

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Fritz, Matthias; Johann, Georg; Pfeiffer, Ekkehard; Sacher, Hartmut
Betrachtung von Auswirkungen der Hysterese auf die
Verwendung von Abflusstafeln mittels Messwertanalyse
und instationärer 1D/2D-Modellierung

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

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

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103800>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Fritz, Matthias; Johann, Georg; Pfeiffer, Ekkehard; Sacher, Hartmut (2006): Betrachtung von Auswirkungen der Hysterese auf die Verwendung von Abflusstafeln mittels Messwertanalyse und instationärer 1D/2D-Modellierung. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Strömungssimulation im Wasserbau (Flow Simulation in Hydraulic Engineering). Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 32. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 13-21.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

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

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



Betrachtung von Auswirkungen der Hysterese auf die Verwendung von Abflusstafeln mittels Messwertanalyse und instationärer 1D/2D-Modellierung

Dipl.-Ing. Matthias Fritz, Dipl.-Hydr. Georg Johann,
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Ekkehard Pfeiffer, Dr.-Ing. Hartmut Sacher

Water gauges record continuous water level data that can be converted into flood hydrographs using stage-discharge-relations. Due to the effect of hysteresis in unsteady flow this conversion might be ambiguous. This must be considered carefully when flood hydrographs are used to calibrate runoff-models. This phenomenon is investigated and proved in calculations covering different categories of rivers and creeks in the catchment area of the rivers Emscher and Lippe.

1 Einleitung

Abflussganglinien sind Grundlage der Kalibrierung Hydrologischer Gebietsmodelle (Niederschlag-Abfluss-Modelle). Kritisch zu prüfen ist, ob Abflussganglinien auf der Grundlage von Wasserständen aus Pegelaufzeichnungen und Abflusstafeln aus einer stationären, hydraulischen Berechnung eindeutig sind.

Beim Abfluss einer (Hochwasser-)Welle verändert sich die Wasserstands-Abfluss-Beziehung an einem Messquerschnitt durch ein variables Energieliniengefälle (sogenannte Hochwasserschleife oder Hysterese). Zu einem Wasserstand gibt es zwei Geschwindigkeiten bzw. zwei Abflüsse, die beide die Energiegleichung erfüllen. Eine nicht eindeutige $Q(h)$ -Funktion im an- und absteigenden Ast einer Welle hat demnach eine Unterschätzung bzw. Überschätzung des kalibrierten bzw. berechneten Abflusses zur Folge. Grundlegende Eingangsdaten bei der Kalibrierung Hydrologischer Gebietsmodelle sind also möglicherweise fehlerbehaftet.

Zur Abschätzung dieser Ungenauigkeit wurden die maßgeblichen Parameter Gerinnegeometrie und Form der Hochwasserwelle analysiert. Dabei wurden Gewässer unterschiedlicher Größenordnungen im Emschergenossenschafts- und Lippeverbandsgebiet betrachtet, an denen Messungen von Ultraschall-Laufzeitanlagen sowohl von urban geprägten Gewässern mit steilen, schnellen Wellen als auch von Gewässern mit natürlichen Einzugsgebieten und langen Wellenlaufzeiten vorliegen.

Ausgangsfrage der Untersuchung war, wie zuverlässig Abflusstafeln bei instationären Strömungsverhältnissen sind, bzw. wo Anwendungsgrenzen bei der Kalibrierung von Hydrologischen Gebietsmodellen mit Hilfe von Abflussganglinien liegen und welche Parameter benötigt werden, um Abweichungen zwischen Abflusstafeln und Abflussschleifen hinreichend genau abzuschätzen.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Stationärer Abfluss

Ein übliches Vorgehen zur Ermittlung von Abflusstafeln ist neben der turnusmäßigen Abflussmessung die Berechnung von Wasserspiegellagen in einem Gerinneabschnitt mit gestaffelten Abflüssen.

Die Lösung der Bewegungsgleichung und der Kontinuitätsgleichung bereiten keine Schwierigkeiten, da nach Umformung der Gleichungen lediglich die Unbekannte h iterativ bestimmt werden muss.

Die Erweiterung der Bewegungsgleichung um die Terme $\frac{\partial}{\partial x}$ zum ungleichförmigen Abfluss erfordert die Berücksichtigung einer Randbedingung, da zur Lösung des Gleichungssystems eine zusätzliche Größe bekannt sein muss. Dies ist üblicherweise im strömenden Bereich eine untere, im schießenden eine obere und bei Fließwechseln eine obere und eine untere Bedingung.

Gestaffelte Abflüsse können quasi-instationär betrachtet werden, wenn für den Wellentransport, dem sogenannten flood routing, Methoden wie z. B. von Kalinin Miljukov oder das Muskingumverfahren im Rahmen hydrologischer Berechnungen zur Anwendung kommen.

Da gestaffelte Abflüsse bzw. entsprechende Wasserspiegellagen untereinander keinerlei mathematische Beziehung haben, ergibt sich zu jedem Abfluss eine eindeutige Wassertiefe.

Zur vollständigen Beschreibung des Abflussgeschehens müssen jedoch alle dynamischen Terme in der Bewegungsgleichung und der Kontinuitätsgleichung berücksichtigt werden und damit die vollständigen Saint Venant Gleichungen gelöst werden.

2.2 Instationärer Abfluss

Mit den Saint Venant Gleichungen liegen zwei Gleichungen zur Bestimmung der zeitlich und räumlich variablen Größen $v(x,t)$ und $h(x,t)$ vor.

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{v}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{I}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + I_E - I_{SO} = 0$$

$$\frac{A}{b} \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{v}{b} \left(\frac{\partial A}{\partial s} \right)_{h=\text{konst}} = 0$$

Lösungsmöglichkeiten für diesen Gleichungssatz existieren z. B. durch Differenzenverfahren, Charakteristenverfahren, etc., die in der einschlägigen Literatur hergeleitet sind.

Die instationären Terme $\frac{\partial}{\partial t}$ beschreiben die zeitliche Veränderung an einem Querprofil aufgrund eines veränderlichen Abflusses und der damit verbundenen Änderung der Querschnittsfläche.

Anlaufende Hochwasserwellen bedeuten einen positiven instationären Term, dementsprechend haben ablaufende Wellen ein negatives Vorzeichen. Bei einer Welle durchläuft die Abflusstafel eine sogenannte Hochwasserschleife, die physikalisch als Hysterese bezeichnet werden kann. Zu einem Wasserstand gibt es zwei Geschwindigkeiten bzw. zwei Abflüsse, die beide die Energiegleichung erfüllen. Daraus wird deutlich, dass eine Abflusstafel nicht eindeutig ist.

Da die Abflusstafel auch von der Größe des Differentialquotienten dv/dt abhängt, folgt, dass aus unterschiedlichen Wellen unterschiedliche $Q(h)$ -Beziehungen ermittelt werden können.

3 Untersuchungen an Pegeln im Emscher- und Lippegebiet

Der Hysterese-Effekt wird an vier Beispielgewässern mit großen und kleinen Einzugsgebieten, die entweder natürlich oder anthropogen geprägt sind, untersucht. Dabei werden sowohl Messdaten von Pegeln mit Ultraschall-Durchflussmessanlagen ausgewertet als auch instationäre 1D- bzw. 2D-Berechnungen durchgeführt (1Di/2Di). In Tabelle 1 sind die untersuchten Gewässer aufgelistet. Dabei wurden der Lippe-Pegel Kessler und der Rotbach-Pegel Schlägerheide mit einem natürlichen Einzugsgebiet ausgewählt. Die Lippe ist ein ausgeprägter Flachlandfluss, der bei Hochwasser große Teile seiner landwirtschaftlich genutzten Aue durchströmt. Für den Pegel Kessler wurden zweidimensionale instationäre Berechnungen durchgeführt. Am Pegel Schlägerheide entwässert der Rotbach ein kleines überwiegend bewaldetes Einzugsgebiet. Als Beispiel für ein

kleines, dicht besiedeltes Einzugsgebiet wurde der Hüller Bach-Pegel BAB 42 aufgrund seines eingedeichten Profils mit eindimensionalen instationären Berechnungen untersucht. Als Beispiel für ein großes, anthropogen geprägtes Gewässer wurden die Messdaten des Emscher-Pegels Bahnstraße analysiert.

Tabelle 1 Untersuchte Gewässer - Übersicht Gebietseigenschaften

Gewässer-Pegel	Lippe Kessler	Rotbach Schlägerh.	Emscher Bahnstr.	Hüller Bach BAB 42
EZG-Größe [km ²]	2000	26	860	70
Befestigungsgrad [%]	4	2	25	30
Gefälle [%]	0,3	2,5	0,6	1,6
Profilgeometrie	Gegliedertes Profil	Kompaktprofil	Kompaktprofil	Kompaktprofil
Pegel-Messgrößen	W	W, v	W, v	W, v
Hydraulik	2Di	-	-	1Di

3.1 Lippe

Die Abbildung 1 zeigt die Daten eines zweidimensional instationär nachgerechneten Hochwasserereignisses am Lippe-Pegel Kessler.

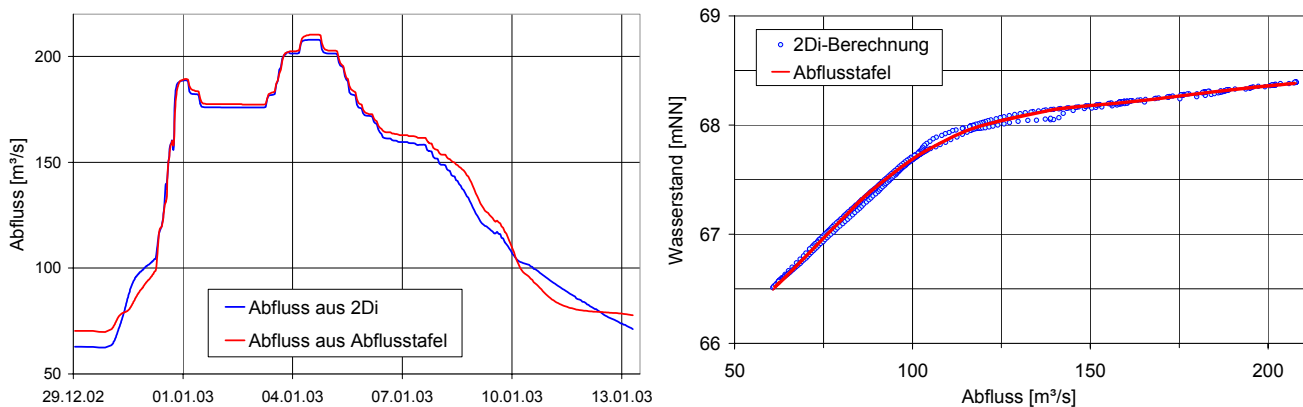


Abbildung 1: Links: Abflussganglinie vom 23.12.02 - 10.01.03 (2Di Berechnung und aus Abflusstafel). Rechts: Wasserstand / Abfluss aus 2Di Berechnung am Lippe-Pegel Kessler

In der rechten Grafik sind die berechneten Wasserstände und Abflüsse und die sich daraus ergebende Abflusstafel aufgetragen. Die prozentuale Abweichung des Abflusses bei gleichem Wasserstand, gegenüber dem Abfluss in der anlaufenden Welle, beträgt in der Hysterese maximal 12 %. In der Ganglinie (linke Graphik) ist dieser Effekt auch an den an- und ablaufenden Wellenästen deutlich zu erkennen. Ab einem Abfluss von rund 100 m³/s üfert die Lippe in die breite

Aue aus. Dies führt dazu, dass der Hysterese-Effekt im anlaufenden Wellenast dann nicht mehr signifikant ist. Der Unterschied des Abflussvolumens zwischen den beiden Wellen beträgt 0,5 %. Die Abflussspitze der mit der Abflusstafel erzeugten Ganglinie liegt 1,5 % über der 2Di Berechnung.

3.2 Rotbach

Die verzögert abfließende Hochwasserwelle des bewaldeten Einzugsgebiets des Rotbachs erzeugt eine Hysterese mit einer Abweichung des Durchflusses von maximal 9 % (siehe Abbildung 2). In der Ganglinie ergeben sich in Bezug auf die Hochwasserwelle minimale Abweichungen, deren Auswirkungen auf das Abflussvolumen vernachlässigbar sind.

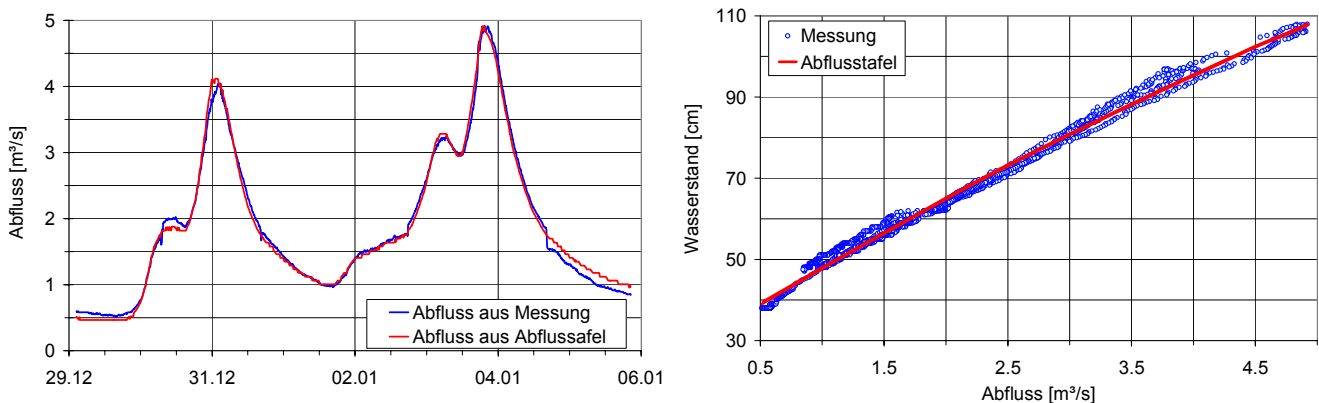


Abbildung 2: Links: Abflussganglinie 29.12.02 - 06.01.03 (gemessen und aus W/Q-Tafel).
Rechts: Wasserstand / Abfluss am Rotbachpegel Schlägerheide

3.3 Emscher

Die Abbildung 3 zeigt eine gemessene Abflussganglinie am Emscher-Pegel Bahnstraße.

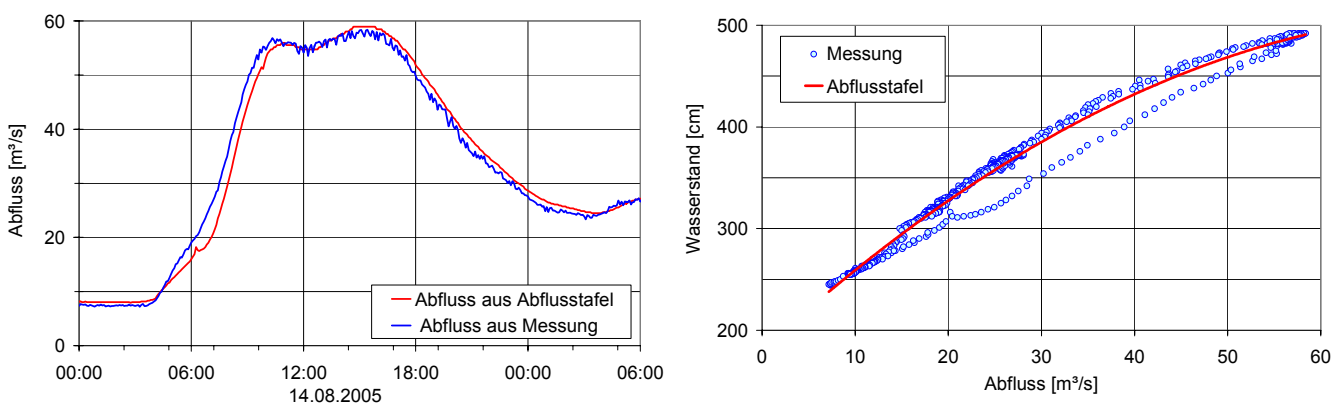


Abbildung 3: Links: Abflussganglinie vom 14.08.05 (gemessen und aus W/Q-Tafel).
Rechts: Wasserstand / Abfluss am Emscher-Pegel Bahnstraße

In der rechten Grafik sind die mit der Durchflussmessanlage erfassten Wasserstände und Abflüsse und die Abflusstafel des Pegels für den Sommer gegeneinander aufgetragen. Die Abweichung des Abflusses beträgt in der Hysterese maximal 20 %. In der Ganglinie (linke Graphik) ist dieser Effekt auch an den an- und ablaufenden Wellenästen deutlich zu erkennen. Der Unterschied des Abflussvolumens zwischen den beiden Wellen beträgt nur ca. 1 %, da sich bei diesem Ereignis die Abweichungen des an- und ablaufenden Wellenastes aufheben. Die Abflussspitze der mit der Abflusstafel erzeugten Ganglinie liegt ca. 2 % über der Messung.

3.4 Hüller Bach

Die Abbildung 4 zeigt eine gemessene Abflussganglinie am Hüller Bach-Pegel BAB 42. In der rechten Grafik sind die mit der Durchflussmessanlage erfassten und die instationär eindimensional (1Di) berechneten Wasserstände und Abflüsse sowie die stationäre Abflusstafel aufgetragen. Die Abweichung des Abflusses beträgt in der gemessenen Hysterese maximal 28 %. Die Abflüsse auf Basis der stationären Abflusstafel liegen im Bereich hoher Wasserstände über den gemessenen und 1Di berechneten Werten.

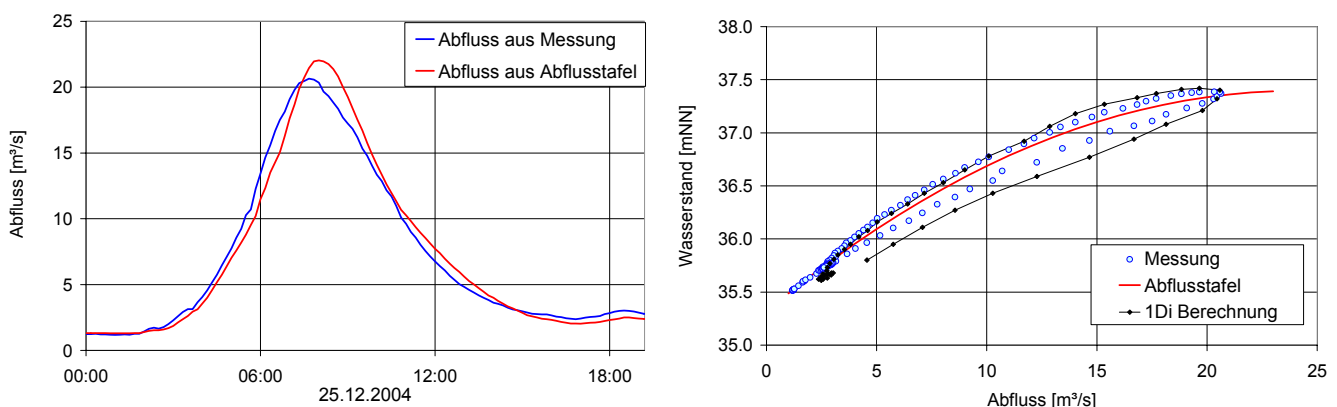


Abbildung 4: Links: Abflussganglinie vom 25.12.05 (gemessen und aus W/Q-Tafel).
Rechts: Wasserstand / Abfluss am Hüller Bach Pegel BAB 42

In der linken Grafik sind die gemessenen und die aus der stationären Abflusstafel ermittelten Abflussganglinien abgebildet. Die Auswirkungen der Hysterese sind im Vergleich der gemessenen mit der stationär berechneten Ganglinie signifikant. Es unterscheiden sich nicht nur die an- und ablaufenden Wellenäste, sondern auch die Abflussspitze (ca. 6,7 % gegenüber der Messung). Der Unterschied des Abflussvolumens zwischen den beiden Wellen beträgt ca. 1,5%.

4 Ergebnisdiskussion

In der Tabelle 2 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Die durch Hysterese induzierten Auswirkungen auf die Abflussganglinie sind folgende:

Tabelle 2 Untersuchte Gewässer - Übersicht Ergebnisse

Gewässer-Pegel	Lippe Kessler	Rotbach Schlägerh.	Emscher Bahnstr.	Hüller Bach BAB 42
Ereignis	04.01.2003	04.01.2003	14.08.2005	24.12.2004
Abflussspitze [m³/s]	210	4,9	58	20,5
Wellendauer	20 d	4 d	20 h	6 h
max. Wellenverschiebung	10 h	0	50 min	20 min
Hysterese-Abweichung %	14	9	20	28
Volumen-Abweichung %	0,5	0	1,0	1,5
Spitze-Abweichung %	1,5	0	2,2	6,7

4.1 Differenz der Abflussspitze

Der Scheitelwert des Wasserstandes in der Hysterese fällt nicht mit dem maximalen Abfluss zusammen. Die stetig steigende Abflusstafel hingegen erzeugt immer einen maximalen Abfluss beim größten Scheitelwert. Diese führt bei der Verwendung einer Abflusstafel zur Ermittlung einer Q-Ganglinie zwangsläufig dazu, dass Spitzenabflüsse überschätzt werden.

4.2 Wellenverschiebung

Weiterhin führt das Durchlaufen der Hystereseschleife dazu, dass im anlaufenden Wellenast bei einem gemessenen Wasserstand der Abfluss eher als bei der Verwendung einer Abflusstafel erreicht wird. Im ablaufenden Ast verursacht die Hystereseschleife ein früheres Absinken der Abflussganglinie, sodass insgesamt ein Abfluss bei Berücksichtigung der Hysterese früher als bei der Verwendung einer Abflusstafel stattfindet.

4.3 Volumendifferenz

Aus den Abweichungen des Spitzenabflusses und des Zeitversatzes der Wellenäste folgt eine Volumendifferenz zwischen der tatsächlich abgelaufenen und der mit einer Abflusstafel ermittelten Abflussganglinie. Die Volumendifferenz ist überwiegend an die Unterschiede der an- und ablaufenden Wellenäste geknüpft und steigt mit der Asynchronität der Wellenform an. Die durchgeführte Analyse zeigt die Tendenz, dass die mit der Abflusstafel berechneten Abflüsse das Wellenvolumen eher überschätzen, besonders wenn sich der anlaufende Wellenast wesentlich vom ablaufenden unterscheidet.

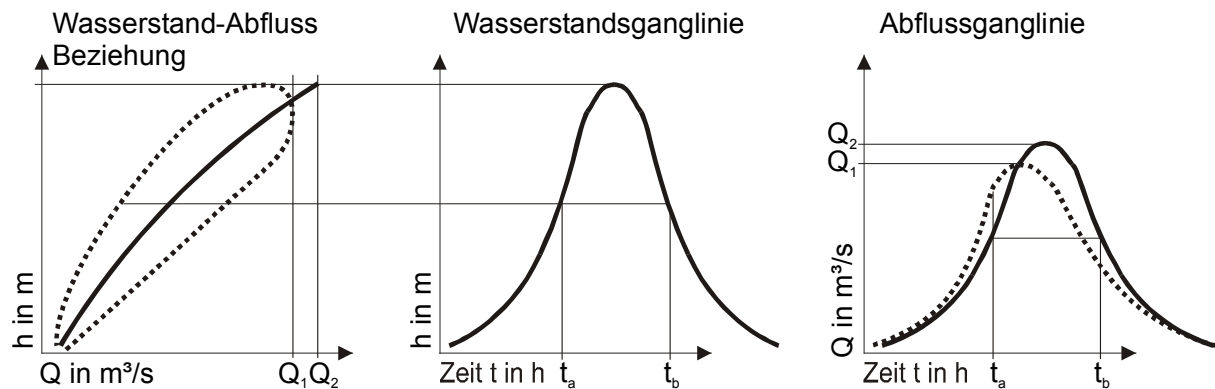


Abbildung 5: Schematischer Zusammenhang der Hysterese-bedingten Abweichungen in der Wasserstand-Abfluss-Beziehung und der Abflussganglinie

4.4 Einflussgrößen

Als entscheidende Parameter für die Ausbildung der Hysterese und somit auf die beschriebenen Abweichungen in den Abflussganglinien konnten die Profilgeometrie und die Wellenform sowie stark veränderte Energiegefälle identifiziert werden.

Die Profilgeometrie ist die relevante Systemeigenschaft. Je kompakter ein Gewässer, desto anfälliger reagiert das System auf instationäre Fließvorgänge.

Weiterhin hat der Differentialquotient dv/dt bzw. dQ/dt einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbildung der Hysterese. Je schneller eine Hochwasserwelle das Gewässer durchläuft, desto größer ist ein Effekt auszumachen.

4.5 Auswirkungen auf die Hydrologische Gebietsmodellierung

Die tatsächliche Abflusswelle hat im anlaufenden Ast nicht nur einen steileren Gradienten, sondern erreicht auch früher höhere Abflusswerte, als die mit einer Abflusstafel erzeugte Ganglinie. Die ablaufende Welle fällt früher mit einem flacheren Gradienten ab. Besonders bei der Hochwasservorhersage sollte der Anwender also berücksichtigen, dass die Hochwasserwelle schneller abfließt, als die mit einer Abflusstafel erzeugten Daten es zeigen.

Das Volumen und die Spitze einer Hochwasserwelle werden durch stationäre Abflusstafeln überschätzt. Wie die Tabelle 2 zeigt, liegen diese Werte allerdings trotz einer signifikanten Hysterese innerhalb der Messtoleranz. Aus der Kalibrierung mit solchen Daten folgt, dass ein höheres abflussbereites Wasserdargebot ermittelt wird und Bemessungsabflüsse- und Wasserstände überschätzt werden. Dies führt zu einem höheren und damit sicheren Hochwasserschutz aber auch zu höheren Investitionskosten.

4.6 Fazit

Die beobachteten signifikanten Hysterese-Effekte mit Abweichungen von bis zu 30 % haben lediglich geringe Auswirkungen auf die Genauigkeit der bemessungsrelevanten Parameter Abflussvolumen und -spitze wasserwirtschaftlicher Anlagen. Die Wellenverschiebung sollte vor allem bei der Hochwasservorhersage Berücksichtigung finden. Insgesamt ist festzustellen, dass die durch die Hysterese erzeugten Abweichungen der hier untersuchten Ganglinien für die Bemessungspraxis (Extrapolationsstatistik) innerhalb der Messtoleranz liegen.

Gewässer mit kompakten Gerinnen und schnell ablaufenden Hochwasserereignissen, wie beim betrachteten Beispiel Hüller Bach, aber auch an Engstellen großer Gewässer, sollten in Hinsicht auf die gewonnenen Erkenntnisse untersucht und ggfs. instationär modelliert werden. Die hier gemachten Ausführungen für die vier Beispielsgewässer müssen mit weiteren Untersuchungen fortgeführt werden, um die ermittelten Einschätzungen abzusichern.

5 Literatur

DVWK (1999): Numerische Modelle von Flüssen und Küstengewässern. Schriften 127, Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

Technische Hydromechanik 1, Preißler/Bollrich, 3. Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1992

Staatliches Umweltamt Lippstadt: Hochwasser an der Lippe Neujahr 2003, Lippstadt, 2003

Autoren:

Dipl.-Ing. Matthias Fritz,
Dr.-Ing. Hartmut Sacher
Hydrotec Ingenieurgesellschaft
für Wasser und Umwelt mbH
Bachstraße 62-64
52066 Aachen
Tel.: ++49 – 241 – 946890
Fax: ++49 – 241 – 506889
mail@hydrotec.de

Dipl.-Hydr. Georg Johann,
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Ekkehard Pfeiffer
Emschergenossenschaft / Lippeverband
Kronprinzenstraße 24
45127 Essen
Tel.: ++49 – 201 – 104 2249
Fax: ++49 – 201 – 104 2800
johann.georg@eglv.de

...damit alles fließt

Technische Hydro-mechanik 4

Hydraulische und numerische Modelle

Martin/Pohl u. a.

AKTUELL
mit CD-ROM

Verlag Bauwesen

Martin, Helmut, Pohl, Reinhard (Hrsg.)

Technische Hydromechanik

Band 4:

Hydraulische und numerische Modelle

1. Auflage 2000,
404 Seiten, Hardcover
mit CD-ROM
ISBN 3-345-00682-0

Spitzenpreis
€ 65,50!

früher € 100,-

INHALT

Bollrich, Aigner

Hydraulisches Versuchswesen

Ähnlichkeitskriterien und -gesetze, Modellregeln und Übertragungsgrenzen, Hydrometrie, Anwendungen

Martin/Carstensen

Gerinneströmungen

Fließformeln und Anwendungsbereiche, ungleichförmige Fließbewegungen, lokale Fließbewegungen bei Querschnittsänderungen, Schubspannungsermittlung

Diersch

Numerische Modellierung Ober- und unterirdischer Strömungs- und Transportprozesse

Grundlagen, Strömungen mit freier Oberfläche, Grundwasserströmungen

Aigner

Hydraulik der Wasserbehandlungsanlagen und industriellen Prozesse

Bemessungsgrundlagen, hydraulischer Längsschnitt, Turbulenz, Wasserverteilung, Wasserabzug, Dichteströmung, Verweilzeit

Pohl

Probabilistische Aspekte der hydraulischen Bemessung

Basisvariable, Verteilungen, Versagenswahrscheinlichkeit, Geschlossene Lösungen, Statistische Versuche, Beispiele

Martin

Spezielle hydraulische Probleme an ausgewählten Betriebseinrichtungen

Kavitation, Überfallströmungen, Großarmaturen

Horlacher

Rohrnetze, Druckstoß in Rohrleitungen

Netztopologie, numerische Verfahren zur Ermittlung des Druck- und Fließzustandes, Pumpen, Druckstoßerscheinungen in Leitungen und Netzen

Gleich anfordern!



HUSS-MEDIEN GmbH

Verlag Bauwesen
10400 Berlin

Direkt-Bestell-Service: Tag & Nacht

☎ 030/42151-325 · Fax 030/42151-468

e-mail: versandbuchhandlung@hussberlin.de

Eine CD-ROM mit über 30 Videoclips und 8 Software-Angeboten zu Simulationsaufgaben und hydraulischen Berechnungen unterstützt die Anschaulichkeit und erleichtert die Anwendung in der Praxis.

Viele Aufgaben und Planungen im Wasserbau, in der Wasserversorgung und bei der Abwasserbehandlung, sowie im Umweltschutz sind mit komplexen hydromechanischen Problemen verbunden.

Selbst der erfahrene Ingenieur wird vielfach mit Fragestellungen konfrontiert, die über das im Studium vermittelte Wissen aus diesem Fachgebiet hinausgehen.

Eine Auswahl solcher weiterführenden Problemkreise wird in diesem neuen Band des bekannten Standardwerks behandelt.

Die vorgestellten Ansätze und Problemlösungen werden durch zahlreiche Berechnungsbeispiele ergänzt.

Das Buch ist Anregung für den in der Planung tätigen Ingenieur und es ist zugleich als Literatur für das vertiefende Studium der Technischen Hydromechanik konzipiert.

Internet: www.bau-fachbuch.de