

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Musall, Mark; Seidel, Frank; Riesterer, Jochen; Läkemäker, Katrin; Oberle, Peter; Lehmann, Boris; Nestmann, Franz

Numerische und physikalische Modelluntersuchungen im Rahmen der Planung der Fischaufstiegsanlage Geesthacht an der Elbe

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/20.500.11970/103563>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Musall, Mark; Seidel, Frank; Riesterer, Jochen; Läkemäker, Katrin; Oberle, Peter; Lehmann, Boris; Nestmann, Franz (2012): Numerische und physikalische Modelluntersuchungen im Rahmen der Planung der Fischaufstiegsanlage Geesthacht an der Elbe. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Staubauwerke - Planen, Bauen, Betreiben. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 47. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 337-346.

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.



Numerische und physikalische Modellunter- suchungen im Rahmen der Planung der Fischaufstiegsanlage Geesthacht an der Elbe

Mark Musall
Frank Seidel
Jochen Riesterer
Katrín Läkemäker
Peter Oberle
Boris Lehmann
Franz Nestmann

Zur Untersuchung der im Zusammenhang mit der Planung der größten Fischaufstiegsanlage Europas am Elbewehr Geesthacht aufgetretenen hydraulischen Fragestellungen wurden am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung des Karlsruher Instituts für Technologie umfangreiche aufeinander abgestimmte numerische, physikalische und ethohydraulische Modellversuche durchgeführt. Diese hybride Vorgehensweise zeigte umfangreiche Synergieeffekte. Zudem konnte eine gute Prognosefähigkeit der numerischen Simulation nachgewiesen werden. Die damit erreichte hohe Qualität der Anlagenplanung wird mittlerweile durch das sehr erfolgreiche Monitoring an der seit Herbst 2010 in Betrieb befindlichen Anlage bestätigt.

Stichworte: HN-Modellierung, Hybride Modellierung, Ethohydraulik,
Fischaufstiegsanlage Geesthacht

1 Veranlassung und Zielsetzung

Am nördlichen Elbufer bei der Wehranlage Geesthacht wurde 2010 ca. 20 km südöstlich von Hamburg von der Vattenfall Europe Generation AG eine zusätzliche Fischaufstiegsanlage in Betrieb genommen. Diese ist als Doppelschlitzpass ausgeführt und ermöglicht einem breiten Artenspektrum den Elbaufstieg. Die Dimensionierung der Anlage orientierte sich dabei gemäß DVWK an dem größten (atlantischer Stör) und dem schwimmschwächsten (Flunder) Fisch, der das Bauwerk passieren soll.

Da bei der Übertragung bekannter Dimensionierungsparameter für Doppelschlitzpässe auf eine Anlage der dadurch erforderlichen Größe Unsicherheiten vorhanden waren, wurde die Strömungscharakteristik in Abstimmung mit Fischsachverständigen mittels umfangreicher Modelluntersuchungen ermittelt und hinsichtlich ihrer Funktionstüchtigkeit überprüft.

Das Strömungsverhalten innerhalb der neu zu planenden Anlage war dabei so zu bemessen, dass sich zum einen ein durchgängiger Wanderkorridor mit einem für die Fische gut wahrnehmbaren Strömungspfad ausbildet und zum anderen die lokalen Strömungsgeschwindigkeiten und Turbulenzmuster eine Passage der Fischaufstiegsanlage auch für leistungsschwächere Fischarten ermöglichen. Bezogen auf die Zielarten wurden dabei Geschwindigkeitsgrenzwerte von $0,3 \text{ m/s} < v < 1,5 \text{ m/s}$ definiert, welche an mindestens 300 Tagen im Jahr einzuhalten sind, um die ausreichende Passierbarkeit der Anlage zu gewährleisten. Diese Strömungseigenschaften waren auch für die beiden aus Platzgründen im oberen Drittel der FAA vorgesehenen 180-Grad Umlenkungen nachzuweisen, wobei hier zusätzliche Anforderungen wie z.B. die gleichmäßige Beaufschlagung der Innen- und Außenkurve und die Vermeidung negativer Beeinflussungen der nachfolgenden Becken zu beachten waren. Aufgrund der Beeinflussung des Unterwassers der Anlage durch die Tide und ggf. damit verbundener lokaler Unterschreitungen der Mindestfließgeschwindigkeit bei Tidehochwasser mussten darüber hinaus weitere standortspezifische Anpassungen in Form zusätzlicher Wassereinspeisungen (Dotationen) analysiert und in das Gesamtkonzept integrieren werden.

Neben der Strömungscharakteristik innerhalb der Anlage waren auch deren Anströmung, die Auffindbarkeit des unterstromigen Einstieges, die strömungsbedingten Belastungen auf einzelne Bauwerksteile im Hochwasserfall sowie die am oberstromigen Zulauf gelegene Fischzählanlage (Monitoringstation) Gegenstand der hydraulischen Untersuchungen. Diese erfolgten in enger Zusammenarbeit mit Fischsachverständigen des Instituts für angewandte Ökologie (IfÖ), Kirtorf-Wahlen sowie dem planenden Ingenieurbüro KED, Hamburg.

2 Untersuchungsgebiet

Die Wehranlage Geesthacht, das einzige Querbauwerk der Elbe auf deutschem Gebiet, liegt an Elbe-km 585,9 und stellt das oberstromige Ende der Tideelbe dar. Bedingt durch den mittleren Tidehub von fast 4 m im Unterwasser des Wehres, ist durch die FAA ein ständig variierender Höhenunterschied von min-

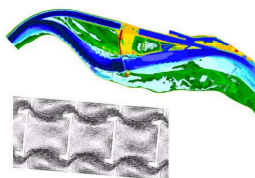
destens ca. 0,7 m bis maximal ca. 4,5 m zu überwinden. Der langjährige mittlere Elbabfluss im Untersuchungsgebiet beträgt ca. 700 m³/s. Das jährliche Spektrum erstreckt sich dabei von ca. 300 m³/s bis zu ca. 1900 m³/s. Der maximal beobachtete Abfluss trat während des Augusthochwassers 2002 mit $Q > 3500$ m³/s auf. Die Wehranlage besteht aus 4 Wehröffnungen von je 50 m Breite, wo mit beweglichen Stahlsektoren der Wasserstand im Oberwasser geregelt wird, sowie zwei weiteren Wehrfeldern mit festen Wehrschwellen, die nur bei Hochwasser durchströmt werden. Am südlichen Ufer existiert seit 1998 eine kleine, jedoch stark selektiv wirkende Fischaufstiegsanlage in Rauhgerinnebauweise, die den heutigen Ansprüchen nicht mehr genügt.

3 Untersuchungskonzept

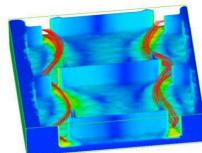
Das Untersuchungskonzept basierte auf einer hybriden Vorgehensweise, bestehend aus mehreren numerischen und physikalischen Modellen. Dabei werden basierend auf numerischen Modellergebnissen Vorplanungen erstellt sowie Wechselwirkungen mit der Umgebung quantifiziert. Anschließend erfolgt die Detailoptimierung in physikalischen Modellen. Über wechselseitig angepasste Modellrandbedingungen erfolgt die interaktive Kopplung der einzelnen Modelltypen untereinander.

Hybride Modellierung FAA Geesthacht

- Voruntersuchung durch numerische Modelle
- Detailoptimierung im physikalischen Modell
- Interaktive Kopplung
- Ethohydraulische Modelle



2D-HN-Modelle
- großräumig / Voranalysen -



3D-HN-Modelle
- hochaufgelöst -



Physikalisches Modell
- Detailoptimierung -



Ethohydraulische Modelle
- Fischverhalten -

Abbildung 1: Modellbausteine der hybriden Untersuchungen zur FAA Geesthacht

Die Vorteile dieser hybriden Herangehensweise liegen neben der meist deutlichen Zeitersparnis vor allem in Synergieeffekten bedingt durch die jeweiligen modellspezifischen Vorteile sowie in der gegenseitigen Absicherung bzw. Ergänzung der Ergebnisse. So konnten z.B. bei der Ermittlung eines für die fischökologische Bewertung erforderlichen, vollständigen Geschwindigkeitsbilds im Schlitzquerschnitt (vgl. Abb. 2) wandnahe Bereiche, die aus messtechnischen Gründen nicht bzw. nur ungenau zu erfassen waren, mit den Ergebnissen der numerischen Simulation vervollständigt werden.

Nachfolgend werden die einzelnen Modellbausteine der Untersuchung kurz erläutert (vgl. auch Abb. 1).

3.1 2D-Modell des Elbabschnitts von Elbe-km 580 bis 588

Über ein tiefengemittelttes 2D-HN-Modell eines ca. 8 km langen Elbabschnitts im Bereich der Wehranlage Geesthacht erfolgte die Untersuchung der zu erwartenden Leitströmung sowie der Anströmung der Anlage im Oberwasser. Des Weiteren diente dieses numerische Modell auch zur Ermittlung und Quantifizierung der maßgebenden Lastfälle bei Hochwasser.

3.2 2D-Gesamtmodell der FAA

Zur Analyse der Auswirkungen der Tide auf die Strömung und die Wasserstände in der Fischaufstiegsanlage sowie zur Vordimensionierung des Dotationskonzepts zur Sicherung eines durchgängigen Strömungspfads in der Anlage bei Tidehochwasser wurde ein detailliertes tiefengemittelttes 2D-HN-Modell der gesamten Fischaufstiegsanlage eingesetzt. Auf Basis dieses Modells konnte zudem auch die grundlegende Strömungscharakteristik hinsichtlich der Lage von Bereichen hoher bzw. niedriger Geschwindigkeiten sowie der Abgrenzung von Ruhe-zonen analysiert werden.

3.3 3D-HN-Teilmodelle der FAA

Zusätzlich zu der tiefengemittelten Modellierung wurden mehrere vollständig dreidimensionale HN-Modelle erstellt, welche einzelne Teilbereiche der geplanten Anlage abbildeten. Damit wurden die Modelltopographie sowie die hydraulischen Rahmenbedingungen eingehenden Sensitivitätsanalysen unterzogen und entsprechend den, durch die Fischsachverständigen definierten, Anforderungen optimiert.

3.4 Physikalisches Modell, Maßstab 1:13

Ergänzend zu den numerischen Strömungsberechnungen wurde ein detailliertes physikalisches Modell der kompletten Anlage im Maßstab 1:13 aufgebaut. Dabei wurden alle relevanten Einbauten originalgetreu nachgebildet. Die Modellierung des Tidehubs durch unterwasserseitige Wasserstandsänderungen war ebenso möglich wie die Simulation der Dotationen im Tidehochwasserfall. Mit diesem physikalischen Modell konnten die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen hinsichtlich der Strömungsmuster und der sich einstellenden Geschwindigkeiten validiert werden. Des Weiteren wurden u.a. die Dotationseinleitungen und die Strömung im Bereich der Monitoringstation optimiert sowie wesentliche strömungsbedingte Belastungen einzelner Bauteile ermittelt.

3.5 Ethohydraulisches Modell, Maßstab 1:3

Ergänzend zu den rein hydraulisch motivierten Modellversuchen stellte sich die Frage, ob insbesondere die schwimmschwachen Fischarten in der Lage sind, die Zonen mit hohen Fließgeschwindigkeiten, welche sich hinter den Schlitten infolge der dortigen Einengungen ergeben, zu durchschwimmen. Hierzu wurden ethohydraulische Versuche mit lebenden Fischen in einem separaten Modell durchgeführt, welches einen halbsymmetrischen Ausschnitt des Schlitzpassabschnittes im Maßstab 1:3 darstellte.

4 Modellergebnisse

4.1 Strömungspfade / Fließgeschwindigkeiten

Mit den numerischen Modellen wurde ein umfassendes Variantenstudium mit insgesamt über 50 Geometrievarianten mit unterschiedlicher Festlegung und Kombination von Gerinnebreite, Beckenlänge, Ausformung der Leiteinrichtungen sowie Sohlneigung und Beckenanzahl durchgeführt. Basierend auf diesen Analysen wurde die endgültige Planungsvariante mit 45 Becken, einer Wassertiefe von $y_{\max} = 1,75$ m, einem Abfluss von ca. $Q = 4,5$ m³/s, einer Beckenlänge $l_b = 9,3$ m, Wasserspiegeldifferenzen zwischen den Becken von $h = 10$ cm sowie einer Sohlneigung von 1:93 festgelegt, welche sich durch einen durchgehenden Fließkorridor sowie die Einhaltung der geforderten Grenzwerte auch im Schlitzbereich auszeichnet. Die derart über die numerische Modellierung optimierte Strömung wurde anschließend im physikalischen Modell validiert, wobei sich

eine sehr gute Übereinstimmung der Strömungsmuster und der sich einstellenden Geschwindigkeiten zeigte.

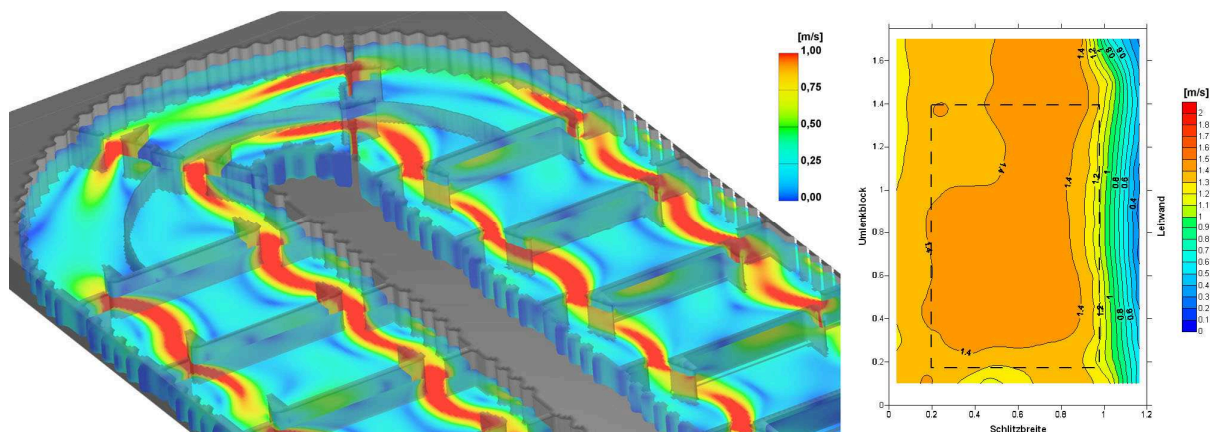


Abbildung 2: In einer 180°-Umlenkung berechnete Strömung sowie hybrid ermitteltes Geschwindigkeitsbild in einem Schlitz

4.2 Tideeinfluss / Dotationskonzept

Bedingt durch den starken Tideeinfluss im Unterwasser wird die Fischaufstiegsanlage über große Zeiträume von unten her eingestaut, was dort zu einer Reduktion der relevanten Fließgeschwindigkeiten im Strömungspfad führt. Dieser, bis zu einem gewissen Ausmaß durchaus positive Effekt, würde bei Tidehochwasser jedoch dazu führen, dass die Geschwindigkeiten zwischen den Schlitzten auf ein für die Fische nicht mehr als Leitströmung wahrnehmbares Maß absinken würden, so dass die Funktionsfähigkeit der Anlage zu diesen Zeiten nicht gewährleistet wäre. Um dem entgegenzuwirken, wurde vom Planer ein Dotationskonzept entwickelt, bei dem mit steigenden Unterwasserständen an mehreren Stellen innerhalb der Anlage zusätzlich Wasser zugegeben wird. Durch diese Zugaben werden der Gesamtabfluss der Anlage und damit auch die Fließgeschwindigkeiten auf ein fischökologisch vorgegebenes Mindestmaß erhöht.

Im Rahmen der Modelluntersuchungen galt es zu ermitteln, an welchen Stellen innerhalb der FAA durch diese zusätzlichen Wasserzugaben eine ausreichende Kompensation der Rückstauereffekte bewirkt werden kann. Auch diese Untersuchung wurde zunächst durch ein Variantenstudium am numerischen Modell durchgeführt, was zur Identifikation von insgesamt sieben günstigen Zugabestellen führte. Im physikalischen Modell wurde anschließend untersucht, mittels welchen konstruktiven Maßnahmen die zusätzliche Dotationswassermenge in die einzelnen Becken einzuleiten ist. Dabei galt es zu berücksichtigen, dass durch die zusätzliche Dotationseinleitung der eigentliche Hauptströmungs-

pfad, der zugleich den Wanderkorridor für die aufwandernden Fische darstellt, auch lokal nicht gestört wird.

In der optimierten Variante wird das zusätzliche Dotationswasser nun aus dem Oberwasserraum vor dem Wehr entnommen und gravimetrisch über Rohrleitungen, deren Durchfluss mittels schwimmergesteuerter Drosselemente abhängig vom Beckenwasserstand reguliert wird, an die jeweiligen Dotationsstellen geleitet. Dort erfolgt die Zugabe über zwei an der oberstromigen Seite der Trennwände positionierte Zuleitungen sowie auf den Trennwänden angebrachte Prallkörper. Diese Planung wurde auch beim späteren Bau der Anlage umgesetzt, wobei das sich über den kompletten Tidehub einstellende Strömungsmuster die gewählte Herangehensweise bestätigt (vgl. Abb. 3).



Abbildung 3: Fließkorridor in der FAA bei unterschiedlichen Randbedingungen (links) und Dotationselement nach Realisierung in Natur (rechts)

4.3 Quantifizierung Strömungsbelastung

Zur statischen Bemessung der Trennwände zwischen den einzelnen Becken der FAA war die Kenntnis der infolge Um- und Überströmung maximal darauf einwirkenden hydrodynamischen Kräfte notwendig. Um diese im physikalischen Modell durch Kraftmessungen an den betroffenen Bauteilen ermitteln zu können, mussten zunächst die maßgebenden Abflussszenarien ermittelt werden. Dies erfolgte über eine Analyse historischer Daten. Die maximale Strömungsbelastung auf die Bauteile stellt sich demnach ein, wenn bei einem großen Abflussanteil im FAA-Gerinne ein steiles Wasserspiegelgefälle vorhanden ist. Aus der verstärkten Fließbewegung resultieren dann z. T. hohe hydrodynamische Belastungen, welche sich rein theoretisch nur ungenau ermitteln lassen. Bei großen Hochwasserereignissen ist die FAA Geesthacht hingegen von unterstrom fast vollständig eingestaut, so dass als maßgebende Bemessungsereignisse

Hochwässer mit einer Jährlichkeit von 2 Jahren bis 5 Jahren identifiziert wurden (vgl. Abb. 4).

Unter Einsatz des 2D-HN-Modells (vgl. 3.1) konnten anschließend die detaillierten Fließwege sowie die Abflussaufteilung berechnet werden. Die anschließend im physikalischen Modellversuch mittels Kraftmessungen an gelenkig gelagerten Trennwänden ermittelten Kraftwerte wurden durch eine Variation der Belastungszustände plausibilisiert und mit üblichen Sicherheitszuschlägen beaufschlagt. Sie dienten letztlich als Basis der statischen Nachweise der Bauteilstabilität durch den Fachplaner.

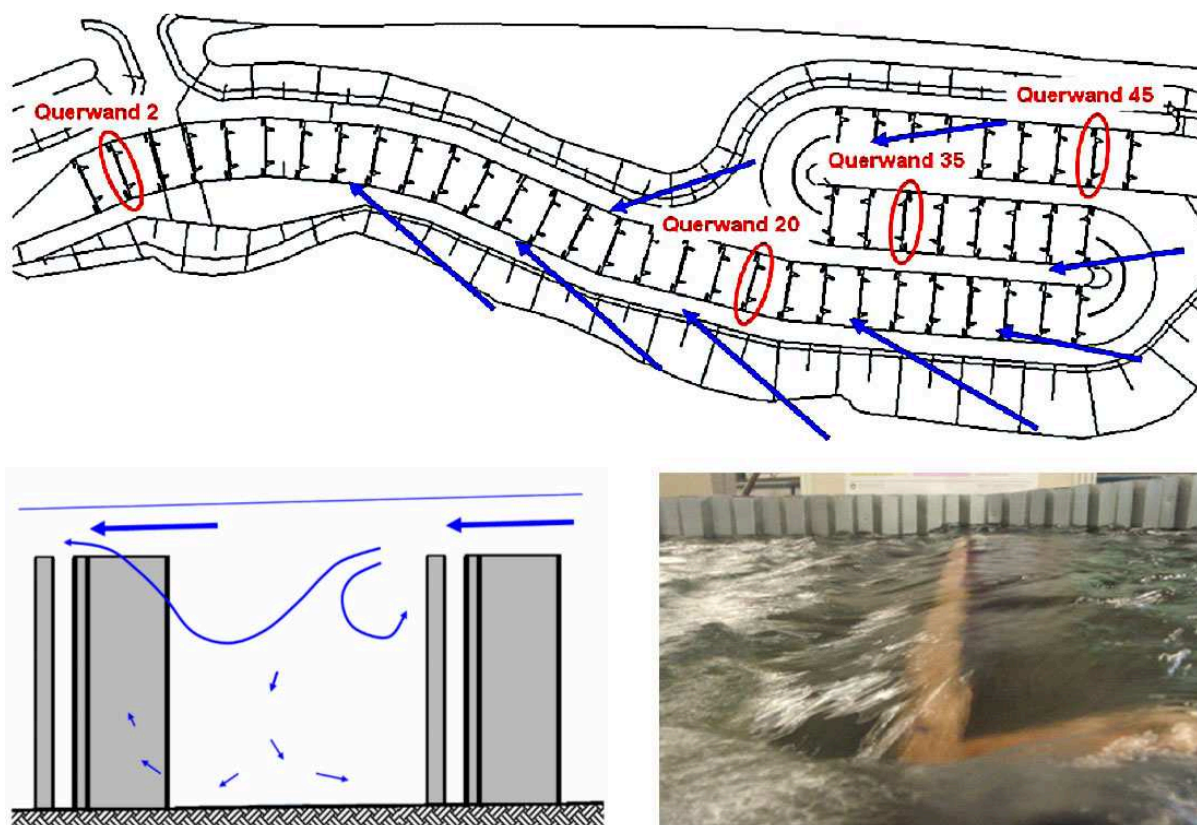


Abbildung 4: Seitliche Zuflüsse in die FAA im Hochwasserfall (oben) und schematische sowie im physikalischen Modell visualisierte Trennwandüberströmung

Am 20. Jan 2011 wurde während des Hochwassers der Elbwasserstand im Oberwasser von 5,10 mNN überschritten und es kam zu der prognostizierten seitlichen Einströmung in das FAA-Gerinne und den damit einhergehenden hohen Abflüssen und Fließgeschwindigkeiten. Die auf Basis der hybriden Modellierung dimensionierten Bauteile hielten diesem Ereignis, welches in der Größenordnung des Bemessungsereignisses lag, problemlos stand.

4.4 Ethohydraulische Untersuchungen

Da untersucht werden sollte, ob die in der Naturanlage herrschenden Fließgeschwindigkeiten im Schlitzbereich von Fischen passierbar sind, musste das im Maßstab 1:3 verkleinerte Modell mit geringeren Wassertiefen und erhöhten Durchflüssen gefahren werden, um eine situative Ähnlichkeit zur Natur zu gewährleisten. Mit den Verhaltensbeobachtungen an den eingesetzten Fischen unterschiedlicher Arten und Altersstadien konnten dabei wertvolle Erkenntnisse zur Art der Schlitzpassage erarbeitet werden (vgl. Abb. 5). Zudem führten diese Erkenntnisse zu einer Anpassung der Vorgaben hinsichtlich der maximal zulässigen Schlitzgeschwindigkeiten resp. der maximal zulässigen Wasserstandsunterschiede zwischen zwei jeweils benachbarten Becken.

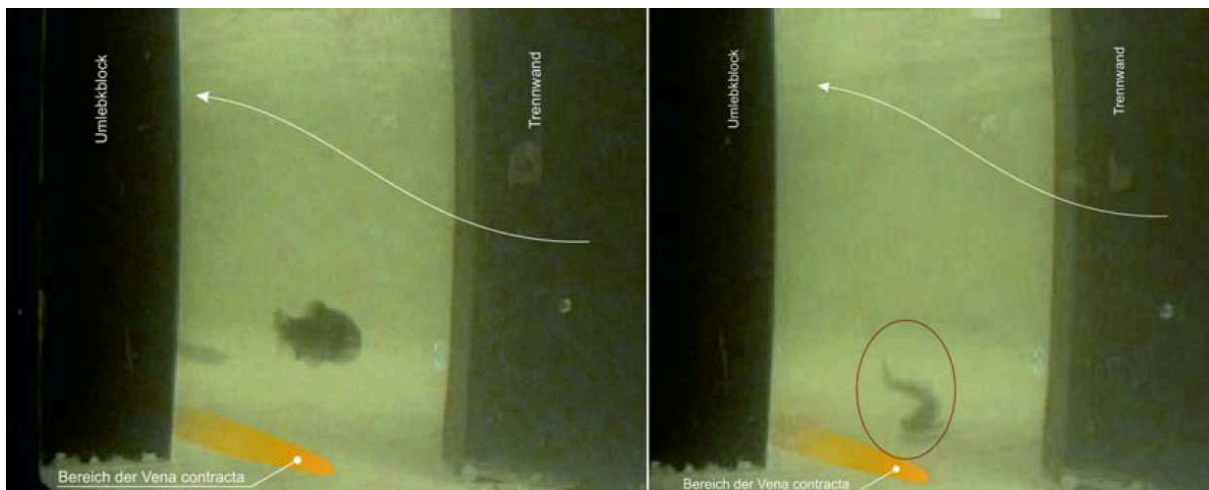


Abbildung 5: Schlitzpassage einer Bachforelle (links) sowie eines jungen Besters (rechts)

5 Zusammenfassung / Ausblick

Zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der FAA Geesthacht waren im Rahmen der Planungsphase umfangreiche hydraulische, bautechnische und fischökologische Fragestellungen zu analysieren. Zu deren Beantwortung kam ein innovatives, hybrides Untersuchungskonzept zum Einsatz. Durch die Kombination numerischer Voruntersuchungen mit physikalischen Laboruntersuchungen und ethohydraulischen Versuchen mit lebenden Fischen konnte das modelltechnische Potential derartiger Untersuchungen weitestgehend ausgeschöpft und die Anlagenplanung damit auf einem größtmöglichen Qualitätsniveau realisiert werden. Dies wird auch durch die Ergebnisse des mittlerweile seit über einem Jahr laufenden Monitorings nachdrücklich gezeigt.

6 Literatur

- Adam, B., Lehmann, B. (2011): Ethohydraulik. Grundlagen, Methoden, Erkenntnisse. Springer-Verlag Heidelberg
- Lehmann, B. et. al. (2012): Physikalische Begleituntersuchungen zur Fischaufstiegsanlage am Elbewehr bei Geesthacht, Wasserwirtschaft 4/2012
- Musall, M. (2011): Mehrdimensionale hydrodynamisch-numerische Modelle im praxisorientierten und operationellen Einsatz, Dissertation Fakultät für Bauingenieur-Geo- und Umweltwissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie
- Oberle, P., Musall, M., Riesterer, J., Nestmann, F. (2012): Numerische Modelluntersuchungen im Rahmen der Planung der Fischaufstiegsanlage Geesthacht, Wasserwirtschaft 4/2012

Autoren:

Dr.-Ing. Mark Musall

Institut für Wasser und Gewässerentwicklung
Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe

Tel.: +49 721 608 4 31 63
Fax: +49 721 66 16 34
E-Mail: Musall@kit.edu

Dr.-Ing. Frank Seidel

Dipl.-Ing. Jochen Riesterer
Dipl.-Ing. Katrin Läkemäker
Dr.-Ing. Peter Oberle
Dr.-Ing. Boris Lehmann
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Franz Nestmann

Institut für Wasser und Gewässerentwicklung
Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe

Tel.: +49 721 608 4 63 88
Fax: +49 721 60 60 46
E-Mail: Seidel@kit.edu
Riesterer@kit.edu
Läkemäker@kit.edu
Peter.Oberle@kit.edu
Boris.Lehmann@kit.edu
Franz.Nestmann@kit.edu