

Laundry Innovation Network (LIN), Berlin

# Abwasserrecycling in kleinen Wäschereien mittels Membranbioreaktor

Derzeit existieren in Deutschland circa 2.000 gewerbliche Wäschereien mit einer Jahresleistung von 1,8 Millionen Tonnen Wäsche. Der spezifische Wasserbedarf variiert üblicherweise je nach technischer Ausstattung, Programmwahl, Verschmutzungsgrad und Wäscheart zwischen 8 bis 25 l/kg Waschgut. Trotz drastischer Reduzierung des Energiebedarfs von Waschmaschinen in der Vergangenheit werden aktuell immer noch ca. 0,1 bis 0,3 kWh Strom pro Kilogramm Waschgut benötigt.

Der Stand der Technik bezüglich der Wassereinsparung im Waschprozess ist soweit fortgeschritten, dass eine weitreichende Reduktion des Frischwasserbedarfs nur durch die Integration von Aufbereitungs- und Recyclingtechnologien in das bestehende System erzielbar ist. Da derzeit keine marktreifen Abwasserrecyclingkonzepte und -anlagen für Kleinstwäschereien vorhanden sind, wurde ein Forschungsprojekt vom Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität Berlin, in Kooperation mit dem Laundry Innovation Network (LIN) sowie den Firmen Martin Membrane Systems AG und Heckelsberg & Wiesner initiiert.

Das Ziel des Forschungsprojekts bestand in der Entwicklung eines kosteneffizienten Aufbereitungs- und Recyclingsystems mit geringem Platzbedarf. Weiterhin sollte die Pilotanlage in einer Kleinstwäscherei installiert und unter Realbedingungen betrieben werden. Zur Zielerreichung wurde ein Membranbioreaktor (MBR) der Firma Martin Membrane Systems verwendet.



Die Anlage mit Membranbioreaktor in der Wäscherei.

## Beschaffenheit von Wäschereiabwasser

Viele Faktoren beeinflussen die Zusammensetzung von Wäschereiabwasser. Dieses wird insbesondere durch die Art des Waschguts, den Herkunftsbereich, den Verschmutzungsgrad und die verwendeten Waschchemikalien beeinflusst. Gewöhnlich stellt Haushalts- und vergleichbare Objektwäsche den größten Waschgutposten in kleinen Wäschereien dar. Typische Konzentrationen ausgewählter Parameter sind in Tab. I aufgeführt.

Charakteristisch für Wäschereiabwasser sind weiterhin ein

CSB:BSB<sub>5</sub>-Verhältnis von > 2 sowie pH-Werte im alkalischen Bereich.

## Rechtliche Rahmenbedingungen

In Deutschland liegen derzeit keine rechtlich verbindlichen Regelwerke vor, die Anforderungen oder Richtlinien an ein Wasserrecycling in Wäschereien festlegen. Dennoch können durch eine unsachgemäße Kreislaufführung unter anderem hygienische Probleme, Dermatosen und eine Abnahme der Waschqualität resultieren. Die Gütegemeinschaft sachgemäße Wäschepflege hat daher in dem Gütezeichen RAL-

GZ 992 Kriterien für die Freigabe von Prozesswasser aus Aufbereitungsanlagen festgelegt, welche unter anderem hygienische, chemische und waschtechnische Aspekte berücksichtigt. Die Anforderungen haben sich in der Praxis bewährt und wurden daher auch in diesem Forschungsvorhaben als Zielwerte herangezogen.

## Wäscherei und Recyclingprozess

Für die Untersuchung wurde eine kleine Wäscherei in Berlin, ausgestattet mit 5 Waschsleudermaschinen mit einem Gesamtfassungsvermögen von 35 Kilogramm, ausgewählt. Stellvertretend für viele andere kleine Wäschereien ist das für die Installation von Recyclingtechnik verfügbare Platzangebot niedrig. Die Wäscherei bearbeitet jeden Tag 160 Kilogramm Schmutzwäsche, der tägliche Wasserbedarf belief sich auf 3,5 m<sup>3</sup>. Folglich werden pro Kilogramm Wäsche ungefähr 20 Liter Wasser benötigt. Dieses wird nach Gebrauch konventionell in das öffentliche Kanalnetz abgeleitet. An Wochenenden bleibt die Wäscherei geschlossen. Der MTR wurde in die Wäscherei wie in Abb. „Prin-

Tab. I: Abwasserbeschaffenheit ausgewählter Waschgutarten [mg/l]\*

Parameter	Einheit	Haushalts- und vergleichbare Objektwäsche	Krankenhaus- und Heimwäsche	Berufskleidung	Putztücher
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	[mg/l]	600 - 2.500	400 - 1.200	1.200 - 20.000	bis 100.000
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB <sub>5</sub> )	[mg/l]	300 - 1.000	200 - 800	600 - 10.000	bis 10.000
Gesamt-Stickstoff (N <sub>ges</sub> )	[mg/l]	20 - 50	keine Angabe	1 - 37	bis 50
Gesamt-Phosphor (P <sub>ges</sub> )	[mg/l]	bis 120	bis 120	bis 240	bis 100
pH-Wert	[-]	9,0 - 10,0			

\* (verändert nach [2, 4 und 5])



zip der Kreislaufführung“ dargestellt, integriert.

Das Abwasser (Grauwasser) der Waschmaschinen wurde gesammelt und floss mittels Schwerkraft durch ein Schrägsieb (Lochdurchmesser 5 mm) als mechanische Vorreinigung. Durch diese Maßnahmen erfolgte die Abtrennung von Fasern und anderen Grob- beziehungsweise Störstoffen. Anschließend wurde das Grauwasser in einen Vorlagebehälter gepumpt, in dem eine Tauchmotorpumpe am Boden installiert war. Diese beförderte das Grauwasser in den MBR, welcher nach dem Prinzip des aeroben Belebtschlammverfahrens funktioniert. Eine vollständige Schlammabtrennung wird durch die Verwendung getauchter Ultrafiltrationsmembranen gewährleistet. Der bei dem Verfahren anfallende Überschussschlamm muss regelmäßig abgezogen und entsorgt werden. Nach Abschluss der Reinigung wurde das Kreislaufwasser den Waschmaschinen erneut zugeführt.

Das Fassungsvermögen der Pilotanlage beläuft sich auf 1,8 m<sup>3</sup> und die Gesamtfilterfläche der getauchten Plattenmembranen beträgt 12,5 m<sup>2</sup>. Mittels anliegendem Unterdruck wird das Permeat aus dem Reaktor abgezogen.

Mittels einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) erfolgen die Steuerung und der automatische Betrieb der Anlage. Der Deckschichtbildung wird durch Relaxationsphasen entgegen gewirkt. In der Praxis folgt nach einer zwölfminütigen Filtrationsphase ein drei Minuten andauernder Filtrationsstopp. Ein Impulsmodus startet bei Niedrigwasser, wie es beispielsweise nachts der Fall ist. Dieser ist so programmiert,

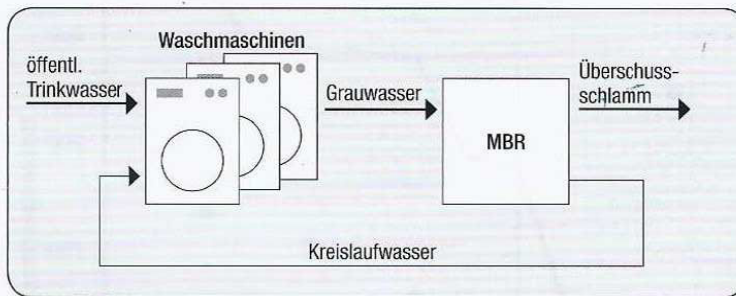
**Tab. II: Analyseergebnisse ausgewählter Parameter im Zulauf und im Permeat**

	Probenanzahl	CSB [mg/l]	BSB <sub>5</sub> [mg/l]	AFS [mg/l]	Trübung [NTU]	N <sub>ges</sub> [mg/l]	P <sub>ges</sub> [mg/l]	Färbung [m <sup>-1</sup> ]
Median Rohabwasser	16	1.256	436	453	432	25,5	3,2	6,07
Median Permeat	19	76	7	0	0,3	1,9	1,6	1,28
Median Permeat Einfahrphase	11	75	7	0	0,3	4,0	2,5	1,22
Median Permeat Dauerbetrieb	8	92	7	0	0,2	1,5	0,4	1,28

**Tab. III: Eliminationsraten**

	CSB	BSB <sub>2</sub>	AFS	Trübung	N <sub>ges</sub>	P <sub>ges</sub>	Färbung
	erzielte Eliminationsraten [%]						
Median Permeat	94	87	100	100	93	50	79
Median Permeat Einfahrphase	94	98	100	100	84	22	80
Median Permeat Dauerbetrieb	93	98	100	100	94	88	79

## Prinzip der Kreislaufführung mittels MBR-Technologie



dass sich eine achtminütige Ruhephase abwechselte mit einer 30 Sekunden andauernden Belüftungsphase, um anoxische und anaerobe Verhältnisse im Reaktor zu verhindern.

Die Probenahme erfolgte während des Anlagenbetriebs zwischen April und August 2013 zweimal wöchentlich und zwar dienstags und donnerstags. Knapp 18 Wochen dauerte die Versuchsdauer.

## Reinigungsleistung

Der Median des Parameters CSB im Rohabwassers belief sich auf 1.256 mg/l (siehe Tabelle 2). Gleichzeitig konnte ein BSB<sub>5</sub> von 436 mg/l festgestellt werden. Die Analyse des Gesamtstickstoffs ergab einen Messwert von 25,5 mg/l und die des

Gesamt-Phosphors von 3,2 mg/l im Zulauf.

Im Permeat konnten folgende Konzentrationen festgestellt werden: 92 mg CSB/l, 7 mg BSB<sub>5</sub>/l, 1,5 mg Nges/l und 0,4 mg Pges/l. Aus

der Differenz zwischen Zu- und Ablauf ergibt sich somit eine Eliminationsrate von 93 Prozent für den Parameter CSB in der Dauerbetriebsphase.

Trotz der relativ kurzen hydraulischen Mindestaufenthaltszeit (HRT) von 7,5 h, unterschritten die Permeatproben den in RAL-GZ 992 festgelegten Grenzwert von 200 mg CSB/l (siehe Abbildung: Messergebnisse des Permeats).

Obwohl das BSB<sub>5</sub>:N:P-Verhältnis 100:5,8:0,7 einen Mangel an Phosphor aufweist, war ▶

Anzeige



**Dampf mit System**

## Dampferzeuger el-, gas- und ölbeheizt

Das **Komplett-Programm** für die wirtschaftliche u. individuelle Lösung Ihres Dampf-Problems.

**KNOW-HOW** aus über 40-jähriger Erfahrung.

Sprechen Sie über zukunftsorientierte Dampf-Erzeugung mit unseren Spezialisten

WIMA-Dampfgeneratoren GmbH  
Breitendieler Str.3, 63897 Miltenberg am Main  
Telefon 09371/97360 Telefax 09371/2778



keine zusätzliche Nährstoffdosierung notwendig. Aufgrund der geringen Porengröße der Ultrafiltrationsmembran konnte ein vollständiger Rückhalt aller Bakterien ebenso erzielt werden, wie eine vollständige Abtrennung von AFS. Ein Recycling von Tensiden stellte sich als nahezu unmöglich heraus, da diese durch die Mikroorganismen fast vollständig verstoffwechselt wurden. Mit Hilfe der Versuchs-

den, jedoch ergab die Analyse der Färbung insgesamt niedrige Werte.

## Energiebedarf

Bei der in diesem Projekt verwendeten Pilotanlage handelte es sich um eine Forschungsanlage, die hinsichtlich des Energiebedarfs nicht optimiert sondern mit größeren Verdichtern ausgestattet war, um für unterschiedliche

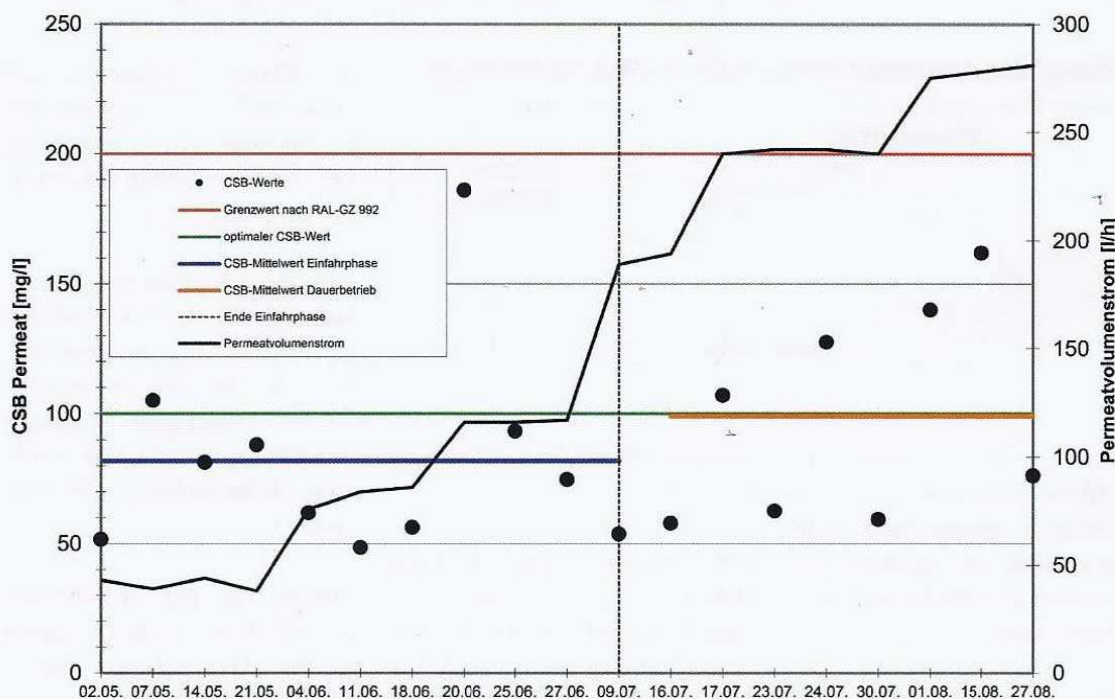
phasen gesenkt werden kann und sich dann der Gesamtenergiebedarf unter Berücksichtigung der Stillstandsphasen auf 4,4 kWh/m<sup>3</sup> belaufen würde. Nach Angaben des Herstellers MARTIN Membrane Systems AG variiert der Energiebedarf ihrer MBR-Systeme zwischen 1,1 - 1,7 kWh/m<sup>3</sup> behandeltem Abwasser, wenn diese zur Aufbereitung von kommunalem Abwasser verwendet werden.

von abhängt, in welcher Höhe die Wärme des Permeats, im Mittel 30 °C, zur Substitution von elektrischer Energie genutzt werden kann. Im Falle der untersuchten Wäscherei ergibt sich somit ein jährliches Energieeinsparpotential von 12.600 kWh durch Energierückgewinnung, was in Deutschland einem Betrag von ca. 3.500 Euro entspricht. Weiterhin können hohe Kosten für die Schlamm Entsorgung auftreten, wenn keine Indirekteinleitergenehmigung erteilt wird und in Kombination mit zeolith- und silikathaltigen Waschmitteln, die zu einer verkürzten Standzeit der Membranen führen, in einem unwirtschaftlichen Betrieb resultieren.

## Fazit

Das Forschungsprojekt hat demonstriert, dass eine Wiederverwendungsrate von mehr als 90 Prozent bei der Aufbereitung von Wäschereiabwasser mittels MBR-Verfahren erreicht werden kann und diese Technologie auch aufgrund ihrer Betriebsstabilität allgemein für die Wasserkreislaufführung geeignet ist. Die hohe Permeatqualität ist durch die Verwendung von Ultrafiltrationsmembranen durchgängig gewährleistet und führte in Kombination mit der biologischen Stufe zur sicheren Einhaltung der Grenz- bzw. Richtwerte nach dem Gütezeichen RAL-GZ 992. Viele Randbedingungen beeinflussen die Kosteneffizienz dieses Systems, sodass keine allgemeingültige Aussage über die Wirtschaftlichkeit getätigt werden kann. Weiterer Forschungsbedarfs besteht in der Untersuchung der Kosteneffizienz eines energetisch optimierten MBR und darin, die MBR-Technologie von kleinen Wäschereien auf industrielle Großwäschereien zu übertragen. ■

## Messergebnisse des Permeats, Parameter CSB



anlage konnten mehr als 90 % des zugeführten Abwassers zu Permeat aufbereitet werden. Die Einfahrphase endete 11 Wochen nach Betriebsbeginn, als der TS den vom Hersteller empfohlenen Zielwert von 10 g/l erreicht hatte. Bei einer mittleren Schlammbelastung von 0,038 kg BSB<sub>5</sub>/(kg TS\*d) und einem Schlammalter von ca. 27 d ergab sich eine Überschussschlammproduktion von 1,09 kg TS/kg BSB<sub>5</sub>. Ein leicht gelblicher Farbstich des Permeats konnte festgestellt wer-

den, jedoch ergab die Analyse der Färbung insgesamt niedrige Werte. Frachten geeignet zu sein und divergierende Lastfälle simulieren zu können. Eine Regulation der Drehzahl des Verdichtermotors, welcher ursächlich für den Hauptenergieverbrauch der Anlage ist, war nicht möglich. Daher ergab sich ein Energiebedarf der Pilotanlage von 10 kWh/m<sup>3</sup> Permeat mit der vorliegenden Konfiguration. Berechnungen ergaben, dass dieser durch einen Austausch der Kompressoren durch adäquat dimensionierte auf 3,9 kWh/m<sup>3</sup> Permeat während der Filtrations-

## Kostenanalyse

In Deutschland begünstigen die hohen Preise für Trinkwasser - durchschnittlich 1.69 Euro/m<sup>3</sup> - und teure Abwassergebühren - im Mittel 2.20 Euro/m<sup>3</sup> - die Implementierung von Wasserrecyclingsystemen ebenso, wie sie auf Wasserknappheit in trockeneren und wärmeren Regionen der Welt zurückzuführen ist. Eine Kosten-Nutzen-Analyse verdeutlicht, dass ein kosteneffizienter Betrieb hauptsächlich da-