

Hydraulische Messungen in Rundbeckenpässen

Ulf Helbig,
Jürgen Stamm, Christoph Seidel, Herbert Martin

Die Rundbeckenpasstechnologie stellt aufgrund ihrer Variabilitätsmöglichkeiten eine vielversprechende technische und wirtschaftlich günstige Lösung zur Gewährleistung der Durchgängigkeit von Fließgewässern für die aquatische Fauna dar. Die jedoch derzeit zu dieser Technologie vorliegenden Parameter basieren größtenteils auf Annahmen und sind bislang nicht wissenschaftlich begründet. Mangels ausreichender Erkenntnisse fehlen auch im neuen Regelwerk *DWA M 509 (2014)* eindeutige, nachvollziehbare Berechnungs- und Bemessungsverfahren hinsichtlich einer fischökologisch wirksamen Hydraulik. Aufgrund dessen ist die Datengewinnung auf der Grundlage von In-Situ-Messungen in Referenzanlagen eine zwingend notwendige Basis für weitere hydraulische Berechnungen und Bemessungen. Der Beitrag spiegelt den aktuellen Untersuchungsstand wider.

Stichworte: Rundbeckenpass, Mäanderfischpass[®], Hydraulik, Messwertaufnahme

1 Rundbeckenpass

1.1 Konstruktionstypen

Der Rundbeckenpass, auch als Mäanderfischpass[®] bezeichnet, stellt eine Fischaufstiegshilfe dar, die in den letzten Jahren v. a. im deutschsprachigen Raum zum Einsatz kam. Vorrangig gibt es drei Haupttypen in der Ausführung, nämlich den C-, J- und H-Typ, wobei die Bauform der Becken sowie deren Anordnung als namensprägend gelten (C-/J-förmig bzw. H als Halbmäander). Größtenteils erfolgt der Bau als C-Typ, mit deutlichem Abstand folgen J- und H-Typ.

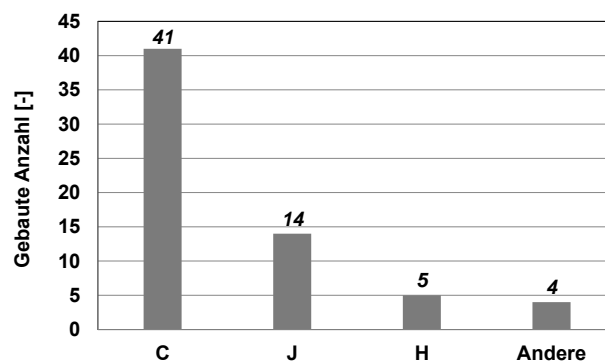


Abbildung 1: Anzahl der bereits errichteten Typen von Rundbeckenpässen in Deutschland und in der Schweiz, Stand Januar 2015

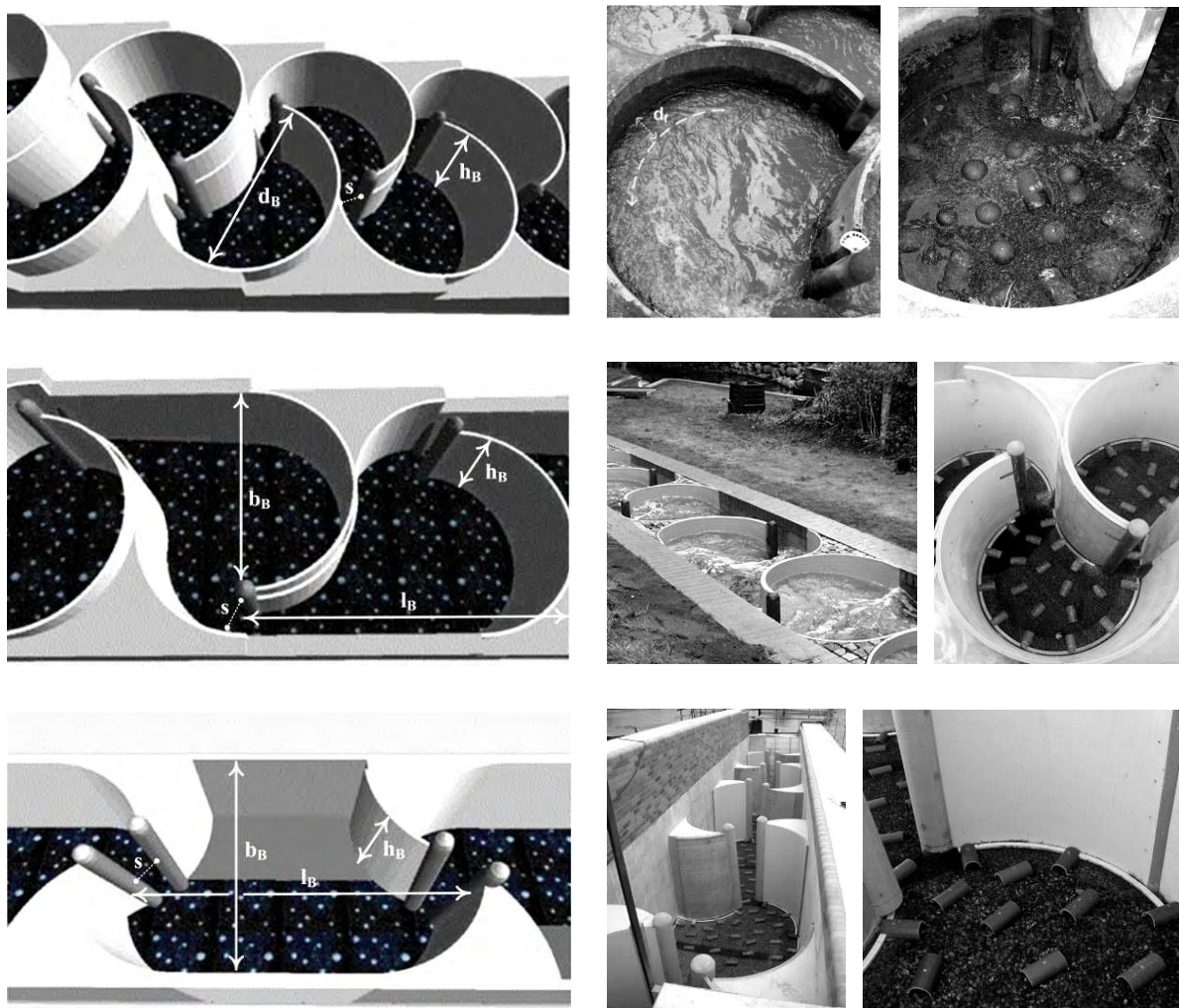


Abbildung 2: Oben: C-Pass mit Beckenanordnung; Anlage Höxter-Godelheim / Nethe bzw. Schleuse Hamburg / Fuhsbüttel, mittig: J-Pass; Anlage Borkow / Mildnitz (Meck.-Vorp.), unten: H-Pass; Anlage Bahnitz / Havel (Brandenburg), Schlitzze mit „Umlenkrohren“, typische Sohlgestaltung (Stamm, J. et al., 2015)

Daneben existiert noch eine geringe Anzahl von Sonderkonstruktionen (vgl. Abbildung 1). Konstruktive Details sowie Ausführungsbeispiele sind in der Abbildung 2 sowie Tabelle 1 aufgeführt.

Die Schlitzze werden herstellerseits V-förmig und mit Hilfe von „Umlenkrohren“ (längsseitig geschlitzt und auf Beckenelemente aufgeschoben) variabel einstellbar konzipiert. Die Schlitzbreite (s) und -gestaltung sollen sich dabei an der jeweiligen Fischregion und dem vorhandenen Leitfisch orientieren.

Der Sohlauflaufbau besteht aus einem oberseitigen PE-Wirrgewebe (20 mm), einer zwischenliegenden Rollkiesfüllung (ca. 80 mm) sowie einer unterseitigen Krallelenmatte (20 mm) auf einer Betonestrichschicht. Der Gesamtaufbau wird mittels

verschraubter Rohrrhalbschalen ($d \approx 100 - 140$ mm) bzw. Kalotten auf der Sohle fixiert (vgl. auch Abbildung 2, oben rechts bzw. unten rechts).

Tabelle 1 Geometrische und hydraulische Konstruktionsparameter für C-, J- und H-Typ (Herstellerangaben, vgl. auch Abbildung 1, Stamm, J. et al., 2014a)

Parameter		C-Typ	J-Typ	H-Typ
Längsgefälle	I [%]	17 – 30	8 – 17	4 – 8
Beckendurchmesser	d_B [m]	1,0 – 2,4	---	---
Beckenlänge	l_B [m]	---	1,5 – 3,5	1,5 – 3,5
Beckenbreite	b_B [m]	---	1,0 – 2,0	1,0 – 2,0
Beckenhöhe	h_B [m]	0,75 – 3,0	0,75 – 3,0	0,75 – 3,0
mittlere Beckenfallhöhe ^{*)} Δh_B [m]		0,14 – 0,2	0,14 – 0,2	0,08 – 0,2
mittlere Schlitzweite	s [m]	0,075 – 0,25	0,1 – 0,25	0,1 – 0,3
Dotationsabfluss	Q [l/s]	50 – 1000	500 – 1000	500 – 1000

^{*)} mittlere Beckenfallhöhe Δh_B als Quotient aus Gesamtfallhöhe Δh_{ges} und Schlitzanzahl n: $\Delta h_B = \Delta h_{ges} / n$

1.2 Berechnung und Bemessung gemäß Regelwerken und Standards

In der jüngeren Vergangenheit bildeten v. a. die Merkblätter DVWK M 232 (DVWK, 1996) / DWA M 509 sowie das Handbuch „Querbauwerke“ (MUNLV, 2005) die wichtigsten Grundlagen für den Entwurf und die Bemessung von Fischaufstiegsanlagen. Mit der Neuerscheinung des DWA M 509 (DWA, 2014) gilt dieses als maßgebliches Arbeitsblatt. Aufgrund mangels weiterer Erkenntnisse erfolgt derzeit in diesem die Einordnung des Rundbeckenpasses als Sonderbauweise des „konventionellen Beckenpasses“ (Schlitzpass), wobei ausschließlich der C-Typ Beachtung findet. Dabei werden v. a. wesentliche geometrische und hydraulische Minimal- bzw. Maximalparameter gefordert (z. B. minimaler Beckendurchmesser: $d_{B,min} = 3 \cdot L_{Fisch}$, Abstand Beckenrand / Wanderkorridor: $d_f = 2 \dots 3 \cdot D_{Fisch}$, Abstand Beckenrand / Schlitz: $1 \cdot D_{Fisch}$; mit L_{Fisch} als Fischlänge und D_{Fisch} als Fischbreite, vgl. auch Abbildung 2 und Tabellen 2, 3).

Darüber hinaus verweist DWA (2014) darauf, dass im Vergleich zu anderen beckenartigen FAA bei gerichteter Hauptströmung in den Becken geringere Turbulenzen zu verzeichnen sind, wobei auf die typische mäandrierende, erhöhte äußere Beckenrandströmung verwiesen wird. Man geht i. A. davon aus, dass der Rundbeckenpass einen strömungsstabilen Abfluss besitzt und die Energiedissipation in den Becken gemäß der Strahltheorie (turbulente Dissipation, vgl. z. B. Kraatz, 1989) erfolgt. Auch wird erwartet, dass die maximalen Fließgeschwindigkeiten kontinuierlich im Schlitzbereich bzw. im schlitznahen Bereich auftreten. In diesem Zusammenhang wird daher empfohlen, die maximalen Fließgeschwindigkeiten v_{max} (kurz unterhalb des Schlitzes) mit Hilfe des Ansatzes

von TORRICELLI unter Berücksichtigung der Anströmgeschwindigkeit v_a zu bestimmen

$$v_{\max, DWA} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h_B + v_a^2} \quad [\text{m/s}]. \quad [1]$$

In Gleichung [1] wird jedoch ersichtlich, dass die Schwierigkeit v. a. in der exakten Bestimmung der Anströmgeschwindigkeit v_a liegt. Der Hersteller bemisst seine Anlagen ebenfalls mit Gleichung [1], wobei dieser jedoch $v_a = 0$ ansetzt (*Seidel, Ch., 2014*), was aber nur für $v_a < 0,4$ m/s hinreichend genau ist.

In Analogie zum Schlitzpass ist momentan eine Abschätzung des Dotationsabflusses Q auf Basis der modifizierten POLENI-Formel für den Schlitz mit der Schlitzweite s zu

$$Q_{DWA} = \mu \cdot s \cdot \sqrt{g} \cdot h_o^{1,5} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad [2]$$

angegeben, die jedoch streng genommen nur für konventionelle Schlitzpässe gilt (*DWA M 509, 2014, Krüger, F. et al., 2010*). Dabei definiert μ einen Abflussbeiwert, der von der Wassertiefe h_o des Beckens unmittelbar oberhalb sowie von der Wassertiefe h_u unmittelbar unterhalb des jeweiligen Durchlasses abhängt ($\mu = f[h_u/h_o]$). Eine exakte Bestimmung der Größen h_u und h_o ist daher notwendig. Ähnlich zu Gleichung [2] bestimmt der Hersteller die Durchflussrate, wobei sich jedoch eine Abminderung um den Faktor 0,94 herleiten lässt ($Q_{\text{Hersteller}} \approx 0,94 \cdot Q_{DWA}$, *Seidel, Ch., 2014*). Die spezifische Leistungsdichte in einem Becken kann nach *DWA M 509 (2014)* gemäß Gleichung [3] angegeben werden:

$$p_{D, DWA} = \frac{\rho_W \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h_B}{V_B} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3} \right], \quad [3]$$

wobei ρ_W die Dichte von Wasser und V_B das spezifische Wasservolumen eines Beckens beschreiben. Für den Typ H lässt sich das Beckenvolumen näherungsweise zu $V_B \approx l_B \cdot b_B \cdot h_m$ und für den Typ C zu $V_B \approx 0,25 \cdot \pi \cdot h_m \cdot (d_B)^2$ abschätzen.

Das Regelwerk *DWA M 509 (2014)* geht ferner davon aus, dass zur Gewährleistung der geometrischen bzw. hydraulischen Grenzwerte in der Realität, deren Beträge bemessungstechnisch abgemindert werden sollen (sog. Design-Werte). Speziell sollen für die maximalen Fließgeschwindigkeiten der Ausdruck $v_{\max, \text{bem}} = S_b \cdot S_v \cdot v_{\text{grenz}}$ und für die Leistungsdichte $p_{D, \text{bem}} = S_p \cdot p_{D, \text{grenz}}$ gelten. Für Rundbeckenpässe sind dann $S_b = 0,8 \dots 1,0$ (wartungsintervallabhängig, Verklauungsgefahr, z. B. $S_b = 1,0$), $S_v = 0,9$ und $S_p = 0,9$ zu setzen (*DWA M 509, 2014, Stamm, 2014b*). Für die Geometrien werden die Beiwerte $S_g = 0,65$ und $S_b = 1,0$ berücksichtigt. In den Tabellen 2 und 3 sind die Beiwerte bereits inbegriffen.

Tabelle 2 Konstruktive Bemessungsgrößen nach *DWA M 509 (2014)* für den C-Typ entsprechend der Fischregion bzw. des vorhandenen Leitfisches (bereits mit Berücksichtigung der Sicherheitsbeiwerte $S_g = 0,65$ und $S_b = 1,0$)

Fließgewässerregion / Leitfisch	min. Becken- durchmesser $d_{B,min}$ [m]	min. Schlitzweite s [m]	min. Wasser- tiefe im Schlitz h_m [m]
Bachforelle	2,0	0,3	0,6
Äsche, Döbel, Plötze	2,5	0,45	0,8
Barbe, Zander, Meerf.	3,0	0,45	0,8
Hecht, Lachs, Huchen	3,6	0,55	0,9
Brachse, Karpfen	3,6	0,60	1,0

Tabelle 3 Hydraulische Bemessungswerte (maximale Leistungsdichte p_D , maximale Fließgeschwindigkeit v_{max}) in Abhängigkeit der Gesamtfallhöhe Δh_{ges} und Fischregion (bereits mit Berücksichtigung der Sicherheitsbeiwerte $S_p = 0,9$, $S_v = 0,9$ und $S_b = 1,0$; *DWA M 509, 2014*)

Kriterium	$p_D^{*)}$ [W/m ³]	$v_{max}^{**)}$ [m/s]	$v_{max}^{**)}$ [m/s]	$v_{max}^{**)}$ [m/s]	$v_{max}^{**)}$ [m/s]
Fließgewässer- region	alle Δh_{ges}	$\Delta h_{ges} \leq 3,0$ m	$3,0 < \Delta h_{ges} \leq 6,0$ m	$6,0 < \Delta h_{ges} \leq 9,0$ m	$\Delta h_{ges} > 9,0$ m
obere Forellen- region	225	2,0	1,9	1,8	1,7
untere Forellen- region	203	1,9	1,8	1,7	1,6
Äschenregion	180	1,8	1,7	1,6	1,5
Barbenregion	135	1,6	1,5	1,4	Einzel- fallent- schei- dung
Brachsenregion	113	1,5	1,4	1,3	
Kaulbarsch- Flunder-Region	90	1,4	1,3	1,2	

^{*)} ohne Zander und Hecht, ^{**)} unabhängig von der jeweiligen Gesamtabflusssituation des Gewässers

2 In situ-Messwerterfassung

2.1 Referenzanlagen

Bis dato wurden bzw. werden drei Referenzanlagen hydraulisch näher untersucht. Dabei handelt es sich jeweils um zwei H-Typen und einen C-Typ (vgl. Abbildung 3). Die Anlage Rothemühle liegt an der Oker nördlich von Braunschweig und ist der Barbenregion zuzuordnen. Die FAA Bahnitz befindet sich an der Havel nordwestlich der Stadt Brandenburg. Sie wird aktuell der Brachsenregion zugerechnet. Der C-Fischpass Höxter wurde an der Nethe im

Oberweserbergland in unmittelbarer Nähe zur Einmündung in die Weser errichtet. Dieser Bereich gilt als Äschenregion. Die Kenndaten der drei Anlagen sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

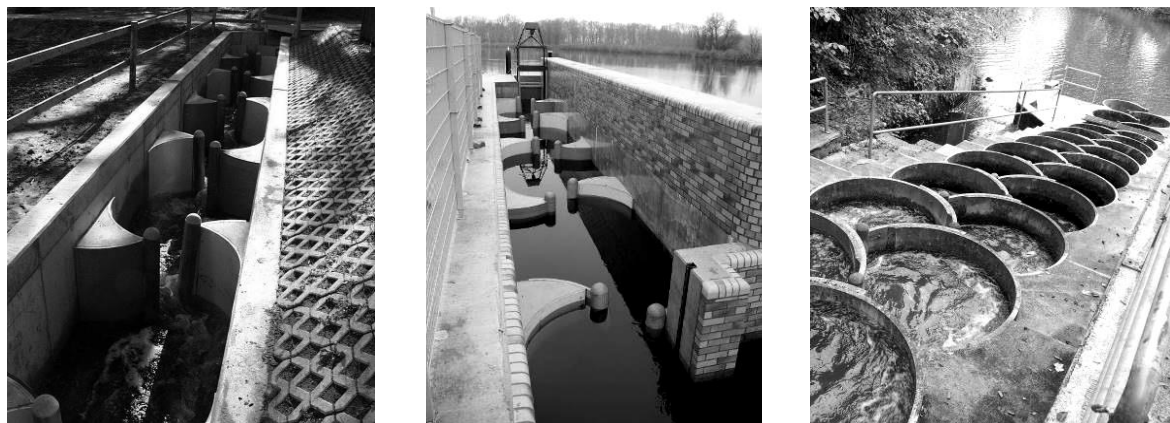


Abbildung 3: Referenzanlagen, links: FAA Rothemühle / Oker H-Typ, mittig: FAA Bahnitz / Havel H-Typ, rechts: FAA Höxter / Nethe C-Typ

Tabelle 4 Kenndaten der drei hydraulisch untersuchten Referenzanlagen (Konstruktionsgrößen, hydraulische Messwerte, 3d-hydrnumerische Simulationsdaten, Angaben nach Regelwerk *DWA M 509, 2014*)

Parameter		H-Typ Rothemühle	H-Typ Bahnitz	C-Typ Höxter
Fließgewässerregion		Barbenreg.	Brachsenreg.	Äschenreg.
Längsgefälle ^(a)	I [%]	4,44	4,0	20
Gesamtlänge ^(a)	l_{ges} [m]	67	24,4	24
Gesamtfallhöhe ^(a)	Δh_{ges} [m]	2,38 – 2,48 ⁽¹⁾	0,62 ⁽¹⁾ / 0,18 ⁽²⁾	4,20 – 4,40 ⁽¹⁾
Beckenanzahl ^(a)	n [-]	21	4	27
Beckendurchmesser ^(a)	d_B [m]	---	---	1,40
Beckenlänge ^(a)	l_B [m]	2,26	3,75	---
Beckenbreite ^(a)	b_B [m]	1,40	2,50	---
Beckenhöhe ^(a)	h_B [m]	1,25	2,00	0,80
mittlere Beckenfallhöhe ^{*)}	Δh_B [m]	0,11 ⁽¹⁾	0,04 ⁽³⁾	0,17 ⁽¹⁾
mittlere Schlitzweite ^(a)	s [m]	0,22	0,475	0,11
mitt. Wassertiefe Becken ^(e)	h_m [m]	0,60 ⁽¹⁾	1,60 ⁽¹⁾	0,35 ⁽³⁾
Betriebsdurchfluss ^(a)	Q [l/s]	150 ⁽¹⁾	500 ⁽¹⁾ / 560 ⁽²⁾	$\approx 80 - 100$ ⁽⁴⁾
Betriebsdurchfluss ^(b)	Q [l/s]	156 ⁽¹⁾	540 ⁽¹⁾ / 590 ⁽²⁾	33,3
vorh. Betriebsdurchfluss ^(c)	Q [l/s]	138 ⁽¹⁾	652 ⁽³⁾	49,5
Betriebsdurchfluss ^(d)	Q [l/s]	200 ⁽¹⁾	---	56
max. Fließgeschwind. ^(e)	v_{max} [m/s]	1,63	1,60 ⁽³⁾	2,00
zul. Fließgeschwind. ^(f)	v_{max} [m/s]	1,60	1,50	1,70

Parameter		H-Typ Rothemühle	H-Typ Bahnitz	C-Typ Höxter
vorh. Leistungsdichte	p_D [W/m ³]	79 – 113 ⁽⁵⁾	17 ⁽³⁾	102 – 173 ⁽⁵⁾
zul. Leistungsdichte ^(f)	p_D [W/m ³]	135	113	180

*) mittlere Beckenfallhöhe Δh_B als Quotient aus Gesamtfallhöhe Δh_{ges} und Schlitzanzahl n : $\Delta h_B = \Delta h_{ges} / n$

(a) Hersteller-/Konstruktionsangabe, (b) Gleichung [2], (c) Messwert bzw. aus Messwerten, (d) 3d-hydrnumerische Simulation mittels STAR CCM+, (e) Messwert, (f) DWA M 509 mit Sicherheitsbeiwerten und gerundet

(1) bei \approx MW, (2) bei \approx HW₁, (3) zwischen MW und HW₁ gemessen, (4) nur Schätzwert, (5) mit minimalem bzw. maximalem Betriebsdurchfluss abhängig von der Ermittlung

Die hydraulischen Messreihen sind in ausgewählten Becken und Schlitzen der Anlagen bei regulärem Betrieb vorgenommen worden, bei den Anlagen Rothemühle und Höxter im Bereich von ca. MW bzw. MQ. Die Messwerterfassung in der FAA Bahnitz erfolgte zwischen MW und HW₁. Die Untersuchungsreihen der FAA Rothemühle und Höxter wurden bzw. werden parallel durch 3d-hydrnumerische Simulationsrechnungen mittels STAR CCM+ ergänzt.

2.2 Messtechnik und Messverfahren

Die hydraulischen Messungen basierten auf der Bestimmung von 3d-Fließgeschwindigkeiten an bestimmten Punkten sowie in ausgewählten Tiefenhorizonten, wobei definierte Messraster eingesetzt wurden. In den Becken der H-Typen (FAA Rothemühle, Bahnitz) kam jeweils ein rechteckiges Messraster mit sieben Tiefenhorizonten zum Einsatz (Abbildung 4), das in die Beckengeometrie eingepasst wurde. Bei der Messung im C-Pass (Höxter, vgl. Abbildung 5) erfolgte die Messwertermittlung mit Hilfe eines radialförmigen Rasters (spinnennetzartig) mit drei Tiefenhorizonten auf der Basis von vorher durchgeführten 3d-HN-Simulationen. Daraus resultierte, dass am Beckenaußenrand eine Verdichtung der Messpunkte vorgenommen wurde, um die charakteristische Beckenrandströmung optimal zu erfassen. Die höhenmäßige Einordnung der Tiefenhorizonte erfolgte dabei je nach vorhandener Wassertiefe so, dass die Strömungsverhältnisse über der Sohle (unterer potenzieller Wanderkorridor, ca. 30 cm), im Mittelbereich (mittlerer potenzieller Wanderkorridor / Freischwimmer, ca. 50 % h_m) bzw. wasserspiegelnah (oberer potenzieller Wanderkorridor / Freischwimmer, ca. 30 cm) gemessen werden konnten.

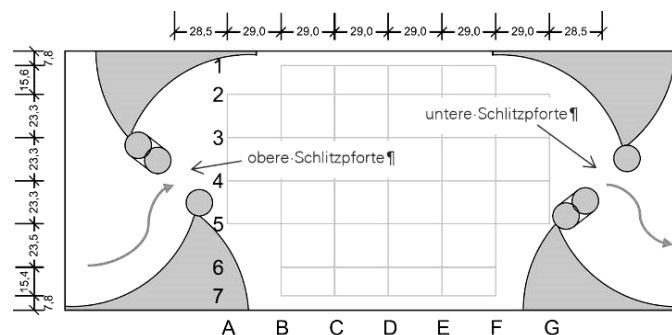


Abbildung 4: Messrasteranordnung bei den H-Typen, Beispiel FAA Rothemühle

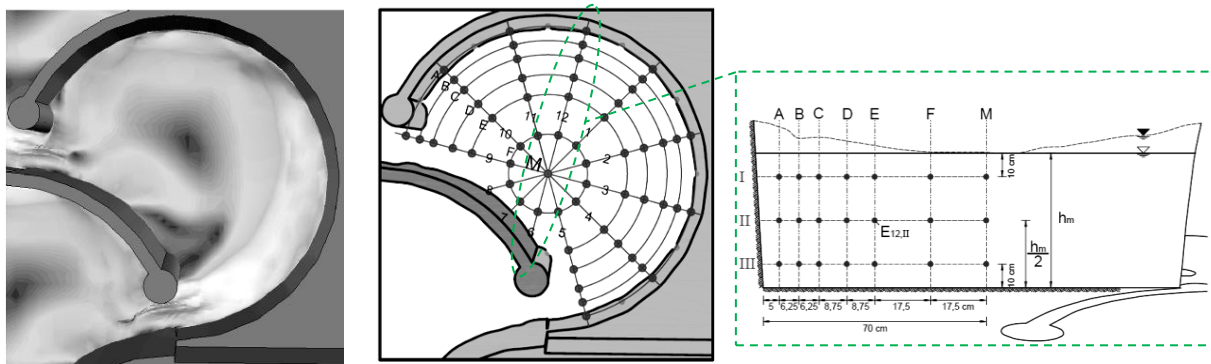


Abbildung 5: FAA Höxter, links: im Vorfeld durchgeführte 3d-HN-Simulationen, mittig: angepasstes Messraster, rechts: Messpunktanordnung und Tiefenhorizonte



Abbildung 6: Messwertaufnahme, links: FAA Rothemühle, Becken B4; mittig: FAA Bahnitz, Messung von Arbeitspodest über Becken B3; rechts: FAA Höxter mittels Hilfsgerüst und Dreharm im Becken B4

Eine Verwendung von ADCP-Technik zur Geschwindigkeitserfassung wurde wegen der hohen Reflexionsgefahr des Schallsignals im Pass nicht in Erwägung gezogen. Die Messung der Geschwindigkeitsgrößen erfolgte daher mit 3d-ADV-Sonden vom Typ NORTEK VECTRINO. Ergänzend kam bei der FAA Bahnitz eine 1d-Stangensonde des Typs OTT Nautilus C 2000 einschließlich Zählgerät SensaZ300 zum Einsatz, mit der 1d-Geschwindigkeitsgrößen erfasst werden können. Die Messgenauigkeit der Sonden betrug $\pm 0,5\%$ (3d-Sonden) bzw. $1,0\%$ (1d-Sonde) vom Messwert. Die Messungen pro Messpunkt wurden über ein Zeitfenster von mindestens $t = 30\text{ s}$ vorgenommen, so dass ein ausreichender Datensatz (> 1000 Messwerte pro Punkt) für die nachfolgende statistische Aufbereitung zur Verfügung stand. Die Abflussbestimmungen wurden hingegen

mittels Vielpunktmethode im oberwasserseitigen Zulaufkanal der FAA vorgenommen (gerichtete 1d-Zuströmung). Dabei kam ein 1d-Messflügel des Typs OTT C2 ‚10.150‘ mit Zählgerät FAT Z400 (Messgenauigkeit $\pm 2,0\%$) zum Einsatz. Mangels adäquaten Zulaufkanals wurde in der FAA Bahnitz der Durchfluss mit der Stangensonde im Schlitz S3 bestimmt.

3 Aktueller Erkenntnisstand der Untersuchungen

Die Strömungsverhältnisse in Rundbeckenpässen weisen typisch alternierende, strömungsstabile und dreidimensionale Eigenschaften auf, wobei diese letztlich vom jeweiligen Bautyp abhängen (C-, J-, H-Typ). Eine gerichtete, stabile Hauptströmung existiert an der Beckenaußenseite. Diese erzeugt im Becken v. a. eine vertikal stehende Walze mit Rückströmungen auf der Beckeninnenseite. Im Beckenzentrum herrschen hingegen Fließgeschwindigkeiten von bis zu $v \approx 0$. Im Schlitzbereich kommt es zu ausgeprägten 3d-Strömungseffekten. Die Maximalgeschwindigkeiten treten unmittelbar unterhalb eines Durchlasses auf.

Die Auswertung der 1d- und 3d-Messungen in den FAA zeigen auch, dass v. a. bei der Tiefenprofilmessung starke Streuungen auftreten. Es wird jedoch vermutet, dass die Messung mittels 3d-Messsonde der 1d-Sonde überlegen ist, da deren Tiefenprofil darstellung qualitativ gut mit den bekannten Ansätzen aus Theorie und Literatur sowie mit 3d-Simulationen korreliert, hingegen die Ergebnisse der 1d-Sonde doch z. T. erheblich davon abweichen. Der Nachteil der 1d-Sonde besteht v. a. in der weniger exakten Erfassung der realen gerichteten Strömung in den Fischpässen, primär in tieferen Horizonten, in denen eine visuelle Beobachtung der Strömung und folglich eine exakte Sondenausrichtung in Hauptfließrichtung nur schwerlich möglich sind. In Fischpässen sollten daher ausschließlich 3d-ADV-Sonden zum Einsatz kommen.

Bei strenger Auslegung des *DWA M 509 (2014)* entspräche z. B. die FAA Höxter (C-Typ) nicht den geometrischen Forderungen. Darüber hinaus zeigen die Analysen, dass die hydraulischen Messwerte doch teils erheblich von den Herstellerangaben und den in den Regelwerken aufgeführten Berechnungsansätzen nach TORRICELLI bzw. POLENI abweichen (z. B. Q , v , vgl. Tabelle 4). Daher erscheint nach jetzigem Erkenntnisstand eine direkte Anwendung der Regelwerksansätze bei Rundbeckenpässen in dieser Form und ohne weitere Modifikationen als nicht sinnvoll. Der Nachteil der Gleichung [1] besteht v. a. in der Abschätzung der Anfangsgeschwindigkeit v_a , die jedoch im Normalfall unbekannt ist. Die Gleichung [2] erfordert wiederum eine exakte Ermittlung und Verortung der Wassertiefen h_u und h_o , da diese einen erheblichen Einfluss auf die Genauigkeit der Abflussbestimmung haben. Insgesamt lässt sich auch sagen, dass auf-

grund der abweichenden Berechnungsansätze die Herstellerangaben bezüglich v_{\max} und Q die Grenzwerte der zitierbaren Regelwerke unterschreiten.

Die Untersuchungen werden fortgesetzt.

4 Literatur

- DVWK (1996): DVWK-Merkblatt M 232, Fischaufstiegsanlagen. Bemessung Gestaltung Funktionskontrolle.
- DWA (2014): DWA-Merkblatt M 509, Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung.
- Kraatz, W. (1989): Flüssigkeitsstrahlen. In: Technische Hydromechanik 2. Bollrich G. (Hrsg.), Verlag für Bauwesen, Berlin.
- Krüger, F. et al. (2010): F. Krüger, S. Heimerl, F. Seidel, B. Lehmann, Ein Diskussionsbeitrag zur hydraulischen Berechnung von Schlitzpässen. In: Wasserwirtschaft, 100/3, S. 30 – 36.
- MUNLV (2005): Ministerium für Umwelt, und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Handbuch Querbauwerke. ISBN 3-9810063-2-1.
- Seidel, Ch. (2014): Vergleichende Untersuchungen verschiedener Typen von Mäanderfischpässen[®] mittels 3d-hydrnumerischer Simulation. Diplomarbeit, unveröffentlicht, TU Dresden, IWD.
- Stamm et al. (2014a): J. Stamm, U. Helbig, C. Schulz, Meander-type fish pass – construction systems, hydraulic characteristics and functionality. River Flow 2014 – Schleiss et al. (Eds), 2014 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02674-2, S. 2437-2443.
- Stamm, J. (2014b): J. Stamm, Fischaufstiegsanlagen – Schlitzpassdimensionierung, Vorlesungsskript ‚Naturnahe Gestaltung von Fließgewässern‘, TU Dresden.
- Stamm et al. (2015): J. Stamm, U. Helbig, Ch. Seidel, R. Zimmermann, H. Martin, Hydraulische Charakteristik von Rundbeckenpässen. 45. IWASA, RWTH Aachen, Aachen, 08./09. Januar 2015.

Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm
Institut für Wasserbau und THM
Technische Universität Dresden
George-Bähr-Straße 1
01069 Dresden

Tel.: +49 351 463 34397
Fax: +49 351 463 37120
E-Mail: Juergen.Stamm@tu-dresden.de

Dr.-Ing. Ulf Helbig, Christoph Seidel M.Sc.,
Dipl.-Ing. Herbert Martin
Institut für Wasserbau und THM
Technische Universität Dresden
George-Bähr-Straße 1
01069 Dresden

Tel.: +49 351 463 37527
Fax: +49 351 463 37120
E-Mail: Ulf.Helbig@tu-dresden.de
Herbert.Martin@tu-dresden.de