

Technische Feuchtgebiete zur Nachreinigung von Abwasser – Stickstoff, Abwasserdesinfektion, Spurenstoffe

Stickstoff, Spurenstoffe und Krankheitserreger können auch in geringen Mengen Schäden in Gewässern bzw. beim Menschen verursachen. In dieser Dissertation konnte gezeigt werden, dass das naturnahe energiesparsame Abwasserreinigungsverfahren der technischen Feuchtgebiete mit einem breiten Leistungsspektrum zur Nachreinigung von Abwasser geeignet ist. In dieser Funktion wurden **bewachsene Bodenfilter und Abwasserteiche** erstmals direkt miteinander verglichen.

Dafür wurden in Berlin sieben bewachsene Bodenfilter und Abwasserteiche im technischen Maßstab einer Kläranlage mit Nährstoffelimination nachgeschaltet. Ein Sandfilter, ein Sandfilter mit Lehm und ein Sandfilter mit Längsgräben wurden überstaut und auf diese Weise vertikal kontinuierlich beschickt. Bei den Teichen handelte es sich um einen flachen bepflanzten Teich, einen Teich mit Pflanzenschwimmatten, einen unbepflanzten Teich und einen am Ufer bepflanzten Graben. Mit Tracertests und Messungen zur Wasserdurchlässigkeit der Filter wurden die Aufenthaltszeiten exemplarisch bestimmt und das Durchlaufverhalten der einzelnen Anlagen charakterisiert. Der Zulauf und die Abläufe wurden über einen Zeitraum von sieben Jahren bei bestimmten Volumenströmen zwischen 25 und 200 mm/d regelmäßig auf Stickstoff, Phosphor und andere Abwasserstandardparameter hin analysiert. Die hygienisch-mikrobiologische Qualität wurde in elf Messkampagnen bestimmt anhand der bakteriellen Indikatoren *E. coli* und Enterokokken sowie dreimal anhand des Virenindikators somatische Coliphagen. Das Puffervermögen bei kurzzeitigen Volumenstößen, wie sie kommunale Kläranlagen nach Starkregenereignissen belasten, wurde getestet. Die Abbauleistung des Sandfilters mit Längsgräben, des Teiches mit Pflanzenschwimmatten und des Unbepflanzten Teiches für 18 Pharmaka verschiedener Zusammensetzung und elf Metabolite wurde in zwei Messkampagnen untersucht. Diese Feldstudie war begleitet von einem Photoabbauexperiment in situ. Dafür wurden Reagenzgläser mit Teichwasser gefüllt und in verschiedenen Wassertiefen für 0,1 bis 6 Tage den realen Licht- und Temperaturbedingungen ausgesetzt. Anschließend wurden die Spurenstoffkonzentrationen daraus bestimmt.

Die geringen **Stickstoff**zulaufkonzentrationen von $\text{gesN} = 11 \text{ mg/l}$ wurden von allen Anlagen ganzjährig durch **Denitrifikation** vermindert, im Mittel um 35 % (Bepflanzter Teich) bis 70 % (Sandfilter mit Lehm). Damit übertrafen alle Anlagentypen die im DWA-Arbeitsblatt 262 zum Bau von bepflanzten Bodenfiltern [2006] angegebene Konzentrationssenkung von 10 – 20 % Gesamtstickstoff. Der Sandfilter mit Längsgräben und der Graben erreichten die besten Flächenabbauleistungen ($0,53 \text{ NO}_3\text{-N g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$) durch ihre höhere hydraulische Belastbarkeit. Die bewachsenen Bodenfilter zeichneten sich besonders im Winter durch geringere Redoxpotenziale in den Abläufen aus. Das dämpfte den temperaturbedingten Leistungsabfall der Denitrifikation und

fürte zu einer stabileren Leistung im Vergleich mit den Teichanlagen. Ermöglicht wurde die nachgeschaltete Denitrifikation ohne externe Kohlenstoffquelle durch die Eigenversorgung mit leichtabbaubaren Kohlenstoffen aus der Photosynthese der Pflanzen in den technischen Feuchtgebieten. Das Leistungsprofil der untersuchten Anlagen eröffnet die Möglichkeit, technische Feuchtgebiete einer Kläranlage im Teilstrom nachzuschalten, um so die Gesamtstickstofffracht zu verringern oder Überwachungswerte verlässlich einzuhalten. Die untersuchten Anlagentypen können grundsätzlich auch für die Behandlung nitratkontaminierten Grundwassers sowie zur Nitratverringern von Oberflächengewässern und Oberflächenabflüssen aus der Landwirtschaft eingesetzt werden.

In der **Abwasserdesinfektion** wurde die *E. coli*-Anzahl im Zulauf von $10^{3,9}$ / 100 ml durch die technischen Feuchtgebiete um 1,7 Zehnerpotenzen (Graben und Unbepflanzter Teich) bis 2,3 Zehnerpotenzen (Sandfilter mit Lehm) gesenkt. Wider Erwarten wirkten sich Anlagentyp, Zulaufvolumenstrom und Temperatur nicht signifikant auf die hygienisch-mikrobiologische Ablaufqualität aus. Die Abläufe des Teichs mit Pflanzenschwimmatten und des Bepflanzten Teiches entsprachen ausgezeichneter Badegewässerqualität gemäß EU-Badegewässerrichtlinie [2006] und waren, wie auch der Ablauf des Sandfilters mit Längsgräben, zur Bewässerung von Obst und Gemüse zur Konservierung geeignet [DIN 19650 1999].

Die Höhe des Volumenstroms wirkte sich in den getesteten Bereichen nicht auf die Ablaufkonzentrationen aus. Doch die Anlagentypen unterschieden sich eindeutig in ihrem Durchlaufverhalten und ihrer **hydraulischen Belastbarkeit**: Sandfilter, Sandfilter mit Lehm und Bepflanzter Teich nutzten ihr Wasservolumen zu weniger als 20 % aus. Im Gegensatz dazu lag der hydraulische Wirkungsgrad des Sandfilters mit Längsgräben bei über 90 %. Seine Längsgräben wirkten sich günstig aus und ermöglichen eine dauerhafte hydraulische Belastung dieses Bodenfilters von 100 mm/d. Das entspricht einem Flächenbedarf von etwa 1 m²/Einwohner. Dagegen war der Sandfilter mit Lehm zu wenig wasserdurchlässig für den dauerhaften Betrieb.

Kurzzeitige Volumenstöße zwischen 160 mm/8 h und 200 mm/6,5 h wurden von den technischen Feuchtgebieten hydraulisch, stofflich und hygienisch gut abgepuffert. Der Sandfilter mit Längsgräben und der Graben hielten sogar der höchsten getesteten Belastung von 240 mm/8 h bzw. 250 mm/6,5 h stand. Erst bei der drastischen langfristigeren Überlastung mit 1.300 mm/d verschlechterte sich die Abwasserdesinfektion des Sandfilters mit Längsgräben auf 0,9 Zehnerpotenzen *E. coli*-Reduktion.

Von den untersuchten **Arzneimitteln** und Arzneimittelrückständen wurden 13 Substanzen (Diclofenac, 3-Hydroxycarbamazepin (3-OH-CBZ), Venlafaxin (VLX), O-Desmethylvenlafaxin (O-DM-VLX), Tramadol (TMD), Trimethoprim, Erythromycin, Clarithromycin, Metoprolol, Atenolol, Bezafibrat, Acyclovir und Codein) in wenigstens einer der drei getesteten Anlagen um mehr als 70 % entfernt. Das Photoabbauxperiment in situ zeigte, dass der lichtinduzierte Abbau ein wichtiger Eliminationsmechanismus für Diclofenac, O-DM-TMD, O-DM-VLX und 2-Hydroxycarbamazepin (2-

OH-CBZ) und 3-OH-CBZ war. Dabei wurde kein biologischer Abbau beobachtet außer für Metoprolol. Folglich sind Teichboden und Filtermaterial wichtige Aufwuchsflächen für Biofilme, die den mikrobiologischen Pharmakaabbau fördern. Die geringen Redoxbedingungen des Sandfilters mit Längsgräben und des Teiches mit Pflanzenschwimmatten ermöglichten den anaeroben Abbau von Diatrizoat und Sulfamethoxazol, welche sich unter aeroben Bedingungen persistent verhalten. Andererseits war in diesen Anlagen der aerobe Abbau limitiert. Deshalb wird für den Spurenstoffabbau eine Hybridanlage empfohlen, die das Abwasser verschiedenen Umgebungsbedingungen in Folge aussetzt. Die von nachgeschalteten technischen Feuchtgebieten verursachten Klimagase und Kosten liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie die anderer Abwasserreinigungsverfahren.

Technische Feuchtgebiete erbringen als Nachreinigungsschritt robuste Leistungen in der Nitratentfernung, Abwasserdesinfektion und partiellen Spurenstoffentfernung. Für die Auslegung ist die hydraulische Belastbarkeit das Schlüsselkriterium der Reinigungsleistung.