

# Deutschsprachige Zusammenfassung der Dissertation „Sequential biofiltration – a novel concept for enhanced biological attenuation of trace organic compounds during wastewater treatment“

Dr.-Ing. Johann Müller

*Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universität München, Am Coulombwall 3, 85748 Garching*

Kommunale Kläranlagen stellen bedeutende Punktquellen für den Eintrag von Spurenstoffen in die aquatische Umwelt dar. Um eine verbesserte Entfernung dieser Stoffe im Rahmen der Abwasseraufbereitung zu erreichen, stehen adsorptive, oxidative und membranbasierte Reinigungsverfahren in der Diskussion. Eine weitergehende Behandlung mit biologischen Verfahren hingegen stand bislang weniger im Fokus durchgeführter Untersuchungen. Ergebnisse jüngerer Studien deuten jedoch auf einen verbesserten biologischen Abbau zahlreicher Substanzen unter oxischen und substrat-limitierten, sogenannten oligotrophen Bedingungen hin. In drei Schwerpunkten untersuchte diese Dissertation (i) Optionen für die Implementierung und Optimierung eines neuen Biofiltrationskonzepts, das als zusätzliche Behandlungsoption im Rahmen der kommunalen Abwasserbehandlung einen verbesserten Abbau von Spurenstoffen erreichen kann, (ii) neue Strategien für eine verbesserte *in situ*-Charakterisierung von Redoxbedingungen in Biofiltrationssystemen und (iii) die Vorteile der Kombination verschiedener weitergehender biologischer, oxidativer und/oder adsorptiver Behandlungsverfahren.

Im Rahmen der Studie wurde das Konzept der sequentiellen Biofiltration eingeführt, das zwei in Reihe geschaltete Schüttungsfilter mit einem Zwischenbelüftungsschritt verknüpft, um oxische und substrat-limitierte Betriebsbedingungen in der zweiten Filterstufe zu realisieren. Ergebnisse aus Säulenversuchen im Pilotmaßstab bestätigten eine verringerte Substratverfügbarkeit und überwiegend oxische Bedingungen im zweiten Filter. Im Vergleich mit einem einstufigen Biofiltrationssystem, das bei gleicher Gesamtkontaktzeit (engl.: Empty Bed Contact Time (EBCT)) betrieben wurde, konnte eine verbesserte Entfernung verschiedener Stoffe beobachtet werden. Eine bessere Entfernung mehrerer Substanzen bei erhöhten EBCTs in der zweiten Filterstufe legte nahe, dass die EBCT eine entscheidende Rolle für den Abbau bestimmter Verbindungen spielen kann. Weitere Experimente zielten darauf ab, die technische Umsetzbarkeit sequentieller Biofiltrationssysteme durch eine Verringerung der EBCT in der ersten Filterstufe zu verbessern und die Vorbehandlung von Kläranlagenablauf durch Koagulation als Option zur weiteren Verringerung der Verfügbarkeit organischer Kohlenstoffverbindungen während der sequentiellen Biofiltration zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigten, dass trotz einer Verringerung der Kontaktzeit in der ersten Filterstufe nach ausreichender Adaptionszeit eine vergleichbare Entfernungsleistung erreicht werden kann. Eine Vorbehandlung des Kläranlagenablaufs mittels Koagulation, Flockung und Sedimentation konnte die Leistung eines nachgeschalteten sequentiellen Biofiltrationssystems trotz deutlicher Entfernung organischer Summenparameter nicht verbessern. Trotz der weitgehenden Entfernung des Gesamtphosphors während der Koagulation konnte jedoch auch keine nachteilige Beeinträchtigung des nachfolgenden biologischen Systems festgestellt werden.

Der biologische Abbau vieler Spurenstoffe ist stark abhängig von den vorherrschenden Redoxbedingungen. Die konventionelle Charakterisierung von Redoxbedingungen unter Verwendung der Abfolge anorganischer Elektronenakzeptoren, wie gelöstem Sauerstoff und Nitrat, ist ungeeignet, um den für den Spurenstoffabbau kritischen Übergangszustand zwischen oxischen ( $> 1 \text{ mg/L O}_2$ ) und

suboxischen ( $< 1 \text{ mg/L O}_2$ ) Bedingungen zu charakterisieren. Im Rahmen dieser Studie wurde untersucht, inwiefern die sukzessive biologische Transformation des iodierten Röntgenkontrastmittels Iopromid als intrinsischer Tracer für die vorherrschenden Redoxbedingungen in Biofiltrationssystemen unter verschiedenen Substratbedingungen verwendet werden kann. Der Iopromidabbau wurde durch die Quantifizierung zwölf bekannter biologischer Transformationsprodukte überwacht, deren Bildung in Vorstudien unter oxischen Bedingungen beschrieben wurde. Eine starke Korrelation zwischen der Sauerstoffzehrung und der Iopromidtransformation belegte einen engen Zusammenhang zwischen allgemeiner mikrobieller Aktivität und Iopromidabbau. Die Ergebnisse verdeutlichten, dass die Verfügbarkeit von biologisch verfügbarem Substrat den Grad der Iopromidtransformation beeinflusst. Ein direkter Zusammenhang zwischen oxischen und suboxischen Bedingungen und dem Grad der Iopromidtransformation konnte jedoch nicht nachgewiesen werden.

Weitere Studien untersuchten das Potential der Kombination von sequentieller Biofiltration, Ozonierung und Adsorption an Aktivkohle in sogenannten Hybridsystemen hinsichtlich möglicher Synergien zwischen den Behandlungsschritten. Ergebnisse zeigten, dass die Vorbehandlung von Kläranlagenablauf mittels Biofiltration zu einer Verminderung des Ozonbedarfs für die Transformation verschiedener Substanzen führte. Eine biologische und biologisch-oxidative Vorbehandlung von Kläranlagenablauf bewirkte eine Erhöhung der Standzeit von Aktivkohleadsorbern bis zum Durchbruch der meisten untersuchten Spurenstoffe. Die beobachtete verbesserte Prozesseffizienz wurde auf die teilweise Entfernung und strukturelle Veränderung gelöster Substanzen des organischen Hintergrunds während der Vorbehandlung zurückgeführt. Die in dieser Studie beobachteten positiven Effekte in Hybridsystemen gehen mit einer zunehmenden Prozesskomplexität und steigenden Betriebskosten einher. Die Bewertung der Umsetzbarkeit der untersuchten Prozesskombinationen bedarf daher kritischer Kosten-Nutzen-Analysen.

Diese Dissertation konnte das Potential optimierter biologischer Behandlungssysteme zur verbesserten Entfernung von Spurenstoffen im Rahmen der kommunalen Abwasserbehandlung belegen. Die Ergebnisse unterstrichen die Bedeutung vorherrschender Betriebsbedingungen für die biologische Transformation, zeigten aber auch die substanzspezifischen Unterschiede beim Abbau unterschiedlicher Verbindungen. Die Kombination von Verfahren in Hybridsystemen erwies sich als effektiv um die Entfernung von Spurenstoffen mit verschiedensten physikalisch-chemischen Eigenschaften zu erreichen. Der großtechnischen Anwendung müssen jedoch kritische Kosten-Nutzen-Analysen unter Beachtung standortspezifischer Faktoren vorausgehen, um geeignete und zweckmäßige Behandlungsoptionen zu identifizieren.