

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Feurich, Robert; Kühner, Walter**

## **3D Simulation der Seestand-Abflussbeziehung für die Seeklause/Salzburg (Wallersee)**

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/20.500.11970/103826>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Feurich, Robert; Kühner, Walter (2006): 3D Simulation der Seestand-Abflussbeziehung für die Seeklause/Salzburg (Wallersee). In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Strömungssimulation im Wasserbau (Flow Simulation in Hydraulic Engineering). Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 32. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 277-284.

### **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.



## **3D Simulation der Seestand-Abflussbeziehung für die Seeklause/Salzburg (Wallersee)**

Feurich Robert, Kühner Walter

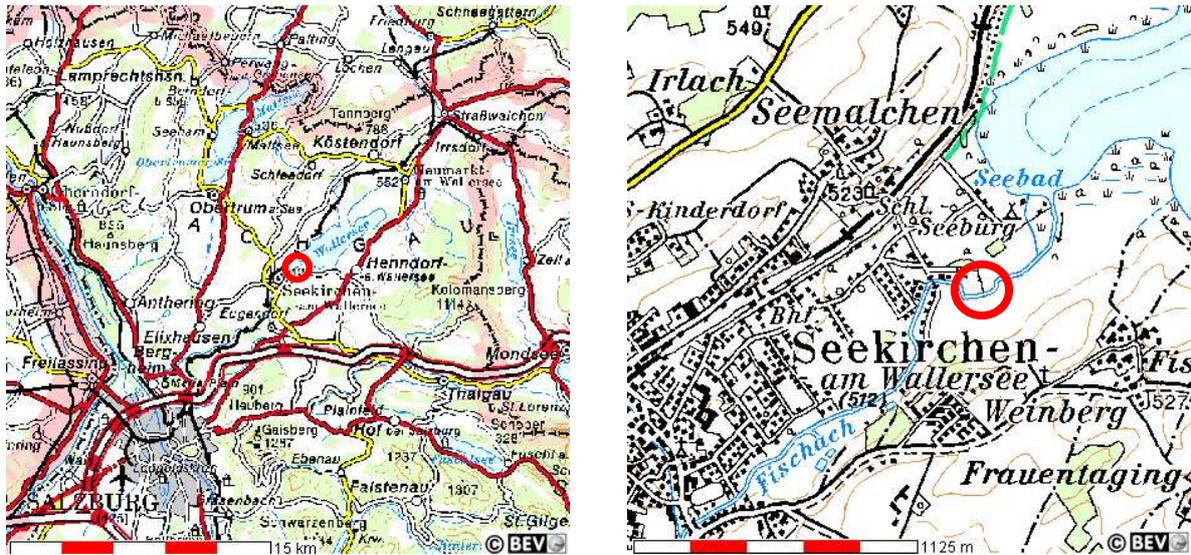
Die Seeklause steuert als festes Wehr das Abflussverhalten und die Retention des nordöstlich der Stadt Salzburg gelegenen Wallersees. Da die Standsicherheit des auf extrem schwierigem Baugrund liegenden Dammes im Hochwasserfall mit dem durch die Seeklause beeinflussten Wasserspiegel zusammenhängt, wurde im Zuge einer Risikoanalyse eine 3D-Abflussmodellierung durchgeführt. Der Einfluss des Unterwassers auf die Stauhöhe im See wird in der numerischen Simulation durch den Einbau eines festen Wehres berücksichtigt, wobei als Referenz für die Unterwasserhöhen die Daten einer früheren 1D Berechnung verwendet werden. Damit kann eine sicherere Datenbasis für die Standsicherheitsberechnung des Dammes und die Abschätzung des Hochwasserrisikos insgesamt geschaffen werden.

The discharge and the retention capacity of the lake Wallersee located north-eastern of the city of Salzburg are controlled by the Seeklause weir. Because of the close connection between water levels controlled by this weir and the stability of the dam built on extremely unstable ground, a risk analysis including a 3D numerical flow simulation was carried out. To consider the influence of downstream water levels on lake level an additional weir was used in the numerical simulation in the downstream area of the Seeklause using the water level data of a former 1D simulation. This provided a reliable base for the stability analysis of the dam and the assumption of the flood risk of the lake could be found.

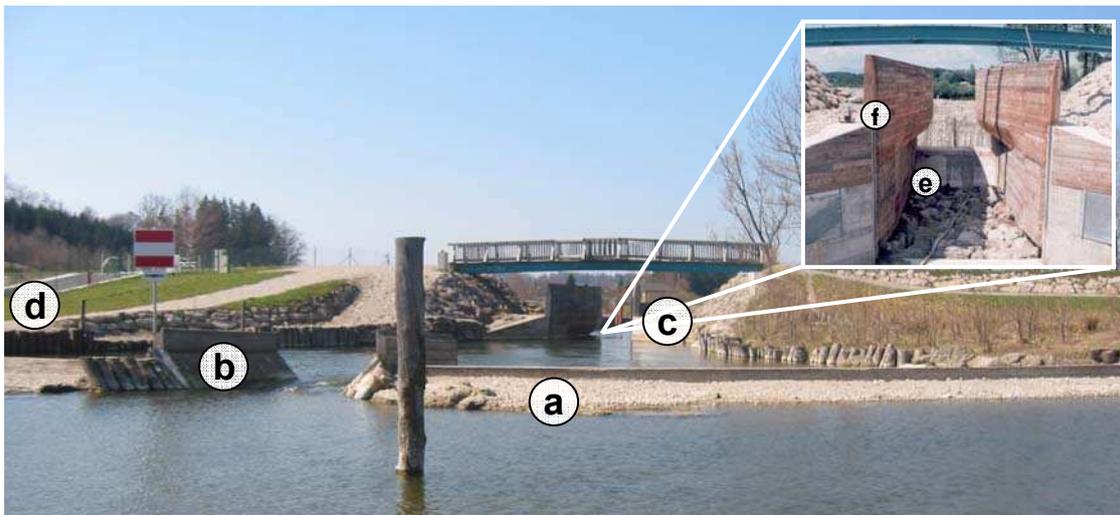
### **1 Einleitung**

Der Abfluss aus dem nordöstlich der Stadt Salzburg gelegenen Wallersees (Abb. 1), die Fischach, weist eine mittlere Wasserführung von  $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$  auf. Bei einem dreihundertjährlichen Hochwasser steigt dieser Wert bis auf  $42 \text{ m}^3/\text{s}$  an.

Um die Anlieger der Fischach vor Hochwässern zu schützen und die Ökologie des Sees mit seinem Umland zu verbessern, wurde Ende des 20. Jahrhunderts das Projekt „Hochwasserschutz Fischach-Seespiegelhebung Wallersee“ verwirklicht. Herzstück des Projekts ist die in einem 700 m langen, quer zum Tal der Fischach errichteten Damm integrierte „Seeklause“. Diese steuert als festes Wehr das Abflussverhalten und die Retention des Wallersees (Abb. 2).



**Abbildung 1** geographische Lage des Projektgebietes



**Abbildung 2** Übersicht Seeklause mit Wehrschwelle (e) in der Düse (f) im Bauzustand, Blickrichtung UW

Um die Gewässerökologie des Wallersees zu verbessern hebt zunächst eine halbkreisförmige Mittelwasserschwelle (Abb. 2-a) mit einer kleinen NW-Öffnung (Abb. 2-b) den Seespiegel vor der so genannten Düse (Abb. 2-c) im Bereich des festen Wehres. Für die Freizeitschifffahrt wurde neben der Seeklause eine Bootsschleuse errichtet (Abb. 2-d).

Da die Standsicherheit des auf extrem schwierigem Baugrund (unkonsolidierter Seeton) liegenden Dammes im Hochwasserfall mit dem durch die Seeklause beeinflussten Wasserspiegel zusammenhängt, wurde im Zuge einer Risikoanalyse das Institut für Wasserbau in Innsbruck mit einer 3D-Abflussmodellierung beauftragt. Damit sollen die Wasserspiegel und Strömungsvorgänge bei verschiedenen Durchflüssen durch die Seeklause realitätsnah berechnet werden.

Die Berechnungen werden mit dem kommerziellen Softwarepaket Flow-3D von Flow Science Inc. durchgeführt. Damit werden die Reynolds gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen dreidimensional gelöst. Dafür stehen verschiedene Turbulenzmodelle zur Verfügung. Für den vorliegenden Fall wird als verbreiteter und bei vielen Strömungen bewährter Ansatz das  $k$ - $\epsilon$ -Zweigliederturbulenzmodell gewählt.

Das Programm arbeitet mit einem strukturierten Gitter, welches aus einfachen Quadern besteht. Ein Rechengebiet kann aus mehreren dieser strukturierten Einheiten, sog. Blöcken, zusammengesetzt werden. Die Einbindung der VOF (Volume Of Fluid) Methode zur Verfolgung der Grenze zwischen Wasser und Luft ermöglicht die Analyse komplexer Freispiegelströmungen. Hier wird in jeder Zelle das Verhältnis des Luft/Wasseranteils berechnet. Unter Zuhilfenahme der Informationen der Nachbarzellen kann somit die Normalenrichtung der freien Oberfläche eindeutig und scharf bestimmt werden. Nach einem ähnlichen Prinzip arbeitet das ebenfalls eingebundene FAVOR (Fractional Area Volume Representation) Verfahren. Hiermit wird die Grenze zwischen durchflossenen und nicht durchflossenen Teilen, d. h. die durchströmte Geometrie, des Strömungsgebietes festgelegt. Die Lage der Berandungsfäche jeder einzelnen Zelle ergibt sich aus der skalaren Information über den durchströmten bzw. mit einem Hindernis belegten Anteil der entsprechenden Zelle und der benachbarten Zellen.

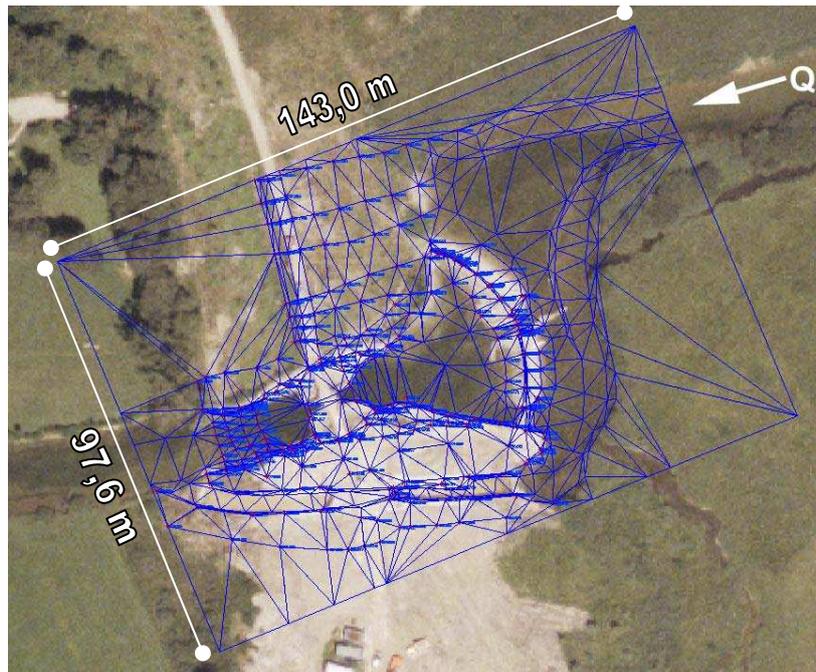
## 2 Netzgenerierung

Für die Erstellung des Geländemodells standen die Pläne des Regulierbauwerks, die Daten einer Geländevermessung und ein Orthofoto des betroffenen Gebietes zur Verfügung. Die Messpunkte der Geländedaten wurden nach dem Einlesen in eine CAD-Software anhand des Orthofotos lagemäßig kontrolliert. Nach einer ersten automatischen Vernetzung der Messpunkte konnten mithilfe des Orthofotos die Gitternetzlinien angepasst werden, um Bruchkanten entsprechend den natürlichen Gegebenheiten festzulegen. Das Orthofoto half auch bei der Ergänzung von Messpunkten in relevanten Bereichen (Abb. 3). Letztendlich konnte der auf Grundlage der bereitgestellten Pläne gezeichnete Volumenkörper des Bauwerks (31,2 x 18,5 m) (Abb. 4) mit dem Volumenkörper des Geländes (143,0 x 97,6 m) kombiniert werden (Abb. 6).

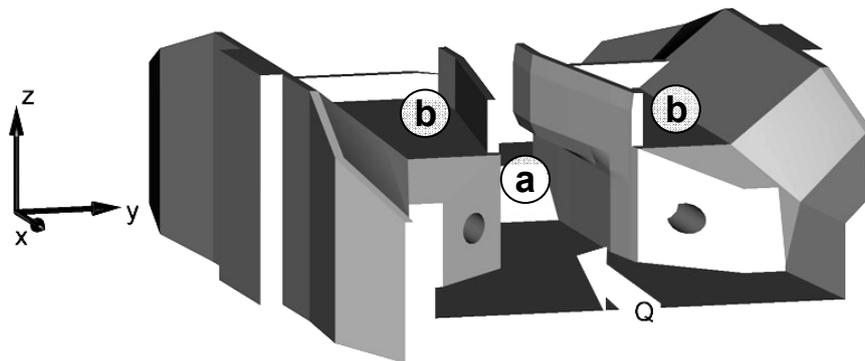
Um zuverlässige Resultate zu erhalten ohne dabei die Rechenzeiten allzu sehr zu erhöhen wird hier mit zwei Blöcken gearbeitet. Dabei deckt der erste Block mit einem gröberen Netz (192 000 Zellen) das Gesamtgebiet ab. Ein zweiter Block mit einem feineren Netz (315 700 Zellen) wird im Bereich der rechenrelevanten

Geometrie, hier das abflussbestimmende Bauwerk, in den ersten Block eingebettet (Abb. 5).

Das Abflussverhalten der Seeklause wird durch relevante Höhenfestpunkte charakterisiert. Diese werden mit fixen Gitterlinien in der seitlichen und höhenmäßigen Lage festgelegt, um deren exakte Lage im numerischen Modell sicher zu stellen.



**Abbildung 3** Geländenetz bestehend aus Vermessungsdaten und ergänzten Punkten



**Abbildung 4** 3D Modell des Wehrbauwerks mit fester Schwelle (a) und Seitenbords (b)

### 3 Versuchsdurchführung

Die Berechnung einer Pegel-Abfluss-Beziehung für die vorliegende Problemstellung ist deshalb schwierig, weil die Geometrie des venturiähnlichen Auslaufbauwerks (Abb. 4) diese Beziehung maßgebend bestimmt. Die Fehler eines

digitalen Geländemodells sind aber umso größer, je gröber das Berechnungsnetz gewählt wird. Bei einer groben Diskretisierung wird mit einer „falschen“ Geometrie gerechnet, und dementsprechend verhalten sich Seestand und Abfluss nicht wirklichkeitsgetreu. Es ist somit von großer Bedeutung, für das Auslaufbauwerk ein möglichst feines Rechenetz zu erstellen, ohne aber auf der anderen Seite die Rechenzeiten zu sehr in die Höhe zu treiben. Im verwendeten Programmpaket sind regionale Verfeinerungen durchaus möglich. Der große Nachteil im geschilderten Fall liegt darin, dass die Numerik eine explizite Zeitdiskretisierung verwendet, und dass demzufolge Stabilitätskriterien einzuhalten sind. So muss der maximale Zeitschritt auf die kleinste Zelle Rücksicht nehmen, was dann ein sehr langsames Fortschreiten der Lösung bedingt. Es sind in der Folge tagelange Rechenzeiten in Kauf zu nehmen, bis sich eine kleine Durchflussänderung im Gesamtvolumen des Speichers stabilisiert hat.

### 3.1 Randbedingungen

Der Zufluss zum Rechengebiet erfolgt über eine 7 x 93 m große Öffnung im Boden (Abb. 6). Hier wird eine definierte Geschwindigkeit als Randbedingung angegeben, welche zusammen mit der Fläche der Öffnung die geforderte Wassermenge ergibt. Durch die große Öffnung sind die Zuströmgeschwindigkeiten klein, wodurch eine Beeinflussung der Rechenergebnisse vermieden wird.

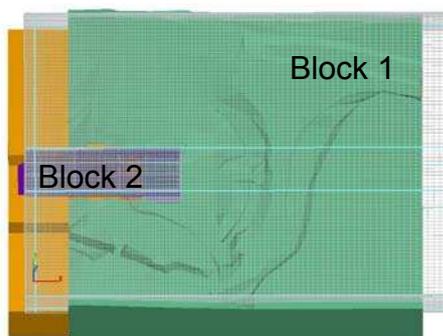
Um Rechenzeit zu sparen wird das Rechengebiet zum Beginn der Rechnung mit einem rechteckigen Flüssigkeitskörper (initial fluid) gefüllt. Je näher dieser Flüssigkeitskörper dem endgültigen Wasserspiegel kommt, desto kürzer ist die Rechenzeit. Ein Nachteil ist allerdings, dass dieser Wasserquader am Beginn der Rechnung sozusagen an den Rändern „zusammenfällt“, um sich dort der Geländeform anzupassen. Dadurch entstehen Schwingungen des Wasserspiegels, wie sie in den Ergebnisdiagrammen des folgenden Abschnitts zu sehen sind. Dabei ist zu beachten, dass diese Schwingungen im Verlauf der Berechnung auf ein vertretbares Maß abklingen.

### 3.2 Rauigkeitseinfluss

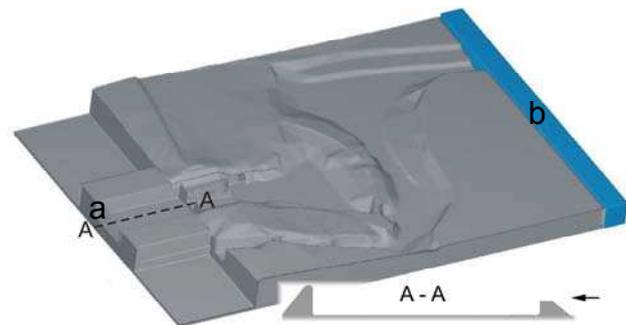
Zu Beginn des Versuchsprogramms erfolgte eine Abschätzung des Einflusses der Oberflächenrauigkeit des Geländes ( $k_G$ ) und des Bauwerks ( $k_B$ ) auf die endgültigen Seewasserspiegel. Die mit drei extrem unterschiedlichen äquivalenten Sandrauigkeiten durchgeführten Berechnungen zeigten eine nur geringe Beeinflussung des Seespiegels. Die Simulationen dieser Arbeit sind mit den Werten  $k_G = 80$  mm und  $k_B = 0.6$  mm durchgeführt worden.

### 3.3 Unterwasserregulierung

Da der Unterwasserspiegel der Fischach (Abb. 7) bei allen Wasserführungen höher liegt als die Oberkante der festen Schwelle in der Düse (504,5 m), wird der Seespiegel oberhalb der Klause vom Unterwasserstand mit beeinflusst. Um diesen Einfluss auch in der numerischen Berechnung nachvollziehen zu können wird das Gelände unterhalb der Klause durch einen künstlichen Bereich mit festem Wehr ersetzt (Abb. 6).



**Abbildung 5** Rechengitter mit 2 Blöcken



**Abbildung 6** verwendetes Rechengebiet mit Unterwasserschwelle (a) und Einlaufbereich (b)

Die Oberkante der Wehrschwelle wird bei den verschiedenen Wasserführungen so gewählt, dass der Unterwasserstand der jeweiligen 1D Berechnung erreicht wird. Lediglich für das HQ 300 muss der Unterwasserstand extrapoliert werden, weil hier keine UW Daten zur Verfügung stehen.

## 4 Resultate

Bei den Berechnungen ist, wie vorhin bereits erwähnt, darauf geachtet worden, dass der Unterwasserspiegel bei den 3D Berechnungen mit jenen aus den früheren 1D Untersuchungen übereinstimmt. Abbildung 7 zeigt, dass dies in allen untersuchten Fällen mit ausreichender Genauigkeit erreicht wird.

Die Kernfrage der vorliegenden Untersuchung ist die Bestimmung der Wasserspiegel im OW Bereich der Seeklause. Im Folgenden sind die Wasserspiegellagen bei verschiedener Wasserführung im Bereich OW Klause angeführt (Abb. 8). Der für die Sicherheit des Damms kritische Fall HQ 300 wird dann detaillierter betrachtet.

Dabei ist zu erkennen, dass die Berechnungen solange gut übereinstimmen als die Strömung durch die Klause überwiegend eindimensional abläuft. Sobald aber dreidimensionale Einflüsse wie das Überstauen der Seitenbords (506,7 m)

mit anschließendem Überströmen der Frontmauern (507,5 m) eintreten, ist deutlich ein Unterschied in den Ergebnissen zu sehen.

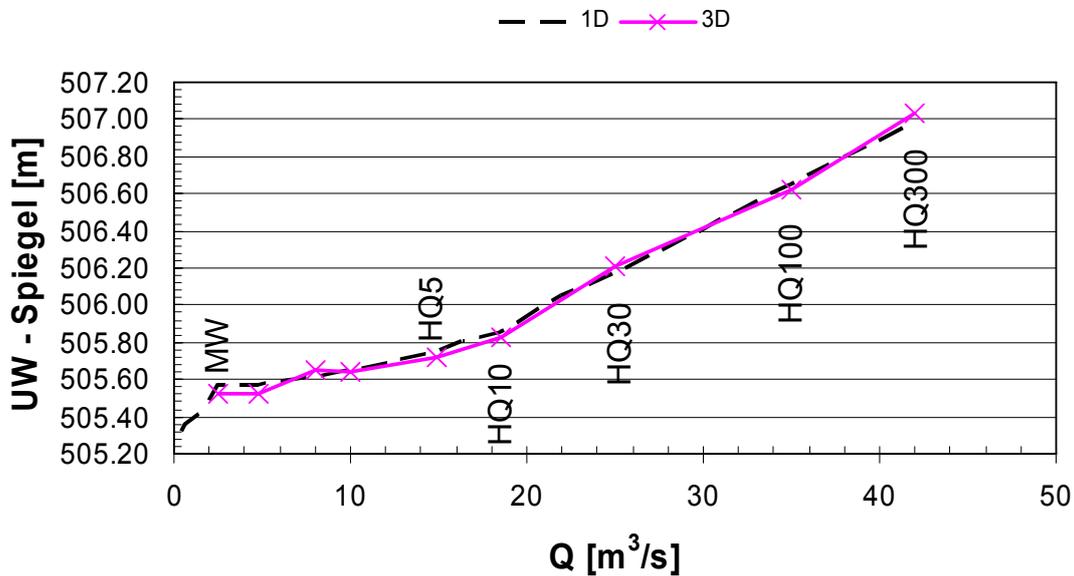


Abbildung 7 Vergleich 1D - 3D im UW-Bereich der Seeklause

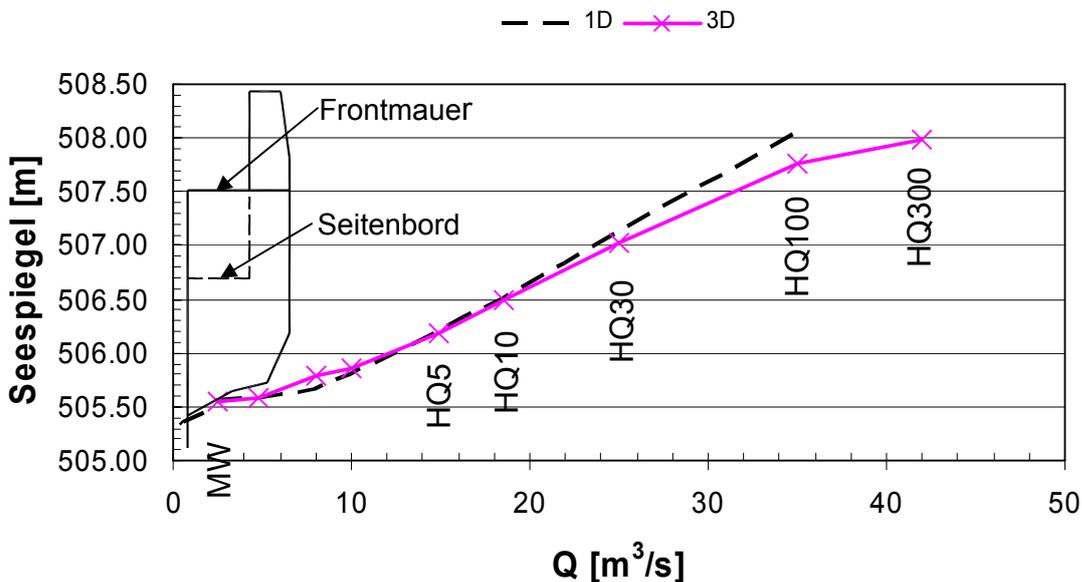
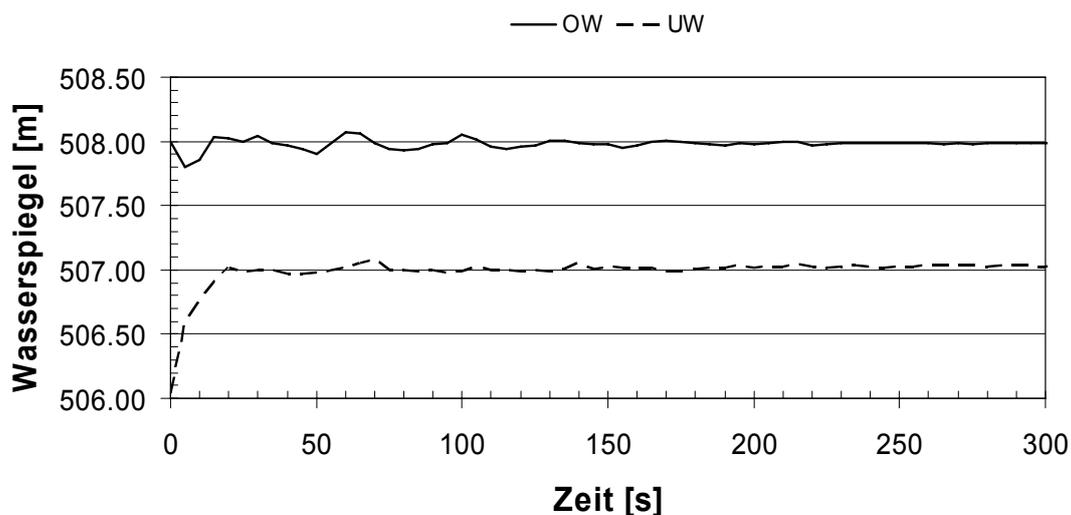


Abbildung 8 Vergleich 1D - 3D im OW-Bereich der Seeklause

Das folgende Diagramm (Abb. 9) zeigt die Entwicklung des Wasserspiegels im UW und OW der Seeklause im Verlauf einer Berechnung. Im UW ist nach einer anfänglichen Störung zu erkennen, dass sich ein stabiler Spiegel einstellt. Die abklingende Schwingung im OW ist durch die Anfangsbedingung zu erklären. Hier wird das Rechengebiet mit einem rechteckigen Wasserkörper gefüllt, der zu Beginn der Rechnung an den Rändern zusammenfällt, um sich der Geometrie anzupassen. Diese Schwingung erreicht aber am Ende der Berechnung einen für die vorliegende Problemstellung akzeptablen Wert von ca. 2,5 cm.



**Abbildung 9** Wasserspiegelverlauf im UW und OW bei HQ 300

## 5 Literatur

FLOW SCIENCE INC.: FLOW-3D® Manual, Version 9, Santa Fe, USA, 2005.

Premstaller, G. Rutschmann, P. Oberhuber, M.: Numerical simulation of flow instabilities in steep, stepped channels. IAHR Riverflow 2004, Napoli, A. A. Balkema, Rotterdam, 2004.

Rutschmann, P. Feurich, R. Premstaller, G. Theiner, D. Zössmayr, M.: Numerik im Wasserbau – Fallbeispiele aus Praxis und Forschung. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Jänner 2005.

### Autoren:

DI Dr. techn. Robert Feurich  
 Institut für Wasserbau  
 Universität Innsbruck  
 Technikerstr. 13  
 A-6020 Innsbruck  
 Tel.: ++43 – 512 – 5076947  
 Fax: ++43 – 512 – 5072912  
 robert.feurich@uibk.ac.at

DI Dr. techn. Walter Kühner  
 Fachabteilung Wasserwirtschaft  
 des Landes Salzburg  
 Michael-Pacher-Straße 36  
 A-5020 Salzburg  
 Tel.: ++43 – 662 – 8042 4712  
 Fax: ++43 – 662 – 8042 4199  
 walter.kuehner@salzburg.gv.at