

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Hammerl, Franziska; Tietze, Johannes; Haselbauer, Matthias Schallreduzierung von Wasserkraftschnecken

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/20.500.11970/103720>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hammerl, Franziska; Tietze, Johannes; Haselbauer, Matthias (2009): Schallreduzierung von Wasserkraftschnecken. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserkraftnutzung im Zeichen des Klimawandels. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 39. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 389-397.

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.



Schallreduzierung von Wasserkraftschnecken

Franziska Hammerl, Johannes Tietze, Matthias Haselbauer

Zusammenfassung

Das Forschungsvorhaben zur Formoptimierung von Wasserkraftschnecken zur Reduzierung der Schallemission [1] wurde initiiert, da sich Anwohner von Wasserkraftwerken mit Wasserkraftschnecken über den entstehenden Lärm beschwerten. Ziel der Arbeit war es eine Modifikation der Schnecke und/oder des Troges zu entwickeln, mit der der emittierte Schall reduziert und dieselbe bzw. geringfügig geringer Leistung produziert wird.

Summary

The research into sound optimization of hydrodynamic screws [1] was initiated to reduce the emitted sound due to the fact that residents of several power plants with the principal of hydrodynamic screws complained about the produced noise. The intention was to develop a modification of the screws and/or hutches geometry to reduce the emitted sound and archive either the same or slightly less electrical power.

1 Einleitung

Wasserförderschnecken, die im 3. Jhd. v.Chr. von Archimedes entwickelt wurden, fanden in der Antike vornehmlich in der Landbewässerung sowie als Schiffsantrieb Anwendung. Im antiken Rom wurden mehrstufige Anlagen zur Wasserversorgung eingesetzt. Im Laufe der Zeit wurden Wasserförderschnecken vornehmlich als Entwässerungspumpen in Niederungsgebieten genutzt, da sie verhältnismäßig große Wassermengen auf geringen Förderhöhen heben können [2].

Wasserförderschnecken arbeiten im Allgemeinen in einem Drehzahlbereich von ca. 10 – 90 Umdrehungen pro Minute. Aufgrund dieser niedrigen Drehzahlen sind sie deshalb sehr widerstandsfähig gegenüber Verschleiß und Versetzungen. Da sie zudem aufgrund ihrer offenen Bauweise gut zugänglich sind, können Sie bei Bedarf leicht gereinigt werden. Weiterhin vermeiden die vorherrschenden niedrigen Geschwindigkeiten größeren Gasaustausch zwischen der umgebenden Luft und dem geförderten Fluid. Aufgrund dieser Vorteile hat man die Wasserförderschnecken in den letzten Jahrzehnten vornehmlich zum Heben von Schmutzwasser in Kläranlagen eingesetzt. [2]

Karl-August Radlik kehrte das Prinzip der Wasserförderschnecke um und meldete die „Wasserkraftschnecke“ 1992 zum Patent an [3]. Wasserkraftschnecken eignen sich besonders zur Energiegewinnung für Durchflüsse in Bereichen zwischen 0,04 und 5,5 m³/s und Fallhöhen zwischen 5 und 10 m. Der Wirkungsgrad der Wasserkraftschnecken liegt zwischen 70%- 85% und befindet sich damit im Bereich von überschlächtigen Wasserrädern [4]. Aufgrund dieser Einsatzbedingungen werden die Wasserkraftschnecken vornehmlich in der Kleinwasserkraft bis zu 500 kW eingesetzt. Desweiteren finden sie auch als Restwasserkraftwerke bei geringen Fallhöhen Anwendung.

Ein Nachteil der Wasserkraftschnecken ist, dass es aufgrund der im Vergleich zur Wasserförderschnecke geänderten Drehrichtung zu einem immensen Lufteintrag ins Wasser kommt, mit dem eine erhebliche Lärmbelastung einher geht. Da die Schallemissionen von Wasserkraftwerken vor allem in urbanen bzw. bewohnten Gebieten zu Problemen mit den Anwohnern führen, müssen die geltenden Schallschutzrichtlinien eingehalten werden müssen. In der folgenden Tabelle sind zur Veranschaulichung die einzuhaltenden Richtwerte der TA - Lärm [5] aufgetragen.

Tabelle 1 Richtwerte der TA- Lärm [4]

Ziffer TA- Lärm	Ausweisung	Immissionsrichtwert tags (6:00 bis 22:00 Uhr)	Immissionsrichtwert nachts (22:00 bis 6:00 Uhr)
6.1 a	Industriegebiete	70 dB(A)	70 dB(A)
6.1 b	Gewerbegebiete	65 dB(A)	50 dB(A)
6.1 c	Kern-, Dorf- und Mischgebiete	60 dB(A)	45 dB(A)
6.1 d	Allgemeine Wohnge- biete	55 dB(A)	40 dB(A)
6.1 e	Reine Wohngebiete	50 dB(A)	35 dB(A)
6.1 f	Kurgebiete, Kranken- häuser und Pflegeanstalten	45 dB(A)	35 dB(A)

Diese Lärmemissionen stellen ein großes Problem dar, was man am Beispiel des Isarwerks 3 in München gesehen kann. An diesem Standort führte der emittierte Lärm der Wasserkraftschnecke dazu, dass die Wasserkraftschnecke abgeschaltet werden musste. In der Folge wurde die Anlage eingehaust um die Anwohner vor dem emittierten Schall zu schützen. Weiterhin ist ein Ausführungsvorhaben am Biedersteinkanal in München gefährdet, da dieses in einem Wohngebiet liegt. Da die zusätzlichen Kosten der Einhausung vermieden werden sollten, wurde untersucht in wie fern das Problem durch eine konstruktive Veränderung der Wasserkraftschnecke gelöst werden könnte.

Durch diese konstruktiven Veränderungen der Schneckengeometrie, die im Weiteren erläutert werden, wurden im Modellversuch Schalldruckpegelreduzierungen bis zu 12dB erreicht.

2 Modellaufbau und -instrumentierung

Maßgeblich für den Bau des Modells war eine Dimensionsanalyse des Maßstabs und die zur Verfügung stehenden räumlichen Verhältnisse im Labor des Fachgebietes für Hydromechanik der Technischen Universität München. Die Dimensionsanalyse erfolgte im Rahmen einer Projektarbeit (vgl. [6]) und hatte zum Ergebnis, dass im zur Verfügung stehenden Gerinne der Breite $b = 30$ cm und der Höhe $h = 50$ cm ein Modellversuch im Maßstab 1:15 eingebaut wurde. An diesem Modell (Abb. 1) wurden am verschiedenen Schnecken- und Trogformen bei unterschiedlichen strömungstechnischen Randbedingungen Schall- und Leistungsmessungen durchgeführt. Der Durchmesser der einzelnen Schneckenvariationen war dabei 180 mm. Die Wasserkraftschnecke war am unteren Ende (3) durch eine Lagerkugel und am oberen Ende (4) durch ein Kugellager im Trog (2) fixiert. Der im Unterwasser gelegene Teil des Troges war austauschbar, wodurch unterschiedliche Trogmodifikationen getestet werden konnten. Die Drehzahl der Schnecke wurde über die Leistungsaufnahme eines Generators (5), einem Nabendynamo(5), geregelt, der über ein Getriebe (6) angetrieben wurde. Über Kabel waren ein Leistungs- und ein Spannungsmesser sowie Drehwiderstand mit dem System verbunden. Die Schallmessungen erfolgen über einen Frequenzanalysator von Bruel & Kjaer (7).

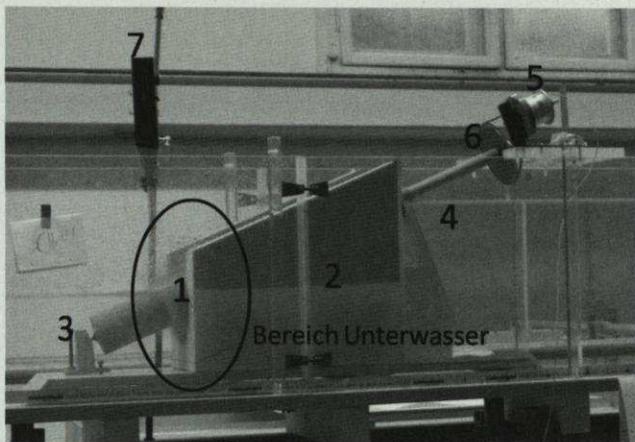


Abbildung 1: Aufbau des Versuchstands

3 Durchführung der Laborversuche

Im Sommer 2008 wurden insgesamt sechs Messreihen gemessen, wobei der Schnecke im ursprünglichen Zustand („Standard- Schnecke“) fünf Modifikationen gegenübergestellt wurden (vgl. Tabelle 2). Ziel der Modifikationen war es den unbewerteten Schalldruckpegel zu reduzieren wobei die elektrische Leistung gleich oder geringfügig weniger sein sollte. Bei jeder Messreihe wurden die

Durchflüsse $Q_1 = 1,36 \frac{l}{s}$, $Q_2 = 1,50 \frac{l}{s}$, $Q_3 = 2,27 \frac{l}{s}$, $Q_4 = 1,36 \frac{l}{s}$ und $Q_5 = 1,36 \frac{l}{s}$ eingestellt. Bei jedem dieser Durchflüsse $Q_1 - Q_5$ wurden zudem fünf unterschiedliche Unterwasserstände durch eine stromabliegende Wehrschwelle eingestellt. Über die Leistungsaufnahme des Generators konnten weiterhin fünf unterschiedliche Drehzahlen der Schnecke eingestellt werden. Es ergaben sich somit pro Messreihe 125 Datenpunkte abhängig von Durchfluss, Unterwasserstand und Widerstand, an denen

- der unbewertete gemittelte Schalldruckpegels [dB] ($\Delta t = 15s$)
- Umdrehungsgeschwindigkeit [min^{-1}]
- induzierte Strom [A] und Spannung [V]
- Unterwasser- und Oberwasserstand [m]

gemessen wurde.

Tabelle 2 Bezeichnung des Schneckentyps und ihn bedingende Veränderungen

Bezeichnung des Schneckentyps	Vorgenommene Veränderung
T1- ohne	Standardschnecke
T1- mit	Standardschnecke mit Öffnung im Trogboden im Bereich Unterwasser
T1- so- ohne	Standardschnecke mit Scheibe zur Reduzierung des Querschnitts im Bereich Unterwasser
T1- so- mit	Standardschnecke mit Scheibe zur Reduzierung des Querschnitts und Öffnung im Bereich Unterwasser
T2- ohne	Schnecke und Trog mit einer Reduzierung der Durchmessers im Bereich Unterwasser
T2- mit	Schnecke und Trog mit einer Reduzierung des Durchmessers und Öffnung im Bereich Unterwasser

3.1 Beschreibung der Formoptimierung

Zur Formoptimierung der Wasserkraftschnecken im Bezug auf eine Reduzierung der Schallemissionen wurden sie Schallquellen identifiziert und deren Abhängigkeit von einzelnen Strömungsrandbedingungen analysiert.

Bei einer Variation des Unterwasserstandes kann man beobachten, dass ein höherer Unterwasserstand zu niedrigeren Schallemissionen führt. Der höhere Unterwasserstand führt dazu, dass die Fallhöhe des Wassers beim Ausströmen aus der Schnecke verringert wird, wodurch sich der entstehende Schalldruckpegel reduziert. Durch einen höheren Unterwasserstand verringert sich jedoch zum Einen die zur Energieerzeugung stehende Fallhöhe. Zum Anderen erhöhen sich durch das stärkere Eintauchen der Schnecke in das Unterwasser die Watverluste der Schnecke. Beides hat zur Folge, dass die Leistung verringert wird, weswegen eine Erhöhung des Unterwasserstandes zur Schallreduzierung nicht vorteilhaft ist.

Der größte Teil der Schallemissionen entsteht durch das periodische asymmetrische Ausströmen des Wassers aus der Schnecke, das eine immense Lufteinmischung ins Unterwasser mit sich bringt. Durch eine Vergleichmäßigung der Ausströmverhältnisse können die Schallemissionen signifikant reduziert werden.

Für diese Vergleichmäßigung wurden folgende technische Lösungsmöglichkeiten analysiert und den Strömungsverhältnissen der Standardschnecke gegenübergestellt:

- Am unteren Ende Schnecke kann das asymmetrische Ausströmen durch ein Umlenken der Strömung in Richtung der Achse vergleichmäßigt werden. Diese Umlenkung wird durch eine Verjüngung des Schneckendurchmessers von $d = 180\text{mm}$ auf $d^* = 140\text{mm}$ über eine Länge von $l_{d^*} = 100\text{mm}$ bewerkstelligt. Der Trog wird entsprechend verjüngt (Abb. 2). Die Schnecke erhält durch diese konstruktive Modifikation eine düsenähnliche Form. Die Analyse der Ausströmverhältnisse zeigt, dass zum Einen die Fallhöhe des ausströmenden Wassers beim Eintauchen in das Unterwasser verringert wird. Diese Reduzierung bringt eine Verringerung der eingetragenen Luft mit sich, was letztendlich die Schallemissionen verringert. Zum Anderen wird durch die Bauweise wie angesprochen das Ausströmen vergleichmäßigt, durch das der störende periodische Lärm vermieden wird.
- Bei der oben beschriebenen Modifikation müssen sowohl der Trog als auch die Schnecke baulich verändert werden. Dies ist jedoch als Nachrüstungsmaßnahme einer bestehenden Schnecke nicht immer ohne weiteres möglich. Es wurde deshalb untersucht, in wie weit eine am Ende der Schnecke aufgesetzte Scheibe, die ebenfalls den Querschnitt für das ausströmende Wasser ver-

ringert, als Schallreduzierungsmaßnahme verwendet werden kann. Da diese Modifikation in den Versuchen nicht zu einer signifikanten Reduzierung der Schallemission geführt hat wurde sie in den weiteren Untersuchungen nicht weiter betrachtet.

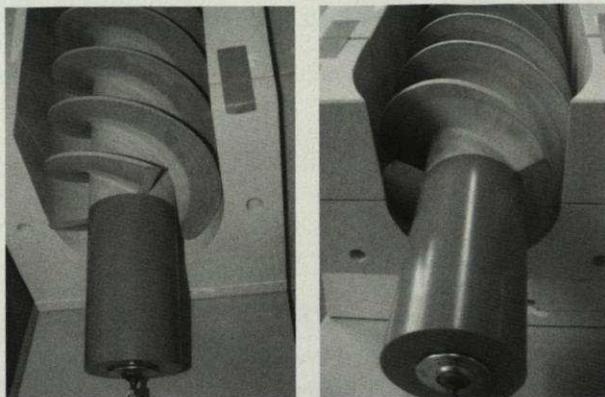


Abbildung 2: Schneckentyp T1-ohne und T2- mit

- Der Großteil des Schalls entsteht wie beschrieben durch das ausströmende Wasser aus der Schnecke, wobei Luft in das Unterwasser eingetragen wird. Um das Volumenstrom des ausströmenden Wassers zu reduzieren kann das Wasser durch eine Öffnung im Trog kurz vor dem Ende des Troges entnommen werden. Das entnommene Wasser wird anschließend durch eine Bypassleitung in das Unterwasser geführt.

3.2 Auswertung der Ergebnisse

3.2.1 Schallmessungen

Die in den Versuchen gemessenen Schallpegel müssen für eine Interpretation mit dem Lautempfinden des menschlichen Gehörs in Bezug gesetzt werden. Das menschliche Gehör ist sehr empfindlich. Eine Schallpegelunterschied von 3 dB kann bereits sehr gut wahrgenommen werden [7]. Da die in den Versuchen gemessenen Werte des Schalldruckpegels im Bereich über 40 dB liegen, bedeutet eine Pegelreduzierung von 10 dB eine subjektive Lautstärkenhalbierung [7].

Die Ergebnisse einer Messreihe bei Variation der Unterwasserfließtiefe ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Ergebnisse geben klar die beschriebene Lärmreduzierung mit steigendem Unterwasser wieder.

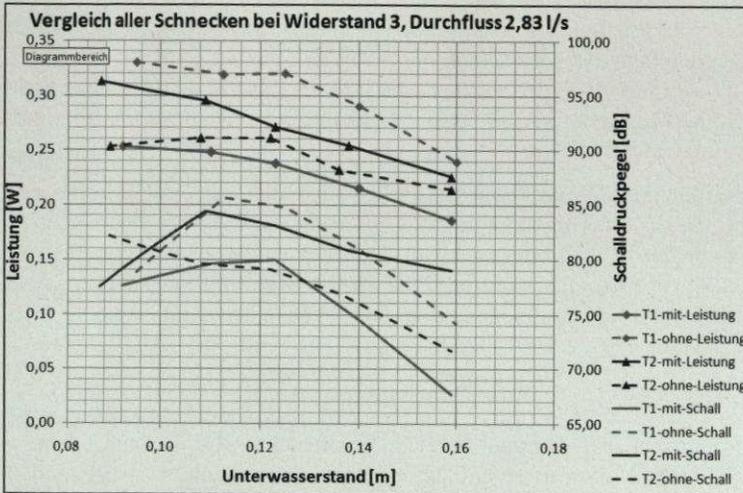


Abbildung 3: Auswertung der Schnecken bei Widerstand 3 und Durchfluss 2,83 l/s

Das Wasser fällt nach dem Verlassen der Schnecke in das Unterwasser, da der Wasserstand in der Schnecke im Allgemeinen wesentlich höher ist als die Lage des Unterwasserspiegels. Beim beschreibenden Ausströmen kommt es daher zu einem Flüssigkeitsstrahl, der beim Eintauchen an der Scherschicht zum Unterwasser Luft einträgt. Diese periodische Entwicklung von Flüssigkeitsstrahlen kann als „Platschen“ wahrgenommen werden.

In den Abbildungen ist ferner ein Ansteigen des Schallpegels bei der Steigerung kleinerer Fließtiefen erkennbar, was nicht der oben aufgezeigten Argumentation entspricht. Es kann entsprechend neben dem Flüssigkeitsstrahlen eine zweite Schallquelle identifiziert werden. Beim Eintauchen der Schnecke kommt es zu kleinen Winkeln zwischen der Wasseroberfläche und den Schneckenblättern. Je kleiner dieser Winkel ist, desto flacher treffen die Blätter auf die Oberfläche. Dieses Auftreffen bzw. die daraus resultierende Verdrängung des Wassers erzeugt Schall.

Bei Analyse der Abbildung fällt auf, dass lediglich die Wasserkraftschneckenvariante „T2- ohne“ hier keine Erhöhung des Schalldruckpegels erfährt. Ihre Kur-

ve fällt kontinuierlich. Der Schalldruckpegel nimmt je nach Modifikation unterschiedlich ab.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse der einzelnen Modifikationen zeigt, dass durch die Modifikation „T1- mit“ der unbewertete Schalldruckpegel um ca. 6,5 dB verglichen mit der ursprünglichen Wasserkraftschnecke „T1-ohne“ reduziert werden kann. Das Minimum der Schallemissionen wird mit der Modifikation „T1- mit“ erreicht, die bis zu 12 dB leiser ist als die ursprüngliche Bauform. Auch die Modifikation „T2- ohne“ reduziert den Schalldruckpegel signifikant um maximal 5,5 dB.

In der Modifikation „T2- mit“ wurden die Radiusreduzierung der Sacke und die Bypassöffnung im Trog kombiniert. Die Annahme, dass die Kombination von diesen beiden Schallreduzierungsmaßnahmen einen deutlich geringeren Schallpegel erzeugt hat sich nicht bestätigt. Diese Modifikation reduziert zwar ebenfalls den Schall im Vergleich zur ursprünglichen Wasserkraftschnecke, aber nicht in dem Maße wie die Modifikationen „T1- mit“ und „T2- ohne“ alleine.

3.2.2 Leistungsmessung

Die Wasserkraftschnecke dient zur Erzeugung von elektrischer Leistung, daher war darauf zu achten, dass eine Veränderung der Geometrie nicht zu einem größeren Verlust an Leistung führt.

Mit steigendem Unterwasserstand wird, wie bereits oben erwähnt, die Leistung geringer, was bei allen Modifikationen zu beobachten ist.

Die ursprüngliche Wasserkraftschnecke „T1- ohne“ lieferte in den Versuchen die meiste Leistung. Die Variationen „T2- mit“ und „T2- ohne“ reduzieren die Leistung im Bereich von 10 – 25 %. Interessant sei anzumerken, dass bei Modifikation „T2- ohne“ die Leistungsabnahme nicht so stark ausfällt.

4 Ausblick

Im Verlauf des Forschungsvorhabens wurde eine Reihe von Strömungssimulationen erstellt, deren Ergebnisse in den nächsten Wochen den Ergebnissen der Laborversuche gegenübergestellt werden. Von Interesse sind dabei u.a. die auf die Schnecke wirkenden Kräfte und vor allem, ob die Verjüngung des Troges tatsächlich zu einer Vergleichmäßigung der Strömung im Unterwasser führt. Die Leistungsmessungen im physikalischen Versuch zeigen einen sehr geringen Wirkungsgrad, da die Lager, der Dynamo und die Übersetzung starke Verluste verursachen. Aus den Simulationen soll deshalb abschließend auf den Wirkungsgrad der einzelnen Modifikationen geschlossen werden.

Literatur/References

1. **Hammerl, Franziska E.** *Formoptimierung einer Wasserkraftschnecke zur Reduzierung der Schallemission.* München : Fachgebiet für Hydromechanik der Technischen Universität München, 2008. Diplomarbeit. (in Arbeit).
2. **Radlik, Karl-August und Nagel, Gerhard.** *Wasserförderschnecken - Planung, Bau und Betrieb von Wasserhebeanlagen.* Wiesbaden;Berlin : Udo Pfierner Buchverlag in der Bauverlag GmbH, 1988.
3. **Radlik, Karl- August.** *Wasserkraftschnecke zur Energieumwandlung.* DE4139134A1 Deutschland, 1992.
4. **Giesecke, Jürgen und Mosonyi, Emil.** *Wasserkraftanlagen - Planung, Bau und Betrieb.* 4. Bonn - Berlin : Springer, 2005.
5. **Vorschriftensammlung der Gewerbeaufsicht.** *Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz.* s.l. : Gemeinsame Ministerialblatt , 1998. 26/1998.
6. **Etz, Anita, Hammerl, Franziska und Skoublics, Daniel.** *Strömungsoptimierung der Wasserkraftschnecke am Biedersteinkanal.* München : s.n., 2008. Projektarbeit (nicht veröffentlicht).
7. **Müller, Gerhard und Möser, Michael.** *Taschenbuch der Technischen Akustik.* [Hrsg.] Michael Möser. 3. Bonn, Berlin : Springer- Verlag, 2004. S. 103-105.

Autoren/Authors:

Franziska Hammerl
Fachgebiet für Hydromechanik
Technische Universität München
Arcisstraße 21
80333 München
FE.Hammerl@mytum.de

Johannes Tietze
Liebergessellstr. 4
80802 München
johannes.tietze@rmd-wasserstrassen.de

Dr.-Ing. Matthias Haselbauer
Fachgebiet für Hydromechanik
Technische Universität München
Arcisstraße 21
München

Aktuelle Adresse:
RMD- Consult GmbH
Blutenburgerstraße 20
80636 München
Tel.: +49 89 99222 448
Fax: +49 89 99222 409
matthias.haselbauer@rmd-consult.de

Hubert-Engels-Labor

Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
Technische Universität Dresden



Hydraulische Modellversuche für Forschung, Lehre und Praxis

www.iwd.tu-dresden.de



Hubert-Engels-Labor

Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
Technische Universität Dresden



Numerische Modelle für Forschung, Lehre und Praxis

www.iwd.tu-dresden.de

