

Fachhochschule Bielefeld
University of Applied Sciences
**Fachbereich Architektur
und Bauingenieurwesen**
Labor für Wasserwirtschaft,
Abfalltechnik und Umweltanalytik
Artilleriestr. 9, 32427 Minden

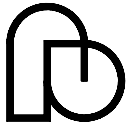
Pilotprojekt „Retentionsbodenfilter Hartum“

**Forschungsprojekt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und
Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes
Nordrhein-Westfalen; AZ IV-9-042 240 0010**

Kurzbericht Oktober 2006



Prof. Dr. -Ing. Matthias Namuth



Zielsetzung:

Im durchgeführten Forschungsvorhaben wurden im großtechnischen Maßstab folgende Punkte näher untersucht:

- Veränderungen des Porensystems bzw. der Wasserdurchlässigkeit des Filters (Kolmation).
- Messtechnische Eignung der spektralen Online-Gütemessung zur Ermittlung der Reinigungsleistung.
- Die Ermittlung der Reinigungsleistung durch die Konzentrations- und Frachtbewertung.
- Die zeitliche Entwicklung des Reinigungsvorganges.
- Der Einfluss des Niederschlages auf das RBF und der Evapotranspiration des Bewuchses.
- Die Wirkung eines Geotextils zwischen Filter- und Dränschicht zur Sicherstellung der Filterstabilität.

Versuchsanlage:

Für eine neue, vertikal durchströmte und bewachsene Retentionsbodenfilteranlage RBF zur Mischwasserbehandlung – die im Sommer 2004 erstmalig in Betrieb ging – wurde bis zur Inbetriebnahme die Messtechnik installiert. Es handelt sich hierbei im Wesentlichen um drei Bereiche, die alle für eine Datenfernabfrage konzipiert wurden:

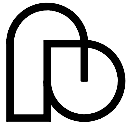
Wettermessstation (Sonnenstrahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit)

Wasseranalytik (spektrale Online-Gütemessung, NH₄-Sensor)

Wassermengenbestimmung („Kanalmaus“ im Zulauf, induktive Abflussmessung IDM im Ablauf, Porenwasserdrucksensoren im Becken, Ultraschallhöhen­sensor im Zulauf)

Das Bauwerk wurde noch so modifiziert, dass eine Zugangsmöglichkeit zu den Saugern des Dränsystems geschaffen wurde, um auch einzelne Bereiche des RBF separat zu beproben.

Seit der Inbetriebnahme der Anlage sind bisher 18 Beschickungsereignisse aufgetreten. In den



meisten Fällen floss dem RBF soviel des abgeschlagenen Wassers des vorgeschalteten RÜB zu, dass dabei auch der Notüberlauf des RBF in Betrieb ging. Insgesamt sind dabei etwa 12,1 m pro Jahr (bezogen auf die Grundfläche und den Ablauf des RBF) gereinigt worden.

Wasserdurchlässigkeit des Filters:

Um Veränderungen des Porensystems und mögliche Kolmationsvorgänge erfassen zu können, wurde eine Methode zur Erfassung der Wasserdurchlässigkeit des Filtermaterials entwickelt. Es handelt sich hierbei um eine Methode, die für den gesamten Filter die Wasserdurchlässigkeit zerstörungsfrei ermittelt. Die Auswertungen zeigen eine deutlich niedrigere Wasserdurchlässigkeit als sie anhand der Körnungslinie zu erwarten war (ca. eine Zehnerpotenz geringer als die k_f -Abschätzungen nach Hazen oder Beyer).

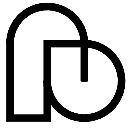
Die Ursache liegt darin, dass die zu Beginn der Beschickung vorhandene Porenluft bei der plötzlichen Flutung des Beckens nur teilweise entweichen kann. Die verbleibende Luft in den Poren reduziert die Fließquerschnitte und damit den Volumendurchsatz. Diese Ursache wird durch eine durchgeführte Probenahme von Ausstechzylindern nach Aufgrabung mit anschließender Laborbestimmung bestätigt.

Die Methode zur Durchlässigkeitsermittlung kann auch den Rückstau durch die Ablaufpumpe sowie veränderliche Ablaufwassermengen berücksichtigen, die den hydraulischen Gradienten bewusst reduzieren, um eine längere Aufenthaltszeit des zu reinigenden Abwassers im Filterraum zu gewährleisten.

Die dabei ermittelten Durchlässigkeitswerte zeigen für das relativ neue RBF noch keine Tendenz der Veränderung. Sie schwanken jedoch von Ereignis zu Ereignis, wohl wegen der unterschiedlichen Anfangswassergehalte, in einem für k_f -Werte üblichen Bereich.

Spektrale Online-Gütemessung:

Die spektrale Online-Gütemessung mit der IXO 510 der Fa. Secomam wurde bezüglich ihrer Zuverlässigkeit und Genauigkeit untersucht und eingesetzt. Hinsichtlich der Zuverlässigkeit gab es erhebliche Probleme während des Forschungsvorhabens, die u.a. darauf zurückzuführen sind, dass die in Deutschland verwendete ISDN-Datenübertragung beim französischen Hersteller noch nicht bekannt war. Das hatte zur Folge, dass bis Ende März



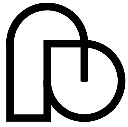
2006 die Datenfernabfrage nicht funktionierte und bis zum 09.03.2006 das Gerät nicht automatisch startete. Beides zusammen führte zu einer erheblichen zusätzlichen Belastung der Mitarbeiter an dem Forschungsvorhaben. Die Anlage musste täglich angestellt werden und die vorhandenen Daten „gerettet“ werden. Es gab ferner auch Probleme mit der Echtzeituhr des Gerätes, die jedoch vor gut einem Jahr behoben wurden. Durch das hohe Engagement der Mitarbeiter sind jedoch die bisherigen Beschickungen auswertbar. Zum Betrieb der IXO 510 lässt sich positives berichten. Ist die Anlage in Betrieb und werden die Daten gerettet, liefert sie brauchbare Ergebnisse. Im April 2006 konnten auch die verbliebenen Einschränkungen behoben werden.

Die besten Korrelationen im Vergleich mit Küvettentests liefert die IXO beim NO_3 ($R^2 = 0,85$ bis $0,99$). Von den Werten für organische Substanz ist der CSB-Wert im Vergleich zum BSB_5 und TOC-Wert am besten auswertbar ($R^2 = 0,65$ bis $0,88$). Diese schlechteren Ergebnisse hängen mit dem Umstand zusammen, dass sich der SAK-Wert für die Bestimmung von echt gelöster Substanz eignet, die in der Praxis vorhandenen Feststoffpartikel im Untersuchungsmedium jedoch nicht exakt berücksichtigt werden können. Sie gehen etwas unspezifisch im sog. Schwächungskoeffizienten ein. Je nach dem Vorhandensein von Feststoffpartikeln ist dadurch eine Streuung der Ergebnisse vorhanden.

Außer der Möglichkeit häufiger, automatischer Messungen ohne Chemikalieneinsatz ist als Vorteil der IXO zu sehen, dass das Gerät für die Auswertung der Ergebnisse an das zu untersuchende Medium durch nasschemische Vergleichsmessungen angepasst werden kann. Das ist in diesem Forschungsvorhaben auch durchgeführt worden, für den BSB_5 -Wert sogar nach Zulauf und Ablauf getrennt. Ferner ist wichtig, dass aus dem gleichen Ursprungsmesssignal alle drei organischen Größen, CSB – BSB_5 – TOC, abgeleitet werden, von denen der CSB wie beschrieben die besten Korrelationen erreicht.

Reinigungsleistung – Konzentrationsbewertung:

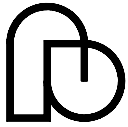
Zur Ermittlung der Reinigungsleistung wurden neben den Bestimmungen der IXO auch Proben bei den jeweiligen Beschickungsereignissen entnommen und später nasschemisch im Labor bestimmt. Für die Bewertung der Reinigungsleistung anhand der Konzentrationen wurden bis zu zehn Beschickungsereignisse sowohl für die IXO als auch für die



konventionelle Laboranalytik ausgewertet. Die Ergebnisse der IXO sind etwas schlechter als die der Laboruntersuchungen. Für die organischen Stoffe liegt die Reinigungsleistung (nach den IXO-Werten) für den BSB₅ am höchsten bei 75 bis etwa 80 %. Sie ist am höchsten und vergleichbar mit anderen großtechnischen Anlagen. Gleiches gilt für den CSB auf niedrigerem Niveau. Für den TOC mit einer Reinigungsleistung von 45 bis 53 % sind keine Vergleichsangaben im großtechnischen Maßstab bekannt. Die Nitrifikation ist hervorragend, obwohl die Kalkgehalte des Filters nur zwischen 1,2 bis 3 % liegen. Die NH₄-N-Elimination bezogen auf den Zulauf ist größer als 100 %, was auch bei einigen anderen Anlagen beobachtet wurde. Bei den absetzbaren Stoffen liegt die Reinigungsleistung bei etwa 50 %. Die Keimzahlen von E. coli und coliformen Keimen sowie Koloniebildenden Einheiten KBE verringern sich bei der Filterpassage um eine Zehnerpotenz (E. coli und coliforme Keime von 23.750 / ml auf 2.344 / ml; KBE von $4,3 \cdot 10^6$ / ml auf $4,25 \cdot 10^5$ / ml). In Prozenten ausgedrückt entspricht das einer Verringerung von mehr als 90 %.

Reinigungsleistung – Frachtenbewertung:

Bezüglich der vorhandenen Frachtermittlung und –bewertung werden zwei Ereignisse detailliert ausgewertet. Die zeitabhängige Ermittlung der Zuflüsse und Abflüsse zum Bauwerk erwies sich schwieriger als erwartet. Durch die Betrachtung mehrerer Beschickungsereignisse nacheinander ergeben sich Differenzen zwischen der Summe des Zuflusses und der Summe des Abflusses, die nicht plausibel sind. Die Zuflussermittlung mittels Kanalmaus in sehr engen Zeitintervallen ist hierfür ursächlich. Aus diesem Grunde wurde die Ermittlung des Zuflusses dahingehend verändert, dass das RBF als ein geschlossenes System, nämlich als Lysimeter betrachtet wird. Die Wasserstandshöhe und das damit vorhandene Volumen in dem Becken kann als Summe des Zuflusses zum jeweiligen Zeitpunkt herangezogen werden, es muss jedoch die bis zu dem betrachteten Zeitpunkt vorhandene Versickerung durch den Bodenfilter ebenfalls berücksichtigt werden. Das ist durch die Methode und die Ergebnisse der für jedes Ereignis separat ermittelten Wasserdurchlässigkeitswerte auch bei rückgestauter Versickerung möglich, wenn auch mit hohem Rechenaufwand. Um zu den hinzu geführten bzw. abgeleiteten Frachten zu kommen, müssen diese Ergebnisse dann mit den Analysenwerten (die sehr häufigen Werte der IXO und die weniger vorhandenen Proben) in Beziehung gesetzt werden.



Vergleich der Ergebnisse der Bewertungsmethoden für die Reinigungsleistung:

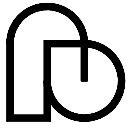
Der Vergleich der Ergebnisse des Beschickungsereignisses vom 13.08.2004 zwischen der Konzentrationsbewertung und der Frachtenbewertung ist überraschend. Dieses Ereignis zeigt bei der Konzentrationsbewertung für den CSB eine Reinigungsleistung von lediglich 35 % (IXO), bei der Bewertung der Frachten deutlich mehr, nämlich 66 % (ebenfalls IXO). Erklärbar ist dieser Unterschied im Wesentlichen durch die Schnelligkeit des Befüllungsvorganges. Innerhalb der ersten 45 Minuten der Beschickung sind bereits 80 % der Wassermenge in das Becken hinein geflossen. Für die Frachtenberechnung sind dann natürlich auch die zugehörigen Konzentrationen in der Anfangsphase von besonderer Bedeutung. Die späteren Messungen haben weniger Gewicht und zeigen schon – wenn kein echter Zulauf mehr erfolgt - den Zustand des Abbaus im Retentionsbecken an.

Das wird bestätigt und sogar übertroffen durch die Auswertung des Ereignisses vom 19.06.2006. Während in der Anfangsphase des Vorganges über 1 Stunde größere Ablaufkonzentrationen des CSB als im Zulauf auftraten – und man daraus eine Verschlechterung des Abwassers durch das RBF ableiten könnte – liefert die Frachtenberechnung dennoch eine Reinigungsleistung von 57,8 %.

Daraus ist zu folgern, dass nur die Frachtenbewertung eine ausreichende Genauigkeit zur Beschreibung der Reinigungsleistung bietet. Die dafür notwendige und praktikable Bestimmung der Konzentrationen des Zulaufes kann die spektrale Absorptionsmessung in Verbindung mit einer möglichst genauen volumetrischen Zufluss- und Abflussbestimmung liefern.

Veränderungen der Konzentrationen:

Die Veränderung der Konzentrationen während eines Beschickungsereignisses wird gesondert untersucht. Für den Zulauf zeigt sich, dass auch hier gerade in der Anfangsphase besonders hohe Konzentrationen vorhanden sind (z.B. beim CSB) und diese dann geringer werden. Neben den großen Wassermengen in der Anfangsphase schlägt auch dieses natürlich auf die Bilanzierung durch und macht es notwendig, die Analytik in kurzen Zeitintervallen, genauso wie die Wassermengensmessung durchzuführen. Diese Tendenz der Abnahme kann für die bereits erwähnten Ereignisse vom 13.08.2004 und 19.06.2006 mit nur einem Scheitelpunkt



des Wasserspiegels im Retentionsraum und für das Ereignis am 14.08.2005 mit zwei Scheitelpunkten des Wasserstandes im Stauraum festgestellt werden. Letzteres bedeutet, dass hier zunächst ein maximaler Wasserstand erreicht wurde, dann kein Zufluss mehr erfolgte und während der Absenkphase des Wasserspiegels aufgrund eines erneuten starken Regenereignisses eine zweite Beschickung in das Becken eintrat. Dabei kann es sich um den erneut einsetzenden Klär- oder die Kombination aus Klär- und Beckenüberlauf des RÜB gehandelt haben.

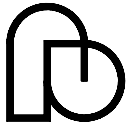
Die Konzentrationen der organischen Fracht des Ablaufes reagieren zeitversetzt. Es ist ein Spülvorgang zu Beginn eines neuen Beschickungsereignisses im Ablauf erkennbar, der aus dem Porenraum des Bodenfilters aber auch aus der Dränschicht darunter stammt. Auf niedrigerem Niveau sind die Konzentrationen dann später über einen längeren Zeitraum messbar, bis die Pumpe im Ablauf nicht mehr arbeitet.

Bei den Nitratgehalten im Zulauf ist zunächst keine Nitrifikation erkennbar. Das von der Kanalisation angelieferte Ammonium wird jedoch bereits im Retentionsraum oberhalb des Bodenfilters erkennbar nitrifiziert, was die steigenden Nitratgehalte dann auch anzeigen.

Wie bei der organischen Substanz ist auch im Ablauf zu Beginn des Ablaufereignisses ein Freispülen des sich im Porenraum gebildeten Nitrates mit zum Teil hohen Nitratkonzentrationen zu erkennen. Ähnlich wie bei den organischen Substanzen gehen dann die Nitratgehalte auf ein niedrigeres Niveau des sich neu gebildeten Nitrates des aktuellen Beschickungsereignisses zurück.

Einfluss des Niederschlages und der Evapotranspiration:

Wenn man lediglich den Zeitraum der Beschickung des RBF und des danach folgenden Abflusses kurzfristig betrachtet, spielt der Niederschlag, der währenddessen auf das Becken fällt, nur eine geringe Rolle. Das hat mit der wesentlich höheren Beschickungshöhe zu tun, aus dem Niederschlag resultiert eine Verdünnung von nur 4,3 %. Für die Evapotranspiration gilt ähnliches, nur dass die Wirkung gegenteilig ist und das Ausmaß kurzfristig betrachtet geringer ausfällt. Über längere Zeiträume und für die Zeiten zwischen den einzelnen Beschickungen spielt die Evapotranspiration jedoch schon eine wichtige Rolle. Sie sorgt für



ein schnelleres Entleeren des im Porenraum zurückgehaltenen Wassers nach der einzelnen Beschickung und eine schnellere Versorgung des Porenraumes mit Sauerstoff für die mikrobiologischen Prozesse. In der Gesamtbilanz über einen Monat betrachtet, mindert sie die durch Niederschlag verursachten Wasserüberschüsse deutlich. Der Schilfbewuchs zeigt aufgrund seines hohen Wasserverbrauchs hier eine positive Wirkung. Auch die tiefgründige Durchwurzelung des Filters ruft positive hydraulische Eigenschaften hervor. Zur Methode der Ermittlung der Evapotranspiration wurden die Berechnungsverfahren von Haude, Penman und Penman-Monteith herangezogen und miteinander verglichen. Für die Berechnungen wurde dann das Verfahren von Penman-Monteith verwendet.

Einfluss des Geotextils:

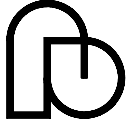
Der Einfluss des in Teilbereichen verwendeten Geotextils zur Sicherstellung der Filterstabilität zwischen Sandbodenfilter und Dränkies wurde durch eine Aufgrabung mit anschließender Probenahme untersucht. Es wurden Stechzylinder entnommen, darunter einer, der die Sandschicht, das Geotextil und die Kiesschicht beinhaltet, einer unmittelbar auf dem Geotextil. Die Bestimmung des k_f -Wertes im Labor mit konstantem hydraulischem Gradienten zeigte für das relativ junge Geotextil bisher keine signifikanten negativen Auswirkungen auf die Durchsickerung, wenngleich die beiden genannten Stechzylinder die geringsten Durchlässigkeiten aufwiesen.

Ausblick:

Da das untersuchte RBF erst seit 3 Jahren in Betrieb ist, ist es zur Absicherung der Ergebnisse und zur Feststellung von Veränderungen hinsichtlich Reinigungsleistung, Wasserdurchlässigkeit, Verhalten der Zulauf- und Ablaufkonzentrationen und die Wirkung des Geotextils sinnvoll, diese weiterhin zu erforschen.

Auch über den Einfluss der Sickerungsgeschwindigkeit durch den Sandfilter auf die Reinigungsleistung ist wenig bekannt. Diese ist jedoch direkt durch die Betriebsweise – und hier im Falle RBF Hartum durch die regelbare Ablaufpumpe – zu beeinflussen.

Da nur die Frachtenberechnung zur Bestimmung der Reinigungsleistung eines RBF geeignet ist, stellt sich ferner die Frage nach einer relativ einfachen und praktikablen Methode für die



Bewertung anderer RBF-Anlagen.