

Dimensionierung von Fließrinnen zum Aufwuchs von Biofilm unter definierten hydraulischen Randbedingungen

Moritz Thom¹, Holger Schmidt¹, Silke Wieprecht¹, Sabine U. Gerbersdorf^d

¹ Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung, Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart,

moritz.thom@iws.uni-stuttgart.de

Keywords: Biofilm, Sohlschubspannung, Fließrinnen, Hydraulische Nachweise, Interdisziplinär

Einleitung

Ein Biofilm besteht aus Mikroorganismen (Algen, Bakterien) und den von ihnen ausgeschiedenen extrazellulären polymeren Substanzen (EPS). Die Bildung eines Biofilms findet auf Grenzflächen (z.B. Wasser-Sediment) statt und kann im natürlichen Gewässer aufgrund seiner materiellen Eigenschaften zu einer Verklebung der Einzelkörner und somit zu einer Erhöhung des Widerstandes gegen Erosion im Sediment führen. Das hier vorgestellte Projekt befasst sich mit der Untersuchung des Einflusses verschiedener Wachstumsbedingungen (Hydraulik, Lichtintensität) auf die stabilisierenden Eigenschaften von natürlichem Biofilm an einer Gewässersohle. Hierzu wurden sechs Fließrinnen konstruiert in denen der Biofilm unter definierten hydraulischen Randbedingungen (Sohlschubspannung bzw. Durchfluss) auf künstlichem Substrat aufwächst. Während der Wachstumsphase werden diverse chemisch/biologische Parameter erhoben und zerstörungsfreie Adhäsionsmessungen durchgeführt. Im Anschluss an diese Wachstumsphase wird der Biofilm mithilfe einer speziellen Fließrinne (SETEG) erodiert um so die Stabilität des Substrates zu untersuchen.

Da die Entwicklung des Biofilms (Wachstum der Mikroben, Qualität und Quantität des EPS) maßgeblich von biotischen und abiotischen Bedingungen beeinflusst wird und es hierbei zu komplexen Wechselwirkungen kommt, forschen Biologen und Wasserbauingenieure gemeinsam am Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung der Universität Stuttgart im DFG Projekt „Ecosystem engineering: Sediment entrainment and flocculation mediated by microbial produced extracellular polymeric substances (EPS)“

Im Folgenden werden die hydraulischen Nachweise beschrieben, die notwendig sind um definierte hydraulische Aufwuchsbedingungen sicherzustellen.

Aufbau und Methode

Die Versuchsrinnen, in denen der Biofilm auf feinen inerten Glaskugeln (Korngrößen: 40 -70 µm) aufwächst, sind so konstruiert, dass die Aufwuchsbedingungen geändert werden können und somit ihr Einfluss auf die Sedimentstabilität bestimmt werden kann. Durch den Einsatz von sechs parallel betriebenen, geometrisch identischen Versuchsrinnen kann zudem die Reproduzierbarkeit der Er-

gebnisse geprüft werden. Um sicherzustellen, dass die Fließrinnen diesen Ansprüchen genügen, werden drei hydraulische Nachweise geführt, auf die weiter unten eingegangen wird.

Konstruktion der Versuchsrinnen

Abb. 1 zeigt den schematischen Versuchsaufbau und den Fließweg des Flusswassers in der Fließrinne. Das Wasser wird mittels einer Pumpe in einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert um unerwünschte äußere Einflüsse (z.B. Kontamination) zu unterbinden.

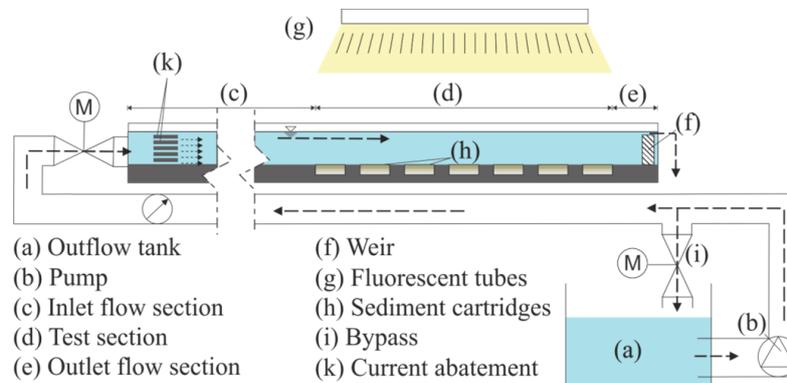


Abb. 1: Schema einer Fließrinne zum Aufwuchs des Biofilms unter definierten Randbedingungen

„Die Beprobungsstrecke (d) hat eine Länge von 0,90 m, in dem die Schalen für den Biofilmaufwuchs (h) eingebaut sind. Die Länge des Einlaufbereiches (c) beträgt $L = 1,90$ m und trägt mit ihren Einbauten (k) zur Strömungsberuhigung bei, so dass entstehende Turbulenzen innerhalb des Versuchsbereiches minimiert werden und dadurch eine gleichmäßige Verteilung der Sohl Schubspannung erreicht werden kann. Im Auslaufbereich (e), welcher eine Länge von 0,20 m aufweist, wird das Wasser über ein Wehr aus der Versuchsrinne geleitet. Die Lichtintensität wird mit Hilfe von höhenverstellbaren Leuchtstoffröhren (Osram Biolux) (g) eingestellt. Die Leuchtstoffröhren verfügen im Wellenlängenbereich von 480 – 665 nm über eine nahezu konstante Intensität. Dieser Bereich der photosynthetisch aktiven Strahlung ist maßgeblich für das Wachstum des Biofilms verantwortlich.“ (für weitere Konstruktionsdetails siehe Thom et al. 2012). Der Durchfluss wird mithilfe von Flügelrad Durchflusssensoren (Bürkert 8030) ermittelt und ist korreliert zur Sohl Schubspannung.

Hydraulische Nachweise

Im Folgenden werden die hydraulischen Nachweise beschrieben, die erbracht wurden um vergleichbare Sohl Schubspannungen sowohl über die Beprobungsstrecke einer einzelnen Rinne, als auch zwischen den verschiedenen Rinnen zu gewährleisten.

1. Nachweis: Korrelation zwischen Durchfluss Q und Sohl Schubspannung τ

Der erste Nachweis beschäftigt sich mit der Korrelation zwischen Durchfluss und Sohl Schubspannung. Erwartungsgemäß handelt es sich hierbei um einen quadratischen Zusammenhang. Hierzu wurde als geeignetes Messverfahren die Vermessung mittels Laser Doppler Anemometer (LDA, Marke TSI) gewählt. Bei dieser Methode sendet ein Laseremitter pro Richtung zwei sich in einem

Messvolumen kreuzende Laserstrahlen. Diese Laserstrahlen werden dann an in der Wassersäule sich befindlichen Schwebstoffen reflektiert und aus der Frequenz des Streulichtsignals ergibt sich eine Geschwindigkeitskomponente. Die Schubspannung, die eine Kraft auf eine Oberfläche beschreibt ergibt sich vereinfacht aus den Abweichungen der Geschwindigkeiten von einer mittleren Geschwindigkeit (d.h. aus der Turbulenz) und ist mit dem LDA direkt messbar (Abb. 2).

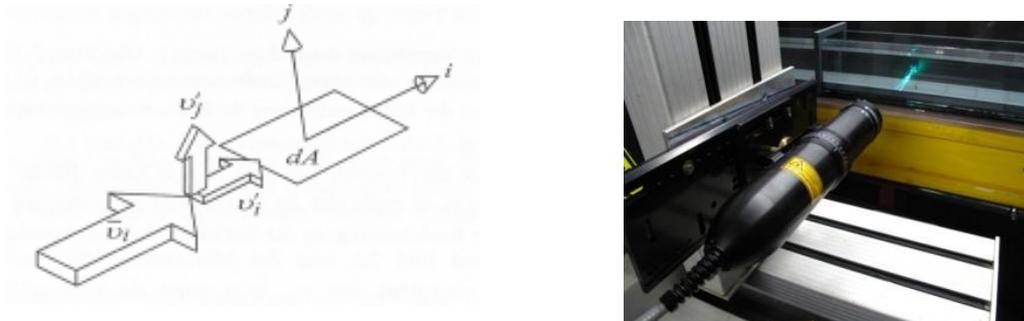


Abb. 2: LINKS: Darstellung der Sohlschubspannung nach Martin und Pohl (2009), RECHTS: LDA auf Traverse zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten

Um nun die Schubspannung an der Sohle, und damit die Kraft (pro Fläche) die für die Erosion verantwortlich ist zu bestimmen, werden die Schubspannungen innerhalb der turbulenten Grenzschicht arithmetisch gemittelt (Abb. 3).

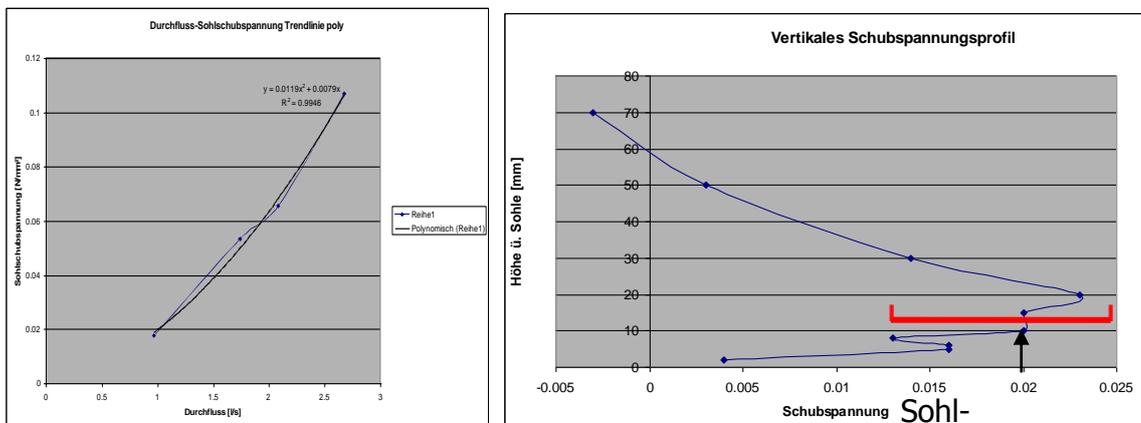


Abb. 3: LINKS: Sohlschubspannung bei verschiedenen Durchflüssen. RECHTS: Vertikales Schubspannungsprofil.

Trägt man nun die gemittelten Sohlschubspannungen der Beprobungsstrecke über den verschiedenen Durchflüssen auf so ergibt sich ein quadratischer Verlauf. Abb. 3 LINKS demonstriert diesen Zusammenhang für einen Teilbereich des Durchflusses.

2. Nachweis: Gleichmäßige Verteilung der Sohlschubspannung über die Länge und Breite innerhalb einer Fließrinne

Eine relativ gleichmäßige Sohlschubspannungsverteilung liegt vor, wenn über die Länge und Breite der Beprobungsstrecke die Abweichungen der Schubspannungen von der mittleren Sohlschubspannung in vertretbarem Rahmen liegen. Abb. 4 zeigt die Einzelmessungen in Längsrichtung für die verschiedenen Höhen über der Sohle ($h = 2 \dots 80 \text{ mm}$) bei einem definierten Durchfluss. Der Be-

reich der Beprobungsstrecke liegt zwischen den X-Koordinaten 1900 und 2900. Für die Sohl-
 schubspannung wurden die Schubspannungen in der Höhe von 5 und 10 mm gemittelt. Unter 5 mm
 über der Sohle fällt die Schubspannung gegen Null ab (Abb. 3). Dies liegt an der laminaren Unter-
 schicht in der die Schubspannungen nicht mehr durch Turbulenzabweichungen entstehen sondern
 durch die Viskosität (Bollrich (2007)) und deren Schubspannungen daher nicht mittels LDA direkt
 messbar sind. Es ergibt sich eine mittlere Abweichung von 7,7% in Rinnenlängsrichtung.

Auch in Rinnenquerrichtung wurden Profile auf ähnliche Weise aufgenommen. Hier ergibt sich
 aufgrund der relativen Nähe zur Gerinnewandung ein starker Abfall der Sohl Schubspannung (Abb.
 5). Am Rande der Beprobungsschälchen ergibt sich hierdurch eine Reduktion um 50 %. Besonders
 anschaulich ist dieser Effekt in Abb. 5 (RECHTS) dargestellt. Hier sieht man, das erodiertes Sedi-
 ment nur im mittleren Bereich mit den höheren Sohl Schubspannungen transportiert wird.

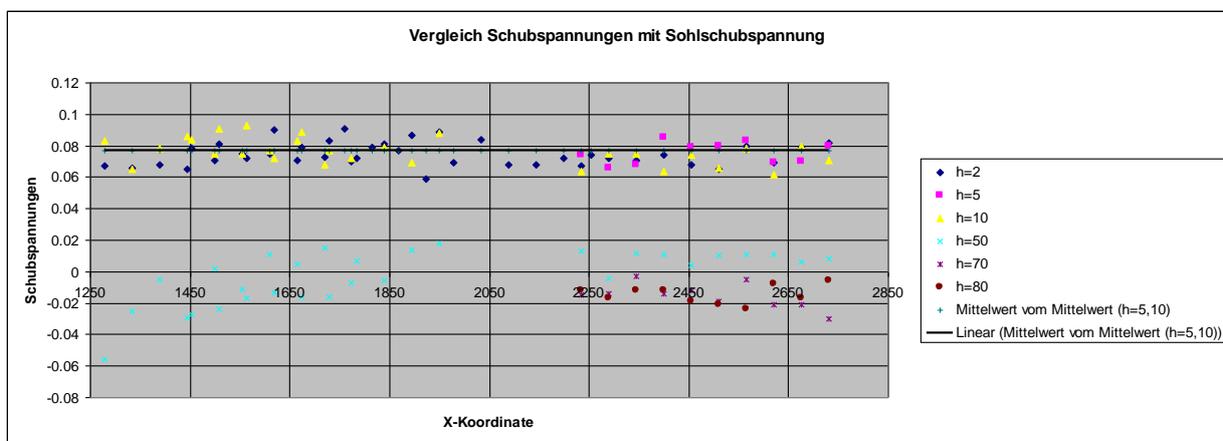


Abb. 4: Schubspannungen und daraus gemittelte Sohl Schubspannung innerhalb der Beprobungsstrecke

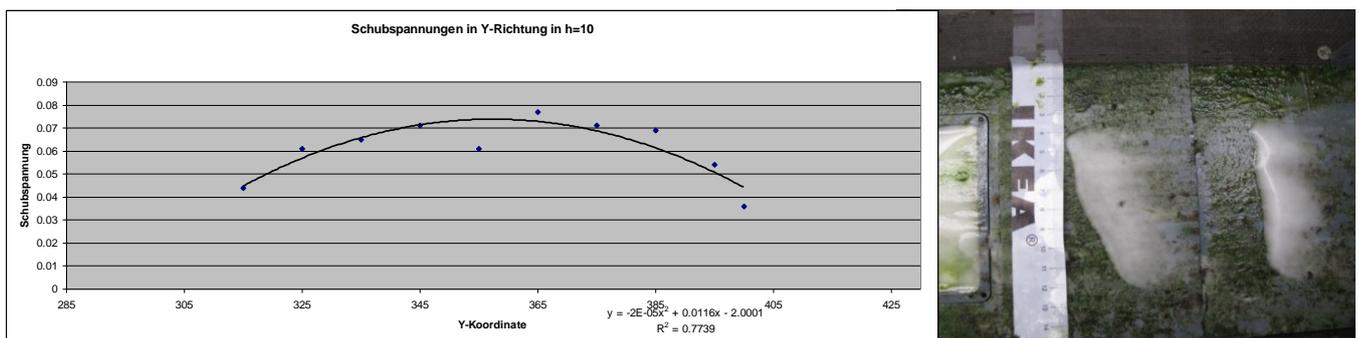


Abb. 5: LINKS: Sohl Schubspannung in Querrichtung, RECHTS: Geschiebetransport in der Mitte der Fließrinnen

3. Nachweis: Vergleichbarkeit zwischen den Rinnen

Aufgrund von Platzmangel wurde bei diesem Nachweis ein anderes Verfahren benutzt. Zum Einsatz kam ein Acoustic Doppler Profiler (ADP, Abb. 6 RECHTS).

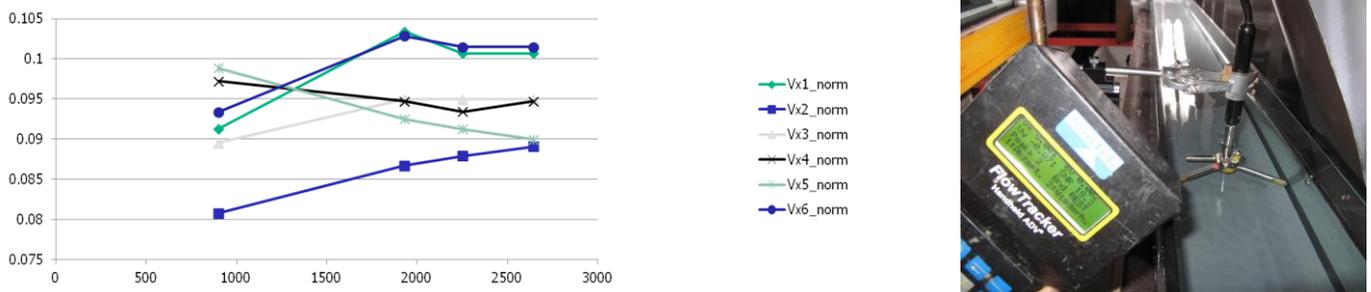


Abb. 6: LINKS: Geschwindigkeitsprofile verschiedener Fließrinnen, RECHTS: Akustisches Messverfahren ADP

Dieses Verfahren nutzt ebenfalls den Doppler Effekt aus. Um die Rinnenhydraulik vergleichen zu können wurde bei einem repräsentativen Durchfluss in sämtlichen Rinnen, einmal in der Mitte der Beruhigungsstrecke und dreimal innerhalb der Beprobungsstrecke, auf 2/3h ü. Sohle die Geschwindigkeit in Fließrichtung aufgenommen (s. Abb. 6 LINKS). Im Vergleich zur Referenzrinne ergeben sich Abweichungen der Schubspannungen von maximal plus/minus 13,2%.

Zusammenfassung

Durch die Wechselwirkungen zwischen Biologie und Hydraulik ergeben sich hohe Anforderungen an die Fließrinnen zur Aufzucht von Biofilm. Durch sorgfältige Planung und Konstruktion der Fließrinnen konnten Abweichungen in den hydraulischen Randbedingungen deutlich begrenzt werden. So schwankt die Sohlschubspannung innerhalb der Beprobungsstrecke um ca. 8% und im Vergleich zwischen den Fließrinnen um plus/minus 13%. Die Abweichungen in Querrichtung können mit der richtigen Beprobungsstrategie auf maximal 20% begrenzt werden. Sämtliche Abweichungen die hier vorgestellt wurden sind auf die Gerinnegeometrie (Nähe zur Wand) und den gepumpten Volumenstrom bzw. die Durchflussmessung zurückzuführen. Zusätzlich entstehen bei den Messmethoden Ungenauigkeiten die ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Die Dimensionierung der Einlaufstrecke mit 2 m führt nachweislich zu einem gleichförmigen Strömungsprofil für einen vergleichbaren Biofilmaufwuchs.

In weiteren Schritten wird nun der Zusammenhang zwischen Aufwuchsbedingungen und Erosionsstabilität untersucht. Hierbei werden u.a. biologisch/chemische Untersuchungen vorgenommen, die den Biofilm näher charakterisieren und erodierte Sedimente messtechnisch erfasst um Flockencharakteristiken zu erstellen.

Literatur

- Thom, M., Schmidt, H., Wieprecht, S., Gerbersdorf, S. U. (2012): Physikalische Modellversuche zur Untersuchung des Einflusses von Biofilm auf die Sohlenstabilität, Wasserwirtschaft 6/2012:32-36.
- Martin, Pohl (2009): Technische Hydromechanik 4: Hydraulische und numerische Modelle, Verlag Bauwesen, 2. Auflage
- Bollrich (2007): Technische Hydromechanik 1: Grundlagen, Verlag Bauwesen, 6. Auflage verwendeten Überschriftentitel können natürlich bei Bedarf abgewandelt werden.