



Fischdurchgängigkeit mittels innovativer Buhnen in kombinierten skalierten und ethohydraulischen 1:1-Modellversuchen am Beispiel des Wienflusses

Christine Sindelar · Nora Lasinger · Matthias Buchinger · Elena Leutgöb · Helmut Habersack

Angenommen: 11. Januar 2024 / Online publiziert: 29. Januar 2024
© The Author(s) 2024

Zusammenfassung Der Wienfluss ist im Stadtgebiet von Wien über weite Strecken ein künstliches Gerinne mit gepflasterter Sohle und monotonem Querprofil. Geringe Wassertiefen und hohe Geschwindigkeiten bei niedrigen Abflüssen sorgen dafür, dass der Wienfluss an vielen Stellen nicht fischpassierbar ist. In einem skalierten physikalischen 1:8-Modell wurde eine optimale Buhnenvariante durch Variation verschiedener Buhnenparameter entwickelt, die im 4 km langen Projektgebiet ab der Kennedybrücke die Fischdurchgängigkeit wiederherstellen kann. Die Lösungsvariante besteht aus wechselseitig angeordneten inklinanten Buhnen mit einer Höhe von 0,2 m, einer Länge von 4 m, einem Winkel von 70 Grad und einem Buhnenabstand von 6 m. Die Möglichkeiten des neuen BOKU-Wasserbaulabors wurden genutzt, um einen Abschnitt des Wienflusses samt den Buhnen im Naturmaßstab 1:1 aufzubauen. In ethohydraulischen

Versuchen wurde überprüft, ob die Leitfischarten des Wienflusses – Aitel, Gründling und Schmerle – bei den Durchflüssen Q₃₃₀ und MQ die Buhnenstrecke durchwandern können. Dieser Nachweis konnte für den Aitel und den Gründling erbracht werden. Die nacht- und dämmerungsaktiven Schmerlen konnten in der Nacht nicht beobachtet werden, konnten sich aber problemlos in der Buhnenstrecke aufhalten, ohne abzudriften. Naturähnliche 1:1-Versuche im BOKU-Wasserbaulabor ermöglichen es, das volle Spektrum an klein- und großskaligen Strukturen in turbulenten Strömungen abzubilden und durch die Verwendung von Donauwasser Wasserqualitätsprobleme auszuschließen, was für (etho-)hydraulische Fragestellungen einen entscheidenden Vorteil darstellt.

Schlüsselwörter Innovative überströmte Buhnen · Fischdurchgängigkeit · 1:1 ethohydraulischer Modellversuch

Fish passability through innovative groynes in combined scaled and etho-hydraulic 1:1 model tests using the example of the Wienfluss river

Abstract The Wien River is an artificial channel with a paved bed and uniform transverse profile over long stretches in the urban area of Vienna. Due to low water depths and high velocities at low flow fish migration is not possible in many places of the Wien River. In a scaled physical 1:8 model, an optimal groyne variant was developed by varying various groyne parameters, which can restore fish passability in the 4 km long project area downstream of the Kennedy Bridge. The final groyne design consists of alternately arranged deflecting groynes with a height of 0.2 m, a length of 4 m, an angle of 70 degrees and a groyne spacing

of 6 m. The opportunities of the new BOKU River Lab were used to construct a part of the Wien River including the groynes on a 1:1 scale. Ethohydraulic tests were carried out to check whether the key fish species of the Wien River chub, gudgeon and loach can migrate through the groyne section at flow rates Q₃₃₀ and MQ. This was proven for the chub and the gudgeon. No nocturnal experiments were possible for the nocturnal and crepuscular loaches but they were able to stay in the groyne section without being drifted off. Near-natural 1:1 experiments in the BOKU River Lab make it possible to reproduce the full spectrum of small- and large-scale structures turbulent flows, in addition due to the use of Danube river water there are no water quality issues. Both aspects are decisive advantages for (etho-)hydraulic questions.

Keywords Innovative submerged groynes · Fish passability · 1:1 etho-hydraulic experiment

1 Einleitung

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL, 2000) strebt den guten ökologischen Zustand für alle Oberflächengewässer an. Die konkrete Umsetzung zur Erreichung der Ziele wird in 6-Jahres-Perioden im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) festgesetzt. In der laufenden Periode des NGP 2021–2027 steht seitens der Stadt Wien, Magistratsabteilung Wiener Gewässer (MA 45), unter anderem die Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit des Wienflusses auf der Agenda. Der Wienfluss ist im Stadtgebiet von Wien mit Ausnahme der bereits renaturierten Strecke bei km 12 ein weitgehend künstliches Gerinne mit hartverbauter Sohle und Ufermauern. Er zählt deswegen zu den erheblich veränderten Gewässern, wofür laut EU-WRRL ein gutes ökologisches Potenzial anzu-

PD Mag. DI Dr. C. Sindelar (✉) ·
DI M. Buchinger ·
Univ.-Prof. DI Dr. Dr. h.c. H. Habersack
Department für Wasser
– Atmosphäre – Umwelt, Institut
für Wasserbau, Hydraulik und
Fließgewässerforschung, Universität
für Bodenkultur Wien, Am
Brigittenuer Sporn 3, 1200 Wien,
Österreich
christine.sindelar@boku.ac.at

DI N. Lasinger
Direktion Umwelt und
Wasserwirtschaft, Abt.
Wasserwirtschaft, Gewässerbezirk
Linz, Amt der Oö. Landesregierung,
Kärntnerstraße 10–12, 4021 Linz,
Österreich

DI E. Leutgöb
RIOCOM – Ingenieurbüro für
Kulturtechnik und Wasserwirtschaft
DI Albert Schwingshandl,
Handelskai 92, 1200 Wien, Österreich

streben ist. Um das zu erreichen, ist zumindest für einen wesentlichen Teil der Leitarten und einen zumindest geringen Teil der typischen Begleitarten ein sich selbst erhaltender Fischbestand sicherzustellen. Ebenso soll die Durchgängigkeit als hydromorphologische Qualitätskomponente hergestellt werden (Koller-Kreimel und Ofenböck 2020).

In diversen Vorstudien der MA 45 wurden verschiedene Maßnahmen zur Erreichung des guten ökologischen Potenzials des Wienflusses evaluiert. Darunter fallen einerseits Renaturierungskonzepte, die auf die Schaffung von Habitaten abzielen, und andererseits reine Wanderkorridore, die selbst keine Habitate darstellen, aber dazu dienen, einzelne Habitatstrecken zu vernetzen.

Die MA 45 ist an das Institut für Wasserbau, Hydraulik und Fließgewässerforschung (IWA) der BOKU herangetreten, um das bereits vorliegende Grobkonzept zur Schaffung eines Wanderkorridors mittels Bühnen im Detail auszuarbeiten. Dies sollte in einer ersten Phase anhand eines skalierten Modellversuchs ausgearbeitet werden. In einer Phase II sollte der Bühnen-Ausführungsvorschlag aus Phase I im Maßstab 1:1 im Forschungsgerinne des BOKU-Wasserbaulabors aufgebaut werden (das war der erste Versuch nach Fertigstellung des Labors). Ziel des ethohydraulischen Versuchs war es, zu überprüfen, ob Wildfische, welche die

Leitfischarten des Wienflusses repräsentieren, in der Lage sind, die Bühnenstrecke zu durchwandern. Der vorliegende Beitrag liefert einen Überblick zu dieser Studie.

2 Projektgebiet und festgelegte Randbedingungen

Der Wienfluss entspringt im Wienerwald in Niederösterreich und hat ein Einzugsgebiet von 223 km². Auf seiner Strecke bis zur Mündung in den Donaukanal im Zentrum von Wien besitzt er ein mittleres Sohlgefälle von 0,011. Klimatische Daten zeigen einen jährlichen Niederschlag von 695 mm. Geologisch dominiert im Wienerwald Flysch, weshalb die Böden Niederschläge und Schmelzwasser nur in geringem Maß aufnehmen können. Bei starken Regenfällen steigen Hochwasserwellen daher rasch an. Beim Pegel Kennedybrücke im 14. Bezirk in Wien bei Fluss-km 7,9 hat der Wienfluss einen mittleren Durchfluss von 1,2 m³/s, wobei das 100-jährliche Hochwasser bei 325 m³/s liegt (Abb. 1). Historisch war der Wienfluss einem ständigen Wandel unterworfen, geprägt von Regulierungsversuchen seit dem 18. Jahrhundert. Heute fließt der Wienfluss im Stadtgebiet von Wien über weite Strecken in einem gepflasterten, künstlichen Gerinne, parallel zur angrenzenden U-Bahn-Trasse, weswegen dem Hochwasserschutz besondere Bedeutung zukommt. Er wird

im Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan 2021–2027 als erheblich veränderter Wasserkörper eingestuft, mit einem mäßigen bis schlechten ökologischen und chemischen Zustand. Zwischen 1994 und 1999 wurden im Bereich Auhof Renaturierungsprojekte durchgeführt, um die ökologische Vielfalt zu fördern. Weitere Maßnahmen in den 2000er-Jahren zielten darauf ab, Abschnitte des Flusses naturnäher zu gestalten und die Biodiversität zu verbessern (Lasinger und Leutgöb 2022).

Das Projektgebiet, für das eine Bühnenlösung entwickelt werden sollte, reicht von der Kennedybrücke (km 7,9) bis zur Einwölbungsstrecke im Stadtpark bei km 3,9 und ist in Abb. 1 ersichtlich.

Vor der Durchführung der Versuche wurden im Projektgebiet mehrere Querprofile hinsichtlich Sohlbreite und Uferböschungsneigung vermessen. Das Ziel war es, daraus ein charakteristisches Querprofil abzuleiten, das die natürlichen Gegebenheiten im Projektgebiet bestmöglich repräsentiert (Abb. 2). Das charakteristische Sohlgefälle wurde aus Daten der MA 45 ermittelt und beträgt 0,0046. Es wurde das steilere Gefälle im Projektgebiet ausgewählt, da dieses hinsichtlich Durchwanderbarkeit den schlechtesten Fall darstellt. Ein größeres Gefälle erzeugt nämlich größere Geschwindigkeiten und kleinere Wassertiefen. Kann die Fischdurchgängigkeit für dieses Gefälle nachgewiesen

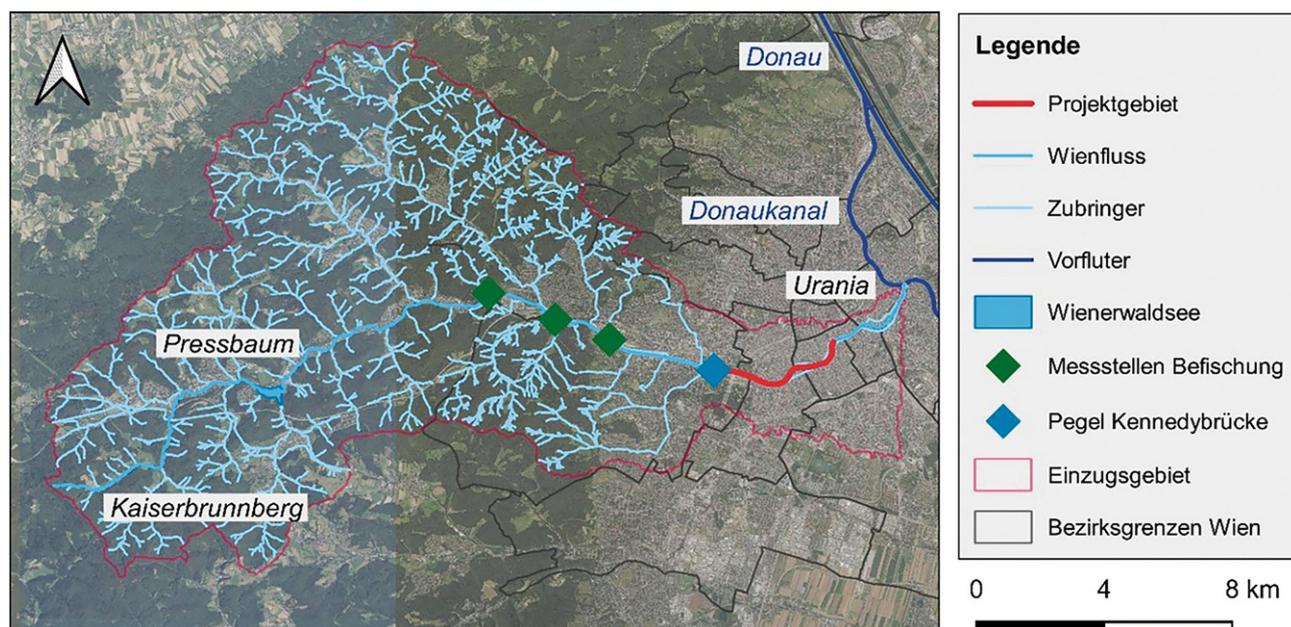


Abb. 1 Einzugsgebiet des Wienflusses bis zur Mündung in den Donaukanal im Stadtzentrum von Wien bei der Urania. Rot markiert: das Projektgebiet von km 7,9 bei der Kennedybrücke bis km 3,9 (Lasinger und Leutgöb 2022)

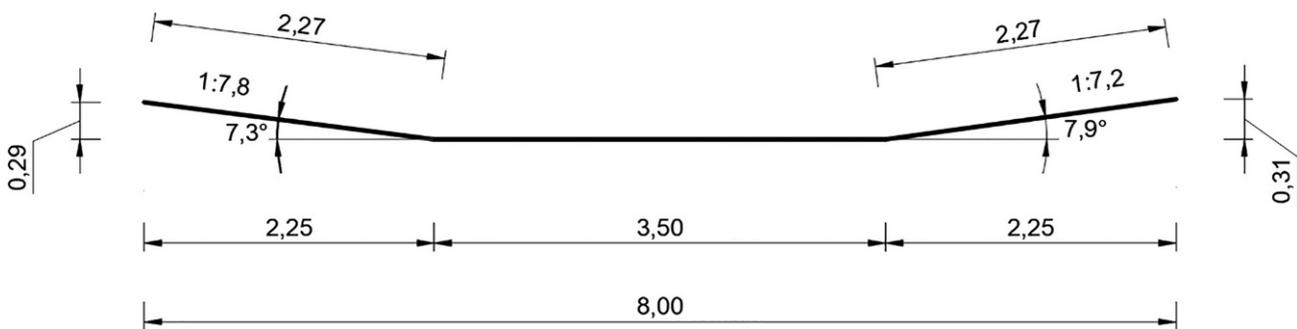


Abb. 2 Charakteristisches Querprofil im Projektgebiet, Maße in Metern (Lasinger und Leutgöb 2022)

werden, so gilt dies insbesondere auch für flachere Passagen.

Analog zum Leitfaden für Fischaufstiegshilfen (Leitfaden FAH 2021) wurde mit der MA 45 festgelegt, dass der Wanderkorridor für den Mindestwasserabfluss Q_{330} passierbar sein soll, also für jenen Abfluss, der an 330 Tagen im Jahr überschritten wird. Für die Bestimmung von Q_{330} und des Mittelwasserabflusses MQ wurden die Daten des Pegels Kennedybrücke herangezogen. Die Strömungsbedingungen sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Die Leitfischarten des Wienflusses sind der Aitel, der Gründling und die Bachschmerle. Das Ziel ist, einen Wanderkorridor für alle Leitfischarten zu schaffen, einschließlich aller Altersstadien. Für die Festlegung des Geschwindigkeitsbereichs wurden verschiedene Schwimmleistungen von Fischen analysiert. Dazu gehören bspw. die Dauerschwimmgeschwindigkeit, bei der Fische ohne Ermüdung über eine bestimmte Zeit schwimmen können, und die Sprintgeschwindigkeit, die nur kurzzeitig möglich ist. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die positive Rheotaxis, ein Verhalten von Fischen, das sie zur Strömungsrichtung führt.

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren wurden schließlich vier Zonen festgelegt, die anhand von Geschwindigkeiten und Wassertiefen klassifiziert wurden (Tab. 2).

Die gesuchte Bühnenvariante sollte einen durchgehenden Wanderkorridor erzeugen, aber auch Ruhezone bieten. Die Zonen erhöhter Geschwindigkeit oder ungenügender Wassertiefe sollten möglichst kleine Bereiche einnehmen. Für die Gewährleistung des Betriebs musste sichergestellt werden, dass große Fahrzeuge die Strecke für Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen weiterhin befahren können. Daraus ergab sich die Anforderung, dass die Bühnen entweder einen Mindestabstand von 20 m oder eine maximale Höhe von 0,20 m aufweisen sollten.

3 Versuchs-Setup und Messtechnik Phase I

Für die Phase I wurde ein physikalisches, Froude-ähnliches Modell im Maßstab 1:8 im Wasserbaulabor der Universität für Bodenkultur Wien aufgebaut. Die Versuchsanordnung in einer Glasrinne bestand aus einem Trapezgerinne mit fester Sohle im Gefälle 0,0046. Das Querprofil entsprach dem

charakteristischen Profil des Projektgebiets (Abb. 2). Zur Herstellung des Trapezgerinnes wurde mit Schaltafeln eine Unterkonstruktion gebaut. Die Belplankung erfolgte ebenfalls mit Schaltafeln. Die Rauigkeit des Modells wurde anhand von Naturmessungen kalibriert und korrelierte gut mit den Naturverhältnissen.

Die Bühnen im Modell wurden aus Hartschaum-Platten hergestellt, die mit Klebestreifen oder durch Anschrauben an der Sohle befestigt wurden. Insgesamt wurden zehn Bühnenvarianten im physikalischen Modell untersucht, wobei die folgenden Parameter variiert wurden: Inklinationswinkel α , Bühnenhöhe H , Bühnenlänge L , Bühnenbreite B , Bühnenabstand D (Abb. 3). Weiters wurde der Einfluss des Bühnenquerschnitts (Abb. 3c) und der Neigung des Bühnenrückens untersucht.

Das Messkonzept umfasst ein definiertes Messraster, das von der Anordnung der Bühnen abhängt. Wassertiefen und Wasserspiegelgefälle wurden mit einem Stechpegel und einer Messharfe gemessen. Geschwindigkeiten wurden mittels Flügelrad-Strömungssensoren erfasst.

Komplementär dazu wurde ein numerisches, hydrodynamisches 2D-Modell

Tab. 1 Strömungsbedingungen im Projektgebiet ohne Bühnen

Durchfluss (m^3/s)	Wassertiefe H (m)	Durchfluss Q (m^3/s)	Sohlgefälle S (-)	U (m/s)	$Fr = U / \sqrt{gH}$	$Re = 4R_H U / \nu$
Q_{330}	0,11	0,46	0,0046	1,0	0,95	$3,6 \times 10^5$
MQ	0,20	1,23	0,0046	1,3	0,91	$7,8 \times 10^5$

U Querschnittsgemittelte Geschwindigkeit, Fr Froude-Zahl (-), Re Reynoldszahl (-), R_H hydraulischer Radius (m), ν kinematische Viskosität (m^2/s^2) = 10^{-6}

Tab. 2 Klassifizierung der Bereiche in der Bühnenstrecke basierend auf Geschwindigkeiten und Wassertiefen

Zone	Wassertiefe h (m)	Geschwindigkeit u (m/s)	Zugeordnete Farbe in den Ergebnisgrafiken
Wanderkorridor	$\geq 0,2$	$\geq 0,2, \leq 1,0$	Schwarz
Ruhezonen	$\geq 0,2$	$\leq 0,2$	Grün
Zu hohe Geschwindigkeit	$\geq 0,2$	$> 1,0$	Blau
Ungenügende Wassertiefe	$< 0,2$	-	Weiß

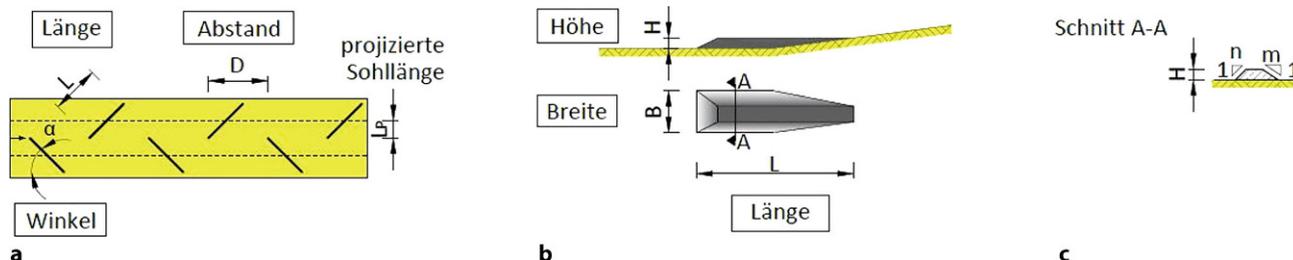


Abb. 3 Bühnenparameter, modifiziert nach Lasinger et al. (im Druck)

dell aufgesetzt. Das numerische Modell wurde mit experimentellen Daten kalibriert und validiert. Anschließend wurde das numerische Modell für vertiefte Variantenstudien herangezogen, um die Effekte einzelner Bühnenparameter bestmöglich zu isolieren.

4 Ergebnisse und Diskussion Phase I

Vergleicht man die Anforderungen an den Wanderkorridor in Tab. 2 mit den Strömungsbedingungen des Wienflusses im Projektgebiet in Tab. 1, so wird klar, dass bei Q_{330} die querschnittsgemittelte Fließgeschwindigkeit U mit $1,0 \text{ m/s}$ bereits die erlaubte Maximalgeschwindigkeit darstellt. Die Wassertiefe liegt mit $0,11 \text{ m}$ deutlich unter der geforderten Wassertiefe von $0,20 \text{ m}$. Bei MQ ist die Wassertiefe ausreichend, jedoch die Geschwindigkeit mit $1,3 \text{ m/s}$ über der erlaubten Geschwindigkeit.

Die Ergebnisse werden anhand der vier definierten Zonen (Tab. 2) als Konturplot dargestellt. Dadurch ist eine visuelle Beurteilung des Vorhandenseins eines durchgängigen Wanderkorridors und von Ruhezonen möglich. Für eine detaillierte Zusammenstellung der Ergebnisse wird auf die Publikation von Lasinger et al. (im Druck) verwiesen.

In den Versuchen zeigte sich, dass eine Wasserspiegelerhöhung leicht durch die Erhöhung der Bühnen erreicht werden konnte. Je größer dabei der Bühnenabstand war, umso höher bzw. umso länger mussten die Bühnen sein. Um

den betrieblichen Aspekt der Befahrbarkeit in der Variante von mindestens 20 m Bühnenabstand zu gewährleisten, konnte dies durch Anpassung von Bühnenhöhe H und Bühnenlänge L entsprechend erreicht werden. Abb. 4 zeigt eine orthogonale Bühnenvariante mit einem Bühnenabstand von $D=20 \text{ m}$. Die erforderliche Wassertiefe wurde mit einer Bühnenhöhe von $H=0,5 \text{ m}$ und einer Bühnenlänge von $L=5,4 \text{ m}$ erzielt. Die Bühnen waren nicht überströmt. In Abb. 4 sind die in Tab. 2 definierten Zonen dargestellt. Durch den starken Aufstau werden überall die erforderlichen Wassertiefen erreicht, d.h. es gibt keine weißen Zonen. Da die Bühnen einen sehr großen Teil der Gerinnebreite einnehmen, verbleibt nur ein kleiner Bereich, in dem die Strömung abfließen kann. In diesem Bereich treten dann zu hohe Geschwindigkeiten (blaue Zone) auf. Es sind ausreichend Ruhezonen vorhanden, der Wanderkorridor nimmt aber nur 33% der Fläche ein und ist nicht durchgängig. Diese Variante erfüllt daher die gestellten Anforderungen nicht. Das gilt für alle untersuchten nicht überströmten Bühnenvarianten mit mindestens 20 m Abstand.

Der zweite Ansatz, die betriebliche Vorgabe der Befahrbarkeit durch eine maximale Bühnenhöhe $H=0,2 \text{ m}$ zu erfüllen, erwies sich als zielführender. Hierzu mussten die Bühnenabstände deutlich reduziert werden. Es stellte sich heraus, dass inklinante Bühnen die Geschwindigkeiten besser über den Querschnitt verteilen als deklinante.

Somit waren die Geschwindigkeitsmaxima bei inklinanten Bühnen geringer, weswegen diese Anordnung bevorzugt wurde (Lasinger et al. im Druck). Der Inklinationswinkel, der zwischen 30 und 70 Grad variiert wurde, hatte hingegen bei gleicher projizierter Bühnenlänge einen vernachlässigbaren Einfluss. Aus ökonomischen Gründen sind daher die 70 -Grad-Bühnen zu bevorzugen, da diese den geringsten Materialaufwand verursachen (Lasinger et al. im Druck). Es ist zu erwarten, dass der Inklinationswinkel nicht vernachlässigbar ist, wenn die Sohle nicht fest, sondern beweglich ist.

In Abb. 5 ist jene Bühnenvariante in wechselseitiger inklinanter Anordnung illustriert, die nach Abschluss der $1:1$ -Versuche (sh. nachfolgend) schlussendlich der MA 45 als Ausführungsvorschlag präsentiert wurde. Diese Bühnenvariante hat einen Winkel von 70 Grad, einen Bühnenabstand von $D=6 \text{ m}$, eine Bühnenhöhe von $H=0,2 \text{ m}$ und eine Bühnenlänge von $L=4,0 \text{ m}$. Der Bühnenrücken ist auf einer Länge von $1,65 \text{ m}$ abgeschrägt und ist am Ende auf Sohlniveau. Der Querschnitt der Bühne ist trapezförmig mit Neigungen von $1:1$ bzw. $2:3$. Für diese Bühnenvariante bildet sich ein durchgehender Wanderkorridor aus. Es sind auch ausreichend Ruhezonen hinter den Bühnen vorhanden. Diese Bühnenvariante ist sowohl bei Q_{330} als auch bei MQ überströmt. Die Geschwindigkeiten sind bei beiden Abflüssen $\leq 1,0 \text{ m/s}$.



Abb. 4 Zonen bei Q_{330} einer Bühnenvariante mit $\alpha = 90^\circ$, $H = 0,5 \text{ m}$, $L = 5,4 \text{ m}$, $D = 20 \text{ m}$. Fließrichtung von links nach rechts. Wanderkorridor (schwarz), Ruhezonen (grün), überhöhte Geschwindigkeit (blau), zu geringe Wassertiefe (weiß, hier nicht vorhanden), aus: Lasinger und Leutgöb (2022)



Abb. 5 Zonen bei Q_{330} des Ausführungsvorschlags mit $\alpha = 70^\circ$, $H = 0,2$ m, $L = 4,0$ m, $D = 6$ m. Fließrichtung von links nach rechts. Wanderkorridor (schwarz), Ruhezone (grün), überhöhte Geschwindigkeit (blau, hier nicht vorhanden), zu geringe Wassertiefe (weiß), aus: Lasinger und Leutgöb (2022)

5 Versuchs-Setup und Messtechnik Phase II

Um den finalen Ausführungsvorschlag zu erhalten und die Funktion nachzuweisen, wurden ethohydraulische 1:1-Versuche im Forschungserinne des BOKU-Wasserbaulabors durchgeführt, das gerade fertiggestellt worden war. In dem 5 m breiten Rechteckgerinne aus Stahlbeton wurde auf einer 26 m langen Versuchsplattform analog zum 1:8-Versuch in Phase I das charakteristische Querprofil des Wienflusses aus Schalttafeln hergestellt. Das Gefälle betrug $S = 0,0046$. Die Bühnenvariante des Ausführungsvorschlags aus Phase I wurde aufgebaut. Fünf Bühnen wurden aus Schalttafeln hergestellt und im Abstand von 6 m wechselseitig eingebaut (Abb. 6).

Analog zum 1:8-Modell wurden die Durchflüsse Q_{330} und MQ untersucht. Der Durchfluss konnte am Beginn des Forschungserinnes mit einem Schütz eingestellt werden und wurde kontinuierlich erfasst. Die Geschwindigkeitsmessungen wurden mit der Acoustic Doppler Velocimetry (ADV)-Sonde Nortek Vector durchgeführt. Sie erlaubte das zeitaufgelöste Erfassen von drei Geschwindigkeitskomponenten in einem Messpunkt. Für Q_{330} und MQ wurden sieben Querprofile mit je neun Messlotrechten zwischen der zweiten und der dritten Bühnen gemessen (weiß gestrichener Bereich der Versuchsstrecke in Abb. 6).

Bei den ethohydraulischen Versuchen wurden tierethische Aspekte stets berücksichtigt, ein entsprechendes Tierethik-Statement wurde vom BOKU-Ethikrat begutachtet und bewilligt. Es wurden die drei Leitfischarten (Aitel, Gründling, Bachschmerle) untersucht, die zuvor elektrofischend und in speziellen Behältern am Beginn des Forschungserinnes unter natürlichen Bedingungen gehalten wurden. Bei der Planung orientierte man sich an Vorgaben für ethohydraulische Versuche

(Adam und Lehmann 2011). Für die Versuche wurden die Fische in Gruppen von drei bis fünf Fischen eingeteilt. Die Fisch-Gruppe wurde aus dem Hälterungsbecken in ein Startbecken gesetzt, das sich am unteren Ende der Versuchsstrecke befand. Die Fische bekamen hier für 30 min die Möglichkeit, sich an die neue Situation zu gewöhnen, konnten aber auch schon in die Versuchsstrecke schwimmen. Danach begann die eigentliche Versuchszeit. Insgesamt befand sich eine Fisch-Gruppe für 2,5 h in der Versuchsstrecke oder im Startbecken. Danach wurden sie in die Fischhälterung zurückgebracht. Jede Fisch-Gruppe machte maximal einen Versuch pro Tag. Während des Versuchs wurden das Verhalten der Fische und deren Wanderbewegungen dokumentiert. Dazu wurden zwei Kameras im Bühnenfeld der zweiten und dritten Bühne installiert. Das Bühnenfeld wurde weiß gestrichen, um die Sichtbarkeit der Fische in der Strömung zu verbessern. Die Kameras machten jede Sekunde synchron eine Aufnahme. Zusätzlich filmte eine Videokamera das Verhalten der Fische im Startbecken. Während der gesamten Versuchszeit dokumentierten zwei Personen die Fischwanderungen auf einem Tablet. Somit wurden die Fischwanderwege in der gesamten Versuchsstrecke erfasst.

6 Ergebnisse Phase II – ethohydraulische 1:1-Versuche

Durch den Einbau der Bühnen wurde die Wassertiefe bei Q_{330} auf 0,23 m angehoben und liegt deutlich im strömenden Abflussregime. Im unverbauten Referenzzustand war die Wassertiefe 0,11 m und lag nahe an der Grenze zum schießenden Abfluss. Es entstand ein ausgeprägter mäandrierender Stromstrich, die geforderte Maximalgeschwindigkeit wurde nicht überschritten. Analog wurde der Wasserspiegel bei MQ um ca. 0,14 m auf 0,34 m angehoben. Der Talweg war leicht mäan-

drierend, jedoch nicht mehr so stark ausgeprägt wie bei Q_{330} . Einzelne Messpunkte überschritten die Geschwindigkeit von 1,0 m/s, jedoch ergab sich ein durchgehender Korridor innerhalb des vorgegebenen Geschwindigkeitsbereichs.

In Abb. 7 ist exemplarisch das Wanderverhalten von zwei adulten Aiteln bei Q_{330} anhand überlagerter Fotoaufnahmen im Sekundentakt ersichtlich. Die beiden Fische wanderten zunächst (vom rechten Bildrand ausgehend) im Bühnenschatten parallel zur Bühne und stiegen dann ufernahe zur nächsten Bühne auf. Dort passierten sie die Bühne im Bereich des sohlebenden Bühnenkopfes und suchten dann wieder eine Zone mit geringeren Geschwindigkeiten auf.



Abb. 6 Versuchssetup der ethohydraulischen 1:1-Versuche im Forschungserinne des BOKU-Wasserbaulabors, Fließrichtung von oben nach unten, im weiß ausgemalten Bühnenfeld zwischen den Bühnen zwei und drei wurde die Fischwanderung mittels zwei Kameras dokumentiert

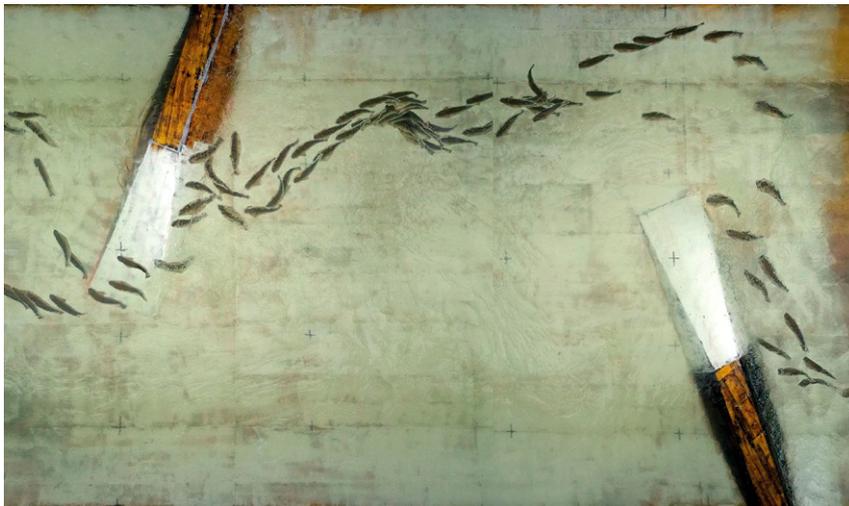


Abb. 7 Fischpfad von zwei adulten Aiteln bei Q_{330} , Fließrichtung von links nach rechts, Fischwanderung in Richtung flussauf von rechts nach links, überlagerte Aufnahmen im Sekundentakt

Die Fischpassierbarkeit konnte für einen Großteil der Arten Aitel und Gründling für Q_{330} und MQ nachgewiesen werden. Eine Schmerle durchwanderte die Strecke, die anderen Individuen konnten sich problemlos in den strömungsberuhigten Zonen aufhalten, nächtliche Versuche konnten für die nachtaktive Schmerle nicht durchgeführt werden. Abhängig von Art und Alter werden unterschiedliche Fischpfade und damit Strömungsmuster bei der Wanderung bevorzugt.

Damit konnte die Funktion der optimierten Buhnen mit Fischen nachgewiesen und eine Umsetzung in der vorgeschlagenen Form empfohlen werden.

Die wechselseitig angeordneten inklinanten Buhnen des Ausführungsvorschlags gehören zur Kategorie der Lenkbuhnen, da sie bereits bei niedrigen Abflüssen überströmt sind (Sindelar und Mende 2009; Werdenberg et al. 2014; Sindelar et al. 2022). Um eine verbesserte Wirkung zu erzielen, nehmen die Lenkbuhnen in der Regel rund zwei Drittel der Sohlbreite ein. Der bis zur Sohle abfallende Buhnenrücken sorgt trotz der großen Buhnenlänge für einen ausreichenden Fließquerschnitt. Der Ausführungsvorschlag folgt in seinem Design den Faustformeln für die Gestaltung von Lenkbuhnen.

7 Schlussfolgerungen

In einer kombinierten Herangehensweise aus skalierten Modellversuchen und 1:1-ethohydraulischen Versuchen wurde eine innovative Buhnenvariante

für den Wienfluss entwickelt, die die Fischpassierbarkeit im Projektgebiet zwischen Kennedybrücke (km 7,9) und dem Beginn der Einwölbungsstrecke beim Stadtpark (km 3,9) wiederherstellen kann. Das Projektgebiet ist als Wanderstrecke konzipiert, die – auch wenn sie selbst keine Habitats schafft – andere renaturierte Abschnitte vernetzen kann.

Im skalierten 1:8-Modell und in begleitenden hydrodynamischen 2D-Simulationen wurden systematisch die Buhnenparameter Höhe, Länge, Breite, Abstand, Winkel und Querschnittsform variiert. Als Ergebnis dieser Versuche wurde eine optimale Buhnenvariante vorgeschlagen, die die ökohydraulischen Anforderungen hinsichtlich Geschwindigkeit und Wassertiefe ebenso berücksichtigte wie betriebliche Vorgaben. Die wechselseitig inklinant angeordneten Buhnen mit einem Winkel von 70 Grad sind 0,2 m hoch, 4,0 m lang und haben einen Abstand von 6,0 m. Sie sind bereits bei Q_{330} überströmt und erzeugen für Q_{330} und MQ einen mäandrierenden Stromstrich, der den Talweg verlängert und die Geschwindigkeiten reduziert.

Für die anschließenden ethohydraulischen Versuche wurde der Wienfluss inklusive der Buhnenvariante im Naturmaßstab im Forschungslabor des BOKU-Wasserbauablabors aufgebaut. Bei den Versuchen mit Lebfischarten Aitel und Gründling bei Q_{330} und MQ die Buhnenstrecke passieren. Die nacht- und dämmerungsak-

tiven Schmerlen konnten in der Nacht nicht beobachtet werden, hielten sich aber problemlos in der Buhnenstrecke auf, ohne abzudriften. Abhängig von Art und Alter wurden unterschiedliche Fischpfade und damit Strömungsmuster bei der Wanderung bevorzugt.

Die Kombination aus skalierten und 1:1-Versuchen vereint die Vorteile skalierten Modelle, die in viel kürzerer Zeit und mit deutlich geringeren Kosten durchgeführt werden können, mit den Vorteilen der 1:1-Versuche. Eine Skalierung der Fische ist nicht möglich, außerdem ist eine ausreichende Wasserqualität wichtig, die im Wasserbauablabor mit Donauwasser gewährleistet ist. Die 1:1-Untersuchungen sind unter anderem wichtig, um in den Versuchen die gleichen Reynolds-Zahlen wie in der Natur zu erzielen. Damit deckt man das volle Spektrum an groß- und kleinskaligen Wirbeln in der turbulenten Strömung ab, das ganz wesentlich auch das Fischverhalten beeinflusst. Eine Grundvoraussetzung für naturähnliche 1:1-Versuche ist ein großer verfügbarer Durchfluss, der mit bis zu $10 \text{ m}^3/\text{s}$ beim neuen BOKU-Wasserbauablabor gegeben ist.

Danksagung Die Autor:innen bedanken sich bei der Magistratsabteilung Wiener Gewässer (MA 45) der Stadt Wien für die finanzielle Unterstützung des Projekts und bei Dr. Thomas Ofenböck (MA 45) für die wichtigen und konstruktiven Anmerkungen und Vorschläge während der Projektumsetzung. Ein großer Dank gebührt Mathilde Clair, Nils Juran, Christoph Steiner, Fabian Warter und Florian Weißenbacher für die Mithilfe bei den ethohydraulischen Versuchen.

Funding Open access funding provided by University of Natural Resources and Life Sciences Vienna (BOKU).

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Com-

mons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>. ■

Adam, B., Lehmann, B. (2011): Ethohydraulik: Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-17210-6>.

Koller-Kreimel, V., Ofenböck, G., (2020): Leitfaden zur Ableitung und Bewertung des ökologischen Potentials bei erheblich veränderten Wasserkörpern. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (Hrsg.), Wien.

Lasinger, N., Leutgöb, E. (2022): Entwicklung innovativer Buhnen zur Herstellung der Fischpassierbarkeit regulierter Flüsse am Beispiel des Wienflusses. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien

Lasinger, N., Leutgöb, E., Habersack, H., Sindelar, C. (accepted): Development of innovative

groynes to establish fish passability of regulated rivers based on the example of the Wien River, Austria. Part I: Impact of groyne parameters on water depth and velocity, eingereicht in River Research and Applications.

Leitfaden FAH (2021): Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen 2021, 2. Auflage. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus.

Sindelar, C., Mende, M. (2009): Lenkbuhnen zur Strukturierung und Stabilisierung von Fließgewässern. Wasserwirtschaft, Heft 1–2, 70–75.

Sindelar, C., Lichtneger, P., Habersack, H. (2022): The Effect of Submerged Groynes in a Near-Natural Rough Open Channel Flow. In Proceedings of the 39th IAHR World Congress.

Werdenberg, N., Mende, M., Sindelar, C. (2014): Instream River Training: Fundamentals and Practical Example. In A. Schleiss, G. De Cesare, M. J. Franca, & M. Pfister (Eds.), 7th International Conference on Fluvial Hydraulics, RIVER FLOW 2014 (pp. 1571–1577). Lausanne: CRC Press/Balkema.

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.