergrößerung des Krümmungsradius erforderlich wird. Für die dabei auftretenden Wasserspiegellagen und die Gestaltung und Höhe der seitlichen Uferwände sind weitere Untersuchungen erforderlich, die unter Beachtung der hydraulischen Verhältnisse der vor- und nachgelagerten Flussabschnitte auch Korrekturen und Optimierungen des Sohlgefälles beinhalten sollten. Für diesen Ausbau könnte eine Zweifeldbrücke für die Löbtauer Strasse günstiger sein.

6 Literatur

Hochwasserschutzkonzept im Schadensgebiet der Fließgewässer 1. Ordnung, Los 4
Weißeritz, Björnsen Beratende Ingenieure, BCE Büro Erfurt, April 2003 im Auftrag der
Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen,
Weißeritz bei definierten Abflussverhältnissen und Randbedingungen im Stadtgebiet von
Dresden, Teil 1: Hydraulische 2D-Simulation der Vereinigten Weißeritz im Stadtgebiet von

Dresden (FO2003/13 Institut für Wasserbau und THM der TU Dresden,), Auftraggeber:
Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, September 2003.

Forschungsbericht: Durchführung eines Modellversuches im Maßstab 1:25 zur detaillierten
Untersuchung des Gewässerabschnittes „Weißeritzknick“ im Stadtgebiet von Dresden.

Institut für Wasserbau und THM der TU Dresden, Auftraggeber: Landestalsperrenverwaltung
des Freistaates Sachsen, Februar 2004.

Autoren:

Dr.-Ing. Uwe Müller,
Dipl.-Ing. Eckehard Bielitz

Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Martin,
Dr.-Ing. habil. Detlef Aigner

Landestalsperrenverwaltung
des Freistaates Sachsen
Bahnhofstrasse 14
01796 Pirna

Institut für Wasserbau und THM
der TU Dresden
Mommsenstrasse 13
01062 Dresden

Tel.: ++49 – 3501 – 796471
Fax: ++49 – 3501 – 796105
Referat24@ltv.smul.sachsen.de

Tel.: ++49 – 351 – 46333837
Fax: ++49 – 351 – 46337141
IWD@mailbox.tu-dresden.de