bürkert

Membrantechnik FORUM

Innsbruck - Tirol - Austria
27. November 2014

- **9:00-9:30 Begrüßung und Registrierung**
  im Tirol Panorama mit Kaiserjägermuseum
- **9:30-10:00 gemeinsame Auffahrt mit Standseilbahn**
  zur Seminar Lounge
- **10:00-10:15 FORUM Kick-off**
  Moderator: Norbert Moschini
  BÜRKERT Österreich - Bernhard Bonapace
- **10:15-10:35 BÜRKERT-CUT Membrane Technology**
  Visionen-Perspektiven mit Christoph Dittrich
- **10:35-12:00 Membrantechnik I**
  "Druckgetriebene Membranprozesse" von der Membran-und Modulherstellung zur Anwendung mit Dr. Ines Bettermann und Dr. Hans Werner Rösler
  "BÜRKERT Membranprodukte" mit Christoph Dittrich
- **12:00-12:30 Membrantechnik II**
  „Rohrmembranen - Marktübersicht und Anwendungen"
  mit Maciej Janowski
- **12:30-14:00 Mittagspause**
  Lunch im Restaurant Tirol Panorama
- **14:00-14:30 Membrantechnik III**
  „Abwasseraufbereitung mittels Membrantechnologie in der Papierherstellenden Industrie" mit Markus Paulitschek
- **14:30-15:00 Membrantechnik IV**
  "Hochbelastete Membran Bioreaktoren in der Prozessindustrie und Umwelttechnik" mit DI Dr. Bernhard Mayr
- **15:00-15:30 Pause**
  Seminar Lounge Bergisel
- **15:30-16:45 Mut zum Absprung**
  mit Alexander Pointner, 2004-2014 Cheftrainer der österr. Skiprungnationalmannschaft
- **16:45-17:00 FORUM Finale**
  Moderator: Norbert Moschini
  BÜRKERT Österreich - Bernhard Bonapace
- **17:00-18:00 FORUM Special**
  Geschichten und Facts zum Bergisel Skisprung Stadion bei einem Rundgang mit Alexander Pointner

Dr. Ines Bettermann

(Diplomchemikerin, Promotion Polymerchemie, Heinrich Heine Universität Düsseldorf) ist seit 2009 als Mitarbeiterin im Bereich F&E bei der Firma CUT PART OF THE BÜRKERT GROUP tätig.
Ihre Aufgabengebiete umfassen die Bereiche Modul- und Membranentwicklung. Neben der Entwicklung und Optimierung hausinterner Produktionsprozesse ist sie dabei ebenfalls verantwortlich für kundenspezifische Entwicklungsprojekte.
Seit 2013 ist Ines Bettermann im Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Membrantechnologie (DGMT).

www.cut-membrane.com

Markus Paulitschek (li)

Management, Business Development CUT PART OF THE BÜRKERT GROUP
Der Vortrag zeigt verschiedene Ansätze Membranprozesse in das Wassermanagement einer Papierfabrik zu integrieren. Alle Prozesse zielen darauf ab Wasserkreisläufe einzuengen oder zu schließen.

Dr. Hans-Werner Rösler (re)

Leiter der Innovation und Entwicklung Membran- und Modul / CUT PART OF THE BÜRKERT GROUP
Der Vortrag führt über die Grundlagen der gängigen Membranverfahren zur BÜRKERT/CUT Membran-Modulherstellung und beleuchtet die Vielfalt und Herausforderung von applikationsspezifischem Moduldesign- und bau anhand ausgewählter praktischer Beispiele.

www.cut-membrane.com

DI Dr. Bernhard Mayr

Geschäftsführer ENVICARE Engineering GmbH
Der Vortrag informiert über Facts und Erfahrungen aus der Realisierung großtechnischer Membran-Bioreaktoren mit externer Cross-Flow Filtration zur Behandlung hochbelasteter wässriger Medien.

www.envicare.at

Maciej Janowski

Geschäftsführer KATMAJ FILTRATION
Der Vortrag gibt Einblick in die unglaubliche Bandbreite der gewickelten Rohrmembranen, deren Anfänge mehr als 50 Jahre zurückliegen und damit zu den etablierten Membrantechniken in den UF-, NF- und UO-Anwendungen gehören.

www.katmaj.pl

Christoph Dittrich

International Business Development Manager CUT- PART OF THE BÜRKERT GROUP. Verantwortlich für Marktgerechte Aufarbeitung der Vertriebsausrichtung durch Roll-Out der CUT Technologien in die internationalen Bürkert Länderorganisationen sowie operative Assistenz der Membran Segment Manager international.

Alexander Pointner

gewährt in seinem Vortrag „Mut zum Absprung" Einblick in seine Welt des Spitzensports, die in vielfacher Weise vom Mut zum Abspringen geprägt ist. Seine Vision, das Skispringen sportlich und wirtschaftlich auf eine noch nie dagewesene Ebene zu heben, setzte er mit systematischer Arbeit um und formte aus Einzelsportlern ein kraftvolles Teamgefüge. Zugleich führte ihn die unerfüllbare Erwartungshaltung des ständigen Schneller-Höher-Weiter zur Erkenntnis, dass nachhaltiger Erfolg so nicht möglich ist. Dies gab für ihn den Ausschlag, den Absprung in eine neue Form des Coachings zu wagen: Mut zur Unvollkommenheit und absolutes Vertrauen in die vorhandenen Fähigkeiten bilden die Eckpunkte dieser Philosophie.

Alexander Pointner, geb. am 1.1.1971 in Grieskirchen. Nach Absolvierung des Skigymnasiums Stams aktiver Skispringer. 1995 Beginn seiner Trainertätigkeit beim Tiroler Skiverband, ab 1999 ÖSV-Co-Trainer unter Alois Lipburger und Toni Innauer, ab 2002 für den B-Kader hauptverantwortlich, 2004 - 2014 Cheftrainer der Nationalmannschaft. Mit dem Team erzielte Pointner 32 Medaillen bei Großereignissen (17 Gold), 118 Weltcupsiege, 9 Nationencupsiege, vier Weltcupgesamtsiege und sechs Gesamtsiege bei der Vierschanzentournee in Serie. Er geht damit als erfolgreichster Skisprungtrainer in die Geschichte ein.

Anmeldung: bernhard.bonapace@burkert.com

bürkert

Membrantechnik Forum Innsbruck

Hochbelastete Membran Bioreaktoren in der Prozessindustrie und Umwelttechnik

EnviCare® Engineering GmbH

Ingenieurbüro für Verfahrenstechnik

A-8042 Graz
Eisteichgasse 20/9. Stock/Tür 36

Tel. +43 / 316 / 38 10 38-0, Fax: -9
office@envicare.at

www.envicare.at

Ihr Zeichen:
Unser Zeichen: BM/Publik
File: Mayr-Vortrag Bürkert2014.docx
Seitenzahl: 14
Graz, 27. November 2014

Inhalt

1 Einleitung 1
2 Bioprozessanwendungen 3
3 Anwendungen in der Umwelttechnik 7
3.1 Abwasseraufbereitung der Biokraftstofferzeugung 7
3.2 Deponiesickerwasseraufbereitung 9
3.3 Planungshinweise zu MBR-Anwendungen in der Umwelttechnik 11
4 Zusammenfassung 12
5 Literatur 13

1 Einleitung

Membranbioreaktoren (MBR) stellen heute für eine breite Palette von Anwendungen in der Abwasserreinigung den Stand der Technik dar. Die Durchdringung der Bioprozessindustrie erfolgt seit etwa zwei Jahrzehnten stetig, aber deutlich langsamer.

In der Abwasserreinigung stellt in erster Linie die Möglichkeit, die Feststoffverweilzeit (das Schlammalter) und die hydraulische Verweilzeit unabhängig voneinander exakt zu wählen, das wesentliche Asset dar. Zudem erlaubt das MBR Verfahren wesentlich höhere Feststoffgehalte in der Anlage. So werden nicht nur sehr hohe volumetrische Abbauraten an organischen Inhaltsstoffen, sondern auch aufgrund des hohen Schlammalters ein deutlich besserer Abbaugrad für "harte" organische Verbindungen erreicht.

Nicht zuletzt garantiert die exakte Trenngrenze der Membran einen feststoff- und bakterienfreien Ablauf, der selbst bei Störungen im Bioprozess zu keiner Ausschwemmung der Biomasse in den Vorfluter führen kann /1/.

UID: ATU62568929
Bankverbindung: Steiermärkische Bank und Sparkassen AG/Österreich, IBAN: AT96 20815 20100 102407, BIC: STSPAT2G
Firmensitz Graz, FN 277966 z Landesgericht für ZRS, Graz

Im Fall der Bioprozesstechnik ermöglicht die prozessintegrierte Membran die Umstellung von Batch und Fed-Batch Fermentationen auf kontinuierliche Betriebsweise. Batch-Verfahren beherrschen seit jeher die Bioprozessführung, sowohl im Up- als auch im Downstream Bereich. Damit wurde umfangreiche Erfahrung gesammelt, die zugehörigen Technologien und Verfahren sind anerkannt und validiert und bis heute verdoppeln sich die Upstream- und Gesamtprozesserträge ca. alle fünf Jahre.

Zuletzt hat sich aber dennoch die membrangestützte kontinuierliche Prozessführung am Markt etabliert /2/. Diese ermöglicht vor allem bei jenen Verfahren signifikante Vorteile, bei denen entweder ständig ein Produkt aus der quasi stationären Fermentation abgezogen werden kann oder auch dort, wo sich ansonsten inhibitierende Produkte anreichern würden. Selbstverständlich entfallen aber bei einer kontinuierlichen Prozessführung auch die erheblichen Stillstandszeiten für die Prozessvorbereitung (Sterilisation), allfällige Lagphasen, die Dauer bis das eigentliche Produkt dann tatsächlich erzeugt wird, die aufwändige Trennung von Produkt und Biomasse, die Reinigung der Geräte etc.

Die Verwendung klassischer Batch Verfahren mit inkrementellen Einzelschritten in der biopharmazeutischen Produktion unterscheidet sich von den meisten anderen wichtigen industriellen Produktionen in High-Tech-Branchen. In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass eine kontinuierliche Betriebsführung bei gut etablierten und erforschten Prozessen zunehmend häufiger anzutreffen ist. Hier ist exemplarisch die Erdölraffination, aber auch die Abwasserreinigung oder die Biogaserzeugung zu nennen.

Eine kontinuierliche Prozessführung erfordert in der Regel nicht nur detaillierteres Fachwissen und eine bessere mess- und regelungstechnische Ausrüstung, sondern die bestmögliche Integration der vor- und nachgeschalteten Teilprozesse.

2 Bioprozessanwendungen

Die kontinuierliche Prozessführung im industriellen Maßstab ist seit langem ein Ziel der Bioverfahrenstechnik. Studien /2/ gehen davon aus, dass in einem kont. MBR nicht nur wesentlich höhere Zelldichten erreicht werden können, sondern dass sich aufgrund des Entfalls der Stillstandszeiten des Fed-Batch-Betriebes für Reinigung und Sterilisation und des Entfalls der Lag-Phase letztlich ein vielfach höherer volumetrischer Ertrag generieren lässt (Abbildung 1).

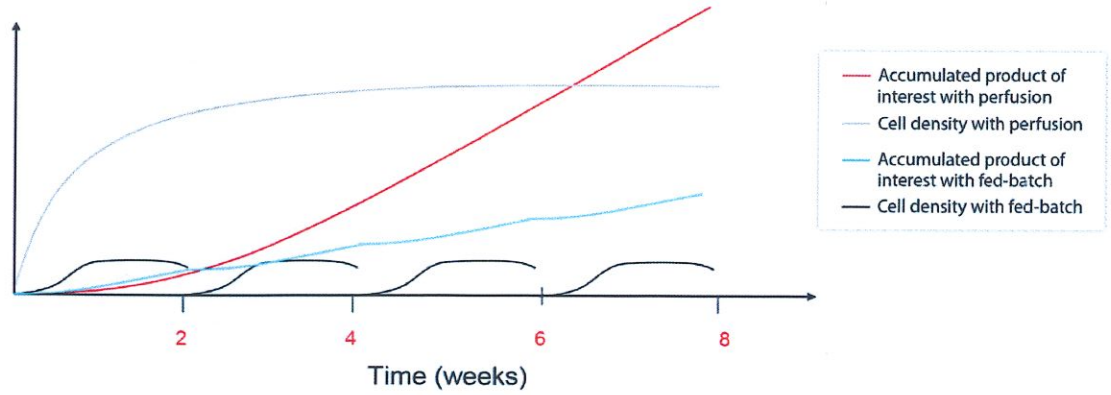

Abbildung 1: kontinuierliche vs. Batch Prozessführung /2/

Durch die Membranfiltration liegt zudem das gelöste Produkt bereits in einer wesentlich besser zugänglichen Form vor, so dass das downstream processing vereinfacht wird.

Ein membrangestützter Bioprozess zur Produktgewinnung, die derzeit führende kontinuierliche Bioprozesstechnik, war in den 1980er Jahren noch unerreichbar. Die Expressionsausbeuten waren zu niedrig, Kulturmedien zu primitiv, und die Technologien und Anlagen nicht genügend integriert und automatisiert. In den 1990er Jahren legte die Industrie die Entwicklung membrangestützter Bioprozesse als neue Produktionssysteme weitgehend auf Eis. Synthetische Nährmedien und andere dramatische Fortschritte bei der Batchverarbeitung haben dazu geführt, dass sich die Erträge auch so etwa alle fünf Jahre verdoppelt haben. Somit konnte sich die Batch und Fed-Batch Bioverfahrenstechnik als state-of-the-art Verfahrensführung behaupten, während die kontinuierlichen, membrangestützten Bioprozesse Probleme mit Komplexität und höheren Ausfallraten hatten.

Heute stellen sich aber zunehmend Erfolge ein. Als Beispiele für die Entwicklung sind hier in chronologischer Reihenfolge genannt:

- Produktion von Lösungsmitteln Aceton-Butanol-Ethanol (ABE) aus Molke-Permeat /7/ und Erzeugung organischer Säuren /16/: Mit dem Stamm Clostridium acetobutylicum P262 wurde in einer älteren Forschungsarbeit in einem MBR mit externer rückspülbarer Rohrmembran ABE erzeugt und die erzeugten Produkte ständig über die Membran abgezogen. Die ABE Fermentation wurde bis etwa 1960 eingesetzt und seither durch die

Erzeugung dieser Chemikalien in Ölraffinerien abgelöst. Heute rückt die Produktion von Biobutanol als erneuerbarer Rohstoff wieder in den Focus. Kürzlich wurde über den Einsatz von MBR mit flachen keramischen Membranen zur Produktion von organischen Säuren berichtet.

- Ältere Arbeiten beschäftigen sich mit der Kultivierung von tierischen Zellen in einem Membrandialyse-Bioreaktor /9/ und mit der Erzeugung von Milchsäure aus Käsemolkepermeat /10/.
- Essigproduktion in einem Blasensäulenfermenter mit Membran /11/: in dieser älteren Simulationsarbeit wird der Prozess theoretisch beleuchtet und simuliert. Die optimalen Bedingungen werden eruiert.
- Produktion von Xylitol aus D-xylose /12/: der Zuckerersatzstoff Xylitol wird aus dem Nährmedium D-xylose über einen Stamm der Candida guilliermondii in einem Membranbioreaktor kontinuierlich erzeugt. Dabei werden sterilisierbare Hohlfasermembrane mit einem maximalen Porendurchmesser von 0,2 µm bei einer Permeabilität von ca. 40 l/(m².h.bar) eingesetzt. Die Verdünnungsrate betrug dabei 0,03 h^{-1} und die Effektivität der D-xylose Umsetzung erreichte 86%.
- Einsatz von Membranbioreaktoren und zur Stärkehydrolyse /13/: in einem Review Artikel beschreiben hier die Autoren den Einsatz von Biomembranverfahren bei der Stärkehydrolyse. Dabei kommen in Abhängigkeit der Prozesstemperaturen (50 – 120 °C) sowohl organische Hohlfaser als auch keramische Membrane (50 kD MWCO), aber auch Membrane mit integrierten Enzymen zum Einsatz.
- Ethanolerzeugung mit einem Membranfermentor /14/: in dieser theoretischen Simulationsarbeit werden die Optimierungspotenziale beleuchtet, die sich aufgrund der kontinuierlichen Entnahme des Alkohols aus der Fermentationslösung ergeben.

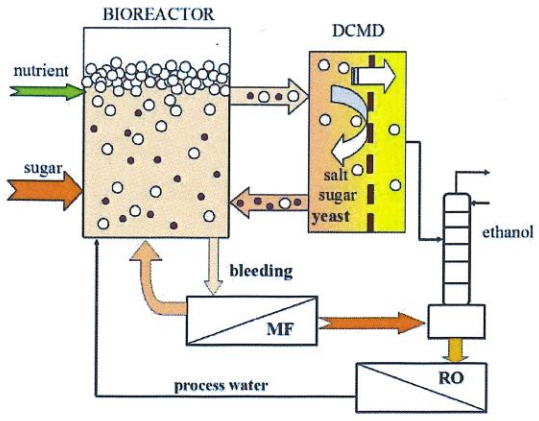

Abbildung 2: Ethanolerzeugung mit einem Membranfermentor /7/

- Erzeugung vom zellfreien Xanthan in einem Membranbioreaktor /15/: Xanthan wurde in diesem Fall mit dem Stamm Xanthomonas campestris DSMZ mit Glucose als Kohlenstoffquelle erzeugt. Für die Xanthan-Abtrennung wurde eine Zelluloseacetatmembran mit einer Trenngrenze vom 0,45 µm eingesetzt. In der Fermentation wurde eine Xanthan Konzentration von 20 g/l bei einer Verdünnungsrate von 1,44 h^{-1} erreicht.
- Pektin Modifikation und Abtrennung in einem Micro-MBR /17/: In dieser Doktorarbeit wurde die kontinuierliche katalysierte β-Elimination von Zuckerrübenpektin in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern (Cut-off der Membran, Feed- und Verdünnungsrate, Enzym/Substratverhältnis etc.) untersucht. Die Mikroreaktortechnologie mit integrierter Membrantrennstufe verspricht grundlegend neue, schnellere und effizientere Umsetzungen.
- Erzeugung von Tensiden in einem blasenlosen MBR /18/: In dieser experimentellen Arbeit wurde der Stamm Bacillus subtilis in einem membranbelüfteten (d.h. blasenlos) MBR mit 3 l Volumen kultiviert. Die erzeugten Tenside wurden über die Ultrafiltrationsmembran aus dem Fermenter abgezogen, wobei eine Tensidreinheit von 95 % erreicht wurde.
- Erzeugung und Gewinnung von Brenztraubensäure (Acetylameisensäure) /19/: Der MBR Fermenter ist mit einer autoklavierbaren Polyvinylidene-Difluorid-Membran ausgestattet, die ursprünglich in der Abwasserreinigung Anwendung findet. Als Stamm wird die Hefe Torulopsis glabrata eingesetzt. Dabei konnte über 300 h eine stabile kontinuierliche Produktion von 4,2 g/(l.h) erreicht werden, die somit 4 fach höher als bei Batch Fermentationen liegt. Der Transmembrandruck blieb dabei bei < 50 mbar.
- Biodieselerzeugung mit kontinuierlicher Gylzerinabtrennung in einem MBR /20/: Biodiesel wird in diesem Fall fermentativ mit Candida antarctica lipase B (CalB) hergestellt. Dabei wirken sich Methanol und Glyzerin deaktivierend auf das Enzym aus. Aus diesem Grund wird Glyzerin kontinuierlich aus dem Bioreaktor abgezogen, während Methanol im Gegenzug exakt dosiert über dieselbe Membran zudosiert wird.

Es ist also offensichtlich, dass die kontinuierliche und membrangestützte Bioprozesstechnik ein erhebliches Potenzial zur festen Etabilierung in der Bioprozessindustrie hat.

Dabei ist allerdings auch die langwierige Entwicklung von neuen Produktionsverfahren im Pharmabereich zu beachten, die in der nachstehenden Abbildung 3 illustriert ist.

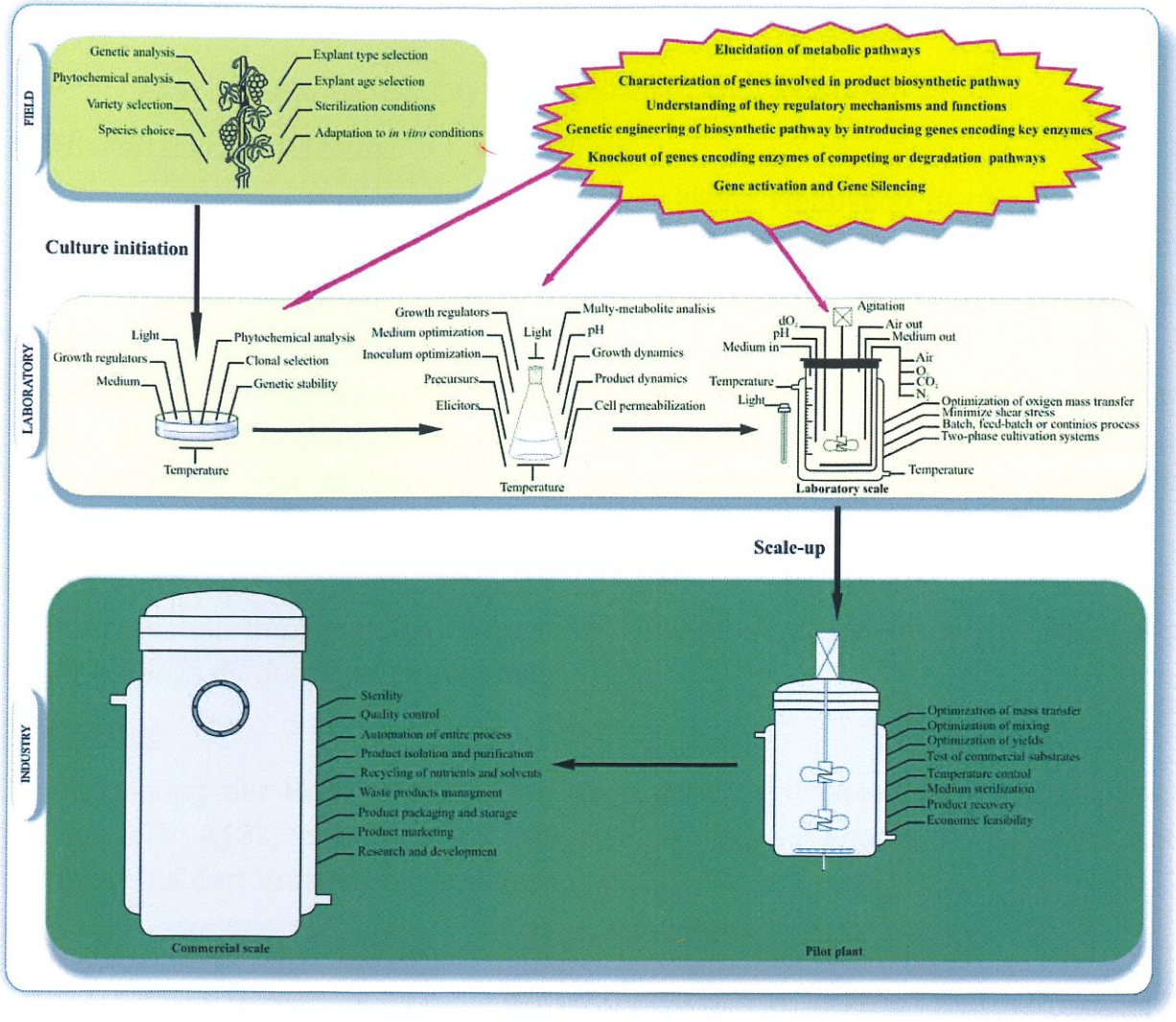

Abbildung 3: Entwicklungsschritte/Scale-Up im Pharmabereich /21/

Es ist daher erforderlich, dass die neue membrangestützte Prozessführung bereits im Labormaßstab eingeführt wird und dazu stehen derzeit m.E. noch kaum ausreichend etablierte und validierte Werkzeuge und entsprechend geschultes Personal zur Verfügung.

Anzumerken ist hier aber auch, dass die Kosten für die Membrane im Vergleich zu den sonstigen Personal- und Materialkosten, aber auch zu den Produkterlösen vernachlässigbar erscheinen. Auch dieser Aspekt unterscheidet diese Anwendung grundsätzlich vom Einsatz in der Umwelttechnik.

3 Anwendungen in der Umwelttechnik

3.1 Abwasseraufbereitung der Biokraftstofferzeugung

Vorstudien und Pilotanlage

Das Ziel war es, ein Konzept für eine wirtschaftliche Reduktion der Konzentration an CSB von rund 130 kg_{CSB}/m^3 bis auf < 10 kg_{CSB}/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 /5/ durchgeführt worden.

Großanlage

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

Abbildung 4: Großanlage Abwasseraufbereitung der Biokraftstofferzeugung

In der Anlage (Abbildung 4) können täglich 30 m³ Abwasser mit einer CSB Konzentration bis zu 120 kg/m³ gereinigt werden.

Die wichtigsten Komponenten der Großanlage sind

- 125 m³ Selektor mit schwacher Belüftung
- 400 m³ Belebung
- Ejektorbelüftung: 5 Stück Ejektoren mit Druckluftversorgung
- Cross-Flow-Mikrofiltration: 31 m²
- Kühlung: 120 kW
- Schlammbehandlung: Dekanter Zentrifuge

Erkenntnisse

Das organisch hochbelastete Abwasser aus der Produktion von Biokraftstoffen und aus der Aufbereitung tierischer Fette fällt in der Menge von nur ca. 25 m³/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 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 and aus zwei getrennten Tanks mit einem Gesamtvolumen von 0,62 m³. 0,15 m³ werden als vorgeschaltete anoxische Denitrifikation und 0,47 m³ 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 5). 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.

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 m³ Denitrifikation
- Nitrifikation: zwei Tanks mit einem Gesamtvolumen von 260 m³
- Belüftung: 10 Stück Injektoren

- Cross-Flow-Mikrofiltration: 40 m²
- Kühlturm: 200 kW
- Schlammbehandlung: Dekanter Zentrifuge

Abbildung 5: Großanlage zur Deponiesickerwasseraufbereitung

Nähere Details zum Design sind bereits veröffentlicht worden /6/.

Erkenntnisse

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 20 Jahren ohne Membranwechsel in Betrieb ist und dass die eingesetzten günstigen Standardwickelelemente der nachgeschalteten Umkehrosmose ebenfalls Standzeiten von deutlich mehr als 12 Monaten erreichen.

3.3 Planungshinweise zu MBR-Anwendungen in der Umwelttechnik

Schon alleine aus Gründen der Energieeffizienz sollten organisch hochbelastete Abwässer im Regelfall 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.

Dimensionierung der Schlammlinie

Eine exakte Ermittlung des Schlammanfalls basierend auf bekannten Auslegungstools oder Pilotversuchen ist kaum möglich. Die Praxiswerte der großtechnischen Anlagen schwanken im Bereich von 0.05 – 0.2 kgTS/kgCSB und damit um einen Faktor 4 (!!).

Andererseits spart aber eine exakte Dimensionierung Kosten und Betriebsprobleme. Das Risiko kann minimiert werden, wenn die Schlammbehandlung erst nach Inbetriebnahme nachgerüstet wird und bis dahin der Dünnschlamm extern entsorgt wird.

Dimensionierung der Heizung/Kühlung

Die exakte Wärmebilanzierung ist eine Hauptaufgabe der Planung. Die mechanisch eingetragene Wärme und der Wärmeverlust sind sicher kalkulierbar, das Problem liegt aber im Ansatz der biologisch erzeugten Wärme. Diese ist aufgrund von Literaturdaten nur schwer berechenbar und im Pilotmaßstab kaum messbar bzw. skalierbar, hier sind empirische Werte hilfreich.

Das Fouling der Wärmeübertragungsflächen ist einzurechnen. Eine Überdimensionierung ist relativ zu den Gesamtkosten nicht sehr relevant, aber eine gute Wärmeregelung ist essentiell für stabilen Betrieb.

4 Zusammenfassung

Hochbelastete Membran-Bioreaktoren haben sich in den letzten 20 Jahren vom Exoten zum Standardverfahren (unit operation) in der Prozessindustrie und Umwelttechnik entwickelt.

MBRs werden heute in der Abwasserreinigung bei schwachen oder sensiblen Vorflutern, beim Retrofit unter beengten Platzverhältnissen oder bei der Notwendigkeit der Wiederverwendung des Reinwassers als Methode der Wahl eingesetzt.

Ebenso haben sie sich bei Schiffskläranlagen, bei der Deponiesickerwasserreinigung, bei der Gülleaufbereitung und in der industriellen Abwasserreinigung durchgesetzt, speziell wenn die Minimierung des Wasserverbrauchs oder hochbelastete Abwässer im Focus stehen.

Die wesentlichen zukünftigen Fortschritte beim MBR Einsatz in der Umwelttechnik sind bei der Senkung des Energiebedarfs und bei der Senkung der Membranbetriebskosten, z.B. durch niedrigere Investkosten, längere Standzeiten oder höhere Fluxraten zu erwarten.

Im Biotechbereich dauert die Etablierung der Biomembrananwendung aufgrund der langwierigen Produktgenese länger, aber auch hier erfolgt die Entwicklung zügig. Die theoretischen Vorteile einer kontinuierlichen Prozessführung mit der Möglichkeit, hemmende Produkte stetig abzuführen oder auch Substrate, die in höheren Dosen limitierend sind, bedarfsgerecht und optimal verteilt simultan über die Membran, zuzuführen, liegen auf der Hand.

Ein weiterer Entwicklungsschub ist mit der Einführung von biologisch aktiven (an die Membran gebundene Enzyme) und selektiven Membranen, aber auch durch Mikrobioreaktoren zu erwarten.

5 Literatur

/1/ Mayr B., Novak S., Horvat P., Gaisch F., Narodoslawsky 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/ Langer E. S., Rader R. A.: Continuous Bioprocessing and Perfusion: Wider Adoption Coming as Bioprocessing Matures; Spring 2014 BioProcessing Journal

/3/ Küster, E. N.: Dumping of Refuse and Sludges, pp. 349-362, Biotechnology Vol. 8, VCH-Verlag Winheim, 1986

/4/ 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

/5/ 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

/6/ Mayr B., Rothschedl R.: Abfallwirtschaftliche Anlagen in Österreich, in: Enviro Consult GmbH, Aachen: 1. Aachener Tagung zur Deponienachsorge, 29. - 30. 9. 1998

/7/ Gryta M.: Desalination of Industrial Effluents Using Integrated Membrane Processes, INTECH 2012, http://dx.doi.org/10.5772/49993

/8/ Ennis B. M., Maddox I. S.: Production of solvents (ABE fermentation) from whey permeate by continuous fermentation in a membrane bioreactor; Bioprocess Engineering 1989, Volume 4, Issue 1, pp 27-34

/9/ Bohmann A., Pörtner R., Schmieding J., Kasche V., Märkl H.: The membrane dialysis bioreactor with integrated radial-flow fixed bed —a new approach for continuous cultivation of animal cells; Cytotechnology; 1992, Volume 9, Issue 1-3, pp 51-57

/10/ Tejayadi S., Cheryan M.: Lactic acid from cheese whey permeate. Productivity and economics of a continuous membrane bioreactor; Applied Microbiology and Biotechnology 1995, Volume 43, Issue 2, pp 242-248

/11/ Nishiwaki A., Bourne J. R.: Performance of a cell recycle bubble column fermentor with a membrane filter module for continuous vinegar production; Bioprocess Engineering 1995, Volume 12, Issue 3, pp 109-114

/12/ Luis F. Figueiredo Faria, Nei Pereira Jr. and Ronaldo Nobrega; Xylitol production from D-xylose in a membrane bioreactor; Desalination 149 (2002) 231-236

/13/ Sarbatly R. and England R.: Critical review of membrane bioreactor systems used for continuous production of hydrolysed starches. Chemical and Biochemical Engineering 18: 3 – 76 (2004)

/14/ Parag Garhyan, Elnashaie S.S.E.H.: Bifurcation analysis of two continuous membrane fermentor configurations for producing ethanol; Chemical Engineering Science 59 (2004) 3235 – 3268

/15/ Rosalam S* . Krishnaiah D. and Bono A.: Cell free xanthan gum production using continuous recycled packed fibrous-bed bioreactor-membrane; Malaysian Journal of Microbiology, Vol 4(1) 2008, pp. 1-5

/16/ Hahn T., Kovacs Z., Hannemann I., Grau K., Schmidt H J, Kraume M., Czermak P.: Membrane Bioreactor with Submerged Ceramic Flat Membranes for the Production of Organic Acids; Filtech 2009, Vol. 2, 594-599

/17/ Muhd. Nazrul Hisham Zainal Alam: Continuous Membrane Microbioreactor for Development of Integrated Pectin Modification and Separation Processes, PhD Thesis, 2010, DTU Denmark

/18/ Coutte F., Lecouturier D., Leclère V., Béchet M., Jacques P., Dhulster P.: New integrated bioprocess for the continuous production, extraction and purification of lipopeptides produced by Bacillus subtilis in membrane bioreactor; Congress SFGP 2011, Lille (France).

/19/ Sawai H., Mimitsuka T., Minegishi S., Henmi M., Yamada K., Shimizu S., Yonehara T.: A novel membrane-integrated fermentation reactor system: application to pyruvic acid production in continuous culture by Torulopsis glabrata; Bioprocess and Biosystems Engineering, 2011, Volume 34, Issue 6

/20/ Ko M.J., Park H.J., Hong S.Y., Yoo Y.J.: Continuous biodiesel production using in situ glycerol separation by membrane bioreactor system; Bioprocess and Biosystems Engineering 2012, Volume 35, Issue 1-2, pp 69-75

/21/ Ananga et al.: Production of Anthocyanins in Grape Cell Cultures: A Potential Source of Raw Material for Pharmaceutical, Food, and Cosmetic Industries, Intech 2013