

## Abwasser-Recycling in der Textilindustrie mittels Membrantechnologie

### Situation

Die Bamberger Kaliko GmbH ist seit ca. 150 Jahren erfolgreich im Bereich der Textilveredelung tätig. Das Sortiment umfasst textile Bucheinbandstoffe, Rollostoffe und verschiedene technische Textilien. Besonders auf dem Gebiet der Produktion von Rollostoffen ist die Bamberger Kaliko GmbH einer der weltweit bedeutendsten Produzenten. Jährlich werden ca. 20 Mio. m<sup>2</sup> Gewebe produziert, dies entspricht einem Umsatz von 30 Mio. € pro Jahr.

Hervorzuheben sind die umweltfreundlichen Veredelungsprozesse, bei denen vollständig auf den Einsatz von lösungsmittelhaltigen Stoffen, wie z. B. Chlor, FCKW und PVC verzichtet wird. Diese Art der Textilveredelung verursacht einen hohen prozessbedingten Wasserverbrauch von ca. 600 m<sup>3</sup>/d. Das Frischwasser wird aus eigenen Brunnen entnommen, aufbereitet und der Produktion zur Verfügung gestellt. Ein Drittel (ca. 200 m<sup>3</sup>/d) der zugeführten Wassermenge verdunstet. Es müssen folglich 400 m<sup>3</sup>/d Produktionsabwasser in der hauseigenen Kläranlage gereinigt bzw. aufbereitet werden, bevor es als Brauchwasser wiederverwendet werden kann oder zur kommunalen Kläranlage abgeführt wird.

Die Bamberger Kaliko betreibt seit 20 Jahren eine eigene Kläranlage. Die bisherige Anlage bestand aus einem Puffer-/Homogenisierungsbecken, einer chemischen Stufe, einem Schrägklärer, einer Biologie, einer Schlammbehandlung und einem Sammelbecken. In der chemischen Stufe vor dem Schrägklärer wurden Eisen-III-Chlorid und Kalk dem Abwasserstrom zudosiert. Die gefällten und geflockten Abwasserinhaltsstoffe sedimentierten im Schrägklärer und das vorgereinigte Abwasser wurde abschließend in einer konventionellen biologischen Stufe behandelt.

Die Grenzwerte für das gereinigte Abwasser waren wie folgt definiert:

CSB < 1.000 mg/l  
pH-Wert: 6 - 7  
Temperatur < 30 °C

Produktumstellungen, Verfahrensänderungen und Mengenzuwächse führten zu einer Überlastung der „alten“ Kläranlage. Diese war nicht mehr in der Lage die Grenzwerte einzuhalten. Zudem erhöhte die Stadt den Starkverschmutzerzuschlag, sodass die Abwasserabgaben stiegen. Generell war in den vergangenen Jahren eine steigende Tendenz bezüglich der Abwassergebühren zu erkennen. Die Abwasserreinigung wurde somit zu einem wichtigen Standortfaktor, welcher die Wettbewerbsfähigkeit und damit die Standortsicherung beeinflusst.

Deswegen wurde 2007 entschieden, die Kläranlage zu ertüchtigen. Dabei war es nicht nur das Ziel die Kläranlage an die neuen Bedürfnisse anzupassen, sondern man wollte auch eine hundertprozentige Wiederverwendung des anfallenden Abwassers verifizieren. Zukünftig sollte es keine Abhängigkeiten von der fehlenden Ressource Wasser, den Grenzwerten und den steigenden Abwassergebühren geben.

Bei der Suche nach einem passenden Konzept für die Klärung und der vollständigen Wiederverwendung der textilen Abwässer stellte sich heraus, dass es keine Schubladenlösungen gibt. Es wurde mit verschiedenen Herstellern über Gesamtlösungen auf Grundlage der folgenden Problemstellung gesprochen:



Versuchsanlage Druckentspannungsfotation

- ▶ Diskontinuierlicher Anfall des Abwassers über den Tag / die Woche
- ▶ Stark schwankender pH-Wert zwischen 6 bis > 13
- ▶ Starke Schwankungen bei Verschmutzungsgrad / Beladung
- ▶ Hohe und wechselnde Farbigkeit
- ▶ Temperaturschwankungen zwischen 25 °C und 80 °C
- ▶ Kompostierbarkeit des Klärschlammes

Die Bamberger Kaliko erstellte zusammen mit der HUBER SE ein erstes Konzept, dessen Herzstück eine MBR- Anlage war.

Um die grundsätzliche Eignung des Membranverfahrens für diese Anwendungen zu ermitteln, wurde zunächst ein viermonatiger Pilotbetrieb durchgeführt. Dabei konnten die notwendigen Auslegungsparameter für den biologischen Prozess und die Membranfiltration, sowie die notwendige Vorbehandlung ermittelt werden.

Außerdem musste eine Qualität des aufbereiteten Abwassers erreicht werden, welche die anschließenden Färbeprozesse nicht negativ beeinflusst. In diesem Zusammenhang sind vor allem die Parameter CSB, Eisen, Salz und Wasserhärte als kritisch anzusehen, welche bestimmte Grenzen nicht übersteigen dürfen.

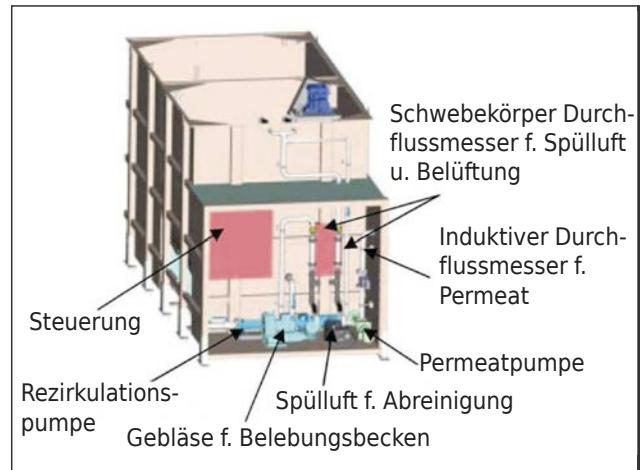
### Beschreibung und Kenndaten des Versuchsbetriebs

Für den Versuchsbetrieb entnahm man das Abwasser aus dem Ablauf des vorhandenen Schrägklärers. Man erkannte sehr schnell, dass die Feststoffabscheidung im Lamellenabscheider nicht ausreichend war und sich dadurch der Fällschlamm in der biologischen Stufe innerhalb kurzer Zeit aufkonzentrierte.

Es wurden dem Versuchsaufbau mehrere Absetzbecken vorgeschaltet, um die Feststoffabscheidung zu verbessern und um eine praktisch feststofffreie Vorlage zu schaffen. Da diese Anordnung später bei der Full-Scale Anlage räumlich so nicht realisierbar sein würde, entschied man sich im Nachgang zu den Membranversuchen, noch für einen Testlauf mit einer Druckentspannungsflotation.

Kombiniert man eine Druckentspannungsflotation mit der Zugabe von Fällungs- und Flockungsmitteln, können kolloidal gelöste Stoffe geflockt und durch feindisperse Luftblasen an der Oberfläche der Flotation abgeschieden werden. Die Dosierung der Chemikalien und die Durchmischung mit dem Abwasser finden in einem vorgeschalteten Rohrreaktor statt.

Die MBR-Versuchsanlage selber besteht aus zwei Kammern: einer Belebungs- und einer Filtrationskammer. Die Belebungs- hat ein Volumen von ca. 14 m<sup>3</sup>. Hier findet unter aeroben Bedingungen der biologische Abbau der Biomasse statt. Das Belebungsbecken kommuniziert über einen Überlauf, sowie einer Umwälzpumpe mit der



Schematische Darstellung MBR-Versuchsanlage



VRM Pilotanlage Membranbiologie mit Filtrationskammer

Filtrationskammer und den hier installierten rotierenden Membranmodulen.

Eine sogenannte Permeatpumpe erzeugt Unterdruck an den Membranmodulen, wodurch das Permeat abgezogen wird. Durch die Rotation der Membranplatten und das Einbringen von Luftblasen aus integrierten Spülluftleitungen wird an der Membranoberfläche eine Querströmung erzeugt, die der Abreinigung dient. Die VRM® 20/36 besitzt eine Membranfläche von 108 m<sup>2</sup> und ist damit für einen durchschnittlichen Permeat-Volumenstrom von 2 m<sup>3</sup>/h ausgelegt.

### Versuchsdurchführung und wesentliche Ergebnisse

Beide Teilversuche waren nach verschiedenen Betriebsoptimierungen sehr erfolgreich. Mit der chemischen Stufe und der Flotationsanlage wurde neben einer effektiven Feststoffentfernung auch die Neutralisation der häufig wechselnden Abwässer erreicht. Man erzeugte so optimale Zulaufbedingungen für die Membranbiologie. Diese Versuche waren bereits nach zwei Wochen abgeschlossen. Die Projektierung mit der MBR-Anlage wurde auf vier Monate ausgedehnt, um zuverlässige Daten über biologische Abbaubarkeit, Membranverträglichkeit, sowie Grundlagen für das Scale-up zu bekommen.

Während der Membran-Versuchsphase erfolgte eine intensive Betreuung der Anlage durch Mitarbeiter der Firma HUBER und dem lokalen Personal der Betriebskläranlage. Durchschnittlich dreimal wöchentlich wurden der Zu- und Ablauf der Membranbelebungsanlage sowie die Betriebsbedingungen innerhalb der integrierten Belebungsammer analysiert.

Die Analysewerte der biologischen Parameter sind in der Tabelle unten aufgeführt. Stichpunktartige Analysen des Ablaufs hinsichtlich Eisen, Calcium, Magnesium und Härte lieferten Informationen über die Verwendbarkeit des Permeats im Prozess.

### Konzept zur Umsetzung der Full-Scale-Anlage

Nach Abschluss und Auswertung der Pilotierung konnte das Scale-Up auf den realen Durchsatz von 400 m<sup>3</sup>/d durchgeführt werden. Bei der Erstellung des endgültigen Konzeptes wurden einzelne bereits bestehende Elemente, wie z. B. der Pufferspeicher und die Schlammbehandlung berücksichtigt und integriert. Die bestehende biologische Abwasserbehandlungsstufe musste allerdings bei der Umstellung auf die Membranbiologie komplett weichen.

Die Anlage ist wie folgt aufgebaut:

- ▶ Misch- und Ausgleichsbecken (MAB) mit 250 m<sup>3</sup> (bereits vorhanden)
- ▶ Druckentspannungsflotation für maximal 60 m<sup>3</sup>/h mit vorgeschalteter chemischer Fällung und Flockung
- ▶ Biologische Stufe (Nitrifikation) mit 250 m<sup>3</sup> Volumen
- ▶ 2 VRM 20/300 Membranfiltrationsanlagen mit jeweils 12,5 m<sup>3</sup>/h Durchsatz und je 900 m<sup>2</sup> Membranfläche
- ▶ Permeatspeicherbecken 150 m<sup>3</sup>

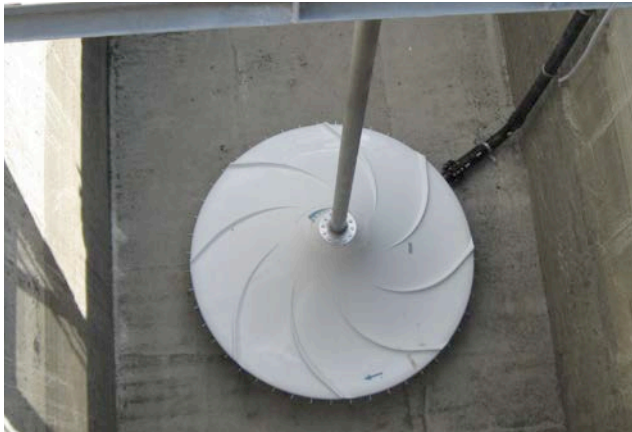
Das bestehende Zulaufspeicherbecken wurde mit einem Rührwerk ausgestattet und dient fortan zur Vergleichmäßigung der stark wechselnden Zulaufverhältnisse aus der Produktion. Aus diesem Becken wird die Flotation beschickt. Der feststofffreie Ablauf aus der Druckentspannungsflotation fließt direkt in die Membranbiologie. Ein zweites vorhandenes Zulaufspeicherbecken wurde mit einem kombinierten Rühr- und Belüftungssystem ausgestattet und damit zur biologischen Stufe der Membranbelebungsanlage umgerüstet. Baulich wurden beiden Becken die Beckenkronen erhöht und damit das maximale Volumen gesteigert. Aus dem Belebungsbecken fließt der biologische Schlamm im freien Gefälle in die beiden Filtrationskammern und wird von dort - abzüglich des abfiltrierten Permeats - in die Biologie zurückgefördert.

Die beiden VRM-Membraneinheiten weisen jeweils 900 m<sup>2</sup> Membranfläche auf. Das abgezogene Permeat wird im ehemaligen Nachklärbecken aufgefangen und steht dann zur weiteren Verwendung zur Verfügung.

Die bestehende Vorsiebung, sowie auch die gesamte Schlammbehandlung (Primär- und Sekundärschlamm) werden unverändert beibehalten. Die neue Anlage wurde vollständig in das Gesamtanlagenkonzept integriert.

	Einheit	CSB	BSB <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P
<b>Mittelwert Zulauf</b>	[mg/l]	2810	700	10,18	1,03	4,36	19,08
<b>Mittelwert Permeat</b>	[mg/l]	154	12	0,73	0,28	7,28	8,01
<b>Reduktion</b>	[%]	94,5	98	92,9	72,9	n. b.	58,1
	Einheit	Fe II	Fe ges	Fe III	Ca	Mg	°dH
<b>Mittelwert Permeat</b>	[mg/l]	0,30	0,45	0,16	200	16,4	32,3

Zulauf- und Ablaufwerte der Testanlage VRM® 20/36 mit Reduktionsrate



Rühr-Dispergierwerk Biologie



Biologie links / MAB rechts



VRM-Kammer



Spülluftbild der VRM

Die technische Umsetzung der Anlage erfolgte in zwei Stufen. Zunächst wurde die Flotationsanlage mit chemischer Stufe als Vorbehandlung errichtet und der weitgehend feststofffreie Ablauf aus der Flotation als Übergangslösung bis zur Inbetriebnahme der MBR direkt in das lokale Kanalnetz abgegeben. Die erreichte Qualität des Ablaufs war bereits weit besser als die der Altanlage und erlaubte daher die direkte Abgabe zur kommunalen Kläranlage. Somit war auch ausreichend Zeit für die zweite Stufe gegeben, dem Umbau der alten Puffer-Becken und dem Einbau der Membranbelebungsanlage. Die Membrananlage wurde im Sinne eines redundanten Systems in zwei Linien aufgeteilt. Auch übrige Schlüsselkomponenten werden redundant ausgeführt, um eine maximale Anlagenverfügbarkeit zu gewährleisten. Im September 2008 wurde die Anlage vollständig in Betrieb genommen.

### Betriebserfahrungen

Die neue MBR-Anlage ist nun seit etwa 2 Jahren in Betrieb. Nach einer Optimierungsphase, resultierend aus den starken Schwankungen des Zulaufs, läuft die Anlage nun sehr stabil und produziert hochwertiges Brauchwasser, welches im Prozess wiederverwendet werden kann. Es wurden spezielle Betriebserfahrungen gewonnen, die nun in die Anlage als Verbesserung einfließen:

- Während der Inbetriebnahme beobachtete man eine Versäuerung des Abwassers im Misch- und Ausgleichsbecken. Diese wurde hervorgerufen durch Anteile stärkehaltiger Beschichtungsprodukte im Abwasser. Mit Hilfe einer gezielten Zudosierung von stark alkalischen Produktionsabwässern konnte der pH-Wert wieder einreguliert werden.

- ▶ Die Fäll- und Flockchemie, welche in der chemischen Stufe vor der Flotation zum Einsatz kommt, hat einen großen Einfluss auf den Wirkungsgrad und auf die Wirtschaftlichkeit der Gesamtanlage. Deswegen wurde viel Zeit darauf verwandt, die Art und Menge der Fäll- und Flockmittel auf die spezifischen Abwässer anzupassen. Als Fällmittel wird ein Aluminiumsalz und als Flockmittel ein anionisches Polymer eingesetzt. Die Chemikalienverbräuche und Kosten sind heute geringer als bei der Altanlage.
- ▶ Durch Optimierung des Volumenaustausches zwischen Biologie- und Filtrationskammer wurde die Verweilzeit in der Biologie erhöht. Resultat dieser Maßnahme ist eine geringere CSB und BSB Konzentration im Permeat, sowie längere Intervalle zwischen den chemischen Reinigungen.
- ▶ Manche in der Produktion eingesetzten Farbstoffe ließen sich mit der Abwasserreinigung nicht vollständig entfernen und färbten das Permeat. Insbesondere Rotfarbstoffe sind hier sehr problematisch. Das verfärbte Permeat kann nicht zur Wiederverwendung rückgeführt werden. Daher separiert man nun das stark farbhaltige Abwasser, ca. 20 m<sup>3</sup>/d, in einen Extrabehälter. Das Wasser wird mit Hilfe der chemischen Stufe und Flotation soweit behandelt, dass es den Grenzwerten genügt und dann in den kommunalen Bereich abgegeben werden kann.

Die Abbildung unten veranschaulicht die Reduktion des CSB durch die Flotation und durch die Abbauleistung Membranbiologie. Trotz Misch- und Ausgleichsbecken sind starke Schwankungen beim CSB im Zulauf zur Flotation

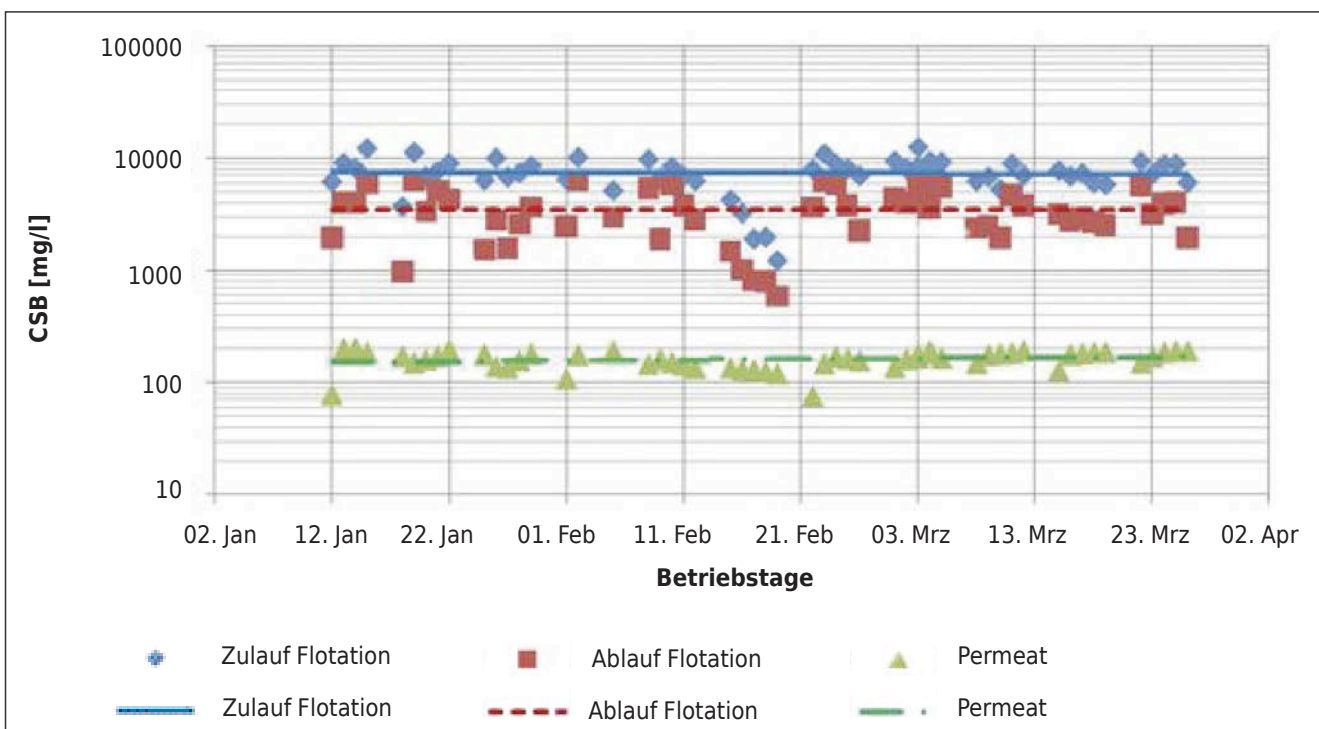
und zur Membranbiologie zu erkennen. In Spitzen erreicht der CSB vor der Flotation 11.000 mg/l. Durchschnittlich wird mit Hilfe der Flotation der CSB von 7.500 mg/l auf 3.500 mg/l reduziert. Das entspricht einer Reduktionsrate von 53,3 %.

Die Membranbiologie arbeitet mit einer Belebtschlammkonzentration von 9 g/l und baut den CSB im Mittel auf 170 mg/l ab. Daraus resultiert eine Reduktionrate von 95 %. Der im Permeat gemessene BSB im liegt zwischen 8 und 12 mg/l. Diese Werte und Reduktionsraten bestätigen die in der Pilotierung gewonnenen Erfahrungen.

### Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Investition für den Betreiber gelohnt hat. Einerseits finanziell, da die in die städtische Kanalisation abgegebene Menge erheblich reduziert und somit Einleitkosten gespart werden konnten. Andererseits als Image-Gewinn, da die Bamberger Kaliko hohen Wert auf nachhaltige und ökologische Betriebskonzepte legt. Derzeit werden im Zulauf der Anlage CSB-Werte von bis zu 11.000 mg/l erreicht, im Ablauf nach der Membranbiologie können diese bis auf < 200 mg/l reduziert werden. Hinsichtlich der bedeutenden Eisenkonzentrationen werden die Werte aus der Pilotierung bestätigt. Andere Parameter werden derzeit nicht bestimmt und sind weder für die Einleitung noch für die Wiederverwendung bedeutend.

**Ralph Teckenberg**  
 Geschäftsbereich Industrie



Verlauf CSB Konzentration seit Januar 2010