

Eine neue Verfahrenskette zur Optimierung des Membran-Bio-Reaktor Verfahrens

Präsentiert im Rahmen der 7. Aachener Tagung Wasser und Membranen
30. und 31. Oktober 2007

F. Klegraf*, J. Lahnsteiner*

* VA TECH WABAG GmbH, Siemensstraße 89, A-1210 Wien, Österreich

Abstract:

Das MARAPUR Konzept ist ein biologisches Abwasserbehandlungsverfahren, das nach den Funktionsprinzipien des Membran-Bio-Reaktors (MBR) arbeitet. Die Ultrafiltration des belebten Schlammes erfolgt über Hohlfaser Membranen im Druckbetrieb. Die aufrecht installierten Membranmodule werden im MEGAMODUL konzentriert angeordnet. Die Permeat Extraktion erfolgt im Cross Flow, der durch Spülluftbegasung unterstützt wird.

Die wesentlichen Verfahrensvorteile liegen in der hohen Filtrationsleistung, der hohen Betriebssicherheit bei Verwendung der Abwasserfeinsiebung und der sparsamen Anwendung von Reinigungschemikalien.

Die Abwasserfeinsiebung mit der Maschenweite von 0,25 mm ist ein wirkungsvolles Instrument zur Vermeidung von Verstopfung durch Haare und Fasern.

1. Grundlagen

Das Verfahren der ultra filtrierten Dickschlammbiologie wurde bereits in den 70er Jahren entwickelt. Es konzentrierte sich zunächst auf die Behandlung von Sickerwasser und später auf industrielle Abwässer. Es kamen druckgetrieben, von innen nach außen durchflossene, Rohrmembranen zum Einsatz. Mit dem Einzug der gesaugten und getauchten spülluftumfluteten von außen nach innen durchflossene Hohlfaser oder Platten Membranen für die Ultrafiltration wurde auch die biologische Behandlung von kommunalem Abwasser mit Membran-Bio-Reaktoren (MBR) zugänglich.

Die spezifischen Anforderungen an die getauchte Membranfiltration zur Behandlung von kommunalem Abwasser wurden sehr bald offenbar. Zwar erlauben kommunale Abwässer in aller Regel höhere spezifische Filtrationsleistungen, aber die Regenwassereinleitung in die Kanalisation bewirkt die hydraulische Laststeigerung, die durch die relativ hohe Flux Leistung der Membranen nicht kompensiert werden können. Es resultiert für die kommunale Abwasserbehandlung mit dem MBR eine Technik der Ultrafiltration, die durch die hydraulische Last der Regenwassereinleitung bestimmt wird und zu einer erheblichen Vergrößerung des Membran-Filtrationsverfahrens führt.

Des Weiteren enthält vor allen Dingen kommunales Abwasser Fasern und Haare, die bei getauchten Membran-Systemen zur Verschlämzung und Verzopfung führen. Im Ergebnis vermindern diese Effekte die verfügbare Membran-Filtrationsfläche. Zur Kompensation muss von vornherein die installierte Membranfläche entsprechend vergrößert werden.

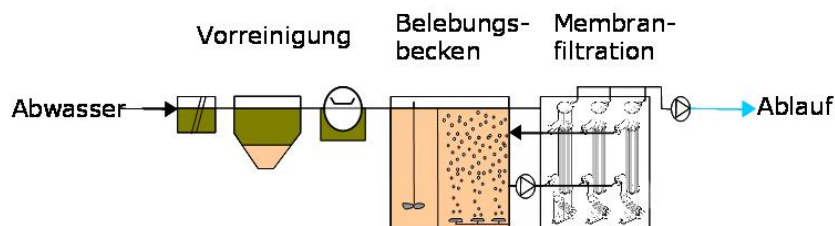
Druckgetriebene, im Cross Flow betriebenen Ultrafiltrationsverfahren, verwenden Rohr- oder Hohlfaser Membransysteme, die aufgrund ihrer Konstruktion mit höheren Drücken beaufschlagt werden können. Es werden deutlich höhere spezifische Filtrationsleistungen erreicht. Aufgrund der Rohrgeometrie der Membranen werden diese horizontal in Bündeln installiert. Die horizontale Membrananordnung erlaubt nicht den Einsatz von Spülluft, die erst die Verwendung von getauchten Membransystemen ermöglichte. Dieser scheinbare

technische Nachteil muss durch hohe Fließgeschwindigkeiten in den Rohrmembranen kompensiert werden. Sowohl der hohe Systemdruck als auch die hohe Fließgeschwindigkeit in den Rohrmembranen führen zu großem Energiebedarf, der die Wirtschaftlichkeit des MBR Verfahrens belastet.

Das Problem der Fasern und Haare im kommunalen Abwasser verbieten den Einsatz von druckgetriebenen von Innen nach Außen durchflossenen Rohr- oder Hohlfaser Membranen ohne eine hinreichende Vorreinigung zur sicheren Elimination dieser Störstoffe zu installieren.

Die von VA TECH WABAG vorangetriebene Entwicklung des MARAPUR Verfahrens zur biologischen Behandlung von kommunalem und industriellen Abwasser nach den Verfahrensprinzipien des MBR greift auf druckgetriebene Hohlfasermodule zurück. Diese werden vertikal installiert, arbeiten im Cross Flow und werden mit Spülluft beaufschlagt. Die hinreichende Vorbehandlung zur Elimination von Störstoffen wie Haare und Fasern ist unabdingbar und wird durch Feinsiebung des Rohabwassers sichergestellt. Diese Verfahrenskette erlaubt hohe spezifische Filtrationsleistungen bei kompakter Bauweise der Ultrafiltration.

2. Verfahrenskonzept MARAPUR



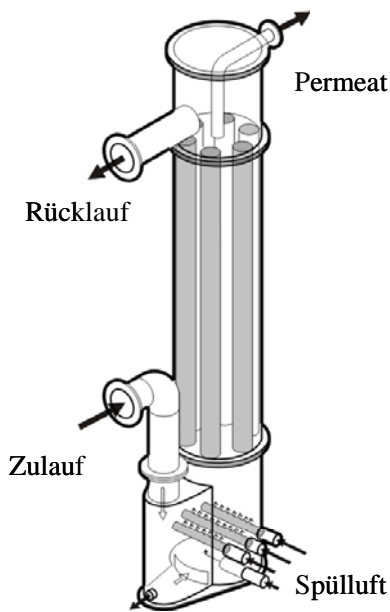
Das Verfahrensprinzip von MARAPUR zeigt das Prinzip in Abbildung 1 im Überblick. Es enthält die klassischen Verfahrensmerkmale des MBR. Der Vorreinigung durch Rechen und Sand/Fettfang folgt eine Feinsiebung sowie eine kleinvolumige Dick-schlammbiologie.

Membranbelebungsverfahren MARAPUR

Abbildung 1: Verfahrensprinzip MARAPUR

Die Membran-Ultrafiltration ist dem Belebtschlammverfahren nachgeschaltet. Der belebte Schlamm wird der Nitrifikationskaskade entnommen und wird der Ultrafiltration zugepumpt. Nur ein kleiner Teil des Zulaufs zur Filtration wird extrahiert; der Überschuss oder das Retentat wird in die belüftete Nitrifikation zurückgeführt. Das Permeat oder behandeltes Abwasser wird aus der Ultrafiltration abgepumpt. Die Neuentwicklung dieser Verfahrenskette ist die belüftete, im Cross Flow betriebene, druckgetriebene Ultrafiltration, das MEGAMODUL.

Abbildung 2 zeigt das MEGAMODUL in einer Prinzipdarstellung. Es enthält die Konstruktionsmerkmale Fuß, Membranteil und Kopf. Der belebte Schlamm wird in den Fuß des Megamoduls gepumpt. Durch eine Vorkammer im Fuß wird die Strömung diffus und gelangt von dort in die Hauptkammer und wird als Pfropfenströmung dem Membranteil des MEGAMODULS zugeführt. In der Hauptkammer sind Membran Belüfter installiert, die feinblasig verteilte Spülluft eintragen.



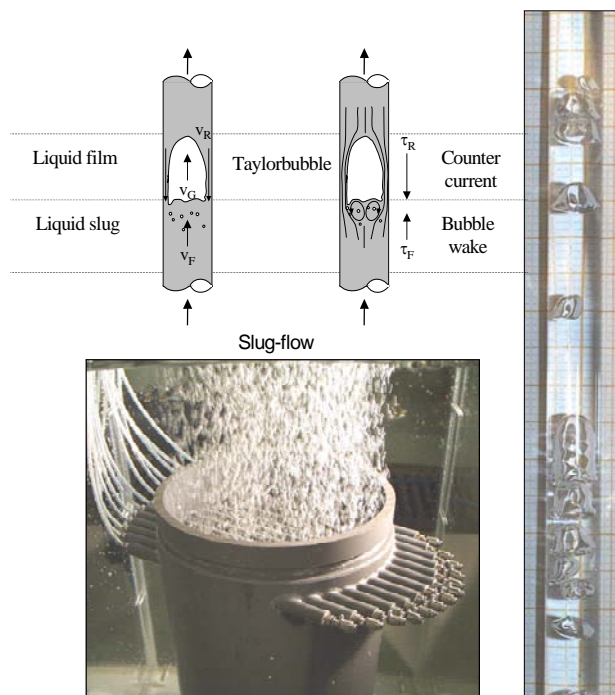
MEGAMODUL

Belebter Schlamm und Spülluft strömen aufwärts durch die Hohlfasermembranen. Diese haben einen Innendurchmesser von ca. 5 mm. Belebter Schlamm und Spülluft strömen mit einer Geschwindigkeit von ca. 1 m/sec, wobei der Anteil der Spülluft ca. 10 % beträgt. Die Hohlfasermembranen sind in Modulen von jeweils ca. 30 m² in perforierten Hüllrohren zusammengefasst. Diese sind im Handel von unterschiedlichen Herstellern beziehbar. Die Membranmodule sind kreisförmig um ein zentrales Permeat Abzugsrohr installiert. In der Darstellung sind sechs Module realisiert. Diese werden in eine Kopf- und Fußplatte eingedichtet. Das zentrale Permeat Abzugsrohr erfüllt gleichzeitig zur Stützung der Membraninstallation statische Funktionen.

Im Kopf des MEGAMODULS erfolgt die Entmischung von Spülluft und belebtem Schlamm. Die separierte Spülluft entweicht in die Atmosphäre; das Retentat wird zurück in die Belebtschlamm Stufe geleitet.

Abbildung 2: Prinzipdarstellung MEGAMODUL

Das Permeat wird, für druckgetriebene System ungewöhnlich, abgepumpt. Die Durchflussbegrenzung ist erforderlich, um die Membranfiltration hydraulisch zu entlasten. Hier kommen die üblichen Regelmechanismen zur Anwendung. Auch die Drosselung des Permeat Abflusses ist bei hinreichendem Vordruck möglich.



Das Funktionsprinzip der Spülluftbegasung im Aufstrom zeigt Abbildung 3.

Die schneller als die Belebtschlamm Suspension aufsteigende Spülluft erzeugt in der Hohlfaser die Bildung eines dünnen Films sowie in der Schleppe der Luftblase Turbulenz. Beide Effekte bewirken die sehr effektive Deckschichtkontrolle zur Vermeidung von Membranfouling.

Dieses Instrument der Bekämpfung von Biofilmen an den Membranen setzt gezielt an und vermindert den Einsatz von Spülluft, die bei der Technologie der getauchten, Spülluft begasten Membransystemen einen erheblichen Aufwand erfordern. Anders als im Air Lift Verfahren, das ausschließlich auf Spülluft zurückgreift, ist beim MEGAMODUL die zusätzliche Cross Flow Strömung erforderlich.

Abbildung 3: Funktionsprinzip der Spülluftbegasung

Beide Instrumente der feinblasigen Spülluft Begasung und des Cross Flow stellen die Funktion des MEGAMODULS sicher und erhöhen die Leistungsfähigkeit des Ultrafiltrations Verfahrens sowie dessen Betriebsstabilität.

Das Verfahren der Ultrafiltration mit dem MEGAMODUL zeigt das Übersichtsschema in Abbildung 4. Zur Sicherung der Filtrationsleistung sind Maßnahmen zur Deckschichtkontrolle erforderlich, die neben der Spülluftbegasung noch den Rückfluss von Permeat und die Chemikalienreinigung vorsehen. Die chemische Reinigung der Membranen in längeren Zeitabschnitten ist erforderlich.

Alle Prozesse zum Betrieb des MEGAMODULS sind automatisiert. Hierzu sind die erforderlichen Instrumente und fernbedienbare Armaturen vorzusehen. Für den Filtrationsprozess sind die Zulauf und Ablauf Armaturen für den belebten Schlamm geöffnet und die Beschickungspumpe sowie die Spülluftbegasung arbeiten im Dauerbetrieb. Die Permeat Extraktions Pumpe arbeitet intermittierend. Einer längeren Filtrations Extraktion folgt ein kurzer Back Puls mit Permeat mit hohem Fluss. Hierzu kann die Permeat Pumpe reversibel arbeiten oder eine separate Back Puls Pumpe installiert werden. Das erforderliche Filtrat wird dem Permeatbehälter entnommen, der auf diese Bedürfnisse bemessen werden muss. Für den Fall der Verwendung einer eigenen Rückfluss Pumpe sind entsprechende fernbedienbare Armaturen erforderlich.

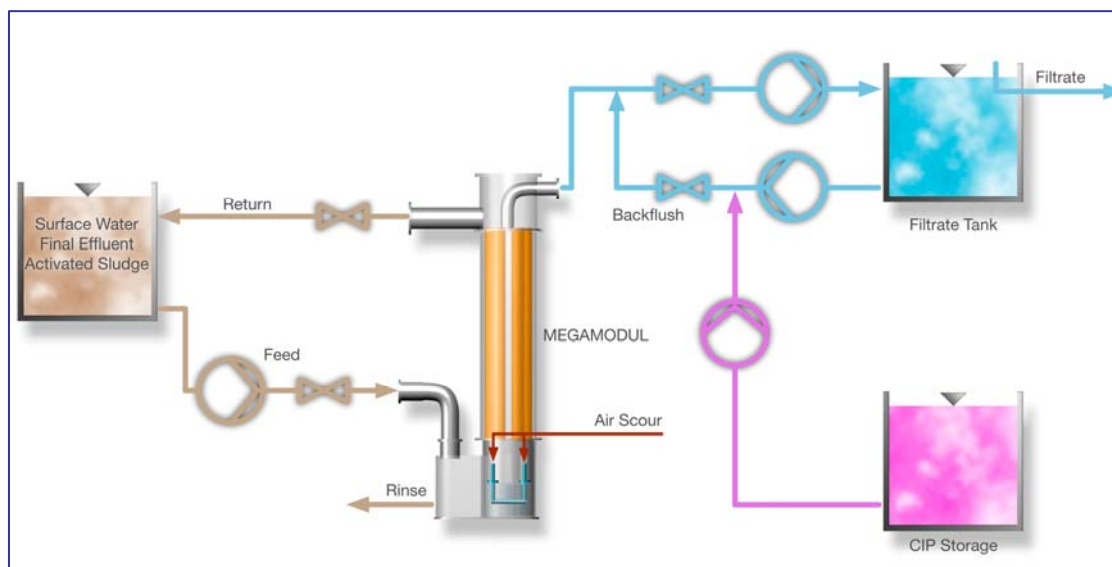


Abbildung 4: Funktionsschema Ultrafiltration mit MEGAMODUL

Der Rückfluss kann in größeren Zeitabständen mit Chemikalien unterstützt werden. Hierzu wird aus dem CIP Vorratstank vornehmlich Chlor oder Wasserstoffperoxid in den Rückfluss dosiert.

Die Regel der chemischen Reinigung ist jedoch das Cleaning in Place (CIP), die in größeren Zeitabständen von mehreren Monaten erforderlich wird. Hierzu wird der Filtrations Prozess unterbrochen, der Zufluss abgestellt und die Ventile im Zu- und Ablauf geschlossen. Das MEGAMODUL wird entleert und mit Permeat im Rückfluss gespült. Das MEGAMODUL wird anschließend mit warmer Chemikalienlösung über die Membranen im Rückfluss gefüllt. Die feinblasige Belüftung der Membranen bleibt in Betrieb. Verwendet werden je nach Bedarf die Reinigungschemikalien Chlor, Zitronensäure oder auch Ultrasil, ein Detergenzien haltiger Industriereiniger. Die Einwirkdauer der Chemikalien beträgt je nach Reinigungsaufgabe zwischen 4 und 12 Stunden. Es sind auch Kombinationsspülungen in Reihe möglich. Nach Abschluss der Chemikalienreinigung wird die Chemikalienlösung abgelassen und das

MEGAMODUL im Rückfluss gespült. Die Betriebsbereitschaft ist in wenigen Stunden wieder hergestellt.

Die Packungsdichte der Membranen in geschlossenen Behältern ermöglicht den gezielten Chemikalieneinsatz sowie deren sparsamen Verwendung. CIP Reinigungen sind in Abständen von 3 – 6 Monaten für kommunales Abwasser und von 1 – 3 Monaten für industrielles Abwasser erforderlich.

Derzeit sind drei Ausbaugrößen des MEGAMODULS mit installierten Membranflächen von ca. 200, 500 und 1.000 m² verfügbar.

3. Verfahrenskonzept Abwasserfeinsiebung

Unabdingbare Voraussetzung für den Einsatz eines MEGAMODULS im MBR Prozess für kommunales Abwasser ist die ausreichende Vorreinigung zur Elimination von Fasern und Haaren aus dem Rohabwasser. Da MBR Anlagen ausschließlich mit simultaner Schlammstabilisierung gebaut werden, scheidet die klassische Vorklärung aus. Die Abwassersiebung ist das Verfahren der Wahl zur Bewältigung dieser Aufgabe.

Bekannt ist der Einsatz von Spalt- und Maschensieben von Spaltweiten bis zu 0,5 mm bzw. Maschenweiten von bis zu 1 mm. Die Faser Eliminationsleistung dieser Vorbehandlungsanlagen ist nicht ausreichend für den Einsatz des MEGAMODULS, in dem Hohlfaser Membranen von ca. 5 mm Innendurchmesser installiert sind. Insbesondere das Vermögen von kurzen Zellstoff Fasern aus Hygienepapier zur Vernetzung zu größeren Gebilden im Dauerbetrieb des MBR Prozesses sind für den stabilen Betrieb des MARAPUR hinderlich.

Zur Lösung dieses technischen Hindernisses hat VA TECH WABAG gemeinsam mit Passavant-Geiger ein Feinsiebverfahren entwickelt, das auf ein Trommelsieb mit einer Mascheweite von 0,25 mm zurückgreift. Die Technik der Feinsiebung wurde im Grundsatz bei der Kühl- und Trinkwasseraufbereitung entwickelt; aber auf den robusten Anwendungsfall der Abwasserbehandlung abgestimmt.

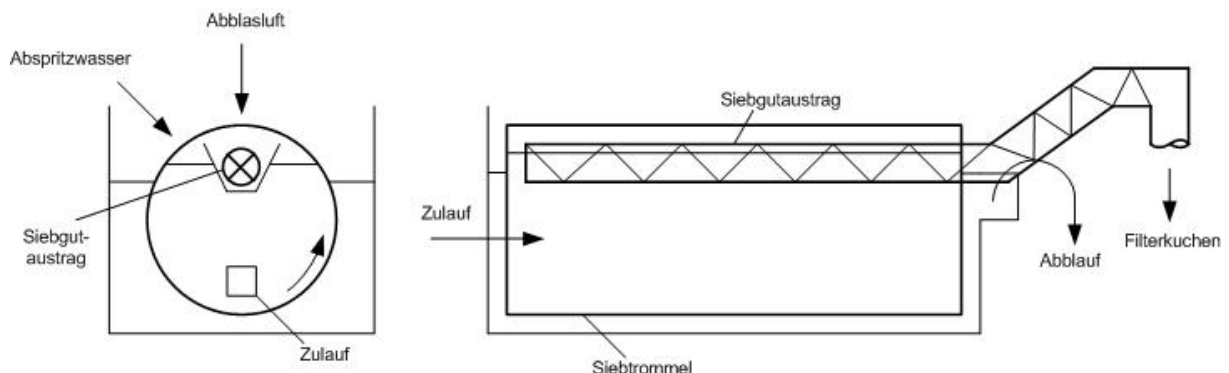


Abbildung 5: Schema Trommelsieb

Die in einem Becken installierte kreisrunde mit Filtergewebe bespannte Siebtrommel wird von innen nach außen durchflossen. Separiertes Siebgut lagert sich auf der Innenseite des Siebgewebes an und erzeugt einen Staudruck. Nach dem Erreichen eines vorgegebenen Differenzdrucks wird die Siebtrommel automatisch in Rotation versetzt und das separierte Siebgut abgereinigt.

Die Siebreinigung erfolgt im ersten Schritt durch Abblasen mit Luft und im zweiten Schritt durch Abspritzen mit Wasser. Das Siebgut fällt dabei in einen unter der Abblasleitung installierten Trog und wird von dort mit einer Schnecke aus dem Siebzylinder gefördert. Dabei wird es gepresst und entwässert.

Der Zu- und Abfluss des Abwassers erfolgt stirnseitig. Der Ablauf des Siebes kann direkt dem MBR Prozess zugeführt werden.

4. Betriebsergebnisse

Der MARAPUR Prozess wird seit 2003 im technischen Maßstab auf der Hauptkläranlage in Wien betrieben. Seit 2005 ist die Feinsiebung des Rohabwassers zugeschaltet.

Die technische Pilotanlage hat eine Siebfläche von 9,5 m² die zu 50 % eintaucht. Sie kann bis zu 100 m³/h Rohabwasser bei einer Mascheweite von 0,25 mm verarbeiten. Das Rohabwasser wird dem Zulauf zur Kläranlage entnommen, nachdem es einen 5 mm Feinrechen und einen unbelüfteten Sandfang passiert hat. Die hydraulische Leistung des Siebes wird im Wesentlichen an die Tagesganglinie angepasst. Aus dem stirnseitigen Überlauf des Siebtroges wird das gesiebte Abwasser direkt dem MARAPUR Prozess zugeführt.



Abbildung 6: Feinsiebung auf der Hauptkläranlage Wien

Die wesentlichen Ergebnisse der Versuchsanordnung sind wie folgt zusammengefasst:

Faserelimination	> 1 mm Länge	100 %
	0,2 – 0,5 mm Länge	95 %
	< 0,2 mm Länge	90 %
	Insgesamt	> 95 %
Feststoff Elimination		300 mg/l
Konzentration des Siebgutes		25 %
Spezifische Filtrationsleistung		20 m ³ /m ² *h

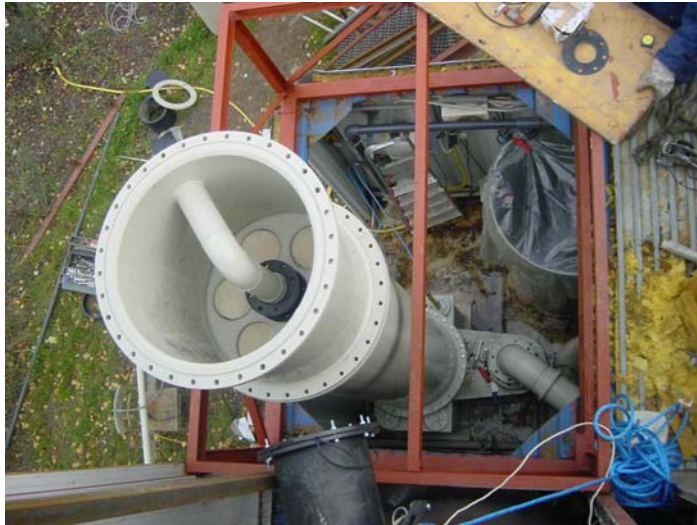
Das Feinsiebverfahren zur Abwasservorbehandlung mit dem Ziel der Störstoff Eliminierung aus kommunalem Abwasser ist ein geeignetes Instrument, um nachhaltig die Betriebssicherheit des MARAPUR Verfahrens sicherzustellen.

Untenstehendes Bild zeigt die Installation des MEGAMODULS im technischen Maßstab in eine bestehende Versuchsanlage während der Endmontage. Das MEGAMODUL enthält 6 Einzelmodule mit einer Gesamtmembranfläche von 180 m². Die Gesamt MBR Anlage ist für 130 m³/d Trockenwetterzufluss und für 11 m³/h Regenwetterzufluss dimensioniert. Die Anschlussgröße berechnet sich mit 850 EW. Die Anlage ist für den automatischen Betrieb ausgerüstet. Alle Prozesse der Filtration und Membranreinigung werden, wie in technischen Anlagen üblich, durch ein PLS System überwacht, gesteuert und aufgezeichnet.

Die wesentlichen Betriebsergebnisse in Bezug auf die Membranleistung sind in Abbildung 8 zusammengefasst. Sie zeigt eine Monatsganglinie.

Die Anlagenbeschickung und damit auch der Flux der Membranen wurden auf den tatsächlichen Abwasseranfall abgestimmt. Das zeigt die 24 Stunden Ganglinie.

Während der abwasserschwachen Zeit in den Morgenstunden betrug der Flux ca. 20 l/m²*h netto, während zur Zeit des großen Abwasseranfalls in den Mittags- und frühen Abendstunden der Flux auf bis zu 50 l/m²*h gesteigert wurde.



Der transmembrane Druck als auch die Permeabilität zeigen ein stabiles Verhalten in der Monatsganglinie. Je nach hydraulischer Beanspruchung der Membranen betrug der transmembrane Druck unter diesen Versuchsbedingungen 50 bis 175 mbar. Die temperatur-korrigierte Permeabilität errechnete sich mit ca. 400 mbar mit kurzfristigen Spitzen bis zu 500 mbar.

Abbildung 7: Installation MEGAMODUL

Erst zum Ende dieser Versuchsphase, wo der Flux mit durchgängig 60 l/m²*h netto eingestellt war, konnte der Einbruch der Permeabilität bzw. der langsame Anstieg des transmembranen Drucks erkannt werden. Das MARAPUR Filtrationsverfahren stößt unter diesen Belastungen im Dauerbetrieb an seine Grenzen. Flux Leistungen von 60 l/m²*h netto sind über den Zeitraum von wenigen Tagen tolerierbar; die Fluxleistung von 50 l/m²*h kann für den Regenwasserzufluss projiziert werden.

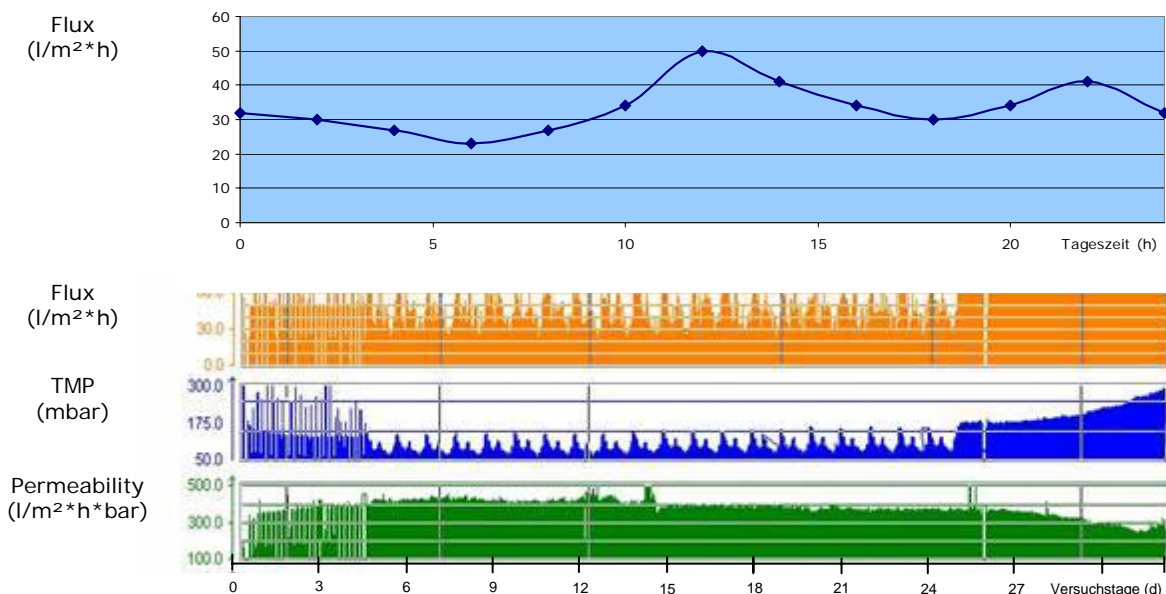


Abbildung 8: Monatsganglinie

Das Wiener Abwasser ist grundsätzlich kühl und kann im Winter deutlich unterhalb von 5 °C absinken. Auch unter diesen Bedingungen konnte die Filtrationsleistung von 50 l/m²*h bei akzeptablen Permeabilität Werten von > 300 l/m²*h*bar nachgewiesen werden. Die Konzentration des belebten Schlammes in der dargestellten Versuchsphase wurde mit 10 – 12 g/l gemessen.

Die im Dauerbetrieb erreichten Ergebnisse der Abwasserbehandlung entsprechen denen, die von MBR Anlagen bekannt sind. Folgende in Tabelle 1 gezeigten Behandlungsergebnisse wurden erzielt:

Tabelle 1: Ergebnisse der Abwasserbehandlung nach dem MARAPUR Verfahren

Parameter	Dim.	Zulauf MARAPUR	Ablauf MARAPUR
Abfiltrierbare Stoffe	[mg/l]	125	
Chemischer Sauerstoffbedarf	[mg/l]	400	20
Gesamtstickstoff	[mg/l]	60	10
Ammonium Stickstoff	[mg NH ₄ -N/l]	50	1
Nitrat Stickstoff	[mg NO ₃ -N/l]		8
Gesamt Posphor	[mg PO ₄ -P/l]	8	1
Trübung	[NTU]		0,3

Die Qualität des behandelten Abwassers ist sehr stabil und ändert sich auch nicht bei hydraulischen Laständerungen. Die Mindestanforderungen des Anhangs 1 der Abwasser-
 verwaltungsvorschrift zum § 7a des Wasserhaushaltsgesetzes können sicher eingehalten
 werden.

5. Ausblick

Die Verfahrenskette Abwasserfeinsiebung und MARAPUR enthält noch erhebliches
 Entwicklungspotential. Durch die Feinsiebung werden nicht nur Fasern, sondern auch BSB₅
 bzw. CSB verursachende abfiltrierbare Stoffe entnommen. Die tatsächlich der Biologie des
 MBR zufließende BSB₅ Fracht vermindert sich erheblich. Dieses hat auf die Bemessung des
 MBR einen erheblichen Einfluss.

Tabelle 2: Einfluss der Feinsiebung auf die Bemessung des MARAPUR

Parameter	Dim.	MARAPUR mit Feinsiebung	MARAPUR ohne Feinsiebung
Maschenweite Feinsiebung	[mm]	0,25	
Volumen Belebung	[m ³]	32	32
Konzentration belebter Schlamm	[g/l]	12	12
Schlammbelastung	[kg CSB/kg TS*d]	0,1	0,1
Schlammalter	[d]	25	25
CSB Konzentration	[mg/l]	400	600
Zufluss Belebung	[m ³ /d]	10	6,5

Tabelle 2 zeigt den Einfluss der Abwasserfeinsiebung auf die Leistung der MARAPUR
 Anlage. Unter der Annahme der üblichen Bemessungsansätze für MBR´s und der Nutzung
 der A131 errechnet sich eine Leistungssteigerung der Belebung von ca. 35 %. Die
 Membranfiltration ist jedoch davon nicht beeinflusst.

Der Verfahrensansatz der Abwasser-Feinsiebung mit engen Maschenweiten vor MBR
 Reaktoren bedarf noch weiterer Untersuchungen. Die Auswirkungen der verkürzten
 Verweilzeit in der Belebung als auch das Entwässerungsverhalten der überschüssigen
 belebten Schlämme gilt es zu erkunden.