

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Huber, Boris; Prenner, Reinhard**

## **Das Verhalten der Rückstromdrossel (Wirbelkammerdiode) beim Druckwellendurchgang**

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/20.500.11970/104079>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Huber, Boris; Prenner, Reinhard (1998): Das Verhalten der Rückstromdrossel (Wirbelkammerdiode) beim Druckwellendurchgang. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): 100 Jahre Hubert-Engels-Laboratorium - Hydraulische und numerische Modelle im Wasserbau, Entwicklung-Perspektiven. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 13. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 341-352.

### **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.



## **Das Verhalten der Rückstromdrossel (Wirbelkammerdiode) beim Druckwellendurchgang**

### **Kurzfassung**

In Österreich wurde in einigen alpinen Speicherkraftwerken zur Dämpfung der Wasserschloßschwingungen eine sogenannte Rückstromdrossel am Ende der unteren Kammer im Übergang zum Steigschacht des Wasserschlosses eingebaut. Ihre Form ähnelt dem Spiralgehäuse einer Francis-turbine mit geradem Saugrohr. Durch Regel- bzw. Stellorgane ausgelöste Druckwellen laufen auch trotz Wasserschloß häufig in den Stollen durch und können bei ungünstiger Überlagerung an der Stollenwandung zu Schäden führen. In dieser Arbeit wird das Verhalten einer stählernen Rückstromdrossel beim Durchgang von Einzeldruckwellen unter verschiedenen Grundströmungsverhältnissen untersucht. Die Meßergebnisse wurden für eine rasche Beurteilung des Drosseleinflusses in Form von Transmissionkoeffizienten in Abhängigkeit des Druckwellengradienten dargestellt und zu Vergleichszwecken mit Hilfe eines gängigen expliziten Charakteristikenverfahrens nachgerechnet, um etwaige instationäre Abweichungen von den getroffenen quasistationären Berechnungsansätzen festzustellen.

### **Abstract**

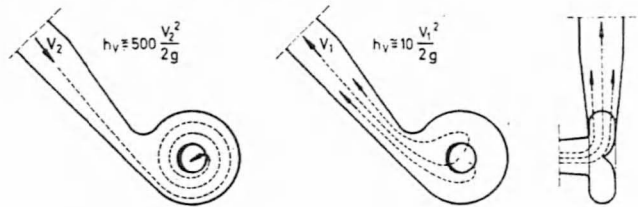
To damp water mass-oscillation, in some Austrian High-head plants special vortex-flow throttles have been installed. They are situated at the end of the lower surge-chamber at the beginning of the rising shaft of the surge tank. The asymmetrical shape of this throttle-element - similar to a Francis-turbine with its spiral case and straight axial suction diffuser - produces significantly different head-losses between up- and downsurging water levels for reasons of varied streamflow. Pressure-waves induced by valves, turbines, pumps and regulation processes, may damage the concrete tunnel lining in the result of disadvantageous superposition. This paper attempts to investigate the behaviour of this special vortex throttle under transmission of single pressure waves combined with various steady-flow conditions. To gain the influence of this throttle-element on the pressure-wave transmission in an easy way, the measurement results are depicted as transmission coefficients depending on the gradient of the incident pressure wave. Furthermore, the experimental results were compared with a mathematical model, based on a standard method of characteristic (MOC), in order to obtain the unsteady differences from the assumptions of the quasi-steady calculation.

# 1 Einleitung und Zielsetzung der Arbeit

Im europäischen Verbundnetz werden an Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke hohe Anforderungen gestellt. Zur Abdeckung von Verbrauchsspitzen, als Momentanreserve beim Ausfall thermischer Kraftwerksblöcke und zur Haltung der Netzfrequenz sind ständig sehr rasche Stell- und Regelvorgänge notwendig, die zu extremen Druckbeanspruchungen im Triebwassersystem führen können. Diese Druck- und Geschwindigkeitswellen durchlaufen das gesamte Triebwassersystem mit der örtlichen Schallgeschwindigkeit und werden an Unstetigkeitsstellen, wie Querschnittsänderungen, Verzweigungen, Drosseln etc. teilweise reflektiert und überlagert. Zur Dämpfung der Druckstöße und Massenschwingungen wird im Triebwasserweg von Hochdruckanlagen zwischen Stollen und Druckschacht üblicherweise ein Wasserschloß (Schwallraum) eingebaut, dessen Dämpfungswirkung auf die Massenschwingung durch den zusätzlichen Einbau eines Drosselorgans verbessert werden kann. Dem hydraulischen Widerstandsverhalten dieses Drossелеlements kommt somit auch bezüglich des Druckwellendurchganges besondere Bedeutung zu. Während der Einfluß von Drosseln auf den Massenschwingungsvorgang im Wasserschloß weitestgehend bekannt ist, herrscht hinsichtlich ihres Verhaltens beim Druckwellendurchgang noch Unklarheit. Im Rahmen eines Forschungsschwerpunktes am Institut für Konstruktiven Wasserbau, TU-Wien, wurde das Widerstandsverhalten von Kreisblenden in Druckstoßsystemen von PRENNER [1] untersucht. Diese Arbeit stellt nun eine Erweiterung dieser Untersuchung auf eine Rückstromdrossel dar.

## 1.1 Die Rückstromdrossel

Über die Rückstromdrossel hat im Jahre 1930 D. THOMA erstmalig berichtet [2]. Sie besteht im wesentlichen aus einem spiralenartigen Gehäuse mit einem tangentialen und einem axialen Anschluß.



Rückstromrichtung (RR)

Hauptstromrichtung (HR)

Bild 1 – Strömungsverhältnisse in der Rückstromdrossel (aus [3])

Beim Einströmen durch den tangentialen Anschluß (Rückstromrichtung) entsteht eine Wirbelströmung, die einen wesentlich höheren hydraulischen Widerstand aufweist, als die drehungsfreie Strömung beim Einströmen durch den axialen Anschluß (Einströmrichtung). Da die Rückstromdrossel aufgrund der gänzlich unterschiedlichen Strömungsbilder in den beiden Strömungsrichtungen stark unterschiedliche Fließwiderstände aufweist, kann ihre Wirkungsweise mit der einer Rückschlagklappe mit zentraler Blende verglichen werden. Im Gegensatz zu einer beweglichen Armatur wie etwa eine Klappe besitzt sie jedoch keine beweglichen Teile und ist somit besonders betriebssicher.

Die Möglichkeit, eine Rückstromdrossel als Drosselorgan in Speicherkraftwerken zu verwenden, wurde erstmalig beim Bau des Kaunertalkraftwerkes verwirklicht. Hierfür wurde die ursprüngliche Bauform der Rückstromdrossel auf die Gegebenheiten in Hochdruckanlagen angepaßt und in zahlreichen Versuchen auf ihre Eignung hin überprüft [3]. Weitere Rückstromdrosseln wurden bei den Zemmkraftwerken und bei der Kraftwerksgruppe Malta verwendet, wo sie sich seither bestens bewährt [4],[5].

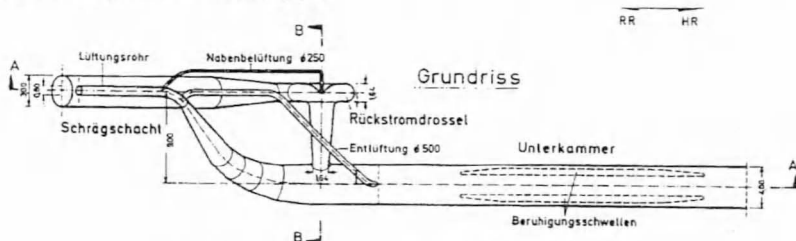


Bild 2 – Rückstromdrossel im WS Kaunertal (aus [3])

In letzter Zeit wird die Rückstromdrossel, in einfacherer Bauweise mit kreiszylindrischem Kammerquerschnitt, in zunehmendem Maß zur Abflußsteuerung bei Hochwasserrückhaltebecken und Klärwerken eingesetzt, wobei man sie in diesem Zusammenhang auch als Wirbelkammerdiode bezeichnet.

Obwohl das hydraulische Verhalten der Rückstromdrossel beziehungsweise der Wirbelkammerdiode Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten war [6],[7],[8] und deren hydraulisches Verhalten sowohl im Hochdruckbereich als auch im Niederdruckbereich sowie in der Anlaufphase der Strömungsentwicklung intensiv untersucht wurde, gibt es – nicht zuletzt wegen der bis vor einiger Zeit noch nicht verfügbaren Meßtechnik – bisher noch keine Untersuchungen über ihr Verhalten beim Druckwellendurchgang. Insbesondere im Zusammenhang mit Hochdruck-Wasserkraftanlagen scheint diese Problematik jedoch von Bedeutung, da zu klären ist, ob durch den Einbau von Rückstromdrosseln ungünstige Einflüsse auf das Triebwassersystem entstehen können. Zur Beantwortung dieser Frage wurden zahlreiche Modellversuche an einer Rückstromdrossel mit Einzeldruckwellen durchgeführt. Mit Hilfe eines Computerprogramms auf Basis

eines gängigen eindimensionalen expliziten Charakteristikenverfahrens [9], wurden die experimentellen Ergebnisse nachgerechnet und etwaige instationäre Abweichungen von den quasistationären Berechnungsannahmen aufgezeigt.

## 2 Grundlagen

Die Abschätzung des Einflusses von Unstetigkeitsstellen auf den Druckwellendurchgang kann rasch und einfach durch einen dimensionslosen Transmissions- und Reflexionskoeffizienten erfolgen. Das Verhältnis der reflektierten bzw. der transmittierten Druckwelle zur einlaufenden Welle wird durch den Reflexionsfaktor

$$r = \Delta H_{\text{refl}} / \Delta H_{\text{einl.}} \quad (1)$$

und den Transmissionsfaktor

$$s = \Delta H_{\text{trans}} / \Delta H_{\text{einl.}} \quad (2)$$

- unter Vernachlässigung von instationären Effekten - dargestellt.

$\Delta H_{\text{einl.}}$ ,  $\Delta H_{\text{trans}}$ ,  $\Delta H_{\text{refl}}$  ... Maximalwerte der einlaufenden, transmittierten bzw. reflektierten Druckwelle

### 2.1 Wirkung der Rückstromdrossel beim Druckstoßdurchgang

Von den bisher in österreichischen Wasserkraftanlagen eingesetzten Rückstromdrosseln stand uns die Modelldrossel des Kraftwerks Malta zur Verfügung. Dieses Modell im Maßstab von ca. 1:26, das uns vom Institut für Wasserbau in Innsbruck freundlicherweise überlassen wurde, besitzt eine torusförmige Kammer mit einem Durchmesser von 312 mm, einer Höhe von 80 mm und einem axialen Saugrohrdurchmesser von ca. 120 mm. Der tangentielle Anschluß, wie auch das axiale Saugrohr, weisen eine leicht konische Aufweitung auf. Die Geometrie kann durch Einsetzen eines ebenen beziehungsweise gekrümmten Einsatzbodens sowie verschiedener Ausformungen im Übergang zum Saugrohr variiert werden. In der Mitte des Einsatzbodens befindet sich zudem eine Belüftungsöffnung.

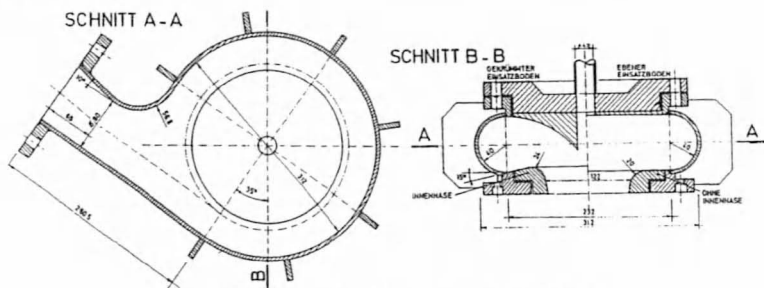


Bild 3 – Untersuchte Rückstromdrossel (aus [10])

Wegen des Expansionsraumes in der Wirbelkammer kann die Wirkung der Rückstromdrossel beim Druckwellendurchgang mit der eines Resonators verglichen werden.

## 2.2 Theoretische Überlegungen zum Rohrexpanensionsraum

Für den Fall der plötzlichen Rohrerweiterung ergibt sich aus Grenzwertbetrachtungen für den Transmissionsfaktor

$$s = \frac{2 \cdot \frac{A_1}{a_1}}{\frac{A_1}{a_1} + \frac{A_2}{a_2}} \quad (3)$$

und für den Reflexionsfaktor

$$r = \frac{\frac{A_1}{a_1} - \frac{A_2}{a_2}}{\frac{A_1}{a_1} + \frac{A_2}{a_2}} \quad (4)$$

und somit für

$$r = 1 - s. \quad (5)$$

$A_1, A_2$  ... Querschnittsflächen der Rohrabschnitte

$a_1, a_2$  ... Druckwellengeschwindigkeiten in den Rohrabschnitten

Betrachtet man die Druckverteilung in einer langen Rohrleitung mit einem kurzen Expansionsraum in Rohrmitte beim Durchgang einer steilen Druckwelle (lotrechte Wellenfront) unter Vernachlässigung der stationären und instationären Verluste – wie etwa Expansions- und Kontraktionsverluste, Rohrreibung, etc. (siehe Bild 4), so breitet sich eine auf den Ruhedruck aufgeprägte Druckwelle mit der örtlichen Schallwellengeschwindigkeit  $a_1$  aus ( $t=t_1$ ). Beim Erreichen der Aufweitung kommt es zu einer Druckentlastung, die sich wiederum stromauf- und stromabwärts von der Unstetigkeitsstelle aus fortpflanzt.

Trifft die transmittierte Welle am Ende der Rohrerweiterung wieder auf den ursprünglichen Rohrquerschnitt, so erfolgt eine abermalige Reflexion bzw. Transmission ( $t=t_3$ ). Die Druckwelle pendelt so im Expansionsraum zwischen den beiden Engstellen hin und her, wobei der reflektierte bzw. transmittierte Anteil immer geringer wird. Schließlich wird ein konstanter Enddruck erreicht, welcher der Druckhöhe der einlaufenden Welle bzw. im Falle eines kurzen Druckimpulses dem Ruhedruck entspricht.

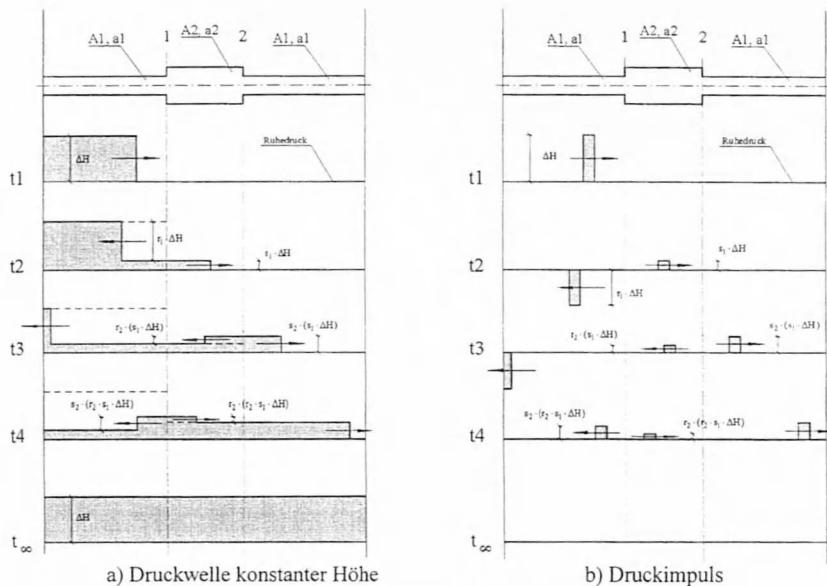


Bild 4 – Druckwellendurchgang durch einen Rohrexpansionsraum (Prinzipische Skizze)

### 2.3 Weitere Einflußgrößen

Der Druckwellendurchgang durch den Drosselkörper der Rückstromdrossel ist ein komplexer 3-dimensionaler Vorgang. Zur Vereinfachung des Problems und zur mathematischen Simulation mußte geklärt werden, welche Einflußgrößen maßgebend sind. Neben dem schon erwähnten geometrischen Einfluß der Expansion wird der Transmissions- und Reflexionsfaktor auch von der Anstiegszeit der einlaufenden Druckwelle beeinflusst: mit schnellerem Druckwellenanstieg nehmen die Transmissionsfaktoren ab (siehe Bilder 7 und 8). Wie bereits aus Vorversuchen ersichtlich, spielen weitere Einflüsse, wie etwa der Einbau eines gekrümmten Einsatzbodens oder verschiedener Saugrohreinsätze, die Belüftung der Drossel durch die Nabenbelüftung, aber auch verschiedene Grundströmungsverhältnisse und dadurch bedingte Strömungsverluste nur eine untergeordnete Rolle.

## 3 Experimentelle Untersuchungen

Die umfangreichen Versuche wurden im neuen Wasserbaulabor des Institutes für Konstruktiven Wasserbau der TU-Wien im Rahmen einer noch in Arbeit befindlichen Dissertation durchgeführt.

### 3.1 Beschreibung des Modellstandes

Die Versuchsrohrleitung bestand aus Stahlrohren DN 100 (Wandstärke  $e = 3,6$  mm), die mit 2 Fixpunkten weitestgehend unverschieblich mit dem Hallenboden verankert wurde. Die Drossel wurde liegend eingebaut und mit dem Axialanschluß mit dem 2. Fixpunkt verbunden. Die Längen der einzelnen Rohrabschnitte sind so gewählt, daß im betrachteten Zeitabschnitt keine Teilreflexionen am Übergang zur Zu- bzw. Auslaufleitung auftreten können (Bild 5). Mit einem Druckwellenauslöser beim 1. Fixpunkt wurden dem Rohrsystem unterschiedlich steile Druckwellen von 10 m bis maximal 70 m Druckhöhe aufgebracht und deren Verlauf mit 5 induktiven Druckaufnehmern P10 (0-10 bar) über einen A/D-Wandler von einem PC aufgezeichnet. Durch entsprechende Kombination der Zulauf- bzw. Auslaufleitungen konnten unterschiedliche stationäre Grundströmungsrichtungen erzeugt werden. Aufgrund der vorhandenen Pumpeleistung wurden nur Druckhöhen bis max. 12 m und maximale Grundströmungsgeschwindigkeiten in Rückströmrichtung bei eingebauter Drossel von 1,5 m/s im Rohr erreicht. Die Durchflußmessung erfolgte mit einem magnetisch-induktiven Durchflußmessgerät.

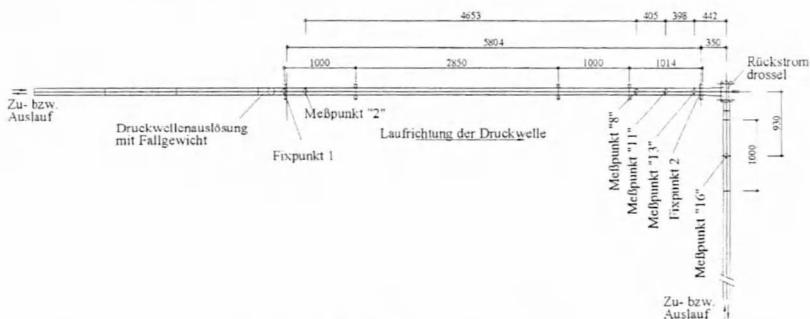


Bild 5 – Modellstand Grundriß

### 3.2 Versuchsergebnisse

Zur Ermittlung des Transmissionsfaktors wird die unbeeinflusste Druckhöhe der einlaufenden Druckwelle vor der Drossel benötigt. Sie wird durch Rückrechnung aus Messungen an der Stelle der Druckwellenauslösung (Meßpunkt „2“) durch Subtraktion der instationären Reibung gewonnen. Der instationäre Reibungsverlust zwischen Meßpunkt „2“ und Drossel wurde experimentell im geraden Rohr ohne Drossel ermittelt. Der Transmissionsfaktor bei verschiedenen Grundströmungen in Abhängigkeit vom Druckwellengradienten (siehe Definitionsskizze Bild 6) der einlaufenden Druckwelle ist in Bild 7 und 8 wiedergegeben.



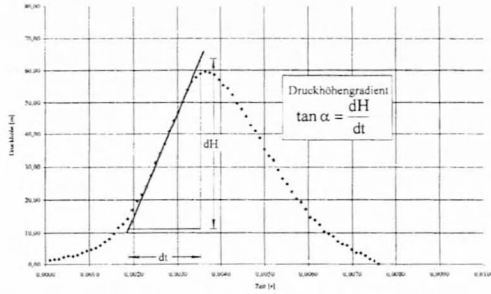


Bild 6 – Definitionsskizze des mittleren Druckwellengradienten

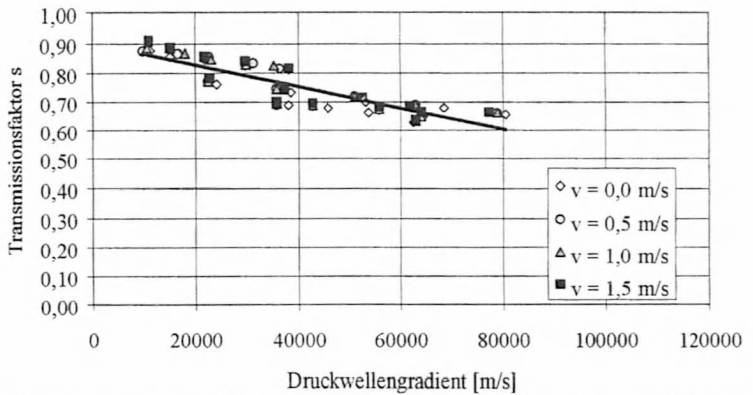


Bild 7 - Transmissionsfaktoren in Hauptströmungsrichtung (Einströmen ins Wasserschloß)

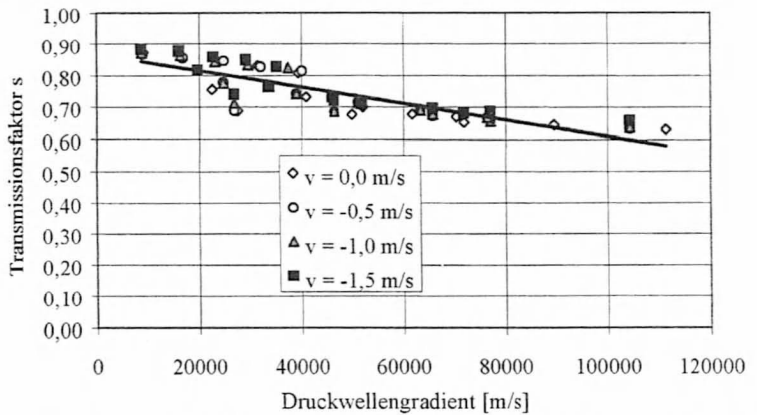


Bild 8 - Transmissionsfaktoren in Rückströmungsrichtung (Ausströmen aus dem WS)

Aus obigen Abbildungen ist ersichtlich, daß der Transmissionsfaktor von der Grundströmung nicht beeinflusst wird.

#### 4 Numerisches Modell

Für die Druckstoßberechnung wurden die Grundgleichungen des Druckstoßes, die **Dynamische Gleichung**

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{g} \left( \frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} \right) + J_R = 0 \quad (6)$$

und die **Kontinuitätsgleichung**

$$A \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{g \cdot A}{a^2} \cdot \left( \frac{\partial H}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right) + v \cdot \left( \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{g \cdot A}{a^2} \cdot \sin \alpha \right) = 0 \quad (7)$$

mit einem expliziten Charakteristikenverfahren gelöst. Der gemessene instationäre Reibungsanteil wurde vor der numerischen Berechnung von der einlaufenden Druckwelle subtrahiert. Somit wurde in der Berechnung nur der quasi-stationäre Drosselverlust berücksichtigt. Der mittlere Drosselverlustbeiwert (bezogen auf die Rohrströmungsgeschwindigkeit) im Niederdruckbereich wurde aus Versuchen für die Rückstromrichtung mit  $\zeta_{RR} \approx 26$  und für die Einströmrichtung mit  $\zeta_{HR} \approx 4$  ermittelt. Die sich hieraus ergebenden Verlusthöhen sind im Verhältnis zum Einfluß der Rohrexpansion in der Drosselkammer vernachlässigbar gering.

Bei der Nachbildung der Drossel im Charakteristikenverfahren besteht grundsätzlich das Problem, die komplexe 3-dimensionale Geometrie der Drossel eindimensional darzustellen, um die Anwendbarkeit des eindimensionalen Berechnungsverfahrens verifizieren zu können. Im Abstand des Berechnungsgitters des Charakteristikenverfahrens wurden im Drosselbereich 4 Querschnittsaufweitungen gewählt, die in etwa die 10-fache Fläche der Rohrleitung aufweisen. Die Einmündung in die Drossel erfolgt plötzlich. Im Ausmündungsbereich wurde ein Querschnitt zwischen Drosselkammer- und Rohrquerschnittsfläche linear interpoliert.

Von den Versuchen wurden zahlreiche Wellen mit unterschiedlichen Druckwellengradienten nachgerechnet. Der Vergleich der Messung mit der Rechnung ist beispielhaft für eine steile und eine flache Welle mit einer maximalen Druckhöhe von 70 m in Bild 9 und 10 dargestellt.

In allen Fällen konnte die transmittierte Welle gut nachgebildet werden. Das Abfallen der Druckhöhen in den Punkten vor der Drossel wird übereinstimmend mit den Meßergebnissen ebenfalls durch die Berechnung erfaßt. Aufgrund der Wellendispersion im Drosselkörper kommt es nach der Entlastungswelle zeitlich versetzt zu einem Wiederanstieg der Druckhöhe, der bei flacheren Wellen wegen der zunehmenden instationären Effekte in der Berechnung nicht so gut simuliert wird wie bei steilerem Druckwellengradienten.

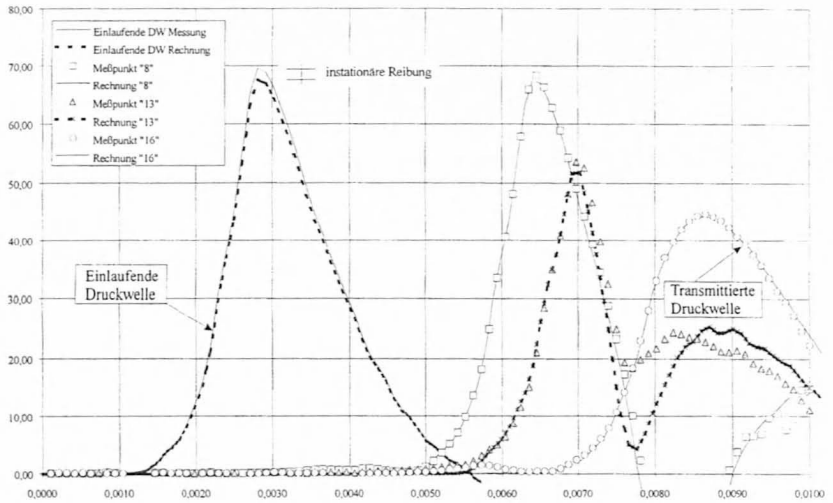


Bild 9 – Versuchsnachrechnung einer steilen Druckwelle

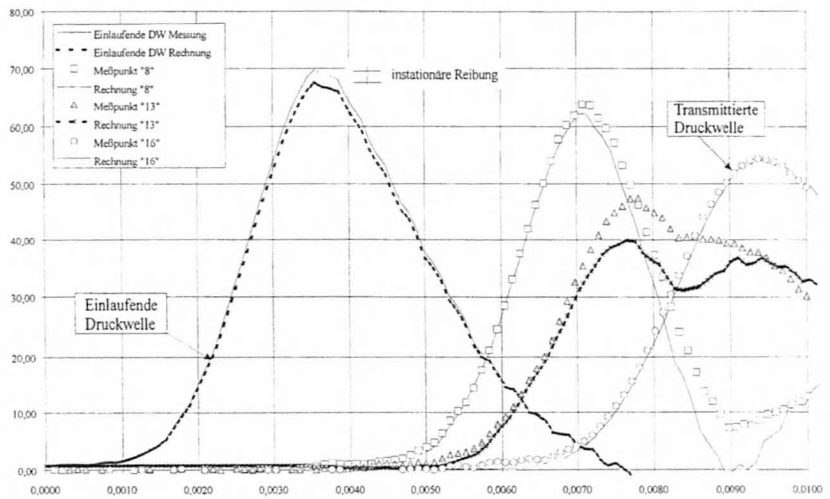


Bild 10 – Versuchsnachrechnung einer flacheren Druckwelle

## 5 Zusammenfassung

Das Verhalten der Rückstromdrossel beim Druckwellendurchgang kann einfach durch Transmissions- und Reflexionsfaktoren beschrieben werden und läßt sich auch trotz der geometrisch komplexen 3-dimensionalen Struktur gut mit einem eindimensionalen Charakteristikenverfahren nachbilden. Druckwellen mit flacheren Gradienten, wie sie in Kraftwerksanlagen üblicherweise auftreten, werden durch die Rückstromdrossel kaum behindert; sie werden mehr oder weniger unbeeinträchtigt transmittiert. Neben den günstigen hydraulischen Eigenschaften und der betriebssicheren Bauweise der Rückstromdrossel wirkt sich der Expansionsraum des Drosseltorus bei steilen Druckwellen dämpfend auf den Druckstoß im Rohrleitungssystem aus. Die Dämpfungswirkung des Expansionsraumes ist bei flachen Druckwellen zwar geringer, es erfolgt jedoch im Gegensatz zu Drosseln mit Querschnitteinschnürungen, wie Blenden oder Düsen, zumindest keine positive Reflexion, was zu einem Druckanstieg vor dem Drosselorgan führen könnte und für den Stollen die Gefahr einer erhöhten Druckbelastung birgt.

Bei diesen Vorteilen gegenüber herkömmlichen Drosselelementen stellt sich die Frage, warum Rückstromdrosseln beim Bau von Hochdruckanlagen so selten eingesetzt wurden. Gerade bei der Erweiterung bestehender Kraftwerksanlagen wäre sie bestens einsetzbar, da man sich eine kostenintensive Vergrößerung der Schwallkammern ersparen könnte.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] PRENNER, R.: Das Widerstandsverhalten von Kreisblenden in Druckstoßsystemen; Dissertation am Institut für Konstruktiven Wasserbau, TU-Wien, 1997
- [2] THOMA, D.: Die Rückstromdrossel; VDI-Zeitschrift BD. 74, 1930
- [3] SEEBER, G.: Das Wasserschloß des Kaunertalkraftwerkes der TIWAG; Schweizerische Bauzeitung 88 (1970), Heft 1
- [4] GSCHAIDER, F., EWY, G., HEIGERTH, G.: Triebwasserführung, Wasserschlösser und Bachbeileitungen; ÖZE Jhg. 25, Heft 10, 1972
- [5] SEEBER, G.; HEIGERTH, G.; BÄRENTHALER, G.; FINGER, W.: Statische und hydraulische Bemessungsgrundlagen (Druckstollen, Wasserschloß, Kraftabstieg); ÖZE Jhg. 32, Heft 1/2, Jan/Febr 1979
- [6] GIESECKE, J.; HORLACHER H.-B.; WACKER, R.: Wirbelkammerdioden als Drosselorgane für Druckluftwasserkessel, Wasserwirtschaft 78 (1988)
- [7] GIESECKE, J.; HORLACHER, H.-B.; RAICHLE, A.: Drallströmungen in Rohrleitungen nach Wirbelkammerdioden, Wasserwirtschaft 86 (1996)
- [8] HAAKH, F.: Transientes Strömungsverhalten in Wirbelkammerdioden, Mitteilungen des Institutes für Wasserbau Stuttgart, Heft 81, 1993
- [9] ZIELKE, W.: Elektronische Berechnung von Rohr- und Gerinneströmungen, Erich Schmidt Verlag, 1974
- [10] GSPAN, J.: Untersuchungen an der hydraulischen Rückstromdrossel von Wasserschlossern, Wasserwirtschaft 69 (1979) 12, 1979

Dipl.-Ing. Boris Huber und Dipl.-Ing. Dr. techn. Reinhard Prenner  
TU-Wien, Institut für Konstruktiven Wasserbau  
A-1040 Wien, Karlsplatz 13/222  
e-mail: [huber@kw.tuwien.ac.at](mailto:huber@kw.tuwien.ac.at)