

# **Abschlussbericht zur Fördermaßnahme**

## **„Innovative Schlamm- und Filtratwasserbehandlung zur Reduzierung der Emissionen in der Biosphäre“**

**durch den Innovationsfond der badenova AG & Co. KG**

### **Ausgangssituation**

Der Abwasserzweckverband „Mittleres Wutachtal“ übernimmt für seine beiden Verbandsgemeinden Wutöschingen (78,50 v.H. Anteil) und Eggingen (21,50 v.H. Anteil) die Aufgaben der Abwasserreinigung und Schlammabeseitigung im Rahmen eines Zweckverbandes. Verbandsvorsitzender ist der Bürgermeister der Gemeinde Wutöschingen Georg Eble.

Die heutigen Verbandsanlagen sind seit 25 Jahren in Betrieb und werden derzeit Zug um Zug saniert und hierbei auf den neuesten Stand der Technik gebracht.

Eine Veröffentlichung in der Zeitschrift „Der Gemeinderat“ unter der Überschrift „Know-how statt Beton“ führte den Abwasserzweckverband zum Fraunhoferinstitut in Stuttgart, die sich in ihrem Institut mit Alternativkonzepten zur herkömmlichen Schlammfäulung beschäftigen.

Vorgespräche mit dem Projektleiter Herrn Prof. Dr. Walter Trösch haben die Grundlage für die Entscheidung des Abwasserzweckverbandes „Mittleres Wutachtal“ gelegt zunächst bei der Schlammbehandlung und

bei der Behandlung von Filtratwasser

**neue Wege zu gehen, aber auch Neuland zu betreten.**

### **Projektbeschreibung**

#### **(Zielsetzung, Umfang, Vorgehensweise)**

Ziel des Vorhabens war ein weitergehender Abbau des Klärschlammes der Verbandskläranlage (VKA) des AZV Mittleres Wutachtal bei entsprechend vermehrter Biogasbildung, ohne die Stickstoffbelastung des Vorfluters zu erhöhen. Erreicht werden sollte dies durch den Bau einer modernen Hochlastfäulung mit Mikrofiltration. Da es sich hierbei um eine Neuentwicklung des

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB) handelte, mussten im Zusammenhang mit der Planung der Anlage verschiedene Experimente durchgeführt werden, einerseits zum Abbau des Schlammes im Reaktor, andererseits zur Mikrofiltration des Schlammes und zur Entfernung des Stickstoffs aus dem Schlammwasser (Filtrat) durch Luftstrippung.

Daher baut dieses Vorhaben auf einer Studie zur experimentellen Grundlagenermittlung zur Vergärbarkeit des Klärschlammes der VKA des AZV Mittleres Wutachtal auf, die vom Fraunhofer IGB im ersten Quartal des Jahres 2004 erstellt worden ist. Daraus ging hervor, dass der Klärschlamm der VKA Mittleres Wutachtal vergleichsweise leicht abbaubar ist. Bei den durchgeführten Versuchen wurde der höchste Abbaugrad (61 % der organischen Trockensubstanz) in einem einstufigen Verfahren mit Aufkonzentrierung der Biomasse durch Abfiltrieren von Schlammwasser und einer hydraulischen Aufenthaltszeit von sieben Tagen erzielt.

Im nächsten Schritt wurde nun der Bau eines Faulturms, in dem der gesamte Klärschlamm der VKA Mittleres Wutachtal nach dem Verfahren der Hochlastfaulung mit Aufkonzentrierung der Biomasse behandelt werden kann, vorbereitet. Erfahrungen mit der Aufkonzentrierung von Klärschlamm durch Mikrofiltration wurden zeitgleich auf einer Pilotanlage des Fraunhofer IGB auf dem Gelände der Kläranlage des Abwasserzweckverbands Heidelberg gesammelt. Die Hochlastfaulung ohne zusätzliche Filtration wird auf Kläranlagen in Heidelberg, Tauberbischofsheim und Leonberg bereits seit Jahren erfolgreich betrieben.

Ergänzt werden soll diese Anlage bei Bedarf noch durch eine Ammoniak-Strippung, durch die dem Schlammwasser das Ammonium entzogen und so die Rückbelastung der Kläranlage deutlich reduziert wird. Das gewonnene Ammoniumsalz kann als Dünger verwendet werden. Weiterhin wurde ein Energieverwertungskonzept entwickelt, welches Möglichkeiten für die Nutzung der im Biogas enthaltenen Energie aufzeigt.

Das tägliche Aufkommen an Klärschlamm liegt auf der VKA Mittleres Wutachtal zurzeit bei durchschnittlich  $8 \text{ m}^3$  Primärschlamm und  $5 \text{ m}^3$  Sekundärschlamm. Primär- und Sekundärschlamm der VKA Mittleres Wutachtal wurden bisher in einem Faulturm mit einem Volumen von  $400 \text{ m}^3$  vergoren. Der Faulturm war etwa 19 Jahre in Betrieb und wies im Bereich des Schlammüberlaufs sehr starke Korrosionen auf. Er war baufällig und musste erneuert werden. Dabei sollte die Hochlastfaulung als Alternative zur herkömmlichen Schlammfaulung realisiert werden.

## **Hochlastfaulung mit Mikrofiltration und Ammoniakstrippung**

Klärschlamm kann in geeigneten Faulbehältern des Schwarting-Uhde-Verfahrens mit kurzen Verweilzeiten und hohen organischen Raumbelastungen (bis zu  $10 \text{ kg oTS/m}^3/\text{d}$ ) abgebaut und zu Biogas umgesetzt werden. Der maximale Abbaugrad von Klärschlamm wird

erst bei hoher Raumbelastung erreicht, d. h. bei einer konstanten Verweilzeit kann der Abbau durch zunehmende oTS-Konzentration im Zulauf verbessert werden [1]. Ein effizientes Verfahren zur Eindickung des Schlammes ist deshalb eine Voraussetzung für einen maximalen Abbau in der Hochlastfaulung. Eine Reduktion des Wasseranteils durch eine effiziente Eindickung des Klärschlammes trägt außerdem dazu bei, das täglich anfallende Klärschlammvolumen zu reduzieren.

Dieses Hochlast-Verfahren hat gegenüber den herkömmlichen Faultürmen den Vorteil, dass der Bedarf an Faulraum geringer, der Abbau organischer Substanz effizienter, der Biogasertrag höher und das Volumen an Restschlamm, das schließlich entsorgt werden muss, geringer ist. Dadurch ergeben sich Kosteneinsparungen für das gesamte Verfahren [2]. Durch die Verwendung des Biogases als Energieträger für die Schlammbehandlung bzw. durch den Verkauf des Biogases können Kosten gespart bzw. ein Erlös erzielt werden. Der Bedarf an Flockungshilfsmittel sinkt [2]. Das reduzierte Restschlammvolumen spart Kosten für den Transport bzw. die thermische Verwertung.

Um den Gesamtabbau weiter zu verbessern, kann die oTS-Konzentration und damit die organische Raumbelastung in den herkömmlichen Faulbehältern noch weiter erhöht werden. Dazu wird während der Vergärung Schlammwasser aus dem Faulbehälter durch keramische Mikrofiltrationsmembranen abgezogen (Abb. 1). Die Verweilzeit der Feststoffe wird so von der Verweilzeit des Schlammwassers entkoppelt. Dadurch wird zum einen eine höhere Verweilzeit der Feststoffe bei gleich bleibender hydraulischer Gesamtverweilzeit erreicht, zum anderen eine erhöhte Konzentration der oTS und der Biomasse im Reaktor, was zu einem höheren Abbaugrad führt, wie die Versuche mit dem Schlamm der VKA Mittleres Wutachtal zeigen.

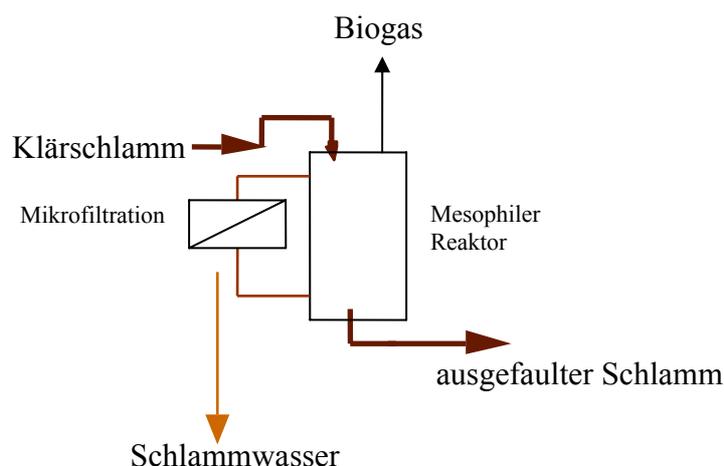


Abb. 1: Schematische Darstellung einstufige Vergärung mit Mikrofiltration

Zum Abfiltrieren des Schlammwassers hat sich der Rotations-Scheibenfilter (RSF) als am besten geeignet erwiesen. Der RSF besteht aus einem zylindrischen Gehäuse, in dem ein Stapel von

Membranscheiben auf einer rotierenden Hohlwelle befestigt ist (Abb. 2). Die Membranen bestehen aus keramischem Material, das sich durch hohe Permeatflüsse und sehr lange Standzeiten auszeichnet. Im Unterschied zu Polymermembranen, die im Laufe der Zeit – ähnlich wie Belüftungseinheiten aus polymerem Material – ersetzt werden müssen, kann man das keramische Material fast unbegrenzt lange einsetzen, da es durch geeignete Reinigungsschritte wieder in den Ausgangszustand versetzt werden kann (sehr gute Regenerierbarkeit).

Durch Anlegen eines geringen Überdrucks von 0,2 bis 1,5 bar passiert das Permeat (Faulwasser) die Trennschicht auf der Membranscheibe von außen nach innen und wird über die Hohlwelle abgezogen. Während des Filtrationsbetriebs rotieren die Scheiben mit einer Drehzahl von etwa 200 bis 800 Umdrehungen pro Minute, was dafür sorgt, dass eine sich bildende und die Filtration behindernde Deckschicht durch die Zentrifugalkraft nach außen abfließt. Diese Lösung verbraucht im Vergleich zu anderen Filtrationsverfahren wenig Energie und arbeitet sehr zuverlässig.

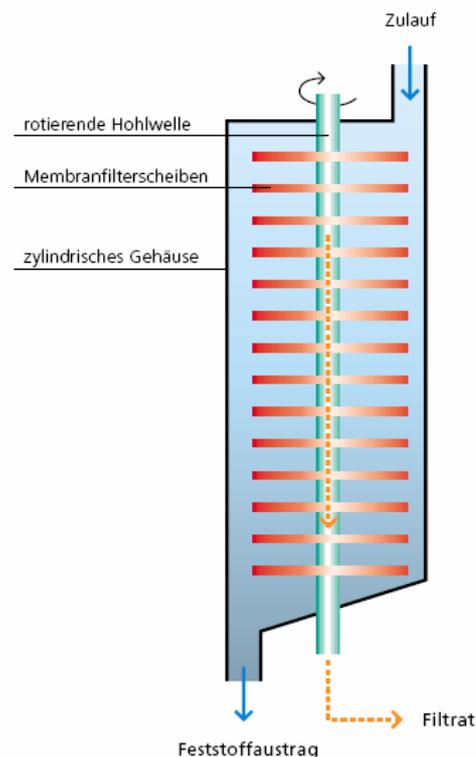


Abb. 2: Schematische Darstellung des Rotationsscheibenfilters

Durch den Abbau des Klärschlammes geht darin enthaltener Stickstoff in Form von Ammonium in Lösung und es kommt daher im Schlammwasser zu erhöhten Ammonium- Konzentrationen. Dies kann bei der Rückführung dieses Schlammwassers in die Kläranlage bei dieser zu erhöhten Konzentrationen im Ablauf führen. Daher

kann u. U. eine Reduzierung des Ammoniums bereits im Schlammwasser sinnvoll sein.

Die Entfernung des Ammoniums aus dem filtrierten Faulwasser kann durch Luftstrippung erfolgen (Abb. 3). Dazu muss zunächst ein Teil des Ammoniums in Ammoniak umgewandelt werden, was durch eine Erhöhung der Temperatur und/oder des pH-Werts erreicht werden kann. Das Faulwasser wird dann über einer Strippkolonne verrieselt, während im Gegenstrom Luft in die Kolonne eingeblasen wird. Das Ammoniak geht dabei von der gelösten in die gasförmige Phase über, wird also aus dem Wasser entfernt. Der ammoniakhaltige Luftstrom muss durch eine saure Wäsche, bei der die Luft in einem Füllkörper mit einer Säure in Kontakt gebracht wird, von der Beladung befreit werden. Dabei entsteht ein ammoniumsalzhaltiges Produkt, das durch Kristallisation zum Ammoniumsalz überführt wird. Dieses kann als Dünger genutzt werden.

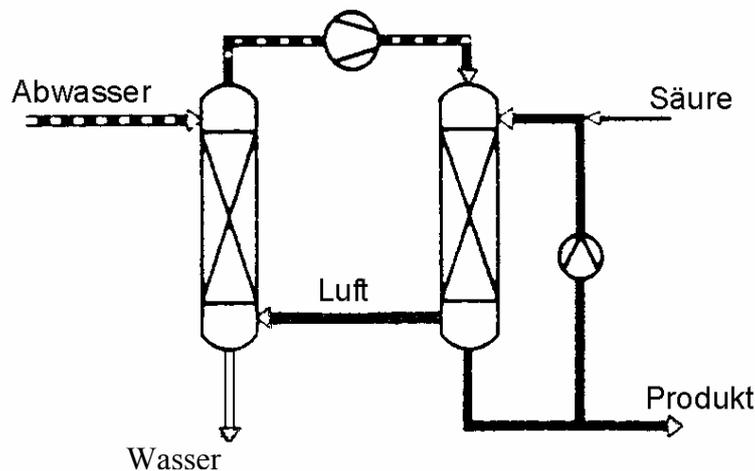


Abb. 3: Schematische Darstellung der Luftstrippung

## Darstellung der Ergebnisse

### *Filtration von Faulschlamm*

Um für die Auslegung der Mikrofiltrationseinheit notwendige Informationen zu erhalten, wurden vom Fraunhofer IGB Filtrationsversuche mit dem Faulschlamm der Kläranlage Mittleres Wutachtal durchgeführt. Dies ist notwendig, da jeder Faulschlamm anders zusammengesetzt ist und sich daher auch unterschiedlich gut filtrieren lässt. Da vom Fraunhofer IGB bereits Filtrationsversuche mit mehreren unterschiedlichen Faulschlämmen durchgeführt worden sind, können die Filtrationseigenschaften des Wutöschinger Faulschlammes mit denen der anderen Schlämme verglichen werden.

Zunächst wurde ein Rotations-Scheibenfilter mit einer Filterfläche von  $1 \text{ m}^2$  für eine Woche auf der KA Mittleres Wutachtal aufgestellt, um Schlamm aus dem Faulturm zu filtrieren. Dabei wurde die Menge des abzuziehenden Filtrats vorgegeben und gemessen, wie sich der Differenzdruck zwischen Filterinnenraum und der Filtratseite verhielt. Abbildung 4 zeigt ein Foto des Filters, der an die Faulung der KA Wutachtal angeschlossen ist.



Abbildung 4: Foto des RSF in Wutöschingen

Als Minimum wurden  $20 \text{ l/h}$  Filtrat abgezogen, da dieser Wert aus vorangegangenen Versuchen mit ähnlichen Schlämmen als in jedem Fall erreichbar bekannt war. Diese Einstellung wurde über eine Zeit von 9 Stunden beibehalten, alle 15 Sekunden wurden der Druck im Filter, der Druck auf der Filtratseite und der Filtratfluss aufgezeichnet. Aus Abbildung 5 lässt sich erkennen, wie die Druckdifferenz bei steigendem Filtratabzug immer größer wird. Die Druckdifferenz-Kurve wird bei steigenden Filtratflüssen zunehmend steiler. Da die Keramikscheiben des Filters umso schneller verblocken, je höher der Differenzdruck ist, empfiehlt es sich, den Filter mit dem Wutöschinger Klärschlamm im Bereich von  $20\text{-}30 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  zu betreiben.

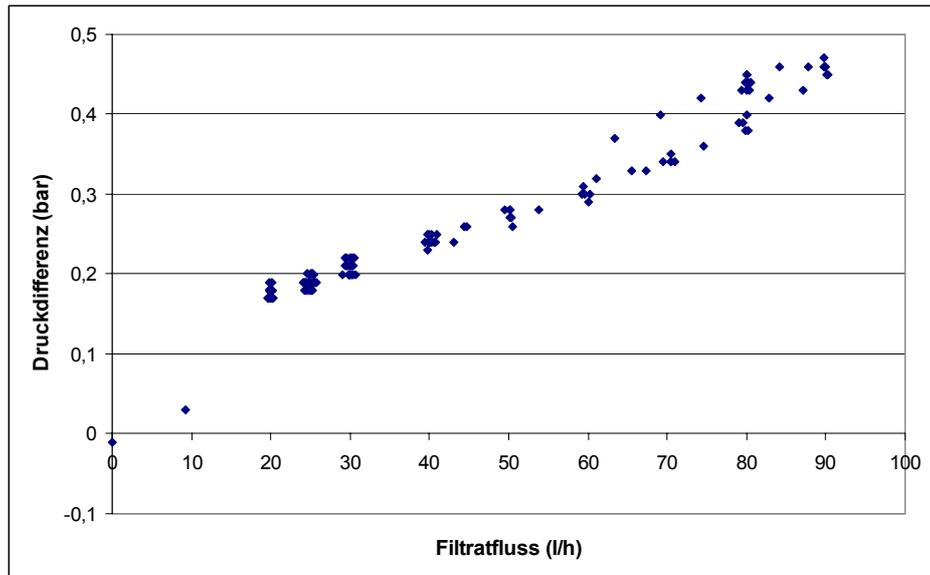


Abbildung 5: Abhängigkeit der Druckdifferenz vom eingestellten Filtratfluss

Weiterhin wurde Faulschlamm aus Wutöschingen nach Stuttgart ans Fraunhofer IGB gebracht, wo im Technikum weitere Versuche durchgeführt wurden. Hier wurde der Schlamm weiter aufkonzentriert, um den Eigenschaften des Schlammes der geplanten Hochlastfaulung näher zu kommen. Als Ergebnis der durchgeführten Filtrationsversuche ist festzuhalten, dass für einen Betrieb der Filtration auf der KA Mittleres Wutachtal ein Filtratabzug von 20 – 30 l/(m<sup>2</sup>\*h) sinnvoll ist. Es wird daher bei der Bemessung der Filter von einem spezifischen Filtratfluss von 20 l/(m<sup>2</sup>\*h) ausgegangen.

Um einen dauerhaft hohen Filtratfluss zu gewährleisten, sollten die Filterscheiben während der Filtration in regelmäßigen Intervallen mit Filtrat rückgespült werden. Sollte sich der Filtratfluss dennoch mit der Zeit verschlechtern, so kann man die Keramikscheiben mit Hilfe von Chemikalien (Säuren, Laugen) reinigen.

## ***Planung der Hochlastfaulung***

Auf den Grundlagen der oben dargestellten Filtrationsversuche und der bereits vorher in einer separaten Studie durchgeführten Faulungsexperimente wurde nun durch das Fraunhofer IGB und das Ingenieurbüro Schwarting Environmental Systems GmbH die Planung der Hochlastfaulung mit Mikrofiltration ausgeführt.

Bei der Auslegung des Reaktors wurde von einem maximalen Schlammanfall von 20 m<sup>3</sup> pro Tag ausgegangen. Um sicherzugehen, wurde die Verweilzeit (bezogen auf den Zulauf) mit acht Tagen gewählt (bei den Faulungsversuchen wurde mit sieben Tagen gearbeitet). Daraus ergab sich ein Fermentervolumen von 160 m<sup>3</sup> welches aus wirtschaftlichen Gründen auf zwei Reaktoren à 80 m<sup>3</sup> aufgeteilt wurde. Die Faulbehälter wurden nach dem Schwarting-Uhde-Verfahren [3] gebaut.

Ziel ist es, den Trockensubstanzgehalt (TS) in den Fermentern bei etwa 6% zu halten. Dafür muss in Bezug auf den TS im alten Fermenter von 3% ca. 50% des Zulaufs als Filtrat abgezogen werden. Gewählt wurden dafür zwei Rotationsscheibenfilter-Module mit einer Filterfläche von jeweils 7,4 m<sup>2</sup>. Diese erreichen bei einem spezifischen Filtratfluss von 20 l/(m<sup>2</sup>\*h) einen täglichen Durchsatz von gut 7 m<sup>3</sup>, was etwa der Hälfte des mittleren Zulaufs von 13 m<sup>3</sup>/d entspricht.

### ***Bilder vom Bau und Betrieb der Hochleistungsfermenter***



Anlieferung der Fermenter auf Tieflader



Das Bediendisplay zur Schlammbehandlung



Zwei Edelstahlbehälter mit je 80 cbm Inhalt haben im Hochlast-Faulverfahren die Aufgabe des alten Faulbehälters in Größe von 400 cbm Inhalt übernommen.



Ein moderner Gewebebehälter dient als Zwischenlager für die Biogase



Im Mischbehälter werden Primär- und Sekundärschlamm vermischt und zur Faulung in die Hochlastfermenter gepumpt.

## **Energieverwertungskonzept**

### **Energie aus Biogas:**

Zulauf Faulung:  $13 \text{ m}^3$  Schlamm pro Tag mit TS von 4,5% und oTS von 3,4%

=> Tägl. oTS Zulauf: 440 kg

Am Fraunhofer IGB in Versuchen ermittelte Gasausbeute: 520 l

Biogas pro kg oTS<sub>zu</sub>

=>  $230 \text{ m}^3$  Biogas pro Tag

Energiegehalt Biogas:  $6 \text{ kWh/m}^3$

Bei Wirkungsgrad des Kessels von 90% zur Verfügung stehende

Energie: 1240 kWh/d

Leistung bei 24- Stunden- Betrieb: 52 kW

### **Energieverbrauch:**

Wärmetauscher zum Beheizen des Fermenters (neu):

Winter: 31 kW

Sommer: 20 kW

Für Heizen von Räumen im Winter (halbes Jahr) notwendige

Leistung: 29 kW

Damit ist im Winter für den Wärmetauscher und das Heizen der Räume eine Leistung von insgesamt 60 kW notwendig, 52 kW kann über das Biogas gedeckt werden. Zusätzliches Heizen mit Öl bleibt also notwendig (aber in geringerem Rahmen als bisher), besonders da die benötigte Leistung an sehr kalten Tagen deutlich höher liegen kann.

Im Sommer dagegen liegt die benötigte Wärmeleistung nur bei 20 kW, 32 kW Wärme stünden also für andere Anwendungen zur Verfügung.

Ein Teil der Energie könnte zum Erhitzen des Schlammwassers im Rahmen einer Luftstrippung von Ammoniak genützt werden (Energiebedarf ca. 20 kW).

Um sinnvolle Nutzungen des überschüssigen Biogases zu definieren, sind die vorliegenden Informationen zu ungenau. Die anfallende Biogasmenge kann nur grob abgeschätzt werden, da keine genauen Daten über die Menge und die Zusammensetzung des anfallenden Klärschlammes vorliegen.

Nach Inbetriebnahme der neuen Anlage müssen sowohl der reale Gasanfall als auch der Energieverbrauch detailliert erfasst werden, auch Einsparpotentiale wie eine bessere Isolierung der Betriebsgebäude sollten untersucht werden. Erst wenn hier eine gewisse Datendichte vorliegt, kann eine Nutzung der überschüssigen Energie sinnvoll geplant werden, sei es für eine weitergehende Klärschlamm-trocknung oder zur Stromerzeugung.

Auf der derzeitigen Datenbasis kann eine weitergehende Energienutzung im wirtschaftlichen Sinne nicht vorgesehen werden; da ist es sinnvoller, während der Sommermonate das Abfackeln überschüssiger Biogasmengen in Kauf zu nehmen.

## ***Ammoniakstrippung des Schlammwassers***

Schlammwasser, das beim Entwässern ausgefaulten Schlammes entsteht, enthält in der Regel hohe Konzentrationen an Ammoniumstickstoff (1-2 g/l). Diese werden im Normalfall in die Kläranlage zurückgeleitet, wo sie eine erhebliche Zusatzbelastung darstellen (bis zu 50% der Stickstofffracht im Zulauf). Hier muss das Ammonium zunächst unter Sauerstoffzufuhr nitrifiziert und anschließend bei Vorhandensein ausreichender C-Quellen denitrifiziert werden. Der abgebaute Stickstoff entweicht am Ende dieses Prozesses als Elementarstickstoff in die Atmosphäre. Aus prozesstechnischen Gründen (Rückführung eines Teilstroms zur Nitrifikation) kann zudem nur ein Teil des zugeführten Stickstoffs abgebaut werden, der Rest wird als Nitrat in das Gewässer eingetragen.

Je intensiver der Schlamm ausgefault ist, desto mehr Ammoniumstickstoff findet sich im Schlammwasser. Bei Teilströmen mit hoher Ammoniumkonzentration ist es jedoch wirtschaftlicher, den Stickstoff separat zu entfernen, bevor sie in die Kläranlage

zurückgeleitet werden. Da auf der KA Mittleres Wutachtal eine Hochleistungsfaulung errichtet wurde und daher mit erhöhten Ammoniumkonzentrationen im Schlammwasser zu rechnen ist, wird eine alternative Stickstoffentfernung mittels Luftstrippung in Erwägung gezogen.

Im Rahmen der Planung dieser Hochleistungsfaulung wurden vom Fraunhofer IGB erste Versuche zur Strippung von Schlammwasser der KA Mittleres Wutachtal durchgeführt. Dafür wurde ein Teil des bei den Versuchen zur Mikrofiltration auf der Kläranlage gewonnenen Filtrats verwendet.

Dieses Filtrat hatte ursprünglich einen Gehalt an Ammoniumstickstoff von 600 mg/l. An diesem verhältnismäßig niedrigen Wert sieht man, dass der Schlamm in der ursprünglichen Faulung nicht sehr weit abgebaut wurde.

Es wurden Versuche zur Luftstrippung mit eingestellten Filtrat-Volumenströmen von 7 bis 10 l/h durchgeführt und die Konzentration des Ammoniumstickstoffs nach der Strippung gemessen. Die Temperatur des Filtrats betrug etwa 60 °C, wobei sie im Verlauf der Versuche leicht schwankte.

Die Versuche mit dem Filtrat der KA Mittleres Wutachtal zeigen, dass es möglich ist, die Ammoniumkonzentration in diesem Medium durch Luftstrippung um knapp 90% zu reduzieren. Es konnten bei konstantem Luftstrom folgende Abhängigkeiten der Eliminationsleistung beobachtet werden:

- 1) Bei steigendem Filtratdurchsatz bleibt eine höhere Restkonzentration an Ammonium im behandelten Schlammwasser zurück. Gleichzeitig erhöht sich jedoch der Umsatz an Stickstoff pro Zeiteinheit insgesamt, da mehr Ammonium in die Stripkolonne eingeleitet wird. Die Zulaufmengen können also je nach Zielsetzung variiert werden: Möchte man niedrigere Rückbelastungen in der Kläranlage, sollte man den Volumenstrom des Filtrats niedrig einstellen, die Stripkolonnen müssen entsprechend größer ausgelegt werden. Ist eine möglichst kostengünstige Elimination von Stickstoff das Ziel und werden dabei höhere Rückbelastungen in Kauf genommen, so kann der Filtratvolumenstrom höher eingestellt werden.
- 2) Bei höheren Temperaturen funktioniert die Luftstrippung besser. Das zeigen auch Versuche, die am Fraunhofer IGB im Labormaßstab durchgeführt wurden. In Abbildung 6 ist die Abnahme der Ammoniumkonzentration im Filtrat bei verschiedenen Temperaturen über der Zeit aufgetragen. Es ist also in jedem Fall zu empfehlen, die durch die Biogasverbrennung anfallende Wärme zur Aufheizung des Filtrats zu nutzen.

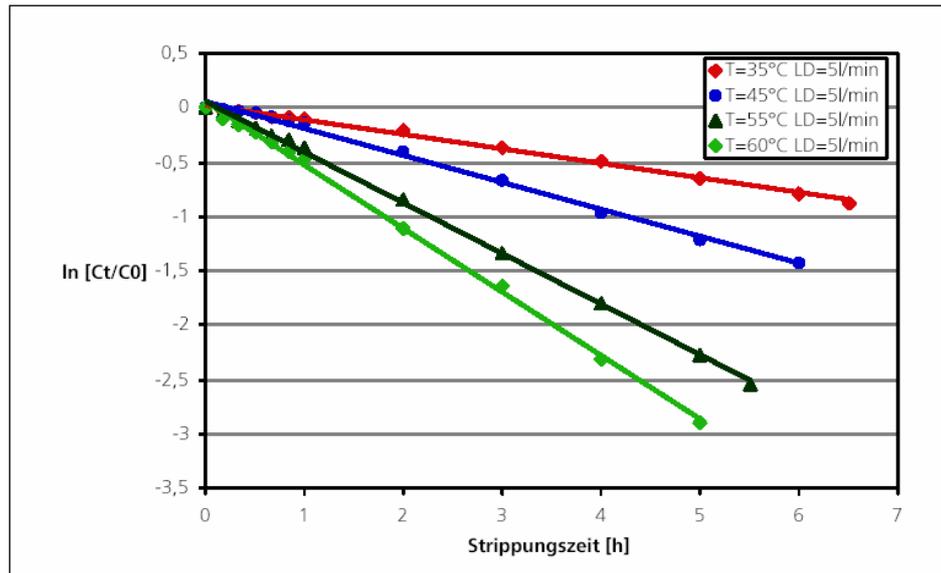


Abbildung 6: Abhängigkeit der Ammoniumelimination von der Temperatur (Luftstrippung)

Vergleicht man die in den oben beschriebenen Experimenten erzielten Ergebnisse mit anderen Versuchen zur Ammoniakstrippung, die ebenfalls am Fraunhofer IGB durchgeführt wurden, so ist festzustellen, dass die prozentuale Elimination im normalen Bereich liegt. Die absolute Ammoniumelimination fällt allerdings vergleichsweise gering aus. Das liegt daran, dass das Schlammwasser der anderen Versuche aus einer Hochleistungsvergärung stammte und daher deutlich höhere Ammoniumkonzentrationen aufwies. Dies zeigt, dass für eine zuverlässige Auslegung der Ammoniakstrippung für die KA Mittleres Wutachtal abgewartet werden sollte, bis die Hochlastfaulung in Betrieb ist. Weitere Versuche sollten dann mit dem tatsächlich bei dieser Faulung anfallenden Filtrat durchgeführt werden.

## Literatur

- [1] Brigitte Kempfer, Ulrike Schmid-Staiger, Walter Trösch (2000): Verbesserter Abbau von kommunalen Klärschlämmen in einer zweistufigen Hochlast-Vergärungsanlage. KA Wasserwirtschaft Abwasser Abfall, 9/2000.
- [2] Brigitte Kempfer-Regel, Manuel Oehlke, Jürgen Weber, Walter Trösch (2003): Integration einer Hochlastfaulung in die herkömmliche Technik: Erste Bilanzierungsergebnisse der Schlammfaulung in Heidelberg. KA Wasserwirtschaft Abwasser Abfall, 11/2003.
- [3] Kampner, R., Segebrecht, K.: Neue Konzepte rund um die Hochlastfaulung. 9. Kolloquium zur kommunalen Abwasser- und Abfallbehandlung. Stuttgart, 2004