

Einfluss von verlandeten Buhnenfeldern auf die Wasserspiegelentwicklung in sieben ausgewählten Referenzabschnitten der Elbe

Frank Ritzert, Franz Nestmann

1 Problemstellung

Buhnen haben gegenüber Parallelwerken den Vorzug leichter Nachregelbarkeit, d.h. sie können einfach verlängert oder verkürzt sowie erhöht oder erniedrigt werden (Neger 1932). Damit ergibt sich die Möglichkeit den Fließquerschnitt auch im Nachhinein einzuengen oder aufzuweiten. Auf Grund der quer zur Hauptströmung liegenden Buhnenbauwerke wird eine Fließgewässerströmung durch Turbulenzen stärker abgebremst als es bei einer Regelung durch Parallelwerke der Fall ist. Dieser Effekt, im Folgenden als Buhnenwirkung bezeichnet, ist für die Schifffahrt von großem Nutzen (Winkel 1947).

Die Buhnenwirkung führt zu einer Wasserstandsanhhebung bei Niedrigwasser und darüber hinaus zu einer Reduktion der Fließgeschwindigkeit, insbesondere bei höheren Abflussverhältnissen. Ein weiterer Effekt der Buhnenwirkung besteht darin, dass bei einer Buhnenregelung die Sohlerosion geringer ist als bei einer Regelung durch Längsbauwerke.

2 Methodik

Sieben Referenzabschnitte der Elbe wurden zur quantitativen Berechnung der Wasserstandsanhhebung sowie der Fließgeschwindigkeitsreduktion exemplarisch herangezogen. Zur Bestimmung der Eingangsgrößen für die Berechnung mit ansteigenden, vorgebbaren Abflüssen (Ritzert 1998) wurden Luftbildaufnahmen (Hansa Luftbild 1992), Querprofilaufnahmen (WSD OST 1995), Gutachten der Bundesanstalt für Gewässerkunde (Haunschild, 1994) und Bundesanstalt für Wasserbau (Look 1994) und Konstruktionszeichnungen (Reichsverkehrsministerium 1940) verwendet. Die Eingangsgrößen setzen sich aus den geometrischen, hydraulischen und den sedimentologischen Parametern, die für den Fließgewässerabschnitt bestimmend sind, zusammen.

Die Querprofilvermessungen wurden unter Einsatz einer CAD-Software mit einer Luftbildaufnahme kombiniert. Die Luftbildaufnahme zeigt die Elbe während eines Niedrigwassers. Die Buhnenköpfe sind, mit ihrer typischen kreisrunden Form, gut zu erkennen. Die Buhnen wurden mit den Abmessungen aus historischen Plänen dreidimensional rekonstruiert. Die so entstandenen, überhöht dargestellten Drahtmodelle wurden an den Kopflagen im Luftbild eingesetzt. Aus der dreidimensionalen Ansicht wurde eine Schnittansicht generiert. Diese bestätigt die gute Übereinstimmung der rekonstruierten Größen mit den in der Natur vermessenen Querprofilaufnahmen.

Diese Rekonstruktion wurde zur Ableitung von geometrischen Eingangsgrößen für die Berechnung eingesetzt. Die zur Quantifizierung der Buhnenwirkung angewendeten Formeln stützen sich auf Berechnungsansätze zur Ermittlung des Einflusses von Regelbauwerken in Flüssen auf die Wasserspiegelentwicklung. Sie wurden am Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau (Ritzert et al. 1997) entwickelt.

Die Berechnungsansätze beruhen auf dem Rauheitsüberlagerungsmodell nach Einstein und Horton (DVWK 1991). Dieses ermöglicht die Berechnung von hydraulischen Größen in Fließgewässerströmungen unter der Berücksichtigung verschiedener Rauheitswirkungen.

Bisher wurde, wegen der Einfachheit der praktischen Handhabung, die Darcy-Weisbach-Formel (Schröder 1994) mit der Manning-Strickler-Formel zur Lösung von Rauheits-Überlagerungsproblemen kombiniert. Das für die vorliegenden Untersuchungen zu Grunde gelegte Berechnungsverfahren verbindet die Darcy-Weisbach-Formel mit der Widerstandsgleichung nach Prandtl-Colebrook. Der große Vorteil liegt bei dieser Vorgehensweise darin, dass die Bestimmung der mittleren Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von einer geometrisch bestimmbarer Größe, der Rauheit (z.B. äquivalente Sandrauheit k_s , in [m] bzw. [mm]) möglich ist. Allerdings entsteht hierbei ein komplizierter, transzendenter Formelapparat, der nur mit Hilfe von rechnergestützten numerischen Verfahren gelöst

werden kann (Indlekofer 1981). Auf Grund der Leistungsfähigkeit heutiger Arbeitsplatzrechner ist die Auflösung des o.a. Formelapparates innerhalb vertretbarer Rechenzeiten möglich.

3 Anwendung und bisherige Ergebnisse

Eingesetzt wurden die Berechnungsverfahren zunächst zur Bestimmung eines Widerstandsbeiwertes für beidseitig angeordnete Buhnenbauwerke. Dieser Beiwert konnte aus Versuchsdaten, die im Rahmen von hydraulischen Modellversuchen (Felkel 1995) gewonnen wurden, abgeleitet werden. In den Modellversuchen wurden die Längen- zu Abstandsverhältnisse der eingebauten Buhnen bei verschiedenen Abflusssituationen variiert. Aus den Messergebnissen leitete sich ein Widerstandsbeiwert von $\kappa = 0,005$ für nicht überströmte Buhnen ab. Dieser Widerstandsbeiwert gilt für die vorliegende Untersuchung in einer ersten Näherung für das gesamte Abflussspektrum bei nichtüberströmten, geböschten Buhnen. Unter dieser Voraussetzung können mit den o.a. Berechnungsverfahren mittlere Wasserspiegellagen sowie mittlere Geschwindigkeiten für Trapezgerinne berechnet werden. Durch Halbieren des Widerstandsbeiwertes κ können einseitig angeordnete Buhnen sowie durch das Nullsetzen von κ unregelmäßige Fließquerschnitte simuliert werden. Das Verändern der für die Berechnung vorzugebenden Breite des Fließquerschnitts ermöglicht darüber hinaus auch die Simulation einer Regelung mit Parallelwerken. Damit ergibt sich auch die Möglichkeit, die Auswirkung der Energieverluste von Regelbauwerken auf die Wasserspiegelentwicklung und die Geschwindigkeitsveränderungen der Hauptströmung abzuschätzen.

Die Grafiken (in der Posterausstellung des *Statusseminar Elbe-Ökologie*) zeigen die berechneten mittleren Wasserspiegellagen und Geschwindigkeiten in den sieben ausgewählten Elbeabschnitten bei Abflussvariationen, die einen Wasserstand von Niedrig- bis Mittelwasser simulieren (nicht überströmte Buhnen). Darüber hinaus wurde mit den numerischen Ansätzen ein fiktiver Ausbau mit Parallelwerken sowie der Urzustand der Elbe (ohne Ausbau) in diesem Abschnitt simuliert. Beim Vergleich „Buhnen-Parallelwerke“ zeigt sich deutlich die auf Grund der Buhnenwirkung entstehende Wasserspiegelanhebung (Spiegelanhebung) und Geschwindigkeitsreduktion, die bis zu 0,25 m (bei Mittelwasserverhältnissen) beträgt. Darüber hinaus zeigen sich vergrößerte Spiegelhebungen und Geschwindigkeitsreduktionen, die auf eine Verengung der Fahrrinne zurückzuführen sind. Dies wird beim Vergleich der Wasserspiegellagen und Geschwindigkeiten bei gleichen Abflüssen (hier 200 m³/s) in den Elbeabschnitten von Lauenburg bis Torgau deutlich.

Gekoppelt an die hydraulische Berechnung wurde eine sedimentologische Berechnung zur Abschätzung des Geschiebetriebbeginns (Shields 1936). Gezeigt werden die in den sieben Abschnitten bei nicht überströmten Buhnen sowie Parallelwerken vorliegenden Sohlschubspannungen. Hierbei wurde die kritische Sohlschubspannung den berechneten Werten gegenübergestellt. Es zeigt sich insbesondere in dem Abschnitt bei Tangermünde der schon bei kleineren Abflüssen (ca. 400,0 m³/s) einsetzende Geschiebetrieb. In der so genannten „Elbe-Reststrecke“ ist das Geschiebe demnach fast immer in Bewegung, während es in der „Elbe-Erosionsstrecke“ bei Torgau-Wittenberg bei diesen Abflussverhältnissen (nichtüberströmte Buhnen) noch in Ruhe bleibt.

Literatur

- DVWK (1991) Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. Merkblätter 220
Felkel, K. (1995) Modellversuche mit Buhnen in einer Rinne mit fester Sohle, BAW Karlsruhe
Hansa Luftbild (1992) Luftbilder der Elbe, Münster
Haunschild, A. (1994) Kornzusammensetzung der Elbesohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Berlin
Indlekofer, H. (1981) Überlagerung von Rauigkeitseinflüssen beim Abfluß in offenen Gerinnen, Mitteilungen der TH Aachen, Institut für Wasserbau, Nr. 37
Look, B. (1995) Neubearbeitung der Elbe-Längsschnitte Elbe km 0,0 bis 607,5, Bundesanstalt für Wasserbau, Berlin
Neger, R. (1932) Die Entwicklung des Buhnenbaus in den deutschen Stromgebieten, Berlin
Reichsverkehrsministerium (1940) Leitsätze für die Niedrigwasserregulierung der Elbe von der früheren Reichsgrenze bis zur Seevemündung. Ergänzungsheft, Forschungsanstalt für Schifffahrt, Gewässer- und Bodenkunde
Ritzert, F. (1998) Ein C-Programm zur Berechnung von mittleren hydraulischen Größen beim Flussausbau mit Buhnen oder Parallelwerken, Universität Karlsruhe, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
Ritzert, F., Söhnngen, B., Nestmann, F. (1997) Niedrigwasseraufhöhende Wirkung von Buhnen bei fester Sohle, Jahrbuch der HTG, 51. Band, Hamburg
Schröder, R.C.M. (1994) Technische Hydraulik. Kompendium für den Wasserbau, Springer

- Shields, A. (1936) Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung.
Mitt. Preuss. Versuchsanstalt f. Wasserbau und Schiffbau
- Winkel, R.(1949) Die Grundlagen der Flussregelung. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Zweite Auflage, Berlin
- WSD OST (1995) Querprofile der Elbe. Wasser und Schiffsamt Magdeburg, Magdeburg