

# Planungs- und Betriebserfahrung mit Membranbelebungsanlagen zur Reinigung hochkonzentrierter Abwässer

## Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Materialien und Methoden
  - 2.1 Fallstudie Abwasseraufbereitung der Biokraftstofferzeugung
  - 2.2 Fallstudie Deponiesickerwasseraufbereitung
- 3 Ergebnisse und Diskussion
  - 3.1 Fallstudie Abwasseraufbereitung der Biokraftstofferzeugung
  - 3.2 Fallstudie Deponiesickerwasseraufbereitung
- 4 Literatur

## Autor:

DI Dr. Bernhard Mayr

EnviCare® Engineering GmbH

Eisteichgasse 20/36, A-8042 Graz

Österreich

T: +43 316 381038 0

E: [mayr@envicare.at](mailto:mayr@envicare.at)

I: [www.envicare.at](http://www.envicare.at)

## **Abstract Titel**

Planungs- und Betriebserfahrung mit Membranbelebungsanlagen zur Reinigung hochkonzentrierter Abwässer

## **1 Einleitung**

Membranbelebungsverfahren (MBV) stellen heute für eine breite Palette von Anwendungen in der industriellen Abwasserreinigung den Stand der Technik dar.

Aufgrund der Möglichkeit das Schlammalter gezielt einzustellen und basierend auf der Option sowohl hydraulische Verweilzeit als auch Schlammalter exakt zu wählen, werden nicht nur hohe volumetrische Abbauraten an organischen Inhaltsstoffen sondern auch ein deutlich besserer Abbaugrad für "harte" organische Verbindungen erreicht. Andererseits bedingen die in diesem Artikel beschriebenen externen Cross-Flow Membrantrennverfahren einen größeren Energieaufwand im Vergleich zu herkömmlichen Schlamm sedimentationsverfahren.

Besonders bei der Reinigung hochkonzentrierter organischer Abwässer ist der Energiebedarf der Belüftung signifikant und determiniert die Betriebskosten wesentlich. Aus diesem Grund bieten sich anaerobe Vorbehandlungsschritte an, die jedenfalls im Einzelfall zu untersuchen und bewerten sind.

Im Beitrag werden die Praxiserfahrungen zweier Projekte vorgestellt.

Der erste Fall beschreibt eine großtechnische MBV-Anlage zur Deponiesickerwasseraufbereitung mit einer CSB-Konzentration von  $25 \text{ kg/m}^3$  und einer Ammonium-N-Konzentration von  $4 \text{ kg/m}^3$  [1]. Deponie-Sickerwasser entsteht durch anaeroben mikrobiellen Abbau und Auslaugung von Abfällen auf Deponien [2]. Im hier beschriebenen Fall ist das Deponiesickerwasser nicht nur durch hohe organische und Ammonium-Konzentrationen gekennzeichnet, auch die Schwermetallgehalte bedingen eine Reinigung.

Die Elimination hoher Stickstoffgehalte mittels eines Nitrifikations-/Denitrifikationsverfahren erfordert im klassischen Belebungsverfahren eine ausreichende Versorgung mit C-Quelle. Daher wurde eine anaerobe Vorbehandlung im Fall der Deponiesickerwasserreinigung nicht weiter verfolgt, da

sie zwar zu einer deutlichen Reduktion der Organik führen würde, aber Ammonium nicht reduzieren könnte.

Als zweiter Fall wird eine MBV-Anlage zur Vorreinigung von Abwasser mit einer durchschnittlichen CSB-Konzentration von  $150 \text{ kg/m}^3$  und einer mangelhaften Nährstoffzusammensetzung aus der Erzeugung von flüssigen Biokraftstoffen und aus der vorgelagerten Fettaufbereitungsstufe vorgestellt. Im Vergleich zu Daten aus der Literatur [3] war die Abwasserkonzentration in diesem Fall signifikant höher, da hier ein Produktionsprozess mit maximiertem Ertrag inklusive destillativen Verfahrensschritten zur Glycerin- und Methanolvergewinnung Anwendung findet. Dieses Prozessdesign führt mit  $0,12 \text{ m}^3_{\text{Abwasser}}/\text{m}^3_{\text{Kraftstoff}}$  zu deutlich geringeren Abwassermengen im Vergleich zu einem Verhältnis von 2, das in der Literatur [3] für andere Herstellungsverfahren der Biokraftstoffe zu finden ist.

Zwei Gründe haben in diesem Fall für eine MBV Anlage gesprochen. Einerseits haben die vorgegebenen Einleitgrenzwerte für CSB einen biologischen Abbauprozess begünstigt und andererseits sollte ein möglichst simples Verfahren letztlich zu geringem Betreuungsaufwand, damit zu niedrigen Betriebskosten und zu hoher Prozesssicherheit führen.

## 2 Materialien und Methoden

In dieser Arbeit werden die Ergebnisse der Auslegungsberechnung und auch von Simulationsmodellen und von Labor- und Pilot-Testphasen mit den Daten des Langzeitbetriebs für zwei unterschiedliche Anwendungsfälle verglichen.

### 2.1 Fallstudie Abwasseraufbereitung der Biokraftstofferzeugung

#### Vorstudien und Pilotanlage

Das Ziel war es, ein Konzept für eine wirtschaftliche Reduktion der Konzentration an CSB von rund  $130 \text{ kg}_{\text{CSB}}/\text{m}^3$  bis auf  $< 10 \text{ kg}_{\text{CSB}}/\text{m}^3$  zu entwickeln. Mit diesem Wert kann das vorgereinigte Abwasser und die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden.

Verschiedene nicht erfolgreiche Vorversuche sind durchgeführt worden, u.a. ist der Einsatz einer Disc-Tube-Umkehrosmose zur Reduktion des CSB Wertes bzw. zur Rückgewinnung von Methanol oder eine anaeroben Vorreinigung untersucht worden.

Um die Sicherheit der Prozessauslegung zu verbessern, ist vor der großtechnischen Implementierung der MBV-Anlage eine Simulation auf Basis des ASM1 Modells [4] durchgeführt worden.

### Großanlage

Die Auslegung der Behältergröße und des Luftbedarfs basiert zwar grundlegend auf der ATV A131:1991, allerdings mit einigen spezifischen Adaptierungen; jene der Membran auf den Versuchsergebnissen.



Abbildung 2: Großanlage Abwasseraufbereitung der Biokraftstofferzeugung

In der Anlage (Abbildung 2) können täglich 30 m<sup>3</sup> Abwasser mit einer CSB Konzentration vom bis zu 120 kg/m<sup>3</sup> gereinigt werden.

Die wichtigsten Komponenten der Großanlage sind

- 125 m<sup>3</sup> Selektor mit schwacher Belüftung
- 400 m<sup>3</sup> Belebung

- Ejektorbelüftung: 5 Stück Ejektoren mit Druckluftversorgung
- Cross-Flow-Mikrofiltration: 31 m<sup>2</sup>
- Kühlung: 120 kW
- Schlammbehandlung: Dekanter Zentrifuge

## 2.2 Fallstudie Deponiesickerwasseraufbereitung

### Pilotanlage

Die Pilotanlage setzt sich aus zwei Behältern zur biologischen Abwasserreinigung mit vorgeschaltener Denitrifikation und Nitrifikation und einer externen keramischen Cross-Flow-Mikrofiltration (MF) zusammen.

Sie besteht aus zwei getrennten Tanks mit einem Gesamtvolumen von 0,62 m<sup>3</sup>. 0,15 m<sup>3</sup> werden als vorgeschaltete anoxische Denitrifikation und 0,47 m<sup>3</sup> als nachfolgende belüftete Nitrifikation verwendet. Details zur Auslegung sind bereits publiziert worden [1].

### Großanlage

Das Design der Großanlage basiert auf den Ergebnissen der Pilotierung insbesondere in Hinsicht auf die Auslegung der Membran und der Bioreaktoren.

Andere Parameter wurden von Design-Richtlinien wie ATV A 131:1991 übernommen.

Die biologische Behandlung von Sickerwasser erfolgt in drucklosen Bioreaktoren (Abbildung 1). Sickerwasser wird in den vorgeschalteten anoxischen Denitrifikationsbehälter gepumpt. Nitratsauerstoff wird zum Abbau der leicht abbaubaren organischen Verbindungen genutzt, während Ammonium diesen Tank unverändert durchströmt und in die Nitrifikation gelangt. Unter den dort herrschenden aeroben Bedingungen werden Ammonium zu Nitrat und zudem die CSB-Verbindungen oxidiert.



Abbildung 1: Großanlage zur Deponiesickerwasseraufbereitung

Zum Biomasserückhalt wird eine keramische MF verwendet. Zur Nachreinigung bis auf Direkteinleitungsqualität muss das biologisch vorgereinigte Sickerwasser in einer Umkehrosmoseanlage mit Spiralwickelmodulen nachgereinigt werden, um ionische und nicht-biologisch abbaubare Verunreinigungen zu eliminieren.

Die wichtigsten Komponenten der Großanlage sind

- 130 m<sup>3</sup> Denitrifikation
- Nitrifikation: zwei Tanks mit einem Gesamtvolumen von 260 m<sup>3</sup>
- Belüftung: 10 Stück Injektoren
- Cross-Flow-Mikrofiltration: 40 m<sup>2</sup>
- Kühlturm: 200 kW
- Schlammbehandlung: Dekanter Zentrifuge

Nähere Details zum Design sind bereits veröffentlicht worden [5].

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Fallstudie Abwasseraufbereitung der Biokraftstofferzeugung

Das organisch hochbelastete Abwasser aus der Produktion von Biokraftstoffen und aus der Aufbereitung tierischer Fette fällt in der Menge von nur ca. 25 m<sup>3</sup>/Tag an und stammt vorwiegend aus wässrigen Destillaten der Kraftstoffreinigung. Es ist durch eine sehr mangelhafte Nährstoffzusammensetzung bei gleichzeitig hohen Schwefelwerten geprägt.

Nach umfangreichen Pilotversuchen vor Ort sind sowohl eine

- Vorbehandlung mit Disk-Tube-Umkehrosmosemembranen zur Rückgewinnung von Methanol und Glycerin aufgrund der Nichtbeständigkeit der Trägerscheiben bzw. Membranmaterialien  
als auch eine
- anaerobe Vorbehandlung zur Gewinnung von Biogas verworfen worden, da erstens kein stabiler Betriebszustand erreicht worden ist und zweitens die hohen Sulfidgehalte die energetische Nutzung des erzeugten Biogases erschwert hätten.

In ebenfalls vor Ort durchgeführten Pilotversuchen mit einem Membranbioreaktor ist gezeigt worden, dass ein aerobes Membranbelebungsverfahren stabil betrieben werden kann und wesentlich unempfindlicher auf prozessbedingte Schwankungen der Abwasserzusammensetzung reagiert.

Die im Vergleich zu anaeroben Verfahren einfachere Konzeption und die stabile und zuverlässige Grenzwerteinhaltung haben letztlich den Ausschlag gegeben, dass die Großanlage als aerobes MBV realisiert worden ist, wobei diese Investitionsentscheidung unter Berücksichtigung der deutlich höheren Energiekosten getroffen worden ist.

Nachdem während der mehrmonatigen Inbetriebnahmephase die erwarteten Probleme mit der mangelhaften Nährstoffversorgung und mit der Schaumbildung gelöst worden sind, erfüllt die Anlage heute die in sie gesetzten Erwartungen in Hinsicht auf einfache Betriebsführung, Einhaltung der Emissionsgrenzwerte und Durchsatz. Die der Kalkulation zu Grunde gelegte Standzeit

der eingesetzten organischen Tubularmembrane, die im Cross-Flow-Mode betrieben werden, wird übertroffen.

### **3.2 Fallstudie Deponiesickerwasseraufbereitung**

Im Fall der hochbelasteten Deponiesickerwasserreinigungsanlage ist die stabile Betriebsweise und sichere Grenzwerteinhaltung im Vordergrund gestanden, auch aufgrund der Direkteinleitung in einen sehr schwachen Vorfluter.

Im Gegensatz zum zuvor geschilderten Fall liegt hier eine sehr hohe Ammoniumbelastung vor, deren vollständiger Abbau ein ausgeprägtes Nitrifikation/Denitrifikations Regime erfordert, wobei die Denitrifikation an eine ausreichende Zufuhr der im Sickerwasser vorhandenen Kohlenstoff-Quelle gebunden ist. Daher ist hier eine anaerobe Vorbehandlung mit dem damit gekoppelten Kohlenstoffabbau schon aus diesem Grund ausgeschieden.

Im Zuge der warmen Inbetriebnahme ist rasch klargeworden, dass die Exergie der biologischen Oxidation und der Wärmeeintrag des Injektorbelüftungssystems beträchtlich unterschätzt worden ist, eine Kühlanlage musste daher nachgerüstet werden. Zusätzlich hat sich herausgestellt, dass auch bei einem pH-Wert von ca. 8,2 eine Ammonium-Konzentration im Permeat der Mikrofiltration von kleiner 20 mg/l gewährleistet werden muss, um eine Hemmung der Nitrifikation bei den herrschenden Prozesstemperaturen von etwa 35 °C zu verhindern.

Abschließend sei positiv erwähnt, dass die keramische Mikrofiltration seit nunmehr 19 Jahren ohne Membranwechsel in Betrieb ist und dass die eingesetzten günstigen Standardwickелеlemente der nachgeschalteten Umkehrosmose ebenfalls Standzeiten von deutlich mehr als 12 Monaten erreichen.



## 4 Zusammenfassung

Schon alleine aus Gründen der Energieeffizienz sollten organisch hochbelastete Abwässer anaerob behandelt werden.

Dennoch kann es der Einzelfall erfordern, dass eine Membranbelebungsanlage als beste verfügbare Technik zu installieren ist.

Zwei derartige Beispiele sind in diesem Beitrag präsentiert worden. Die Gründe für diese Verfahrenswahl sind unterschiedlich. Im Fall der Deponiesickerwasser Reinigung benötigt die beinahe vollständige Reduktion von Ammonium, die eine notwendige Voraussetzung zur Direkteinleitung ist, eine leicht abbaubare Kohlenstoffquelle, die im Falle einer anaeroben Vorbehandlung vernichtet werden würde.

Im Fall der Reinigung der Abwässer der Biokraftstoffherstellung konnte einerseits in Vorversuchen kein stabiler anaerober Abbauprozess nachgewiesen werden und andererseits würde der sehr hohe Schwefelwasserstoffgehalt die Nutzung des Biogases erschweren.

Als wesentliche Vorteile der Membranbelebungsanlagen sind anzuführen, dass diese deutlich weniger sensibel auf produktionsbedingte Abwasserschwankungen und auf toxische Inhaltsstoffe reagieren und dass deren Technik wenig komplex und damit der Betrieb i.d.R. robust ist.

## 5 Literatur

- [1] Mayr B., Novak S., Horvat P., Gaisch F., Narodoslowsky M., Moser A., Purification of Landfill leachates by means of combined biological and membrane separation treatment, pp. 39-45. Chem. Biochem. Eng. Q., Vol. 9 (1), 1995.
- [2] Küster, E. N., Dumping of Refuse and Sludges, pp. 349-362, Biotechnology Vol. 8, VCH-Verlag Weinheim, 1986
- [3] Colic M., Hicks J., Lechter A., Treatment of Biodiesel and Biofuels manufacturing wastewater, Presented at Water Treatment and Reuse Approaches, Orlando, FL, Nov 14, 2008
- [4] Henze, M., Grady, C.P.L., Gujer, W., Marais, G.V.R., Matsuo, T., Activated Sludge Model No.1. Scientific and Technical Reports No.1, IAWQ, London, 1987
- [5] Mayr B., Rothschedl R., Abfallwirtschaftliche Anlagen in Österreich, in: Enviro Consult GmbH, Aachen: 1. Aachener Tagung zur Deponienachsorge, 29. - 30. 9. 1998