

**BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR
FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN
INSTITUT FÜR WASSERWESEN
DIPLOMARBEIT
Nr. B / 2006 / 33**

Bearbeiter: Herr Christian Kohout

**Thema: „Modelluntersuchungen zum HWS der Stadt Döbeln /
Freiberger Mulde“**

Wissenschaftsgebiet: Strömungsmechanik

Erstprüfer: Herr Prof. Dr.-Ing. habil. Jörg Kranawetterreiser

Zweitprüfer: Herr Dipl.-Ing. Jens Sauerwein

Ausgabetermin: 03.07.2006

Abgabetermin: 25.09.2006

Schleusingen, den 15.06.06

Prof. Dr.-Ing. habil. Könke
Vorsitzender Prüfungsausschuss

Prof. Dr.-Ing. habil. Kranawetterreiser
Erstprüfer

Modelluntersuchungen zum HWS der Stadt Döbeln / Freiburger Mulde

Problemstellung

Das Hochwasserereignis im Jahr 2002 hat im Freistaat Sachsen schwere Schäden verursacht. Insbesondere die Freiburger Mulde hat durch die ungenügenden HWS-Schutzmaßnahmen in der Stadt Döbeln große Überschwemmungen verursacht.

Schwerpunkte

Ziel der Untersuchung am gegenständlichen Modell ist die hydraulische Ertüchtigung des Verzweigungspunktes von Freiburger Mulde und Flutmulde (Schlossbergwehr). Die notwendigen Messsysteme zur Erfassung der Daten im Modell sind aufzuführen. Beeinflussungen durch die Messtechnik, die Auswirkungen auf die Versuchsauswertung haben, werden untersucht. (Fehleranalyse)

Modellgesetzte

- Übertragung von Naturausführungen auf Modellierungsmaßstab
- Übertragung hydraulischer Parameter in den Modellmaßstab

Modellbau

- Mitarbeit am Modellbau zur hydraulischen Ertüchtigung
- Herstellung der maßstabsgebundenen Rauigkeit
- Einrichtung der Messsysteme zur Erfassung von Wasserständen und Durchflüssen

Messung

- Durchführung von Modellversuchen mit Hochwasserereignissen des hydrologischen Gutachtens
- Bestimmung der Volumenstromverteilung am Kreuzungsbauwerk in Abhängigkeit der Wasserstands-Abflussbeziehung von Freiburger Mulde und Flutmulde und Wehrstellung Schlossbergwehr

Auswertung

- Auswertung der aufgenommenen Messwerte und Korrelation mit der 1D und 2D Berechnung
- Einschätzung der Messtechnik bezüglich Messgenauigkeit
- Fehleranalyse der erfassten Messdaten für manuelle und automatische Messungen
- Darstellung und Behandlung aufgetretener Probleme

Form der Diplomarbeit

Die abzugebende Arbeit umfasst:

- 2 vervielfältigungsfähige Exemplare der Diplomarbeit (gedruckt, incl. CD-ROM)
- Verteidigung der Diplomarbeit mittels Präsentation
- Im Übrigen sind die offiziellen Hinweise für die Erarbeitung von Diplomarbeiten zu beachten!

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Einleitung	2
3	Konstruktion des Versuchsobjektes	4
3.1	<i>Grundlagen der Ähnlichkeitsmechanik und Modellgesetze</i>	4
3.2	<i>Ähnlichkeitsmechanik</i>	4
3.3	<i>Modellgesetze</i>	7
3.3.1	<i>Froudesches Ähnlichkeitsgesetz (FÄG)</i>	7
3.3.2	<i>Reynoldssches Ähnlichkeitsgesetz (RÄG)</i>	9
3.3.3	<i>Webersches Ähnlichkeitsgesetz (WÄG)</i>	10
3.3.4	<i>Cauchy-Machsches Ähnlichkeitsgesetz</i>	10
3.3.5	<i>Grenzen der Übertragbarkeit</i>	13
3.4	<i>Modellbau</i>	14
3.4.1	<i>Grundlagen und Schwerpunkte</i>	14
3.4.2	<i>Übertragung der Naturverhältnisse</i>	15
3.4.3	<i>Herstellung des Modells</i>	18
3.4.4	<i>Einrichtung der Messsysteme</i>	23
3.5	<i>Versuchsbeschreibung</i>	27
3.5.1	<i>Messwehrkalibrierung</i>	27
3.5.2	<i>Modellrauhigkeit</i>	27
3.5.3	<i>Abflussverteilung am Schlossbergwehr</i>	28
3.5.4	<i>Versuchsreihen zur Funktion der Hochwasserschutzmaßnahmen</i>	30
3.5.5	<i>Verblockung</i>	30
4	Messtechnik	32
4.1	<i>Grundlagen</i>	32
4.2	<i>Ultraschall-Messgeräte</i>	33
4.2.1	<i>Erzeugung und Eigenschaften von Ultraschall</i>	33
4.2.2	<i>Impuls-Echo Prinzip</i>	33
4.2.3	<i>Ultraschall Entfernungsmessung mit LRS 3.3 P</i>	33
4.2.4	<i>Verarbeitung der Messdaten</i>	34
4.2.5	<i>Ultraschall-Entfernungsmessung mit Ultralab ULS (USS 2001300)</i>	35
4.3	<i>Magnetisch-induktive Durchflussmesser (MID)</i>	36

4.3.1	<i>Definition und Aufbau</i>	36
4.3.2	<i>Funktionsprinzip</i>	36
4.3.3	<i>Hydraulische Parameter</i>	38
4.3.4	<i>Prüfung</i>	39
4.4	<i>Stechpegel</i>	41
4.4.1	<i>mechanische Stechpegel</i>	41
4.4.2	<i>elektronische Stechpegel</i>	41
4.5	<i>Kompensatornivellier</i>	42
4.6	<i>Zollstock und Messschieber</i>	43
4.7	<i>Kommunizierende Röhren (Messharfe)</i>	44
4.8	<i>Messwehr</i>	44
5	Auswertung	46
5.1	<i>Messfehler</i>	46
5.1.1	<i>Messprobleme und Messfehler</i>	46
5.1.2	<i>Systematische Fehler</i>	47
5.1.3	<i>Zufällige Fehler</i>	48
5.1.4	<i>Fehlerfortpflanzung</i>	50
5.1.5	<i>Regressionsanalyse</i>	51
5.2	<i>Problembehandlung</i>	54
5.2.1	<i>Allgemeine Problempunkte</i>	54
5.2.2	<i>Rauhigkeitswerte</i>	54
5.2.3	<i>Abweichungen der Abflussmengen am Messwehr</i>	56
6	Zusammenfassung und Ausblick	59
	Quellenverzeichnis	61
	Anhang	64

1 Veranlassung

Die Region der Freiburger Mulde mit der Stadt Döbeln befindet sich in einer stark Hochwasser gefährdeten Zone, dieser Umstand wurde besonders im August 2002 deutlich.

Das zu diesem Zeitpunkt eingetretene Hochwasserereignis zog schwerwiegende Schäden im gesamten Stadtbereich sowie im Umland von ca. 60 Mio.€ nach sich. Der Wasserstand in der Döbelner Innenstadt betrug dabei über 3 m.

In diesem Zusammenhang wurde 2003 vom Sächsischen Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft ein Hochwasserschutzkonzept für die Mulden verabschiedet. Ziel dieser Maßnahme ist es, Hochwasserereignisse mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von bis zu 50 Jahren (HQ50) in ihrer Schadenswirkung drastisch senken zu können.

Das Konzept sieht dabei den Ausbau bestehender Anlagen (Kanäle, Deiche, Wehre), die Errichtung von Hochwasserschutzmauern und Gewässerberäumungen vor. [URL-1] Für den Raum Döbeln ergab die Planung weitreichende uferbegleitende Hochwasserschutzmauern von bis zu 2,0 m Höhe. Schutzmauern dieser Größenordnung wurden von der Stadt Döbeln aufgrund der Beeinträchtigung des Stadtbildes abgelehnt.[URL-1] Die Alternative zu diesem Vorschlag sieht einen Ausbau der Flutmulde sowie einen Neubau des Schlossbergwehres im Kreuzungsbereich Freiburger Mulde und Flutmulde vor. Ziel dieser Maßnahmen soll es sein, den zu erwartenden Wasserstand im Bereich der Stadt Döbeln zu verringern. Untersuchungen mit numerischen Modellen dieser Ausbauvarianten bestätigten eine mögliche Absenkung der Abflusstiefen. [Scholz,2005]

Bei der Planung des neuen Wehres ist die veränderte Funktionalität wichtig. Es soll mit beweglichen Wehrklappen errichtet werden, die im Hochwasserfall den kompletten Querschnitt der Flutmulde freigeben können. [Adler,2006] Bei der Konstruktion des Wehres mit beweglichen Klappen ist weiterhin darauf zu achten, dass die dafür vorgeschriebene (N-1)-Regel zur Verringerung der Versagenswahrscheinlichkeit eingehalten wird. Diese Maßnahmen sollen soweit optimiert werden, bis das Schutzziel von HQ(50) mit einer maximalen Hochwasserschutzmauerhöhe von 1,30 m erreicht werden kann. [Scholz,2005]

Um dieses Ziel zu erreichen wurde am Institut für Wasserwesen ein gegenständliches Modell in Auftrag gegeben, das im Hydrolabor Schleusingen angefertigt wurde. Mit Hilfe dieses Modells können die vorliegenden Berechnungen der auftretenden Wasserspiegelhöhen verglichen, Einströmverhältnisse von der Freiburger Mulde in die Flutmulde optimiert bzw. alternative Lösungswege gefunden werden.

Hinzuzufügen ist noch, dass erste Versuche am gegenständlichen Modell im Zustand der Vorplanung gezeigt haben, dass die Position des geplanten Neubaus des Schlossbergwehres hydraulisch ungünstig ist. Das Wehr liegt an einer Stelle im Kreuzungsbereich von Freiburger und Flutmulde, in dem es von der Anströmung der Freiburger Mulde nur zum Teil erfasst wird. Ein weiteres Ziel der Versuchsreihe ist somit die Optimierung der Wehrposition.

2 Einleitung

In der vorliegenden Arbeit werden die Untersuchungen am gegenständlichen Modell eines Teilschnitts der Freiburger Mulde und der Flutmulde dokumentiert und ausgewertet.

Die Festlegung des hydraulischen Maßstabes und des Längenmaßstabes erfolgt unter Anwendung von Modellgesetzen, die für das vorliegende Ereignis gültig sind. In den Modellgesetzen werden die auftretenden Strömungsverhältnisse, die vorhandenen Verluste aus Mischvorgängen und die darin enthaltenen Kräfte (Trägheit und Schwere) beschrieben.

Die Ausbildung des Modellbereiches erfolgt in Massivbauweise. Aus erstellten Schnitten in Quer- und Längsrichtung erfolgt eine Profilierung des Abflussgerinnes mit Modellbausand. Der Einbau erfolgt lagenweise und verdichtet bis ca. 5 cm unterhalb Geländeoberkante. Die Deckschicht besteht aus Beton, der unbewehrt eingebracht wird sowie Festigkeit und Dichtheit des hydraulischen Modells herstellt. [Sauerwein, 2005]

Die Modellkonstruktion des neu geplanten Schlossbergwehres erfolgte mit Tosbecken auf einer Rahmenplattform und lässt sich somit „am Stück“ umbauen, was die zeitnahe Untersuchungen mit verschiedenen Varianten begünstigt.

Diese Konstruktion bildet auch den Hauptbestandteil des Modells und befindet sich im Kreuzungsbereich von Fluss und Flutkanal. Die Modellabschnittsgrenzen liegen bei der Freiburger Mulde flussaufwärts an der Schiffsbrücke bei km 3+965 und flussabwärts am Wehr „Schlossbergmühle“ (Oberwerder) bei km 30+310. Der Flutkanal ist im Bereich „Kreuzungspunkt“ km und „Straße des Friedens“ km 0+890 dargestellt.

Die Modellgrenzen wurden nach den Parametern gewählt, die die Wasserstandshöhen und das Strömungsverhalten in dem zu untersuchenden Bereich bestimmen.

Dabei ist für das Einströmverhalten der Mulde Richtung „Schlossbergwehr“ der Holzbrückenquerschnitt bei km 31+000 wichtig. Die Wasserstandshöhen im Stadtbereich werden vom Natursteinwehr an der Schlossbergmühle bestimmt.

Bei den Modelluntersuchungen sind die Einflüsse der einzelnen Maßnahmen des Hochwasserschutzes als auch die Kombination der verschiedenen Untersuchungsvarianten der Abflussverhältnisse von Bedeutung.

Die Untersuchung basiert auf der Bestimmung des Ist-Zustandes für den Bereich der Mulde im Rahmen des gegenständlichen Modells. Dieser Zustand wird aufgrund vorliegender Wasserstände aus Berechnungen mit einem numerischen eindimensionalen Modell überprüft. Anhand dieser Werte lässt sich auch die Rauigkeit des Fließgerinnes einstellen. Eine weitere Basisconfiguration des Modells ist die Bestimmung der Abflussmengen für die Flutmulde und die Freiburger Mulde, durch die Ermittlung einer Abflusskurve.

Bei den folgenden Modelluntersuchungen werden die einzelnen Untersuchungsvarianten der Gestaltung und Positionierung des Einlaufbauwerkes und der Hochwasserschutzmauern auf ihre hydraulische Wirksamkeit untersucht. Veränderungen der hydraulischen Einlaufgestaltung

im Verzweigungsbereich gehört ebenso dazu. Auf eine Variation der Parameter des Einlaufbauwerkes (Breite, Höhenlage, Anzahl und Art von beweglichen Verschlüssen) wurde unter Rücksprache mit dem Auftraggeber verzichtet.

Mit der sinnvollen Kombination der verschiedenen Varianten der Wehrpositionen und Wehreinrichtungen wird die Veränderung der Mengenverteilung zwischen Freiburger Mulde und Flutmulde untersucht. Das als Bemessungshochwasser angesetzte HQ 50 (ehemals HQ100 ohne Rückhalt) darf nicht zu einer Überschreitung der geplanten Wasserspiegelhöhen führen, an denen sich die HSM orientieren.

Die genaue Auswertung der gewonnenen Ergebnisse erfolgt im Hinblick auf die vom Auftraggeber vorgegebenen Rahmenbedingungen im Abschlussbericht des Hydrolabors Schleusingen. Darin wird die optimierte Variante des Versuchsaufbaus als Vorzugslösung ausführlich vorgestellt, sowie alternative Möglichkeiten genannt und kurz diskutiert.

Die vorliegende Arbeit zum gegenständlichen Modell Döbeln setzt sich schwerpunktmäßig mit Problemen der Modellierung und Messdatenerfassung auseinander. Dabei wird vor allem die eingesetzte Messtechnik betrachtet und hinsichtlich ihres Fehlerpotentials untersucht.

Bei der Versuchsdurchführung festgestellte Probleme und ihre Auswirkungen bezüglich der aufgenommenen Daten werden dargestellt. Die Auswertung der Versuche beinhaltet außerdem eine Einschätzung über notwendige Messgenauigkeiten und Grenzen der Messtechnik. Aufgezeichnete Messdaten werden einer Messfehleranalyse unterzogen, die sich mit zufälligen und systematischen Fehlern auseinandersetzt.

Ein wichtiger Punkt dieser Arbeit ist die Auswertung aufgetretener Probleme, sowie deren Ursache und Möglichkeiten der Vermeidung.

Abschließend bildet die Zusammenfassung eine Erkenntnissammlung der inhaltlichen Schwerpunkte und einen Ausblick auf weiterführende Untersuchungen.

Die vollständige Arbeit ist an der Bauhaus-Universität Weimar am Standort Hydrolabor Schleusingen einzusehen.

Mit freundlichen Grüßen

Christian Kohout