

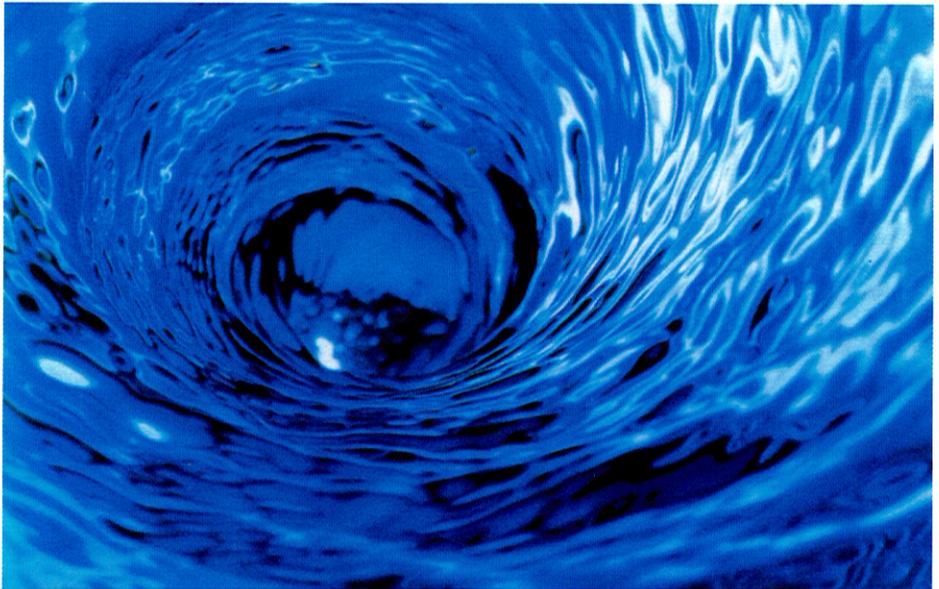


Membrantechnik

in der Wasseraufbereitung
und Abwasserbehandlung

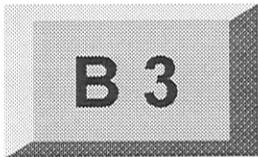
– Technische Neuentwicklungen und
Betriebserfahrungen im In- und Ausland –

R. Rautenbach, T. Melin, M. Dohmann



**3. Aachener Tagung
Siedlungswasserwirtschaft und Verfahrenstechnik**

Beitrag



Membranbioreaktortechnik in Österreich Aktuelle Projekte

Inhalt

1 EINLEITUNG

2 GESETZESLAGE [4]

2.1 Größenklassen von Abwasserreinigungsanlagen

2.2 Mindestwirkungsgrade in Prozent der Zulauffracht

2.3 Maximale Ablaufkonzentrationen

3 ERGEBNISSE DER PILOTVERSUCHE IN WEIZ - HOHLFASERMEMBRAN [5]

3.1 Biologische Abbauleistung

3.2 Daten zum Membraneinsatz

3.3 Einhaltung der EU-Richtlinie für Badegewässer

4 ZWISCHENERGEBNISSE DER PILOTVERSUCHE IN ST.PETER O.J. - FLACHMEMBRAN

4.1 Problemstellung

4.2 Zwischenergebnisse der biologischen Stufe

4.3 Zwischenergebnisse der Membranfiltration

5 AUSBLICK

Autor:

Dipl.-Ing. Dr. techn. B. Mayr

EnviCare® Technisches Büro für Verfahrenstechnik

Wittekweg 9

A-8010 Graz/Österreich

1 Einleitung

In Österreich werden Membranbioreaktoren seit 1994 hauptsächlich zur Reinigung von Deponiesickerwässern eingesetzt [1]. Als Membrananlage finden Cross-Flow-Mikrofiltrationsmembrane Verwendung; diese weisen zwar einen relativ hohen spezifischen Energiebedarf (2,5 - 10 kWh/m³) auf, der jedoch aufgrund der geringen Abwassermenge (<100 m³/d) kostenmäßig im Vergleich zu den Abschreibungen kaum ins Gewicht fällt. Umgelegt auf kommunale Anwendungen würden sich aber bei Cross-Flow-Anlagen zu hohe Energiekosten ergeben. Diese Behälterbiologien werden zum Teil seit Jahren ohne Überschußschlammentnahme betrieben. Die erzielbaren TS-Gehalte erreichen 40 g/l.

Die größte derartige Anlage mit 390 m³ Bioreaktorvolumen wurde zur Behandlung von 100 m³/d mit den Belastungswerten CSB = 25.000 mg/l und NH₄-N = 4.000 mg/l in Form einer Behälterbiologie (Denitrifizierung und Nitrifizierung) mit Injektorbelüftung, Prozeßkühlung und einer keramischen Crossflowmikrofiltration (40 m²) errichtet. Im Anschluß an den Membranbioreaktor wird das Filtrat in einer 2-stufigen Umkehrosroseanlage auf Direkteinleitungsqualität (CSB < 50 mg/l) gereinigt [2].

Eine geringer belastete Anlage mit einer Kapazität von ca. 40 m³/d reinigt ebenfalls seit 1994 Deponiesickerwasser auf Direkteinleitungsqualität. Der Membranbioreaktor ist ebenfalls mit einer nachgeschalteten Umkehrosrose kombiniert [3].

Angeregt durch die 1. Aachener Tagung „Membrantechnik bei der kommunalen Abwasserbehandlung“ wurden im Jahr 1998 Versuche mit kommunalen Abwasser der Stadt Weiz von den Firmen Rotreat Abwasserreinigung GmbH&CoKG und dem Planungsbüro des Autors durchgeführt. In einem halbjährigen Forschungsprojekt wurde eine getauchte Hohlfasermembran mit gutem Erfolg eingesetzt. Die Ergebnisse dieses Projektes werden nachstehend näher vorgestellt.

Ebenfalls seit 1998 laufen Pilotversuche bei der kommunalen Kläranlage in Tulln. Nähere Informationen zu diesem Projekt sind leider trotz Anfrage nicht zugänglich.

Die Sanierung der 1992 errichteten kommunalen Teichkläranlage St. Peter o.J. (1.400 Einwohner) durch den Einsatz von Injektorbelüftung und Membrantechnik wird seit September 1999 untersucht. Das Projekt wird ebenfalls durch Rotreat Abwasserreinigung GmbH&CoKG abgewickelt. Als Membran wird in diesem Fall

eine Flachmembran getestet. Die erzielten Ergebnisse und die ökonomische und ökologische Machbarkeit dieser Anpassungstechnik werden diskutiert.

2 Gesetzeslage [4]

Am 12. April 1991 wurde die 1. Österr. Emissionsverordnung für kommunales Abwasser (BGBl. Nr. 180/1991) erlassen. Sie enthielt die Festlegung von Emissionsbegrenzungen für kommunales Abwasser für die Parameter BSB₅, CSB, TOC, NH₄-N, Gesamter gebundener Stickstoff (TNb), Gesamt - Phosphor und Phosphat - Phosphor. Die Anforderungen waren gestaffelt nach den Größenklassen > 50 bis 500, > 500 bis 5000, > 5000 bis 50 000 und >- 50000 EW₆₀. Die Emissionsbegrenzungen bezogen sich bei den Kohlenstoffparametern und bei den Phosphorparametern auf Mindestwirkungsgrade und Konzentrationen; bei NH₄-N war nur eine Ablaufkonzentration festgelegt, bei TNb nur ein Mindestwirkungsgrad. Die Anforderungen mußten nach der "4 von 5" - Regel eingehalten werden.

Die EU-Richtlinie 91/271 EWG wich in mehreren Punkten von den Bestimmungen des BGBl. Nr. 180/1991 ab. Durch den EU-Beitritt wurde Österreich verpflichtet, den Regelungsinhalt der EU-Richtlinie zu übernehmen oder die Gleichwertigkeit seiner nationalen Regelung darzulegen.

Dem Wunsch nach totaler Aufgabe der eigenständigen österreichischen Verordnungslösung für das Problem "Kommunales Abwasser" und nach totaler Übernahme der gesamten Richtlinie 91/271 EWG konnte aus mehreren Gründen (z.B. keine Festlegung von Emissionsbegrenzungen nach dem Stand der Technik) nicht entsprochen werden.

Die Verschärfung der Anforderungen für Gesamt - Phosphor bei großen Kläranlagen im Einzugsgebiet von Seen in der österreichischen Verordnung entspricht den Vorgaben des § 33b Abs. 6 Wasserrechtsgesetz, ist aber nicht so weitgehend wie die sich aus 91/271 EWG ergebenden Konsequenzen.

2.1 Größenklassen von Abwasserreinigungsanlagen

- I 50 bis 500 EW₆₀
- II 500 bis 5.000 EW₆₀
- III 5.000 bis 50.000 EW₆₀
- IV größer als 50.000 EW₆₀.

2.2 Mindestwirkungsgrade in Prozent der Zulaufkraft

Ab Größenklasse II größer als 1.000 EW₆₀ oder III oder IV:

Verminderung von

- BSB₅ um mindestens 95%
- CSB um mindestens 85%
- TOC um mindestens 85%

Größenklasse III oder IV

- Ges. geb. N um mindestens 70%

2.3 Maximale Ablaufkonzentrationen

Größenklasse	Einheit	I	II	III	IV
BSB ₅	mg/l	25	20	20	15
CSB	mg/l	90	75	75	75
TOC	mg/l	30	25	25	25
NH ₄ -N	mg/l	10	5	5	5
Gesamt-P	mg/l	--	2	1	1

Tabelle 1: Maximale Ablaufkonzentrationen in Abhängigkeit von den Größenklassen

3 Ergebnisse der Pilotversuche in Weiz - Hohlfasermembran [5]

3.1 Biologische Abbauleistung

Die CSB-Ablaufkonzentration (siehe Abbildung 1) lag bis auf wenige „Ausreißer“ immer unter der Nachweisgrenze des Photometers (15 mg/l). Die Ausreißer sind zumeist durch besondere Anlagenumstände (Betriebsstillstände, Versuche) zu erklären.

Im Regelfall stellte sich die Ablaufkonzentration als unabhängig von der Zulaufbelastung heraus! Weder die Konzentrationsspitzen durch Schlachthofabwasser oder Schlammpreßwasser zeigten einen Einfluß auf die Ablaufkonzentration.

Die gesetzlichen Anforderungen (75 mg/l) werden bei weitem unterschritten! Der Schlamm in der Membranbiologie ist offensichtlich überaus optimal an das Abwasser adaptiert und baut selbst „harte“ CSB-Verbindungen ab.

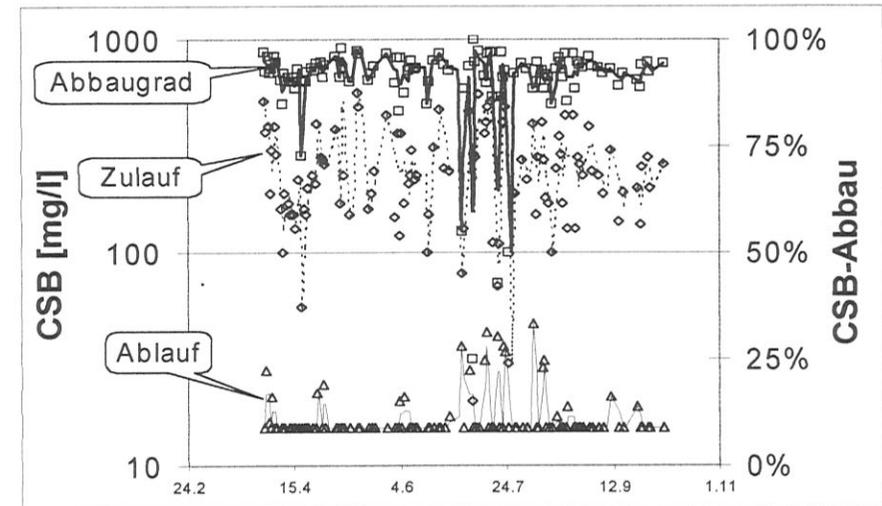
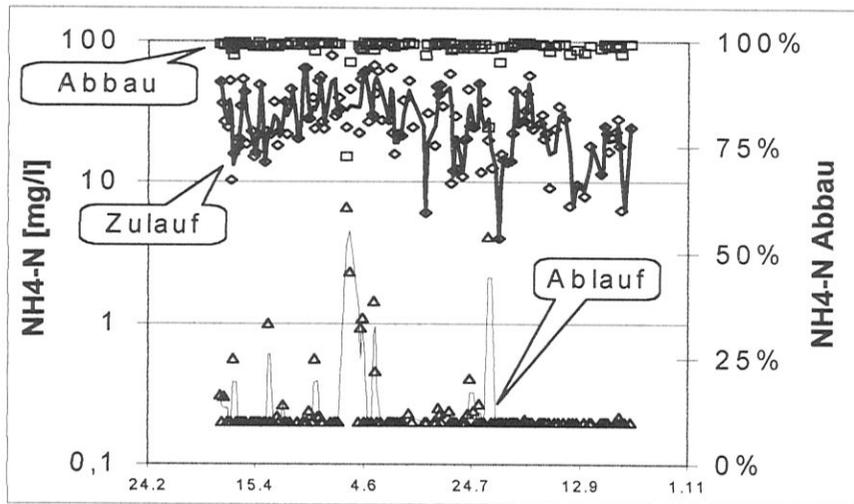


Abbildung 1: CSB Verlauf

Die Ammonium Ablaufkonzentration (siehe Abbildung 2) bewegte sich praktisch über den gesamten Versuchszeitraum im Bereich der analytischen Nachweisgrenze des Photometers (0,2 mg/l). Der gesetzliche Ablaufwert (5 mg/l) wurde nur einmal infolge einer Betriebsstörung (längerer Ausfall der Belüftung) überschritten.

Änderungen der Zulaufkonzentrationen haben keine Auswirkungen auf die Beschaffenheit des Ablaufs. Toxische Effekte konnten nicht festgestellt werden, die Membranbiologie verhält sich aufgrund der optimalen Adaption (hohes Schlammalter) überaus robust in Hinsicht auf Einleitungen von Preßwasser oder anderen gewerblichen Abwässern. Die Abbauraten bewegen sich ständig am erreichbaren Maximum.

Abbildung 2: NH₄-N Verlauf

Aus dem Anstieg der Trockensubstanz (siehe Abbildung 3) und aus der jeweils für Versuchszwecke entnommenen Schlammmenge kann der tatsächliche Anfall von biologischem Überschussschlamm abgeschätzt werden.

Betrachtet man den Verlauf der Trockensubstanz, sind drei Bereiche zu unterscheiden:

Phase 1 (6 Wochen): geringes Schlammwachstum um ca. 2 kg/m³.

Phase 2 (4 Wochen): stärkerer Anstieg. Zu Beginn des Anstiegs wurde das Biologievolumen von 5,2 m³ auf 3,5 m³ gesenkt.

Phase 3 (14 Wochen): Gleichbleibender TS Gehalt. Für verschiedene Versuche wurde Schlamm entnommen, so daß für diese Phase ein biol. Überschussschlammfall von 0,12 kgTS/kgCSB_{eff} ermittelt werden kann.

Allerdings wurde auch eine TS Reduktion bei längeren geringen Konzentrationen (Regenereignisse verdünnten die Zulaufkonzentration) festgestellt.

3.2 Daten zum Membraneinsatz

Im Versuchszeitraum (März - Oktober 1998) konnten keine Hinweise auf eine Verschlechterung der Filtrationseigenschaften oder auch der mechanischen Stabilität der Membran nachgewiesen werden.

Trotz zahlreicher spezieller Versuche zur Abschätzung der Leistungsgrenzen (z.B. Aufkonzentrierung, max. Durchfluß, Membranrelaxation etc.) waren alle Leistungsminderungen durch die dafür vorgesehenen Reinigungsverfahren zu beseitigen.

Im Regelfall reichte eine innere Spülung der Membranfasern. Nur einmal mußte eine externe Reinigung vornehmen zu können, da durch Aufkonzentrierungsversuche - zur Bestimmung der Belastungsgrenze wurde die Biomasse im Filtrationstank möglichst hoch konzentriert (TS > 25 g/l) - mechanisch stabile Schlammpankungen an den Modulfasern aufgetreten sind.

Am Versuchsende wurde der Modul ausgebaut und optisch begutachtet. Die Farbe der Membran hatte sich von weiß zu lachsrot verändert. Diese Farbänderung wird auf das in der Großanlage als Phosphatfällungsmittel verwendete Eisensulfat zurückgeführt, da es den Schlamm der Großanlage etwa gleich färbt und da der Überschussschlamm vor der Vorklärung zurückgeführt wird.

In einem Bereich kleiner als 27 l/m²h läßt sich diese Membran im Dauerbetrieb betreiben (Abbildung 3). Man kann dies am vergleichsweise konstanten Membranunterdruck vom 30,4 bis zum Versuchsende erkennen.

Kurzzeitig verträgt die Membran einen Durchsatz bis ungefähr 35 l/m²h, was bei Regenfall genutzt werden kann. Im Diagramm sind nur die Tagesmittelwerte dargestellt, daher ist der maximal mögliche Durchsatz aus der Grafik nicht zu entnehmen.

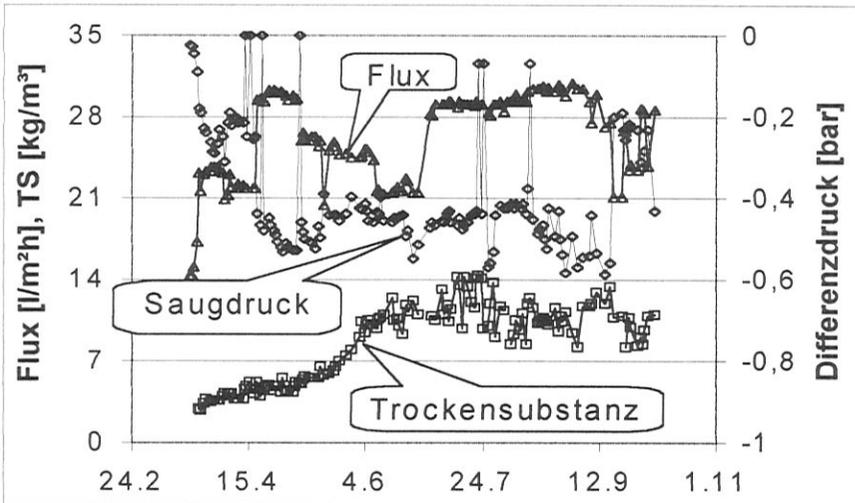


Abbildung 3: Differenzdruck, Durchsatz und Trockensubstanz der Membrananlage

3.3 Einhaltung der EU-Richtlinie für Badegewässer

Die hygienische Beschaffenheit des Permeats wurde in Hinblick auf die Einhaltung der EU-Richtlinie für Badegewässer insgesamt viermal untersucht (Tabelle 2).

Als Resümee kann festgehalten werden, daß das gereinigte Abwasser der Membrananlage eine Gesamtkeimzahl von 1900 cfu/100 ml aufweist.

In diesen Keimen sind keine Fäkalcoliforme Bakterien oder Salmonellen und nur 7 *Streptococcus faecalis* nachweisbar.

	ml getilert	Endo oder Std. Agar 24±1 h		m-FC Agar 45°C, 24±1 h		Azide Agar 37°C, 24±1 and 48±1 h			
		Probe 1	Probe 2	Probe 1	Probe 2	Probe 1		Probe 2	
		Endo Agar, 30°C				24 h	48 h	24 h	48 h
23.7	50	1000	500						
	cfu/100 ml	2000	1000						
		Endo Agar, 37°C							
31.7	1	1	0	35	32				
	cfu/100 ml	100	0	350	320				
10.8	10	519	510			0	0	2	6
	20	926	925			0	3	4	0
	50			3	3	0	0	0	0
	cfu/100 ml	4910	4860	108	78	28	0	0	18
		STD agar, 30 °C							
7.10	0.5	8	3	1	3				
	1	6	12	0	2				
	10					0	0	0	0
	20			5	2	0	0	0	0
	50			1	5	0	0	0	0
	cfu/100 ml	1100	900	100	400	14	10	0	0
	Mittelwert	1900 cfu/100 ml		34 cfu/100 ml		7 cfu/100 ml			

Tabelle 2: Kolonienformende Einheiten im Permeat

Das Permeat erfüllt daher die Anforderungen der EU-Badegewässerrichtlinie in mikrobiologischer Hinsicht.

4 Zwischenergebnisse der Pilotversuche in St.Peter o.J. - Flachmembran

4.1 Problemstellung

Zahlreiche kommunale Teichkläranlagen in Österreich verfehlen die gesetzlich geforderten Reinigungsleistungen deutlich. Besonders während der kalten Jahreszeit frieren die Teiche aufgrund der großen Oberfläche resp. Verweilzeit ein, eine Nitrifizierung wird unmöglich.

Die Zielsetzung des Projektes liegt in der Definition des Optimierungspotentials kommunaler Teichkläranlagen, das sich einerseits durch den Einsatz alternativer Belüftungs- und Mischungstechnologien und andererseits durch den Einsatz innovativer Membrantrenntechnik zur Ablauffiltration ergibt.

Zulauf	aktuell: 1500 EGW, Trennsystem ca. 150 m ³ /d (Wochentag), 220 m ³ /d (Wochenende) CSB _{Tagesmittel} = 450 mg/l, ausgeprägter Tagesgang! NH ₄ -N _{Tagesmittel} = 40 mg/l, ausgeprägter Tagesgang!	
Ablauf	Anforderung gemäß Größenklasse II (siehe Pkt. 2.1)	
	Errichtung 1990	Modifizierung 1999
Einlauf	Stabrechen 15 mm, Hebeschnecke	
Belüftete Teiche	Volumen: 2 * 1200 m ³ Oberfläche: 2 * 700 m ²	1 * 1200 m ³ , davon 200 m ³ Nacklärbereich Oberfläche: 700 m ²
Art der Belüftung	Pendelbelüfter, ca. 300 kWh/d	2 Injektoren, ca. 300 kWh/d
Nitrifikationsbecken im Ablauf der belüfteten Teiche	Volumen: 95 m ³ Oberfläche: 27 m ² feinblasige Druckbelüftung	
Absetzteiche	Volumen: 1200 m ³ + 85 m ³ Oberfläche: 830 m ²	Membranfiltration eines Teilstromes (Soll: 20 m ³ /d) als Pilotversuch

Tabelle 3: Angaben zum ursprünglichen Konzept und zum aktuellen Versuch

Der Sauerstoffeintrag über ein Injektorsystem ist für die Nachrüstung bestehender Anlagen mit geringen Investitionskosten verbunden. Zusätzlich erreicht man durch den Injektor eine gegenüber konventionellen Belüftungssystemen deutlich homogenere Durchmischung des Belebungsbeckens und vermeidet damit die Ausbildung von anaeroben Zonen.

Die Membran dient als nachgeschaltete Barriere und soll auch im Störfall (Blähschlamm Bildung etc.) eine einwandfreie Abwasserqualität gewährleisten. Im Regelbetrieb dient die Membran auch zum Rückhalt von Krankheitserregern. Daher kann diese Technologie zukünftig besonders bei sensiblen Vorflutern oder im Einzugsbereich von Badegewässern eingesetzt werden.

Die für den Winterbetrieb wesentliche Prozeßumstellung ergibt sich aus der drastischen Reduktion des Beckenvolumens und damit verbunden auch der

Oberfläche, da die Klärteichanlage nur mehr mit einem (statt mit vier) Teich betrieben werden soll. Der Wegfall von 70 % des Klärvolumens und die Umstellung auf intermittierende Fahrweise des Belebungsbeckens führt einerseits zu einem spezifisch höheren Energieeintrag pro Volumeneinheit und andererseits zu geringeren Wärmeverlusten über die Oberfläche.

4.2 Zwischenergebnisse der biologischen Stufe

Der Versuchszeitraum wurde absichtlich während der kalten Jahreszeit gewählt. Vor Versuchsbeginn Mitte September wurde ein Klärteich zur Gänze entleert und vom Bodenschlamm gesäubert. Anschließend wurde das Belüftungssystem aufgrund der Ergebnisse einer numerischen Strömungssimulation [6], die zur Bestimmung des Geschwindigkeitsfeldes und der Phasenverteilung eingesetzt wurde, eingebaut. Mit dieser Simulation sollte einerseits die Ausbildung von Totzonen im Teich ausgeschlossen werden, andererseits dürfen keine überhöhten Wandgeschwindigkeiten, die die Schlammdeckschicht des Teiches schädigen können, auftreten.

Nach der Beimpfung des Teiches mit kommunalen Belebtschlamm wurde die Belastung über eine Woche schrittweise gesteigert. Nach einer anfänglichen relativ guten Abbauleistung (ca. bis 7.10, siehe Abbildung 4) stiegen die Konzentrationen vor allem aufgrund der starken Wochenendbelastungen schrittweise an, wobei die Nitrifizierung ca. ab 20.10 gänzlich zum Erliegen kommt. Dies ist aus folgenden Gründen nicht verwunderlich:

- Der Absetzbereich (als abgetrennter Teil des belüfteten Teiches) ist nicht als Nachklärbecken ausgebildet. Zudem begünstigt die Injektorbelüftung frei schwimmende Mikroorganismen und zerschlägt Flockenstrukturen;
- Die hydraulische Verweilzeit im Teich beträgt etwa 5 Tage. Dies genügt für die Anreicherung der heterotrophen Biomasse, während die Nitrifikanten aus dem Teich ausgeschwemmt werden.

Obwohl im Gesamtablauf aufgrund der nachgeschalteten Nitrifikationsstufe (submerses Festbett) noch eine deutlich bessere Ablaufqualität erzielt wird, ist dennoch davon auszugehen, daß die gesetzlich geforderten Ablaufwerte auch mit der gewählten Belüftungsstrategie nicht eingehalten werden können.

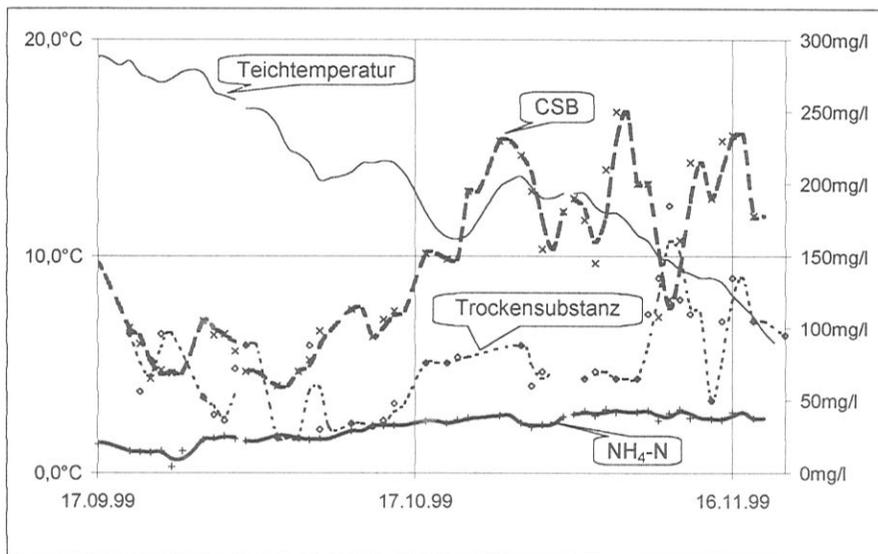


Abbildung 4: Zwischenenergebnis des Versuchsbetriebs (Sept. - Nov. 1999), CSB (filtriert bei 50 μm), $\text{NH}_4\text{-N}$ und Trockensubstanz werden direkt im Teich gemessen

Eine mögliche Strategie zur Anpassung könnte in der Membranfiltration des Ablaufes des Nachklärbereiches liegen, da in diesem Fall von einem vollständigen Biomasserückhalt ausgegangen werden kann. Mit der Entkoppelung der hydraulischen Verweilzeit vom Schlammalter sollte auch die Nitrifikation sichergestellt werden können.

In der verbleibenden Versuchszeit soll diese Hypothese getestet werden.

4.3 Zwischenenergebnisse der Membranfiltration

Ein Teilstrom des Kläranlagenablaufes wird über eine Vorfiltration aus einem Vorlagebehälter der Anlage zugeführt. Die Dead-End Filtration ist mit einer Ultrafiltrationsflachmembran (Polyacrylnitril, 200000 Dalton [7]) mit 18 m^2 Filterfläche ausgerüstet.

Das Abwasser wurde bisher an drei Stellen entnommen:

1. Ablauf des Schönungsteiches
2. Ablauf der Nitrifizierung
3. Ablauf des Nachklärbereiches des belüfteten Teiches

An der ersten Entnahmestelle konnten keine stabilen Filtrationsverhältnisse erreicht werden, da der Membranflux rasch, verursacht entweder durch Algen oder durch Huminstoffe, wesentlich zurückging.

An Stelle 3 stellte sich der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen als zu hoch (> 50 mg/l) heraus.

An Stelle 2 wurden folgende Resultate erzielt:

Feststoffgehalt des Rohwassers	unterschiedlich, aber immer <5 mg/l
spez. Filtratvolumenstrom	30 bis 40 $\text{l/m}^2\text{h}$
Dauer des Filtrationsintervalls	10 bis 12 min
chemische Reinigung	etwa alle 7 bis 10 Tage
CSB-Reduktion	ca. 30 %

Tabelle 4: Betriebsparameter der Membran im Ablauf des belüfteten Teiches

Die Anlage läuft im Moment an ihrem unterem Limit in Bezug auf Filtrationszeit und spezifische Filtratmenge, und andererseits an ihrem oberen Limit betreffend den Filtrationsdruck. Der spezifische Nettofiltratstrom, der sich mit Einbeziehung der Rückspül- und Reinigungsaufwendungen ergibt, liegt in der Größenordnung von 14 bis 20 $\text{l/m}^2\text{h}$.

Die kurzen Filtrationszeiten und der schnelle Anstieg des Filtrationsdruckes lassen vermuten, daß Inhaltsstoffe einen Durchmesser in der Größenordnung der Membranporen besitzen und die Membran so vorzeitig verblockt wird. Daher wird im nächsten Versuchsabschnitt eine Koagulation und Flockung dieser Partikel und gleichzeitig eine Phosphatfällung angestrebt, wobei größere Partikel entstehen, welche die Membran nicht verblocken sollen [8].

Anschließend wird eine semi-cross-flow Betriebsweise getestet werden.

5 Ausblick

Die Integration der Mikrofiltration in die biologische Stufe verhilft der kommunalen Abwasserbehandlung zu einem sprunghaften Anstieg der Reinigungsleistung sowie zu einem neuen Leistungsbild. Auf der Basis der erzielten Ergebnisse wird derzeit die Erweiterung einer kommunalen Kläranlage geplant.

Es wird wohl schwer werden, membrantechnische und konventionelle Erweiterung direkt zu vergleichen, denn das Potential der Konventionellen ist mit den heutigen Anforderungen erschöpft, hingegen verspricht die Membrantechnologie bereits am Anfang ungeheure Potentiale, die genauso reifen müssen wie einst die der konventionellen Klärung.

Die Verminderung der Verbreitung von Keimen und Krankheitserregern wird auch im Interesse des Gesundheitswesens sein und dementsprechende zusätzliche Förderungen werden in Zukunft erwartet.

Für Österreich scheinen allerdings vorerst die Voraussetzungen für einen umfassenden Einsatz der Membrantechnik aus folgenden Gründen eher dürftig:

- Reserven an bestem Trinkwasser sind im Überfluß vorhanden
- der EU-Badegewässerrichtlinie wurde i.d.R. durch Ringkanalisationsanlagen um die Badeseen bereits in der Vergangenheit ausreichend Sorge getragen
- Grund und Boden für konventionelle Erweiterungen sind i.d.R. vorhanden
- die Vorfluter sind i.d.R. leistungsfähig.

Andererseits müssen noch zahlreiche Kläranlagen an den Stand der Technik (Nitrifikation/Denitrifikation) herangeführt werden. Bleibt die sinkende Tendenz der Membranpreise in den nächsten Jahren bestehen, kann nach Auffassung des Autors die Membrantechnik bereits in Kürze eine kostengünstige und qualitativ bessere Variante zum konventionellen Ausbau bieten.

Literatur

- [1] **ROTREAT** Abwasserreinigung GmbH&CoKG: Seminarband zum „4. Österr. Sickerwasser-Seminar“, Kirchberg in Tirol, 1997
- [2] Mayr B.: Behälterbiologie BIOJET[®] mit nachgeschalteter Umkehrosmose; in: Seminarband zum „2. Österr. Sickerwasserseminar“, A.S.A, 1994
- [3] Goldgruber E.: Biologie, Mikrofiltration, Umkehrosmose; in: Seminarband zum „2. Österr. Sickerwasserseminar“, A.S.A, 1994
- [4] Hefler F.: Gesetzliche Anforderungen an kommunale Abwasserreinigungsanlagen; in: Seminarband „Optimierung von Kläranlagen durch innovative Membrantechnik“, **ROTREAT & EnviCare[®]**, 1998
- [5] **ROTREAT** Abwasserreinigung GmbH&CoKG und EnviCare[®] DI Dr. Mayr: Tagungsband „Optimierung von Kläranlagen durch innovative Membrantechnik“, Weiz, 1998
- [6] TOR Engineering GmbH, Bericht EC 5801-1 für Rotreat Abwasserreinigung GmbH&CoKG, 1999
- [7] Scharnagl N., Buschatz H.: Ultrafiltrationsmembranen aus Polyacrylnitril (PAN), in: Begleitbuch zur 2. Aachener Tagung „Membrantechnik“, 1998
- [8] Sarfert F. et al.: „Mikrofiltration zur Keim- und P-Elimination im Ablauf kommunaler Kläranlagen“, in: Begleitbuch zur 1. Aachener Tagung „Membrantechnik“, 1997