

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Bellmann, Claudia; Winkelmair, Klaus; Heß, Max; Ahlers, Carla;  
Vollweiler, Tilo; Martin, Katharina; Carstensen, Dirk**

## **Hybride Modellierung der Nutzungen im Bereich des Oberen Wöhrder Sees**

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/20.500.11970/104623>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bellmann, Claudia; Winkelmair, Klaus; Heß, Max; Ahlers, Carla; Vollweiler, Tilo; Martin, Katharina; Carstensen, Dirk (2018): Hybride Modellierung der Nutzungen im Bereich des Oberen Wöhrder Sees. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserbauwerke im Bestand - Sanierung, Umbau, Ersatzneubau und Rückbau. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 60. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 259-268.

### **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.



## Hybride Modellierung der Nutzungen im Bereich des Oberen Wöhrder Sees

Claudia Bellmann, Klaus Winkelmaier,  
Max Heß, Carla Ahlers, Tilo Vollweiler,  
Katharina Martin, Dirk Carstensen

Im Osten Nürnbergs mündet die Pegnitz in den Sandfang des Oberen Wöhrder Sees, welcher sich in südwestlicher Richtung erstreckt und gegenwärtig durch ein festes, breitkroniges Wehr vom anschließenden Seebereich abgegrenzt ist. Im Rahmen der ökologischen Aufwertung dieses Gewässerabschnittes planen das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg und die bayrische Umweltverwaltung mehrere Umgestaltungsmaßnahmen. Im Zulaufbereich des Sees ist beispielsweise eine Anpassung der Abflussaufteilung in ein Seitengerinne der Pegnitz vorgesehen. Die genannte Wehranlage soll wiederum zu einem Kombinationsquerbauwerk umstrukturiert werden. Auf dessen westlicher Seite ist die Implementierung eines Raugerinne-Beckenpasses (RGBP) beabsichtigt, durch welchen die ökologische Durchgängigkeit im Gewässerabschnitt sichergestellt werden soll. Weiterhin wird die Möglichkeit geprüft, ob an der östlichen Seite des Wehres eine Kleinwasserkraftanlage (KWKA) installiert und wirtschaftlich betrieben werden kann.

Im Zusammenhang mit verschiedenen Nutzungen soll nun die Wirkung der vorhandenen sowie geplanten wasserbaulichen Anlagen im Bereich des Sandfangs am Oberen Wöhrder See untersucht werden. Durch hybride Modellierung, bestehend aus 2d- und 3d-HN-Modellen sowie einem physikalischen Modell wird die detailgetreue und für die unterschiedlichen Bemessungsaufgaben funktionale Beschreibung des Untersuchungsgebietes gewährleistet.

Die turbulenzintensiven Vorgänge an der Ausleitung des Seitengerinnes und dem Kombinationsquerbauwerk werden mittels 3d-HN-Modellen abgebildet. Zur Ermittlung der hierfür benötigten Randbedingungen wird im Vorfeld ein 2d-HN-Modell erstellt, welches sich über das gesamte Untersuchungsgebiet erstreckt. Das physikalische Modell wird horizontal im Modellmaßstab  $1 : M_L = 1 : 60$  und vertikal im Maßstab  $1 : M_L = 1 : 12$  (entspricht einem Überhöhungsfaktor  $n = 5$ ) ausgeführt. Dies dient der Visualisierung von Strömungen und der Wasseraufteilung im Bereich des Oberen Wöhrder Sees.

In diesem Artikel wird auf die oben genannten Absichten sowie die Herangehensweise und Umsetzungsmöglichkeiten zur Lösung der komplexen Problemstellung bei der hybriden Modellierung eingegangen. Die Schwierigkeiten beim Zusammenspiel verschiedener Modellierungsmethoden bilden ebenso einen Themenschwerpunkt wie auch die Aufführung erster Untersuchungsergebnisse.

Stichworte: Hybride Modellierung, Sandfang, Raugerinne-Beckenpass, Wehr

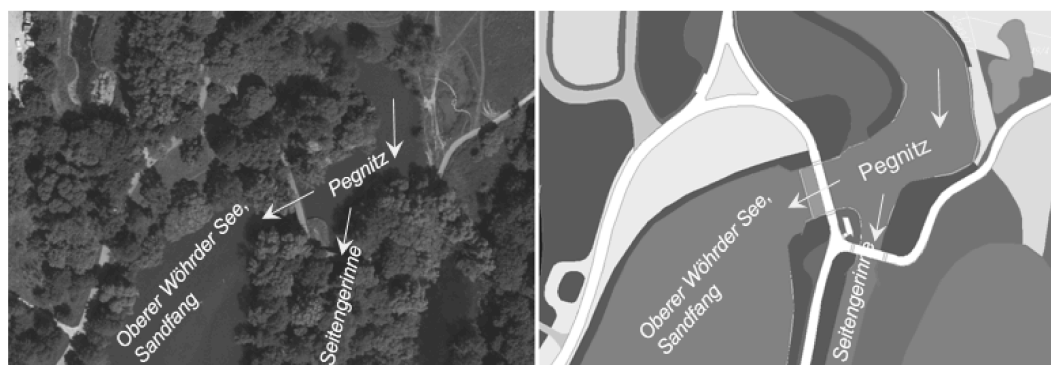
## 1 Räumliche Einordnung

Der künstlich geschaffene Wöhrder See liegt inmitten des Stadtgebietes im Nürnberger Osten und erstreckt sich über eine Gesamtfläche von 52 ha. Der See dient vorrangig dem Hochwasserschutz der Nürnberger Altstadt, ist ca. 3,0 km lang, zwischen 100 und 350 m breit und wird von der Pegnitz gespeist. Er besteht aus zwei miteinander verbundenen Teilen: dem Oberen Wöhrder See einschließlich Sandfang, siehe Abbildung 1, und dem Unteren Wöhrder See.



**Abbildung 1:** Lage des Oberen Wöhrder Sees im Nürnberger Stadtgebiet (Quellen: Luftbild – Google Earth; CAD-Zeichnung – Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

Bevor das Wasser der Pegnitz den Oberen Wöhrder See erreicht, wird es an einer Verzweigung partiell in ein Seitengewässer geleitet, siehe Abbildung 2. Dieses mündet erst weiter stromab in den Oberen Wöhrder See.



**Abbildung 2:** Detailansicht Abzweig Seitengerinne (Quellen: Orthofoto – [www.geodaten.bayern.de](http://www.geodaten.bayern.de), CAD-Zeichnung – Wasserwirtschaftsamt Nürnberg)

Nach der Abzweigung fließt das Wasser der Pegnitz, welches nicht in das Seitengewässer geleitet wird, zuerst in den sogenannten Sandfang des Oberen Wöhrder Sees. Dieser erstreckt sich über eine Länge von rund 280 m und wird stromabwärts durch ein festes, breitkroniges Wehr vom anschließenden Seebereich des Oberen Wöhrder Sees abgegrenzt.

## 2 Historische Entwicklung

Bevor der See existierte, durchfloss die Pegnitz mit zwei Armen eine Flussaue, vgl. Abbildung 3, welche häufig überschwemmt wurde, sodass die Menschen mit ihren Siedlungen dem Pegnitztal weitgehend fernblieben.



**Abbildung 3:** Pegnitztal 1959 mit Blick vom Wöhrder Talübergang auf den Johann-Soergel-Weg (©Gerardi, Quelle: *Fischer (2010)*)

Im Jahr 1959 beschloss der Nürnberger Stadtrat, den Wöhrder See anzulegen. Somit wurde 1968 mit dem bis zu 13 Jahre währenden Bau des künstlichen Sees begonnen. Neben dem wasserwirtschaftlichen Ziel des Hochwasserrückhaltes setzte die Stadt Nürnberg mit dem Bau des Sees einen städtebaulichen Akzent und realisierte ein für die damalige Zeit sehr fortschrittliches Konzept. Ein ganzheitlicher Ansatz verbindet wasserbauliche Funktionalität mit den Ansprüchen von Freizeit und Erholung, städtebaulicher Entwicklung und Ökologie.

## 3 Veranlassung des Projektes

Der Freizeit- und Erholungswert des Wöhrder Sees soll weiterhin an Attraktivität gewinnen und die ökologische Funktionalität der gesamten Seeanlage nach neuesten Erkenntnissen und Gesichtspunkten verbessert werden. Der Freistaat Bayern und das Wasserwirtschaftsamt Nürnberg entwickelten daher ein umfangreiches, wasserbauliches Umgestaltungskonzept. Ein Teil der geplanten Maßnahmen ist Untersuchungsgegenstand in dem nachfolgend erläuterten Projekt.

Das rund 90 m breite, feste Wehr, welches den Sandfang vom Oberen Wöhrder See trennt, weist einen senkrechten Absturz von mehr als 2 m auf und ist somit gegenwärtig für Fische und andere aquatisch gebundene Lebewesen nicht über-

windbar. Die ökologische Durchgängigkeit dieses Gewässerabschnittes soll daher zukünftig mittels Implementierung eines Raugerinne-Beckenpasses (RGBP) gewährleistet werden. Dazu wird auf der westlichen Seite ein Drittel des Wehrkörpers entfernt und zum Sandfang hin eine ca. 70 m lange Anrampung mit Beckenstruktur geschaffen.

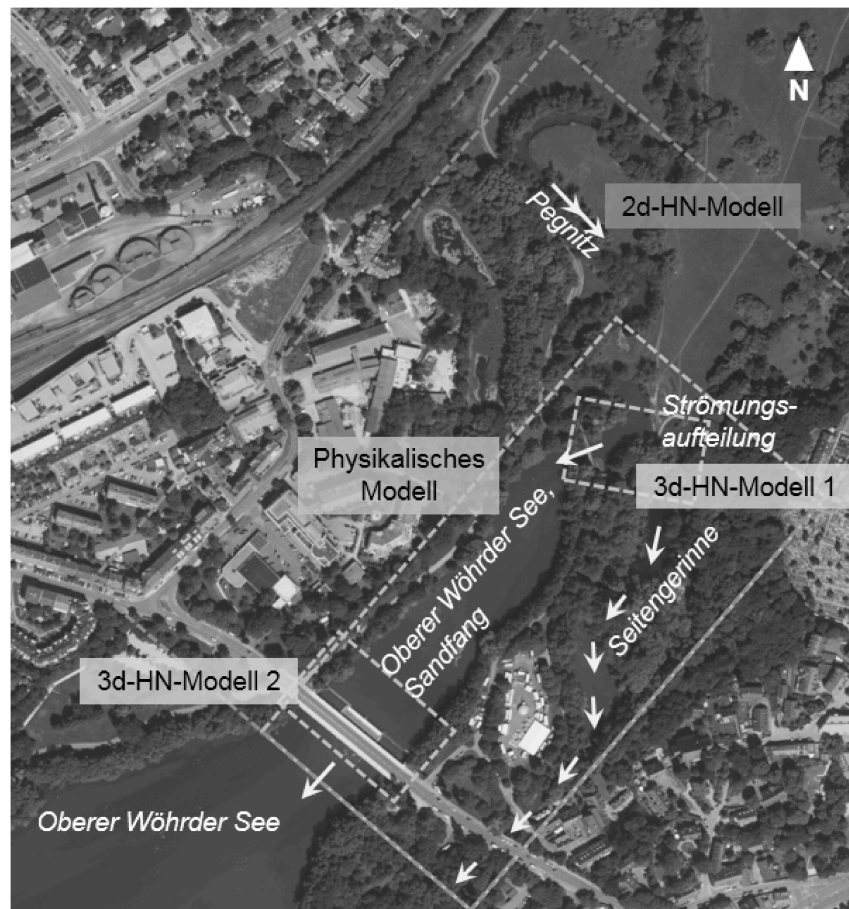
Die Auswirkungen auf die Aufteilung des Durchflusses im Wehrbereich (Bereich 2, vgl. Abbildung 4) durch den Einbau eines RGBP sollen im vorgestellten Projekt experimentell untersucht werden. Zusätzlich gilt es, die Errichtung einer möglichen Kleinwasserkraftanlage (KWKA) im östlichen Teil des Wehrs hinsichtlich der vorhandenen Strömungssituation zu bewerten. Weiterhin ist im Rahmen der Untersuchungen die Abflussaufteilung der Pegnitz vor dem Einlauf in den Sandfang (Bereich 1, vgl. Abbildung 4 bzw. 2) so umzugestalten, dass das Seitengerinne bei Mittelwasserabfluss mehr als derzeit nur ca. 1 m<sup>3</sup>/s abführt. Die geplante Wasseraufteilung ist unter Berücksichtigung eines Mittelwasserabflusses von MQ = 10,5 m<sup>3</sup>/s wie in Tabelle 1 angegeben anzunehmen.

**Tabelle 1** Abflussaufteilung in den Modellbereichen 1 und 2

Bereich 1 Q <sub>ges</sub> = 10,5 m <sup>3</sup> /s		Bereich 2 Q <sub>ges</sub> = 8,5 m <sup>3</sup> /s	
Sandfang	8,5 m <sup>3</sup> /s	RGBP	5,0 m <sup>3</sup> /s
Seitengerinne	2,0 m <sup>3</sup> /s	Wehr	> 3,0 m <sup>3</sup> /s
		KWKA	< 0,5 m <sup>3</sup> /s

## 4 Modellkonzeption

Zur Beurteilung der hydraulischen Wirkungsweise baulicher Veränderungen an gewässerbezogenen Einrichtungen werden generell physikalische und/oder numerische Modellversuche betrieben. Physikalische Modellierungen finden stets Anwendung, wenn theoretische Lösungsmöglichkeiten zur Beurteilung schwer erfassbarer Strömungsverhältnisse fehlen bzw. wenn eine Ergänzung theoretischer Berechnungsansätze für notwendig erachtet wird. Im Besonderen werden sie erforderlich, wenn mehrdimensionale Strömungsverhältnisse, eine mehrfache Aufteilung des Abflusses oder stark turbulente Strömungen zu bestimmen bzw. zu prognostizieren sind. Alternativ bzw. zusätzlich zur physikalischen Modellierung kann auch eine numerische Modellierung erfolgen. Diese Form der Untersuchungen wird als hybride Modellierung bezeichnet und zeigt sich als geeignetes Werkzeug um die Fragestellungen in diesem Projekt überlagernd bzw. ergänzend zu beantworten. Die Abbildung 4 zeigt die Lage und die Ausdehnung der einzelnen Modelle im Untersuchungsgebiet.



**Abbildung 4:** Lage und Ausdehnung der einzelnen Modelle im Bereich des Oberen Wöhrder Sees (Quelle: Orthofoto: [www.geodaten.bayern.de](http://www.geodaten.bayern.de))

Im Rahmen des vorgestellten Projektes werden:

- ein 2d-HN-Modell erstellt, welches sich über einen Bereich ca. 500 m stromauf der Ausleitung sowie stromab bis zum gegenwärtig noch vorhandenen Wehr erstreckt. Dieses dient der Ermittlung der Randbedingungen für die, aufgrund der turbulenzintensiven Vorgänge an der Ausleitung des Seitengerinnes oder dem Kombinationsquerbauwerk, bestehend aus RGBP/ Wehr/ KWKA, notwendigen 3d-HN-Modelle.
- zwei 3d-HN-Modelle für die Bereiche 1 und 2 angefertigt, mit welchen jeweils durch Änderungen der Geometrie verschiedener Varianten untersucht werden können.
- anhand der Ergebnisse der numerischen Untersuchungen sowie von Naturbeobachtungen und Naturmessungen das physikalische Modell kalibriert, durch welches eine Visualisierung der Strömung und der Wasseraufteilung vom Bereich der Ausleitung des Seitengerinnes über den Sandfang bis zum Oberen Wöhrder See stromab des Wehres umgesetzt wird.

## 2d-HN-Modellierung

Für die Erstellung des 2d-HN-Modells wurde das Programmsystem SMS (Surface-water Modeling System, Version 11.1) verwendet und mit dem hydrodynamischen Berechnungsmodul HYDRO-AS-2D gekoppelt.

Das Modellgebiet beginnt ca. 450 m vor dem Sandfang und erstreckt sich bis zum Wehr am Ende des Sandfangs bzw. bis zur sogenannten Satzinger Mühle im Seitengerinne. Die Höhen für die Uferbereiche und das angrenzende Gelände wurden aus dem digitalen Geländemodell DGM 1 übernommen. Die Ermittlung der Sohlhöhen der Gewässerteile erfolgte anhand von Querprofilen und Bruchkanten, mit deren Hilfe die Sohlenlage zwischen den Profilen interpoliert werden konnte. Die somit erstellte Modellgeometrie diente auch als Grundlage für beide 3d-Modelle sowie die Erstellung des physikalischen Modellversuches.

## Randbedingungen

Die Bestimmung der Wasserspiegellagen mittels des 2d-HN-Modells wurde für einen Abfluss der Pegnitz von  $MQ = 10,5 \text{ m}^3/\text{s}$  mit einer Abflussaufteilung nach Tabelle 1 durchgeführt. Durch einen zusätzlichen Aus- und Einlaufrand im Modellgebiet zu Beginn des Seitengerinnes wurde ein Abfluss von  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  erzwungen. Die KWKA wurde zunächst in der Simulation nicht beachtet. Der RGBP war ebenfalls nicht Teil der Untersuchungen im 2d-HN-Modell und wurde nicht implementiert. Jedoch beeinflusst er die Ausbildung der Wasserspiegellage (WSPL) im Sandfang maßgeblich. Für den Auslaufrand des Sandfangs wurde demnach eine W-Q-Beziehung definiert, welche diesen Einfluss berücksichtigt. Für einen Abfluss von  $Q = 8,5 \text{ m}^3/\text{s}$  wurde ein Wasserstand gehalten, welcher sich bei  $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  über das Wehr einstellen würde.

Mit der *Poleni-Formel* (1), aufgelöst nach der Überfallhöhe  $h$ , ergab sich diese zu 17,4 cm.

$$h = \left( \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} \quad (1)$$

mit:  $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $\mu = 0,48$  (Beiwert für einen breitkronigen, rechtwinkligen Rechtecküberfall (Aigner & Bollich, 2015) und  $b = 34,0 \text{ m}$ .

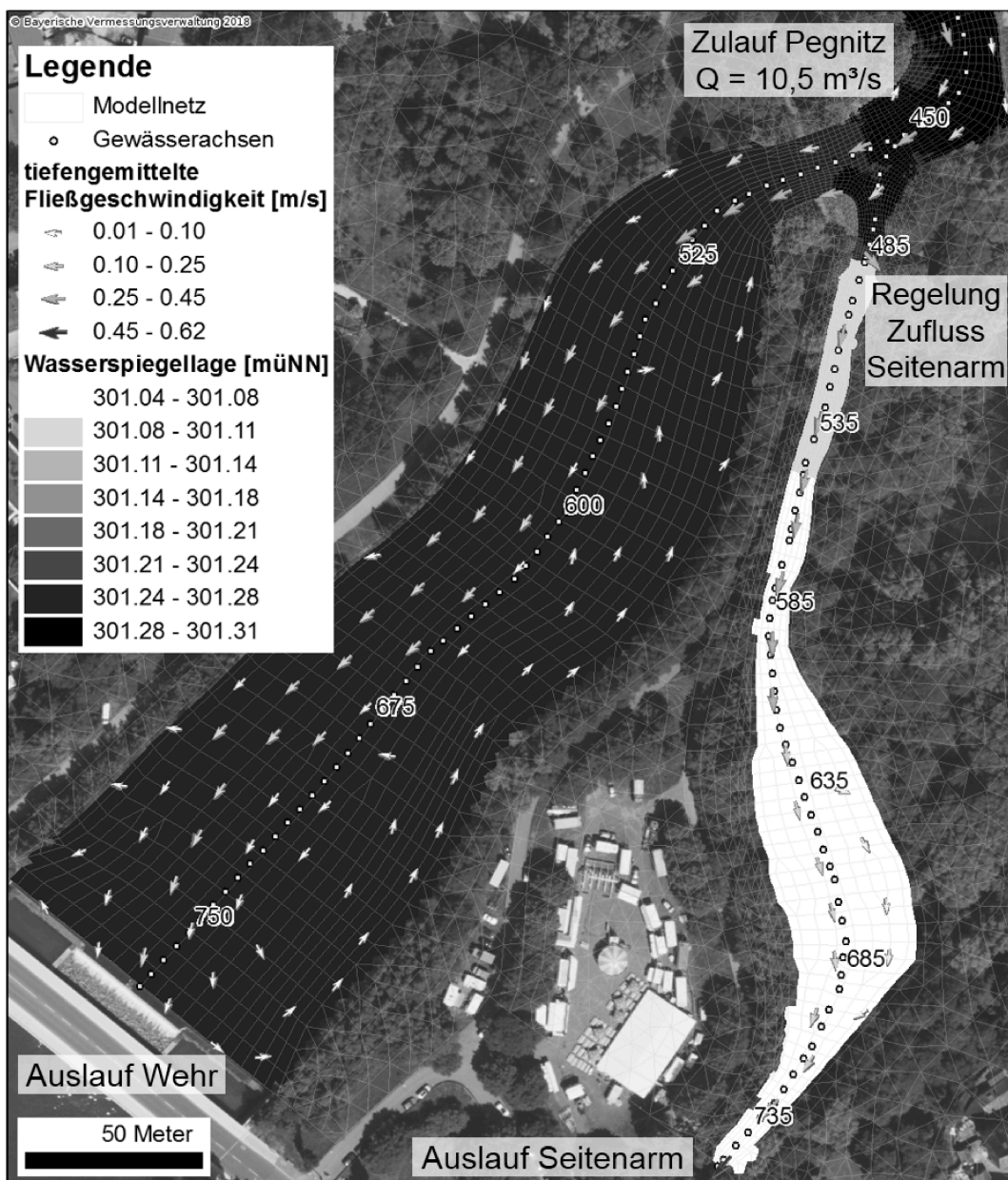
Die Wehrhöhe des mittleren Wehrfeldes beträgt 301.10 m ü. NN, die WSPL am Auslaufrand Wehr somit 301.274 m ü. NN.

Der Auslauf am Ende des Seitengerinnes entspricht einem unterströmten, regelbaren Schütz. Für diesen Auslaufrand wurde eine W-Q-Beziehung definiert,

welche auf Grundlage von Ortsbegehungen und Abflussmessungen mit einer WSPL von 301,05 m ü. NN bei 2 m<sup>3</sup>/s Abfluss übereinstimmt.

## Ergebnisse

In Abbildung 5 sind die Wasserspiegellagen und tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten nach Erreichen eines quasi-stationären Zustands für die unter 4.1 aufgeführten Randbedingungen dargestellt. Im Bereich des Sandfangs ist, wenn auch bei sehr geringen Fließgeschwindigkeiten (< 0,15 m/s), eine Walzenbildung zu erkennen.



**Abbildung 5:** Wasserspiegellagen und tiefengemittelte Fließgeschwindigkeiten für MQ (Zulauf) = 10,5 m<sup>3</sup>/s und die beschriebenen Randbedingungen



Das Wasserspiegellagengefälle in der Pegnitz (einschließlich Sandfang) ergibt sich in der 2d-Modellierung auf einem Fließweg von 769 m mit den Wasserspiegellagen 301,307 m ü. NN (Zulauf) und 301,274 m ü. NN (Auslauf) zu 0,043 ‰. Im Seitenarm stellt sich auf einer Fließstrecke von 255 m zwischen den Wasserspiegellagen 301,087 m ü. NN (Zulauf) und 301,057 m ü. NN (Auslauf) ein Gefälle von 0,12 ‰ ein.

## 5 Ausblick

Zum Zeitpunkt der Einreichung dieses Fachaufsatzes wurden am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft noch die Untersuchungen im Rahmen der 3d-HN-Modellierungen sowie am physikalischen Modell des Oberen Wöhrder Sees durchgeführt.

### 5.1 3d-CFD-Modellierung

Die turbulenzintensiven Vorgänge an der Wehranlage infolge des Einbaus eines RGBP sollen mittels 3d-CFD-Modellierung untersucht werden. Ebenso ist die bestehende Sohlgeometrie nach der Abflussaufteilung in das Seitengerinne durch ein neues Durchlassbauwerk zu ersetzen. Es werden Untersuchungen angestrebt, bei denen das bestehende, unterströmte Schütz teils in neuen Abmessungen dargestellt bzw. dieses durch einen regelfreien, konischen Venturi ersetzt werden soll. In beiden Modellbereichen ermöglicht die 3d-CFD-Modellierung eine realitätsnahe Abbildung der hydraulischen Vorgänge sowie schnelle „Umbaumaßnahmen“ und die Simulation beliebiger Geometrien, wodurch eine gezielte Umsetzung der Vorzugsvarianten im physikalischen Modell erreicht wird.

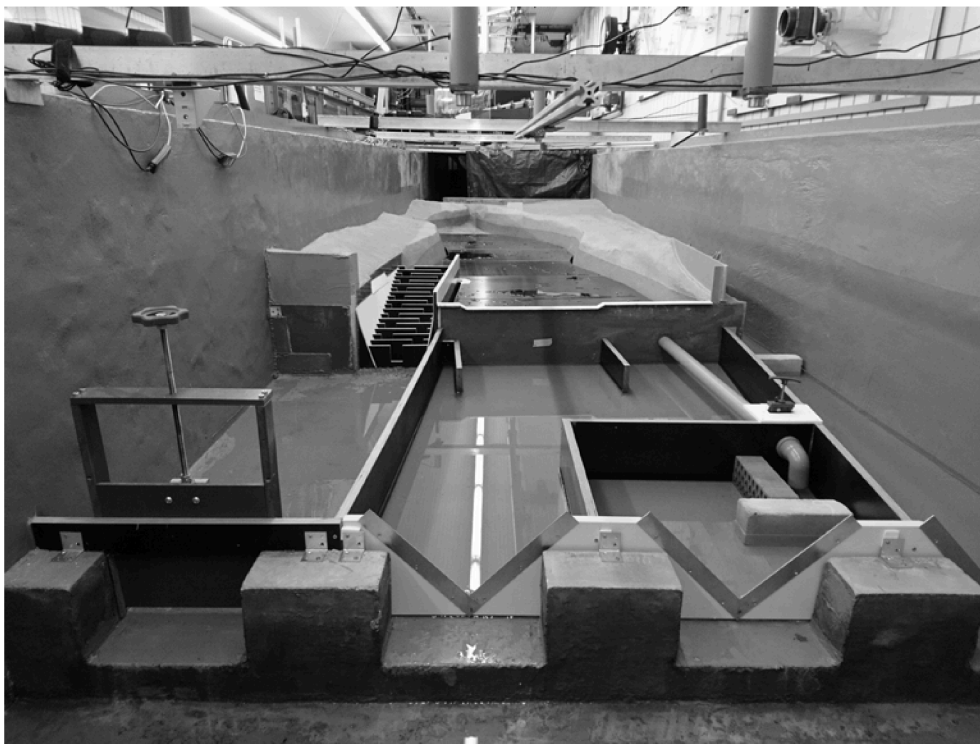
### 5.2 Physikalischer Modellversuch

Das gegenständliche Modell des Sandfangs und Seitengerinnes des Oberen Wöhrder Sees wurde im Labor für Wasserbau der Technischen Hochschule Nürnberg aufgebaut. Für den Bau des Modells stand eine 16 m lange und 2,20 m breite Rinne zur Verfügung. Aufgrund dieser Abmessungen und teilweise geringen Fließtiefen (v.a. Abfluss über das Wehr am Sandfang) wurde ein überhöhter Maßstab verwendet. Andernfalls ist der Einfluss von Oberflächenspannungs- und Reibungseffekte auf bestimmte hydraulische Vorgänge nicht sicher auszuschließen, (*Martin & Pohl, 2015*). Das Modell wurde gemäß dem Modellgesetz für verzerrte Froude-Modelle in einem Modellmaßstab  $1 : M_L = 1 : 60$  mit einem Überhöhungsfaktor  $n = 5$  erstellt. Die Tabelle 2 zeigt hierfür die Umrechnungsfaktoren der relevanten Messgrößen.

**Tabelle 2** Maßstabsfaktoren entsprechend dem Froude’schen Modellgesetz für überhöhte Modelle (mit  $M_L$  = Längenmaßstabszahl;  $n$  = Überhöhungsfaktor)

Größe	Länge, Breite	Höhe	Abfluss	Geschwindigkeit
Maßstabsfaktor	$M_L$	$M_L/n$	$(M_L^5/n^3)^{1/2}$	$(M_L/n)^{1/2}$
Umrechnungsfaktor (Natur → Modell)	0,0167	0,0833	$4,009 \cdot 10^{-4}$	0,2887

Die Gewässersohle sowie angrenzende Bereiche wurden mit Hilfe CAD-basierter Querprofilshablonen erstellt. Auf der Grundlage dieser Profilvergaben konnte das Gelände nach einer entsprechenden Sandauffüllung mit darauf gebettetem Betonestrich modelliert werden. Im Bereich des RGBP und im Einlaufbereich zum Seitengerinne wurde jeweils eine Box installiert, in welche die jeweiligen Einbauten nachträglich als Module eingesetzt werden können. Das Modell ist somit leichter modifizierbar. Im Bereich des Sandfangs wurde ein doppelter Boden installiert, durch welchen eine 1,20 m dicke Ablagerungsschicht simuliert werden kann. Die Schicht wurde durch höhenverstellbare, herausnehmbare Platten realisiert, welche sich zum Einlaufbereich hin an die ursprüngliche Sohlage anschließen. Die Abbildung 6 zeigt das physikalische Modell von der Unterwasserseite mit einem unterströmten Schütz zur Einstellung der unteren WSPL und drei Thomson-Wehren zur Ermittlung der Abflussaufteilung zwischen Seitengerinne, RGBP, Wehr und KWKA.



**Abbildung 6:** Physikalischer Modellversuchstand mit unterströmtem Schütz und Thomson-Wehren am Ende des Modells zur Ermittlung der Abflussaufteilung

Der physikalische Modellversuch wird anhand des Ist-Zustandes des Sees kalibriert. Anschließend erfolgt der Einbau von Geometrievarianten für den RGBP und den Einlaufbereich in das Seitengerinne, sodass Variantenuntersuchungen stattfinden können, welche auf dem Wasserbaukolloquium vorgestellt werden können.

## 6 Literatur

- Aigner, D., Bollrich, G. (2015): Handbuch der Hydraulik – für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Beuth Verlag GmbH, Berlin 2015
- Fischer A. (2018): Wird der Wöhrder See zur Schlammwüste? Nürnberger Zeitung, 2010, abgerufen am 09.01.2018 auf <http://www.nordbayern.de/wird-der-wohrder-see-zur-schlammwuste-1.219157>
- Martin, H. (Hrsg.), Pohl, R. (Hrsg.) (2015): Technische Hydromechanik 4 – Hydraulische und numerische Modelle. Beuth Verlag GmbH, Berlin 2015

Autoren:

Dipl.-Ing. Claudia Bellmann  
M.Eng. Max Heß  
M.Eng. Carla Ahlers  
Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Tilo Vollweiler  
Dipl.-Ing. (FH) Katharina Martin  
Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Carstensen

Technische Hochschule Nürnberg  
Georg-Simon-Ohm  
Institut f. Wasserbau und Wasserwirtschaft  
Keßlerplatz 12  
90489 Nürnberg

Tel.: +49 911 5880 1225  
Fax: +49 911 5880 5164  
E-Mail: [claudia.bellmann@th-nuernberg.de](mailto:claudia.bellmann@th-nuernberg.de)  
[max.hess@th-nuernberg.de](mailto:max.hess@th-nuernberg.de)  
[carla.ahlers@th-nuernberg.de](mailto:carla.ahlers@th-nuernberg.de)  
[tilo.vollweiler@th-nuernberg.de](mailto:tilo.vollweiler@th-nuernberg.de)  
[katharina.martin@th-nuernberg.de](mailto:katharina.martin@th-nuernberg.de)  
[dirk.carstensen@th-nuernberg.de](mailto:dirk.carstensen@th-nuernberg.de)

Klaus Winkelmair

Wasserwirtschaftsamt Nürnberg  
Allersberger Straße 17/19  
90461 Nürnberg

Tel.: +49 911 23 60 9 350

E-Mail: [Klaus.Winkelmair@wwa-n.bayern.de](mailto:Klaus.Winkelmair@wwa-n.bayern.de)