

Winfried Reimann und Jürgen Kern, Potsdam-Bornim

# Einfluss organischer Substanz auf die Leistung von Membranen

*Abwässer aus der Nahrungsmittelindustrie sind durch gelöste organische Stoffe verunreinigt. Kreislaufverfahren mittels Membrantechnik stellen Lösungen zur Kosteneinsparung dar. Mit zunehmender organischer Belastung verringern sich der Filtrat-/Permeatfluss und die Selektivität der Membranen. Melkhausabwasser (CSB = 984 mg/l) kann durch eine Mikrofiltration mit nachfolgender Umkehrosmose aufbereitet werden. Die geforderten Einleitbedingungen werden unterschritten und Prozesswasser für eine Wiederverwendung gewonnen. Für die Aufbereitung von Schlachthofabwasser (CSB = 1737 mg/l) erhöht sich der Aufwand um eine zweite Umkehrosmose-Stufe.*

Dr.-Ing. Dr. sc. agr. Winfried Reimann und Dr. rer. nat. Jürgen Kern sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Abteilung „Bioverfahrenstechnik“ am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim; e-mail: [wreimann@atb-potsdam.de](mailto:wreimann@atb-potsdam.de) und [jkern@atb-potsdam.de](mailto:jkern@atb-potsdam.de)

Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET.com.

## Schlüsselwörter

Abwasserbehandlung, Membranverfahren, Mikrofiltration, Umkehrosmose

## Keywords

Wastewater treatment, membrane technology, microfiltration, ultrafiltration, reverse osmosis

Bei der Verarbeitung von Obst und Gemüse (Waschen, Schälen, Sortieren, Blanchieren, Kühlen, Reinigen und Desinfizieren), dessen Absatz in den letzten Jahren ständig gestiegen ist, fällt sehr viel organisch belastetes Abwasser an. Effiziente Kreislaufverfahren mit Membrantechnik sind für viele wasserintensive Produktionsstätten aufgrund der Möglichkeit zur Kosteneinsparung von großem Interesse, jedoch führt Fouling durch gelöste organische Stoffe zu einer verminderten Effektivität der Membran [1]. Untersuchungen mit kommunalem Abwasser [2], mit Abwasser aus der Gemüseindustrie [3] und aus der Trinkwasseraufbereitung [4] haben gezeigt, dass geringe Konzentrationen von organischen Inhaltsstoffen auch nur einen geringen Einfluss auf den Filtrat- oder Permeatfluss und die Selektivität ausüben. Damit ergeben sich für niedrig belastete Abwässer sehr aussichtsreiche Möglichkeiten für eine Aufbereitung durch Membranen und einen Wiedereinsatz als Prozesswasser.

Dieser Beitrag fasst den Einfluss gelöster organischer Substanzen auf den Einsatz unterschiedlicher Membranverfahren bei der Abwasseraufbereitung zusammen.

## Mikrofiltration (MF)

Alle Versuche zur Membranfiltration sind mit Abwasser durchgeführt worden, aus dem vorher durch Sedimentation alle absetzbaren Stoffe entfernt wurden, um Verblockungen

der Membranen zu vermeiden. Die Untersuchungen erfolgten in einer Technikumsanlage der UFI-TEC GmbH Oranienburg (Deutschland) mit auswechselbaren Modulen und Membranen. Die Anlage wurde im Umpumpverfahren betrieben.

Bei der Behandlung von Melkhausabwasser, das eine organische Belastung von 984 mg/l, gemessen als Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) aufwies, mit einer keramischen Mikrofiltrationsmembran aus  $Al_2O_3$  (Trenngrenze: 100 nm) fällt bei gleichbleibender Zulaufkonzentration (Filtratrückführung) und einem Druck von 2 bar der Filtratfluss in den ersten zwei Stunden zunächst stark ab. Die Reduzierung des Filtratflusses wird überwiegend durch Deckschichtbildung von nicht absetzbaren anorganischen und organischen Inhaltsstoffen des Abwassers auf der Membranoberfläche und in ihren Poren hervorgerufen (scaling und fouling). Durch Konzentrierung des Abwassers infolge der Filtratabführung ist eine weitere Abnahme des Filtratflusses zu verzeichnen, die jedoch nach etwa fünf Stunden abgeschlossen ist. Die Überströmung der Membran reicht anschließend aus, um eine weitere Belagbildung auf der Membran zu verhindern (Bild 1). Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der Belagbildung und der Belagentfernung infolge der Überströmung ein. Für dieses Abwasser ergibt sich ein mittlerer Filtratfluss von  $219 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$ .

Der Filtratfluss für Möhrenwaschwasser (CSB = 1382 mg/l) weist beim Einsatz einer

Bild 1: Filtratfluss während der Mikrofiltration verschiedener Abwässer aus der Verarbeitung von Milch und Möhren sowie von Schlachthofabwasser (Trenngrenze: 100 nm; Druck: 2 bar)

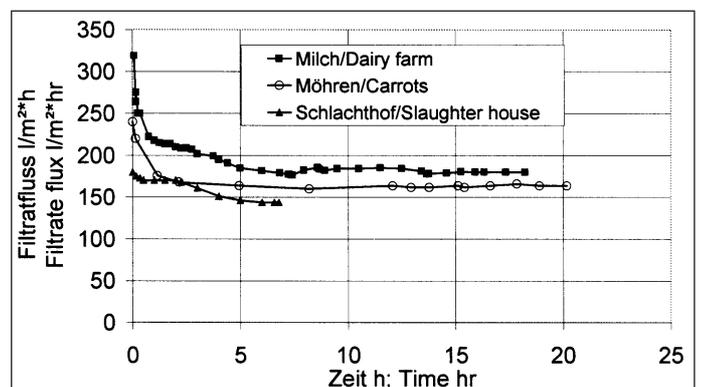


Fig. 1: Filtrate flux during microfiltration of different wastewaters after processing milk and carrots as well as slaughterhouse wastewater (cut-off: 100 nm; pressure: 2 bar)

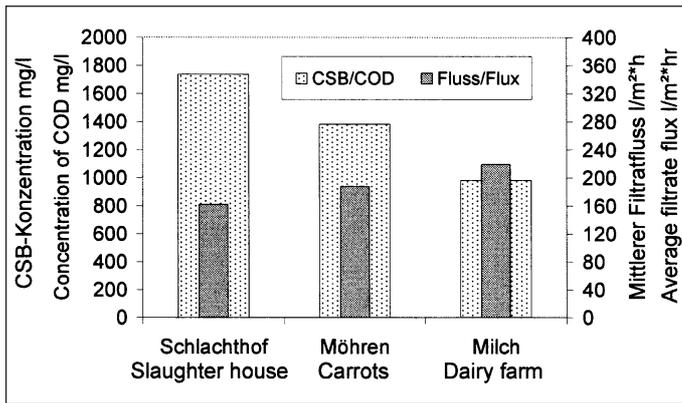


Bild 2: CSB-Zulaufkonzentration und mittlerer Filtratfluss bei der Mikrofiltration von Schlachthofabwasser sowie anderer Abwässer aus der Verarbeitung von Möhren und Milch (Trenngrenze: 100 nm; Druck: 2 bar)

Fig. 2: COD concentration in the feed and average filtrate flux of slaughterhouse wastewater as well as of other wastewater from processing of carrots and milk (cut-off: 100 nm; pressure: 2 bar)

Membran aus SiC mit der gleichen Trenngrenze und bei gleichem Druck einen ähnlichen Verlauf wie die Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Membran auf (Bild 1), jedoch beträgt der mittlere Fluss nur 188 l/m<sup>2</sup>·h.

Bei einer MF von Schlachthofabwasser, das mit einer CSB-Konzentration von 1737 mg/l gegenüber dem Melkhausabwasser und dem Möhrenwaschwasser organisch noch höher belastet ist, fällt der Filtratfluss weiterhin ab und erreicht nur einen Mittelwert von 162 l/m<sup>2</sup>·h (Bild 1). Für die Berechnung des mittleren Filtratflusses der drei Abwässer wurde die Versuchszeit für das Schlachthofabwasser zugrunde gelegt.

Der Verlauf des mittleren Filtratflusses der untersuchten Abwässer in Abhängigkeit von der CSB-Konzentration des Abwassers ist in Bild 2 dargestellt.

### Ultrafiltration (UF)

Die zur UF durchgeführten Untersuchungen erfolgten mit dem gleichen Möhrenwaschwasser, das zur MF eingesetzt wurde, sowie mit Gemüsewaschwasser. Für beide Versuche wurde eine keramische Membran aus SiC mit der Trenngrenze von 50 nm bei einem Druck von 1 bar verwendet, so dass der Einfluss von unterschiedlichen Membranmaterialien wie bei der MF ausgeschlossen werden konnte. Die erzielten Ergebnisse bestätigen die Abhängigkeit des Filtratflusses von der organischen Belastung des Abwassers.

### Umkehrosmose (RO)

Bei RO-Membranen wird durch organische Stoffe nicht nur der Permeatfluss, sondern auch die Rückhaltung gelöster Inhaltsstoffe beeinflusst. Infolge der Konzentrationspolarisation an der Membran nimmt die Selektivität für die zurückgehaltenen Stoffe ab, wodurch das Permeat stärker verunreinigt wird.

### Zusammenschaltung von Mikrofiltration und Umkehrosmose

Bei relativ geringer CSB-Konzentration ist eine MF mit nachgeschalteter RO ausreichend, um zum Beispiel aus Melkhausabwasser ein Prozesswasser zu erzeugen, das den vorgeschriebenen Anforderungen zur Direkteinleitung in ein Gewässer entspricht. Dieses aufbereitete Abwasser kann somit auch als Prozesswasser beispielsweise für Reinigungszwecke im Betrieb wieder genutzt werden. Als Sicherheitsstufe ist jedoch eine anschließende UV-Desinfektion einzusetzen. Für das höher belastete Schlachthofabwasser reicht eine einstufige RO zur Einhaltung der Grenzwerte nicht aus. Erst durch Nachschaltung einer zweiten RO-Stufe werden die Grenzwerte unterschritten.

### Schlussfolgerungen

Die zur Auswertung herangezogenen Versuchsergebnisse zur MF/UF und RO sind im Pilotanlagenmaßstab erzielt worden. Um zu ermitteln, welches Abwasser mit wirtschaftlichem Aufwand aufbereitet werden kann, ist die Gewinnung reproduzierbarer Daten für die Auslegung einer Anlage durch Langzeitversuche im nächst größeren Maßstab erforderlich. Neben Angaben zu den Standzeiten der Membranen sind auch Informationen über vorgeschaltete Prozessschritte, über Reinigungsintervalle sowie über die eingesetzten Reinigungsmittel erforderlich. Mögliche Wechselwirkungen zwischen den Membranen und den Wasserinhaltsstoffen lassen sich auf diese Weise abschätzen. Dies ist die Voraussetzung für die Steuerung und den Erhalt der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems.

### Literatur

- [1] Cho, J., G. Amy, J. Pellegrino, and Y. Yoon: Characterization of clean and natural organic matter (NOM) fouled NF and UF membranes, and foulants characterization. *Desalination*, 118 (1998), pp. 101-108
- [2] Ahn, K.H., H.Y. Cha and K.G. Song: Retrofitting municipal sewage treatment plants using an innovative membrane-bioreactor system. *Desalination*, 124 (1999), pp. 279-286
- [3] Wouters, J.W.: Partial Effluent reuse in the food industry. 2nd International Meeting on Industrial Wastewater Recovery and Reuse, Cranfield University, 2002
- [4] Lipp, P., G. Baldauf und W. Kühn: Membranfiltrationsverfahren in der Trinkwasseraufbereitung - Leistung und Grenzen. *gwf Wasser Abwasser* 146 (2005), H. 13, S. 50-61

### NEUE BÜCHER

#### Analysen des Fließverhaltens von Schüttgut in einem Kernflusssilo mit Einbautrichter

Von Thomas Schuricht. VDI-MEG Schrift 420. Vertrieb: Institut für Agrartechnik Bornim e. V. ATB, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam-Bornim; 2004, 244 S., 153 Abb., 77 Tab., 13 In der Schüttgutmechanik beruht der Fortschritt zur Analyse komplexer verfahrenstechnischer Prozesse auf den Methoden der numerischen Festkörper- und Strömungsmechanik. Damit ermöglicht die numerische Schüttgutmechanik ein verfahrenstechnisches Dimensionieren von Silos und Behältern für viele Bereiche der Agrartechnik, der Lebensmitteltechnik und der chemischen Verfahrenstechnik.

Den erhöhten Anspruch an die Qualitätssicherung von eingelagerten Produkten, Futter- und Lebensmitteln erfüllen innerhalb der Verfahrensketten nur die optimierten Fließprofile durch das gezielte Vermindern von Entmischungerscheinungen. Dieses fließtechnische Optimieren der Silogeometrie basiert auf dem Installieren von Einbauten im Behälter. Für die resultierende Kombination aus nichtlinearem Materialverhalten und komplizierter Geometrie liefern die analytischen Konzepte von Massen- und Kernfluss nur unzureichende Berechnungsmöglichkeiten.

Das Ziel dieser Arbeit war eine anwendungsorientierte Grundlagenforschung zum Dimensionieren von Einbauten in Silos. Mit Hilfe eines Einbautrichters in einem Kernflusssilo wird ein Massenfluss nach dem Konzept „first in first out“ erreicht. Als Methoden zum Erfüllen der Zielstellung dienen triaxiale Kompressionsversuche zum Kalibrieren der Materialparameter, numerische Berechnungen mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM), die Simulation des Materialverhaltens und Großsilo-Experimente für das Validieren der FEM-Ergebnisse.

Der Lösungsweg zu den Geschwindigkeits- und Spannungsverteilungen im Schüttgutmaterial in Verbindung mit Angaben zu den Verweilzeiten beruht auf kontinuumsmechanischen Materialgesetzen. Plastizitätstheoretische Erweiterungen im Materialgesetz ermöglichen ingenieurtechnische Resultate für die Entleerungssimulation eines mit Weizenschrot gefüllten Futtermittel-Silos.