

# Anlage 1

# **Entwicklung und Bilanzierung beheizter Festbetteinrichtungen zur Leistungssteigerung vorhandener Abwasserteichanlagen im Winter (AZ 21755/02-23)**

## **Erster Zwischenbericht (Zeitraum von Januar bis Juli 2007)**

**Gefördert durch:**

**Deutsche Bundesstiftung Umwelt**

**Weitere Förderer und  
Kooperationspartner:**

**Abwasserbetrieb Weimar**

**ENGENIOS AG Nohra/Weimar**

**Institut für Umweltmedizin Erfurt**

**Themenverantwortlicher:**

**Armin Schäfer,  
Bildung Beratung Beschäftigung  
(bbb) e. V.  
Alexander-Puschkin-Platz 6  
99510 Apolda**

**Apolda, im Juli 2007**

## **Verantwortliche für ...**

**... Technischen Aufbau: Herr Besuch**

**... Konstruktive Gestaltung  
des Festbettes: Herr Dipl.-Ing. Gröbel**

**... Versuchsdurchführung: Herr Dipl.-Ing. (FH) Jens  
Voigtländer**

**... Mikrobiologische  
Begleitung: Herr Dipl.-Biol. Stumm**

**... Wissenschaftliche  
Begleitung: Herr Prof. Dr.-Ing. Gottfried  
Voigtländer**

**Ort der  
Versuchsdurchführung: Kläranlage der Stadt Weimar**

## Inhalt

1. Problemstellung
2. Zielstellung
3. Angewandte Methoden zur Lösungsfindung
4. Arbeitsumfang und Abgrenzungen im Rahmen des Zwischenberichts
5. Ergebnisdarstellung
  - 5.1 Beheizte Festbetteinrichtungen
  - 5.2 In-Situ-Versuche zum Stickstoffabbau
    - 5.2.1 Versuchsaufbau
    - 5.2.2 Versuchsergebnisse
    - 5.2.3 Diskussion der Versuchsergebnisse
  - 5.3 Laborversuche zum Kohlenstoffabbau
    - 5.3.1 Versuchsaufbau
    - 5.3.2 Versuchsergebnisse
6. Zusammenfassung

- Anlage 1: Niederschriften zur Aufgabenabgrenzung
- Anlage 2: Bewertungsschema zur Bewuchsstärke der Mikroorganismen
- Anlage 3: Zusammenstellung der Messwerte des In-Situ-Versuches
- Anlage 4: Mikrobiologische Untersuchungen vom 27.06.07

## 1. Problemstellung

Bekannt ist die Substratkonzentrations- und Temperaturabhängigkeit mikrobiologischer Prozesse in der Abwasser- und Schlammbehandlung. Beispielsweise wird in dem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt in Auftrag gegebenen Abschlussbericht „Entwicklung von kleinen getauchten Festbetteinrichtungen für belüftete Oxidationsteiche sowie qualitativer und quantitativer Nachweis ihrer Funktionsfähigkeit vom Mai 2004 bis April 2006“ festgestellt:

- Zusätzlich eingebaute Festbetten, die in belüfteten Oxidationsteichen installiert werden, führen zu temperaturabhängigen Leistungssteigerungen.
- Bei niedrigen Abwassertemperaturen von  $\leq 2^{\circ}\text{C}$  sinkt die Leistungsfähigkeit belüfteter Oxidationsteiche mit eingebauten Festbetten unter die vorgegebenen kohlenstoffbezogenen Grenzwerte.

Aus der Abwasserverordnung Teil I Nr. 6, Abschnitt C, veröffentlicht im BGB 1999, sind die Anforderungen an das gereinigte Abwasser bezogen auf relevante Stickstoffparameter bekannt. Diese Einhaltung setzt Abwassertemperaturen von  $\geq 12^{\circ}\text{C}$  voraus.

Ausreichend hohe Temperaturen garantieren jedoch nicht nur die Funktionstüchtigkeit der Abwasser- und Schlammbehandlungsanlagen. Sie können auch, wie insbesondere aus der anaeroben Schlammbehandlung bekannt, zu spürbaren Volumeneinsparungen der Reaktoren/Fermenter führen.

Da Temperatursteigerungen in den volumenintensiven Anlagen der biologischen Abwasserbehandlung gleichzeitig energieintensiv sind, stellen sie vordergründig keine zukunftsorientierte Lösung dar. Ihre Relevanz könnte jedoch durch die Bereitstellung energiearmer, temperatursteigernder Konzepte verbessert werden.

## 2. Zielstellung

Die Ziele dieses Forschungsprojektes leiten sich aus der beschriebenen Problemstellung und dem vorgenannten Abschlussbericht ab. Sie konzentrieren sich auf vier Schwerpunkte:

- Entwicklung eines beheizten Festbettes (BFB), welches von kälterem Abwasser umströmt wird und auf dessen temperierbarer Oberfläche sessile Mikroorganismen ansiedelbar sind;
- Einsatz von BFB zur Unterstützung der Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit biologischer Reaktoren;  
Zur Einhaltung kohlenstoffbezogener Grenzwerte sollen die Oberflächentemperaturen der BFB  $> 2^{\circ}\text{C}$  und bei stickstoffbezogenen Grenzwerten  $> 12^{\circ}\text{C}$  sein.
- Bestätigung der Hypothese, wonach durch den Einbau von BFB in biologische Reaktoren deren Volumen reduziert werden kann;
- Erfassung des Energiebedarfs zur Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit biologischer Reaktoren beim Einsatz von BFB im Vergleich zu bekannten technischen Lösungen, die von einer Beheizung des gesamten Reaktorinhaltes ausgehen.

Diese Schwerpunkte beinhalten die Quantifizierung der im Winter 2005/2006 erkannten Temperaturabhängigkeiten von Nitrifikanten auf Kunststofffestbettelementen.

### **3. Angewandte Methoden zur Lösungsfindung**

Der verfügbare Stand der Wissenschaft und der Technik wurde über das Literatur- und Patentstudium ermittelt.

Für die Entwicklung des Festbettkörpers wurden aus Zeitgründen reduzierte Ansätze (Anforderungsliste) von der Konstruktionswissenschaft entliehen. Es wurde die Methode „TRIAL and ERROR“ angewendet.

Der angestrebte Erkenntnisgewinn auf dem Gebiet der Stickstoffreduzierung soll im Rahmen von In-Situ-Versuchen erreicht werden. Bezogen auf die Kohlenstoffreduzierung werden zwei Kleinstkläranlagen (Laboranlagen) nach dem Fermenterprinzip zu betreiben sein. In diesen Versuchen ist eine Kältemaschine integriert.

Insbesondere aus den In-Situ-Versuchen in einem Belebungsbecken der Kläranlage Weimar werden die kWh-Verbräuche der verschiedenen erwärmten BFB aufgezeichnet. Ihre Bewertung wird nach theoretischen Grundsätzen erfolgen.

### **4. Arbeitsumfang und Abgrenzungen im Rahmen des Zwischenberichtes**

Der erste Zwischenbericht umfasst den Zeitraum vom 01.01.2007 bis zum 31.07.2007. Zwischen den Kooperationspartnern erfolgte eine Aufgaben- und Kompetenzverteilung. Diese kann aus den in Anlage 1 zusammengefassten fünf Niederschriften entnommen werden.

Der bisher geleistete Arbeitsumfang konzentrierte sich auf

- die Entwicklung und den Bau von BFB für die In-Situ-Anlage;
- den Aufbau der In-Situ-Anlage vom 12.02. bis zum 05.03.2007 und ihre Inbetriebnahme vom 06.03. bis zum 20.06.2007;
- den Aufbau der zwei Laborkläranlagen einschließlich des dazugehörigen Kälteaggregates seit dem 30.05.2007;

- die Zwischenauswertung der bisher analysierten Ergebnisse insbesondere von der In-Situ-Anlage.

## **5. Ergebnisdarstellung**

### **5.1 Beheizte Festbetteinrichtungen**

Die Entwicklung und Konstruktion einer beheizten Festbetteinrichtung erfolgte kurzzeitig auf der Grundlage einer Anforderungsliste durch die ENGENIOS AG. Schwerpunkte der Anforderungsliste waren:

- Verwendung des in der Kläranlage Weimar verfügbaren Heizmediums „Warmwasser“
- Das heizmediumführende Material soll sich durch eine hohe Wärmeleitfähigkeit auszeichnen.
- Das Festbettmaterial soll
  - das heizmediumführende Material umschließen;
  - auf seiner Oberfläche das Siedlungsgebiet für die Mikroorganismen bilden und somit biologisch verträglich und rauh sein;
  - aus einem Stoff mit geringer Wärmeleitfähigkeit bestehen.
- Konzeptlösungen mit preisgünstigen Ansätzen.

Bild 1 zeigt die ausgewählte, allerdings unbeheizte Vorzugslösung vor dem Einbau in das Belebungsbecken. Aus Bild 2 ist das beheizte, bereits in Gebrauch befindliche ausgebaute Festbett zu erkennen. Gleichzeitig wird die wärmegeämmte Zuführungsleitung des Heizwassers zu dem Festbett dokumentiert.

Das Festbettelement ist  $l = 1000\text{mm}$  lang. Es besteht im Querschnitt aus einem heizmediumführenden Edelmetallrohr mit dem Außendurchmesser  $d = 12\text{mm}$ . Dieses Rohr wird von einem aus gesinterten Glaskügelchen bestehenden Dämmrohr  $d = 70\text{mm}$  umhüllt.





**Bild 1:**  
Vorzugslösung eines unbeheizten Festbettes



**Bild 2:**  
Vorzugslösung eines bereits in Betrieb befindlichen ausgebauten beheizten Festbettes mit  
Heizwasser-Zuführungsleitung

Im Rahmen der In-Situ-Versuchsdurchführung wurden drei Festbettelemente eingebaut:

- unbeheizt – die Temperatur entspricht der Abwassertemperatur im Belebungsbecken;
- beheizt – mit einer Temperatur A;
- beheizt – mit einer Temperatur B.

Jedes Element besitzt eine Oberfläche

$$A_0 = 2\pi \cdot r \cdot l = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,035\text{m} \cdot 1,00\text{m} \\ = \underline{\underline{0,22\text{m}^2}}$$

Wie noch gezeigt wird, ist die effektive Oberfläche wegen ihrer körnigen Struktur deutlich größer. Aus Anlage 4 ist ersichtlich, dass die Biomasse bis ca. 5mm tief in das BFB-Element eindringen kann.

## 5.2 In-Situ-Versuche zum Stickstoffabbau

### 5.2.1 Versuchsaufbau

Die Versuchsanlage besteht aus

- der Abnahmevorrichtung für warmes Nutzwasser für die BFB aus dem Heizwasserkreislauf der Kläranlage;
- der Transport- und Rücktransportleitung für das gesamte Warmwasser über die Armaturen eines Steuer-, Regel- und Messschrankes zu den Festbetten im Belebungsbecken;
- einem unbeheizten und zwei beheizten Festbetten.

Die Ausgangstemperatur des für die Versuche benötigten Warmwassers wurde auf ca. 30°C festgelegt. Dieses wird aus dem Vorlaufwasser des Heizwasserkreislaufes der Kläranlage mit einer Temperatur von ca. 70°C entnommen. Zur Abkühlung ist ein Wärmeaustauscher und ein rundes Ausdehnungsgefäß, wie in Bild 3 dargestellt, erforderlich.



**Bild 3:**  
**Heizwasserentnahme aus dem Kläranlagenkreislauf. Mitte-links ist der Wärmeaustauscher und rechts das runde Ausdehnungsgefäß angeordnet.**

Das ca. 30°C warme Wasser fließt, wie aus [Bild 4](#) er sichtlich, über eine isolierte ca. 60m lange zweirohrige Vor- und Rücklaufleitung, oberirdisch zu einem Steuer-, Regel- und Messschrank, der direkt am Belebungsbecken postiert ist. Diese Situation beschreibt [Bild 5](#). Im Steuer-, Regel- und Messschrank wird das 30°C warme Wasser auf zwei definierte unterschiedliche Temperaturen < 30°C transformiert. Dieser Prozess wird automatisch gemessen und aufgezeichnet. Die verfügbare Technik wurde der Regel- und Steuertechnik, wie sie im Wohnungsbau Anwendung findet, entnommen.

Unabhängig davon wird die Abwassertemperatur im Belebungsbecken dokumentiert.

Das definierte Warmwasser fließt durch die BFB und zurück über die Armaturen des Steuer-, Regel- und Messschrankes in den Heizkreislauf der Kläranlage. Dabei wird der in den BFB verbrauchte Energieaufwand gemessen und aufgezeichnet. Aus [Bild 6](#) ist der Betrieb aller drei Festbetten ersichtlich.



**Bild 4:**  
Warmwasserleitung einschließlich Rücklaufleitung vom Heizwasserkreislauf der Kläranlage bis zum Steuer-, Regel- und Messschrank



**Bild 5:**  
Steuer-, Regel- und Messschrank



**Bild 6:**  
**Ein unbeheiztes und zwei beheizte Festbetten in Betrieb**

## 5.2.2 Versuchsergebnisse

Die bisher gewonnenen Versuchsergebnisse

- zeitabhängige variable Temperaturen der BFB und des Abwassers im Belebungsbecken einschließlich des unbeheizten Festbettes;
- temperaturabhängiger Energieverbrauch der BFB in Abhängigkeit von den Abwassertemperaturen im Belebungsbecken;
- subjektive optische Bewertung über die Bewuchsstärke der Mikroorganismen auf den Festbetten nach einer selbst gewählten Skala (Anlage 2)

können Anlage 3 entnommen werden.

Anlage 4 gibt einen Überblick über den bisherigen Stand der mikrobiologischen Untersuchungen zu den temperaturabhängigen Nitrifikationskapazitäten der drei

Festbetten. Hierbei handelt es sich um die wörtliche Wiedergabe der Zuarbeit des Instituts für Umweltmedizin Erfurt vom 27.06.2007.

## **5.2.3 Diskussion der Versuchsergebnisse**

### **5.2.3.1 Zum Temperatureinfluss auf die In-Situ-Anlage**

Während der Winter 2005/2006 als relativ „kalter“ Winter eingeschätzt werden kann, hat sich der relativ „warme“ Winter 2006/2007 als sehr nachteilig auf die Versuche mit den drei Festbetten in einem Belebungsbecken der Kläranlage Weimar ausgewirkt. Im Gegensatz zum Winter 2005/2006, in dem die Kläranlage mehrere Wochen bei Temperaturen  $< 10^{\circ}\text{C}$  nur teilnitrifiziert e, wurden im Winter 2006/2007 die stickstoffbezogenen Einleitungswerte der Güteklasse 4 immer erfüllt.

Wie Anlage 3 zeigt, sanken im Versuchszeitraum vom 06.03. bis zum 20.06.2007 nur an wenigen Tagen (vom 22. bis zum 25.03.) die Abwassertemperaturen im Belebungsbecken auf  $< 10^{\circ}\text{C}$ . Somit konnte der erstrebte Nachweis nach Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit von Kläranlagen mit Stickstoffelimination bei niedrigen Temperaturen nicht geführt werden.

#### **1. Erkenntnis:**

***Die In-Situ-Versuche müssen im Winter 2007/2008 fortgeführt werden. Der Abschlusstermin dieser Forschungsarbeit muss somit verlängert werden.***

### **5.2.3.2 Zur Bewuchsstärke der Festbettoberflächen**

Aus Anlage 3 in Verbindung mit Anlage 2 wird ersichtlich, dass die Bewuchsstärken der Mikroorganismen auf den unterschiedlich temperierten Festbetten nur wenig schwankten. Die Einarbeitungszeit betrug bei  $12^{\circ}\text{C}$  bis  $14^{\circ}\text{C}$  etwa 10 Tage. Eine Ausnahme stellt die Bewertung am 25.04.2007 dar. Das mit  $24,8^{\circ}\text{C}$  (Sollstärke  $23^{\circ}\text{C}$ ) gemessene BFB zeigte bei einer Abwassertemperatur von ca.  $15^{\circ}\text{C}$  einen „mittelstarken“ Bewuchs. Aus Bild 7 ist diese Situation ersichtlich.



**Bild 7:**  
**Mittelstarker Bewuchs am 25.04.2007**

Wird gleichzeitig der dazugehörige Berichtszeitraum vom 18.04. bis zum 22.05.2007 betrachtet, fallen die Widersprüche des Energieverbrauchs (kWh) auf. Beim weniger erwärmten BFB (18°C) werden höhere kWh-Werte registriert als beim stärker erwärmten (23°C). Eine eindeutige Erklärung ist nicht möglich, weil

- einerseits im besagten Zeitraum ein ungleicher Bewuchs auf den Festbettoberflächen erkennbar war. Mit steigender Bewuchsdicke kann mit erhöhter Wärmedämmung gerechnet werden.
- andererseits die registrierten kWh-Verbräuche des „kälteren“ BFB im Vergleich zu den Zeiträumen vor dem 13.04.2006 und nach dem 08.05.2007 sehr hoch ausfielen.

Fehlerhaftes Ablesen der kWh-Werte kann nachweislich ausgeschlossen werden.

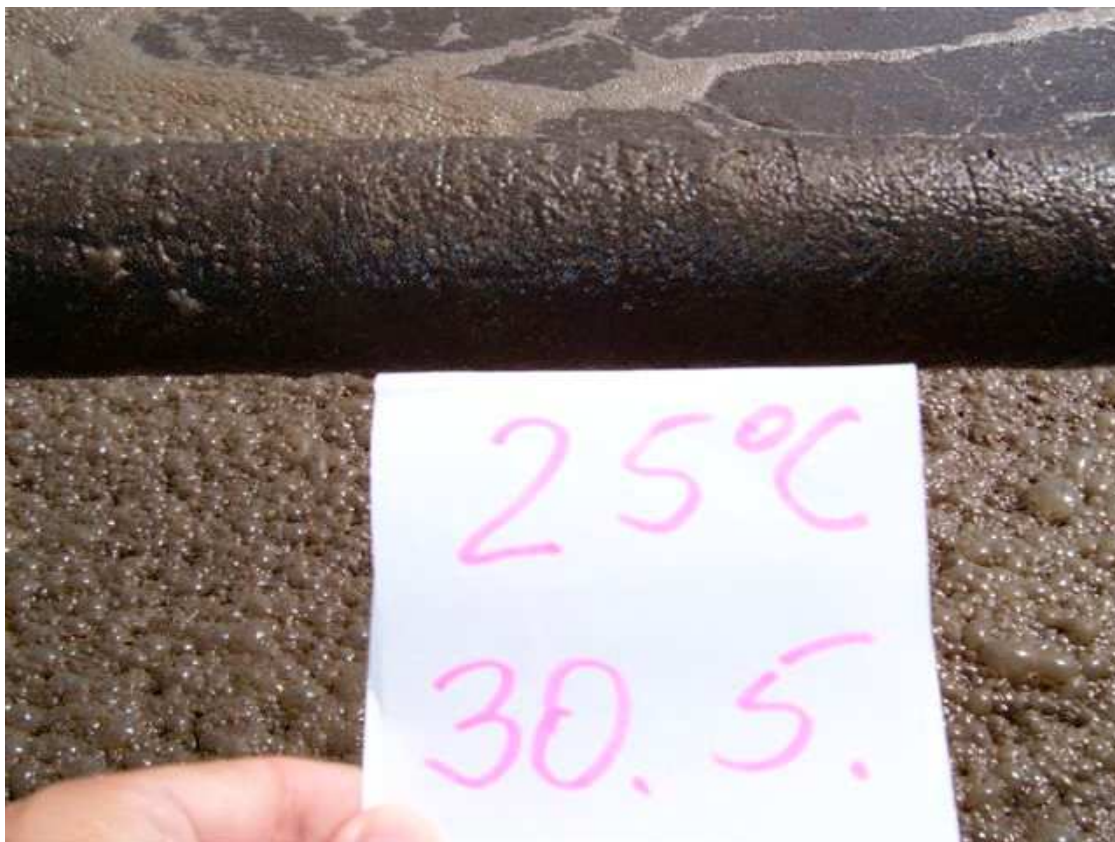
Anlässlich der am 25.04.2007 durchgeführten Bewertungen konnte noch eine weitere Erscheinung festgestellt werden. Die Dicke des Festbettbewuchses nahm auf den

beheizten Elementen in Fließrichtung des Heizwassers gut sichtbar ab. Ursächlich könnte das auf Abkühlungen des Heizmediums innerhalb des 1,00m langen BFB zurückzuführen sein.

Zur nächsten Bewertung am 30.05.2007 hatte sich ohne Fremdeinwirkung die ursprüngliche Bewuchssituation wieder eingestellt.

Am 30.05.2007 zeigte sich:

- Der Bewuchs auf den BFB war um 1 bis 2 Wertungspunkte, wie aus Bild 8 ersichtlich, zurückgegangen.
- Der Bewuchs auf dem unbeheizten Festbett erschien am intensivsten.
- Die gedämmten, mit Kunststofffolien isolierten und geschützten Trägerkonstruktionen der BFB (siehe auch Bilder 2 und 6) wiesen einerseits starken Bewuchs und andererseits nicht bewachsene Flächen auf.



**Bild 8:**  
Leichter Bewuchs am 30.05.2007



Über die zuletzt genannten Erscheinungen kann z. Z. nur spekuliert werden. Im Rahmen der im Winter 2005/2006 durchgeführten Vorversuche kam es insbesondere auf den höher erwärmten BFB zu mehrfachen Schlammablösungen. Danach erneuerte sich ihr Schlammaufbau relativ schnell. Die Frage, ob stärkerer Bewuchs zur Steigerung der Nitrifikationskapazität führt, wird im folgenden Punkt erörtert.

## **2. hypothetische Erkenntnis:**

***Mit steigenden Temperaturen im System Belebungsbecken – BFB erhöht sich die Bewuchsstärke der Festbetten. Der Bewuchs scheint über relevante wärmedämmende Eigenschaften zu verfügen. Mit plötzlichen Ablösungserscheinungen des Bewuchses auf den Festbetten ist zu rechnen.***

### **5.2.3.3 Zu den mikrobiologischen Untersuchungen**

Die durchgeführten mikrobiologischen Untersuchungen konzentrierten sich auf die Nitrifikationskapazität des Bewuchses der Festbetten bei unterschiedlichen Abwasser- und Heiztemperaturen der Festbetten. Anlage 4 informiert über die bisher gewonnenen Erkenntnisse von drei Probeentnahmen.

Am 14.03.2007 wurde ein Ammoniumgehalt von  $\text{HN}_4^+ = 75\text{mg/l}$  im Abwasser des Belebungsbeckens gemessen. Darauf bezogen erhöhte sich mit steigenden Temperaturen die erreichte Nitrifikationskapazität spürbar. Sie wird z. B. bei einer Temperaturdifferenz von  $12^\circ\text{C}$  (12K) mit 78% angegeben.

Eine Beziehung zwischen Bewuchsdicke und Nitrifikationskapazität konnte nicht hergestellt werden. Es wird vielmehr auf Literaturinformationen verwiesen, wonach dicke Bewuchsschichten zur Unterversorgung der tiefer angelagerten Bakterien führen können. Dadurch kann es, wie auch in den Vorversuchen 2006/2007 in der Kläranlage Weimar erfolgt, zur flächigen Ablösung des Bewuchses kommen.

Der Hinweis auf die geringe Eindringtiefe der Bakterien ( $\leq 5\text{mm}$ ) in die Oberfläche des gewählten Festbettmaterials (gesinterte Glaskügelchen) bedarf der besonderen

Erwähnung. Dieses Material scheint den im Punkt 5.1 formulierten Anforderungen von BFB ausreichend gut gerecht zu werden.

### **3. Erkenntnis:**

***Es wurde der Nachweis erbracht, dass mit steigenden Festbetttemperaturen, die deutlich über den verfügbaren Abwassertemperaturen lagen, die Nitrifikationskapazität der angesiedelten Nitrifikanten gesteigert werden konnte.***

#### **5.2.3.4 Zur Vermeidung unterversorgter Mikroorganismen bei dickem Festbettbewuchs**

Das Problem der Unterversorgung von Mikroorganismen ist in der Abwasserbehandlung bei sogenannten Schwachlasttropfkörpern bekannt. Diese Unterversorgung bezieht sich in erster Linie auf die unzureichende Sauerstoffbereitstellung in den unteren Schichten. Die Festbettkörper werden mit  $175\text{g BSB}_5/\text{m}^3\cdot\text{d}$  (entspricht  $4 \dots 5 \text{ EW}/\text{m}^3$ ) Reaktionsvolumen belastet. Dabei wächst die Biomasse auf dem Tropfkörperfüllmaterial (Festbettmaterial) ständig an. Infolge unzureichender Fließgeschwindigkeiten des Abwassers verstopfen die Zwischenräume zwischen dem Tropfkörperfüllmaterial. In den unteren Schichten entstehen anaerobe Verhältnisse. Diese und die veränderte Hydraulik zwischen dem Tropfkörperfüllmaterial führen zu ein bis zwei plötzlichen Schlammablösungen aus dem Schwachlasttropfkörper im Jahr.

Alternativ arbeitet der Hochlasttropfkörper. In diesem Reaktor muss eine hydraulische Oberflächenbelastung von  $0,8\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$  garantiert werden. Sie gewährleistet das ständige Abspülen abgestorbener Bakterien von der Festbettoberfläche. Einmalige plötzliche Schlammablösungen erfolgen nicht. Hochlasttropfkörper werden mit  $875\text{g BSB}_5/\text{m}^3\cdot\text{d}$  (entspricht  $20 \dots 25 \text{ EW}/\text{m}^3$ ) belastet. Zur Rückhaltung der ständig abgespülten Bakterien muss eine Nachklärung vorgesehen werden.

#### **4. Erkenntnis:**

**Bei der Nutzung von Belebtschlammanlagen mit eingebauten BFB sollten die hydraulischen Prinzipien von Hochlasttropfkörpern analog berücksichtigt werden. Dadurch wird die ungewollt große Stärke des Bewuchses auf den BFB vermieden. Das ständige Abspülen der abgestorbenen Bakterien in den Belebtschlammkreislauf ist unbedeutend.**

#### **5.2.3.5 Zum Energieverbrauch**

Wegen der dargelegten nicht eindeutig erklärbaren Situation in der In-Situ-Anlage etwa vom 18.04. bis zum 04.06.2007 wird für die folgenden energetischen Betrachtungen nur der Zeitraum vom 16.03. bis zum 12.04.2007 berücksichtigt.

Tabelle 1 zeigt in grober Näherung die Zusammenhänge zwischen der Abwassertemperatur (sie entspricht der Temperatur des unbeheizten Festbettes UFB), den Temperaturen der BFB und den gemessenen Energieverbräuchen. Dabei handelt es sich um gemittelte Werte.

**Tabelle 1:  
Vergleiche von Temperaturen und Energiebedarf**

Temperaturen in °C			Temperaturdifferenz		Energiebedarf	
UFB	BFB A	BFB B	Diff. 1	Diff. 2	kWh <sub>A</sub>	kWh <sub>B</sub>
			BFB A - UFB	BFB B - UFB		
12,19	18,48	22,14	6,29	9,95	2,7	21,9

Wie die Werte dieser Tabelle zeigen, führt eine Temperatursteigerung von Diff. 1 zu Diff. 2 um 63% zu einem Energiemehrbedarf von 811%. Dabei gilt diese enorme Energiebedarfserhöhung für mittlere Werte nitrifikationsfördernder Temperaturen. Unabhängig davon ist allerdings die noch vorhandene Unkenntnis über die tatsächlichen Temperaturen im Bereich des biologischen Bewuchses. Im Rahmen von Versuchen im Labormaßstab sollen dazu weitere Erkenntnisse gewonnen werden.

## **5. Erkenntnis:**

***Aus energetischen Gründen wird das Forschungsziel „Optimierung der Reaktionsräume“ durch den Einsatz von BFB nicht weiter verfolgt. Unbeschadet davon bleibt das Forschungsziel „Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit im Winterbetrieb“ erhalten.***

## **5.3 Laborversuche zum Kohlenstoffabbau**

### **5.3.1 Versuchsaufbau**

Die Versuche im Kleinstmaßstab werden in einem zentralen Pumpwerk der Kläranlage Weimar durchgeführt. Dabei wird mechanisch vorgeklärtes Abwasser einer in Betrieb befindlichen Pumpe entnommen. Die Abwassermengen, ca. 1,0l/min, werden halbiert. Die eine Hälfte soll in ein Aquarium, welches zu einer Fermenterkläranlage (ohne Rücklaufschlamm) umgebaut wurde, eingeleitet werden. Die andere Hälfte wird zunächst auf ca. 2°C abgekühlt und danach ebenfalls über eine gleichartige Fermenterkläranlage geleitet. In beide Fermenter werden beheizte und unbeheizte Festbetten installiert. Es werden ähnliche Vergleiche wie in der In-Situ-Anlage durchgeführt.

Gegenwärtig wird am Aufbau der Kühlanlage gearbeitet. Diese besteht aus einer Tiefkühltruhe, in die ein runder Kunststoffbehälter eingebaut ist. In diesen Behälter ist als Wärmeaustauscher eine Kunststoffwendel installiert, durch die das normal temperierte Abwasser fließt. Außerdem ist der Kunststoffbehälter mit einem auf ca. -10°C abgekühlten Kältemittel gefüllt. Dieses wird in einem Kühlgerät Julabo FC 1400 hergestellt. Bild 9 zeigt die Situation zur Abkühlung des Abwassers. Im Bild 10 steht das Kühlgerät rechts neben der Tiefkühltruhe. In dieses Kühlsystem sind weitere Armaturen, wie z. B. Umlaufpumpe und Thermostatventile integriert.



**Bild 9:**  
Tiefkühltruhe mit eingebauten Vorrichtungen zur Abwasserkühlung



**Bild 10:**  
Kühlgerät Julabo FC 1400 und Tiefkühltruhe

### **5.3.2 Versuchsergebnisse**

Es liegen noch keine Versuchsergebnisse vor. Die Abkühlung des z. Z. rund 18-19°C warmen Abwassers auf die angestrebte Temperatur von 2°C ist mit der vorhandenen Technik bisher nicht gelungen. Deshalb konnte auch noch nicht mit dem Aufbau der beiden Fermenterkläranlagen im Kleinstmaßstab begonnen werden.

Bei der Abkühlung des normal temperierten Abwassers ab Herbst 2007 bestehen berechnete Hoffnungen, den gewünschten niedrigen Temperaturbereich von ca. 2°C zu erreichen. Unabhängig davon werden gegenwärtig Änderungen an der Konstruktion vorgenommen.

## **6. Zusammenfassung**

Der relativ „warme“ Winter 2006/2007 war für die temperaturabhängigen In-Situ-Versuche mit beheizten und unbeheizten Festbetten in einem Belebungsbecken der Kläranlage Weimar nicht förderlich. Im 1. Halbjahr 2007 wurden folgende Ergebnisse gewonnen:

- Der gewählte konstruktive und stoffliche Aufbau der Festbetten unter Verwendung von gesinterten Glaskügelchen als wärmedämmende und mikroorganismen tragende Hülle um ein heizmediumführendes Innenrohr aus Edelstahl hat sich als praxistauglich erwiesen.
- Die Bewuchsstärke der auf den Festbetten angesiedelten Mikroorganismen ist bei ausreichendem Substratangebot temperaturabhängig. Infolge der hydraulisch bedingten Turbulenzen im Belebungsbecken schwankte die Bewuchsstärke nur gering. Aus gegenwärtiger Sicht erscheinen dünne Bewüchse mikrobiologisch erstrebenswert.
- Mit steigenden Temperaturen bis maximal 25°C konnte die Nitrifikationskapazität der auf den beheizten Festbetten angesiedelten

Nitrifikanten, bezogen auf die Ausgangstemperatur von 12°C, um bis zu 78% gesteigert werden.

- Aus energetischen Gründen erscheint die angestrebte „Optimierung der Reaktionsvolumina infolge erhöhter Festbetttemperaturen“ nicht effektiv. Diese Zielstellung sollte deshalb nicht weiter verfolgt werden – im Gegensatz zur Zielstellung „Erhaltung der Funktionstüchtigkeit biologischer Kläranlagen im Winterbetrieb“.
- Bezogen auf den Aufbau der Laborkläranlagen zur Lösung der Kohlenstoffelimination konnte die angestrebte Abkühlung des Abwassers von z. Z. > 18°C auf rund 2°C nicht erreicht werden .
- Ein weiterer Erkenntnisgewinn wird in der Winterperiode 2007/2008 erwartet. Die zeitliche Verlängerung des Forschungsthemas sollte deshalb beantragt werden.

## Niederschrift 1

**über eine Beratung zum Forschungsprojekt „Entwicklung und Bilanzierung beheizter Festbetteinrichtungen zur Leistungssteigerung vorhandener Abwasserteichanlagen im Winter“**

Teilnehmer: Herr Schäfer, Herr Harz, Herr Jens Voigtländer, Herr Besuch,  
Herr Prof. Voigtländer als Berichterstatter

Ort: Kläranlage Weimar

Zeit: 27.03.2007 von 10.00 bis 11.30 Uhr

### 1. Vorbemerkungen

Dem Forschungsprojekt liegen drei grundsätzliche Zielstellungen zugrunde:

1.1 Erhaltung der Funktionsstüchtigkeit von Kläranlagen bei niedrigen Temperaturbedingungen

- für den Kohlenstoffabbau bei  $T \leq 2^{\circ}\text{C}$ ,
- für die Nitrifikation bei  $T \leq 10^{\circ}\text{C}$

1.2 Optimierung der Reaktionsräume infolge beheizter Festbetten mit den Temperaturbereichen

- $18^{\circ}\text{C}$ ,
- $23^{\circ}\text{C}$ .

1.3 Energieminimierung gegenüber Lösungen, bei denen das gesamte Substrat erwärmt wird

Die Versuche werden durchgeführt für

- den Kohlenstoffabbau in zwei Laboranlagen,
- die Nitrifikation in einem Belebungsbecken der KA Weimar.

### 2. Zum Stand des Versuchsaufbaus

#### 2.1 Nitrifikation

Herr Jens Voigtländer berichtete über den Versuchsaufbau. Ausführender Betrieb war die Firma Savues im Auftrag der ENGENIOS AG. Eingebaut wurden 3 Festbetten, bestehend aus einem Edelmetallrohr  $l = 1.000\text{mm}$ ,  $d = 12\text{mm}$  (außen). Dieses das Heizmedium Wasser führende Rohr wurde mit einem Dämmrohr  $d = 100\text{mm}$  aus gesinterten Glaskugeln umhüllt. Das Heizmedium wurde dem Warmwasserkreislauf der KA Weimar entnommen.

Die Versuchsanlage wurde am 05.03.2007 an die KA Weimar übergeben. Da der Vorlauf des Warmwasserkreislaufs ca.  $70^{\circ}\text{C}$  betrug, musste zur Gewährleistung konstanter Temperaturbereiche in den Festbetten ( $18^{\circ}\text{C}$ ,  $23^{\circ}\text{C}$ ) durch einen nachträglich eingebauten Wärmeaustauscher der Vorlauf auf  $30^{\circ}\text{C}$  reduziert werden. Dieser Umbau erfolgte am 15.03.2007. Das dritte Festbett war unbeheizt. Seine Eigentemperatur entsprach der Abwassertemperatur im Belebungsbecken ( $T = 9^{\circ}\text{C} \dots 13^{\circ}\text{C}$ ).



## 2.2 Kohlenstoffabbau

Die beiden Laboranlagen für

- die Bewertung der beheizten Festbetten bei aktuellen Abwassertemperaturen,
- die Bewertung der beheizten Festbetten bei Abwassertemperaturen um 2°C sind noch nicht aufgebaut.

Herr Besuch erläuterte die Funktionsweise des gekauften Kühlgerätes Julabo FC 1400. Es besteht die Absicht, durch ein im Kühlgerät produziertes Kühlmedium mithilfe eines Wärmeaustauschers (Eigenproduktion der KA Weimar oder Ankauf) das anfallende Abwasser auf ca. 2°C abzukühlen. Dieses Abwasser soll einer der beiden Laboranlagen zugeführt werden.

## 3. Zur Bewertungsmethodik der beheizten Festbetten

In erster Näherung sollen die Leistungen der beheizten Festbetten beurteilt werden nach

- visuellem Bewuchs,
- mikrobiologischen Aktivitäten.

Den visuellen Bewuchs beurteilen die Herren Jens Voigtländer und Besuch im 14-tägigem Abstand. Dazu liegt eine 10-stufige Tabelle vor. Außerdem werden Fotos zur Dokumentation angefertigt.

Die mikrobiologischen Aktivitäten werden einmal monatlich durch das Institut für Umweltmedizin Erfurt bestimmt. Den Auftrag hierzu löst Herr Jens Voigtländer aus.

## 4. Aktuelle Bewertung der Festbetten im Belebungsbecken der KA Weimar

Auf allen drei Festbetten hatte sich am 27.03.2007 ein deutlich sichtbarer Bewuchs aufgebaut. Unterschiede waren nicht erkennbar. Von den Teilnehmern der Beratung wurde festgelegt, bereits zur nächsten visuellen Bewertung in ca. 2 Wochen den Vertreter des Institutes für Umweltmedizin Erfurt zur Teilnahme einzuladen.

## 5. Nächste Beratung

- Termin: 25.04.2007 um 10.00 Uhr in der KA Weimar
- Über einen evtl. erweiterten Teilnehmerkreis entscheiden Herr Prof. Voigtländer und Herr Jens Voigtländer.

## 6. Verteiler

Siehe Anwesende

i. A.  
gez. Prof. Voigtländer

Kiliansroda, den 27.03.2007

## Niederschrift 2

### über eine Beratung zum Forschungsprojekt „Entwicklung und Bilanzierung beheizter Festbetteinrichtungen zur Leistungssteigerung vorhandener Abwasserteichanlagen im Winter“

Teilnehmer: Herr Schäfer, Herr Jens Voigtländer, Herr Besuch,  
Herr Prof. Manuwald, Herr Stumm, Herr Prof. Voigtländer

entschuldigt: Herr Harz

Ort: Kläranlage Weimar

Zeit: 25.04.2007 von 10.00 Uhr bis 11.15 Uhr

#### 1. Besichtigung der Festbetten (FB) im Belebungsbecken

##### 1.1 Subjektive optische Erkenntnisse

Optisch erkennbar war:

- Ein deutlicher Bakterienbewuchs auf dem FB mit 15°C ( Abwasserwärme ).
- Ein deutlicher Bakterienbewuchs auf dem beheizten FB mit 18°C, der allerdings in Fließrichtung des Heizwassers gut sichtbar abnahm.
- Ein mittelstarker Bakterienbewuchs auf dem FB mit 23°C, der ebenfalls in Fließrichtung des Heizwassers gut sichtbar abnahm.
- Dass das Festbettmaterial bei der Entnahme des biologischen Rasens mittels eines Messers leicht bröselde. Von Hr. Stumm wurden an je 2 Punkten der drei FB von deren Oberfläche mikrobiologische Proben entnommen.

##### 1.2 Zum Einbau der Wärmefühler in den beheizten FB

Es wurde festgestellt, dass die der Wärmesteuerung dienenden Wärmefühler in den FB an unterschiedlichen Orten angeordnet sind. Beim 18°C warmen FB befinden sie sich am Zulauf, beim 23°C warmen FB am Auslauf. Durch diese unterschiedlich angeordneten Messpunkte wird der gewünschte Wärmeunterschied von 5°C spürbar reduziert. Die Messergebnisse sind deshalb nicht eindeutig.

#### 2. Bewertung der Besichtigungsergebnisse und darauf aufbauende Empfehlungen

##### 2.1 Bewuchsreduzierung in Fließrichtung des Heizwassers an der Oberfläche der FB

Dieser Effekt erscheint sehr interessant. Er zeigt,

- Innerhalb der Heizröhren im Festbett kühlt sich das Heizwasser trotz geringer Wärmedifferenz ( 15°C Abwasser zu 18°C bzw. 23°C Heizwasser ) relativ schnell ab.
- Dass auch bei geringen Wärmedifferenzen ein deutlicher Wachstumsunterschied des biologischen Rasens erkennbar ist.

## 2.2 Präzisierung der Festbetttemperatur

Wie allgemein bekannt, kann der gegenwärtige Versuch infolge der hohen Abwassertemperatur im Belebungsbecken nicht dem Ziel der Erhaltung der Funktionstüchtigkeit der Anlage bei niedrigen Temperaturen (= 10°C) dienen.

Um den Lastfall "Optimierung der Reaktionsvolumina" zu bedienen, hat Herr Stumm Herrn Prof. Voigtländer folgende neue Zulauftemperaturen telefonisch am 26.04.2007 empfohlen: 23°C und 37°C

## 2.3 Empfehlungen

Hr. Jens Voigtländer wird Hr. Gröbel bitten:

- Die Fa. Savus zu beauftragen, den Wärmefühler in dem FB mit 23°C vom Ablauf zum Zulauf umzusetzen.
- Je zwei Elemente (vorn und hinten) der beheizten FB (ca. 12 cm breit) sowie ein Element des unbeheizten FB ausbauen zu lassen und durch neue Elemente zu ersetzen. Hr. Stumm wird diese ausgebauten Elemente mikrobiologisch untersuchen.
- Die beiden beheizten FB mit 23°C und 37°C neu einstellen zu lassen.

## 3. Vorbereitung der beiden Versuchsanlagen zum C-Abbau

Herr Besuch erläuterte den Stand der Vorbereitung, die sich z.Z. noch auf Maßnahmen zur Abkühlung des Abwassers für eine der beiden Versuchsanlagen konzentriert.

- Der erworbene Umlaufkühler funktioniert, er kühlt bis -10°C (Kühlmedium)
- Im Sinne eines technologischen Fließbildes wird vor dem konzipierten Kühlbecken aus Kunststoff eine noch zu beschaffende Tiefkühltruhe angeordnet. Diese wird durch Hr. Schäfer beschafft.
- In das Kühlbecken soll eine Kühlschlange aus Edelstahl von der Fa. Schneider (WE) angefertigt und eingebaut werden.
- Es besteht die Absicht 0,5 l/min Flüssigkeit auf ca. 2°C abzukühlen.
- Weitere erforderliche Armaturen (z.B. Thermostatventil, Umlaufpumpe) werden vom Abwasserbetrieb beschafft.

Es wurde vereinbart, dass die finanzielle Abwicklung direkt zwischen Hr. Schäfer und dem Abwasserbetrieb Weimar geregelt wird. Bis zur nächsten Beratung im Juni 2007 sollte die Kühlanlage betriebsbereit sein. Die theoretische Konzipierung der beiden Versuchsanlagen im Labormaßstab erfolgt ad hoc zwischen den Herren Jens Voigtländer, Besuch und Prof. Voigtländer ebenfalls bis zur nächsten Beratung.

## 4. Nächste Beratung

Die nächste Beratung findet am 20.06.2007 um 10.00 Uhr in der Kläranlage Weimar statt. Eingeladen sind alle im Verteiler genannten Kollegen.

Eine nochmalige Einladung erfolgt nicht.

Verteiler: Hr. Schäfer, Hr. Jens Voigtländer, Hr. Besuch, Hr. Prof. Manuwald,  
Hr. Stumm, Hr. Prof. Voigtländer, Hr. Harz, Hr. Gröbel, Hr. Dr. H. Lopp  
Hr. Dr. M. Lopp

gez. Prof. Voigtländer

Kiliansroda, den 02.05.2007

### Niederschrift 3

#### über eine Beratung zum Forschungsprojekt „Entwicklung und Bilanzierung beheizter Festbetteinrichtungen zur Leistungssteigerung vorhandener Abwasserteichanlagen im Winter“

Teilnehmer: Herr Jens Voigtländer  
Herr Uwe Besuch  
Herr Prof. Voigtländer

Ort: Kläranlage Weimar

Zeit: 30.05.2007 von 10.00 Uhr bis 11.45 Uhr

#### 1. Aufbau der beiden Versuchsanlagen zum C- Abbau

##### 1.1 Kälteteil

Die beiden Hauptaggregate – Kühlanlage und Tiefkühltruhe – sind vorhanden und funktionstüchtig.

Von Herrn Besuch wurde das Konzept des Kälteteils vorgestellt. Danach ist geplant, mechanisch vorgereinigtes Abwasser aus der Druckleitung der Kläranlage die zu den Belebungsbecken führt, zu entnehmen.

Hinter der Entnahme wird eine Pumpe installiert, deren Funktion im Regeln und Trennen des Abwasserstroms für die beiden Laboranlagen ( normales und gekühltes Abwasser ) besteht.

Das zu kühlende Abwasser wird durch eine Wendel (Kunststoff) geführt, die sich in einem Behälter mit Kühlflüssigkeit (ca. -10 °C) befindet. Zur Unterstützung der Kühlung wird dieser Behälter in eine Tiefkühltruhe gestellt.

In einem inneren Kältekreislauf wird die Kühlflüssigkeit über die Kühlanlage, in der sie abgekühlt wird, zurück in den Behälter der Tiefkühltruhe geleitet. In diesem Behälter wird zur Regelung ein Temperaturfühler eingebaut. Im „Wendel-Ausgang“ wird ebenfalls ein Temperaturfühler mit Regelorgan zur Bestimmung des in der „Wendel“ abgekühlten Abwassers angeordnet.

Mit dem Versuchsaufbau des Kälteteiles wird umgehend begonnen. Nachdem die erreichbare niedrigste Abwassertemperatur und Abwassermenge praktisch erkundet ist, wird die Geometrie des Abwasserteiles (Aquarium) bestimmt.

##### 1.2 Abwasserteil

In erster Näherung sollten in den Abwasserteil, bestehend aus zwei variablen Räumen für die Belüftung und Festbettbesiedlung, mindestens drei Festbette in der kalten Laboranlage mit unterschiedlichen Eigentemperaturen gewählt werden:

- Festbett ist unbeheizt, Eigentemperatur entspricht der Abwassertemperatur (2°C - 4°C),
- Festbett ist beheizt zur Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit (ca. 5°C) für C-Abbau,
- Festbett ist beheizt zum Vergleich mit der Laboranlage für normales Abwasser (10°C -16°C).

Bei dieser Temperaturkonstellation besteht allerdings die Gefahr der Erwärmung des Abwassers im Festbettraum des Aquariums.

Für die warme Laboranlage wird zunächst empfohlen:

- Festbett ist unbeheizt, Eigentemperatur entspricht der Abwassertemperatur (10°C -16°C)
- Festbett ist beheizt auf 23°C zur Optimierung der bakteriellen Umsatzraten (siehe Empfehlung von Herrn Stumm vom 26.04.2007). Auch bei dieser Lösung besteht bereits die Gefahr der Erwärmung des Abwassers im Festbettraum. Deshalb wird auf die ebenfalls von Herrn Stumm empfohlene Variante 37°C verzichtet.

## 2. Optische Bewertung der Festbetten im Belebungsbecken

Die in der Niederschrift vom 02.05.2007 empfohlene Veränderung an den eingebauten Wärmefühlern in den beheizten Festbetten ist erfolgt. Beide Wärmefühler befinden sich jetzt am Warmwasserausgang der Festbetten.

Da für die Steuerung der Festbettbeheizung aus Kostengründen ein System aus dem Wohnungsbau gewählt wurde, kann die von Herrn Stumm gewünschte maximale Festbetttemperatur von 37°C nicht eingestellt werden. Am 08.05.2007 wurden die neuen Temperaturen 18°C und 25°C (gemessen am Ende der Festbetten) zu neuen Regelgrößen bestimmt.

In der letzten Zeit haben sich die Abwassertemperaturen im Belebungsbecken ständig erhöht. Am 24.05.2007 betragen sie z.B. 18,2°C. Die hohen Temperaturen wirken sich negativ auf die gewollten Temperaturdifferenzen und somit auf die Versuchsergebnisse aus.

So konnten am 30.05.2007 kaum noch Bewuchsunterschiede des biologischen Rasens auf den drei Festbetten optisch ermittelt werden. Auffallend war allerdings der z. T. sehr starken Bewuchs auf den glatten Oberflächen der die Festbette tragenden Rohrkonstruktionen. Offensichtlich war ein Teil dieses ehemals starken Bewuchses, ähnlich wie bei den 2006 durchgeführten Vorversuchen, bereits von den Rohrkonstruktionen abgerutscht. .

Es konnte nicht festgestellt werden, ob ähnliche Erscheinungen an den Oberflächen der Festbette stattgefunden hatten.

Im Ergebnis dieser Besichtigung wurde mit Herrn Stumm telefonisch vereinbart:

- Herr Jens Voigtländer übergibt in Kürze die noch auszubauenden Elemente der beheizten Festbette (siehe Niederschrift vom 02.05.2007, Abschnitt 2.3)
- Herr Stumm entnimmt eine erneute biologische Probe und analysiert erstmalig alle verfügbaren biologischen Proben. Aus Kostengründen (teure Leihapparate) kann nicht jede entnommene biologische Probe einzeln analysiert werden
- Zur Beratung am 20.06.2007 wird Herr Stumm über die Ergebnisse berichten.

Vor dieser Beratung treffen sich o. g. Kollegen erneut am 13.06.2007 in kleinem Kreis.

Verteiler:      Hr. Jens Voigtländer  
                   Hr. Besuch  
                   Hr. Prof. Voigtländer  
                   Hr. Stumm  
                   Hr. Schäfer  
                   Hr. Harz

gez. Prof. Voigtländer

Kiliansroda, 01.06.2007

#### **Niederschrift 4**

### **über eine Beratung zum Forschungsprojekt „Entwicklung und Bilanzierung beheizter Festbetteinrichtungen zur Leistungssteigerung vorhandener Abwasserteichanlagen im Winter“**

Teilnehmer: Herr Jens Voigtländer  
Herr Uwe Besuch  
Herr Stumm  
Herr Prof. Voigtländer

Ort: Kläranlage Weimar

Zeit: 13.06.2007 von 10.00 Uhr bis 11.30 Uhr

#### 1. Aufbau der beiden Versuchsanlagen zum C- Abbau

Mit dem Aufbau des Kälteteiles der Versuchsanlagen in einem Pumpenhaus der Kläranlage wurde begonnen. Die Kollegen der Kläranlage werden sich bemühen, bis zum nächsten Treffen des erweiterten Teilnehmerkreises am 20.06.2007, die Funktionstüchtigkeit des Kälteteiles herzustellen. Herr Jens Voigtländer listet bis dahin die dem Abwasserbetrieb entstandenen Materialkosten auf.

#### 2. Optische Bewertung der Festbetten und Festbettmaterialentnahme im Belebungsbecken

Die temperaturbedingte Situation des Abwassers im Belebungsbecken und der drei Festbetten entspricht in etwa der in der Niederschrift von 01.06.2007 geschilderten. Gleiches trifft auf die unmerklichen Bewuchsunterschiede der Festbetten zu.

Noch deutlicher hat sich der starke Bewuchs auf den glatten Oberflächen der die Festbetten tragenden Rohrkonstruktionen entwickelt. Auf diesen mit glatten Isoliermaterialien umwickelten Elementen sind auch unbewachsene Flächen erkennbar. Es hat den Anschein, als wäre an diesen Stellen der Bewuchs abgerutscht.

Solche Erscheinungen wurden bereits im Rahmen der Vorversuche im Winter 2005/06 beobachtet.

Inwieweit dabei auch hydraulische Beeinflussungen wirksam wurden, kann zur Zeit nicht abgeschätzt werden.

Zur nächsten Beratung am 20.06.2007 sollte die Eignung des verwendeten Festbettmaterial - gesinterte Glaskügelchen - zur Diskussion gestellt werden.

Aus allen drei Festbetten wurden Materialproben entnommen. Aus optischer Sicht ist der biologische Bewuchs nur unbedeutend tief in die Festbettoberfläche eingedrungen. Herr Stumm wird alle bisher vorliegenden Proben einschließlich des entnommenen Festbettmaterials auf seine mikrobiologische Effektivität analysieren. Die Ergebnisse werden von ihm am 20.06.2007 vorgestellt.

Das entnommene Festbettmaterial aus gesintertem Glas wurde durch Kunststoffmaterial ersetzt.

Verteiler: Hr. Jens Voigtländer, Hr. Besuch, Hr. Stumm, Hr. Prof. Voigtländer, Hr. Harz, Hr. Schäfer

gez. Prof. Voigtländer

Kiliansroda, 15.06.2007

## Niederschrift 5

### über eine Beratung zum Forschungsprojekt "Entwicklung und Bilanzierung beheizter Festbetteinrichtungen zur Leistungssteigerung vorhandener Abwasserteichanlagen im Winter"

Teilnehmer: Herr Gröbel  
Herr Harz  
Herr J. Voigtländer  
Herr Besuch  
Herr Stumm  
Herr Schäfer  
Herr Prof. Voigtländer

entschuldigt: Herr Prof. Manuwald  
Herr Dr. H. Lopp  
Herr Dr. M. Lopp

Ort: Kläranlage Weimar

Zeit: 20.06.2007 von 10.00 Uhr bis 12.30 Uhr

#### 1. Festbetteinrichtungen im Belebungsbecken

Infolge der konstant hohen Abwassertemperaturen im Belebungsbecken entsprachen die optisch beurteilbaren Situationen (Temperaturen der Festbetten, kWh- Verbrauch, biologischer Bewuchs der Festbetten) in etwa denen, wie in den Niederschriften vom 01.06.2007 und 15.06.2007 beschriebenen.

Auf den neu eingebauten Kunststoffmaterialien waren nach einer Woche Liegezeit noch keine biologischen Ansiedlungen erkennbar.

Neben dem bisher erfassten Parameter "temperaturabhängiger Bewuchs" informierte Hr. Stumm über den neuen Parameter "temperaturabhängige mikrobiologische Aktivitäten".

Daraus wird geschlussfolgert:

- Mit steigenden Temperaturen erhöhen sich im Vergleich zum Bewuchs die mikrobiologischen Aktivitäten (Nitrifikationskapazität) deutlicher. Letzterer Wert ist quantifizierbar.
- Der aus praktischer Sicht gegenwärtig zur Verfügung stehende Temperaturbereich des Abwassers (18°C) entspricht nicht den vorrangig interessierenden Temperaturbereich von 6°C bis 12°C.

Von den Teilnehmern der Beratung wurde die Stilllegung der in-situ-Anlage (Belebungsbecken) bis zum Beginn der Winterperiode 2007/08 beschlossen. Herr Gröbel wird die Firma Savus um die sachgemäße Stilllegung der Anlage bitten.

Herr Stumm wird im Rahmen weiterer Untersuchungen mithilfe eines auszuleihenden "Fluoreszenzmarkierten Gensondengerätes" bis zur nächsten Beratung im September diesen Jahres von allen vorliegenden eingefrorenen Proben die unterschiedlichen Bakteriengruppen spezifizieren. Insbesondere interessiert deren Anteil an den Nitratsumsätzen.

Die von Herrn Stumm am 15.06.2007 von allen drei Festbetten entnommenen Materialproben ergaben u.a., dass der biologische Bewuchs nur max. 5mm tief in die gesinterten Glaskügelchen eingedrungen ist. Außerdem bleibt festzuhalten, unabhängig von der Festbettinnentemperatur schwankt der optisch wahrnehmbare biologische Bewuchs auf

der Oberfläche nur wenig. Hypothetisch wird daher vermutet, die eingesetzten Festbettmaterialien verhalten sich ähnlich wie Tropfkörperfüllmaterialien von Hochlasttropfkörpern.

Die Turbulenzen im Belebungsbecken entsprechen dabei der Spülwirkung im Tropfkörper. Die abgestorbenen Biomassen an deren Oberflächen (biologischer Rasen) werden ständig abgetragen und in den Belebtschlammkreislauf integriert.

Auf dieser Hypothese aufbauend erfüllt das gewählte Festbettmaterial aus gesinterten Glaskügelchen zwei gewollte Funktionen:

- Wärmedämmung zwischen den warmwasserführenden Innenrohr und der bakterientragenden Festbettoberflächen,
- Haftfähigkeit der bakterientragenden Oberfläche.

Herr Stumm wird sich im Rahmen eines Kleinstversuches bemühen, die Temperaturgradienten im Festbett - beginnend am warmwasserführenden Innenrohr und endend an der Festbettoberfläche - zu erfassen.

## 2. Aufbau der beiden Versuchsanlagen zum C- Abbau

Der Aufbau des Kälteteiles der Versuchsanlage in einem Pumpenhaus der Kläranlage wurde durchgeführt.

Bisher ist es nicht gelungen, die angestrebten Parameter

- $T = 2^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$
- $Q = 0,5 \text{ l/min}$

zu erreichen. Seitens des Abwasserbetriebes wird an der Vervollkommnung weitergearbeitet.

Erst in einem zweiten Schritt kann mit der Dimensionierung und dem Aufbau der beiden Versuchsanlagen begonnen werden.

## 3. Zwischenbericht an die DBU

Die DBU erwartet bis zum 31.07.2007 einen Zwischenbericht zum vorliegenden Forschungsprojekt 21755/ 2.Phase. Diese Aufgabe wird von Hr. Prof. Voigtländer übernommen.

Nächste Beratung:

Die nächste Beratung findet am 05.09.2007 um 10.00 Uhr in der Kläranlage Weimar statt. Eingeladen sind alle im Verteiler genannten Kollegen. Eine nochmalige Einladung erfolgt nicht.

Verteiler: Hr. Gröbel, Hr. Harz, Hr. J. Voigtländer, Hr. Besuch, Hr. Stumm, Hr. Schäfer, Hr. Prof. Manuwald, Hr. Dr. H. Lopp, Hr. Dr. M. Lopp, Hr. Prof. Voigtländer

Gez. Prof. Voigtländer

Kiliansroda, 27.06.2007



**Anlage 2:**  
**Bewertungsschema zur Bewuchsstärke der Mikroorganismen**

<b>Note</b>	<b>Qualitative Kennzeichnung</b>
1	kein Bewuchs erkennbar
2	leichter Bewuchs auf Einzelflächen erkennbar
3	leichter Bewuchs auf der Gesamfläche erkennbar
4	deutlicher Bewuchs auf der Gesamfläche erkennbar
5	mittelstarker Bewuchs erkennbar
6	starker Bewuchs erkennbar
7	starker Bewuchs bei gleichzeitigen Ablösungen
8	starker Bewuchs bei dominanten Ablösungen
9	totale Ablösungserscheinungen
10	totale Ablösungserscheinungen bei gleichzeitigem Bewuchsneubeginn

**Anlage 3:**  
**Zusammenstellung der Messwerte des In-Situ-Versuches**

Datum		UFB		BFB A					BFB B				
2007		Abwasser- temperatur (°C)	Wertung nach Anlage 2	Temp. (°C)	Temp.- Differenz zu UFB (°C)	kWh absolut	kWh spezif.	Wertung nach Anlage 2	Temp. (°C)	Temp.- Differenz zu UFB (°C)	kWh absolut	kWh spezif.	Wertung nach Anlage 2
06.03.	11:00	12,5	./.	20,4	7,9	1,0	./.	./.	22,3	9,8	0,7	./.	./.
07.03.	14:15	12,8	./.	19,0	6,2	1,0	./.	./.	23,1	10,3	0,8	0,1	./.
08.03.	16:00	12,8	./.	19,0	6,2	1,0	./.	./.	21,5	8,7	1,1	0,3	./.
09.03.	12:50	13,1	./.	20,5	7,4	1,1	0,1	./.	24,1	11,0	1,2	0,1	./.
10.03.	10:00	11,9	./.	18,3	6,4	1,2	0,1	./.	28,0	16,1	1,4	0,2	./.
12.03.	10:00	11,6	1	21,5	9,9	1,6	0,4	1	25,8	14,2	2,1	0,7	2
13.03.	14:00	13,4	./.	18,8	5,4	1,7	0,1	./.	29,3	15,9	2,4	0,3	./.
14.03.	15:30	14,0	./.	23,4	9,4	1,7	0,0	./.	28,5	14,5	2,4	./.	./.
15.03. Neueinstellung des Systems: zusätzlicher Wärmeaustauscher Ziel: BFB A = 18°C, BFB B = 23°C													
16.03.	10:00	13,3	./.	19,0	5,7	1,9	0,2	./.	22,4	9,1	3,7	1,3	./.
19.03.	15:00	12,0	./.	18,1	6,1	1,9	0,0	./.	23,1	11,1	5,5	1,8	./.
20.03.	12:50	12,4	./.	18,7	6,3	1,9	0,0	./.	21,5	9,1	6,5	1,0	./.
21.03.	13:40	11,9	./.	17,9	6,0	2,0	0,1	./.	21,6	9,7	7,8	1,3	./.
22.03.	13:30	8,3	./.	18,3	10,0	2,3	0,3	./.	21,6	13,3	10,0	2,2	./.
25.03.		9,5	./.	18,1	8,6	2,7	0,4	./.	21,6	12,1	11,8	1,8	./.
26.03.		10,7	./.	18,9	8,2	2,8	0,1	./.	22,0	11,3	12,7	0,9	./.
27.03.	11:00	11,6	3	18,8	7,2	3,0	0,2	3	22,2	10,6	13,7	1,0	3
28.03.	14:00	12,5	./.	19,2	6,7	3,1	0,1	./.	21,6	9,1	14,8	1,1	./.
30.03.	14:00	13,0	./.	18,0	5,0	3,3	0,2	./.	23,0	10,0	16,4	1,6	./.
01.04.	10:00	12,8	./.	18,8	6,0	3,6	0,3	./.	21,5	8,7	17,8	1,4	./.
02.04.	13:00	13,0	./.	18,8	5,8	3,9	0,3	./.	21,9	8,9	18,3	0,5	./.
03.04.		13,4	./.	18,3	4,9	4,0	0,1	./.	22,9	9,5	19,2	0,9	./.
04.04.	13:00	12,7	3	18,1	5,4	4,0	0,0	3	22,4	9,7	20,1	0,9	3
05.04.	14:00	13,0	./.	17,9	4,9	4,1	0,1	./.	21,9	8,9	21,4	1,3	./.
10.04.	13:00	13,3	./.	19,0	5,7	4,5	0,4	./.	23,0	9,7	24,6	3,2	./.
12.04.	10:00	13,8	./.	18,3	4,5	4,6	0,1	./.	22,3	8,5	25,6	1,0	./.
13.04.	10:00	14,3	./.	18,7	4,4	5,0	0,4	./.	22,9	8,6	26,3	0,7	./.
18.04.	09:30	14,9	./.	18,0	3,1	7,8	2,8	./.	23,0	8,1	28,7	2,4	./.
19.04.	15:00	14,9	./.	18,6	3,7	8,1	0,3	./.	23,7	8,8	29,5	0,8	./.
20.04.	12:00	14,7	./.	18,7	4,0	8,5	0,4	./.	21,6	6,9	29,9	0,4	./.
23.04.	16:00	15,0	./.	20,1	5,1	9,8	1,3	./.	23,0	8,0	32,2	2,3	./.
24.04.	16:00	15,0	./.	18,6	3,6	10,5	0,7	./.	23,7	8,7	32,8	0,6	./.
25.04.	10:00	15,2	4	20,7	5,5	11,0	0,5	4	24,8	9,6	33,1	0,3	5
25.04. Bewuchs auf BFB nimmt an Stärke in Fließrichtung ab													
26.04.	16:00	15,9	./.	20,1	4,2	12,0	1,0	./.	23,8	7,9	33,3	0,2	./.
02.05.	10:00	15,0	./.	18,2	3,2	15,7	3,7	./.	22,9	7,9	35,4	2,1	./.
04.05.	15:00	15,9	./.	18,8	2,9	17,1	1,4	./.	23,0	7,1	36,1	0,7	./.
05.05.	11:00	15,8	./.	18,6	2,8	17,7	0,6	./.	23,8	8,0	36,4	0,3	./.
08.05.	15:00	14,4	./.	18,2	3,8	19,9	2,2	./.	23,1	8,7	37,7	1,3	./.
08.05. Neueinstellung des Systems: Beide Temperaturfühler am Ende der BFB montiert Ziel: BFB A = 18°C, BFB B = 25°C													
09.05.	15:00	14,9	./.	18,4	3,5	20,2	0,3	./.	23,8	8,9	37,9	0,2	./.
14.05.	10:00	16,0	./.	19,8	3,8	21,5	1,3	./.	23,9	7,9	38,2	0,3	./.
15.05.	15:00	15,3	./.	18,8	3,5	21,7	0,2	./.	24,0	8,7	38,3	0,1	./.
16.05.	14:00	15,4	./.	18,3	2,9	21,9	0,2	./.	23,7	8,3	38,4	0,1	./.
22.05.	09:00	17,4	./.	18,7	1,3	24,1	2,2	./.	24,1	6,7	39,6	1,2	./.
24.05.	14:00	18,2	./.	18,3	0,1	24,1	0,0	./.	25,7	7,5	40,1	0,5	./.
27.05.	12:15	17,9	./.	18,1	0,2	24,1	0,0	./.	24,9	7,0	40,5	0,4	./.
30.05.	11:00	15,3	4	18,7	3,4	25,0	0,9	3	23,8	8,5	41,0	0,5	3* / 7**
04.06.	10:00	17,2	./.	18,2	1,0	27,0	2,0	./.	25,0	7,8	42,8	1,8	./.
05.06.	11:00	17,5	./.	18,1	0,6	27,1	0,1	./.	25,4	7,9	43,2	0,4	./.
07.06.	12:00	18,0	./.	18,1	0,1	27,2	0,1	./.	24,9	6,9	43,7	0,5	./.
11.06.	16:30	18,8	./.	19,0	0,2	27,2	0,0	./.	25,8	7,0	43,9	0,2	./.
13.06.	10:30	18,7	4	18,7	0,0	27,2	0,0	3	25,3	6,6	44,1	0,2	4
15.06.	10:00	18,8	./.	19,0	0,2	27,2	0,0	./.	25,4	6,6	44,4	0,3	./.
19.06.	10:00	18,3	./.	18,4	0,1	27,4	0,2	./.	24,3	6,0	45,1	0,7	./.
20.06. Stilllegung der Versuchsanlage													

\* auf BFB  
\*\* auf Trägerkonstruktion

Legende: BFB Beheizte Festbetten UFB Unbeheizte Bestbetten

**Forschungsprojekt „Entwicklung und Bilanzierung beheizter Festbetteinrichtungen zur Leistungssteigerung vorhandener Abwasserteichanlagen im Winter“**

**Mikrobiologische Untersuchung zur Nitrifikation**

- Umsatz von Ammonium zu Nitrat durch Belebtschlamm, der als Probe von den Festbetten abgenommen wurde;
- gebildete Nitratmenge auf diese Konzentration bezogen und auf TM Belebtschlamm normiert.

Werte:  $\text{NH}_4^+$  75mg $l^{-1}$ , eingestellt mit Ammoniumsulfat als Ausgangswert  
 Nitrat 15-29mg $l^{-1}$   
 Nitrit 0,3-1.5mg $l^{-1}$

Als ein aussagekräftiges Ergebnis wurde die relative Umsetzung des vorhandenen Ammonium-Stickstoffs in Nitrat errechnet:

$$\frac{[\text{NO}_3]_x - [\text{NO}_3]_0}{[\text{NH}_4]_0}$$

Hierbei ist  $[\text{NO}_3]_x$  Nitratkonzentration nach 40h  
 $[\text{NO}_3]_0$  Nitratkonzentration zu Beginn  
 $[\text{NH}_4]_0$  Ammoniumkonzentration zu Beginn.

**Ergebnisse** (Mittelwerte aus 2 Ansätzen)

Nr.	Temperatur	Datum	rel. Nitratbildung (%)
01	12°C	14.04.	21
02	18°C		29
03	25°C		37
11	15°C	04.04.	23
12	18°C		28
13	25°C		36
21	18°C	13.06.	32
22	18°C		36
23	25°C		34
103	30°C	23.03.2006	39

**Informationen zum Hintergrund (Literatur)**

Oxidative Prozesse aerob, daneben (wenig geklärt, mit bisher nicht kultivierbaren Organismen, anaerobe  $\text{NH}_4$ -Oxidation)

Biofilm an Oberflächen: zuerst Konditionierung durch Polysaccharide und Proteine, danach Anheftung von Bakterien, selektiv!? Jedoch nicht hinsichtlich der interessierenden Nitrifikanten

Natürliche bevorzugte Besiedlung: Schwebstoffe, kleine Partikel, Koaggregation;  
Kapsel- und Schleimbildung aus Polysacchariden zum Schutz der Population, Nebeneffekt:  
Dicke Schichten führen zu Unterversorgung der angehefteten Bakterien und nachfolgend zu einer flächigen Ablösung.

Nitrifizierende Bakterien v. a. an den Seitenwänden von Becken;  
als Material für Festbetten Kunststoffe, aber auch Glas;  
T-Abhängigkeit für 5-20°C gering, für 20-35°C deutlicher

## Versuchsbedingungen

Temperaturen weit über dem kritischen Bereich <12°C ;  
kleine Volumina;  
hohe Schlammkonzentration;  
erhöhtes Angebot an Ammonium;  
Versuchsdauer: Kompromiss zwischen Generationszeit (Anpassung an aktuelle Bedingungen) und Minimum der Messbarkeit;  
kleine Stichproben

## Ergebnisse

Nitrifikationsleistung über div. Messverfahren möglich – hier direkt durch Bestimmung des gebildeten Nitrates und der Zwischenstufe Nitrit

Umrechnung in relative Zahlen beschränkt Aussage auf die vorliegende Versuchsreihe!

- **Unterschiede in der physiologischen Leistung bestehen hinsichtlich der Nitrifikation.**
- **Mit steigender Temperatur nimmt die potentielle Nitrifikationsleistung zu.**
- **Diese Steigerung beträgt bei der größten T-Differenz von 12 Grad 78%.**
- **Nitrit durchgehend in geringen Konzentrationen: völlige weitere Oxidation zu Nitrat**

**Die Erwartung, dass außer makroskopischen Unterschieden im Bewuchs sich die spezifische Leistung mit der Temperatur ändert, wird durch die ersten Ergebnisse bestätigt.**

Die Untersuchung der ausgebauten Elemente der Festbetten ergab, dass die mikrobielle Besiedlung auf die Oberfläche beschränkt bleibt. In 5mm Tiefe betrug die Biomasse weniger als 5%. Mikroskopisch raue Oberfläche im Bereich von 10µm (siehe Foto) dürfte das Bewachsen nicht hindern.

In den höher temperierten Proben war tendenziell ein etwas größerer Anteil an dichteren Flocken zu beobachten. Deren funktionelle Relevanz bleibt zu klären.

Vorschläge für weiteres Vorgehen:

- Visualisierung der Nitrifikantenpopulation;
- Anwachsen an verschiedene Trägermaterialien prüfen;
- Bei Umgebung = 20°C dennoch höhere Festbett-Temperatur anstreben, um die Leistungssteigerung zu verifizieren.

