

MELIST – Methanelimination aus Stauräumen

Laura Bolsenkötter¹, Yannick Ratke^{II}, Timo Fahlenbock^{II}, Eric Zimmermann¹

¹ DB Sediments GmbH

Bismarckstr. 142, 47057 Duisburg

l.bolsenkoetter@db-sediments.com

^{II} Lehr- und Forschungsgebiet für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Technische Hochschule Köln

Betzdorferstr. 2, 50679 Köln

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
1. Einleitung	2
2. Methanemissionen aus Stauseen – thematischer Hintergrund.....	3
3. Untersuchungsprogramm	5
3.1. Feldversuche	6
3.2. Laborversuche	9
4. Ausblick.....	10

Abstract

In Folge des Abbaus organischer Substanzen im anaeroben Sediment in Staugewässern werden neben Kohlendioxid- auch erhebliche Methanemissionen an die Atmosphäre abgegeben. Die daraus resultierenden klimatischen Auswirkungen werden deutlich, bedenkt man, dass Methan einen 28-mal höheren Treibhauseffekt als Kohlendioxid hat. Das aus dem Europäischen Fond für Regionale Entwicklung (EFRE) geförderte Forschungsprojekt „Methanelimination aus Stauräumen: Ursache – Vorhersage – Gegenmaßnahmen (MELIST)“ widmet sich der Fragestellung, wie Methanemissionen aus Stauräumen durch betriebliche und technische Maßnahmen reduziert oder gar vermieden werden können. Grundlage für die Ableitung möglicher Gegenmaßnahmen sind umfangreiche Feld- und Laborversuche. Über einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten werden die Methanemissionen zweier Stauseen in Nordrhein-Westfalen sowie deren Einflussfaktoren gemessen. Im Zuge der Laboruntersuchungen werden hydroakustische Verfahren zur Sedimentcharakterisierung getestet sowie eine Sedimentremobilisierungseinheit als Bestandteil der technischen Gegenmaßnahme mittels Laser Doppler Anemometer Analyse optimiert.

1. Einleitung

Zur Sicherung der Energieversorgung, der Bewässerung, der Trinkwasserversorgung sowie des Hochwasserschutzes gewinnen Stauhaltungen zur Speicherung von Wasser immer mehr an Bedeutung. Aufgrund von Stauraumverlandung ist allerdings trotz eines weltweit zunehmenden Ausbaus von Stauräumen ein kontinuierlicher Verlust an Stauraumkapazität zu verzeichnen. Dabei sorgt das Sperrbauwerk für eine Unterbrechung des natürlichen Flusslaufs. Entsprechend lagert sich das mit der Strömung mitgeführte Sediment im Stauraum ab. Die internationale Kommission für große Talsperren (ICOLD 2009) schätzt die mittlere jährliche Sedimentationsrate weltweit auf ca. 1 %. Die World Commission on Dams (WCD 2000) prognostiziert, dass bis zum Jahr 2050 bis zu 25 % der weltweiten Speicherkapazität nicht mehr nutzbar sein wird.

Aus der Verlandung von Talsperren resultieren sowohl erhebliche ökonomische als auch ökologische Auswirkungen. Neben der Ablagerung von Sediment reichert sich zudem ein Überschuss an organischer Materie im Stauraum an. Studien haben gezeigt, dass aus dem mikrobiellen Abbau organischer Substanz in Stauseen signifikante Treibhausgasemissionen in Form von Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) an die Atmosphäre resultieren (COLE *et*

al. 2007; BASTVIKEN *et al.* 2011; BARROS *et al.* 2011). Nach BARROS *et al.* (2007) emittieren alleine Staugewässer mit Wasserkraftnutzungen weltweit ca. 48 Tg C in Form von CO₂ und 3 Tg C in Form von CH₄ pro Jahr. Dabei hat Methan (im Zeithorizont von 100 Jahren) ein 28-mal höheres Treibhauspotential als Kohlendioxid (IPCC 2014). Die gesamten Methanemissionen aus Süßwasser werden auf 103 Tg CH₄ pro Jahr geschätzt (BASTVIKEN *et al.* 2011).

Im Zuge des Forschungsprojekts „Methanelimination aus Stauräumen: Ursache – Vorhersage – Gegenmaßnahmen (MELIST)“ wird die Fragestellung untersucht, wie die Methanemissionen aus Stauräumen durch betriebliche und technische Maßnahmen reduziert oder gar vermieden werden können. Das Gesamtziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Verfahrens zur quantitativen Vorhersage von Methanemissionen aus Stauräumen sowie die Ableitung betrieblicher Leitlinien und Entwicklung technischer Maßnahmen zur Reduktion der Emission an die Atmosphäre. Aufbauend auf Feld- und Laboruntersuchungen zur Methanogenese soll eine Pilotanlage zur Methangaselimination bzw. Reduzierung der Methanemissionen entwickelt und im praktischen Einsatz getestet werden.

Bei dem Forschungsprojekt handelt es sich um ein Verbundprojekt des Lehr- und Forschungsgebiets Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Hochschule Köln und der DB Sediments GmbH, das im Rahmen des Leitmarktwettbewerbs EnergieUmweltwirtschaft.NRW aus dem Europäischen Fond für Regionale Entwicklung (EFRE) gefördert wird. Der Projektzeitraum umfasst insgesamt 36 Monate. Beginn war im März 2016. Die Arbeitsgruppe Umwelphysik des Instituts für Umweltwissenschaften der Universität Koblenz-Landau umstürzt die genannten Projektbeteiligten seit Juni 2016.

2. Methanemissionen aus Stauseen – thematischer Hintergrund

Bereits 1776 berichtete Alessandro Volta über die Entdeckung von aus Gewässersedimenten aufsteigender „entzündbare Luft“ (Volta 1778). Genauer und umfangreichere Studien zur Untersuchung von Methanemissionen aus Stauräumen haben allerdings erst seit Ende der 90er Jahre stattgefunden.

Bei dem mikrobiellen Abbau organischer Substanz im sauerstoffreichen Milieu eines Stausees wird hauptsächlich CO₂ produziert. Im anaeroben Gewässersediment von Stauräumen, in denen Nitrat und Sulfat als Elektronenakzeptor nicht zur Verfügung stehen, wird CH₄ beim Abbau der organischen Substanzen durch methanogene Bakterien (Archaeobacteria) gebildet (SCHINK 1989). Innerhalb der ersten Jahre nach dem Bau eines Stausees stellt die eingestaute Biomasse (Pflanzen und Boden) die

Hauptquelle für die Methanproduktion dar (ABRIL *et al.* 2005). Je älter der Stauraum wird, desto mehr tragen eingebrachte Sedimente und allochthone Biomasse zur Methanogenese bei (SOBEK *et al.* 2012). Das im Sediment produzierte Methan kann über die in Abbildung 1 dargestellten Prozesspfade an die Atmosphäre gelangen (BASTVIKEN *et al.* 2004; ABRIL *et al.* 2005): 1. vom Sediment aufsteigende Methanblasen, 2. Diffusion über die Wasseroberfläche, 3. Diffusion über Makrophyten, 4. Ausgasung am Wehr, 5. erhöhte Diffusion im Unterwasser der Anlage.

Gasblasen stellen den dominanten Emissionspfad an die Atmosphäre über die Stauseeoberfläche dar (BASTVIKEN *et al.*, 2004; DELSONTRO *et al.* 2010; MAECK *et al.* 2013). In der globalen Betrachtung machen sie einen Anteil von 53 % der jährlichen 103 Tg CH₄ Süßwasseremissionen aus. Bei Staugewässern mit Wasserkraftnutzung spielt zudem die Ausgasung am Wehr bzw. der Wasserkraftanlage eine erhebliche Rolle bei der Gesamtemission und können sogar die Blasenemissionsrate übersteigen (MAECK *et al.* 2013; ABRIL *et al.* 2005). In der oben genannten Schätzung der globalen Süßwassermethanemission wurde der Emissionspfad der Wehrausgasung nicht berücksichtigt, wodurch dieser Wert zur Bilanzierung der globalen Gesamtemissionen korrigiert werden müsste.

Innerhalb des Stausees gewinnt mit steigender Wassertiefe der Emissionspfad der Diffusion gegenüber dem der Blasen an Bedeutung (BASTVIKEN *et al.* 2004). Das aufsteigende Gas wird teilweise in der Wassersäule oxidiert.

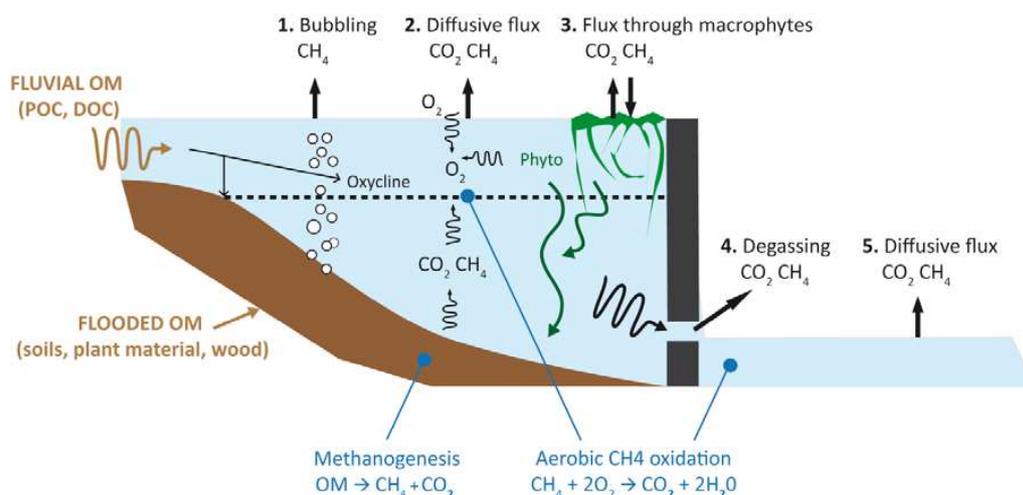


Abbildung 1: CO₂ und CH₄ Emissionspfade (UNESCO/IHA 2010)

Bisherige Untersuchungen zeigen, dass viele Faktoren Einfluss auf die Emissionen von Methan aus Staugewässern haben. Dazu gehören zum Beispiel die Sedimentationsrate, die Sedimenttemperatur, Änderungen im hydrostatischen Druck und die geographische bzw. klimatische Lage des

Stausees.

Auf die Methanblasenemission haben insbesondere die Sedimenttemperatur (WILKINSON *et al.* 2015) und die Sedimentationsrate organischer Sedimente (SOBEK *et al.* 2012; MAECK *et al.* 2013) einen erheblichen Einfluss. Je höher die Temperaturen und die Sedimentationsraten sind, desto höher sind die Methanblasenemissionen. Mit dem Sediment wird zum einen auch allochthone organische Materie eingetragen, zum anderen ermöglicht das abgelagerte Sediment ein anaerobes Milieu zur Bildung von Methan. Anthropogen hervorgerufene Druckunterschiede zum Beispiel durch Schleusenvorgänge können wichtige Auslöser für episodische Blasenausgasung sein (MAECK *et al.* 2014). Generell sind höhere Methanemissionsraten in Staugewässern in tropischen Regionen mit kleiner werdender Entfernung zum Äquator zu erwarten (BARROS *et al.* 2011). Untersuchungen von Staugewässern in gemäßigten Regionen der letzten Jahre (DELSONTRO *et al.* 2010; MAECK *et al.* 2013) ergaben allerdings auch für diese Emissionswerte, die mit denen tropischer Stauräume vergleichbar sind. Die Methanemissionen von aufgestauten Flussabschnitten an der Saar betragen beispielsweise $316 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (MAECK *et al.*, 2013).

CH_4 Emissionen aus Stauräumen unterliegen insbesondere im Bereich des Blasenaustrags erheblichen zeitlichen und räumlichen Schwankungen. Daher sind großräumige Emissionsmessungen über einen längeren Zeitraum notwendig, um die saisonalen und jahreszeitlichen Schwankungen sowie die Variation über die Stauseefläche erfassen und eine Schätzung über die Emissionsquantität abgeben zu können.

3. Untersuchungsprogramm

Das Untersuchungsprogramm im Projekt MELIST gliedert sich in Feld- und Laborversuche. Mit Feldversuchen sollen über einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten kontinuierlich die Methanemissionen aus zwei Stauseen in Nordrhein-Westfalen und dessen potentielle Einflussfaktoren untersucht werden. Es soll die Quantität der Methanemissionen und dessen Relevanz (im regionalen Kontext) bestimmt werden. Der Fokus der Untersuchungen liegt in der Analyse der saisonalen und täglichen Schwankungen sowie der räumlichen Verteilung und der Ermittlung der relevanten Einflussparameter. Mit Hilfe der Laborversuche sollen Detektions- und Messtechniken und dessen Einsatz zur Ermittlung des Methanvorkommens und der Methanverteilung im Stausee getestet werden. Darüber hinaus sind weitere Laborversuche zur Untersuchung der Abläufe einer gezielten Sedimentremobilisierung geplant. Im Folgenden werden die geplanten Untersuchungsmethoden und dessen Zielsetzungen näher erläutert.

3.1. Feldversuche

Die Auswahl der Stauseen für die Langzeit in-situ Messungen richtet sich in erster Linie nach den Eigenschaften des Stausees. Es werden zwei unterschiedliche Untersuchungsräume gewählt. Der eine von zwei Untersuchungsräumen ist charakterisiert durch eine geringe Fläche und Tiefe. Das bietet den Vorteil, dass (neue) Messmethoden und Ansätze mit relativ geringen Aufwand durchgeführt und auf dessen Effektivität und Ergebnisqualität hin überprüft werden können. Wichtig ist dies vor dem Hintergrund, dass in dem noch relativ jungen Bereich der Methanemissionsuntersuchung in Stauseen bisher nur wenige standardisierte Messmethoden etabliert sind. Einen ersten Ansatz bietet hier nur die „Guidelines on GHG Measurements“ der UNESCO und International Hydropower Association (IHA), die bei den Felduntersuchungen zur internationalen Vergleichbarkeit der Ergebnisse berücksichtigt werden. Ein relativ homogener Untersuchungsraum erlaubt zudem die Fokussierung auf die Variation einzelner Parameter und dessen Einfluss. Als zweiter Untersuchungsraum wird ein flächenmäßig großer (Fläche bei Vollstau > 30 ha) Stausee mit ausgeprägter Tiefenvarianz und charakteristischer Seeschichtung (hinsichtlich Temperatur und Sauerstoffverteilung) gewählt. Dadurch ist die Analyse des Einflusses der verschiedenen Strukturen (Flachwasser, Tiefenwasser, strömungsberuhigt, strömungsgeprägt usw.) auf die Emissionen möglich. Durch die Auswahl gegensätzlicher Untersuchungsräume – klein- und großskalig – wird eine weite Bandbreite unterschiedlicher existierender Stauräume abgedeckt. Die Auswahl repräsentativer Stauseen ermöglicht die Übertragbarkeit auf andere vergleichbare Staugewässer.

Tabelle 1: Physikalisch-Hydromorphologische Untersuchungsparameter

Physikalisch-Hydromorphologische Parameter			
Hydromorphologisch			Physikalisch
Sedimentologisch	Morphologisch	Hydraulisch	
Korngrößenverteilung	Ablagerungshöhe	Strömungs- geschwindigkeit	Temperatur
Substratzusammen- setzung / organischer Anteil	Schichtfolge	Wassertiefe	pH-Wert
Lagerungsdichte	Schicht- mächtigkeit		Sauerstoff- gehalt

Parallel zur qualitativen und quantitativen Ermittlung der Methanemissionen werden die in Tabelle 1 aufgeführten potentiellen physikalisch-hydromorphologischen Einflussparameter untersucht.

Da die Sedimentationsrate einen hohen Einfluss auf die Methanemissionen in Stauseen hat, soll eine erste Einschätzung über die räumliche Verteilung der Emissionen mit hydroakustischen Verfahren (Sonarvermessung) ermittelt werden. Mit hydroakustischen Verfahren können Bereiche mit einer hohen Sedimentationsrate und einem hohen Anteil an organischer Materie detektiert und quantifiziert werden. Untersuchungen zur Machbarkeit und Validierung des Verfahrens werden im Labor durchgeführt. Über die Sonarvermessung werden die morphologischen Eigenschaften des Stausees bestimmt.

Zur Ermittlung der sedimentologischen Eigenschaften und deren Zusammenhänge mit der Methanbildung werden regelmäßig über den Untersuchungszeitraum ungestörte Sedimentproben entnommen. Im Zuge des Projekts soll ein neuartiges Verfahren zur Entnahme von Sedimentgefrierkernen (Freeze-Core) entwickelt, angewandt und erprobt werden. Bei dem hier geplanten Verfahren werden Rohre aus Edelstahl vertikal in den Gewässerboden eingebracht und verankert. Die Rohre verbleiben für einen Zeitraum von rund 4 Wochen im Gewässerboden, sodass sich eine natürliche Sedimentschichtung um das Rohr ausbilden kann. Über das Einführen von Kühlmittel in das Rohr wird Sediment gefroren und kann entnommen werden. Anhand der dadurch gewonnenen ungestörten Sedimentproben erhoffen sich die Projektbeteiligten die Bodenstruktur und Blasenverteilung innerhalb der oberen Sedimentschicht besser analysieren zu können. Neben der visuellen Analyse sollen auch das Porenwasser sowie der Gasanteil des Sedimentkerns über eine Filterung und Ausgasung überprüft werden. Zudem werden die in Tabelle 1 genannten sedimentologischen Eigenschaften untersucht.

Zu Beginn der Felduntersuchungskampagne ist eine ADCP (Acoustic-Doppler-Current-Profiler) Messung zur Bestimmung des charakteristischen Strömungsprofils und der charakteristischen hydraulischen Bedingungen geplant.

Zur Erfassung der zeitlichen Verteilung soll über einen Zeitraum von mindestens 12 Monaten kontinuierlich der Methanausstoß gemessen werden. Da die Gasblasen einen Hauptemissionspfad darstellen, ist zur Ermittlung und Quantifizierung des kontinuierlichen Methanausstoßes die Installation von automatisierten Blasenfallen (Abbildung 2) geplant (MAECK *et al.* 2014). In jedem der beiden zu untersuchenden Stauseen werden mindestens 3 Blasenfallen stationär an charakteristischen Standpunkten (auf Basis der Voruntersuchungen) installiert. Die Blasenfallen bestehen aus einem nach

unten geöffneten Trichter, der aufsteigende Gasblasen über dem Stauraumboden auffängt. Die aufgefangenen Gasblasen sammeln sich in einem mittig am Trichter angeordneten Sammelrohr, in welchem der Füllstand gemessen und kontinuierlich aufgezeichnet wird.

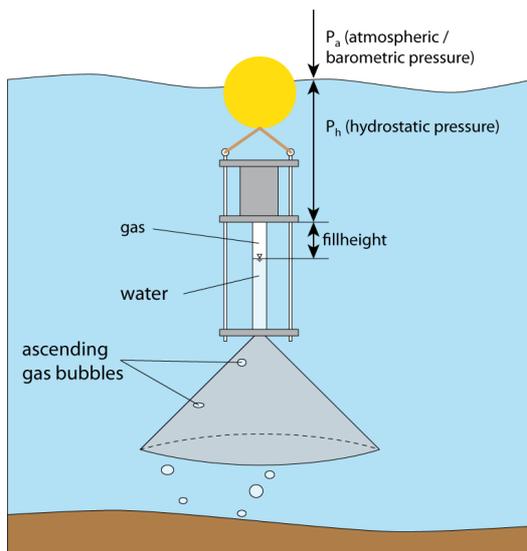


Abbildung 2: Automatisierte Blasenfalle / Automated Bubble Trap (ABT) zur kontinuierlichen Messung von Gasblasenraten (Senect GmbH & Co. KG)

Ergänzt werden die kontinuierlichen Blasenemissionsuntersuchungen durch regelmäßige manuelle Untersuchungen der Methankonzentration im Wasser, der diffusen Methanemission sowie der physikalischen Parameter. In Abständen von 4 Wochen werden Tiefenprofile in Transekten im Stausee erstellt. Eine CH_4 -Sonde dient dabei zur Bestimmung der Methankonzentration im Wasser und eine Multiparametersonde zur Messung der Temperatur, des gelösten Sauerstoffgehalts, des pH-Werts, der Leitfähigkeit und der Trübung. Zur Bestimmung der Temperatur im Sediment werden im abgelagerten Stauraumsediment mehrere Temperatursonden verteilt. Die punktuellen diffusen Methanemissionsmessungen erfolgen über so genannte „floating chambers“, schwimmende Behälter, in denen das an die Atmosphäre abgegebene Gas aufgefangen wird und mittels eines Gasanalysegeräts die CH_4 , CO_2 und O_2 Konzentration bestimmt werden kann. Die Ermittlung der diffusen Emissionen ist insbesondere in tiefen Stauseebereichen von Bedeutung.

Um Rückschlüsse auf den direkten Feststoffeintrag in das Staugewässer ziehen zu können, sind kontinuierliche Trübungs- oder Schlammspiegelmessungen in den Zuläufen des Stausees geplant. Über eine Korrelation zwischen Trübung und zusätzlich durchzuführenden Konzentrationsmessungen kann der Feststoffeintrag ermittelt werden. Über die

eingetragene Feststoffmenge und die Ermittlung der akkumulierten Sedimentmenge im Stausee kann zudem die Trap Efficiency (Verhältnis aus abgelagerter zur eingetragenen Sedimentmenge) des Stauraums abgeleitet werden.

3.2. Laborversuche

Die Laborversuche im Forschungsprojekt MELIST konzentrieren sich auf zwei Schwerpunkte: Voruntersuchungen zur hydroakustischen Sedimentcharakterisierung und Sedimentremobilisierungsversuche.

Für die Versuche zur hydroakustischen Sedimentcharakterisierung wurde bereits im Wasserbaulabor der Technischen Hochschule Köln ein rund 5 m³ (1,5 x 1,5 x 2,5 m) großer Behälter gebaut, in den verschiedene Sedimente eingebaut und untersucht werden können. Neben verschiedenen Sedimentarten (Ton, Schluff, Sand und Kies) und Korngrößenverteilungen, wird auch Biomasse in diversen Formen (organisches Sediment, Makrophyten, etc.) zur Untersuchung eingebaut. Durch das Einbringen von Hohlkörpern oder hochporösen Gesteins können Gaseinschlüsse simuliert werden. Über die Auswertung der Daten des für die Messung verwendeten Sonars kann abgeschätzt werden, inwieweit Unterschiede in der Substratzusammensetzung und Verteilung von dem Gerät aufgezeigt werden. Es soll hierbei ermittelt werden, inwieweit mittels hydroakustischen Verfahren Biomasse und Blasenvorkommen im Sediment bzw. Stauseeboden detektiert und quantifiziert werden können.

Der technische Lösungsansatz zur Reduzierung der Methanemissionen aus Stauräumen besteht in der Erweiterung des von DB Sediments patentierten Verfahrens zum kontinuierlichen Sedimenttransfer. Bei diesem Verfahren wird das im Stauraum abgelagerte Sediment remobilisiert und gewässerintern vor die Abflussorgane zum Unterwasser transferiert. Im Zuge des Projekts „Kontinuierliche Lösung und Aufnahme von Sedimentablagerungen“ wurde an dem Lehr- und Forschungsgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft der TH Köln eine Sedimentremobilisierungs- und -aufnahmeeinheit entwickelt. Mit Hochdruckdüsen wird das abgelagerte Sediment erodiert und über ein Saugrohr mit angeschlossener Pumpe in die Förderleitung aufgenommen. Zur Optimierung dieser Sedimentremobilisierungseinheit und zur Untersuchung der relevanten Strömungscharakteristika sind Untersuchungen mittels Laser Doppler Anemometer (LDA) im Labor geplant. Eine zu untersuchende Fragestellung dabei ist die Ermittlung der erodierbaren Bodenschichttiefe und die damit verbundene Abdeckung und Beeinflussung des dortigen Methanblasenvorkommens.

4. Ausblick

Die vorgestellten Untersuchungen stellen die Grundlage für die Ableitung eines Vorhersagemodells sowie die Entwicklung und den Test betrieblicher und technischer Gegenmaßnahmen zur Reduzierung der Methanemissionen dar. Zur Abschätzung der Relevanz der Methanemissionen aus einer Stauhaltung soll ein auf den Untersuchungsergebnissen aufbauendes kombiniertes Vorhersagemodell aus einer GIS basierten interaktiven Karte und einer Excelberechnungstabelle erarbeitet werden. Die International Hydropower Association (IHA) arbeitet derzeit in Zusammenarbeit mit der UNESCO ebenfalls an einem Model zur Abschätzung der Treibhausgasemissionen aus Staugewässern an die Atmosphäre. Im Zuge dessen werden Daten von Stauseen weltweit gesammelt. Das im Rahmen des MELIST Projekts entwickelte Vorhersagemodell soll mit den Ergebnissen des IHA Bewertungsmodells verglichen werden. Es ist eine Überprüfung und gegebenenfalls Erweiterung vorgesehen. Die Ergebnisse des Vorhersagemodells dienen im Falle der Signifikanz der Emissionen als Entscheidungsgrundlage für die Ableitung betrieblicher und/oder technischer Maßnahmen.

Der Handlungsspielraum betrieblicher Gegenmaßnahmen im Bereich der Methanemissionen ist auch vor dem Hintergrund der nutzungsbedingten Anforderungen an den Stauseebetrieb beschränkt. Potentielle betriebliche Stellschrauben werden zum jetzigen Stand aber zum Beispiel in der Regulierung der Wasserstände und der Verweilzeit des Wassers, dem Umgang mit Dichteströmen sowie dem generellen Design von Stauseen (insbesondere bei Neubauprojekten) gesehen.

Wie bereits im vorangegangenen Kapitel angesprochen, baut die geplante technische Gegenmaßnahme auf dem Verfahren des kontinuierlichen Sedimenttransfers auf. Bei dem Verfahren wird das abgelagerte Sediment über einen Saugkopf schichtweise remobilisiert, aufgenommen und als Sediment-Wassergemisch mittels einer Förderpumpe über eine Transferleitung ans Unterwasser abgegeben. Die kontinuierlich transferierte Menge richtet sich dabei nach der Transportkapazität des Unterwassers. Erste Ideen zum Aufbau einer Anlage zur Reduktion der Methanemissionen beinhalten die Installation einer Blasenfalle zum Auffangen der bei der Sedimentremobilisierung freigesetzten und aufsteigenden Methanblasen sowie eine Vorrichtung zur Extraktion des Methans aus dem Sedimentförderstrom. Denkbar ist, dass durch die direkte Weiterleitung frisch abgelagerter Sedimente und organischer Substanz das Verfahren des kontinuierlichen Sedimenttransfers auch zur Reduktion der Methanproduktion in Stauseen beitragen kann.

Zur Dimensionierung und Ausgestaltung der Blasen auffangvorrichtung (des

Auffangtrichters) dienen neben den Ergebnissen der LDA Laborversuche auch in-situ Sedimentremobilisierungsversuche, bei denen mittels im Unterwasser angebrachten Kameras die räumliche Verteilung der aufsteigenden Blasen untersucht wird. Die Extraktion des Methans aus dem Förderström könnte durch die Integration eines Ausgasungsbehälters in die Förderleitung umgesetzt werden. Nach der konzeptionellen Erarbeitung der Methanauffanganlage folgt die Überprüfung der Machbarkeit mit dem Test der Pilotanlage.

Teil weiterführender Analysen wird der Umgang mit dem aufgefangenen und extrahierten Gas sein. Es stellt sich die Frage ob die Menge der „gewonnenen“ Methanemissionen ausreicht, um diese möglicherweise zur Energiegewinnung nutzen zu können. Eine Verbrennung des Gases und damit die Umwandlung von CH₄ in das weniger klimaschädliche CO₂ und H₂O wäre eine alternative Möglichkeit zur Reduktion der Methanemissionen an die Atmosphäre. Eine solche Anlage wäre mit allerdings mit erheblichen Sicherheitsanforderungen verbunden.

Literaturverzeichnis

Abril, G.; Guérin, F.; Richard, S.; Delmas, R.; Galy-Lacaux, C.; Gosse, P.; Tremblay, A.; Varfalvy, L.; Dos Santos, M.; Matvienko, B.: Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-year old tropical reservoir (Petit Saut, French Guiana), *Global Biochemical Cycles* 19, 2005

Cole, J.; Prairie, Y.; Caraco, N.; McDowell, W.; Tranvik, L.; Striegl, R.; Duarte, C.; Kortelainen, P.; Downing, J.; Middelburg, J.; Melack, J.: Plumping the Global Carbon Cycle: Integrating Inland waters into the Terrestrial Carbon Budget, *Ecosystems* 10, 2007

Barros, N.; Cole, J.; Tranvik, L.; Prairie, Y.; Bastviken, D.; Huszar, V.; del Giorgio, P.; Roland, F.: Carbon emissions from hydroelectric reservoirs linked to reservoir age and latitude, *Nature Geoscience* 4, 2011

Bastviken, D.; Cole, J.; Pace, M.; Tranvik, L.: Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate, *Global Biochemical Cycles* 18, 2004

Bastviken, D.; Tranvik, L.; Downing, J.; Crill, P.; Enrich-Prast, A.: Freshwater Methane Emissions Offset the Continental Carbon Sink, *Science* 331, 2011

DelSontro, T.; McGinnis, D.; Sobek, S.; Ostrovsky, I.; Wehrli, B.: Extreme Methane Emissions from a Swiss Hydropower Reservoir: Contribution from Bubbling Sediments, *Environmental Science & Technology* 44, 2010

International Commission on Large Dams (ICOLD), Sedimentation Committee: Sedimentation and Sustainable Use of Reservoirs and River Systems. Draft ICOLD Bulletin, 2009

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fifth Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], Geneva, 2014

Maeck, A.; DelSontro, T.; McGinnis, D.; Fischer, H.; Flury, S.; Schmidt, M.; Fietzek, P.; Lorke, A.: Sediment Trapping by Dams Creates Methane Emission Hot Spots, *Environmental Science & Technology* 47, 2013

Maeck, A.; Hofmann, H.; Lorke, A.: Pumping methane out of aquatic sediments – ebullition forcing mechanisms in an impounded river, *Biogeosciences* 11, 2014

Schink, B.: Mikrobielle Lebensgemeinschaften in Gewässersedimenten, *Naturwissenschaften* 76, 1989

Sobek, S.; DelSontro, T.; Wongfun, N.; Wehrli, B.: Extreme organic carbon burial fuels intense methane bubbling in a temperate reservoir, *Geophysical Research Letters* 39, 2012

UNESCO/IHA: Greenhouse gas emissions related to freshwater reservoirs: World Bank Report, London, 2010

Volta, A.: Briefe über die natürliche entstehende entzündbare Sumpfluft, Winterthur, 1778

Wilkinson, J.; Maeck, A.; Alshboul, Z.; Lorke, A.: Continuous Seasonal River Ebullition Measurements Linked to Sediment Methane Formation, *Environmental Science & Technology*, 2015

World Commission on Dams (WCD): Dams and Development – A new Framework for Decision-Making, London and Sterling, 2000