

Einfluss von Sohlrauigkeit und Störsteinanordnungen auf die Fließgeschwindigkeitsverteilung im Beckenübergang von technischen Beckenpässen

Georg Seidl, David Derflinger und Josef Schneider

Zusammenfassung

In unterschiedlichen Messreihen wurde mit variabler Anordnung von Sohlrauigkeiten deren Einfluss auf das Fließgeschwindigkeitsprofil im Beckenübergang untersucht. Die Messreihen zeigten, dass die Rauigkeiten keine maßgeblichen Auswirkungen auf die Fließgeschwindigkeiten, auch nicht im sohlnahen Bereich, aufwiesen. Geringe Messwerte der Fließgeschwindigkeit bei Flügelmessen im Bereich der Sohle sind letztendlich nur durch Messungen im Strömungsschatten von Störelementen zu erklären. Derartige Messungen stehen kausal mit der Ausbildung von Turbulenzen in Verbindung, deren ökohydraulische Auswirkungen auf die Passierbarkeit nur schwer zu interpretieren sind.

1 Einleitung

Das Einbringen von Sohlsubstrat stellt einen wesentlichen Aspekt bei der Errichtung von Fischwanderhilfen dar. In erster Linie ist diese Notwendigkeit ökologisch begründet, da neben dem Makrozoobenthos auch zahlreiche Fischarten wie Koppe, Bachschmerle oder Gründling einen starken Bodenbezug aufweisen. Bei der Errichtung der Anlagen ist somit darauf zu achten, dass die Korndurchmesser der Besohlung großzügig dimensioniert werden, um einerseits den Austrag von Sohlmaterial zu verhindern und andererseits den Lückenraum für die Zönose zu maximieren.

Da im Bereich der Beckenübergänge die maximalen Fließgeschwindigkeiten auftreten, stellen diese Bereiche das Nadelöhr für die Passierbarkeit von schwimmschwachen Individuen wie Kleinfischarten und juvenile Fische dar. In der Praxis werden bei der Errichtung von Anlagen oftmals Forderungen nach Grenzwerten der sohlnahen Fließgeschwindigkeiten im Beckenübergang laut, welche mit der rauen Sohle in Verbindung gesetzt werden. So wurden in Behördenverfahren Formulierungen getroffen, wonach die Sohle rau zu gestalten ist und dadurch die Fließgeschwindigkeit in Sohlnähe einen Grenzwert von 0,3 m/s nicht überschreiten darf.

Der vorliegende Beitrag stellt Fließgeschwindigkeitsmessungen in Beckenübergängen von technischen Beckenpässen vor und analysiert die Auswirkungen von unterschiedlichen Rauheiten auf die Fließgeschwindigkeiten im Beckenübergang aus ökohydraulischen Gesichtspunkten. Ebenso sollen die Untersuchungen einen Hinweis dafür liefern, ob mit geometrischen Veränderungen des Beckenüberganges eine Reduktion der hydraulischen Disposition von Fischen zu erreichen ist. So wurden, zusätzlich zur variablen Sohlengestaltung auch die Wandstärken des Beckenüberganges variiert.

Beim Technischen Beckenpass handelt es sich um einen Bautyp, welcher in Anlehnung an den naturnahen Beckenpass (BMLRT 2021) dimensioniert wird, die Beckenübergänge jedoch nicht mit Wasserbausteinen, sondern durch einen technisch definierten Übergang gefertigt z.B. aus Betonteilen, mit rechteckigem Schlitz, welcher bis zur Sohle reicht, ausgeformt werden. Hydraulische Untersuchungen ergaben, dass dieser Bautyp im Vergleich zum Vertical-Slot-Schlitzpass deutlich verringerte Abflussbeiwerte aufweist, sich die hydraulisch intensivierten Zonen auf die

Randbereiche reduzieren (siehe Abbildung 1) und die turbulente kinetische Energie deutlich geringer ist (Seidl et al. 2022).

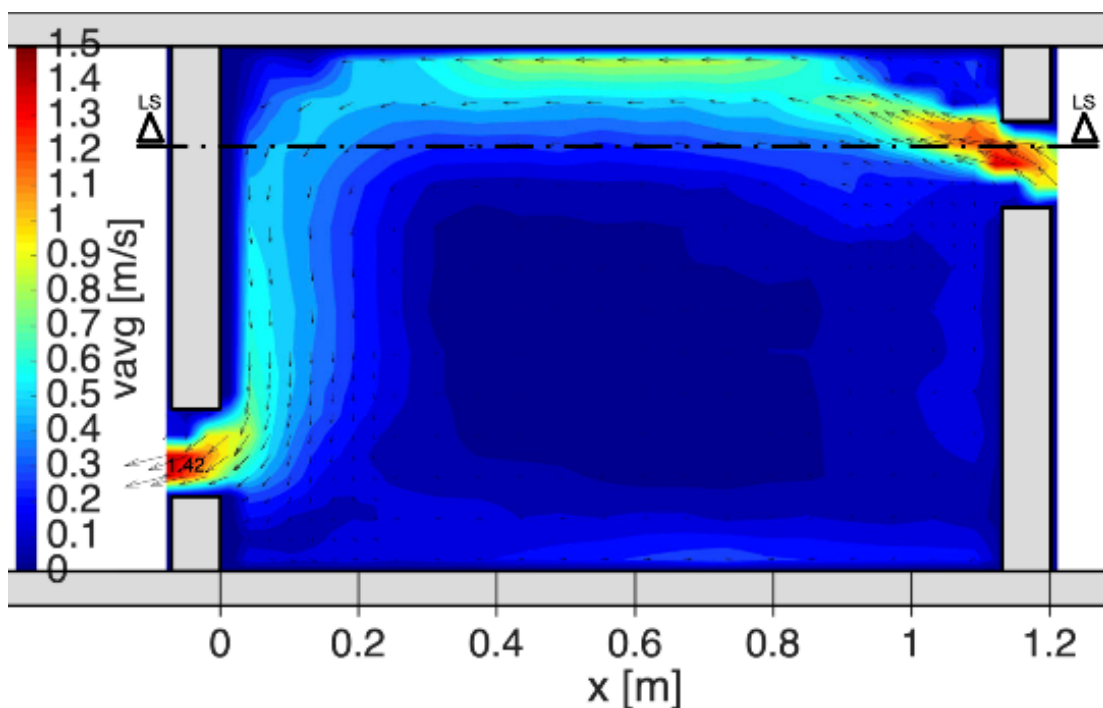


Abb. 1 Charakteristisches Strömungsbild des technischen Beckenpasses

Die Untersuchungen wurden in einem Modellaufbau mit Flussschottersubstrat, dessen mittlerer Korndurchmesser ca. 15% der Schlitzweite betrug, und somit eine vergleichsweise glatte Sohle darstellt, durchgeführt. Ergänzend fanden Untersuchungen mit rauer Sohle, einerseits mit kantigem Grobbruch dessen Korndurchmesser ca. 30% aufwies und andererseits mit Granitblöcken, deren Korndurchmesser ca. 60% der Schlitzweite betrug, statt.

2 Methodik

2.1 Eindimensionale Messreihen

Die Messungen erfolgten unmittelbar im Schlitzbereich über drei Messlotrechten, welche äquidistant angeordnet wurden (siehe Abbildung 2). Die Fließgeschwindigkeiten wurden dabei eindimensional mittels einer Prandtl Messsonde erfasst, wobei auch die Messpunkte äquidistant mit einem Abstand von 4 cm über die Messlotrechte verteilt wurden. Der unterste Messpunkt wurde, je nach Rauigkeit, im Abstand von 1 bis 3 cm über der Sohle verortet. In der nachfolgenden Darstellung ist das charakteristische Strömungsbild der Hauptströmung des technischen Beckenpasses mit den Messlotrechten illustriert.

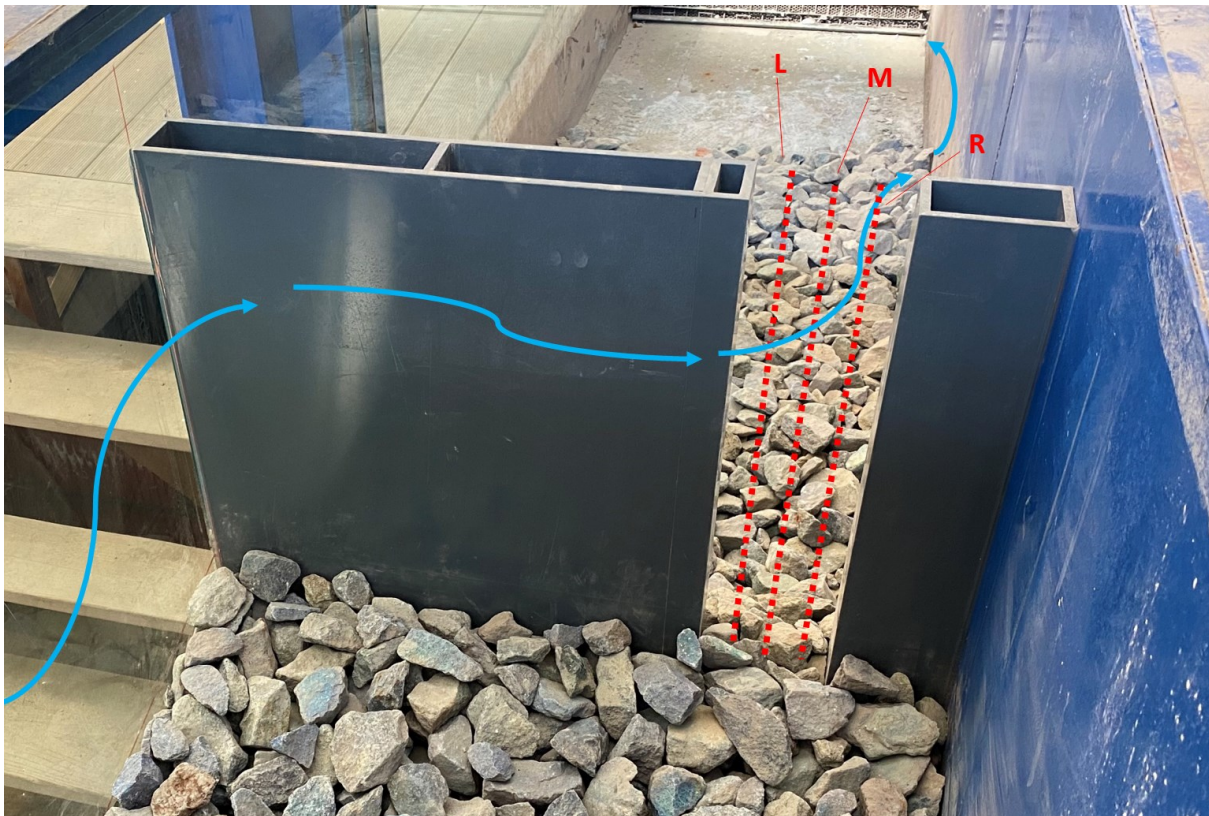


Abb. 2 Anordnung der Messlotrechten im Beckenübergang, die blaue Linie stellt die Hauptströmung im Fischpass dar

Neben der variablen Besohlung wurden auch die Wandstärken des Beckenüberganges variiert. Die Schlitzweite des Beckenüberganges betrug 16,7 cm. Als Sohlsubstrat wurden Flussschotter (16/30 mm), kantiger Grobbruch ($d_{50} = 50$ mm) und Granitwürfel ($d_{50} = 100$ mm) eingebracht, die untersuchten Wandstärken betragen dabei 0,5 cm, 5 cm, 10 cm und 15 cm.

Die Störsteinanordnungen erfolgten ausschließlich bei einer Wandstärke von 5 cm. Dabei wurden Störelemente mit 12 x 17 cm bzw. 20 x 20 cm im Abstand der halben bzw. ganzen Schlitzweite eingebracht. Die Untersuchungen erfolgten sowohl mit Störsteinanordnungen stromaufwärts als auch stromabwärts des Beckenüberganges.

2.2 Dreidimensionale Messreihen

Die Messungen der Fließgeschwindigkeiten wurden mit einer ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) Sonde der Firma Nortek durchgeführt. Das Messprinzip dieser Sonde beruht auf dem Doppereffekt. Ultraschallsignale werden mit einer bestimmten Frequenz ausgesendet, von kleinsten Teilchen im Wasser reflektiert und bei bewegtem Wasser mit einer veränderten Frequenz wiederum empfangen. Das Gerät misst in einem Punkt, im sogenannten Sampling Volume, die Fließgeschwindigkeiten in allen drei Raumrichtungen. Die Messungen erfolgten bei einer Anlage im Feld, deren Schlitzweite 15 cm betrug und wurden zentriert in einer Messlotrechten (siehe Abbildung 3) durchgeführt. Als Sohlsubstrat wurde kantiger Grobbruch ($d_{50} = 90$ mm) eingelagert. Bei der Messkampagne wurde die Aufnahme Frequenz mit 200 Hz eingestellt. Mittels eines Beschleunigungsfilters (Phase-space threshold dispiking filter) konnten die Ausreißer bestimmt und für die Auswertung der mittleren Fließgeschwindigkeitskomponenten eliminiert werden.



Abb. 3 Messung mit Vectrino-Sonde in einer zentrierten Messlotrechten

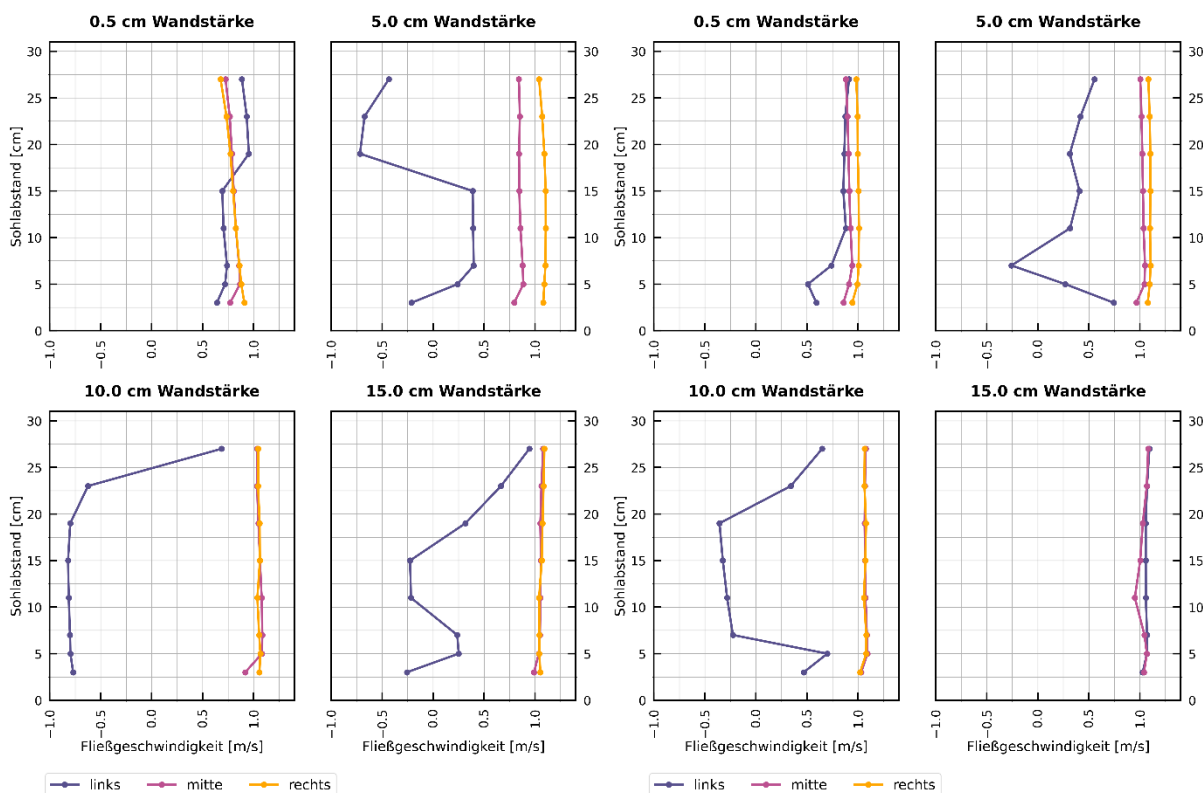
3 Ergebnisse

3.1 Einfluss von Sohlrauigkeit und Wandstärken

Die Ergebnisse der Versuchsanordnung in Abbildung 4 geben das in Abbildung 1 dargestellte Strömungsbild im Beckenübergang wieder. Durch den Umlenkeffekt werden die Fließgeschwindigkeiten im orographisch linken Bereich des Beckenüberganges deutlich verringert. Die gemessenen negativen Fließgeschwindigkeiten in diesem Bereich sind, bedingt durch das Messprinzip dahingehend zu interpretieren, dass hier die Lateralkomponente jener der Hauptstromrichtung überwiegt und bedeuten nicht, dass stromaufgerichtete Fließgeschwindigkeiten auftreten. Wie den Abbildungen zu entnehmen ist, zeigen die unterschiedlichen Rauigkeits-Setups keinen Einfluss auf die bodennahen Fließgeschwindigkeiten. Auch die Variation in den Wandstärken wirkt sich nicht signifikant auf die Fließgeschwindigkeiten im Beckenübergang aus. Bei einer Wandstärke von 0,5 cm hebt sich der fließgeschwindigkeitsreduzierte Bereich in der linken Messlotrechten auf und lässt darauf schließen, dass durch diese Anordnung der Umlenkeffekt reduziert ist.

Flussschotter

Grobbruch



Granitwürfel

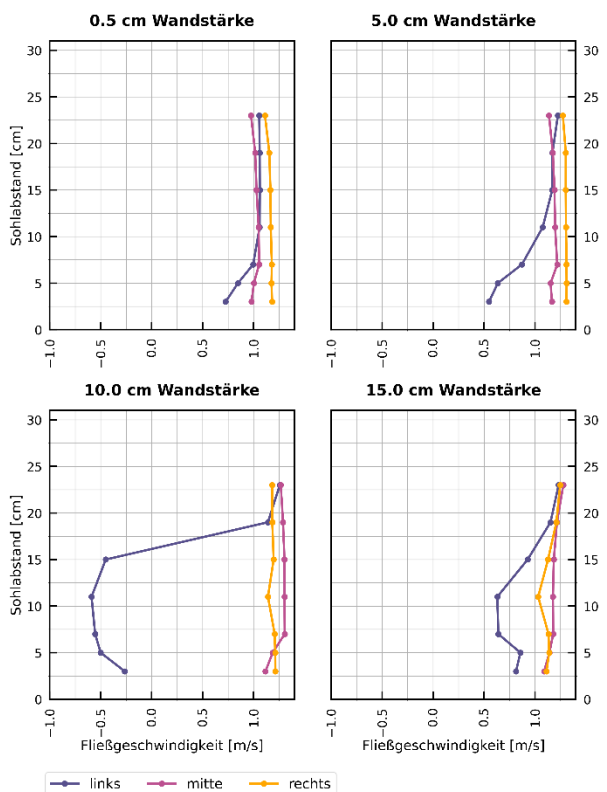


Abb. 4 Fließgeschwindigkeitsprofile bei unterschiedlicher Sohlrauigkeit

3.2 Einfluss von Störsteinanordnungen

Die Versuche mit der Störsteinanordnung ergaben, dass lediglich der große Störstein Einfluss auf das Fließgeschwindigkeitsprofil im Beckenübergang zeigte. So führte die Anordnung des Störsteines, im Abstand der halben Schlitzweite sowohl stromab-, als auch stromaufwärts, zu einer Verringerung der Fließgeschwindigkeiten im Beckenübergang. Bei den Anordnungen im Abstand der Schlitzweite zeigte auch der große Störstein nur im stromaufwärts situierten Setup einen positiven Effekt.

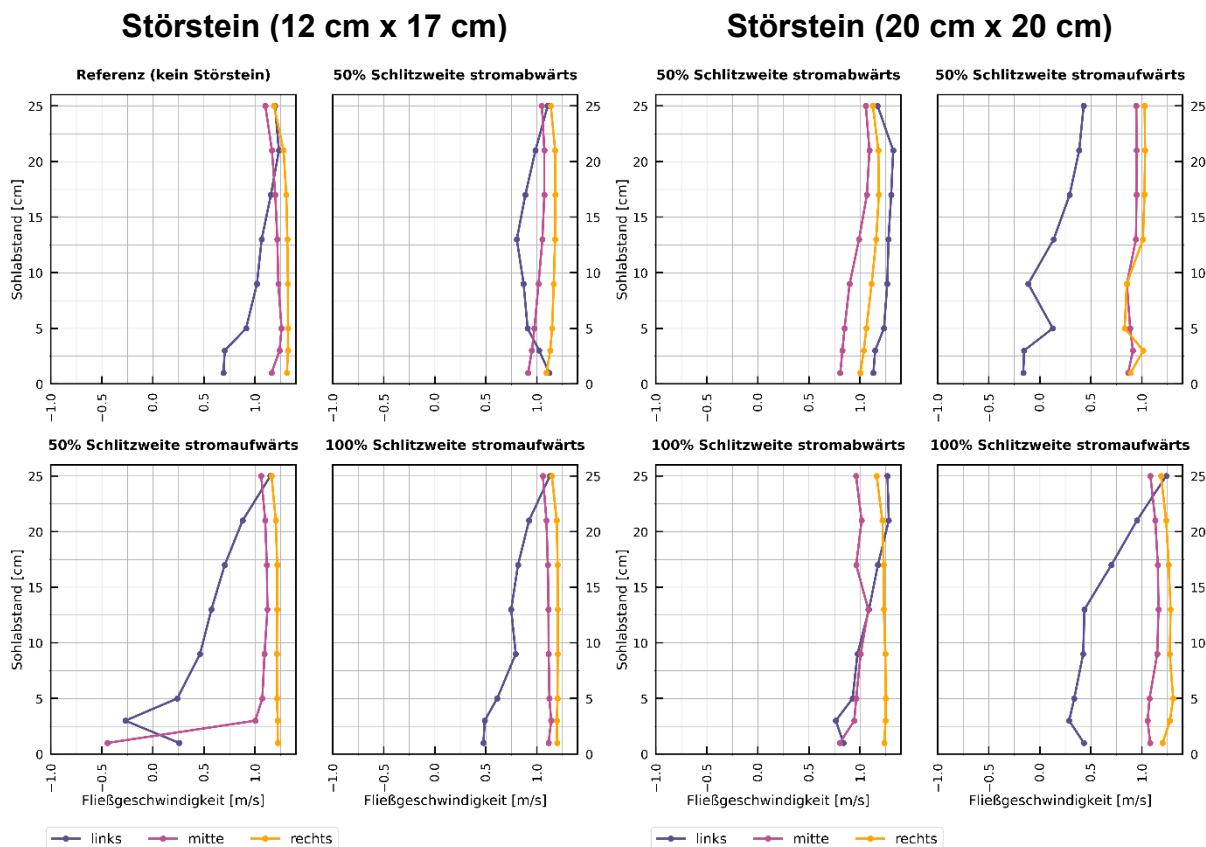


Abb. 5 Fließgeschwindigkeitsprofile bei variabler Störsteinanordnung

3.3 Ergebnisse der dreidimensionalen Messreihen

Auch die 3D-Messungen im Feld konnten keine Verringerung der Fließgeschwindigkeit in Sohl-nähe abbilden (siehe Abbildung 6). Während die Fließgeschwindigkeiten in x-Richtung weitge-hend konstant waren, ergaben die Messreihen eine deutliche Erhöhung der y- bzw. z-Kompo-nente zur Sohle hin.

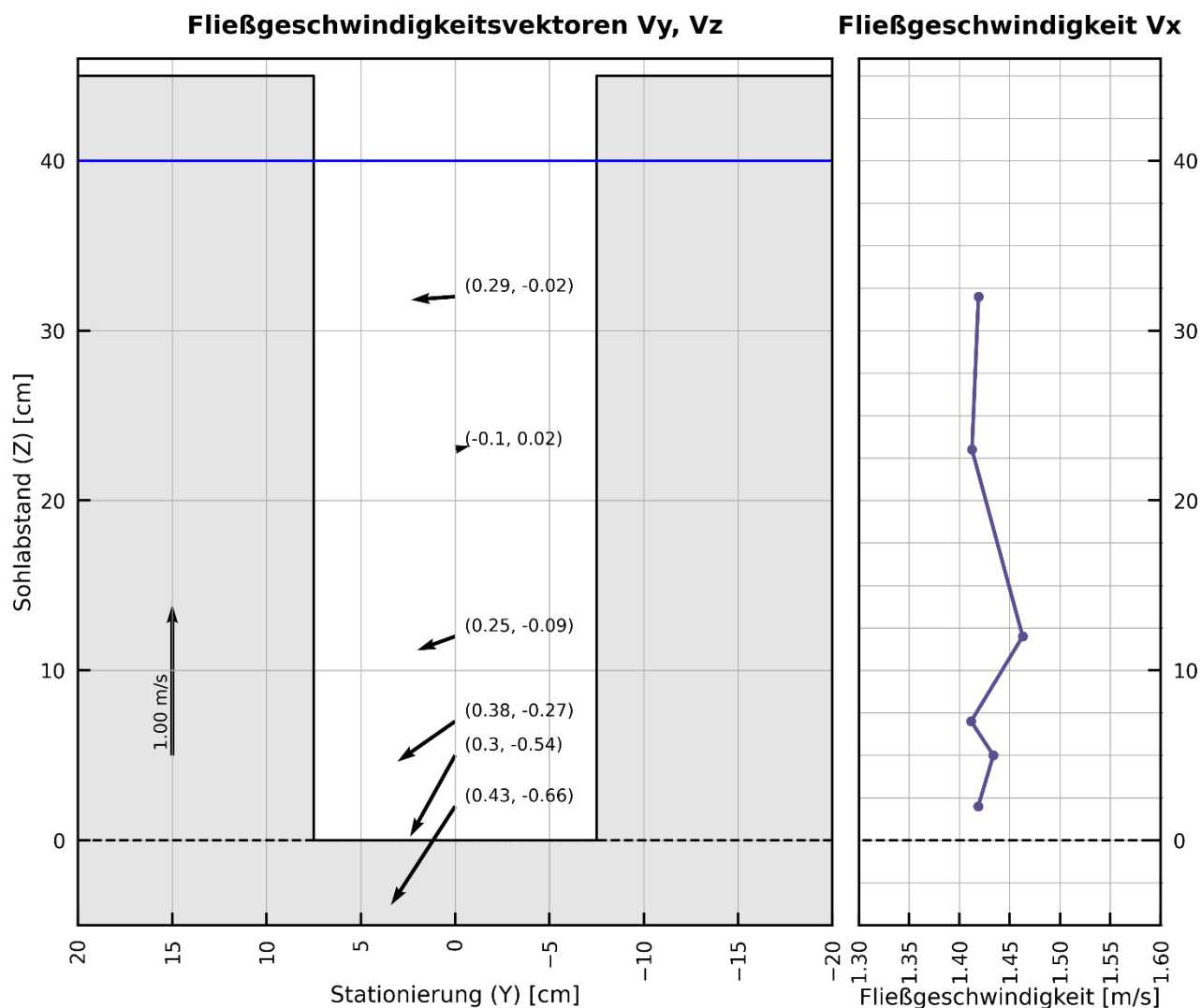


Abb. 6 Fließgeschwindigkeitsprofil aus ADV-Messungen

4 Diskussion

Die Untersuchungen zeigten, dass unterschiedlich raue Substratgestaltung keine Veränderung der Fließgeschwindigkeitsverteilung bzw. keine Reduktion der bodennahen Fließgeschwindigkeiten bewirken. Die untersuchten Besohlungen reichten dabei von Flussschotter, über kantigem Grobbruch, bis hin zu Granitblöcken. Während die ersten beiden Versuchsanordnungen durchaus in der Praxis Anwendung finden, handelte es sich bei der dritten Variante um eine bewusst raue Ausgestaltung, mit der Zielsetzung mögliche Effekte besser abbilden zu können. Die hohe Rauigkeit begründet sich dabei nicht nur in der Geometrie der Granitblöcke, sondern vielmehr auch durch die hohe Korndurchmesser-Schlitzweiten-Relation. Somit kann festgehalten werden, dass das Fließgeschwindigkeitsprofil von der Sohle bis zur Wasseroberfläche, unabhängig von der Sohlrauigkeit, mehr oder weniger konstante Werte aufweist. Abweichungen konnten im linken Strömungsfeld des Beckenüberganges beobachtet werden. Diese sind auf die Strömungsumlenkung bzw. den, wie von Seidl et al. (2022) beschriebenen, für den technischen Beckenpass charakteristischen, fließgeschwindigkeitsextrahierten Bereich in dem der Beckenwand zugewandten Feld des Überganges zurückzuführen. Eine rauigkeitsabhängige Reduktion der Fließgeschwindigkeit in Nähe der Sohle konnte in keiner der Untersuchungen festgestellt werden. Die

3D-Messungen im Feld illustrieren ein ähnliches Bild, wobei die Fließgeschwindigkeitskomponenten in y- bzw. z-Richtung im sohnnahen Bereich sogar eine deutliche Zunahme verzeichnen. Ähnliche Beobachtungen konnten auch von Henning & Weichert (2020), bei dreidimensionalen Messreihen im Beckenübergang eines Vertical Slot-Schlitzpasses gemacht werden. Welche in ihren Messungen einen tendenziellen Anstieg der mittleren Fließgeschwindigkeiten zur Sohle hin abbilden.

Die Anordnungen von großen Störelementen vor bzw. nach dem Beckenübergang zeigten nur vergleichsweise geringe Auswirkungen auf das Fließgeschwindigkeitsprofil im Beckenübergang.

Messungen von Fließgeschwindigkeiten $< 1,0$ m/s in sohnnahen Bereichen sind nur erklärbar, wenn lediglich die x-Komponente der Fließgeschwindigkeit, im Strömungsschatten von Rauigkeitselementen gemessen wird. Die Verringerung der x-Komponente der Fließgeschwindigkeit bedingt dabei eine Erhöhung der y bzw. z-Komponente. Oder anders formuliert weisen geringe Messwerte eindimensionaler Messungen (z.B. Flügelmessungen) in Bodennähe auf erhöhte Turbulenzen im Messbereich hin. Es ist also davon auszugehen, dass durch den Einfluss der Rauigkeitselemente Verwirbelungszonen (Eddies) entstehen, deren Auswirkungen auf die Fischpassierbarkeit in der Fachliteratur kontrovers diskutiert werden (Lupandin 2005, Tritico & Cotel 2010, Liao et al. 2003). Die nachfolgende Darstellung illustriert den Einbau eines Störelementes stromab des Beckenüberganges und die damit in Verbindung stehenden Turbulenzen.



Abb. 7 Turbulenzen durch Störsteinanordnung

Die Untersuchung des Einflusses von unterschiedlichen Wandrauigkeiten zeigt lediglich für die dünne Wandstärke eine Veränderung im Fließgeschwindigkeitsprofil. Die Messreihen lassen ableiten, dass durch diese Ausformung der Umlenkeffekt verloren geht bzw. die Ausprägung der fließgeschwindigkeitsextrahierten Zonen reduziert ist.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Einfluss von Sohlrauigkeit auf das Fließgeschwindigkeitsprofil bei eindimensionaler Betrachtung (z.B. bei Flügelmessungen) überschätzt wird. Die Messung von geringen Fließgeschwindigkeiten in Sohlhöhe lässt sich dabei nur durch die Anordnung von Messpunkten im Strömungsschatten von Störelementen erklären, welche unweigerlich mit dem Auftreten von Turbulenzen in Verbindung stehen. Eine ökohydraulische Interpretation dieses Phänomens ist schwierig, da der Einfluss von Turbulenzen in Abhängigkeit der Größe und Art der Wirbelbildung zu verstehen ist. Eine genauere Analyse dieser Phänomene wäre auf Basis von Längenschnitten aus 3D-Messreihen im Beckenübergang oder PIV-Messreihen möglich.

Literatur

- BMLRT (2021). Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen 2021, Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien, 224 Seiten
- Henning, M.; Weichert, R. (2020). Hydraulische Parameter von Schlitzpässen in Bemessung und Bestand, BAW Mitteilungen Nr. 106. 7-15
- Liao, A.I.; Beal, D. N.; Lauder, G. V.; Triantafyllou, M. S. (2003). Fish exploiting vortices decrease muscle activity, *Science* 302, 1566-1569.
- Lupandin, A.I. (2005). Effect of Flow Turbulence on Swimming Speed of Fish. *Biology Bulletin*, Vol. 32, No. 5, 2005, pp. 461–466. Translated from *Izvestiya Akademii Nauk, Seriya Biologicheskaya*, No. 5, 2005, pp. 558–565.
- Seidl, G.; Haslwanter M.; Schneider J. (2022). Der technische Beckenpass – eine hydraulische und biotische Gegenüberstellung mit konventionellen beckenartigen Fischaufstiegshilfen, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, <https://doi.org/10.1007/s00506-022-00876-3>
- Tritico, H.M., Cotel A.J. (2010). The effects of turbulent eddies on the stability and critical swimming speed of creek chub (*Semotilus atromaculatus*), *The Journal of Experimental Biology* 213, 2284-2293

Anschrift der Verfasser

DDipl.-Ing. Georg Seidl
fluslauf e.U., IB für Gewässerökologie und Wasserbau
A-8010 Graz, Brockmannng. 108/2
Email: office@fluslauf.at

Dipl.-Ing. David Derflinger
flowengineering e.U.
A-8010 Graz, Brockmannng. 108/2

Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Josef Schneider
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Graz
A-8010 Graz, Stremayrgasse 10/II