

Methangaselimination bei der Stauraumbewirtschaftung als Beitrag zum Klimaschutz

Felix Schreiber, Mara Offermann, Laura Backes, Lediane Marcon,
Andreas Lorke, Christian Jokiel, Michael Detering

Die Verlandung von Stauseen aufgrund von Sedimentation führt zu einem verringerten Nutzvolumen und fehlendem Sediment im Unterstrom der Stauanlage. Zudem entsteht durch den anaeroben Abbau organischen Materials im Sediment das Treibhausgas Methan. Durch den Einsatz eines kontinuierlichen Sedimenttransfers mit integrierter Methanaufnahmeeinheit kann die Sedimentdurchgängigkeit wiederhergestellt und ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.

1 Sedimentations- und Emissionsproblematik an Staugewässern

Stauräume sind wesentliche Bestandteile unserer Wasser- und Kulturlandschaft und unverzichtbar für die Sicherstellung der lebensnotwendigen Trink- und Brauchwasserversorgung, dienen dem Hochwasserschutz und der Energieerzeugung und stellen wichtige Lebensräume dar. Zur Sicherstellung der nachhaltigen Nutzung von Staugewässern und dem Erhalt ihrer vielfältigen Aufgaben, ist es wichtig, den natürlichen Transport von Sedimenten in den Gewässern zu ermöglichen. Sedimente sind essenzielle Bestandteile von Gewässern und beeinflussen maßgeblich deren ökologischen Zustand. Stauanlagen unterbinden jedoch den natürlichen Sedimenttransport und stören das natürliche Gleichgewicht. Vor Absperrbauwerken kommt es in der Regel zu einer übermäßigen Ablagerung der Sedimente, wodurch der Stauraum verlandet und Nutzungen eingeschränkt werden. Unterhalb von Absperrbauwerken dagegen fehlen diese Sedimente und es kann unter anderem zu Sohlerosion kommen.

Ein weiterer Aspekt der Stauraumverlandung ist die Emission von Treibhausgasen, insbesondere Methan (CH_4), aus abgelagerten Stauseesedimenten (Maeck *et al.*, 2013). Neben anorganischen Feststoffen lagert sich auch organisches Material in Stauräumen ab. Infolge des

anaeroben Abbaus dieser Organik im Sediment entsteht vermehrt Methan, welches bezogen auf eine Zeitspanne von 20 Jahren ein 86-fach höheres Treibhausgaspotenzial aufweist als Kohlenstoffdioxid (CO₂) (IPCC 2013).

Die Einflussfaktoren auf die Methanproduktion im Gewässersediment und die Methanemission aus diesem sind vielfältig. Die Methanproduktion wird unter anderen durch die Zusammensetzung des organischen Materials, die Temperatur, die Sedimentationsrate und der Sauerstoffgehalt im Wasser beeinflusst (Praetzel et al., 2020, Wilkinson, Bodmer und Lorke, 2019, Aben et al., 2017, Sobek et al., 2012).

Die Emission des am Gewässergrund produzierten Methans in die Atmosphäre wird unter anderen durch den hydrostatischen Druck und dessen Änderung (Wassertiefe und Wasserstandschwankungen), die Störung des Sediments und der Sedimentationsrate maßgeblich beeinflusst (Maeck, Hofmann und Lorke, 2014, Beaulieu, McManus und Nietch, 2016).

Es kann zwischen verschiedenen Emissionspfaden am Staugewässer unterschieden werden (Goldenfum, 2010): 1. Aufsteigende Gasblasen vom Gewässergrund, 2. diffusiver Gasaustausch im Staubereich, 3. Gasaustausch über Makrophyten, 4. Ausgasung am Wehrauslass (Änderung der Druck- und Strömungsverhältnisse) und 5. diffusiver Gasaustausch im Unterwasser des Stausees. Der Aufstieg von Gasblasen aus dem Sediment stellt dabei einen der Hauptemissionspfade aus einer Stauhaltung dar (Aben et al., 2017, Wilkinson et al., 2015).

Weltweit weisen über 58.700 große Stauseen (Staumauerhöhe >15 m oder Stauvolumen > 1 Mio. m³) ein Speichervolumen von mehr als 7.000 km³ auf (ICOLD, 2020). Durch Sedimentation nimmt das Speichervolumen je Stauraum jährlich jedoch ab. Die größten Reduktionen lassen sich in Europa, Asien und Australien verzeichnen, mit Kapazitätsminderungen von 7,5 %, 6,5 % und 4,3 % des Gesamtspeichervolumen (Wisser et al., 2013) Eine zunehmende Verlandung führt zu steigenden Methanemissionen. Die jährlichen globalen Methanemissionen aus Stauseen werden derzeit auf ca. 24 Mio. Tonnen CH₄ geschätzt, sind jedoch mit Unsicherheiten behaftet (Rosentreter et al., 2021). Das entspricht circa 6 % der weltweiten jährlichen anthropogenen Methanemissionen (Anthropogene Quellen inkl. Aquakulturen, Reisanbau und Stauseen).

Die Ablagerung von Sedimenten und die resultierenden Treibhausgasemissionen vertragen sich nicht mit der Nachhaltigkeit von Stau-

bauwerken als aufwändigen und ursprünglich dauerhaft geplanten Infrastrukturelementen. Mit Hinblick auf die Herausforderungen des Klimawandels – häufigere Starkregenereignisse und gleichzeitig ausge dehnte Trockenzeiten – ist der Erhalt dieser Wasserspeicher für den Hochwasserschutz und die Trinkwasserbereitstellung daher von essen tieller Bedeutung. Die durch den fortschreitenden Klimawandel anstei genden Temperaturen begünstigen die Methanproduktion und können zukünftig zu einem erhöhten Ausstoß von Methan führen, welcher den Treibhauseffekt weiter verstärkt. Während der Weltklimakonferenz 2021 in Glasgow einigten sich mehr als 100 Länder mit dem „Global Methane Pledge“ darauf, den weltweiten Methanausstoß bis 2030 um 30 % (bezogen auf das Jahr 2020) zu verringern (*European Commis sion, 2021*). Einen Beitrag dazu kann eine Minderung der Methanemis sionen aus Stauseen weltweit leisten.

2 Lösungsansatz: Verbindung von Sedimentmanagement und Methanernte

2.1 Grundlegendes Konzept

Im Rahmen eines Forschungsprojektes der Technischen Hochschule Köln, Universität Koblenz-Landau und D-Sediment-GmbH gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) wurde eine Modell anlage zur Ernte von Methangas im Zusammenhang mit einer Sedi mentumlagerung entwickelt und mehrfach an einem Staugewässer er probt und optimiert. Ziel ist die Kombination aus einem nachhaltigen Sedimentmanagement zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit und Wahrung der Funktionalität der Staugewässer mit der „Ernte“ von Me thangas zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in die Atmo sphäre. Begleitend wurde ein Langzeitemissionsmonitoring zur Erfas sung der relevanten Emissionspfade und deren Einflussfaktoren durch geführt.

Über eine Sedimentumlagerung in Form eines kontinuierlichen Sedi menttransfers kann eine Stauraumentlandung erfolgen und die Sedi mentdurchgängigkeit eines Gewässerabschnitts wiederhergestellt wer den. Dabei wird das Sediment am Stauraumboden über Hochdruckdü sen oder mechanische Lösungsvorrichtungen gelockert und mithilfe ei ner Pumpe aufgenommen und über eine Transferleitung an eine Stelle im Gewässer gefördert, an der das Sediment durch die natürliche Strö mung weitertransportiert wird.

Im Sediment produziertes Methan kann dort in Form von Gasblasen akkumulieren und gespeichert werden. Das zwischengespeicherte Gas kann dann über verschiedene Pfade in die Atmosphäre emittiert werden (Siehe Kap. 1). Wird das Sedimentgefüge aktiv gestört, kommt es zu einer direkten und erhöhten Freisetzung der Gasblasen (Ausgangsevent) und Abgabe an die Atmosphäre.

Die im Forschungsprojekt entwickelte Modellanlage vereint die Idee des kontinuierlichen Sedimenttransfers mit der gezielten Aufnahme des bei der Sedimentremobilisierung freigesetzten Methangases. In dem sogenannten Saugkopf wird das Sediment durch eine Tauchpumpe eingesaugt. Gleichzeitig werden die vom Sediment aufsteigenden Gasblasen im Saugkopf gefangen und zur Arbeitsplattform auf dem Wasser geleitet. Die Tauchpumpe fördert das Wasser-Sediment-Gemisch, in dem auch noch kleinere Gasmengen enthalten sind, in einen Gasabscheider auf der Arbeitsplattform. Im Gasabscheider wird das noch im Förderstrom enthaltene Gas abgetrennt. Auf der Arbeitsplattform wird dann die Gaszusammensetzung und der Gasvolumenstrom kontinuierlich gemessen. Im Anschluss an den Gasabscheider erfolgt eine Messung der geförderten Feststoffmenge, die als ein Maß für den Entlandungserfolg herangezogen werden kann. Das Wasser-Sediment-Gemisch wird anschließend über eine Transferleitung im Unterwasser wieder in das Gewässer eingeleitet.

2.2 Modellmaßnahme

Der im Projekt entwickelte Prototyp (siehe Abb. 1) wurde mehrfach auf dem Modellgewässer, der Wupper-Vorsperre in Hückeswagen, getestet. Die Untersuchungen fanden mit der Unterstützung des Wupperverbands statt. Das Seil, das der Bewegung der Anlage dient, wurde dabei an einem Fixpunkt an einem Ufer befestigt. Am anderen Ufer wurde das Seil mehrmals umgespannt, sodass mehrere Transekte fächerartig über den Stausee befahren werden konnten.



Abbildung 1: Der Prototyp beim Verfahren über die Wupper-Vorsperre

2.3 Ergebnisse

Während einer Modellmaßnahme im Juni 2021 wurden in fast 24 Betriebsstunden über 3 Tonnen Sediment mit einem Volumen von circa 7 m^3 verlagert. Dabei wurden etwa 2.300 l Gas aufgefangen. Bei drei befahrenen Transekten ergibt sich ein durchschnittliches Gasvolumen von 767 l pro Transekt. Bei einer Modellmaßnahme im September/Oktober 2021 wurden in fast 20 Betriebsstunden 2,4 Tonnen Sediment mit einem Volumen von $5,4 \text{ m}^3$ verlagert. Dabei wurden etwa 2.300 l Gas aufgefangen. Bei fünf befahrenen Transekten ergibt sich ein durchschnittliches Gasvolumen von ca. 460 l pro Transekt.

Bei den durchgeführten Modellmaßnahmen konnte festgestellt werden, dass sich die entnommenen Gasmengen unterscheiden. Grund hierfür können die unterschiedlichen Umweltbedingungen während der jeweiligen Maßnahme, aber auch unterschiedliche Bedingungen für die Methanproduktion im Vorfeld einer solchen Maßnahme sein (bspw. Temperatur oder Zeitraum zwischen den Modellmaßnahmen). Im Juli 2021 war die Wupper im Modellgebiet stark von dem aufgetretenen Hochwasser betroffen. Der Pegel der Wupper schwankte während des Hochwassers stark. Derartige Pegelschwankungen wirken sich auf die Gasspeicherung im Sediment aus. Die gesammelten Daten bieten eine Arbeitsgrundlage auf die weiter aufgebaut werden kann.

Während der Modellmaßnahmen wurden Gasproben entnommen und deren Zusammensetzung bestimmt. Ein Biogasmessgerät hat den kontinuierlichen Gasstrom analysiert. Es konnten Methangehalte von teil-

weise über 80 % gemessen werden. Der durchschnittliche Methangehalt des aufgefangenen Gases aus den Modellmaßnahmen im Juni 2021 und September/ Oktober 2021 lag bei ca. 51% bzw. 52 % Methan.

Im Zeitraum von März 2020 bis Juli 2021 wurde an der Wupper-Vorsperre ein intensives Monitoring mit Sensoren für kontinuierliche Messungen und monatlichen Feldkampagnen durchgeführt, um die wichtigsten Transportpfade und -raten für Methan abzuschätzen. Dazu gehören diffusive Emissionen an der Wasseroberfläche, Emissionen durch Gasblasen (Ebullition), Entgasung am Staubauwerk, sowie die Methanproduktion im Sediment und die Oxidation in der Wassersäule. Zusätzlich wurden meteorologische Informationen, Wassertemperatur und gelöster Sauerstoff, Wasserstand und Strömungsgeschwindigkeiten kontinuierlich gemessen.

Aus den zeitlich gemittelten Flüssen geht hervor, dass die Methanemissionen durch aufsteigende Gasblasen (Ebullition) mindestens doppelt so hoch sind wie der diffusive Gasaustausch. In Längsrichtung wies der mittlere Abschnitt der Vorsperre, indem auch die Modellmaßnahmen stattfanden, die höchste Emissionsrate und das größte Potenzial für Methanproduktion im Sediment auf. Der mittlere Methangehalt aus dem Emissionsmonitoring lag bei 58 %.

3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Der kontinuierliche Sedimenttransfer in Kombination mit einer Gasaufanganlage bietet die Möglichkeit, den aus der Verlandung resultierenden Problematiken an Staugewässer entgegen zu wirken – das verringerte Nutzvolumen, fehlendes Sediment im Unterstrom und die Emission von klimaschädlichem Methan. Die Modellversuche haben gezeigt, dass das Methan mit der konzipierten Anlage aufgefangen werden kann bevor es in die Atmosphäre gelangt. Bei ca. 7.000 km³ zunehmend verlandetem Speichervolumen weltweit ergibt sich ein großes Potenzial für ein nachhaltiges Sedimentmanagement an Staugewässern, dem kostengünstigen Erhalt der Speicherseen und die Möglichkeit der Reduktion des Treibhausgasemissionen und ggf. alternativen Nutzungsform z.B. einer energetischen Verwertung

Studien zu Methanemissionen aus Staugewässern, wie z.B. *Rosentreter et al. (2021)* fassen die jeweils aktuelle Datenlage aus der Literatur zusammen. Treibhausgasemissionen aus kleineren Stauseen sind aber in der Literatur unterrepräsentiert (*Deemer und Holgerson, 2021*). Die Studien sind so häufig mit Datenlücken behaftet. Die Erkenntnisse aus

diesem Projekt, zu den Methanemissionen eines vergleichsweise kleinen Stauraums wie der Wupper-Vorsperre, können dazu beitragen, diese Lücken zu schließen und zu einem besseren Verständnis der Methanemissionen auch aus kleineren Stauseen führen.

4 Literatur

- Aben, R.C.H., N. Barros, E. van Donk, T. Frenken, S. Hilt, G. Kazanjian, L.P.M. Lamers, E.T.H.M. Peeters, J.G.M. Roelofs, L.N. de Senerpont Domis, S. Stephan, M. Velthuis, D.B. van de Waal, M. Wik, B.F. Thornton, J. Wilkinson, T. Delsontro und S. Kosten, 2017. Cross continental increase in methane ebullition under climate change [online]. *Nature communications*, 8(1), 1682. *Nature communications*. Verfügbar unter: doi:10.1038/s41467-017-01535-y
- Beaulieu, J.J., M.G. McManus und C.T. Nietch, 2016. Estimates of reservoir methane emissions based on a spatially balanced probabilistic-survey [online]. *Limnology and Oceanography*, 61(S1). ISSN 0024-3590. Verfügbar unter: doi:10.1002/lno.10284
- Deemer, B. R., & Holgerson, M. A. (2021). Drivers of methane flux differ between lakes and reservoirs, complicating global upscaling efforts. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 126, e2019JG005600. <https://doi.org/10.1029/2019JG005600>
- Goldenfum, J.A., Hg., 2010. *GHG measurement guidelines for freshwater reservoirs. Derived from: The UNESCO/IHA Greenhouse Gas Emissions from Freshwater Reservoirs Research Project*. London: Intern. Hydropower Association (IHA).
- ICOLD, 2020. World Register of Dams – General Synthesis. URL: https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp [zuletzt überprüft: 13.05.2021]
- IPCC, 2013. Climate change 2013. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge und New
- Maeck, A., T. DelSontro, D.F. McGinnis, H. Fischer, S. Flury, M. Schmidt, P. Fietzek und A. Lorke, 2013. Sediment trapping by dams creates methane emission hot spots [online]. *Environmental science & technology*, 47(15), 8130-8137. *Environmental science & technology*. Verfügbar unter: doi:10.1021/es4003907
- Maeck, A., H. Hofmann und A. Lorke, 2014. Pumping methane out of aquatic sediments – ebullition forcing mechanisms in an impounded river [online]. *Biogeosciences*, 11(11), 2925-2938. *Biogeosciences*. Verfügbar unter: doi:10.5194/bg-11-2925-2014
- Praetzel, L.S.E., N. Plenter, S. Schilling, M. Schmiedeskamp, G. Broll und K.-H. Knorr, 2020. Organic matter and sediment properties determine in-lake variability of sediment CO₂ and CH₄ production

- and emissions of a small and shallow lake [online]. Biogeosciences, 17(20), 5057-5078. Biogeosciences. Verfügbar unter: doi:10.5194/bg-17-5057-2020
- Sobek, S., T. Delsontro, N. Wongfun und B. Wehrli, 2012. Extreme organic carbon burial fuels intense methane bubbling in a temperate reservoir [online]. Geophysical Research Letters, 39(1), n/a-n/a. ISSN 00948276. Verfügbar unter: doi:10.1029/2011GL050144
- Wik, M., P.M. Crill, R.K. Varner und D. Bastviken, 2013. Multiyear measurements of ebullitive methane flux from three subarctic lakes [online]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 118(3), 1307-1321. ISSN 2169-8953. Verfügbar unter: doi:10.1002/jgrg.20103
- Wilkinson, J., A. Maeck, Z. Alshboul und A. Lorke, 2015. Continuous Seasonal River Ebullition Measurements Linked to Sediment Methane Formation [online]. Environmental science & technology, 49(22), 13121-13129. Environmental science & technology . Verfügbar unter: doi:10.1021/acs.est.5b01525
- Wilkinson, J., P. Bodmer und A. Lorke, 2019. Methane dynamics and thermal response in impoundments of the Rhine River, Germany [online]. The Science of the total environment, 659, 1045-1057. The Science of the total environment. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2018.12.424
- Wisser, D., Frolking, S., Bierkens, M.F.P., 2013. Beyond peak reservoir storage? A global estimate of declining water storage capacity in large reservoirs. Water Resources Research, 49, 1-8, Verfügbar unter: doi:10.1002/wrcr.20452

Felix Schreiber

Laura Backes

D-Sediment GmbH
Weberstr. 10
59368 Werne

D-Sediment GmbH
Weberstr. 10
59368 Werne

Tel.: +49 178 82380 04
E-Mail: f.schreiber@d-sedi-
ment.com

E-Mail: l.backes@d-sedi-
ment.com

Mara Offermann

Lediane Marcon

Labor für Wasser und Umwelt
Technische Hochschule Köln
Betzdorfer Straße 2
50679 Köln

Institut für Umweltwissenschaften
Universität Koblenz-Landau
Fortstraße 7
76829 Landau

E-Mail: mara.offermann@th-koeln.de

E-Mail: marcon@uni-landau.de

Prof. Christian Jokiel

Prof. Andreas Lorke

Labor für Wasser und Umwelt
Technische Hochschule Köln
Betzdorfer Straße 2
50679 Köln

I Institut für Umweltwissenschaften
Universität Koblenz-Landau
Fortstraße 7
76829 Landau

E-Mail: christian.jokiel@th-koeln.de

E-Mail: lorke@uni-landau.de

Dr. Michael Detering

D-Sediment GmbH
Weberstr. 10
59368 Werne

E-Mail: m.detering@d-sediment.com

A1

A2

A3

A4

B1

B2

B3