



Stellungnahme
zum Schreiben Az 502.15 – 62023/2-2.1 der Bezirksregierung Lüneburg sowie
zum Untersuchungsbericht zur natürlichen Gehölzsukzession im Vorlandbe-
reich der Elbe (ibs Ingenieurbüro Schwerin, 2004, Projekt-Nr. 502.367)

Dr.-Ing. Boris Lehmann und Dipl.-Geoökol. Sandra Schneider

Veranlassung

Im oben erwähnten Schreiben der Bezirksregierung Lüneburg wird infolge einer Zunahme von Vegetation entlang des Vorlandes, der Uferbereiche und der Bühnenbauwerke für den niedersächsischen Elbeabschnitt zwischen Elbe-km 470 bis Elbe-km 570 eine Wasserspiegelerhöhung von bis zu 50 cm bei einem Durchfluss von 4.000 m³/s postuliert. Die Bezirksregierung stützt ihre Aussage dabei auf eine in Auftrag gegebene Untersuchung zur Berechnung von Wasserspiegellagen der Elbe unter Berücksichtigung vorhandener und zukünftiger Entwicklungen in Vorlandbereichen.

Die Durchsicht des erarbeiteten Berichtes hat einige Fragen und Aspekte aufgeworfen, welche in dieser Stellungnahme erläutert werden und durch die Bezirksregierung zur Plausibilisierung ihrer gemachten Aussagen beantwortet werden sollten.

Im Folgenden beziehen wir uns auf die genannten Textstellen im Untersuchungsbericht des Ingenieurbüro Schwerin (ibs) sowie auf die im nachfolgenden Literaturverzeichnis angegebenen Quellen.

Verwendete Gewässergeometriedaten

Der ibs-Bericht gibt an, dass die Modellierung des Elbe-Flusslaufes auf Grundlage von Peildaten der Wasser- und Schifffahrtsämter Lauenburg und Magdeburg durchgeführt wurde (vgl. ibs, Seite 4). Auf telefonischer Nachfrage bei ibs wurde mitgeteilt, dass die verwendeten Daten aus der digitalen Wasserstraßenkarte von 1999 stammen. Das Jahr der dort zugrunde liegenden Peilung konnte jedoch nicht genannt werden.

Der Seite 16 des ibs-Berichtes ist zu entnehmen, dass *„nach mehrjähriger ungestörter Gehölzentwicklung häufig Sohleintiefungen im Flusslauf und verstärkte Auflandungen im Vorlandbereich beobachtet wurden“*. Diese Beobachtungen wurden laut Auskunft von ibs in der Modellgeometrie mangels Datengrundlage nicht berücksichtigt.

Es ist davon auszugehen, dass sich die hydraulische Leistungsfähigkeit infolge mittel- und langfristiger Querschnittsänderungen innerhalb von Jahren nachhaltig ändert. Es führt zu einer Verschlechterung der Ergebnisqualität, wenn im numerischen Modell nur Geometriedaten aus einem Jahr für Simulationsrechnungen verwendet werden.

Bewuchsparameter

Der Bewuchs wird beim verwendeten Berechnungsverfahren durch gemittelte Abstände in und quer zur Fließrichtung sowie durch einen Ast- oder Stammdurchmesser parametrisiert. Nach dem Lindner-Verfahren [1] kann die bewuchsinduzierte Widerstandskraft in

einen dimensionslosen Widerstandsbeiwert λ umgerechnet werden. Dieser Ansatz bedingt allerdings eine enorme Abstraktion der realen Vegetationsbestände:

Im hydrodynamisch-numerischen Modell wird von einer gleichverteilten Anordnung umströmter, starrer zylindrischer Körper ausgegangen. Nicht berücksichtigt werden bei der numerischen Simulation die Flexibilität sowie das Biegeverhalten von Weichhölzern und die Möglichkeit einer kompletten Überströmung umgebogener Vegetationselemente [2]. Dies ist Softwarebedingt so vorgegeben.

Neuere Forschungsarbeiten geben spezielle Empfehlungen, wie solche Effekte in numerischen Modellen zu berücksichtigen sind [3, 4, 5]. Auch der im ibs-Bericht erwähnte Leitfaden „Hydraulik naturnaher Fließgewässer“ der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg geht in Kap. 5.3.3 auf Seite 64 explizit auf diese Problematik und deren Auswirkungen bei Verwendung kommerzieller Berechnungssoftware ein.

Da solche Biegeeffekte in der Natur insbesondere bei Weichholzbeständen und bei Jungvegetation vorkommen, überschätzt das verwendete Berechnungsverfahren der Software REHM FLUSS die Strömungswiderstände signifikant. Daraus resultieren unrealistisch hohe Wasserstände. Besonders deutlich wird dies durch die Aussage im ibs-Bericht auf Seite 13: *„Im Zuge der Eichung wurde deutlich, dass bereits Bewuchsstrukturen mit minimalen Bewuchsgrößen, wie z.B. Röhricht, einen wesentlichen Einfluss auf die Wasserspiegellage und die Abflussaufteilung zwischen Vorländern und Flussschlauch haben.“*

Hier wurden Röhrichte im numerischen Modell als durchströmte, starre, dicht nebeneinander stehende Stäbe simuliert. Dies entspricht quasi einem Feinrechen! In der Realität biegen sich Röhrichte bereits bei geringen Strömungsbelastungen um und verringern somit ihre Angriffsfläche und den Strömungswiderstand. Für eine Hochwassersimulation sollten daher Röhrichte als Oberflächenrauheit durch einen k_s -Wert berücksichtigt werden. Die Fachliteratur nennt hierzu in Tabellen entsprechende Parameter [10].



Abbildung links: Umströmter Baumstamm. Solche Effekte lassen sich mit dem gewählten Berechnungsverfahren sehr gut simulieren [5].

Abbildung rechts: Über- und durchströmte Jungweide (im Laborversuch). Deutlich ist das Biegeverhalten und die Anpassung an die Strömung zu erkennen. Infolge der verringerten Anströmfläche ist der Strömungswiderstand hier viel geringer als eine Berechnung mit dem numerischen Modell prognostiziert [6].

Bei einem 100 km langen Untersuchungsgebiet ergeben sich bei der Erhebung der bewuchscharakteristischen Daten wesentlich Probleme. Das Büro ibs hat hier zum einen auf Luftbildaufnahmen zugegriffen (vgl. Seite 4). Zum anderen sind lokal auch Erhebungen vor Ort durchgeführt worden (vgl. Seite 8). In der Synthese wurde eine Bewuchsklassifi-

zierung nach hydraulischen Merkmalen durchgeführt und für das Untersuchungsgebiet kartographisch dargestellt.

Neue Forschungsergebnisse [5] zeigen, dass die Erhebung der notwendigen Bewuchsparmeter für Bäume, Sträucher und Stauden sorgfältig zu erfolgen hat, da diese sich sensibel auf das Berechnungsergebnis auswirken. Die Verwendung von Luftbildaufnahmen scheint in Anbetracht der Größe des Untersuchungsgebietes hier ökonomisch sinnvoll, birgt aber Ungenauigkeiten bzgl. der Parametrisierung von Ast- und Rutendurchmesser bzw. Elementabstände in sich, welche zu einer großen Unsicherheit bei der Berechnung der Wasserspiegellagen führen.

Hier ist der Aussage im ibs-Bericht zuzustimmen, dass der Auftraggeber für die hydraulisch brisanten Bereiche die Wasserstände und das Strömungsverhalten durch ein mehrdimensionales hydrodynamisch-numerisches Modell untersuchen lassen sollte.

Hydraulische Modellierung des Untersuchungsgebietes

Die gewählte Software REHM FLUSS ermöglicht eine eindimensionale Strömungsberechnung auf Grundlage der Fließformel nach Darcy-Weißbach. Das Programm bietet dabei die Aufteilung eines Querschnittes in maximal drei Sektionen an (Vorland links/rechts und Hauptgerinne). Die Ergebnisausdrucke in Anlage 9 zeigen deutlich die verwendete dreisektionale Gliederung.

Eine erste Ungenauigkeit wird bei der Sichtung der Berechnungsergebnisse (ibs Anlage 9) deutlich: Die Abschätzung des Strömungsverhaltens im Nahbereich der Buhnen ist nicht erkennbar. Aus Anlage 9 geht hervor, dass in Profilabständen von minimal 100 m gerechnet wurde - eine Strömungsbeeinflussung durch Buhnen lässt sich so nicht belastbar quantifizieren.

Bei Gerinneinbauten (z.B. Brückenpfeiler oder Buhnen) müssen laut der Firma REHM infolge der örtlich konzentrierten Strömungsbeeinflussung Querprofile direkt ober- und unterhalb sowie im Bauwerksbereich selbst platziert werden. Die Abstände dieser Profile sollte im Bereich weniger Meter liegen [2].

Selbst wenn die Modellierung der um- und überströmten Buhnen hier entsprechend den Vorgaben erfolgt wäre, kann nicht von einer belastbaren Ergebnisqualität ausgegangen werden. Um solche lokalen Effekte der Turbulenz in einem numerischen Strömungsmodell darzustellen, bedarf es einer mehrdimensionalen Modellierung [7].

Auf telefonischer Anfrage bei ibs wurde hierzu mitgeteilt, dass zur eigentlichen Modellierung der Buhnenbereiche die zur Verfügung gestellte Datengrundlage nicht ausreichend war.

Eine zweite Ungenauigkeit wird aus der Aussage auf Seite 9 im ibs-Bericht ersichtlich: *„Im Bereich von Mänderschleifen wurden entsprechend den Empfehlungen zur Erhebung der Datengrundlage nach dem BWK-Merkblatt (Hydraulische Berechnung von naturnahen Fließgewässern/Teil 1) die sich schneidenden Profilachsen auf den Vorländern nur bis zum gemeinsamen Schnittpunkt berücksichtigt.“*

Die Interpretation dieser Aussage ist unseres Erachtens falsch und führt in Bereichen stark-gekrümmter Linienführung zu Ungenauigkeiten bei der Strömungsberechnung und zu einer Überschätzung der Wasserstände, da dabei Teile des Untersuchungsgebietes abgeschnitten werden.

Exakt heißt es im BWK-Merkblatt: „Bei stark mäandrierenden Gewässern muss zusätzlich Wert darauf gelegt werden, dass sich die aufgemessenen Profile nicht überschneiden.“ ([8], Seite 74). In der Praxis werden bei der Modellierung solcher Bereiche die Profile abgeknickt, da nach der Stromröhrentheorie Querprofile nur senkrecht durchströmt werden können [9].

Die folgende Abbildung skizziert die Problematik.

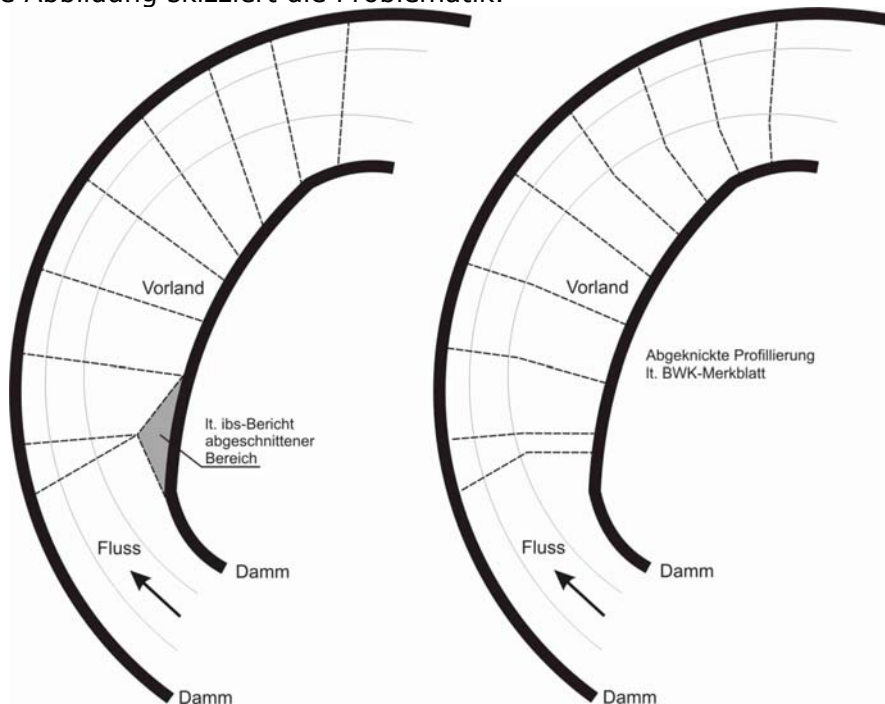


Abbildung links: Falsche Lage der Profile im Untersuchungsgebiet – die Querprofile werden auf dem rechten Vorland nicht senkrecht durchströmt. Durch das Schneiden zweier Profile wird abflusswirksame Vorlandfläche im numerischen Modell vernachlässigt.

Abbildung rechts: Korrekte Profilierung nach [8, 9 und 10]

Eine dritte Ungenauigkeit resultiert aus der softwarespezifischen Methodik der Bewuchssimulation: Die Berechnungsergebnisse in Anlage 9 sowie die Informationen zum Softwarepaket REHM FLUSS [2] lassen maximal eine dreigliedrige Profilaufteilung erkennen (vgl. auch Abbildung 5.1 im ibs-Bericht). Wenn sich Bewuchs beispielsweise nur entlang der Uferböschung oder innerhalb eines verlandeten Bühnenfeldes befindet, bietet die Software keine Möglichkeit einer örtlichen Begrenzung der Vegetationssektionen.

Anhand der vorliegenden Ergebnisse wird ersichtlich, dass die dort erhobenen lokalen Bewuchsparameter jeweils durch die Automatisierung des Programms für gesamte Vorlandsektionen angenommen wurden. Hieraus resultiert ein enormer Fehler bei der Berechnung der Wasserstände; die Berechnungsergebnisse sind in diesem Fall sehr ungenau und führen tendenziell zu unrealistisch hohen Wasserständen. Dies wurde auch auf telefonische Anfrage bei ibs bestätigt.

Die im Rahmen des ibs-Berichtes zitierte Fachliteratur [10] empfiehlt für strukturreiche vegetationsbestandene Querschnitte eine Einteilung der Vorländer in mehrere Sektionen, welche durch Trennflächen abgegrenzt werden.

Das folgende Beispiel zeigt deutlich den Unterschied der hydraulischen Leistungsfähigkeit bei einer „Einfachsektionierung“ nach dem Standardvorgehen der REHM-Software und einer Sektionierung im Sinne des DVWK Merkblattes 220/1991 [10].

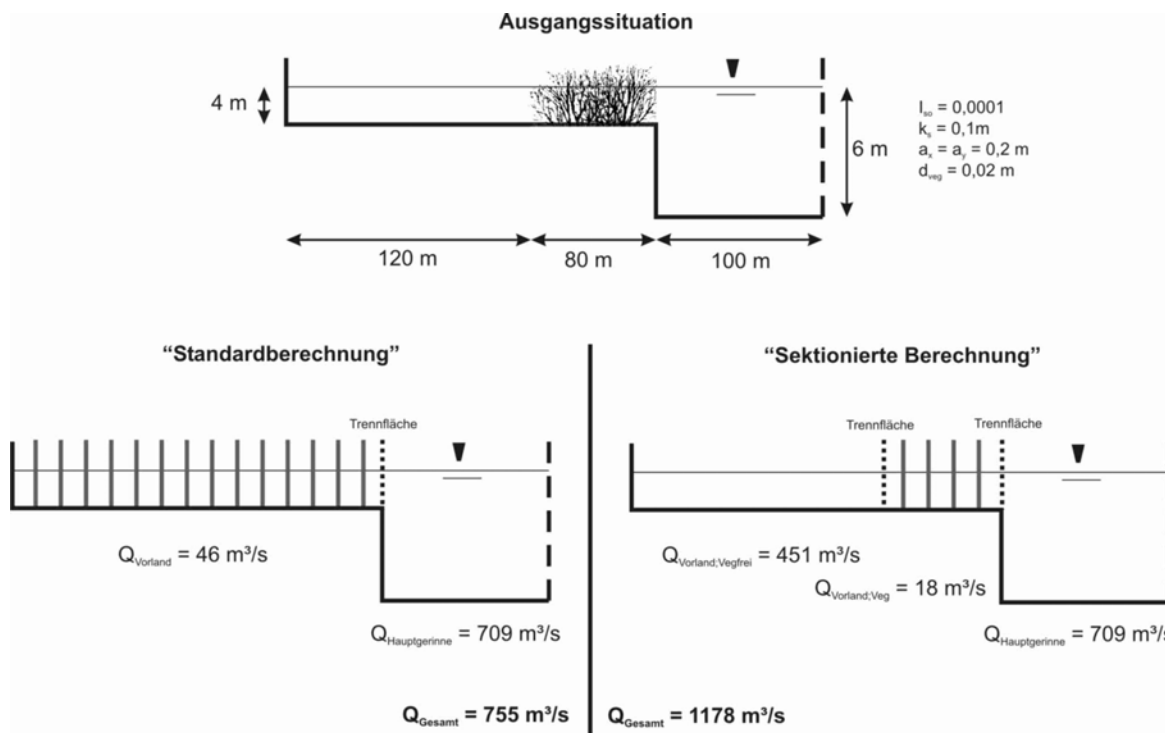


Abbildung: Auswirkung der Bewuchsmodellierung auf das Berechnungsergebnis am Beispiel der hydraulischen Leistungsfähigkeit bei gegebener Fließtiefe.

Bei der dreigliedrigen „Standardberechnung“ (links) wurden die Bewuchsparameter der ufernahen Vegetation auf das komplette Vorland umgelegt, was so nicht der Realität entspricht. Die DVWK-Konforme „Sektionierte Berechnung“ [10, 5] arbeitet mit mehreren fiktiven Trennflächen und führt zu einer deutlich besseren Abbildung der Realität. Die hydraulische Leistungsfähigkeit bzw. Wasserstände werden dabei exakter berechnet.

Modellkalibrierung

Der gesamte Prozess der Modellkalibrierung geht aus dem Bericht nicht verständlich hervor. Die Ergebnisausdrücke in Anlage 9 geben lediglich einen verwendeten k_s -Wert von 150 mm an. Ebenso unverständlich ist das dargestellte Procedere bei der Kalibrierung der Werte für das Abflussereignis von 1999: Diese Werte spielen anscheinend keine Rolle bei den weiteren durchgeführten Simulationen.

Ferner erfolgten weitere Kalibrierungen anhand der Hochwasserereignisse von April 1988 und März 1993 (ibs-Bericht Seite 10). Beide Hochwässer sind kleiner als das Hochwasser 1999; trotzdem wird bei der Szenariensimulation ($Q = 4.000 \text{ m}^3/\text{s}$) nicht auf die Kalibrierung der Werte vom Hochwasser 1999 zurück gegriffen. Dies ist nicht verständlich, da 1999 die Vegetationsentwicklung eher dem heutigen Stand entsprach, als dies 1988 oder 1993 der Fall war. Eigentlich sollte davon ausgegangen werden, dass eine Modellkalibrierung mit relativ aktuellen Bewuchsdaten zu einer besseren Qualität der Berechnungsergebnisse führt.

Szenariensimulationen

Aus dem ibs-Bericht geht nicht nachvollziehbar hervor, wie die sukzessive Bewuchsentwicklung (insbesondere auf den Bühnen, welche im Modell nicht modelliert sind) parametrisiert wurde.

Fazit und Schlussfolgerungen aus unserer Sicht

Der ibs-Bericht verfolgt das Ziel, mittels einer eindimensionalen Strömungsanalyse mit dem Softwareprodukt REHM FLUSS ein Strömungsgebiet abzubilden, welches sich durch

- eine sehr komplexe Geometrie (Buhnen, Mäander, etc.),
- sehr dynamische Veränderungen und Entwicklungen (Erosion, Sedimentation, Bewuchs) und
- sehr diverse Oberflächen- und Formwiderstände, welche durchaus nur lokal und im Kollektiv wirken,

auszeichnet. Demzufolge treten im Untersuchungsgebiet hauptsächlich zwei- und dreidimensionale Strömungseffekte auf, die mit einem eindimensionalen Ansatz nur sehr grob nachvollzogen werden können.

Zudem werden aus dem ibs-Bericht die Schwierigkeiten bei der Erfassung und hydraulischen Darstellung der Bewuchselemente und die Probleme bei der modellgerechten Abbildung der Realität ersichtlich. Genau diese Probleme werden in der Schlussfolgerung des ibs-Berichtes berücksichtigt und führen zu vagen Aussagen bzgl. der Wasserstände beim Bemessungshochwasser.

Nach unserer Meinung ist die pauschale Aussage der Fachbehörde (Bezirksregierung Lüneburg), dass aufgrund einer angenommenen Vegetationsentwicklung ein Wasserspiegelanstieg von 50 cm im Strömungsgebiet resultiert, mit den verwendeten eindimensionalen Modell nicht haltbar.

Selbst die Verfasser des ibs-Berichtes empfehlen den Einsatz eines zweidimensionalen Berechnungsmodells, um die komplexen Strömungseffekte besser nachbilden zu können und so geeignete Unterhaltungsmaßnahmen abzuleiten (ibs Seite 19).

Mit einer zweidimensionalen Strömungsanalyse können zunächst die eigentlichen „hydraulischen Flaschenhälse“ identifiziert werden. Durch Szenariensimulationen wird es möglich, an diesen Stellen durch lokale Maßnahmen (z.B. Gehölzentfernung) den Hochwasserschutz für weite Gebiete zu optimieren.

Somit wäre zum Einen ein ökonomisches Handeln gewährleistet, bei dem der Eingriff in das eigendynamische Ökosystem „Elbe-Landschaft“ möglichst minimal bleibt. Zum Anderen bildet ein zweidimensionales Modell auch für zukünftige Untersuchungen (z.B. Buhneninstandhaltung, Deichrückverlegung, Kopplung mit Feststofffrachtmodulen, etc.) eine solide Basis.

Literatur

- [1] Lindner, K., 1982: Der Strömungswiderstand von Pflanzenbeständen. Braunschweig (Mitteilungen des Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Heft 75).
- [2] REHM Software GmbH, 2004: Flussbau 1D: Grundlagen und Vergleich der Berechnungsverfahren, Schulungsunterlagen Weiterbildung in Neu Ulm am 31.03.2004.
- [3] Järvelä, J., 2002: Flow resistance of flexible and stiff vegetation: a flume study with natural plants. Journal of Hydrology (Vo. 269, No. 1): pages 44-54.

- [4] Stephan, U., 2002: Zum Fließwiderstandsverhalten flexibler Vegetation. Wiener Mitteilungen (Band 180).
- [5] Lehmann, B., 2005: Empfehlungen zur naturnahen Gewässerentwicklung im urbanen Raum. Karlsruhe (Mitteilungen des Institut für Wasser und Gewässerentwicklung der Technischen Universität Karlsruhe, Heft 230).
- [6] Schneider, S., 2003: Unterhaltungsstrategien für naturnahe Gewässer innerhalb von Ortslagen unter Berücksichtigung morphologischer Entwicklungen am Beispiel der Naturmessstrecke Enz/Pforzheim. Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH). Karlsruhe.
- [7] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), 2003: Hydraulik naturnaher Fließgewässer. Teil 4: Numerische Modelle zur Strömungssimulation. Karlsruhe (Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie, Heft 79).
- [8] Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK), 1999: Hydraulische Berechnung von Fließgewässern Teil 1. Düsseldorf.
- [9] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), 2003: Geodaten für die Wasserwirtschaft. Karlsruhe (Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie, Heft 80).
- [10] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), 1991: Hydraulische Berechnung von Fließgewässern. Hamburg (Merkblätter Heft 220/1991).

Karlsruhe, den 28.02.2006



Dr.-Ing. Boris Lehmann, IWG