

## Der belüftete Heber

Detlef Aigner

### 1 Einleitung

Als Heber werden Druckleitungen bezeichnet, deren höchster Punkt (Scheitel) über dem Wasserstand des oberen Beckens oder Behälters liegt (Abbildung 1). Sie werden durch selbstständige oder künstliche Evakuierung der Luft zum Anspringen gebracht. Wegen des Unterdruckes im Scheitel kann bei Belüftung der Abfluss reguliert oder unterbrochen werden. Heber werden z.B. zur Hochwasserentlastung eingesetzt. Der unbelüftete Heber ist heute sehr umstritten, da er in kürzester Zeit seinen Maximalabfluss erreicht, wodurch der Unterwasserstand plötzlich ansteigt. Ziel des belüfteten Hebers ist es, regulierend in den Abflussprozess einzugreifen. Eine Methode zur Berechnung und Steuerung dieses Regulierungsprozesses wird hier vorgestellt.

### 2 Modelluntersuchungen und Übertragungsgrenzen

Die Übertragung von Ergebnissen aus Untersuchungen an belüfteten Hebermodellen auf das Naturbauwerk bereitet Probleme. Das betrifft nicht nur den belüfteten Heber, gleiches gilt für Fällschächte, Steilstrecken, belüfteten Ringkolbenschiebern und Tiefschützen. In allen physikalischen Modellversuchen, bei denen der Lufteintrag, der Lufttransport bzw. die Wasser-Luft-Gemischströmung eine Rolle spielen, werden Ergebnisse aus Modellversuchen nur qualitativ interpretiert. Ihre Übertragung auf das Naturbauwerk kann nur durch den Vergleich mit Messungen am Original mit einiger Sicherheit erfolgen [siehe Bollrich/Aigner 2000]. Begründet werden die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen Modell und Natur mit den Übertragungsgrenzen, die durch die Abhängigkeit vom nicht zu modellierenden Umgebungsdruck, von der gleichen Luftblasengröße im Modell und in der Natur, vom unterschiedlichen Beginn des Lufteintrages auf Grund der unterschiedlichen Turbulenz sowie von der Oberflächenspannung und der Kompressibilität der Luft gegeben sind.

In den Jahren 1994 und 1995 wurden am Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik die belüfteten Heber der Oker-Talsperre für die Harzwasserwerke am Modell untersucht [Horlacher, Dornack, Müller, 1995]. Sie sollten auf Modellversuche aufbauen, die in Vorbereitung des Baues der Talsperre in den Jahren 1953 – 1955 von Prof. Press in Berlin durchgeführt wurden. Schon damals wurden aus den Ergebnissen der Modellversuche die Belüftungsöffnungen viel zu gering dimensioniert. Auch die Ergebnisse der Modellversuche von 1994/95 lieferten zu geringe Werte. Durch Vergleiche mit Naturdaten wurde vorgeschlagen, bei der Übertragung etwa 300% auf die im Modellversuch ermittelten Belüftungsflächen aufzuschlagen.

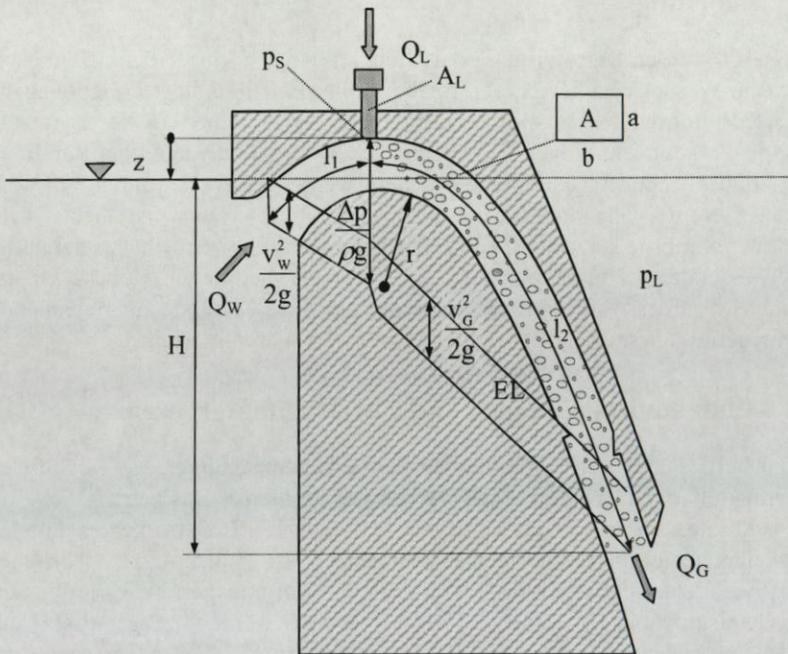
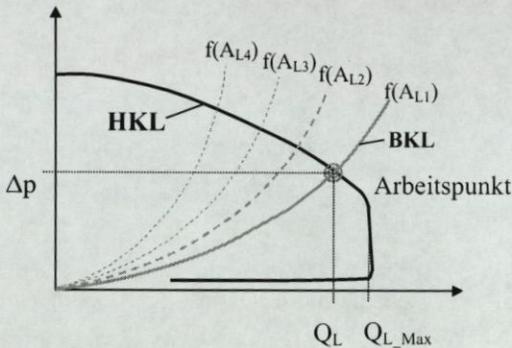


Abbildung 1: Prinzip eines belüfteten Hebers

### 3 Die Berechnung des belüfteten Hebers

Eine Ursache für die Fehlinterpretation des Lufteintrages an physikalischen Modellversuchen ist die ungenügende Berücksichtigung der Zusammenhänge zwischen Luftbedarf und Luftangebot. Diese sollen hier am Beispiel des belüfteten Hebers der Oker-Talsperre erläutert werden.

Ein Heber zur Hochwasserentlastung wird meist als Rechteckquerschnitt A mit der Breite  $b$  und der Höhe  $a$  errichtet. In der Nähe des Auslaufes befinden sich Abrisskanten, die das Anspringen des Hebers erleichtern sollen. Die gestaffelten Heber sind in unterschiedlichen Höhen angeordnet, so dass sie bei steigendem Wasserstand zu unterschiedlichen Zeiten anspringen können.



**Abbildung 2:** Heberkennlinie (HKL) und Belüftungskennlinien (BKL), Arbeitspunkt für Funktion der Belüftungsöffnung  $AL$

In Abbildung 2 werden die typischen Kennlinien für die Berechnung der Luftströmung in einem Heber dargestellt. Die Heberkennlinie (HKL) verdeutlicht die Verringerung des Unterdruckes  $\Delta p$  im Heberscheitel bei steigendem Luftanteil. Die Belüftungskennlinien (BKL) definieren die Luftzuführung in Abhängigkeit vom Unterdruck und der effektiven Öffnungsfläche  $\mu \cdot AL$  des Belüftungsventils inklusive der Verluste der Belüftungsleitung. Schnittpunkt dieser beiden Kennlinien ist der Arbeitspunkt des Hebers für eine bestimmte Öffnungsfläche.

### 3.1 Definitionen und Annahmen

Folgende Definitionen und Annahmen wurden bei den Berechnungen getroffen:

$Q_w$	Wasserabfluß [m <sup>3</sup> /s],
$Q_L$	Luftzufluss [m <sup>3</sup> /s],
$\dot{m}_L = \rho_L \cdot Q_L$	Massenvolumenstrom der Luft [kg/s],
$Q_G = Q_L + Q_w$	Gemischabfluss [m <sup>3</sup> /s],
$\beta = \frac{Q_L}{Q_w}$	Belüftungsgrad [-],
$v_w = \frac{Q_w}{A}$	mittlere Geschwindigkeit [m/s] im Heber bis zur Belüftung,
$v_{ws}$	Geschwindigkeit im Scheitel des Heberkrümmers
[m/s],	
$v_G = \frac{Q_G}{A}$	mittlere, schlupflose Geschwindigkeit [m/s] im Gemisch,
$\frac{v_G}{v_w} = \beta + 1,$	
$A = b \cdot a$	Heberabflußfläche [m <sup>2</sup> ], Recheckquerschnitt, Scheitelwert,
$z$	Abstand Heberscheitel – Wasserstand [m],
$H$	Energiehöhe des Hebers [m],
$r$	Heberradius [m],
$K$	Krümmereinfluss [-],
$A_L$	Belüftungsquerschnitt [m <sup>2</sup> ],
$\mu$	Zuflußbeiwert der Luftströmung inclusive Verluste [-],
$p_s$	Absolutdruck im Heberscheitel [Pa],
$p_L$	Luftdruck, Außendruck [Pa],
$L_1$	Länge des Hebers bis zur Belüftungsöffnung [m],
$L_2$	Länge des Hebers ab Belüftungsöffnung [m],
$\rho_G$	Dichte des Wasser-Luft-Gemisches [kg/m <sup>3</sup> ],
$\rho_L$	Dichte der Luft [kg/m <sup>3</sup> ],
$\rho_w$	Dichte des Wassers [kg/m <sup>3</sup> ],
$R$	Gaskonstante der Luft [287,2 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> /K],
$T$	Temperatur in Kelvin [K],
$d_{hy} = 4 \cdot r_{hy} = 4 \cdot \frac{A}{l_U} = 2 \cdot \frac{b \cdot a}{b + a}$	hydraulischer Durchmesser von A in [m],

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{k}{d_{\text{hy}}}\right)$$

Reibungsbeiwert abhängig von Re-Zahl

$$\sum \zeta$$

und Rauheit [-],

Summe der örtlichen Verluste [-],

$$R_1 = \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_{\text{hy}1}} + \sum \zeta_1$$

Verlustbeiwerte des Hebers bis zur

Belüftung [-],

$$R_2 = \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_{\text{hy}2}} + \sum \zeta_2$$

Verlustbeiwerte des Hebers ab

Belüftungsöffnung [-],

$$\rho_L = \frac{p}{R \cdot T}$$

Luftdichte ermittelt aus der Gasgleichung

[kg/m<sup>3</sup>],

$$\frac{\rho_G}{\rho_w} = \frac{1 + \frac{\rho_L}{\rho_w} \cdot \beta}{\beta + 1} \cong \frac{1}{\beta + 1}$$

Dichteverhältnis Gemischabfluss zu

Wasserabfluss [-],

### 3.2 Berechnung der Wasserströmung bis zur Belüftung

Die hydraulische Berechnung eines Hebers erfolgt wie bei normalen Druckleitungen mit Hilfe der Energiegleichung. Bei nicht kreisförmigen Querschnitten wird anstelle des Durchmessers der äquivalente oder hydraulische Durchmesser  $d_{\text{hy}}$  verwendet. Aus dem Energiegleichgewicht zwischen Einlauf und Belüftungsöffnung im Krümmerscheitel ergibt sich folgende Gleichung:

$$p_L - p_s = \Delta p = \rho_w \cdot g \cdot (z + h_{v1}) + \rho_w \frac{v_{\text{ws}}^2}{2} = \rho_w \cdot g \cdot z + \rho_w \frac{v_w^2}{2} \cdot (R_1 + K) \quad (1)$$

Aus der reinen Wasserströmung im ersten Abschnitt des Hebers definiert sich der Zusammenhang zwischen dem Abstand  $z$  des Wasserspiegels bis zum Punkt der Belüftung (Heberscheitel), dem Unterdruck an dieser Stelle und dem Wasserabfluss. Die Geschwindigkeit im Scheitel des Heberkrümmers  $v_{\text{ws}}$  ist etwas geringer als die mittlere Geschwindigkeit  $v_w$  im Heber. Aus deren Verhältnis ins Quadrat ergibt sich der Krümmereinfluss  $K$ . Der Reibungsbeiwert  $R_1$  berücksichtigt nicht nur Reibung und örtliche Verluste sondern auch Querschnittsveränderungen im Heber.

### 3.3 Geschwindigkeitsverteilung infolge Krümmung

Wird die Druck- und Geschwindigkeitsverteilung im Krümmer innerhalb des Scheitelquerschnittes berücksichtigt [Bolrich, 2000], dann reduziert sich die Geschwindigkeitshöhe am äußeren Rand nach Gleichung (2). Das Verhältnis der reduzierten zur mittleren Geschwindigkeitshöhe wird als Krümmereinfluss  $K$  definiert.  $K$  wird am äußeren Scheitelrand, dem Punkt der Belüftung, immer kleiner als Eins.

$$K = \frac{v_{ws}^2}{v_w^2} = \left( \frac{1}{(r/a + 1) \cdot \ln(1 + a/r)} \right)^2 \quad (2)$$

Turbulente Druckschwankungen hervorgerufen durch Geschwindigkeitsschwankungen können dazu führen, dass es zu einem schnelleren Abriss des Hebers kommt als berechnet. Die Druckhöhe kann dabei bis zur Größe der Geschwindigkeitshöhe schwanken. Mit der Annahme  $K = 0$  für eine Berechnungsvariante wird dieser Einfluss berücksichtigt.

### 3.4 Maßstabeffekte infolge Reibung (Luftvolumenstrom inkompressibel)

Der Unterdruck  $\Delta p$  im Krümmerscheitel führt bei Vorhandensein einer Belüftung zum Ansaugen von Luft. In der ersten Näherung wird der Einfluss der Kompressibilität der Luft sowie der Lufttemperatur auf das Luftvolumen und damit die Luftdichte nicht berücksichtigt. Für den Modellversuch mit relativ geringen Saugdrücken im Heber (wenige Dezimeter) ist diese Annahme akzeptabel. Im Naturbauwerk ergeben sich dagegen maximale Unterdrücke von über 0,8 bar, hier würde es durch die Vernachlässigung der Kompressibilität, insbesondere bei kleineren Belüftungsöffnungen, zu Fehlern bei der Ermittlung der Luftmenge von über 100% kommen.

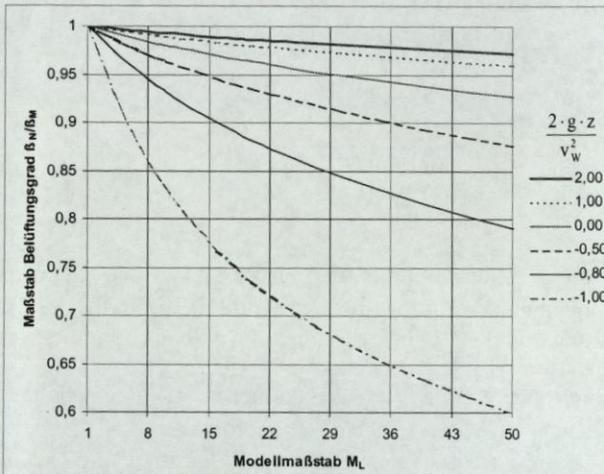
$$Q_L = \mu \cdot A_L \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho_L}} \quad (3)$$

Bezieht man den Luftvolumenstrom auf den Wasservolumenstrom und ersetzt die Unterdruckhöhe durch Gleichung (1), dann erhält man den Belüftungsgrad  $\beta$  für eine inkompressible Luftzuströmung.

$$\beta = \frac{Q_L}{Q_w} = \frac{\mu \cdot A_L}{A} \cdot \sqrt{\frac{\rho_w}{\rho_L} \cdot \left( \frac{2g \cdot z}{v_w^2} + R_1 + K \right)} \quad (4)$$

Wird der Luftvolumenstrom mit dem Froudemodell übertragen, dann müsste der Belüftungsgrad  $\beta$  in der Natur gleich dem im Modell sein. Die Auswertung von Gleichung (5) in der Abbildung 3 zeigt, dass das nicht der Fall ist. Ursache sind unterschiedliche Reibungsanteile  $R_1$  für Modell und Natur, vor allem wegen der unterschiedlichen Rauheit  $k$  sowie der kleinere Reynoldszahlen im Modell. Dieser Unterschied ist umso größer, je dominanter  $R_1$  gegenüber den anderen Werten unter der Wurzel wird. Steigt der Wasserspiegel über den Heberscheitel ( $z$  wird negativ - keine oder geringe Heberwirkung) und nähert sich das Verhältnis  $z$  zur Geschwindigkeitshöhe der Wasserströmung dem negativen Wert des Krümmereinflusses  $K$ , dann ist der Belüftungsmaßstab  $M_\beta$  nur noch von den Reibungsanteilen in Natur bzw. Modell abhängig.

$$M_\beta = \frac{\beta_N}{\beta_M} = \frac{\sqrt{\frac{2g \cdot z_N}{v_{WN}^2} + R_{1N} + K_N}}{\sqrt{\frac{2g \cdot z_M}{v_{WM}^2} + R_{1M} + K_M}} \quad (5)$$



**Abbildung 3:** Maßstabseffekte für den Belüftungsmaßstab ohne Berücksichtigung der Kompression der Luft und  $K=1$

Eine Beispielrechnung zur Auswertung der Gleichung (5) bei unterschiedlichen Wasserständen im Speicher ( $z$ -Werte) zeigt Abbildung 3.

Die Unterschiede im  $\lambda$  - Wert ergeben sich hier nur aus der Reynoldszahl. Die relative Rauheit  $k/d_{hy}$  wurden für Modell und Natur zur Vereinfachung gleich

gewählt, obwohl sie sich je nach Wandbeschaffenheit des Hebers unterscheiden kann.

Aus dieser Abbildung wird deutlich, dass der Belüftungsgrad im Modell bei einem Modellmaßstab größer als 1 immer größer wird als in der Natur, das heißt, es wird anteilig mehr Luft im Modell gemessen.

Weiterhin wurde im Modell festgestellt, dass die angesaugte Luftmenge bei steigendem Wasserstand (größeres  $H$  und kleineres  $z$ , Bild 1) abnimmt. Das kann mit Gleichung (2) begründet werden. Eine Verkleinerung von  $z$  gegenüber einer nur gering zunehmenden Geschwindigkeit  $v_w$  führt zu einer Abnahme des Luftvolumenstromes.

### 3.5 Berechnung des Massenvolumenstromes der Luft (kompressibel)

Wird die Kompressibilität der Luft berücksichtigt, dann wird der Lufteintritt über den Massenstrom nach folgender Gleichung ermittelt [Will, Ströhl, 1990].

$$\dot{m}_L = \mu \cdot A_L \cdot \Psi \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_L \cdot p_L} \quad (6)$$

$$\text{mit} \quad \Psi = \sqrt{3,5 \cdot \left[ \left( \frac{p_s}{p_L} \right)^{\frac{10}{7}} - \left( \frac{p_s}{p_L} \right)^{\frac{12}{7}} \right]} \quad (6a)$$

Dabei ist  $\Psi$  die Ausflussfunktion für kompressible Gase. Sie wird mit dem Adiabatenexponenten  $\kappa = 1,4$  für Luft ermittelt. Der Zuflussbeiwert  $\mu$  beinhaltet die Einschnürung und die Verluste des einströmenden Luftvolumenstromes.

Der Luftdichte und damit der Luftvolumenstrom unterscheidet sich nun zwischen Heberscheitel bei starkem Unterdruck  $\Delta p$  und Heberauslauf mit Luftdruck. Das wirkt sich auf den  $\beta$ -Wert und damit auf die Geschwindigkeit des Gemischabflusses aus.

Die Dichte der angesaugten Luft bei einem Druck  $p_s$  im Heberscheitel ergibt sich aus der im Punkt 2.1. angegebenen Gasgleichung.

Der Luftvolumenstrom  $Q_{Ls}$  und damit der Belüftungsgrad  $\beta_s$  im Scheitel wird damit zu:

$$\beta_s = \frac{Q_{LS}}{Q_w} = \frac{\dot{m}_L}{Q_w \cdot \rho_{LS}} = \frac{\dot{m}_L \cdot R \cdot T}{Q_w \cdot p_s} \quad (7a)$$

und für den Auslauf am Ende des Hebers bei normalem Luftdruck zu:

$$\beta = \frac{Q_L}{Q_w} = \frac{\dot{m}_L}{Q_w \cdot \rho_L} = \frac{\dot{m}_L \cdot R \cdot T}{Q_w \cdot p_L} \quad (7b)$$

Zur Berechnung der Energieverluste im Wasser-Luft-Gemisch entlang des 2. Heberabschnittes wurde ein Mittelwert  $\beta_m$  aus beiden Luftanteilen ermittelt.

$$\beta_m = \frac{\beta}{2} \cdot \left(1 + \frac{p_L}{p_s}\right) \quad (7c)$$

### 3.6 Zuflussbeiwert der Luftströmung

Der Zuflussbeiwert  $\mu$  in den Abschnitten 2.4 und 2.5 enthält die Verluste und die Einschnürung der Luftzuströmung. Er wird von der Geometrie der Öffnung aber auch von der Wasserströmung im Heber selbst beeinflusst. Dabei kommt es durch die Wassergeschwindigkeit im Heber zu einer seitlichen Ablenkung und Einschnürung der zuströmenden Luft. Welchen Einfluss diese Hauptströmung bei einer seitlichen Wasserzuströmung auf die Einschnürung hat, wurde von Aigner (2000) untersucht. Wie sich dieser Einfluss bei einer Luftzuströmung auswirkt, ist unbekannt. Für das im Modell verwendete Belüftungsventil wurde vom Hersteller ein Zuflussbeiwert von  $\mu = 0,85$  angegeben. Aus dem Vergleich zwischen gemessenem und berechnetem Luftzufluss nach Punkt 2.5 wurde ein Einschnürungsbeiwert von  $\mu = 0,4 + 10/3 \cdot z/H$  ermittelt. Die Vergrößerung von  $z/H$  verringert den Hauptströmungseinfluss, eine Verkleinerung von  $z$  bzw. eine Vergrößerung von  $H$  bedeuten eine größere Einschnürung.

### 3.7 Energiegleichung für das Wasser-Luft-Gemisch

Die Druckabhängigkeit des Luftvolumenstromes führt dazu, dass im Heberscheitel die Luft wegen des Unterdruckes ein größeres Volumen einnimmt als am Heberauslauf bei Luftdruck. Mit der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung des Wasser-Luft-Gemisches wird zur Vereinfachung die Reibung mit einer Geschwindigkeit des Gemisches ermittelt, welches aus der mittleren Luftdichte berechnet wird. Nur die Geschwindigkeitshöhe am Heberauslauf wird mit der Gemischdichte für den normalen Luftdruck bestimmt. Für die

Reibung im turbulenten Wasser-Luft-Gemisch wurde der gleiche Reibungsansatz verwendet, der auch für reine Wasserströmungen gilt, da sich an den Wandungen ein Wasserfilm bildet, der ähnliche Bedingungen schafft, wie bei einer Wasserströmung [Volkart, 1978]. Örtliche Verluste können aus Vergleichs-rechnungen für den unbelüfteten Heber ermittelt werden. Die zusätzlichen Verluste durch die Vermischung mit der Luft (Vermischungsverluste) und den Schlupf (Schlupfverluste) sind aus Vergleichsrechnungen mit Modell- oder Naturmessungen bestimmbar.

Aus der Energiebetrachtung zwischen dem Heberscheitel und dem Auslauf ergibt sich Gleichung (8).

$$\rho_G \cdot g \cdot (H + z) = \rho_w \cdot g \cdot z + \rho_w \frac{v_w^2}{2} \cdot R_1 + \rho_G \cdot \frac{v_G^2}{2} \cdot R_2 + \rho_{GE} \cdot \frac{v_{GE}^2}{2} \quad (8)$$

Die Umstellung und Umwandlung von Gleichung (8) mit den Definitionen in Punkt 2.1. liefert eine Gleichung zur Berechnung der Geschwindigkeitshöhe bzw. der Geschwindigkeit der Wasserströmung und damit des Durchflusses  $Q_w$ .

$$\frac{v_w^2}{2g} = \frac{H - z \cdot \beta_m}{(\beta_m + 1) \cdot (R_1 + (\beta_m + 1) \cdot R_2 + \beta + 1)} \quad (9)$$

Problematisch stellte sich die Ermittlung der Vermischungsverluste innerhalb der Reibungsverluste  $R_2$  im Abschnitt 2 des Hebers heraus. Durch Vergleichsrechnungen wurde versucht, diese Verluste zu quantifizieren (siehe Punkt 3). Für diesen Verlustbeiwert wurde folgende Gleichung ermittelt:

$$\zeta_v = 7 \cdot \beta_m^2 \quad (10)$$

Da das Gleichungssystem von vielen Einflussfaktoren abhängig ist, gilt diese Gleichung nur im Zusammenhang mit im Punkt 3 genannten Annahmen.

#### 4 Anwendung des Berechnungsansatzes

Da die Gleichungen nicht direkt auflösbar sind, erfolgt die Berechnung iterativ. Unter Annahme beispielsweise des Wasserdurchflusses  $Q_w$  bzw. der Geschwindigkeit  $v_w$  lassen sich die Reibungswerte und daraus die Belüftungswerte über den Unterdruck im Scheitel und der effektiven Belüftungsfläche und letztendlich die Geschwindigkeitshöhe aus Gleichung (9) ermitteln. Schnell ist erkennbar, dass bei ständiger Vergrößerung der Belüftungsöffnung der Wasserdurchfluss zu Null wird und das Gleichungssystem zu keiner positiven Lösung

mehr führt - die Strömung reißt ab. Die Reibungswerte für den Heber bei geschlossener Belüftungsöffnung lassen sich durch den Vergleich mit den Mess-werten ermitteln. Hierzu wurden die Untersuchungsergebnisse von Horlacher u.a. (1995) verwendet.

Die Vergleichsrechnungen zeigten, dass der Zeitpunkt des Strömungsabrisses in der Berechnung größere Belüftungsöffnungen liefert, als im Modellversuch ermittelt. Hier kann die Ursache in der Turbulenz der Strömung liegen. Das sehr empfindliche System reagiert auf Strömungsschwankungen und damit auf Druckschwankungen mit einem schnelleren Strömungsabriss. Um diesen Einfluss zu simulieren, wurde eine Geschwindigkeitsschwankung von 100% im Krümmer-scheitel mit  $K = 0$  simuliert (Abbildung 4). Um wieder die Ergebnisse der Modellversuche zu erhalten, wurde gleichzeitig der Zuflußbeiwert  $\mu$  erhöht. Beide Werte beeinflussen den Luftzufluss.

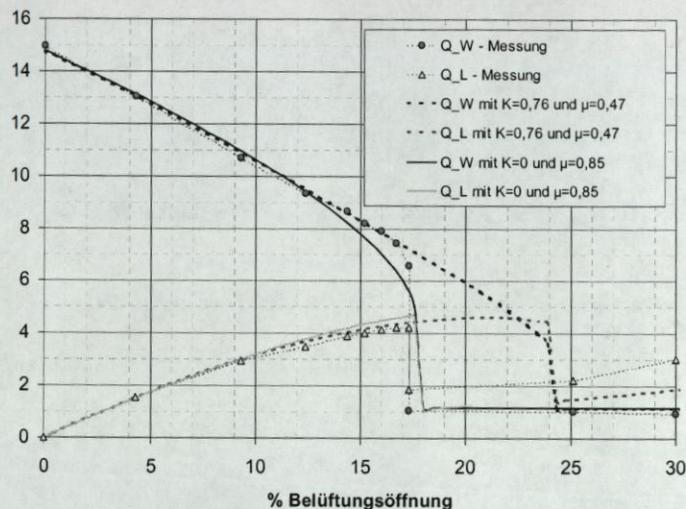


Abbildung 4: Vergleichsrechnung mit Modellwerten für eine Stauhöhe von 417,03 m ü NN

Für den Heber wurde ein konstanter Verlustbeiwert für die reine Wasserströmung von  $\zeta_2 = 2,9$  ermittelt, der fast vollständig dem zweiten Heberabschnitt zugeordnet wurde. Er beinhaltet die örtlichen Verluste des Einlaufes, der Krümmung, der Einbauten aber auch den Einfluss der Querschnittsänderungen im Heberschlauch ( $a=0,65 \dots 2,8\text{m}$ ,  $b=1,32 \dots 1,5\text{m}$ ). Für die Reibung wurde eine hydraulische Rauheit von  $k = 0,001\text{m}$  in der Natur und  $k = 0,0001\text{m}$  im Modell angenommen.

Annahmen und Werte der Beispielrechnung für das Modell:

$$Q_w = 0,03 \text{ m}^3 \quad A = 0,015 \text{ m}^2 \quad R_1 = 0,236 \quad K = 0,76$$

$$A_L/A = 0,027 \quad z = 0,047 \text{ m} \quad H = 2,25 \text{ m} \quad R_2 = 4,38$$

Mit Gleichung (1) wird der Unterdruck  $\Delta p$  und der Druck im Scheitel berechnet:

$$\Delta p = \rho_w \cdot g \cdot z + \rho_w \cdot \frac{v_w^2}{2} \cdot (R_1 + K) =$$

$$\Delta p = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,047 + 1000 \cdot \frac{2^2}{2} \cdot (0,236 + 0,76) = 2453 \text{ Pa}$$

$$p_s = p_L - \Delta p = 101340 - 2453 = 98887 \text{ Pa}$$

Mit  $p_s$  erfolgt die Berechnung des Massenvolumenstromes, des Belüftungsgrades, des Luftvolumenstromes  $Q_L$  usw.:

$$\Psi = \sqrt{3,5 \cdot \left[ \left( \frac{p_s}{p_L} \right)^{\frac{10}{7}} - \left( \frac{p_s}{p_L} \right)^{\frac{12}{7}} \right]} = \sqrt{3,5 \cdot \left[ \left( \frac{98887}{101340} \right)^{\frac{10}{7}} - \left( \frac{98887}{101340} \right)^{\frac{12}{7}} \right]} = 0,154$$

Mit  $\mu = 0,4 + 10/3 \cdot z/H = 0,47$  ergibt sich der Massenvolumenstrom der Luft zu:

$$\dot{m}_L = \mu \cdot A_L \cdot \Psi \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_L \cdot p_L} = 0,47 \cdot 0,000405 \cdot 0,154 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,25 \cdot 101340} = 0,0147 \text{ kg/s}$$

$$\beta_s = \frac{\dot{m}_L \cdot K \cdot T}{Q_w \cdot p_s} = \frac{0,0147 \cdot 287,2 \cdot 283}{0,03 \cdot 98887} = 0,403$$

$$\beta = \frac{\dot{m}_L \cdot K \cdot T}{Q_w \cdot p_L} = 0,393$$

$$\beta_m = \frac{\beta}{2} \cdot \left( 1 + \frac{p_L}{p_s} \right) = \frac{0,393}{2} \cdot \left( 1 + \frac{101340}{98887} \right) = 0,398$$

Letztendlich wird die Annahme  $Q$  solange verändert, bis sie dem Ergebnis der Gleichung (9) entspricht:

$$\frac{v_w^2}{2g} = \frac{H - z \cdot \beta_m}{(\beta_m + 1) \cdot (R_1 + (\beta_m + 1) \cdot R_2 + \beta + 1)}$$

$$\frac{v_w^2}{2g} = \frac{2,25 - 0,047 \cdot 0,398}{(0,398 + 1) \cdot (0,236 + (0,398 + 1) \cdot 4,38 + 0,393 + 1)} = 0,209 \text{ m}$$

$Q_w = 0,0304 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$  neue Iteration.

Dieser Modellwert auf Naturbedingungen umgerechnet ergibt (siehe Abb. 5):

$$Q_{wN} = 0,0304 \cdot 10^{2,5} = 9,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

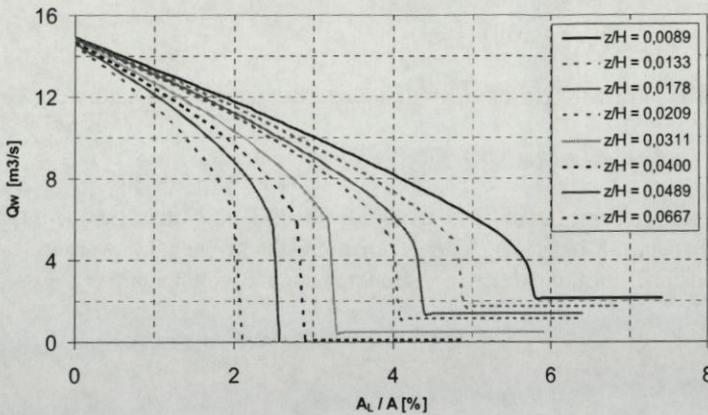
Der Luftvolumenstrom für das Modell umgerechnet auf den Naturwert wird zu:

$$Q_{LN} = Q_{wN} \cdot \beta = 9,61 \cdot 0,393 = 3,78 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nach erfolgreicher Iteration kann durch Veränderung der Randbedingungen, z.B. ein neues  $z$  bzw. eine andere Öffnungsfläche gewählt werden, und die Iteration zur Ermittlung des Arbeitspunktes beginnt von neuem.

## 5 Auswertung und Vergleich mit Modellversuchen

Der oben behandelte Berechnungsansatz für den belüfteten Heber wurde mit den 1995 durchgeführten Modellversuchen [Horlacher/Dornack/Müller, 1995] verglichen und es wurden Vergleichsrechnungen für die Heber an der Oker-Talsperre durchgeführt. Eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten im Modell stellte sich ein für  $K = 0,76$  und  $\mu = 0,4 + 10/3 \cdot z/H$ . Der Abrissvorgang wurde gut mit  $K = 0$  und  $\mu = 0,84$  nachgebildet und ist für die Abhängigkeit von  $z/H$  in Abbildung 5 dargestellt.



**Abbildung 5:** Nachrechnung des Abrissvorganges des Modellhebers in Abhängigkeit von der Belüftungsfläche und der Stauhöhe im Becken

Eine fast identische Abhängigkeit wurde im Modellversuch ermittelt. Dazu heißt es im Untersuchungsbericht: „Die Modellversuche ... ergaben eine starke Abhängigkeit der erforderlichen Lufteintrittsfläche von der Wasserspiegellage im Staubecken. Innerhalb des untersuchten Schwankungsbereiches wächst die erforderliche Belüftungsfläche von  $263 \text{ cm}^2$  bei  $H = 416,00 \text{ m}$  ü NN auf das 3,5 fache bei  $417,30 \text{ m}$  ü NN.“

Auch die Untersuchungen von Bollrich (1994) zur Ermittlung der erforderlichen Belüftungsfläche für das plötzliche Abreißen des Hebers Burgkammer bestätigen diese Abhängigkeiten von  $z$ . Er berechnete die erforderliche Belüftungsfläche von 3,7% der Heberfläche mit der Gleichung (3) für inkompressible Luftzuströmung unter Annahme eines erforderlichen Belüftungsgrades  $\beta=1$ , d.h. das erforderliche Luftvolumenstrom wurde von Bollrich gleich dem Wasservolumenstrom gesetzt. Eine Nachrechnung der Bedingungen an den Hebern Burgkammer zeigt Abbildung 6.

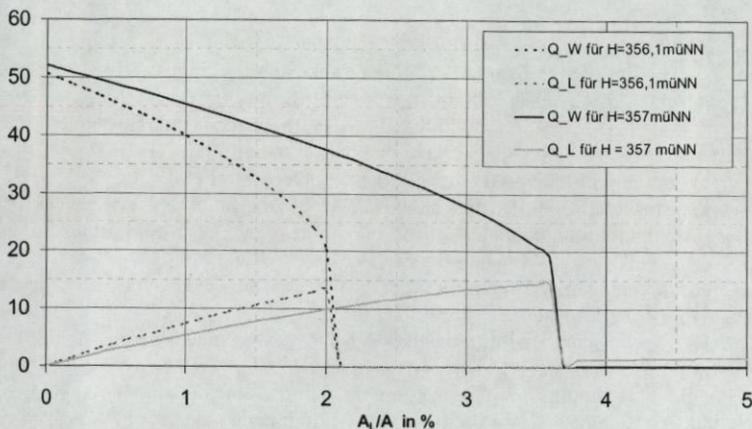


Abbildung 6: Berechnung des Abflusses und der Belüftung der Heber Burgkammer

## 6 Schlussfolgerungen

Die vorgestellten Gleichungen zur Berechnung eines belüfteten Hebers unter Berücksichtigung der Kompressibilität der Luft gestatten die Analyse der verschiedenen Einflussfaktoren und die Ermittlung der erforderlichen Belüftungsfläche zur Steuerung eines belüfteten Hebers. Vergleiche mit Ergebnissen aus den Modellversuchen und Naturdaten des Hebers der Oker-Talsperre beweisen die Tauglichkeit dieser Berechnungen. Die durchgeführten Beispielrechnungen zeigen, dass die Belüftungswerte stark von der Wasser-spiegelhöhe in der Talsperre abhängen. Auch bei der Übertragung der Modell-untersuchungen auf die Natur kann man diese Einflüsse von  $z$  nachweisen. Die vielen Annahmen in den Gleichungen, wie z.B. die Verlustbeiwerte infolge Lufteinmischung, der Zuflussbeiwert der Luftströmung und seine Beeinflussung durch die Wasserströmung oder der Einfluss der Turbulenz der Wasserströmung auf den Abrissprozess zeigen die Schwierigkeiten bei der Übertragung auf andere Heberbauwerke. Hier sind Vergleichsmessungen bzw. Modellversuche unerlässlich.

## 7 Literatur

- Aigner, D.: Hydraulik der Wasserbehandlungsanlagen und industrieller Prozesse. In Technische Hydromechanik, Band 4, Verlag für Bauwesen Berlin 2000,
- Horlacher, H.-B.; Dornack, S.; Müller, U.: Hydraulische Untersuchungen für die Heberanlage der Okertalsperre. Institut für Wasserbau und THM der TU Dresden, Forschungsbericht FO 95/2 vom 23.02.1995, unveröffentlicht
- Bollrich, G.: Hydraulische Untersuchung der Heberüberfälle des Ausgleichsbeckens Burgkammer. Internationaler Talsperrenkongress in Durban/Südafrika, November 1994, in IWT Heft 2, Weimar, Oktober 1994
- Bollrich, G.; Aigner, D.: Hydraulisches Versuchswesen. In Technische Hydromechanik, Band 4, Verlag für Bauwesen Berlin 2000,
- Bollrich, G.: Technische Hydromechanik, Band 1, 5. Auflage, Verlag für Bauwesen Berlin 2000,
- Volkart, P.: Hydraulische Bemessung steiler Kanalisationsleitungen unter Berücksichtigung der Luftmitnahme. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau ETH Zürich, Heft 30, Zürich, 1978
- Will, D. W.; Ströhl, H.: Einführung in die Hydraulik und Pneumatik, 5. Auflage, VEB Verlag Technik Berlin, 1990

Autor:

Dr.-Ing. habil. Detlef Aigner

Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik  
Technische Universität Dresden  
D-01062 Dresden  
Tel.: 0351 463 34725  
Fax: 0351 463 37124  
E-mail: [detlef.aigner@mailbox.tu-dresden.de](mailto:detlef.aigner@mailbox.tu-dresden.de)

# Förderverein

Zur Unterstützung der wasserbaulichen Forschung und Lehre wurde von Hochschullehrern und Mitarbeitern des Institutes am 24. Mai 1991 ein gemeinnütziger Förderverein, die Gesellschaft der Förderer des *Hubert-Engels-Institutes* für Wasserbau und Technische Hydromechanik an der TU Dresden, gegründet. Der Verein unterstützt die Herausgabe der Dresdner Wasserbaulichen Mitteilungen und nimmt aktiv an der Vorbereitung und Durchführung des alljährlich stattfindenden Wasserbaukolloquiums sowie der begleitenden Fachausstellung teil. Darüber hinaus werden vom Förderverein Forschungsprojekte und Studentenexkursionen finanziell unterstützt.

---

## SATZUNG der

### **Gesellschaft der Förderer des Hubert - Engels - Institutes für Wasserbau und Technische Hydromechanik an der Technischen Universität Dresden e.V.**

#### §1 Name und Sitz

Der Verein führt den Namen

**"Gesellschaft der Förderer des Hubert-Engels-Instituts für Wasserbau und Technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden e.V."**

Der Sitz des Vereins ist Dresden. Er ist im Vereinsregister unter der Nummer VR 1335 registriert.

Das Geschäftsjahr ist das Kalenderjahr.

#### §2 Zweck

Der Verein verfolgt ausschließlich und unmittelbar gemeinnützige Zwecke im Sinne des Abschnittes "Steuerbegünstigte Zwecke" der Abgabenordnung. Er dient der Förderung wissenschaftlicher Forschungsarbeiten auf gemeinnütziger Grundlage, der Information seiner Mitglieder und der Öffentlichkeit über die Forschungs- und Versuchsarbeiten des Instituts, der Förderung von Aus- und Weiterbildung sowie der Förderung des Umwelt- und Landschaftsschutzes. Der Satzungszweck wird insbesondere verwirklicht durch:

1. Durchführung wissenschaftlicher Veranstaltungen und Forschungsvorhaben zu Themen des umweltverträglichen Wasserbaus, der Renaturierung von Gewässern, der Verbesserung der Wasserversorgung und Abwasserbehandlung, des Verkehrswasserbaus (mit dem Ziel umweltfreundlicher Transportdurchführung auf Wasserstraßen), sowie des Hochwasser- und Küstenschutzes.
2. Werbung in den interessierten Fachkreisen für den Wasserbau und das hydraulische Versuchswesen
3. Koordinierung der Arbeiten und Zusammenarbeit auf wasserbaulichem und hydraulischem Gebiet mit anderen Instituten
4. Unterstützung von hydraulischen Modellversuchen
5. Unterstützung der Durchführung von Kolloquien und Symposien in den Fachgebieten Wasserbau und Technische Hydromechanik
6. Förderung der Publikation von wissenschaftlichen Arbeiten, Institutsberichten und Informationsmaterial
7. Unterstützung von Reisen zu Fachvorträgen und zur Besichtigung von wasserbaulichen Objekten
8. Durchführung von Informationsveranstaltungen an Schulen und Gymnasien
9. Unterstützung von besonders förderungswürdigen in- und ausländischen Studierenden des Wasserbaus.
10. Würdigung herausragender Leistungen von Absolventen und Studierenden in den Fachgebieten des Wasserbaus und der technischen Hydromechanik.

Der Verein ist selbstlos tätig und verfolgt nicht in erster Linie eigenwirtschaftliche Zwecke.

### §3 Mitgliedschaft

**Ordentliche Mitglieder** können natürliche und juristische Personen sowie Körperschaften jedweder Rechtsform des In- und Auslandes werden, die den Zweck des Vereins nach §2 unterstützen.

**Jungmitglieder** können Studenten werden, die an einer Hochschuleinrichtung mit wasserbaulich-wasserwirtschaftlicher Ausbildung immatrikuliert sind.

**Korrespondierende Mitglieder** können vom Vorstand ernannt werden, wenn sie auf dem Gebiet des Wasser- und Grundbaus, der Wasserwirtschaft und der Hydrologie forschend tätig sind.

**Ehrenmitglieder** können von der Mitgliederversammlung ernannt werden, wenn sie sich besondere Verdienste bei der Förderung des Vereins erworben haben.

## §4 Organe des Vereins

Die Organe des Vereins sind a) die Mitgliederversammlung und b) der Vorstand.

Die Mitglieder des Vorstands sind ehrenamtlich tätig.

## §5 Mitgliederversammlung

Eine ordentliche Mitgliederversammlung findet einmal im Jahr (in der Regel in Verbindung mit dem Wasserbaukolloquium des Instituts) statt. Ihre Einberufung erfolgt mindestens vier Wochen vorher schriftlich durch den Geschäftsführer im Auftrag des Vorstandes unter Mitteilung des Termins, des Ortes und der Tagesordnung.

Zusätze zur Tagesordnung können innerhalb einer Frist von 14 Tagen beim Geschäftsführer beantragt werden.

In der Mitgliederversammlung werden geschäftliche Angelegenheiten in Verbindung mit Vorträgen oder Mitteilungen und deren Beratung behandelt und erledigt.

Die Mitgliederversammlung beinhaltet:

1. den Bericht des Vorsitzenden über das Geschäftsjahr
2. den Bericht der Rechnungsprüfer
3. Genehmigung der Berichte und Entlastung des Vorstandes
4. Beschlüsse über vorliegende Anträge und über Änderungen der Satzung
5. Wahl von zwei Rechnungsprüfern
6. Verschiedenes

Der Vorstand kann jederzeit binnen 14 Tagen eine außerordentliche Mitgliederversammlung einberufen. Er ist dazu verpflichtet, wenn mindestens ein Zehntel der Mitglieder dies unter Angabe des Zwecks und der Gründe fordert.

Der Vorsitz der Mitgliederversammlung wird vom 1. Vorsitzenden oder vom Stellvertreter des Vorstandes geführt.

Die Mitgliederversammlung fasst ihre Beschlüsse mit einfacher Mehrheit der anwesenden Mitglieder. Sie ist bei satzungsgemäßer Einladung in jedem Falle beschlussfähig. Bei Stimmgleichheit entscheidet die Stimme des Vorsitzenden.

Satzungsänderungen erfordern eine 3/4-Mehrheit der anwesenden Mitglieder.

Anträge auf Änderung der Satzung, die nicht vom Vorstand ausgehen, können nur dann beraten werden, wenn sie mindestens vier Wochen unter Angabe der Gründe beim Vorstand eingereicht worden sind.

Jedes Mitglied hat nur eine Stimme. Stimmübertragungen sind durch schriftliche Vollmacht auf ordentliche Mitglieder nur bis zu zwei möglich.

Die Beschlüsse der Mitgliederversammlung werden vom Geschäftsführer in ein Protokollbuch eingetragen und vom Vorsitzenden und dem Geschäftsführer unterzeichnet.

## **§6 Vorstand**

Der Vorstand wird von der ordentlichen Mitgliederversammlung für die Dauer von fünf Jahren gewählt und bleibt bis zum Ablauf der ordentlichen Mitgliederversammlung zur Neuwahl im Amt.

Der Vorstand besteht aus vier gewählten ordentlichen Mitgliedern

- dem 1. Vorsitzenden
- dem Stellvertretenden Vorsitzenden
- dem Geschäftsführer
- dem Schatzmeister.

Vom Vorstand kann ein Ehrenvorsitzender bestellt werden.

Die Mitgliederversammlung kann durch einfache Mehrheit beschließen, darüber hinaus noch bis zu zwei Mitglieder zur Vertretung des Vereins in den Vorstand zu bestellen.

Der Vorstand kann einzelnen Personen Vollmachten für Zweige der Geschäftsführung erteilen.

Sitzungen des Vorstandes sind beschlussfähig, wenn mehr als die Hälfte der Vorstandsmitglieder anwesend sind.

Der Vorstand ist mit der Führung aller laufenden Geschäfte beauftragt und sorgt für die Durchführung der Beschlüsse der Mitgliederversammlung. Er kann selbständig Maßnahmen treffen, die dem Vereinszweck förderlich sind.

## **§7 Aufnahme oder Beendigung der Mitgliedschaft**

Die Aufnahme als ordentliches Mitglied oder als Jungmitglied ist schriftlich beim Vorstand zu beantragen. Dieser entscheidet über die Aufnahme. Der Aufnahmebeschluss ist dem Antragsteller mitzuteilen. Bei Zurückweisung des Antrages kann der Antragsteller eine Entscheidung durch die Mitgliederversammlung beantragen, deren Zustimmung eine 2/3- Mehrheit voraussetzt.

Die Mitgliedschaft kann beendet werden

- a) durch schriftliche Austrittserklärung eines Mitglieds zum Ende des laufenden Geschäftsjahres (mindestens drei Monate vor Ablauf des Geschäftsjahres) oder auf Beschluss des Vorstandes, wenn 3/4 der Mitgliederversammlung dem Ausschluss zustimmen.

- b) bei Vereinigungen oder Gesellschaften mit deren Auflösung
- c) bei natürlichen Personen mit dem Tod
- d) durch Streichung aus der Mitgliederliste, wenn trotz Erinnerung durch den Vorstand in drei Folgejahren kein Mitgliedsbeitrag entrichtet wurde und kein erkennbarer Hinderungsgrund vorliegt.

### **§8 Rechte und Pflichten der Mitglieder**

Die Mitglieder des Vereins haben das aktive und passive Wahlrecht können Anträge an den Verein stellen. Jungmitglieder können an den Veranstaltungen des Vereins teilnehmen, Anträge stellen, haben jedoch kein Stimmrecht.

Die Mitglieder des Vereins haben das Recht auf Information über die vom Institut durchgeführten und laufenden Arbeiten sowie zur Besichtigung des Instituts und seiner Versuchseinrichtungen soweit das betrieblich möglich ist und die Interessen der Auftraggeber nicht beeinträchtigt werden.

Die Mitglieder haben Anspruch auf Überlassung von geförderten veröffentlichten Materialien.

Die Mitglieder sind verpflichtet, die Fördervereinigung entsprechend der Satzung bei der Erfüllung ihrer Aufgaben nach besten Kräften zu unterstützen.

Die Mitglieder sind zur Zahlung eines jährlichen Beitrags verpflichtet. Die Höhe des jährlichen Beitrags wird in der Mitgliederversammlung bestimmt und soll in der Regel nicht niedriger sein als

- |   |            |
|---|------------|
| a) für persönliche Mitglieder   | EURO 20,-  |
| b) für Jungmitglieder   | EURO 10,-  |
| c) für Firmen, Behörden, Verbände, Institute und andere Einrichtungen | EURO 150,- |

Ehrenmitglieder und korrespondierende Mitglieder sind beitragsfrei. Die Beiträge sind bis 31. März des jeweiligen Jahres zu entrichten.

### **§9 Auflösung des Vereins**

Der Verein kann nur auf Beschluss von 2/3 der anwesenden stimmberechtigten Mitglieder einer ordentlichen Mitgliederversammlung aufgelöst werden.

Sind in dieser Mitgliederversammlung weniger als 1/3 der stimmberechtigten Mitglieder erschienen, so muss eine neue Mitgliederversammlung einberufen werden, die dann entscheidet.

Im Falle der Auflösung oder Aufhebung des Vereins oder bei Wegfall seines bisherigen Zwecks fällt sein Vermögen an das Hubert-Engels- Institut zur ausschließlichen Verwendung für wissenschaftliche Forschungsarbeiten.

## §10 Gemeinnützigkeit

Etwaige Mittel aus der Arbeit des Vereins dürfen nur für die satzungsgemäßen Zwecke verwendet werden. Die Vereinsmitglieder dürfen keine Gewinnanteile und in ihrer Eigenschaft als Mitglieder auch keine sonstigen Zuwendungen aus Mitteln des Vereins erhalten.

Die Mitglieder des Vorstandes erhalten keine Vergütung für ihre Tätigkeit. Auslagen im Interesse des Vereins werden auf Antrag ersetzt, wenn sie der Vorstand vorher genehmigt hat und der Verein dazu in der Lage ist.

Der Verein darf keine Personen durch Verwaltungsausgaben, die dem Zweck der Gesellschaft fremd sind, oder durch unverhältnismäßig hohe Vergütungen begünstigen.

Die Satzung wurde in der Gründungsversammlung am 24. Mai 1991 in Dresden angenommen und am 18. März 2004 ergänzt.



### AUFNAHMEANTRAG

Die Firma : \_\_\_\_\_

Frau/Herr :

Anschrift :

Tel/Fax/E-Mail:

erklärt hiermit die Bereitschaft zum Beitritt zum gemeinnützigen Förderverein

**"Gesellschaft der Förderer des HUBERT-ENGELS-INSTITUTs für  
Wasserbau und Technische Hydromechanik e.V."**

Ich / Wir zahle(n) einen jährlichen Beitrag in Höhe von

\_\_\_\_\_ €

(20.— € für persönliche Mitglieder, 10.— € für Jungmitglieder, ab 150.— € für Firmen, Behörden, Körperschaften)

Die Beitragszahlung erfolgt auf das Konto des Vereins bei der Ostsächsische Sparkasse  
**Konto 312 018 5620 Dresden BLZ 850 503 00**

\_\_\_\_\_  
(Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift - Stempel)

Die Aufwendungen zur Förderung der Gesellschaft sind steuerlich abzugsfähig.

### **Ermächtigung zum Einzug von Forderungen mittels Lastschrift**

Hiermit ermächtige(n) ich/wir Sie widerruflich, die von mir/uns zu entrichtende Zahlung des Jahresbeitrages für die Gesellschaft der Förderer des Hubert-Engels-Institutes für Wasserbau und Technische Hydromechanik bei Fälligkeit zu Lasten meines/unseres Girokontos

Konto-Nr.

Bankleitzahl

Bank

mittels Lastschrift einzuziehen. Wenn mein/unser Konto die erforderliche Deckung nicht aufweist, besteht seitens des kontoführenden Kreditinstituts (s. o.) keine Verpflichtung zur Einlösung. Ich habe davon Kenntnis genommen, dass ein jederzeitiger Widerruf der Einzugsermächtigung möglich ist.

Ort

Datum

Unterschrift

Der Vorstand stimmt im Namen des Vereins der Mitgliedschaft von

\_\_\_\_\_ zu.

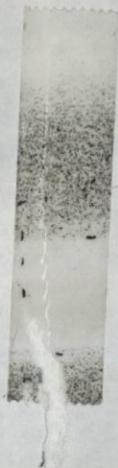
Dresden, den \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift - Stempel)

☒ **Aufnahmeantrag bitte senden an:**

Gesellschaft der Förderer des  
Hubert-Engels-Institutes  
für Wasserbau und Technische Hydromechanik  
an der Technischen Universität Dresden e.V.

**01062 Dresden**

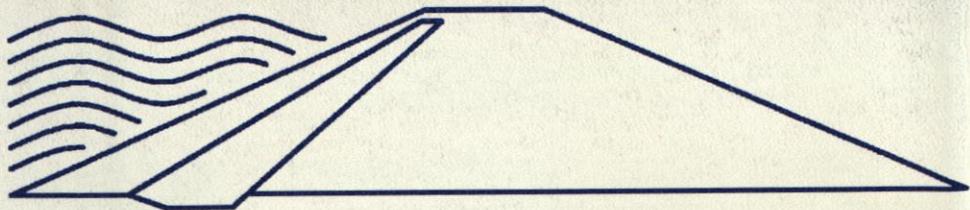


## Bisher erschienene Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

- Heft 1** 1989 **Römisch, Klaus**  
Empfehlung zur Bemessung von Hafeneinfahrten  
**Lattermann, Eberhard**  
Bemessungsgrundlagen für Dichtungen und Deckwerke im Wasserbau
- Heft 2** 1990 **Krüger, Frank**  
(vergriffen) Schubspannungsverteilungen in offenen, geradlinigen Trapez- und Rechteckgerinnen  
**Martin, Helmut; Pohl, Reinhard**  
Überflutungssicherheit von Talsperren
- Heft 3** 1990 **Pohl, Reinhard**  
(vergriffen) Die Entwicklung der wasserbaulichen Lehre und Forschung an der Technischen Universität Dresden  
**Pohl, Reinhard**  
Die Berechnung der auf- und überlaufvermindernden Wirkungen von Wellenumlenkern im Staudammbau
- Heft 4** 1991 **Haufe, Ellen**  
Hydromechanische Untersuchungen von Mischungs-, Flockungs- und Sedimentationsprozessen in der Trinkwasseraufbereitung
- Heft 5** 1994 **Wasserbaukolloquium 1993**  
Die Elbe – Wasserstraße und Auen
- Heft 6** 1995 **Wasserbaukolloquium 1994**  
Wasserkraft und Umwelt
- Heft 7** 1995 **Wasserbaukolloquium 1995**  
Hydromechanische Beiträge zum Betrieb von Kanalnetzen
- Heft 8** 1996 **Aigner, Detlef**  
Hydrodynamik in Anlagen zur Wasserbehandlung
- Heft 9** 1996 **Wasserbaukolloquium 1996**  
(vergriffen) Wellen: Prognosen - Wirkungen - Befestigungen
- Heft 10** 1997 **Wasserbaukolloquium 1997**  
Sanierung und Modernisierung von Wasserbauwerken, aktuelle Beispiele aus Deutschland, Polen, der Slowakei und Tschechien
- Heft 11** 1997 **Pohl, Reinhard**  
(vergriffen) Überflutungssicherheit von Talsperren
- Heft 12** 1998 **Pohl, Reinhard**  
Die Geschichte des Institutes für Wasserbau an der Technischen Universität Dresden
- Heft 13** 1998 **Wasserbaukolloquium 1998**  
Hydraulische und numerische Modelle im Wasserbau, Entwicklung – Perspektiven
- Heft 14** 1998 **Müller, Uwe**  
Deformationsverhalten und Belastungsgrenzen des Asphaltbetons unter den Bedingungen von Staudammkerndichtungen
- Heft 15** 1999 **Wasserbaukolloquium 1999**  
Betrieb, Instandsetzung und Modernisierung von Wasserbauwerken

- Heft 16**      1999 *Carstensen, Dirk*  
Beanspruchungsgrößen in Fließgewässern mit geschwungener  
Linienführung
- Heft 17**      1999 *Ehrenkolloquium Prof. Martin*  
anlässlich des 60. Geburtstages von Herrn  
Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Helmut Martin
- Heft 18**      2000 *Wasserbaukolloquium 2000*  
Belastung, Stabilisierung und Befestigung von Sohlen und  
Böschungen wasserbaulicher Anlagen
- Heft 19**      2001 *Seleshi B. Awulachew*  
Investigation of Water Resources Aimed at Multi-Objective  
Development with Respect to Limited Data Situation: The Case of  
Abaya-Chamo Basin, Ethiopia
- Heft 20**      2001 *Dornack, Stefan*  
Überströmbare Dämme -  
Beitrag zur Bemessung von Deckwerken aus Bruchsteinen
- Heft 21**      2002 *Wasserbaukolloquium 2002*  
Innovationen in der Abwasserableitung und Abwassersteuerung
- Heft 22**      2002 *Hailu G. Chirstos, Zelalem*  
Optimisation of Small Hydropower Sites for Rural Electrification  
ISBN 3-86005-304-3
- Heft 23**      2002 *Ehrenkolloquium Prof. Wagner*  
Zur Emeritierung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Harold Wagner  
ISBN 3-86005-307-8
- Heft 24**      2003 *Wasserbaukolloquium 2003*  
Gewässer in der Stadt. ISBN 3-86005-358-2
- Heft 25**      2003 *Tetah, Toufik*  
Numerische Simulation des dynamischen Verhaltens von Caisson-  
Wellenbrecher-Gründungen unter Einwirkung brechender Wellen
- Heft 26**      2003 *Ehrenkolloquium Prof. Horlacher*  
Zum 60. Geburtstag von Herrn Univ.-Prof. Dr. habil. Hans-Burkhard  
Horlacher. ISBN 3-86005-376-0
- Heft 27**      2004 *Wasserbaukolloquium 2004*  
Risiken bei der Bemessung und Bewirtschaftung von Fließgewässern  
und Stauanlagen ( Risks in Design and Management of Rivers and  
Reservoirs). ISBN 3-86005-414-7
- Heft 28**      2004 *Pohl, Reinhard*  
Historische Hochwasser aus dem Erzgebirge  
ISBN 3-86005-428-7

*Die Dresdner Wasserbaulichen Mitteilungen können bestellt werden bei:*  
Technische Universität Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen  
Institut für Wasserbau und THM, D-01062 Dresden  
Tel.: + 49 351 463 33837, Fax.: + 49 351 463 37141,  
E-Mail: [iwd@mailbox.tu-dresden.de](mailto:iwd@mailbox.tu-dresden.de)

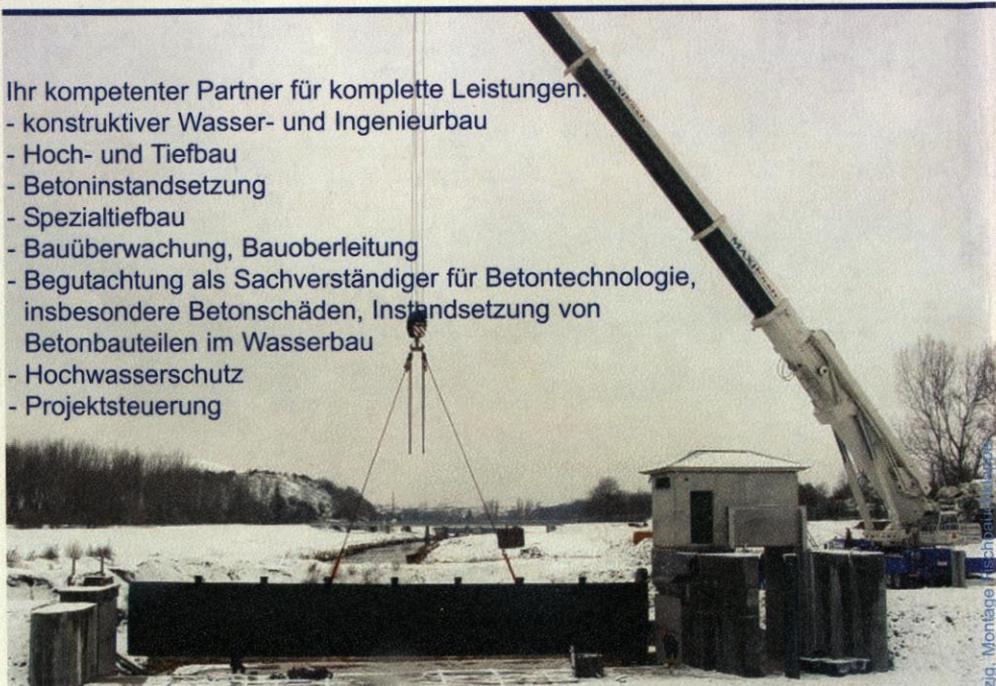


# KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH

Beratende Ingenieure Nürnberg, Erfurt, Leipzig

Ihr kompetenter Partner für komplette Leistungen:

- konstruktiver Wasser- und Ingenieurbau
- Hoch- und Tiefbau
- Betoninstandsetzung
- Spezialtiefbau
- Bauüberwachung, Bauoberleitung
- Begutachtung als Sachverständiger für Betontechnologie, insbesondere Betonschäden, Instandsetzung von Betonbauteilen im Wasserbau
- Hochwasserschutz
- Projektsteuerung



Unsere Leistungen umfassen alle Phasen der Ingenieurleistungen von der Bestandsaufnahme und Bauzustandsuntersuchung sowie Beratung zum Bau- und Instandsetzungskonzept über die ausführungsfähige Planung, die Bauüberwachung und Bauoberleitung bis zum Ablauf der Gewährleistung der beteiligten Unternehmen.

Firmensitz Nürnberg  
Rothenburger Straße 241  
90439 Nürnberg  
Tel.: 0911 / 96593-0

Zweigniederlassung Erfurt  
Bebelstraße 19  
99086 Erfurt  
Tel.: 0361 / 21139-66

Zweigniederlassung Leipzig  
Beethovenstraße 14  
04107 Leipzig  
Tel.: 0341 / 98497-70

Internet: <http://www.kubens-ingenieure.de>

E-mail: [mail@kubens-ingenieure.de](mailto:mail@kubens-ingenieure.de)

ISBN 3-86005-461-9

ISSN 0949-5061



[www.naue.com](http://www.naue.com)

Willkommen in der Welt  
der Geokunststoffe!

Die **Experten** mit Geokunststoff Know-how!



NAUE GmbH & Co. KG  
Gewerbestraße 2  
32339 Espelkamp  
Telefon 0 57 43 / 41 - 0  
Telefax 0 57 43 / 41 - 2 40  
e-mail: [info@naue.com](mailto:info@naue.com)  
Internet: [www.naue.com](http://www.naue.com)

[www.bentofix.com](http://www.bentofix.com)  
[www.secugrid.com](http://www.secugrid.com)