

## Investigation of the fouling driving factors in drip irrigation systems

Doktorarbeit von Doktorarbeit von Frau M.Sc. Jueying Qian

Zur Verringerung des Wasserverbrauchs wird Tröpfchenbewässerung in der Landwirtschaft weltweit eingesetzt. Wasser und Nährstoffe werden durch Rohre mit konstanter und definierter Ausflussrate direkt zu den Pflanzen transportiert. Dies geschieht durch die Einarbeitung von sogenannten Drippern in die Rohre. Die Dripper bestehen aus einer Labyrinthstruktur gefolgt von einer Beckenstruktur. Dadurch wird der Wasserdruck reguliert und eine gleichmäßige Ausflussrate sichergestellt. In wasserarmen Regionen wird teilweise behandeltes Abwasser zur Tröpfchenbewässerung verwendet. Aufgrund der im Abwasser vorhanden gelösten Nährstoffe und Partikel tritt in den Drippern Fouling auf, was zu Verstopfungen und damit zu einer Verringerung der Ausflussrate führt. Obwohl die Tröpfchenbewässerungssysteme seit 1959 in Israel in Betrieb sind, ist das Verständnis der Foulingmechanismen innerhalb der Dripper begrenzt. Dies liegt daran, dass Dripper aus nicht transparenten Kunststoffen hergestellt werden und in die Tropfrohre integriert sind. Dadurch kann Fouling nicht zerstörungsfrei verfolgt werden. Ziel dieser Arbeit war es daher mit Hilfe nicht invasiver Visualisierung die Biofilmbildung innerhalb der Drippergeometrie, das Foulingpotential von behandeltem Abwasser und den Einfluss von anorganischen Partikeln auf die Biofilmbildung zu untersuchen.

Für die Untersuchungen wurden ein Laborsystem und eine Pilotanlage mit künstlichem bzw. tertiär behandeltem Abwasser betrieben. Im Laborsystem lag die mittlere Ausflussrate bei nur 35 % des Zielwertes, wenn sich im Rohr 0,04 - 1 g/m<sup>2</sup> Trockenmasse befand. Obwohl in den Rohren der Pilotanlage mit tertiär behandeltem Abwasser mehr Fouling stattfand (4 - 14 g / m<sup>2</sup>), war die mittlere Ausflussrate im gewünschten Bereich (100 % des Zielwertes). Der hohe anorganische Anteil im Foulingmaterial der Pilotanlage deutet darauf hin, dass die anorganischen Partikel im tertiär behandelten Abwasser dazu beitragen, die Blockade der Dripper zu verringern. Die Zugabe von Phosphat in der Pilotanlage erhöhte den organischen Anteil im Foulingmaterial im Rohr und verstärkte das Fouling, was darauf hindeutet, dass organisches Foulingmaterial eine stärkere Blockade als anorganisches Foulingmaterial verursacht hat.

Mikrofluidische Kanäle (microfluidic devices, MFDs), die die Strukturen der Dripper nachahmen, wurden verwendet, um die Biofilmbildung innerhalb ihrer Geometrie zu visualisieren und zu bewerten. Die Biofilmbildung wurde *in-situ* und nicht invasiv mittels optischer Kohärenztomographie (optical coherence tomography, OCT) 3-dimensional beobachtet. Um die Temperaturbedingungen unter (halb-)ariden Bedingungen nachzustellen, wurden Versuche in einer Temperaturbox durchgeführt, die einen täglichen Temperaturzyklus von 20 - 50 °C über 30 Tage simulierte. In den MFDs wurde die Biomasse entweder mit tertiär behandeltem Abwasser, sekundär behandeltem Abwasser oder mit einem mit Nährstoffen angereicherten tertiär behandeltem Abwasser kultiviert. OCT-Datensätze zeigen, dass die Etablierung und Entwicklung von Biofilmen durch die Fluidodynamik beeinflusst wurde. Die

gesamte volumetrische Bedeckung (Labyrinth- und Beckenstruktur) mit Biofilm zeigte, dass die Bildungsrate des Biofilms am höchsten war (1,4 %/d), wenn tertiär behandeltes Abwasser mit Nährstoffen (CSB = 18 mg/L) als Medium eingesetzt wurde. Am niedrigsten war die Bedeckung bei tertiär behandeltem Abwasser mit 6 mg/L BSB<sub>5</sub> (0,1 %/d). Die Blockade innerhalb der Dripper ist vor allem auf die Biofilmbildung in der Labyrinthstruktur zurückzuführen. Eine Bedeckung in der Labyrinthstruktur mit Biofilmen von bis zu 60 % verringerte die Ausflussrate nicht, wohingegen eine weitere Zunahme der Bedeckung bis 80 %, die Ausflussrate in dieser Studie um 50 % verringerte. Darüber hinaus gab es eine deutliche Auswirkung des täglichen Temperaturzyklus auf die Biofilmbildung. Die Bildungsrate wurde auf 0,1 - 0,2 %/d im täglichen Temperaturzyklus für alle drei Kultivierungsmedien verringert.

Zuletzt wurde der Einfluss von anorganischen Partikeln auf die Biofilmbildung untersucht. Biofilme wurden entweder in MFDs oder in Fließzellen mit künstlichem Abwasser kultiviert. Diatomeenerde (DE) und/oder Montmorillonit (MMT) wurden zu künstlichem Abwasser zugegeben. Die Biofilmbildung wurde erneut mittels OCT über 30 Tage beobachtet. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einbau von anorganischen Partikeln in die Biofilm-Struktur, mit Feststoffkonzentrationen von 30 und 60 mg/L im Zulauf, mehr Ablöseereignisse verursachte als Biofilme, die ohne Partikel kultiviert wurden. Zusätzlich wurde die Biofilmkompressibilität bestimmt und eine positive Korrelation zwischen DE-Konzentration und Biofilmkompressibilität beobachtet. Biofilme werden kompressibler, wenn sie mit 30 und 60 mg/L DE kultiviert werden. Die Biofilmstruktur soll stabilisiert werden, wenn sie bei zunehmenden Schubspannungen komprimiert wird. Daher war die Ablösung bei hoher Schubspannungen am niedrigsten, wenn die Biofilme mit 60 mg/L DE kultiviert wurden, im Vergleich zu Biofilmen, die mit weniger oder keinen anorganischen Partikeln kultiviert wurden.

Dissertation an der Fakultät für Chemieingenieurwesen und Verfahrenstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), am 03.02.2017

Referent: Prof. Dr. rer. nat. Harald Horn, KIT Karlsruhe

Korreferent: Prof. Dr. Eberhard Morgenroth, Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich

Veröffentlichung:

Qian, J., (2017) Investigation of the fouling driving factors in drip irrigation systems. Band 71, Schriftenreihe Bereich Wasserchemie und Wassertechnologie, Engler-Bunte-Institut, Karlsruher Institut für Technologie, ISSN 2195-2973. <http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/1000069485>

Qian, J., Walters, E., Rutschmann, P., Wagner, M., Horn, H., 2016. Modeling the influence of total suspended solids on *E.coli* removal in river water. Water Science Technology, 73 (6), 1320-1332.

Qian, J., Horn, H., Tarchitzky, J., Chen, Y., Katz, S., Wagner, M., 2017. Water quality and daily temperature cycle affect biofilm formation in drip irrigation devices revealed by optical coherence tomography. Biofouling, 33(3), 211-221.