

Einsatz des Membranbelevungsverfahrens in der österreichischen Industrie: Fallbeispiele und Grenzen

DI Dr. Bernhard MAYR

EnviCare® Engineering GmbH

Ingenieurbüro für Verfahrenstechnik

A-8042 Graz, Eisteichgasse 20/36

www.envicare.at

Abstract: Die Erfahrungen aus der Planungs-, Umsetzungs- und Betriebsphase von sechs großtechnischen Membranbelevungsanlagen zur Reinigung verschiedener industrieller Abwässern werden vorgestellt. Wesentliche Kenngrößen wie Zu- und Ablaufwerte, Membranstandzeit, Schlammalter, Raum- und Schlammbelastung werden genannt und Planungshinweise aus der Projektrealisierung werden gegeben.

Key Words: Membranbelevungsverfahren, Industrieabwasser, Pharmaindustrie, Lebensmittelerzeugung, Biodieselerzeugung, Galvanikabwasser, Abfallbehandlung, Deponiesickerwasser, getauchte Membran, Cross-Flow-Betriebsweise, Energiebedarf

1 Einleitung

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

Basierend auf der Option sowohl die hydraulische Verweilzeit als auch das Schlammalter exakt zu wählen, werden nicht nur hohe volumetrische Abbauraten an organischen Inhaltsstoffen, sondern auch ein deutlich besserer Abbaugrad für "harte" organische Verbindungen erreicht.

Der vollständige Schlammrückhalt gewährleistet nicht nur einen optimalen Abbau der organischen Schmutzfracht, sondern ermöglicht auch die gezielte

Selektion von spezialisierten Mikroorganismen, die ansonsten zB als Schwimmschlamm aus dem System ausgetragen werden würden.

Besonders bei der Reinigung hochkonzentrierter organischer Abwässer ist der Energiebedarf der Belüftung der MBV signifikant und determiniert die Betriebskosten wesentlich. Aus diesem Grund bieten sich hier im Regelfall anaerobe Vorbehandlungsschritte als effizientere Verfahren an. Dies ist aber jedenfalls im Einzelfall zu untersuchen und bewerten, wobei zB ein hoher Schwefelgehalt oder ein nicht ausgewogener und stark schwankender Nährstoffgehalt diese Verfahrensführung manchmal vereitelt.

Im Beitrag werden die Praxiserfahrungen einiger österreichischer Projekte vorgestellt.

2 Fallbeispiele

2.1 Deponiesickerwasser

Der erste Fall beschreibt eine großtechnische MBV-Anlage zur Deponiesickerwasseraufbereitung mit einer CSB-Konzentration von 25 kg/m^3 und einer Ammonium-N-Konzentration von 4 kg/m^3 (Mayr, et al., 1995).



Abbildung 1: Großanlage zur Deponiesickerwasseraufbereitung

Deponie-Sickerwasser entsteht durch anaeroben mikrobiellen Abbau und Auslaugung von Abfällen auf Deponien (Küster, 1986). 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-/Denitrifikationsverfahrens erfordert im klassischen Belevungsverfahren eine ausreichende Versorgung mit einer Kohlenstoffquelle. Daher wurde eine anaerobe Vorbehandlung im Fall der Deponiesickerwasserreinigung nicht weiterverfolgt, da sie zwar zu einer deutlichen Reduktion der Organik führen würde, aber Ammonium nicht reduzieren könnte.

Tabelle 1: Kennwerte des MBV für Deponiesickerwasserreinigung (Mayr B., 2012)

Art des Abwassers	Deponie
Inbetriebnahme	1994
Max. Durchsatz pro Tag	100 m ³ /d
Zulaufwerte des MBV (Fracht):	
CSB	2500 kg/d
Ammonium-N	400 kg/d
Gesamt-N (TNb)	440 kg/d
Ablaufwerte (Wirkungsgrad)	
CSB	87 %
Ammonium-N	< 10 mg/l
Gesamt-N (TNb)	80 %
Ableitungsart (Kanal oder Direkteinleitung)	Direkt nach 2 stufiger Umkehrosiose (!)
Membranprodukt:	Keramik Cross-Flow
Membranfläche	40 m ²
Membranstandzeit	22 a
Beckenvolumen (Biologie/Membranbecken)	390 m ³
Schlammalter	> 60 d
Trockensubstanzgehalt	30 kg/m ³
CSB Raumbelastung	6,41 kg/(m ³ .d)
CSB Schlammbelastung	0,21 kg/(kg.d)

2.2 Abwasser aus der Biodieselproduktion

Als zweiter Fall wird eine MBV-Anlage zur Vorreinigung von Abwasser mit einer durchschnittlichen CSB-Konzentration von 150 kg/m³ und einer mangelhaften Nährstoffzusammensetzung aus der Erzeugung von Biodiesel und aus der vorgelagerten Fettaufbereitungsstufe vorgestellt (Mayr B., 2013).



Abbildung 2: Großanlage Abwasseraufbereitung der Biodieselerzeugung

Tabelle 2: Kennwerte des MBV zur Reinigung von Abwasser der Biodieselerzeugung

Art des Abwassers	Biodiesel
Inbetriebnahme	2009
Max. Durchsatz pro Tag	30 m ³ /d
Zulaufwerte des MBV (Fracht): CSB	3.600 kg/d
Ablaufwerte (Wirkungsgrad) CSB	96 %
Ableitungsart (Kanal oder Direkteinleitung)	Kanal
Membranprodukt:	Organik Cross-Flow UF
Membranfläche	30 m ²
Membranstandzeit	~ 3 a
Beckenvolumen (Biologie/Membranbecken)	500 m ³
Schlammalter	~ 30 d
Trockensubstanzgehalt	30 kg/m ³
CSB Raumbelastung	7,2 kg/(m ³ .d)
CSB Schlammbelastung	0,24 kg/(kg.d)

Im Vergleich zu Daten aus der Literatur (Colic, Hicks, & Lechter, 2008) war die Abwasserkonzentration in diesem Fall signifikant höher, da hier ein Produktionsprozess mit maximiertem Ertrag inklusive destillativen Verfahrensschritten zur Glycerin- und Methanolgewinnung Anwendung findet. Dieses Prozessdesign führt mit $0,12 \text{ m}^3 \text{ Abwasser/m}^3 \text{ Kraftstoff}$ zu deutlich geringeren Abwassermengen im Vergleich zu einem Verhältnis von 2, das in der zuvor erwähnten Literatur 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.

2.3 Abwasser aus der pharmazeutischen Industrie

Das nachfolgende Anwendungsbeispiel und das Foto wurde freundlicherweise von der SANDOZ GmbH, Frau DI Birgit Gruber für die Veröffentlichung zur Verfügung gestellt.



Abbildung 3: Abwasseraufbereitung in der Pharmaindustrie (Gruber, 2017)

Tabelle 3: Kennwerte des MBV in der pharmazeutischen Industrie

Art des Abwassers	Pharma
Max. Durchsatz pro Tag (die über die MBV läuft)	1.100 m ³ /d
Inbetriebnahme	2000
Zulaufwerte des MBV (Fracht):	
CSB	2.800 kg/d
Ammonium-N	265 kg/d
Nitrat-N	0,3 kg/d
Gesamt-N (TNb)	410 kg/d
Ablaufwerte (Wirkungsgrad)	
CSB	82,7 %
BSB5	99,0 %
Gesamt-N (TNb)	82,4 %
Ableitungsart (Kanal oder Direkteinleitung)	Direkt
Membranprodukt:	Hohlfaser getaucht
Membranfläche	5952 m ²
Beckenvolumen Biologie/Membranbecken	1.220 + 240 m ³
Schlammalter oder Schlammanfall in % des abgebauten CSB	13 d
Trockensubstanzgehalt	8,7 kg/m ³
CSB Raumbelastung	1,92 kg/(m ³ .d)
CSB Schlammbelastung	0,22 kg/(kg.d)

Weiterführende Informationen können auch aus einem Vortrag im Rahmen einer ÖWAV Tagung entnommen werden (Greil, 2001).

2.4 Abwasser aus der Galvanik/Metalloberflächenbehandlung

Das Abwasser eines Betriebs zur Behandlung metallischer Oberflächen wird vor der Direkteinleitung in einem Membranbioreaktor gereinigt, wobei die bestehende chemisch-physikalische (CP) Betriebskläranlage erweitert worden ist.

Die Projektinformationen und die Fotos wurde freundlicherweise von der Collini GmbH, Herr Dr. Martin Peter für die Veröffentlichung zur Verfügung gestellt.

Die Beschaffenheit entspricht der eines Industriebetriebes zur Oberflächenbeschichtung metallischer Teile (Abwasseremissionsverordnung Oberflächenbehandlung BGBl.II Nr.44/2002).



Abbildung 4: Abwasseraufbereitung in der Galvanik/Metalloberflächenbehandlung (Peter M., 2017)

Tabelle 4: Kennwerte des MBV in der Galvanik/Metalloberflächenbehandlung

Art des Abwassers	Galvanik/Eloxal
Inbetriebnahme	2006
Mittlerer Durchsatz pro Tag	~ 800 m ³ /d
Zulaufwerte des MBV (Fracht):	
CSB	200 - 500 kg/d
Ammonium-N	70 - 140 kg/d
Ablaufwerte (Wirkungsgrad)	
CSB	70 – 80 %
Ammonium-N	< 10 mg/l
Ableitungsart (Kanal oder Direkteinleitung)	Direkt
Membranprodukt:	Platte getaucht
Membranfläche	7.420 m ²
Beckenvolumen Biologie/Membranbecken	1.200 m ³
Membranstandzeit	bis 10 a
Schlammalter oder Schlammfall in % des abgebauten CSB	ca. 3 Jahre
Trockensubstanzgehalt	ca. 20 kg/m ³
CSB Raumbelastung	< 0,5 kg/(m ³ .d)
CSB Schlammbelastung	< 0,02 kg/(kg.d)

2.5 Abwasser aus der Aufbereitung von flüssigen Abfällen

Die letzte in Österreich realisierte Anlage wurde im Oktober 2016 erfolgreich bei einem Entsorgungsunternehmen in der Steiermark in Betrieb gesetzt. Die Planung bis zur Inbetriebnahmeleitung erfolgte durch EnviCare®.

Der Betrieb verarbeitet flüssige Abfälle, vor allem Öl/Wassergemische und wässrige Emulsionen mit dem Ziel der ZLT (Zero Liquid Discharge). Das bedeutet, dass die erzeugte Reinwasserqualität die vollständige Wiederverwertung der sauberen Abwässer für innerbetriebliche Reinigungszwecke gestatten muss.

Im Abwasser von Abfallbehandlungsbetrieben sind neben organischen Verbindungen wie Proteinen, Fetten und Zucker auch zahlreiche synthetische (Mineralöle) und anorganische Inhaltsstoffe enthalten.

Diese Schadstoffkonzentrationen können bei korrekter Prozessführung der installierten Vorreinigungsanlagen (Flotation und Verdampfer) durch die biologische Membranbioreaktoranlage weitgehend verringert werden.



Abbildung 5: Abwasseraufbereitung in der Abfallwirtschaft

Das MBV ersetzt eine untaugliche Anlage, die anfänglich errichtet worden ist. Diese Anlage aus den Prozessschritten Festbettbiologie – keramische Cross-Flow Mikrofiltration – Nanofiltration mit integrierten Aktivkohleadsorber –

Umkehrosiose konnte die erforderliche Durchsatzleistung nicht erreichen und musste zur Gänze rückgebaut werden.

Vor dem Bau der Großanlage wurde über mehrere Monate eine halbtechnische Versuchsanlage betrieben, um den Bioprozess zu optimieren und um sichere Auslegungsgrundlagen für die Maßstabsvergrößerung zu erhalten.

Tabelle 5: Kennwerte des MBV in der Abfallwirtschaft

Art des Abwassers	Flüssige Abfälle/öhlhäftig
Inbetriebnahme	2016
Max. Durchsatz pro Tag	96 m ³ /d
Zulaufwerte des MBV (Fracht):	
CSB	480 kg/d
Ablaufwerte (Wirkungsgrad)	
CSB	92 %
Ammonium-N	< 10 mg/l
Gesamt-P	< 5 mg/l
Ableitungsart (Kanal oder Direkteinleitung)	Kanal
Membranprodukt:	Hohlfaser getaucht
Membranfläche	400 m ²
Beckenvolumen Biologie/Membranbecken	120 m ³
Schlammalter	60 d
Trockensubstanzgehalt	15 kg/m ³
CSB Raumbelastung	4,0 kg/(m ³ .d)
CSB Schlammbelastung	0,27 kg/(kg.d)

2.6 Abwasser aus der Lebensmittelindustrie/Getrnkeerzeugung

Das Unternehmen agiert als Zulieferbetrieb der Nahrungs- und Genussmittelindustrie. Die Abwässer aus den Produktionsanlagen wurden bereits vor der Installierung des MBV in einer biologischen Kläranlage vorgereinigt und in den Kanal eingeleitet.

Das „klassische“ Reinigungskonzept bestand aus einer Neutralisation, einem Pufferbehälter, einer Biologie mit Tiefenbelftung, einer Nachklärung mit eingebautem Schrägklärer, einem Schlammstapelbehälter und einer Dekanteranlage für die Schlamm entwässerung. Die Funktionalität wurde durch die Schlamm eigenschaften (Blschlamm) beeinträchtigt.

Vor der Errichtung der Groanlage wurde durch EnviCare[®] eine Pilotierung im halbtechnischen Maßstab durchgeführt.

Die Erkenntnisse flossen in die Konzeption der Großanlage ein und erlaubten eine exakte Dimensionierung der wesentlichen Anlagenteile. Der bestehende Puffertank aus Edelstahl konnte als Biologiebehälter weiter verwendet werden.

Das rechte Foto in Abbildung 6 und die Angabe zur Membranfläche sind aus frei zugänglichen Firmeninformationen entnommen (A3 GmbH, 2009).



Abbildung 6: Abwasseraufbereitung in der Lebensmittelindustrie

Tabelle 6: Kennwerte des MBV in der Lebensmittelindustrie

Art des Abwassers	Lebensmittelindustrie
Inbetriebnahme	2008
Max. Durchsatz pro Tag	250 m ³ /d
Zulaufwerte des MBV (Fracht):	
CSB	1.250 kg/d
Ablaufwerte (Wirkungsgrad)	
CSB	96 %
Ammonium-N	< 10 mg/l
Gesamt-P	< 10 mg/l
Ableitungsart (Kanal oder Direkteinleitung)	Kanal
Membranprodukt:	Platte getaucht
Membranfläche	1.680 m ²
Beckenvolumen Biologie/Membranbecken	340 m ³
Schlammalter	18 d
Trockensubstanzgehalt	13 kg/m ³
CSB Raumbelastung	3,7 kg/(m ³ .d)
CSB Schlammbelastung	0,28 kg/(kg.d)

3 Planungshinweise

3.1 Pilotierung

Die Pilotierung ist aus der Sicht des Verfassers aus mehreren Gründen eine äußerst sinnvolle Maßnahme:

- Zur Eingrenzung der Risiken des Anlagenplaners- und -lieferanten;
- Zur exakten Bestimmung der Auslegungsgrößen und damit einhergehend zur Reduktion der Invest- und Betriebskosten des Anlagenbetreibers;
- Zum Kennenlernen der Eigenheiten des betrieblichen Abwasseranfalls (der stets Überraschungen bereithält), die bei einer reinen Planungsdienstleistung, die ja zum Großteil nicht im Betrieb, sondern im Planungsbüro am Schreibtisch abläuft, nicht erkennbar sind!
- Zum Kennenlernen des Betriebspersonals und der betrieblichen Hierarchien und Abläufe.

3.2 Membranfläche und chemische Reinigung

Eine ausreichend bemessene Membranfläche und der damit korrelierende niedrige Bemessungsflux stellen eine sehr wichtige Voraussetzung für einen langfristig stabilen Betrieb dar.

Betrachtet man die Gesamtkosten einer MBV-Anlage, wird sofort klar, dass heute die Membraninvestkosten vergleichsweise untergeordnet sind. Die in den letzten Jahren stark gesunkenen Membranpreise erlauben es, dass die Membranfläche konservativ und mit ausreichenden Reserven gewählt wird (Abbildung 8).

Damit ergeben sich folgende wichtige Vorteile:

- Es steht eine ausreichende Reserve für hydraulische Spitzen zur Verfügung
- Das Intervall der chemischen Reinigung kann verlängert werden. Dies wirkt sich wiederum positiv auf die Membranlebensdauer aus.

Heute sind drei Standardreinigungsprozeduren für getauchte System etabliert, nämlich die regelmäßig ausgeführte automatische In-Situ Rückspülung mit Reinigungschemikalien, die chemieunterstützte Rückspülung „an der Luft“ (halbjährlich) und die intensive Reinigung in einer Reinigungslösung in einem Becken (falls erforderlich).

3.3 Schlammanfall

Aus der Erfahrung des Autors ist eine exakte Ermittlung des Schlammanfalls basierend auf bekannten Auslegungstools oder selbst mit Pilotversuchen aufgrund von Einflüssen der Maßstabsvergrößerung (Sauerstoffübergang, Temperatur etc.)

seriös kaum möglich. Die Schwankungsbreite erstreckt sich bei mehreren Ausführungsbeispielen bis zu einem Faktor 4! Beispielsweise wurde zum Beginn der Entwicklung des MBV von Prof. Dr. Dorau, Umweltbundesamt Berlin aufgrund von Pilotversuchen mit kommunalem Abwasser berichtet, dass der Anfall von biologischem Überschussschlamm gegen Null gehen kann (Dorau, 1998).

Andererseits spart eine exakte Dimensionierung der Schlammbehandlungsanlage erhebliche Investkosten und beugt Betriebsprobleme vor.

Das Risiko einer Fehldimensionierung kann erheblich minimiert werden, indem die Schlammbehandlung erst nach der Inbetriebnahme der Großanlage nachgerüstet wird und der Schlamm bis dahin extern entsorgt wird.

3.4 Wärmebilanzierung

Die exakte Energiebilanzierung des MBVs ist eine Hauptaufgabe der Planung.

Während die mechanisch eingetragene Wärme und die Wärmeverluste über die Wandungen oder über die Medien relativ einfach und sicher kalkuliert werden können, ist die biologisch erzeugte Wärme (speziell im Fall von Industrieabwasser!) schwer berechenbar und auch im Pilotmaßstab kaum exakt messbar bzw. skalierbar. Zuverlässig helfen hier Erfahrungswerte, die aus Wärmebilanzen realisierter Anlagen erarbeitet worden sind.

In der Bilanzberechnung ist zudem das Fouling der Wärmeübertragungsflächen einzurechnen, das sich erst nach längerer Zeit einstellen kann.

Anzumerken ist, dass in Hinsicht auf die Investkosten eine Überdimensionierung der Kühlaggregate relativ zu Gesamtkosten nicht sehr kostspielig ist, dass aber andererseits eine ausreichend stabile Wärmeregulung essentiell für stabilen Betrieb der Großanlage ist.

3.5 Schaum

Aufgrund der im Vergleich zu konventionellen Belebtschlammverfahren hohen Raumbelastung und der zumeist geringen Oberfläche der Belebungsbecken kann beim MBV das Schäumen rasch problematisch werden.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass es sinnvoll ist, bereits in der Konzeption der Großanlage Gegenmaßnahmen vorzusehen. Diese können zB in Form einer Kombination der Injektorbelüftung mit einer Schaumabsaugung oder in einer Besprühungseinrichtung realisiert werden.

Zusätzlich zu diesen mechanischen Schaumzerstörungsmaßnahmen erweist sich im Regelfall eine Dosiereinheit für Antischaummittel als hilfreich.

Ebenso ist ein ausreichend hohes Freibord über dem Wasserspiegel erforderlich.

Beim Einsatz von Antischaummittel ist zu beachten, dass diese den Membranflux erheblich beeinträchtigen können.

Die Biologie kann sich zudem rasch an das Antischaummittel adaptieren, so dass mit fortlaufender Adaption ständig mehr Antischaum zugegeben werden muss. Daher sollen verschiedene Mittel bereits in der Pilotphase getestet und dann im Betrieb vorgehalten werden

Die Praxis hat gezeigt, dass eine starke Schaumbildung sogar im unbelüfteten Denitrifizierungstank auftreten kann.

Generell beugt eine ausreichende Nährstoffversorgung und ein stetiger Betrieb mit einer gleichmäßigen Abwasserbeschaffenheit und -menge einer starken Schaumbildung vor, aber die betriebliche Praxis führt im Regelfall leider häufig dazu, dass diese Voraussetzungen nicht erfüllt sind.

3.6 Cross-Flow (CF) oder Submers?

Generell ergeben sich Eignungsunterschiede der beiden Betriebsweisen aufgrund der optimalen Trockensubstanzgehalte.

Während CF-Anlagen mit TS-Gehalten von 15 - 40 g/l gefahren werden, betragen diese bei getauchten Systemen 6 - 20 g/l.

In Abhängigkeit der eliminierten CSB-Konzentration und des spezifischen Schlammanfalls ergibt sich der nachfolgend dargestellte Zusammenhang, wobei stets eine Reduktion des CSB um 85 % postuliert wird:

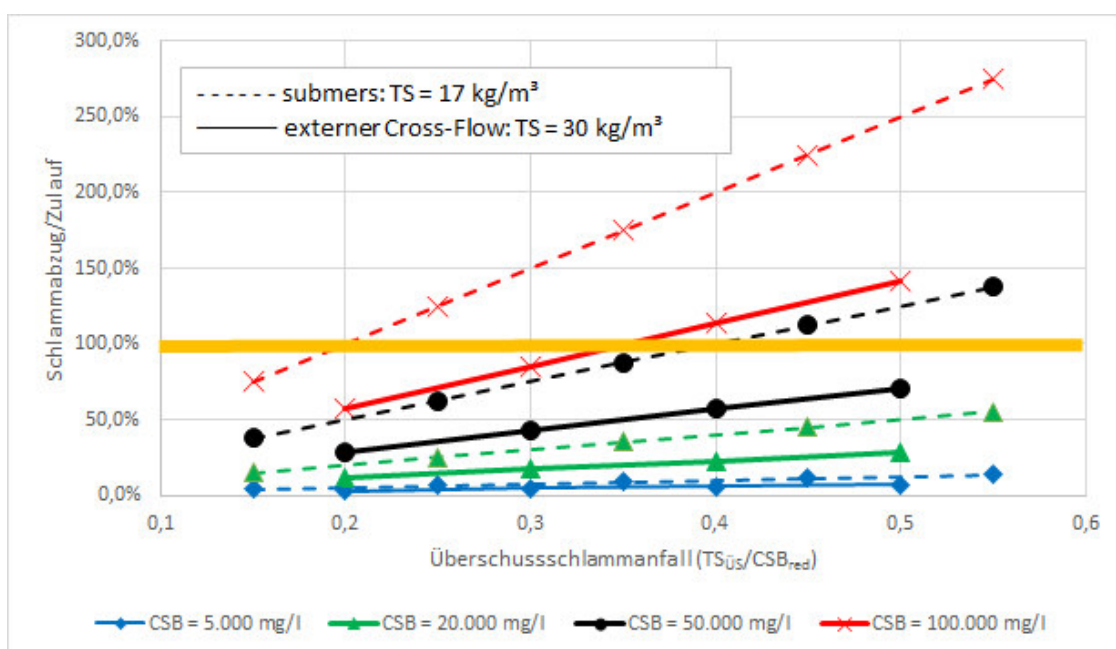


Abbildung 7: Zusammenhang Schlammanfall und Schlammabzug

Selbstverständlich kann die Schlammabzugsmenge nicht die Zulaufmenge übersteigen, sodass die in Abbildung 7 gelb dargestellte 100 % Grenze in der Realität nicht überschritten werden kann, da in diesem Fall bereits der gesamte Zulauf in Form von Schlamm aus dem System abgezogen wird.

Aus der Grafik ist weiter abzulesen, dass bei einem getauchten System (gestrichelte Linien), das mit einem TS von 17 kg/m^3 betrieben wird, folgende Maximalwerte des CSBs im Zulauf in Abhängigkeit des spezifischen Überschussschlammanfalls Y erreicht werden können:

- $Y = 0,4 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{kg}_{\text{CSB-red}}$ \Rightarrow max. $\text{CSB}_{\text{Zulauf}} = 50.000 \text{ mg/l}$
- $Y = 0,2 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{kg}_{\text{CSB-red}}$ \Rightarrow max. $\text{CSB}_{\text{Zulauf}} = 100.000 \text{ mg/l}$

Bei einem externen Cross-Flow System (durchgehende Linien), das mit einem TS Gehalt von 30 kg/m^3 betrieben wird, ergeben sich folgende Grenzen (die generell über jenen der getauchten Systeme liegen):

- $Y = 0,35 \text{ kg}_{\text{TS}}/\text{kg}_{\text{CSB-red}}$ \Rightarrow max. $\text{CSB}_{\text{Zulauf}} = 100.000 \text{ mg/l}$

Neben diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass je höher das Abwasser belastet ist, der Energiebedarf für die Cross-Flow Filtration ($2 - 5 \text{ kWh/m}^3_{\text{Abwasser}}$) gegenüber jenem für die Prozessbelüftung immer mehr zurücktritt (bei $\text{CSB}_{\text{Zu}} = 120.000 \text{ mg/l}$ ergibt sich ein Energiebedarf für die Prozessbelüftung von $\sim 75 \text{ kWh/m}^3_{\text{Abwasser}}$!).

Basierend auf der Praxiserfahrung zieht der Verfasser getauchte Systeme bis zum einer spezifischen Standard Sauerstoffzufuhr (SOTR) von $25 \text{ kg}_{\text{O}_2}/\text{m}^3_{\text{Abwasser}}$ externen Cross-Flow Systemen vor.

In Hinsicht auf die Wartungsfreundlichkeit und Effektivität der Membranreinigung ergeben sich Vorteile für getauchte Systeme, da in diesem Fall die aktive Membranoberfläche von außen zugänglich ist und auch ohne Hilfsmittel in Augenschein genommen werden kann.

4 Ausblick

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.

4.1 Membrankosten

Fallende Membranpreise (Abbildung 8) tragen zur raschen Verbreitung dieser Technologie bei, die heute für zahlreiche industrielle Anwendungsfälle bereits die BVT (beste verfügbare Technologie) darstellt.

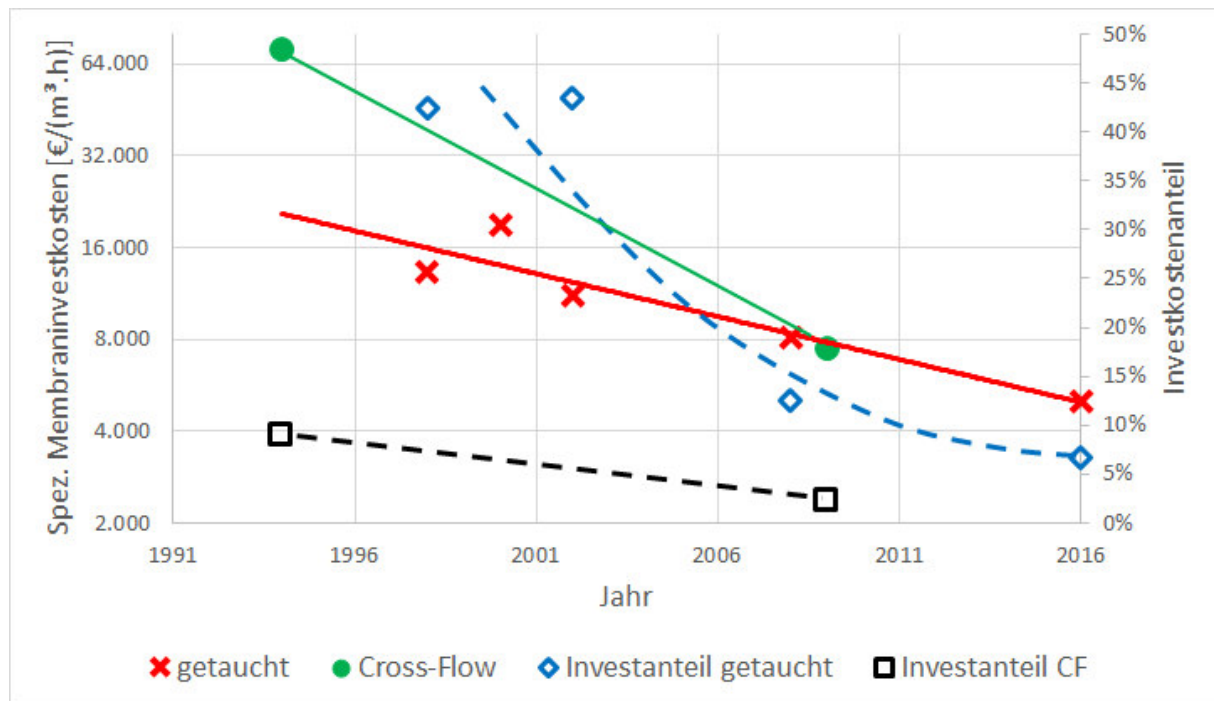


Abbildung 8: spez. Membraninvestkosten aus Projekten mit Beteiligung des Autors
Hinweis: linke Vertikalachse ist logarithmisch skaliert!

Um einen Vergleich der getauchten Systeme und der Cross-Flow-Anwendungen zu gestatten, sind in Abbildung 8 auf der linken Y-Achse die Investkosten der Membran bezogen auf den erzielten Durchsatz (€/m³/h) und auf der rechten Y-Achse bezogen auf die Gesamtinvestkosten des jeweiligen Projekts dargestellt. Die angegebenen Prozentwerte der verschiedenen Projekte sind allerdings nur bedingt vergleichbar, da stets unterschiedliche Randbedingungen vorlagen. Die Darstellung versteht sich daher nur qualitativ.

Es ist ersichtlich, dass generell die Membraninvestkosten nicht nur deutlich sinken, sondern dass damit einhergehend auch deren Anteil am Gesamtinvest stark abnimmt und bei den zuletzt realisierten Projekten bereits deutlich unter 10 % der Gesamterrichtungskosten liegen.

Allgemein gilt daher, dass getauchte Systeme nicht nur bei den Betriebskosten, sondern auch bei den spezifischen Investkosten (€/m³/h) günstiger liegen als externe Cross-Flow Anlagen. Deren Markt beschränkt sicher daher heute auf

hochbelastete Abwässer, die einen hohen Sauerstoffeintrag erfordern und auch hier nur für den Fall, dass eine anaerobe Vorreinigung nicht sinnvoll ist.

4.2 Referenzprojekte weltweit

Weltweit steigt die Anzahl von Referenzprojekten stetig.

Am Beispiel des getauchten Hohlfaserproduktes der Fa. Mitsubishi Rayon (MRAS) ist dies in Abbildung 9 dargestellt.

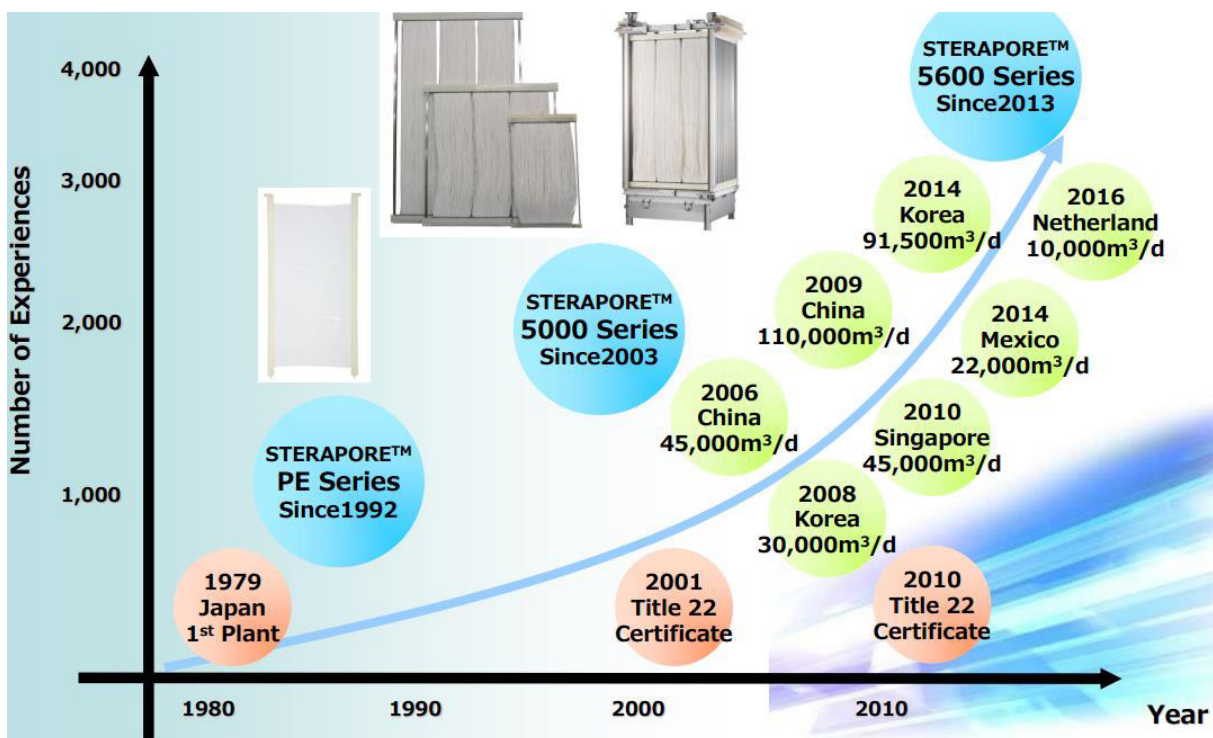


Abbildung 9: Produktentwicklung am Beispiel der Fa. Mitsubishi Rayon

Um 1980 startete MRAS als Pionier die Entwicklung getauchter Membrane in Japan etwa zeitgleich zur Entwicklung der externen CF-MBV-Systeme in Deutschland und ist heute Marktführer in Ostasien mit über 4.000 Installationen, wobei die größte Anlage einen Durchsatz von 110.000 m³/d aufweist. Die hydrophilen Sterapore™ Produkte der Serie 5000 bestehen aus einem stabilen inneren Gewebeslauch und einer applizierten Membran aus dem Werkstoff PVDF.

Die aktuell größten MBV-Anlagen werden derzeit im kommunalen Segment in Acheres, Frankreich mit 360.000 EGW und in Stockholm - Henriksdal, Schweden mit 1.600.000 EGW (max. 860.000 m³/d, Membranfläche: 1,6 Mio m²) realisiert (Gundestam, 2015).

4.3 Forschungsprojekt ArHes-B

Das Projekt verfolgt das Ziel, eine Transformation der Abwasserreinigungsanlage vom relevanten Energieverbraucher hin zum hybriden Energieerzeuger und Energiespeicher und Wertstoffbereitsteller zu erreichen. Dabei sollen technologische Neuerungen in der Abwasserreinigung, die sich unter anderem durch den Einsatz des Membranbelevungsverfahrens ergeben, integriert werden.

Im „AR-HES-B“-Konzept positioniert sich die städtische Abwasseraufbereitung als eine wichtige Drehscheibe im überregionalen Energie- und Stoffaustausch. Als hybrider Energiespeicher und Energiebereitsteller kann die ARA der Zukunft eine intelligente Verknüpfung der Abwasser-, Strom-, Erdgas- und Fernwärmenetze darstellen.

Die Bewertung der Technologien und Synergieeffekte erfolgt mit Hilfe der dynamischen Simulation der Kläranlage und den angeschlossenen Strom-, Wärme- und Gasnetzen. Die Kläranlagen werden auf Basis der Activated Sludge Model - ASM (Henze, 1987) und Anaerobic Digestion Model - ADM (Batstone, et al., 2002) zusammen mit den angebundenen Netzen abgebildet. Die Validierung der Modelle erfolgt anhand von realen Messdaten und Modellberechnung für drei Kläranlagenstandorte.

Ein „Decision Support Tool“ (DEST) soll als Optimierungswerkzeug entwickelt werden. Damit kann das Kläranlagenkonzept optimal an die spezifischen Lastprofile der lokalen Versorgernetze angepasst werden.

Das Ergebnis des Projektes wird ein detaillierter Leitfaden „ARA der Zukunft“ sein, welcher alle im Projekt aufgearbeiteten Technologien zusammenfasst und zur Bewertung konkreter Maßnahmen dient.

An diesem Projekt, das durch die FFG unter der Projektnummer 850094 gefördert wird, nehmen folgende Partner teil:

- StadtLABOR Graz, Reininghausstraße 11a, 8020 Graz
- AEE - INTEC, Feldgasse 19, 8200 Gleisdorf,
- AWV Gleisdorfer Becken, Steinbergstraße 45 8200 Gleisdorf
- Stadtwerke Gleisdorf GmbH, Gartengasse 36, A-8200 Gleisdorf
- Nowak Abwasser Beratung, Colmarplatz 1, 7000 Eisenstadt
- EnviCare[®] Engineering GmbH, Eisteichgasse 20/36, A-8042 Graz

5 Literaturverzeichnis

- A3 GmbH. (05. 10 2009). Kapazitätserweiterung einer bestehenden Kläranlage mittels MBR-Technologie. Von www.a3-gmbh.com abgerufen
- Batstone, D., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S., Pavlostathis, S., Rozzi, A., . . . Vavilin, V. (2002). The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1). *Water Science and Technology*, 65-73.
- Colic, M., Hicks, J., & Lechter, A. (2008). Treatment of Biodiesel and Biofuels manufacturing wastewater. *Water Treatment and Reuse Approaches*, Orlando, FL.
- Dorau, P. D. (1998). Führt der klassische Weg der Abwasseraufbereitung in die Sackgasse? In Mayr B., Tagungsband: Optimierung von Kläranlagen durch innovative Membrantechnik. EnviCare Engineering GmbH.
- Greil, K. (2001). Membranbelebungsverfahren in der Industrie. *Membrantechnologie - Chancen und Grenzen - ÖWAV Heft 142 (S. 83-103)*. Wien: ÖWAV.
- Gruber, B. (2017). Persönliche Mitteilung.
- Gundestam, J. (2015). Procuring 230 Football Fields of Membrane. 11. Aachener tagung Wassertechnologie (S. 3-17). Aachen: Aachener Verfahrenstechnik.
- Henze, M. G. (1987). Activated Sludge Model No.1. *Scientific and Technical Reports No.1*. London: IAWQ.
- Küster, E. N. (1986). Dumping of Refuse and Sludges. *Biotechnology Vol. 8*, S. 349-362.
- Mayr B. (2012). Experience with MBR-Systems for cleaning highly loaded organic waste water. *World Filtration Congress WFC11*, S. 199.
- Mayr B. (2013). Planungs- und Betriebserfahrung mit Membranbelebungsverfahren zur Reinigung hochkonzentrierter Abwässer. 10. Aachener Tagung Wasser und Membranen (S. 263-271). Aachen: Aachener Verfahrenstechnik.
- Mayr, B., Novak, S., Horvat, P., Gaisch, F., Narodoslowsky, M., & Moser, A. (1995). Purification of Landfill leachates by means of combined biological and membrane separation treatment. *Chem. Biochem. Eng. Q. Vol. 9 (1)*, S. 39-45.
- Peter M. (2017). Persönliche Mitteilungen.

Korrespondenz an:

DI Dr. techn. Bernhard Mayr

EnviCare® Engineering GmbH
8042 Graz, Eisteichgasse 20/36

Tel.: +43 316 381038 0

Mail: office@envicare.at

Web: www.envicare.at