

Optimierung eines Verfahrens zur Entsedimentation von Stauräumen und Reduktion von Methanemissionen mittels Laser-Doppler-Anemometrie (LDA)

Am Labor für Wasser und Umwelt (LWU) der TH Köln wurde ein Prototyp zur Entsedimentation von Stauseen entwickelt, mit dessen Einsatz die Sedimentdurchgängigkeit von Gewässern wiederhergestellt und die Emission klimaschädlicher Treibhausgase deutlich reduziert oder sogar vermieden werden kann. Der entwickelte Prototyp stellt das weltweit erste Verfahren seiner Art zur Reduzierung klimaschädlicher Treibhausgasemissionen dar. Die aus Stauseen entweichenden Treibhausgase (im Wesentlichen Methan) entstehen bei den Abbauprozessen von organischen Stoffen, die kontinuierlich aus dem Einzugsgebiet in das Reservoir eingetragen und dort abgelagert werden. Die Stauraumverlandung führt zur Reduktion des Speichervolumens und schränkt somit die Nutzung der Anlage (z. B. Erzeugung von Wasserkraft, Trinkwasserversorgung, Hochwasserschutz) erheblich ein und gefährdet so die Daseinsvorsorge. Herkömmliche Methoden, Stauräume wieder zu entsedimentieren, sind oftmals kostspielig und belastend für die Ökologie des Stausees. Das innovative Verfahren erodiert mittels einer kontinuierlich arbeitenden Lösungs- und Aufnahmeeinheit die Sedimente vom Grund des Stausees und transportiert diese über eine Transportleitung über den Stausee, wo es anschließend kontrolliert ins Unterwasser abgegeben wird. Technischer Kern des Verfahrens, die Lösungs- und Aufnahmeeinheit, wurde mittels Laser-Doppler-Anemometrie (LDA) untersucht und optimiert.

Lukas Glaremin, Yannick Dück und Christian Jokiel

1 Problematik

Jedes Fließgewässer trägt anorganische und organische Feststoffe mit sich, welche aus dem Einzugsgebiet in das Gewässer eingetragen werden. Diese Feststoffe (Sedimente) werden in einem kontinuierlichen Erosions- und Sedimentationsprozess flussabwärts transportiert, wobei sich unter natürlichen Umständen im Laufe der Zeit ein Gleichgewicht einstellt, dass

die Morphologie eines Flusses auf natürliche Art und Weise prägt. Das Stauen eines Fließgewässers stört dieses Gleichgewicht aus Erosion und Sedimentation und führt aufgrund der reduzierten Strömungsgeschwindigkeit innerhalb des Stauraums zu einem verstärkten Sedimentationsprozess. Dies wiederum führt zum Verlust von Speichervolumen und zur Verlandung der Anlage mit der Folge, dass dessen Funktion eingeschränkt oder sogar komplett verloren geht. Der Sedimentmangel im Unterwasser beeinträchtigt die Gewässerökologie (Veränderung des Interstitials, Nahrungsmangel etc.) und führt zu verstärkten Erosionsprozessen, welche strukturelle Schäden am Gewässer und auch an Bauwerken zur Folge haben können. Für die Instandhaltung von Stauräumen und Wiederherstellung des ökologischen Gleichgewichtes der Gewässer ist es unausweichlich, die Sedimentablagerungen im Stausee zu reduzieren und, soweit wie möglich, die natürliche Sedimentdurchgängigkeit wiederherzustellen. Zunehmende und häufigere und intensivere Starkregenereignisse, Nutzungsänderungen im Gewässerumfeld etc., verstärken den Sedimenteintrag aus den Einzugsgebieten in die Gewässer und somit die oben beschriebene Problematik. Dieser Handlungsbedarf wird unter Aspekten des Klimaschutzes noch deutlich verstärkt. Die in Stauräumen akkumulierten organischen Sedimente werden unter anaeroben

Kompakt

- Entwicklung eines Verfahrens zur kontinuierlichen Entsedimentation und Reduktion von Treibhausgasemissionen aus Stauräumen.
- Optimierung der (Sedimentlösungs- und) Aufnahmeeinheit mittels Laser-Doppler-Anemometrie (LDA) hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit (Strömungsgeschwindigkeiten bzw. Pumpenleistung) und ökologischen Aspekten (Verringerung der Trübung durch das Erodieren von Sedimentablagerungen).
- Weltweit erstes Verfahren zur Vermeidung klimaschädlicher Treibhausgasemissionen aus Stauräumen.

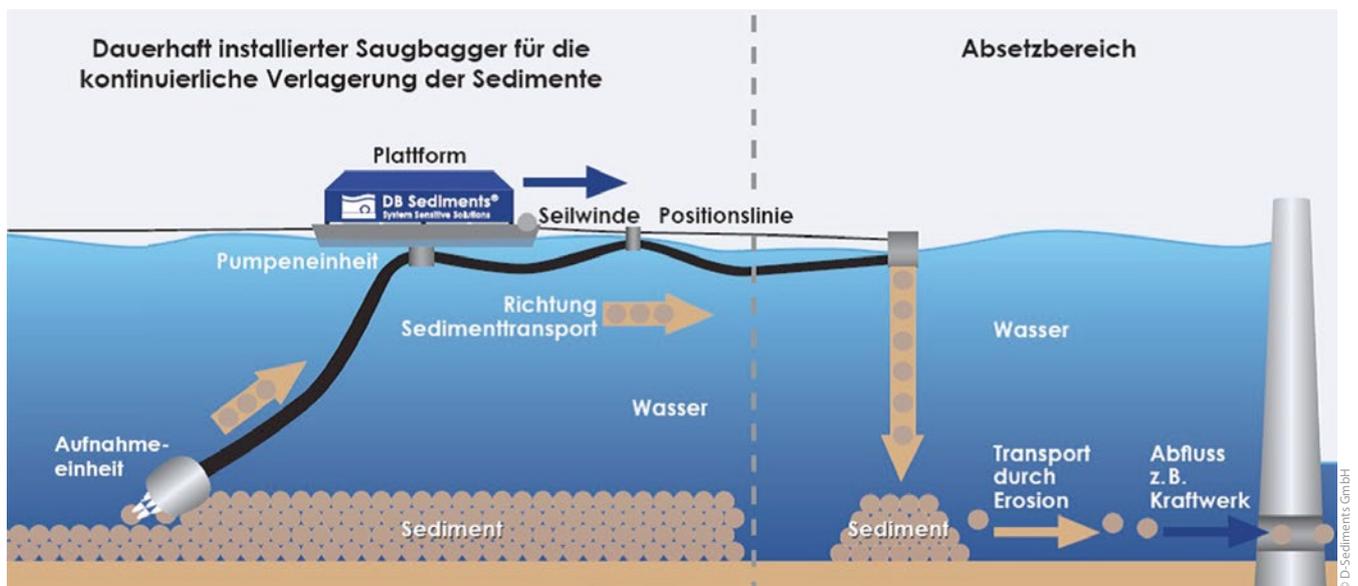


Bild 1: Sedimenttransfer

Bedingungen abgebaut, wodurch das Treibhausgas Methan (CH₄) entsteht, welches zum größten Teil über die Wasseroberfläche (Haupttransportpfad) in die Atmosphäre emittiert wird. Mit einem um den Faktor 34 (bezogen auf einen 100-Jahres-Zeitraum) höheren Treibhausgaseffekt als CO₂ haben die Methanemissionen aus Stauräumen ein erhebliches Klimaschadenpotenzial und Forschungsergebnisse belegen dessen globale hohe Relevanz [1]. So wurden in einem Schweizer Stausee (Wohlensee) durchschnittliche Methanemissionen von 150 mg/(m²·d) gemessen. Hochgerechnet entspricht dies einer jährlichen Emission von etwa 150 t Methan, was einem CO₂-Ausstoß von 25 Mio. gefahrenen Autokilometern gleichkommt [2].

2 Lösungsmöglichkeit

Das Problem der Verlandung und des Treibhausgasausstoßes bleibt bestehen, solange Stauanlagen betrieben werden, weil der

Eintrag von Sedimenten aus dem Einzugsgebiet in den Stausee nur bedingt verhindert werden kann. Konventionelle Methoden zur Entsedimentierung von Stauräumen, wie beispielsweise die Stauraumpülung oder das Ausbaggern, sind sowohl mit hohen und wiederkehrenden Kosten als auch i. d. R. mit einem großen Wasserverlust und/oder der Stilllegung der Anlage verbunden und sind häufig aus ökologischen Gründen nicht mehr genehmigungsfähig. Zudem kommt es dabei aufgrund der Druckabnahme (Wasserspiegelabsenkung, Spülung ins Unterwasser) zum Freisetzen des in blasenform in der Sedimentschicht gebundenen Methangases und somit zu stoßartigen extremen Treibhausgasemissionen. Es muss also ein Verfahren angewendet werden, welches das Sediment vom Stauseeboden entfernt und in möglichst natürlichen Konzentrationen in das Unterwasser leitet, um das Gleichgewicht weitestgehend wiederherzustellen. Dabei sollten die aufsteigenden Gasblasen aufgefangen und anschließend verwertet oder unschädlich gemacht werden. Aus Sicht der Autoren eignet sich hierzu insbesondere ein kontinu-



Bild 2: Lösungs- und Aufnahmeeinheit mit Saugkopf

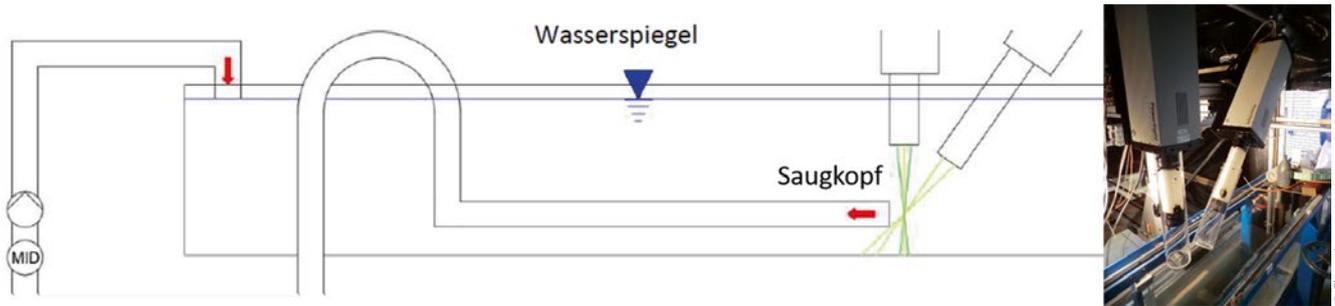


Bild 3: Versuchsaufbau

ierliches Verfahren, bei dem das Sediment schichtweise, über einen längeren Zeitraum abgetragen und das dabei freiwerdende Gas aufgefangen und somit am Entweichen in die Atmosphäre gehindert wird. Das Verfahren des „Kontinuierlichen Sedimenttransportes“ (ConSedTrans), welches von der D-Sediments GmbH entwickelt wurde, basiert auf einer solchen Arbeitsweise, d. h. mittels einer kontinuierlichen Befahrung der Stauraumsohle werden Sedimentschichten gelöst und das aufgenommene Sediment über eine Transportleitung entweder vor die Auslassorgane des Sperrenbauwerks (von wo aus es ins das Unterwasser gelangt) oder direkt ins Unterwasser geleitet (**Bild 1**). Das Verfahren eignet sich sowohl um bereits verlandete Stauseen zu entsedimentieren und somit deren Funktionstüchtigkeit wiederherzustellen als auch - bei frühzeitiger Anwendung - eine Stauraumverlandung zu vermeiden und die Sedimentdurchgängigkeit im Gewässer sicherzustellen.

Kern dieses Verfahrens ist die Sedimentlösungs- und Aufnahmeeinheit (**Bild 2**) die an einer schwimmenden Arbeitsplattform

befestigt ist und über den Stauraumboden gezogen wird. Hochdruckdüsen erodieren, soweit erforderlich, verfestigte Sedimentschichten und die remobilisierten Sedimente werden durch eine Ansaugvorrichtung aufgenommen. Die strömungsmechanischen Vorgänge im Nahbereich der Ansaugvorrichtung wurden im Labor für Wasser und Umwelt (LWU) mittels Laser-Doppler-Anemometrie untersucht, um so Form und Betrieb (Abstand zur Sedimentschicht, Volumenstrom) hinsichtlich wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte zu optimieren.

3 Laboruntersuchungen

3.1 Versuchsaufbau und Messtechnik

Zur Untersuchung der Strömungszustände im strömungsrelevanten Nahbereich der Ansaugvorrichtung wurden LDA-Untersuchungen in einer Kipprinne durchgeführt (**Bild 3**). Dabei wird das über die Ansaugvorrichtung entnommene Wasser über einen Kreislauf der Rinne wieder zugeführt. Hierdurch wird einerseits ein konstanter Wasserspiegel sichergestellt als auch ein (nahezu) stehendes Gewässer mit sehr geringen Fließgeschwindigkeiten ($v \leq 0,2$ m/s), wie es in Stauräumen i. d. R. der Fall ist, simuliert. Eine konstante Wasserspiegelüberdeckung von mindestens 0,6 m stellt sicher, dass eine Wirbelbildung und somit ein Lufteintrag in die Ansaugvorrichtung vermieden wird.

Zur zeitlich und räumlich hochauflösenden Erfassung der Strömungsvorgänge im Nahbereich der Ansaugvorrichtung wurde eine 3-D-LDA-Anlage (Phase Doppler Particle Analyser, PDPA) bestehend aus einer 2-D- und einer 1-D-Optik eingesetzt. Dabei sind die beiden Optiken so auszurichten, dass sich die Laserstrahlen in einem Punkt schneiden. Dieser ellipsoide Schnittpunkt stellt den Messpunkt (Messvolumen) dar, dessen kleiner Durchmesser ca. 0,1 mm und großer Durchmesser ca. 0,3 mm betragen.

Beide Optiken sind auf einer automatischen Traversiereinrichtung mit einer Verfahrensgenauigkeit von 0,01 mm montiert.

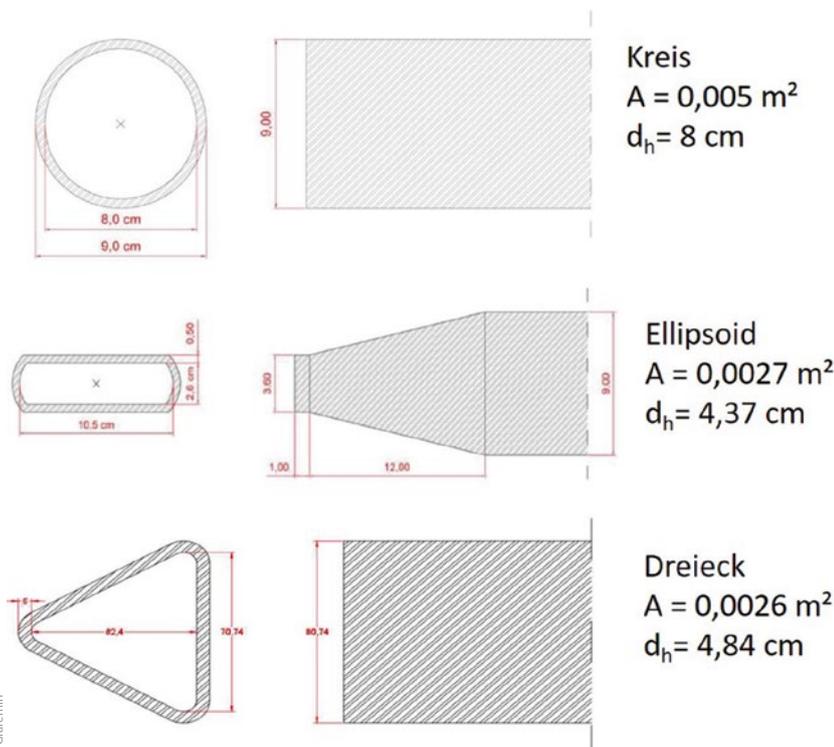


Bild 4: Saugkopfgeometrien

Dabei ist die 2-D-Optik über der Aufnahmevorrichtung lotrecht zur primären Strömungsrichtung ausgerichtet, wodurch die X-Komponente in Saugrichtung und Y-Komponente in der horizontalen Ebene orthogonal zu X erfasst wird. Die 1-D-Optik ist in einem Winkel von 32,4° zur 2-D-Optik vor der Aufnahmevorrichtung montiert und kann so die vertikale Z-Komponente erfassen. Um beim Verfahren der Optiken sowohl (1) eine variierende Brechung und somit ein zusätzliches Verlagern des Messvolumens zu verhindern als auch (2) die Optiken in das Wasser eintauchen zu können, wurden die LDA-Optiken mit wasserdichten Plexiglasröhren ummantelt.

3.2 Untersuchte Saugkopfgeometrien

Es wurden drei unterschiedliche Geometrien der Ansaugvorrichtung untersucht, wobei die durchflossene Fläche ähnliche Größe aufweisen: ein runder, ein ellipsoider sowie ein dreiecksförmiger Querschnitt. Die Saugköpfe wurden mit einem 3-D-Drucker (Ultimaker 2, Filament: PLA) erstellt. Der ellipsoide und dreiecksförmige Querschnitt ergibt sich jeweils durch ein Verziehen des Kreisquerschnittes mit einem Außendurchmesser von 9 cm in die jeweilige Form (**Bild 4**).

3.3 Versuchsdurchführung

Bei der Durchführung der LDA-Messungen wurde die vertikal spiegelidentische Symmetrie der Saugkopfgeometrien ausge-

nutzt, um die Anzahl der Messungen zu reduzieren. Voruntersuchungen der unterschiedlichen Geometrien mittels der Partikel-Image-Velocimetry (PIV) haben ein symmetrisches Strömungsverhalten bestätigt. Somit konnten für die zeitaufwändigeren LDA-Messungen die Messungen auf einen Quadranten (runder und ellipsoider Querschnitt) bzw. auf die obere Querschnittshälfte (dreiecksförmiger Querschnitt) begrenzt werden (**Bild 5**).

Die Abstände der Messebene sind in **Bild 5** dargestellt, wobei sich die Abstände für den runden und ellipsoiden Querschnitt auf die Mittelachse beziehen und für den dreiecksförmigen Querschnitt auf dessen geometrischen Schwerpunkt. Die Untersuchungen wurden für Durchflüsse von $Q_1 = 19 \text{ l/s}$ und $Q_2 = 13 \text{ l/s}$ durchgeführt, die die Pumpenleistung des Verfahrens auf dem Stauee zur Sedimentumlagerung darstellen.

3.4 Messergebnisse

Punktsymmetrische Querschnitte (Kreis, Ellipsoid)

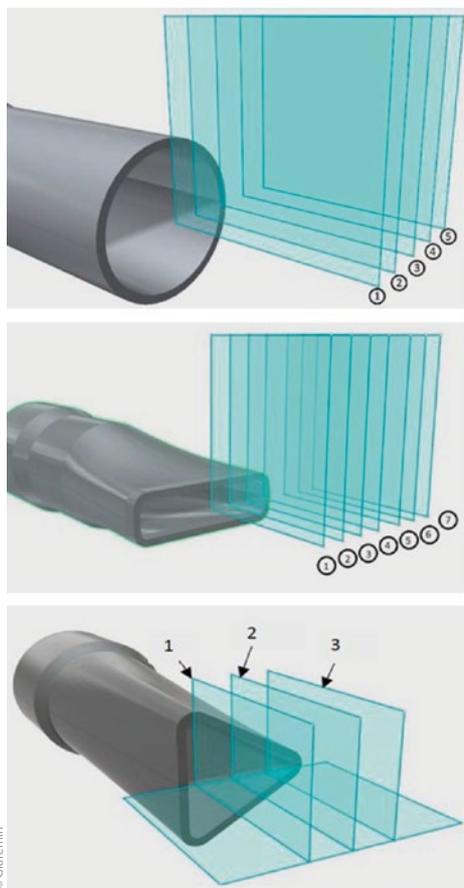
Die Messergebnisse für Q_1 und Q_2 der unterschiedlichen Messebenen der beiden punktsymmetrischen Querschnitte (Kreis, Ellipsoid) sind als Funktion zum Abstand des Saugkopfes in **Bild 6** dargestellt.

Für die punktsymmetrischen Querschnitte (Kreis, Ellipsoid) ist zu erkennen, dass in den mittleren Ebenen, wie zu erwarten, die höchsten Geschwindigkeiten auftreten und mit zunehmendem Abstand vom Saugkopf regressiv abnehmen. Dabei liegen die höchsten Geschwindigkeiten für den kreisförmigen Querschnitt bei 5,0 m/s ($Q_1 = 19 \text{ l/s}$) bzw. 3,2 m/s ($Q_2 = 13 \text{ l/s}$) und für den ellipsoiden Querschnitt bei 6,9 m/s ($Q_1 = 19 \text{ l/s}$) bzw. 5,8 m/s ($Q_2 = 13 \text{ l/s}$). Dies entspricht aufgrund der unterschiedlich durchflossenen Querschnittsflächen auch den Erwartungen. Auffällig ist jedoch, dass die Geschwindigkeiten beim ellipsoiden Querschnitt bereits in einem Abstand von ca. 2 cm um 50 % reduziert sind, wohingegen bei der kreisförmigen Geometrie dies erst nach ca. 3 cm der Fall ist. Die außerhalb der Eintrittsöffnung liegenden Messebenen weisen im Nahbereich zu vernachlässigende Fließgeschwindigkeiten in Bezug auf die Erosionswirkung auf. Bei größeren Abständen von ca. 3,5-4,0 cm (Kreis) bzw. 2,5-3,0 cm (Ellipsoid) gleichen sich die Fließgeschwindigkeiten der äußeren Messebenen denen der inneren Messebenen an.

Dreiecksquerschnitt

Für den dreieckigen Saugkopfquerschnitt sind die Messergebnisse für Q_1 und Q_2 der unterschiedlichen Messebenen als Funktion zum Abstand des Saugkopfes in **Bild 7** dargestellt.

Die Bezeichnungen der dargestellten Ebenen entsprechen den Abständen vom Schwerpunkt (Schwerpunkt = Ebene +0), wobei die Ebene +2,04 an der vertikalen Dreiecksseite und die Ebene -4,1 an der Ecke des Dreiecks liegt.



Ebene	Entfernung [cm]
1	0,00
2	1,50
3	3,50
4	5,50
5	7,50

Ebene	Entfernung [cm]
1	0,00
2	1,58
3	3,16
4	4,75
5	6,75
6	8,25
7	9,75

Ebene	Entfernung [cm]
1	2,08
2	0,00
3	-2,08

Bild 5: Messebenen der Saugkopfgeometrien unter Ausnutzung der Symmetrie

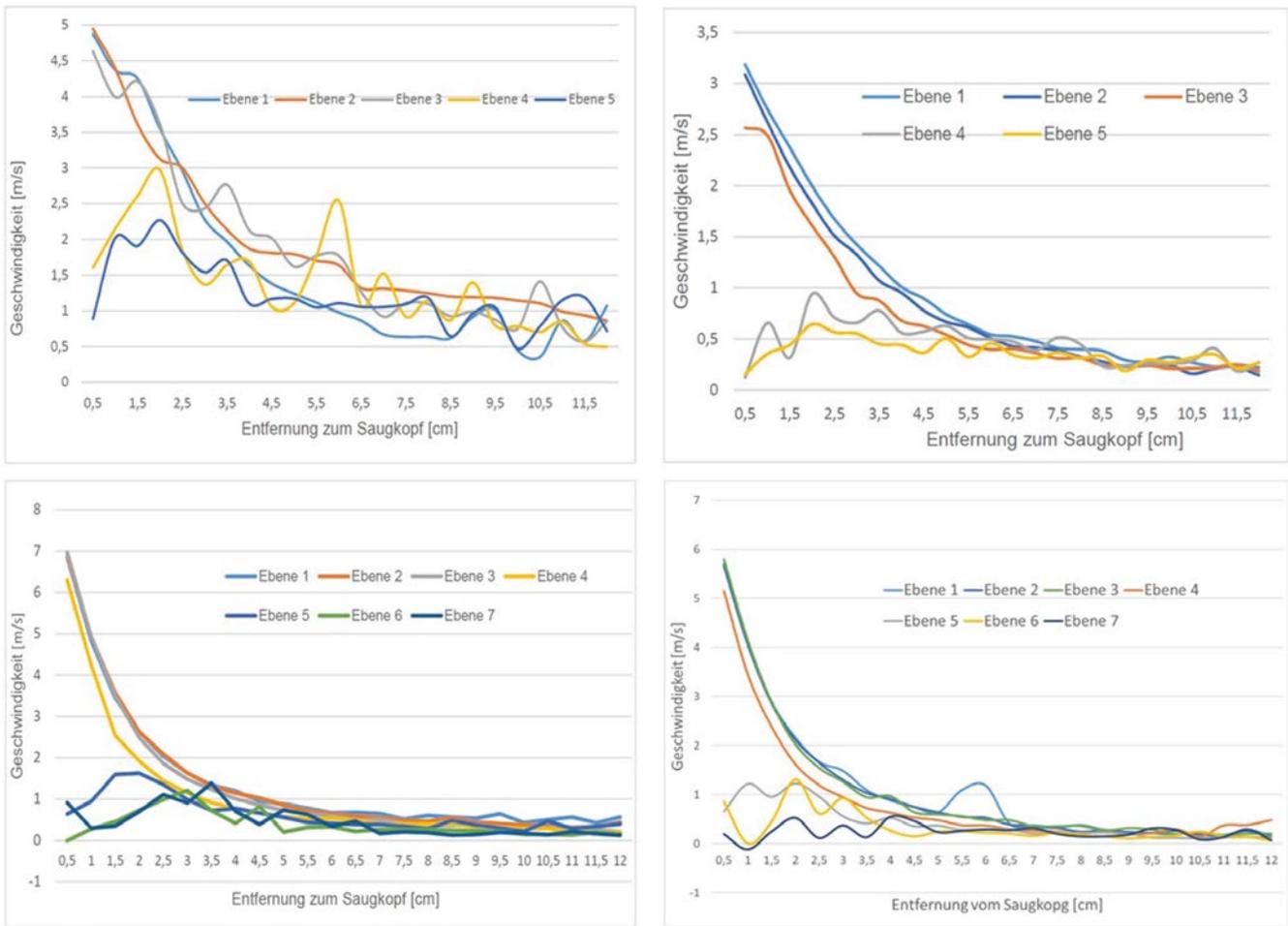


Bild 6: Fließgeschwindigkeiten im Abstand vom Saugkopf für die jeweiligen Messebenen der beiden punktsymmetrischen Geometrien: runder (oben) und ellipsoider (unten) Saugkopf für $Q_1 = 19 \text{ l/s}$ (links) und für $Q_2 = 13 \text{ l/s}$ (rechts)

Die höchsten Geschwindigkeiten ($Q_1 = 19 \text{ l/s}$) betragen $7,3 \text{ m/s}$ und liegen somit über denen des ellipsoiden Querschnittes ($6,9 \text{ m/s}$) und ca. $2,3 \text{ m/s}$ oberhalb des runden Querschnittes ($5,0 \text{ m/s}$). Wie bei den anderen Geometrien nimmt mit zunehmendem Abstand die Geschwindigkeit ab und beträgt bei einem Abstand von ca. $5,5 \text{ cm}$ weniger als 1 m/s . Für $Q_2 = 13 \text{ l/s}$ ist der Verlauf identisch, wobei die höchste Geschwindigkeit $5,5 \text{ m/s}$

beträgt und ab einer Entfernung von ca. $4,0 \text{ cm}$ die Geschwindigkeit unter $v = 1 \text{ m/s}$ fällt.

Die Randebene $+2,04$ weist aufgrund des größeren durchflossenen Querschnittes (vertikale Seite) für beide Durchflüsse im Nahbereich des Saugkopfes deutlich geringe Fließgeschwindigkeiten auf. Die Ebene am gegenüberliegenden Rand in der Dreiecksecke (Ebene $-4,1$) fällt mit stark unterschiedlichen

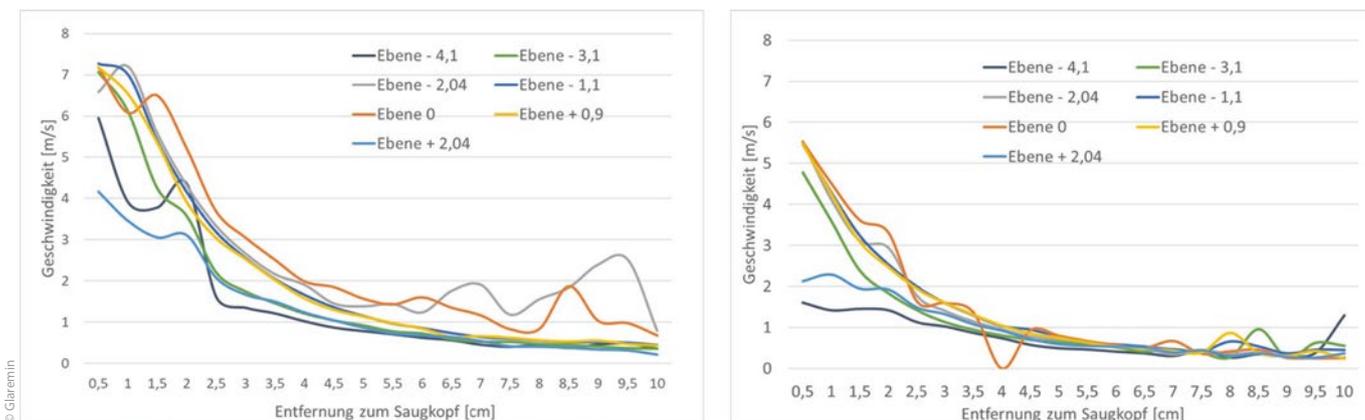


Bild 7: Fließgeschwindigkeiten im Abstand vom Saugkopf für die jeweiligen Messebenen des Dreieckquerschnittes für $Q_1 = 19 \text{ l/s}$ (links) und für $Q_2 = 13 \text{ l/s}$ (rechts)

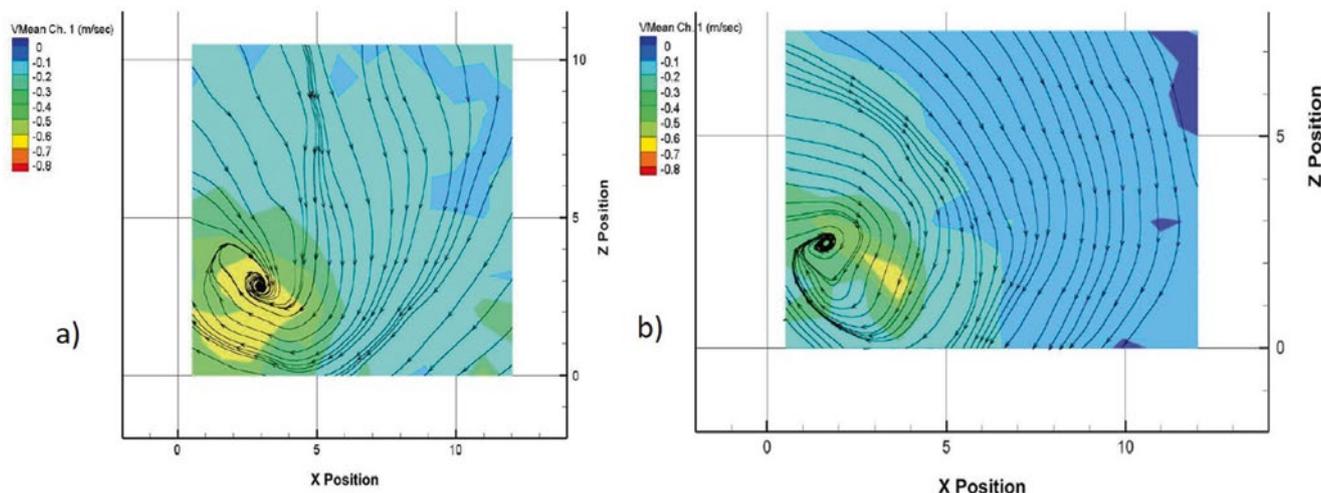


Bild 8: Stromlinien mit Wirbelstrukturen a) Runder Saugkopf, Ebene 5 und b) ellipsoider Saugkopf, Ebene 7, jeweils bei $Q = 13 \text{ l/s}$

Geschwindigkeiten ($v = 6 \text{ m/s}$ (Q_1) und $v = 1,6 \text{ m/s}$ (Q_2)) im Nahbereich des Saugkopfes auf. Die Geschwindigkeitsverläufe gleichen sich mit zunehmender Entfernung vom Saugkopf dann aber wieder an.

Weiterhin fallen wenige Ausreißer (z. B. in der Schwerpunktebene (Ebene +0)) auf, die auf eine reduzierte Sampling-Rate zurückzuführen sind. Nicht begründet werden können die unerwartet hohen Geschwindigkeiten im Bereich 6-9 cm der Ebene -2,04 bei dem Durchfluss Q_1 .

Wirbelstrukturen

Die Geschwindigkeiten unterliegen teilweise hohen Schwankungen, die insbesondere bei den Ebenen 4 und 5 (Kreis) oder Ebenen 5-7 (Ellipsoid) sowie im Dreiecksquerschnitt in der

Randebene (Ebene -4,1) im Nahbereich des Saugkopfes auftreten. In Ebene 7 (Ellipsoid) wurden negative Fließgeschwindigkeiten gemessen. Dies zeigt sich durch die hohen Standardabweichungen der Fließgeschwindigkeiten von bis zum $0,8 \text{ m/s}$ (70 % des ermittelten Mittelwertes) in diesen Bereichen. Erklärt werden können diese Schwankungswerte durch die Bildung von Wirbelstrukturen, die während der Versuchsdurchführung beobachtet werden konnten. Diese haben sich im äußeren Randbereich der Saugköpfe gebildet, wo zunächst eine Anströmung entgegen der Fließrichtung und anschließend eine Strömungsumlenkung um bis zu 180° erfolgt. Zu erkennen sind solche Wirbelstrukturen in **Bild 8**.

Bild 9 zeigt eine Aufnahme dieser im Saugkopf gebildeten Wirbelstrukturen, die sich außerhalb des Saugkopfes in einer 90° -Kurve bis zur Berandung (Glasscheibe) der Kipprinne fortsetzen. Sie sind typisch für sogenannte Stagnationszonen, in denen die Strömung aufgrund der sehr geringen Fließgeschwindigkeit instabil wird. Dort entstehen häufig Turbulenzstrukturen (Wirbel) in Richtung der nächstgelegenen Berandung. Typische Beispiel hierfür sind auftretende Luftwirbel bei Einlaufbauwerken (mit der Wasseroberfläche als nächste Berandung). Da im Versuchsaufbau die seitlichen Berandungen der Kipprinne dem Saugkopf näher sind als die Wasseroberfläche, setzen sich die Wirbelstrukturen dorthin fort.

In **Tabelle 1** sind die gemessenen mittleren Fließgeschwindigkeiten für die drei Geometrien angegeben und den mittleren Geschwindigkeiten aus der Konti-

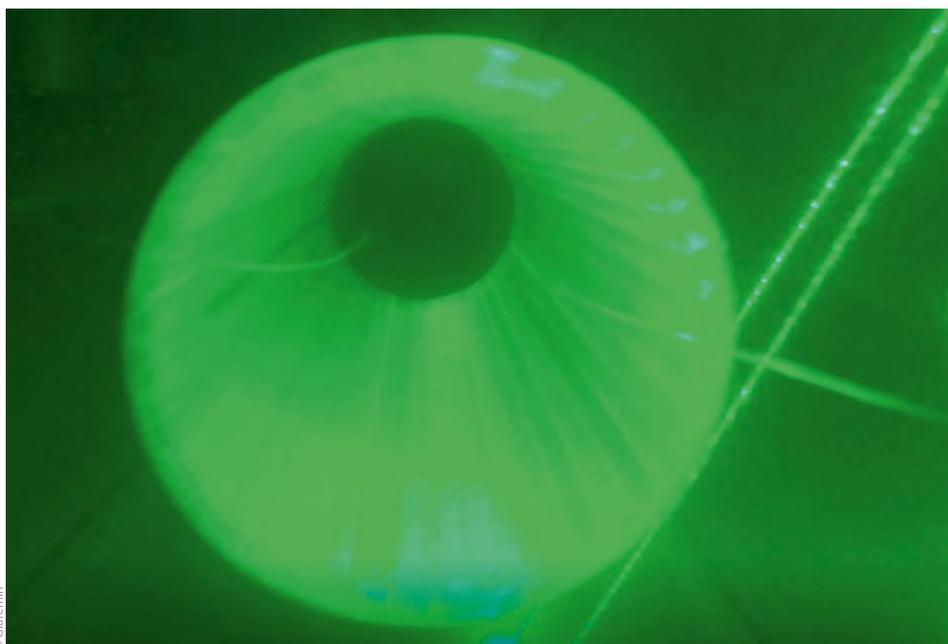


Bild 9: Wirbelstrukturen am Randbereich des Saugkopfes mit ca. 90° -Umlenkung bis zur Strömungsberandung

nuitätsgleichung gegenübergestellt. Die gemessenen Werte beziehen auf den Abstand $d = 0,5$ cm vor dem Saugkopf.

Für Q_2 stimmen die Werte gut überein (die Abweichungen liegen unter 4 %, 1 %, 2 % für Kreis, Ellipsoid, Dreieck), wobei die gemessenen Werte leicht über den berechneten liegen. Für den Durchfluss Q_1 sind die Abweichungen größer und die gemessenen Werte liegen unterhalb der berechneten. Insbesondere für die ellipsoide Form ist die Abweichung mit $\Delta v = 1,76$ m/s auffällig. Hierfür sind vermutlich größere Fluktuationen der Fließgeschwindigkeiten durch die angesprochenen Wirbelstrukturen der Grund. Eine Überprüfung der notwendigen Mindestüberdeckung nach Gordon für den Kreisquerschnitt

$$h_{\min} = C \cdot v \cdot d^{0.5} \quad \text{mit } C = 0,5-0,7, d = 0,08 \text{ m, } v_m = 3,78 \text{ m/s}$$

$$h_{\min} = 0,53 - 0,75 \text{ m}$$

zeigt, dass der Mindestabstand zur seitlichen Berandung, die 0,26 m vom Saugkopf entfernt ist, nicht eingehalten ist und somit Wirbelstrukturen zu erwarten sind.

4 Fazit/Ausblick

Am Labor für Wasser und Umwelt (LWU) der TH Köln wurden unterschiedliche Geometrien (Kreis, Ellipsoid und Dreieck) eines Saugkopfes zur Aufnahme von erodiertem Sediment aus Stauräumen untersucht. Hierzu wurden mittels LDA die Geschwindigkeitsverteilungen für zwei unterschiedliche Durchflüsse gemessen und gegenübergestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass aufgrund der größeren Querschnittsfläche beim Kreisquerschnitt die Maximalgeschwindigkeiten um durchschnittlich 60 % geringer sind im Vergleich zum ellipsoiden sowie dreiecksförmigen Saugkopf und somit die Saugleistung zur Aufnahme von gelösten Sedimenten entsprechend geringer ist. Der ellipsoide und dreiecksförmige Querschnitt weisen nur geringfügige Unterschiede in den Fließge-

Lukas Glaremin, Yannick Dück und Christian Jokiel

Optimizing a new approach for the desiltation of reservoirs and reduction of methane emission applying Laser-Doppler-Velocimetry

A new prototype for the desiltation of reservoirs, which allows to restore the solid transport of rivers in accordance to the EU water framework directive (EU-WFD), has been developed in recent years. An erosion and suction head, dragged along the reservoir bed, removes the sediment continuously from the reservoir bed on to a self-propelled platform from where it is transported through a piping system downstream. By applying this system gases (mainly methane), which are bound in the sediment layers, are separated from the sediment-gas-water flow, thus reducing greenhouse gas emissions into the atmosphere. Those greenhouse gases are created by anaerobic degradation of organic matter, which is continuously transported from the catchment into the reservoir. Within this paper we introduce the new developed prototype with special emphasis on the hydraulic performance of the suction head. The flow regime in the near field of the suction head has been studied by employing Laser-Doppler-Velocimetry.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der gemessenen mittleren Fließgeschwindigkeiten mit den berechneten Werten (Kontinuität) (Quelle: Glaremin)

Q [l/s]		Geometrie		
		Kreis	Ellipsoid	Dreieck
13 l/s	$V_{\text{Kontinuität}}$ [m/s]	2,59	4,76	5,04
	$V_{\text{d,gemessen}}$ [m/s]	2,72	4,8	5,1
19 l/s	$V_{\text{Kontinuität}}$ [m/s]	3,78	6,96	7,37
	$V_{\text{d,gemessen}}$ [m/s]	4,2	5,2	6,87

schwindigkeiten auf, sowohl in den auftretenden Maximalgeschwindigkeiten als auch in der Geschwindigkeitsverteilung. Somit sind diese beiden Querschnittsformen aus strömungsmechanischer Sicht in Bezug auf ihre Eignung zur Aufnahme von Stauraumsedimenten nahezu identisch und dem Kreisquerschnitt überlegen. Da der ellipsoide Saugkopf bei gleicher Querschnittsfläche im Vergleich zum Dreiecksquerschnitt einen bodennäheren Schwerpunkt aufweist (und somit eine geringere Entfernung zu den aufzunehmenden Sedimentablagerungen hat) als auch eine größere Breite aufweist, ist dieser aus operativer Sicht zu bevorzugen.

Weitere Untersuchungen sind empfehlenswert, um einerseits die teilweise unerwarteten Geschwindigkeitsschwankungen als auch andererseits die beobachteten Wirbelstrukturen und Ursachen für die beobachteten Geschwindigkeitsschwankungen zu verifizieren.

Autoren

Lukas Glaremin, B. Eng.

Durlacher Allee 18
76131 Karlsruhe
lglaremin@outlook.de

Dr. Yannick Dück, M. Sc

illwerke vkw AG
Anton-Ammann-Straße 12
6773 Vandans, Österreich
yannick.dueck@illwerkevkw.at

Prof. Dr.-Ing. Christian Jokiel

Lehr- und Forschungsgebiet für
Wasserbau und Wasserwirtschaft (LWU)
Technische Hochschule Köln
Betzdorfer Straße 2
50679 Köln
christian.jokiel@th-koeln.de

Literatur

- [1] Deemer, B. R. et al.: Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis. In: BioScience 66 (2016), Nr. 11, S. 949-964.
- [2] DelSontro, T.; McGinnis, D. F.; Sobek, S.; Ostrovsky, I.; Wehrli, B.: Extreme Methane Emissions from a Swiss Hydropower Reservoir: Contribution from Bubbling Sediments. In: Environmental Science & Technology 7 (2010), Nr. 44, S. 2 419-2 425.