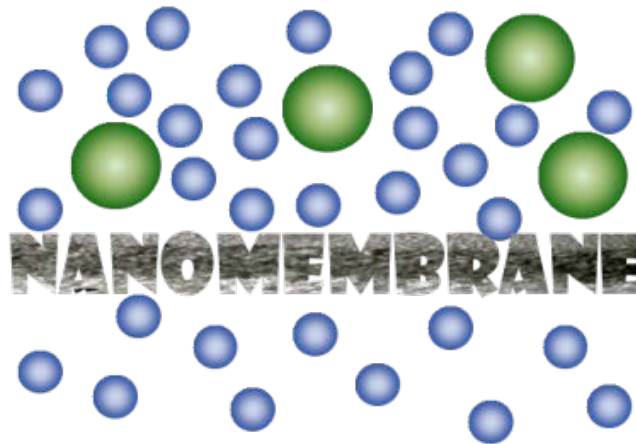


Abschlussbericht

**Nanomembrane-  
Nanoporöse keramische Membranen zur  
nachhaltigen Wasser- und Lösemiteleinsparung  
durch Kreislaufschließung**



gefördert vom  
Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF

Projektträger:  
Projektträger Jülich  
Förderkennzeichen: **03X0080**

Darmstadt, den

Dr. U. Kätzel  
Merck KGaA

Dr. I. Voigt  
Fraunhofer IKTS



## Verbundprojekt folgender Partner

Nr.	Name	Kurzname	Anschrift	Ansprechpartner	Telefon-Nr. FAX-Nr.	E-mail-Adresse
1	Merck KGaA	Merck	Frankfurter Str. 250, 64293 Darmstadt	Uwe Kätzel	06151-723051, 06151-72913051	uwe.kaetzel@merck.de
2	Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme	IKTS	Institutsteil Hermsdorf Michael-Faraday- Str. 1, 07629 Hermsdorf	Ingolf Voigt	036601-93012618 036601-93013921	ingolf.voigt@ikts.fraunhofer.de
3	Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH	RKV	Industriestr. 1 98669 Veilsdorf	Volker Prehn	03685-685212 03685-685230	v.prehn@rauschert.de
4	Fa. Andreas Junghans	Junghans	Chemnitzer Str. 63, 09669 Frankenberg	Andreas Stobbe	037206-86254 037206-86257	a.stobbe@ajunghans.de
5	BENSELER Sach- sen GmbH & Co. KG	BENSE- LER	Chemnitzer Str. 61b, 09669 Frankenberg	Marcel Lehmann	037206-661-517 037206-661-911	marcel.lehmann@benseler.de
6	Color Textil Verede- lung Peppermint Holding GmbH	Color Textil	Hammertal 5, 09669 Frankenberg	Sven Glatzer	037206/490 037206/49410	<a href="mailto:s.rudi@color-textil.de">s.rudi@color-textil.de</a>
7	PTS Papiertechni- sche Stiftung	PTS	Heistrae 134, 80797 München	Benjamin Simstich	089-12146-388 089-12146-36	benjamin.simstich@ ptspaper.de
8	Koehler Kehl GmbH	Koehler	Bremenwrtstr. 4, 77694 Kehl	Peter Frammelsberger	07851- 6 67745 07851- 6 68745	peter.frammelsberger@ koehlerpaper.com
9	Zellstoff Stendal GmbH	Zellstoff Stendal	Goldbecker Str. 1, 39596 Arneburg	Ronald Zierau	039321-55253 039321-55299	ronald.zierau@ zellstoff-stendal.de
10	Universität Stuttgart Lehrstuhl für Bau- physik LBP	LBP	Hauptstrasse 113, 70771 Leinfelden- Echterdingen	Michael Held	0711 489999-29 0711 489999-11	<a href="mailto:michael.held@lbp.uni-stuttgart.de">michael.held@ lbp.uni-stuttgart.de</a>



## Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Zielstellung und Meilensteine	1
1.3	Projektverbund	1
1.4	Literatur	1
2	Entwicklung von neuer NF-Membranen im Labormaßstab	2
2.1	Einleitung	2
2.2	Sol-Gel-Chemie von $\text{TiO}_2\text{-C}$ und $\text{ZrO}_2\text{-C}$ -Kompositen	2
2.3	Charakterisierung von $\text{TiO}_2\text{-C}$ und $\text{ZrO}_2\text{-C}$ -Gelen	3
2.4	Präparation von Membranschichten	3
2.5	Charakterisierung der Membranen	3
2.6	Untersuchung der pH-Stabilität von $\text{TiO}_2\text{-C}$ und $\text{ZrO}_2\text{-C}$ -Gelen	3
2.7	Untersuchung der pH-Stabilität von $\text{TiO}_2\text{-C}$ und $\text{ZrO}_2\text{-C}$ -Membranen	3
2.8	Einfluss der Zusammensetzung auf die Benetzbarkeit für $\text{H}_2\text{O}$ und organ. Lösemittel	3
2.9	Nachträgliche Imprägnierung mit Kohlenstoff	3
2.10	Einstell. der Benetzbarkeit durch Nachoxidation	3
2.11	NF-Verhalten im organischen Lösemittel	3
2.12	Zusammenfassung	3
2.13	Literatur	3
3	Übertragung der Membransynthese auf Pilotmaßstab	5
3.1	Einleitung	5
3.2	Herstellung von Rohsubstraten	5
3.3	Zwischenschichten und NF-Beschichtung	5
3.4	Charakterisierung der NF-Membranen	5
3.5	Herstellung defektfreier Einkanalrohre	5
3.6	Zwischenschichten mit verbesserter Oberflächenqualität auf Einkanalrohren	5
3.7	Defektfreie 19-Kanal-Rohrsubstrate	5

3.8	Zwischenschichten mit verbesserter Oberflächenqualität auf 19-Kanalrohren .....	5
3.9	Neue anwendungsspez. Mehrkanalrohrgeometrie .....	5
3.10	Zwischenschichten auf neuer Geometrie .....	6
3.11	Übertragung der neuen NF-Beschichtung .....	6
3.12	Charakterisierung der neuen NF-Membran auf Mehrkanalrohrsubstraten.....	6
3.13	Fertigung von Membranen für Pilotversuche.....	6
3.14	Membrancharakterisierung nach Pilotversuch .....	6
3.15	Zusammenfassung .....	6
3.16	Literatur .....	6
4	Bau und Anpassung von Versuchsanlagen .....	7
4.1	Einleitung.....	7
4.2	Anwendungsspezifische Anforderungen .....	7
4.3	Stoffstrombilanzierung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.4	Anlagenauslegung, Fließbilder, Zeichnungen .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.5	Anlagenumbau und -anpassung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.6	Zusammenfassung .....	24
4.7	Literatur .....	24
5	Aufreinigung und Recycling von Lösemitteln .....	26
5.1	Einleitung.....	26
5.2	Stoffstromanalyse + Auswahl Testsysteme.....	26
5.3	Versuche + Analytik Testsystem 1 .....	26
5.4	Versuche + Analytik Testsystem 2.....	26
5.5	Anlagenoptimierung + mehrstufige Aufreinigung.....	26
5.6	Verfahrensvergleich inkl. destillativer Endaufreinigung .....	26
5.7	Zusammenfassung .....	26
5.8	Literatur .....	26
5.9	Literatur .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
6	Aufbereitung von Spül- und Reinigungsbädern aus der Metallverarbeitung .....	27
6.1	Einleitung.....	27
6.2	Anwendungsspezifische Anforderungen .....	27

6.3	Stoffstrombilanzierung .....	27
6.4	Konzepterstellung Filtration .....	27
6.5	Laborversuch Bäder ECM.....	27
6.6	Laborversuch Spülwasser.....	27
6.7	Laborversuch Bäder TEM .....	27
6.8	Pilotversuche mit Abwasser aus Metall.....	27
6.9	Zusammenfassung .....	27
6.10	Literatur .....	27
7	Aufbereitung und Kreislaufführung farbiger Waschwässer aus der Textilveredelung ____	28
7.1	Einleitung.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.2	Anwendungsspezifische Anforderungen .....	29
7.3	Stoffstrombilanzierung .....	43
7.4	Laborversuche mit Abwässern aus Textil.....	43
7.5	Pilotversuche mit Abwässern aus Textil.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.6	Zusammenfassung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.7	Literatur .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
8	Erprobung nanoporöser keramischer Membranen in der Papier- und Zellstoffindustrie _	46
8.1	Einleitung.....	46
8.2	Proben- und Anlagenvorbereitung .....	46
8.3	Laborvers. mit Abwässern aus Papier/Zellstoff .....	46
8.4	Ablagerungsanalyse und Reinigung .....	46
8.5	Konzentratverwertung.....	46
8.6	Vorplanung und Inbetriebnahme.....	46
8.7	Pilotversuche mit Abwässern aus Papier .....	46
8.8	Pilotversuche mit Abwässern aus Zellstoff.....	46
8.9	Ergebnisdokumentation und Auswertung.....	46
8.10	Zusammenfassung .....	47
8.11	Literatur .....	47
9	Ökobilanzielle Bewertung von NanoMembrane-Anwendungen _____	48
9.1	Einleitung.....	48

9.2	Definition Untersuchungsrahmen.....	48
9.3	Datenerfassung .....	48
9.4	Ökobilanzmodell Nanomembranen.....	48
9.5	LCA Anwendungsszenario (Textilindustrie).....	48
9.6	LCA Anwendungsszenario (Papierindustrie).....	48
9.7	LCA Anwendungsszenario (Chem. Industrie) .....	48
9.8	Einsparpotential: Anwendung NanoMembran .....	48
9.9	Branchenübergreifende Hochrechnung .....	48
9.10	Zusammenfassung .....	48
9.11	Literatur .....	49
10	Zusammenfassung _____	50
10.1	Projektverlauf.....	50
10.2	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse .....	50
10.3	Position zum internationalen Stand.....	50
10.4	Qualifizierungsarbeiten .....	50
10.5	Publikationen .....	50
10.5.1	Vorträge	50
10.5.2	Poster	50
10.5.3	Veröffentlichungen	50
10.6	Verwertung der Ergebnisse .....	50
10.6.1	Wissenschaftliche Verwertung der Ergebnisse:	50
10.6.2	Wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse:	50



## **1 Einleitung**

I. Voigt<sup>1</sup>, U. Kätzel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Hermsdorf

<sup>2</sup>Merck KGaA, Darmstadt

### **1.1 Ausgangssituation**

### **1.2 Zielstellung und Meilensteine**

### **1.3 Projektverbund**

### **1.4 Literatur**

## 2 Entwicklung von neuer NF-Membranen im Labormaßstab

I. Voigt, P. Puhlfürß, K. Herrmann, A. Endter

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Hermsdorf

### 2.1 Einleitung

### 2.2 Sol-Gel-Chemie von $\text{TiO}_2\text{-C}$ und $\text{ZrO}_2\text{-C}$ -Kompositen

Abb. 2-1: Schichtdicke der NF-Membranen.

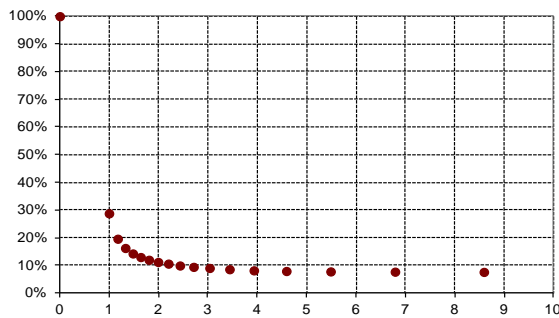


Abb. 2-2: Permporosimetrie 1.

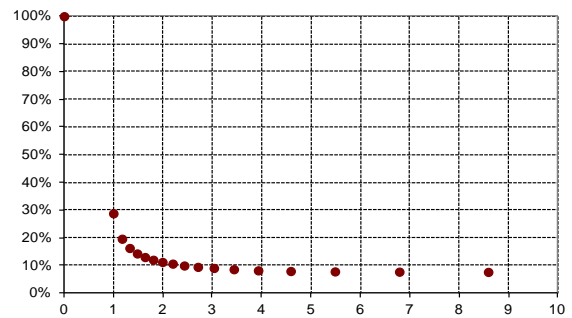


Abb. 2-3: Permporosimetrie 2.

Tab. 2-1: Versuchsparameter.


Querverweise im Text einfügen für Literatur [2-1] Abbildungen (Abb. 2-1) und Tabellen (Tab. 2-1) und Kapitel (Kap. 1.2). Kapitelnummern einbeziehen.

Bilder im laufenden Text einfügen. Wenn zwei Bilder nebeneinander, dann in Tabelle ohne Rahmen setzen.

Formatvorlagen verwenden. Formatvorlagen nicht ändern.

- 2.3 Charakterisierung von TiO<sub>2</sub>-C und ZrO<sub>2</sub>-C-Gelen**
- 2.4 Präparation von Membranschichten**
- 2.5 Charakterisierung der Membranen**
- 2.6 Untersuchung der pH-Stabilität von TiO<sub>2</sub>-C und ZrO<sub>2</sub>-C-Gelen**
- 2.7 Untersuchung der pH-Stabilität von TiO<sub>2</sub>-C und ZrO<sub>2</sub>-C-Membranen**
- 2.8 Einfluss der Zusammensetzung auf die Benetzbarkeit für H<sub>2</sub>O und organ. Lösemittel**
- 2.9 Nachträgliche Imprägnierung mit Kohlenstoff**
- 2.10 Einstell. der Benetzbarkeit durch Nachoxidation**
- 2.11 NF-Verhalten im organischen Lösemittel**
- 2.12 Zusammenfassung**
- 2.13 Literatur**

## 2. Entwicklung von NF-Membranen mit einer Trenngrenze von 200g/mol

---

- [2-1] I. Voigt, P. Puhfuerss, H. Richter, S. Zeidler, U. Kätzel: "Low cut-off ceramic NF-membranes for organic solvents", 4<sup>th</sup> International Conference on Organic Solvent Nanofiltration, 12-14 March 2013, Aachen

### **3 Übertragung der Membransynthese auf Pilotmaßstab**

D. Sittig<sup>1</sup>, M. Schulz<sup>1</sup>, V. Prehn<sup>1</sup>, P. Puhlfürß<sup>2</sup>, A. Endter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rauschert Kloster Veilsdorf GmbH, Veilsdorf

<sup>2</sup>Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Hermsdorf

#### **3.1 Einleitung**

#### **3.2 Herstellung von Rohsubstraten**

#### **3.3 Zwischenschichten und NF-Beschichtung**

#### **3.4 Charakterisierung der NF-Membranen**

#### **3.5 Herstellung defektfreier Einkanalrohre**

#### **3.6 Zwischenschichten mit verbesserter Oberflächenqualität auf Einkanalrohren**

#### **3.7 Defektfreie 19-Kanal-Rohrsubstrate**

#### **3.8 Zwischenschichten mit verbesserter Oberflächenqualität auf 19-Kanalrohren**

#### **3.9 Neue anwendungsspez. Mehrkanalrohrgeometrie**

**3.10 Zwischenschichten auf neuer Geometrie**

**3.11 Übertragung der neuen NF-Beschichtung**

**3.12 Charakterisierung der neuen NF-Membran auf Mehrkanalrohrsubstraten**

**3.13 Fertigung von Membranen für Pilotversuche**

**3.14 Membrancharakterisierung nach Pilotversuch**

**3.15 Zusammenfassung**

**3.16 Literatur**

## 4 Bau und Anpassung von Versuchsanlagen

A. Stobbe, M. Franowski, A. Junghans

Andreas Junghans - Anlagenbau und Edelstahlbearbeitung, Frankenberg

### 4.1 Einleitung

Die Firma Andreas Junghans ist ein mittelständiges Unternehmen, welches sich auf die Verarbeitung von Edelstahl spezialisiert hat. Seit dem Jahre 1996 fokussiert die Firma den Membrananlagenbau. Während die Modulkonstruktion zur Aufnahme von keramischen Rohrmembranen in den Anfangsjahren die größte Herausforderung darstellte, sind es heute komplexe Filtrationsanlagen, die die Firma Junghans auf dem Gebiet der Membranfiltration bekannt macht. Seit den Anfangsjahren wurden einige Projekte in der Textil-, Maschinenbau- und Lebensmittelindustrie realisiert. Im Zuge dessen entstanden mehrere Testanlagen, um verschiedene Applikationen praxisnah in wässrigen Medien testen zu können. Das Spektrum reicht dabei von Pilotanlagen, mit nur ein bis drei Filtrationsmembranen, bis zu kleintechnischen Anlagen mit bis zu 5m<sup>2</sup> Filterfläche, welche nach den ersten qualitativen Untersuchungen eingesetzt werden können, um Scale-up Versuche Vorort durchzuführen.

Die Vielzahl der anwendungsorientierten Projektpartner bedingt eine Mindestanzahl an Testanlagen, um die Versuche mit den neu entwickelten Membranen für jeden Industriebereich sicherzustellen. Jedoch sind alle bisher realisierten Filtrationstestanlagen für wässrige Medien konzipiert, so dass für die Versuche der Membranen in organischen Lösemitteln eine neue Testanlage geplant und realisiert werden muss. Außerdem sind manche Testanlagen technisch nicht mehr auf dem neusten Stand, so dass diese überarbeitet und neu gestaltet werden müssen.

### 4.2 Anwendungsspezifische Anforderungen

Jeder Industriezweig erfordert individuelle Anforderungen an die Anlagenperipherie. Während die Versuche mit dem Abwasser aus der Metall- und Textilindustrie mit vergleichsweise einfachen Testanlagen untersucht werden können, sind die Anforderungen einer Testanlage für die Untersuchung der Trenneigenschaften der Membran im organischen Lösemittel durchaus höher. Durch den Einsatz von brennbaren Substanzen fällt diese Anlage zusätzlich unter die Europäische RL 94/9/EG<sup>1</sup> und muss den einschlägigen Normen für den Explosionsschutz entsprechen. Zudem muss das gesamte System durch eine benannte Stelle<sup>2</sup> hinsichtlich Konzept, Komponenten und Auslegung überprüft werden. Dies erfordert einen sehr

---

<sup>1</sup> RL 94/9/EG...ATEX Produktrichtlinie (Regeln, für das Inverkehrbringen von Produkten, die in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden)

<sup>2</sup> Benannte Stelle... unabhängige, anerkannte Prüfstelle

hohen dokumentativen Aufwand und vorab eine klare Definition, welche Gefahren durch Anlagentechnik verhindert, und welche organisatorisch geregelt werden. Dies geschieht in einer sogenannten HAZOP-Studie<sup>3</sup> in der Planungsphase. Im Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** werden die Grundlagen, Problemstellungen und Lösungswege bei der Planung und Realisierung der Testanlage im Einzelnen dargestellt.

Das Abwasser der Firma Zellstoff Stendal hat eine Temperatur von 80°C und einen hohen Anteil an Chlorid, welches speziell bei Edelstahl Lokalkorrosion begünstigt, so dass die Testanlage für diese Betriebsbedingungen ausgelegt und angepasst werden musste. Um die Anlage zu automatisieren, wurde eine zusätzliche Dichtemessung installiert und Volumenströme aufgezeichnet, um die Bilanzierung der Stoffströme zu vereinfachen. Eine einstellbare Rückspülung, sowie eine Dokumentation der Betriebsparameter sollte ebenfalls realisiert werden. Eine genaue Beschreibung folgt im Kapitel 4.4.

---

<sup>3</sup> HAZOP—Studie...Verfahren der Sicherheitstechnik, welches alle mögliche Gefahren analysieren soll und Gegenmaßnahmen (technisch, organisatorisch,..) definiert



### 4.3 Pilotanlagen

Die folgenden Testanlagen wurden für die ersten qualitativen Filtrationstests, und später auch für Aufkonzentrierungsversuche bei der Firma Benseler, Colortextil und Zellstoff Stendal eingesetzt.

#### 4.3.1 PICO

Die kleinste Testanlage aus unserem Haus mit einer Kapazität für 1-3 keramische Membranen und folgenden Parametern:

- Max. Filterfläche 0,25 m<sup>2</sup>
- Vorlagebehälter: 20 L
- Auslegungsdruck: 16 bar
- Überströmgeschwindigkeit über FU<sup>4</sup> einstellbar
- Druck manuell über Druckhalteventil einstellbar
- Einsatz nur für wässrige Medien
- Material: Edelstahl (1.4571)

Die Anlage diente zu ersten qualitativen Filtrationsversuchen mit Abwässern aus der Metall- und Textilindustrie. Dabei wurden spezielle Module angefertigt, um die ersten 200Da Membranen (Ø10mm, Länge: 250mm) einzubauen und zu testen.



Abbildung 4-1: PICO Anlage

#### 4.3.2 MINI

Die Filtrationstestanlage „MINI“ ist geeignet zur Aufnahme von 3 parallel installierten MKR<sup>5</sup> mit einem Durchmesser von 25mm und einer Länge von 1200mm. Die 3 parallelen Stränge lassen sich separat drosseln/absperren, so dass die eingebauten Membranen im laufenden Betrieb einzeln untersucht werden können. Die maximale Filterfläche beträgt 0,75m<sup>2</sup>, der Auslegungsdruck ist 16bar. Der Druck und die Überströmgeschwindigkeit auf der Membran lassen sich durch FU und manuelle Ventile



Abbildung 4-2: MINI Anlage

<sup>4</sup> FU...Frequenzumrichter

<sup>5</sup> MKR...Mehrkanalrohr

einstellen. Der Vorlagetank von ca. 20L ist beheizbar und besitzt einen Anschluss für eine Speisepumpe, die den Behälter automatisch wieder auffüllt.

Im Rahmen dieses Projektes wurde diese Anlage größtenteils eingesetzt, um die Aufkonzentrierungs- bzw. Langzeitversuche für die Metall- und Textilindustrie zu realisieren. Die einfache Handhabung und vielen manuellen Einstellmöglichkeiten der Anlage macht diese Apparatur für wässrige Medien universell einsetzbar. Einzige Limitierung war der Druck, der speziell für die 200Da Membranen, höher hätte sein können.

### 4.3.3 EFA

Die Filtrationsanlage „EFA“ ist für vor Ort Versuche vorgesehen und besitzt 3 Membranmodule für jeweils 7 Membranen von 1200mm Länge. Diese Anlage ist bis zu einem Betriebsdruck von 16 bar ausgelegt. Jedoch hatte diese Anlage ein paar Nachteile, die vor dem Einsatz geändert werden mussten:

- Veraltete Steuerung (keine automatisierte Druck- und Volumenstromregelung)
- Keine Temperaturregelung möglich
- Keine Datenspeicherung
- Strömungsumkehr war als Option installiert

Diese Anlage musste für den Einsatz komplett neu umgebaut und erweitert werden, was in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

genauer beschrieben wird.



Abbildung 4-3: EFA Anlage vor dem Umbau

## 4.4 Anlagenumbau und –anpassung

### 4.4.1 Ausgangslage

Aufgrund der schon genannten Nachteile der vorhandenen Anlage, wurde in Zusammenarbeit mit Zellstoff Stendal und der PTS ein Fließbild einer Anlage erstellt. Basierend auf den 3 Filtrationsmodulen wurde ein teilautomatisiertes System konzipiert. In der Anlage sollte ein Rückspülsystem vorgesehen und mit auf dem vorhandenen Rahmen installiert werden. Zudem sollte im Hauptkreislauf ein Rohrbündelwärmetauscher installiert werden, um die Temperatur im System konstant halten zu können. Da die neu entwickelten 200Da Membranen erst als Einkanalversion zur Verfügung standen, wurde ein weiteres Filtrationsmodul für 7 Einkanalmembranen (Länge: 500mm) im Bypass konzipiert. Komplettiert wird die Filtrationsanlage durch die Bereitstellung eines Vorlage- und Permeattanks mit integrierten Überwachungssensoren. Das folgende R&I Fließschema zeigt den geplanten Umbauzustand.

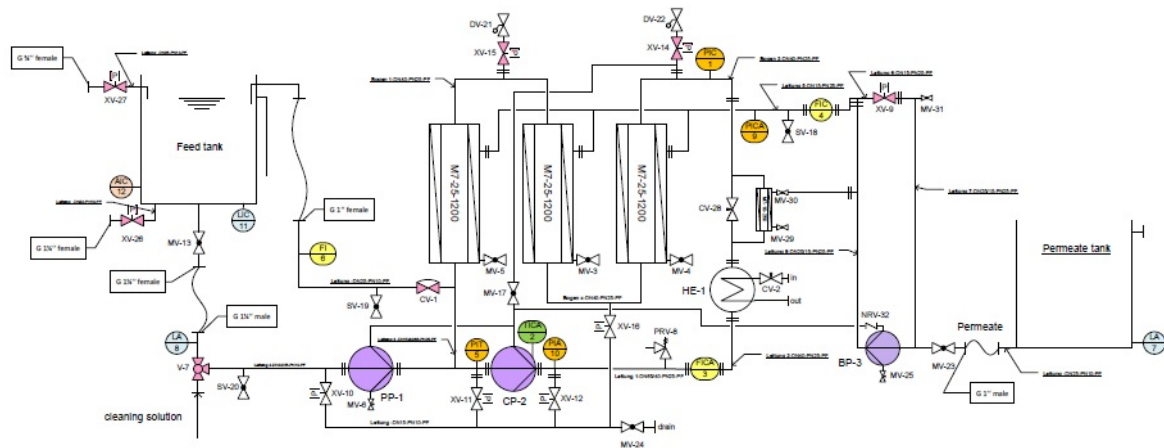


Abbildung 4-4: R&I Diagramm der EFA Anlage

### 4.4.2 Umsetzung

Nachdem die Überarbeitung des Fließbildes abgeschlossen war, wurden die zusätzlichen Sensoren, Pumpen und Komponenten bestellt. Die Filtrationsanlage wurde komplett demonstert und neu konstruiert. Die Rohrleitungen wurden neu gefertigt, die neuen Komponenten integriert und die Behälter mit der Anlage verbunden. Anschließend erfolgte eine komplett neue Verdrahtung der elektrischen Komponenten und parallel die Erstellung eines SPS – Programms. Nachdem die Anlage fertiggestellt und getestet wurde, konnte sie im August 2012 bei Zellstoff Stendal in Betrieb genommen werden.

### 4.4.3 Funktionsweise

Im ersten Schritt wird der Vorlagebehälter der Anlage bis zum gewünschten Volumen aufgefüllt. Das max. Füllvolumen des Vorlagetanks beträgt dabei 400L. Darauf folgend wird das Ventil zur Anlage geöffnet, die Feedpumpe zugeschaltet und die Anlage komplett entlüftet. Dieser Vorgang wird manuell abgebrochen, sobald keine Luft mehr aus den Entlüftungsventilen kommt. Danach kann der eigentliche Filterschritt erfolgen. Die Anlage arbeitet auf einem 2-Pumpenprinzip, wodurch sich der Druck und die Überströmgeschwindigkeit auf der Membran separat regeln lassen. Die Druckpumpe erzeugt dabei einen einstellbaren Feedstrom und das Druckregelventil regelt auf den eingestellten Druck. Die Energie, die dabei in das System eingetragen wird, kann durch den Wärmetauscher (nur ein manuelles Nadelventil zum Einstellen des Kühl-/Heizmediums vorhanden) abgeleitet werden. In dem Fall bei Zellstoff Stendal war es eher der umgekehrte Fall, da das Abwasser heiß filtriert wurde und es sich in der Anlage abkühlte. Jedoch stand kein Heizmedium zur Verfügung, mit dem das Medium auf einem Temperaturlevel gehalten werden konnte. Die Überströmgeschwindigkeit zur Verhinderung von Ablagerungen auf der Membran wird durch die zweite Pumpe erzeugt. Ein MID<sup>6</sup> im Hauptloop erfasst den Volumenstrom und über die Steuerung wird die Frequenz der Pumpe justiert.

Um Aussagen über die Wirksamkeit von Rückspülungen während der Filtration zu gewinnen, kann die Rückspülpumpe zyklisch für eine bestimmte Zeit zugeschaltet werden. (solange Permeat vorhanden ist)

Aufgrund der Rückführung des Konzentrates in den Vorlagetank und Abführung des Permeates erhöht sich nach und nach die Leitfähigkeit in dem System bis das Abbruchkriterium erfüllt ist. Danach sollte das Konzentrat abgelassen oder/und mit „frischem“ Abwasser aufgefüllt werden.

Nach einem Filtrationsversuch wird die Anlage komplett geleert und einer chemischen Reinigung unterzogen, um Ablagerungen auf der Membran zu lösen. Dies geschieht analog den bereits beschriebenen Schritten, nur mit geringerem Druck.

Die Regelung der Anlage wurde nicht auf eine Feed & Bleed-Verfahren ausgelegt. Jedoch kann das Verhältnis zwischen Retentat und Permeat manuell eingestellt werden.

#### 4.4.3.1 Charakterisierung der Anlage

Auslegungsdruck:	16 bar
Auslegungstemperatur:	80°C
max. Überströmgeschwindigkeit:	~6,5 m/s
Volumen Vorlagetank:	400 L
Volumen Permeattank:	ca. 40 L

---

<sup>6</sup> MID... magnetisch-induktiver Durchflussmesser (für leitfähige Stoffe)

Abmaße:	2000 x 750 x 2000mm (Länge x Breite x Höhe) ohne Vorlage- und Permeattank
Zulässige Umgebungstemperatur:	10 - 40°C
Material:	Edelstahl 1.4571 / 1.4404 für produktberührende Teile Edelstahl 1.4301 für Rahmen, Verkleidung,...

### 4.4.4 Bedienung der Anlage

Die Anlage wird durch ein berührungssensitives Touch Panel, welches im Schaltschrank eingebaut ist, bedient. Zudem wird jeder Schritt über den START- und STOP - Taster gestartet bzw. angehalten. (Abbildung 4-5)

Die Eingabe auf dem Panel erfolgt durch Berührung des gewünschten Feldes, Text- und Zahleneingaben können über eine Bildschirmtastatur eingegeben werden. (Abbildung 4-6)

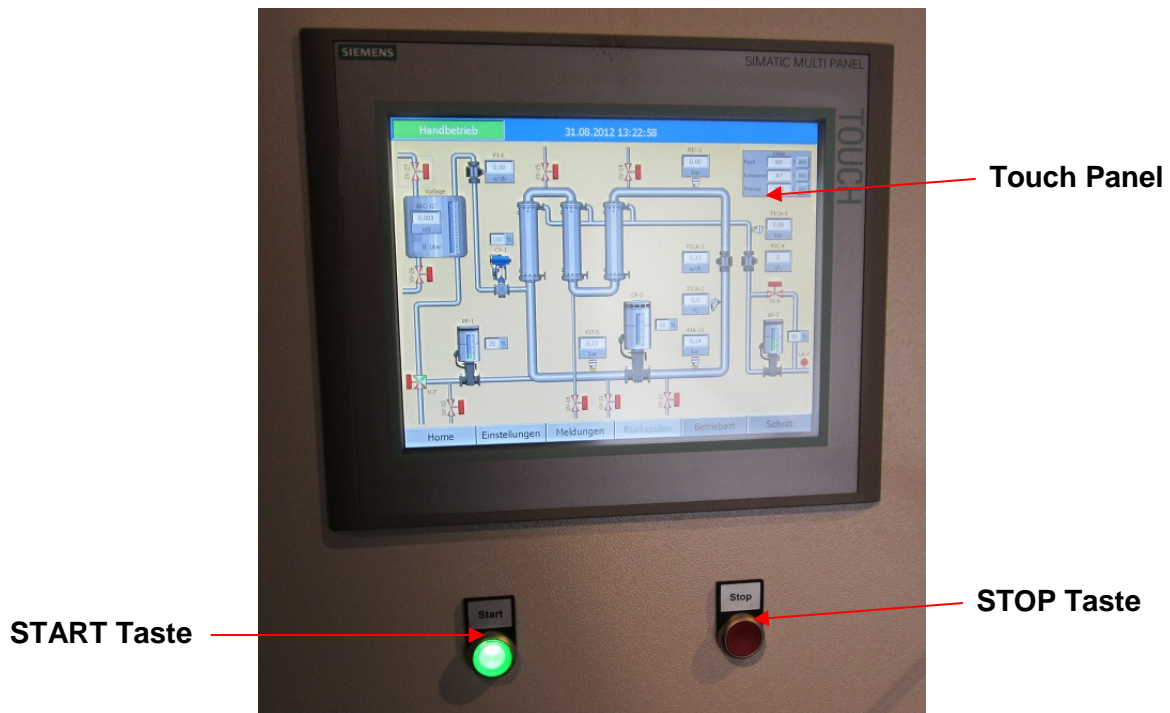


Abbildung 4-5: Bedienerfront EFA-Anlage

## 4. Bau und Anpassung von Versuchsanlagen

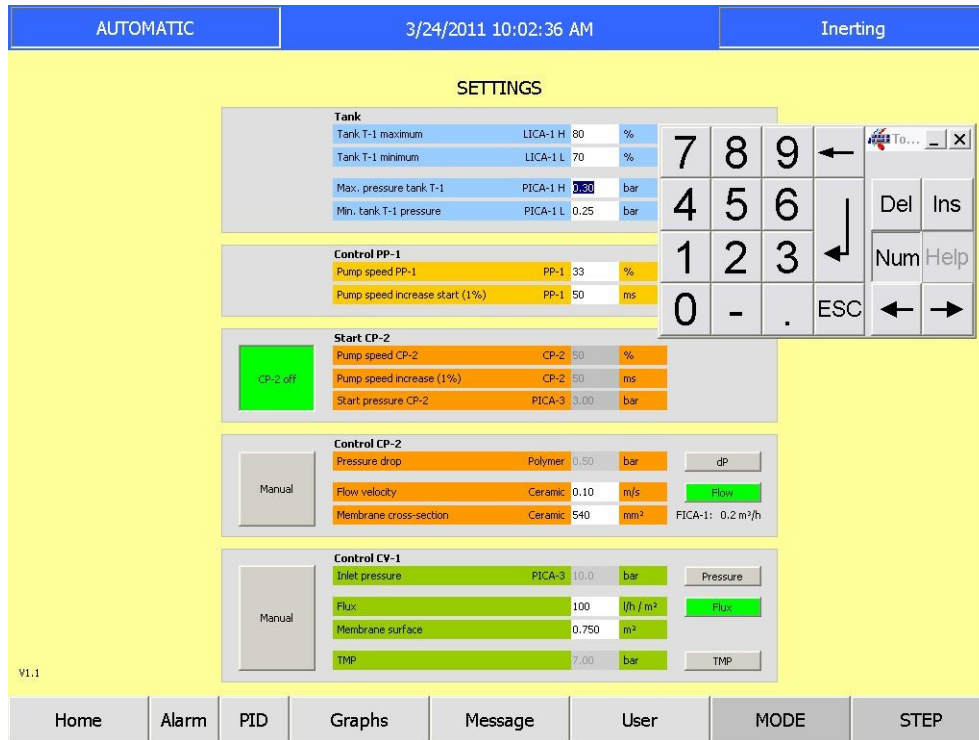
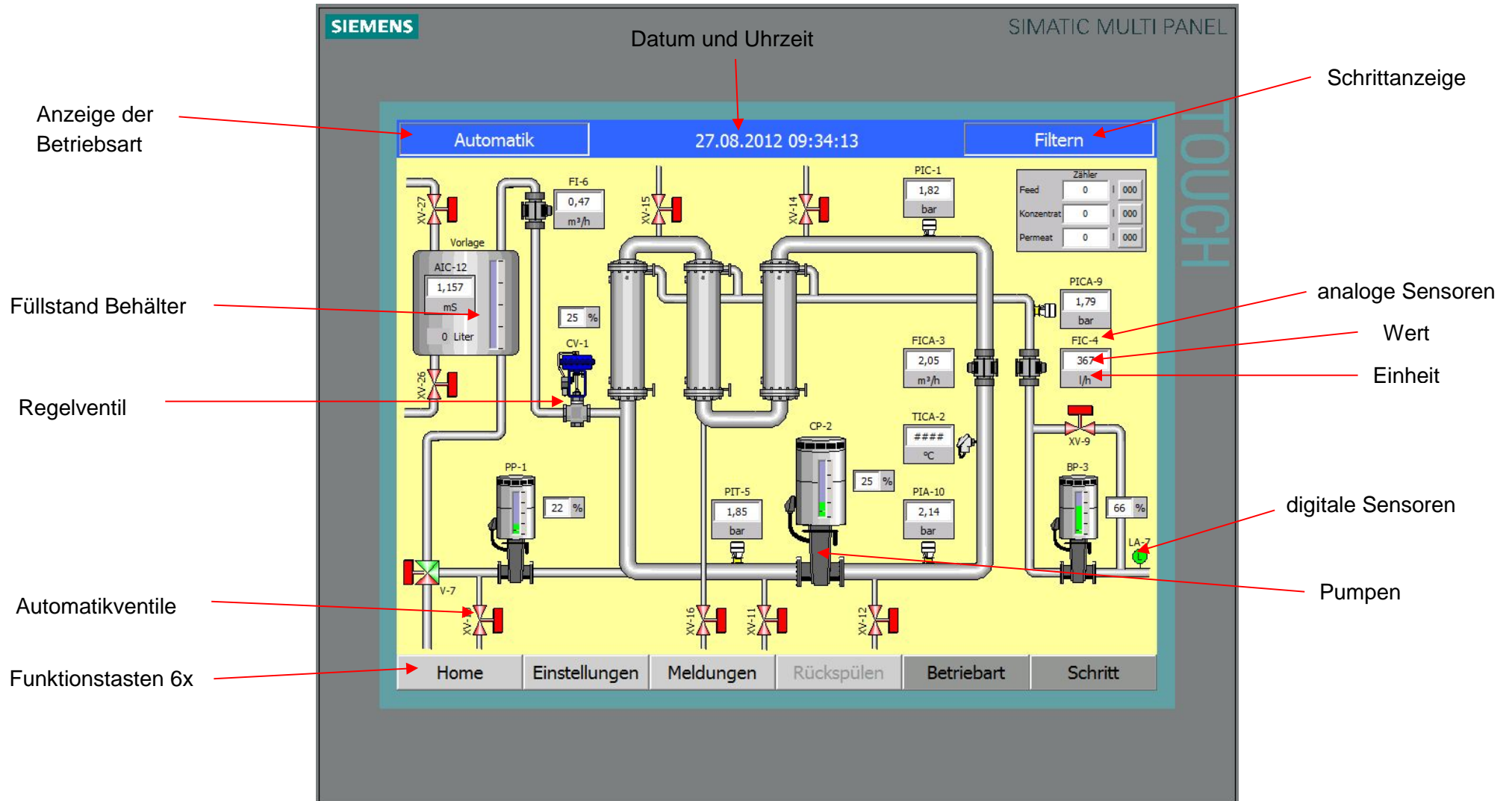


Abbildung 4-6: Eingabe über Bildschirmtastatur

Da die Anlage nicht vollkommen automatisiert ist, müssen bestimmte Gefahren durch Arbeitsanweisungen ausgeschlossen werden.

4.4.4.1 Bedienoberfläche



Auf der Bedienoberfläche ist die Anlage als Fließbild mit allen Sensoren dargestellt. Im laufenden Betrieb können hier die Werte der unterschiedlichen Parameter abgelesen werden. Zudem gelangt man von der Bedienoberfläche in die untergeordneten Einstellungen (Abbildung 4-7), in der man die Grundeinstellungen sowie Alarmwerte der Anlage ändern kann. Durch Umstellung auf den manuellen Modus können alle Ventile geschaltet oder Drehzahlen der Pumpen bzw. Öffnungsgrad der Druckregelventile händisch über die Bildschirmtastatur eingegeben werden.

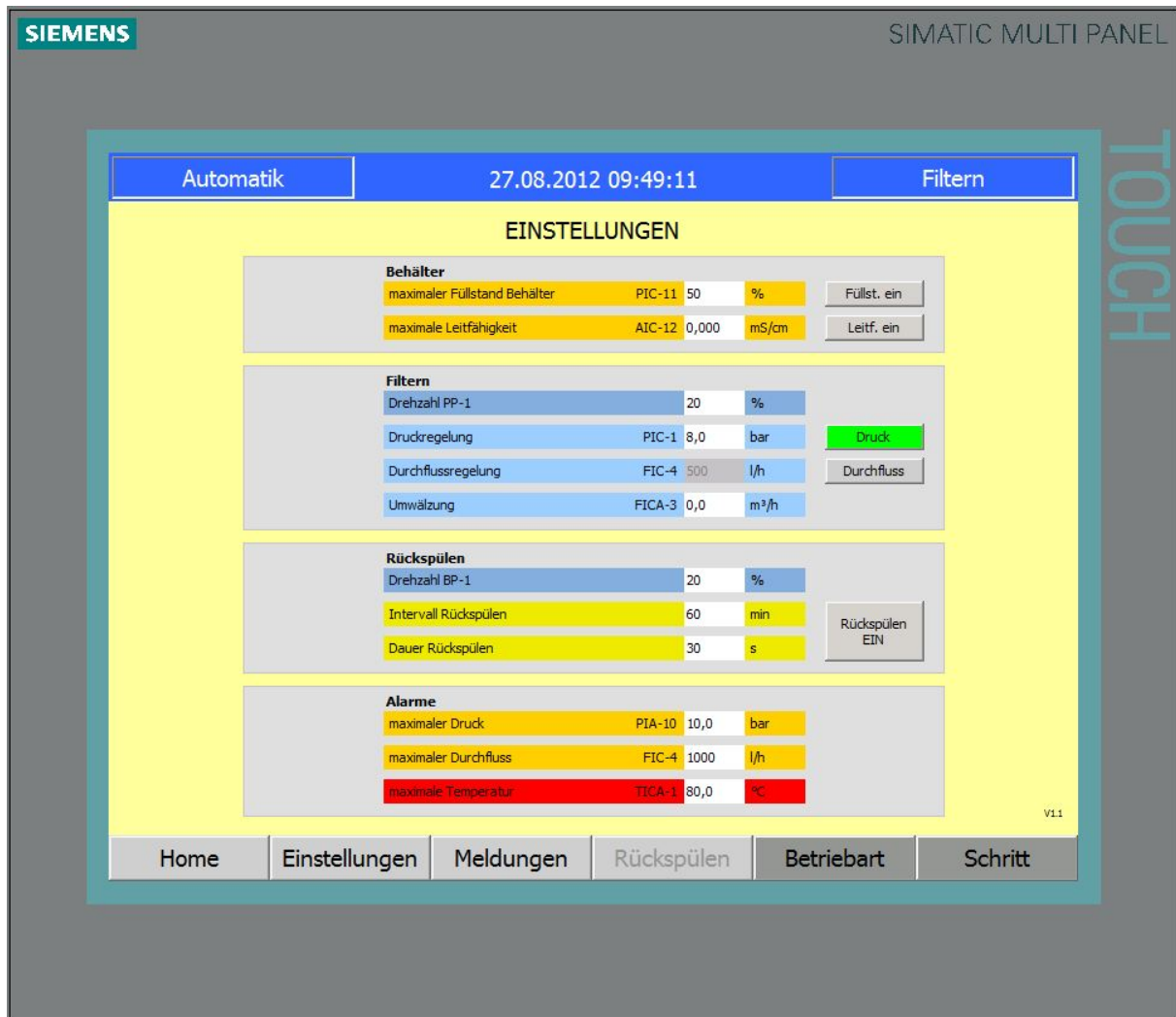


Abbildung 4-7: Registerkarte Einstellungen EFA

Die Alarmer sind essentieller Bestandteil und führen zur Abschaltung der Anlage. Neben den veränderbaren Alarmen in der Registerkarte „Einstellungen“ gibt es noch weitere wie z.B. Füllstandsschalter zur Überwachung von Medium in der Zuleitung der Pumpen, Druckluftmangel oder Notaus. Tritt ein Alarm ein, wird dieser in einem Meldungsfenster angezeigt und muss bestätigt werden bevor man wieder neu starten kann.



Um die Daten des Versuches besser auszuwerten, werden die Werte aller Sensoren, sowie die Pumpenleistung in vordefinierten Zeitintervallen aufgezeichnet. Diese Daten können dann auf einen Datenspeicher übertragen und am PC ausgewertet werden.

#### 4.4.5 Stoffstrombilanzierung

Um die Stoffströme während eines Langzeittests zu bilanzieren, wurde auf Basis des Abbruchkriteriums ein Bilanzierungsschema entworfen, welches die Ströme während eines Aufkonzentrierungsversuches bilanzieren sollte. Da im Zulauf und Konzentratablauf keine Durchflussmesser installiert ist, musste der Umweg über die Füllstandsmessung gegangen werden. Eine weitere Hürde ist die Verwendung von Permeat als Rückspülmedium. Dies muss in der Bilanzierung berücksichtigt werden, indem man den Volumenstrom, während der Rückspülung vom Permeatstrom abzieht. Somit wurde für jeden Strom (Feed, Permeat, Konzentrat) ein Zähler programmiert werden, der die Summe abbildet.

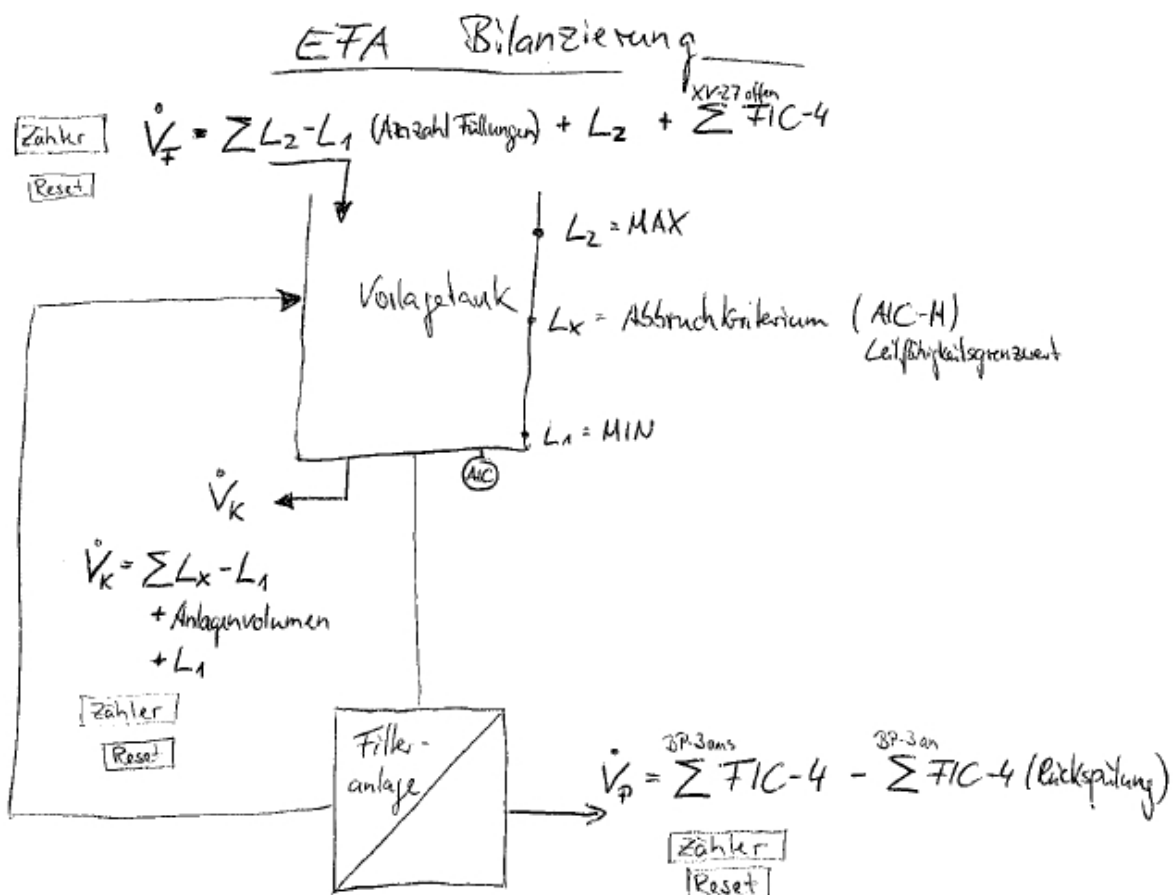


Abbildung 4-8: Entwurf der Stoffstrombilanzierung

### 4.4.6 Ergebnis

Durch die Vielzahl der Änderungen, die an der Anlage vorgenommen wurden, ist es schwierig nur von einem Umbau zu sprechen. Es war fast ein Neubau mit Verwendung der alten Komponenten. Jedoch ist die Anlage im jetzigen Design viel universeller einsetzbar und vor allem einfacher bedienbar. Das neue Konzept ermöglicht es einem neuen Bediener ohne lange Erklärungen die Anlage zu bedienen. Die getroffenen Sicherheitsmaßnahmen sorgen dafür, dass der Bediener keine Schäden anrichten kann. Die zusätzliche Option der Rückspülung bietet zudem die Möglichkeit die Membranreinigung effektiv zu unterstützen.

Nachfolgend sind noch einmal alle Änderungen aufgelistet:

- neue Steuerung mit Touchpanelbedienung und Datenspeicherung
- halbautomatisiert (Schrittablauf)
- Druck- und Überströmungsregelung
- Alarmparameter
- Installation eines Rückspülsystems
- Installation eines Wärmetauschers
- zusätzliches Modul für 7 Membranen ( $\varnothing 10\text{mm}$ ,  $500\text{mm}$ ) im Bypass
- zusätzliche Sensoren (Bilanzierung der Volumenströme)
- Entlüftungssysteme
- Anschluss eines Vorlage- und Permeattanks (Einbau eines Leitfähigkeitsmeßgerätes als Grenzwertparameter)
- Auslegungstemperatur:  $80^\circ\text{C}$
- Komplett neue Verrohrung



Abbildung 4-9: Anlage mit angeschlossenen Vorlage- und Permeattank



Abbildung 4-10: Filtrationsrack EFA

### 4.4.7 Probleme im Betrieb

Im Laufe der ersten Filtrationsversuche wurden immer wieder Rückstände im Permeat gefunden, die nur auf Undichtigkeiten zurückgeführt werden konnten. Nach weitergehenden Untersuchungen zeigte sich aber, dass Undichtigkeiten, speziell bei der Membranabdichtung, nicht die Ursache waren. Das Problem lag bei den Entlüftungsleitungen der Pumpen, durch diese wurde die Feedlösung teilweise über die Rückspülpumpe in den Permeatbereich gedrückt. Durch Einbau eines Rückschlagventils ist dieses Problem beseitigt worden.

Ein weiteres Problem war der teilweise hohe Anteil nicht gelöster Stoffe im Zulauf der Anlage. Im Regelfall sollte das zu filtrierende Abwasser keine Feststoffe enthalten, jedoch kam es während eines Versuches zu einem enormen Anstieg des Druckverlustes im Filtrationskreis-

lauf, so dass die notwendige Überströmgeschwindigkeit nicht mehr erreicht wurde und der Druck kaum aufgebaut werden konnte. Zudem kam es zu einer enormen Undichtigkeit der Gleitringdichtung. Nachdem die Pumpe vor Ort demontiert wurde, sah man die Blockierung der Laufräder. Nach Reinigung der Pumpe und der Gleitringdichtung wurden die Membranen ausgebaut und der Feststoffkuchen auf der Anströmseite entfernt. (Abbildung 4-11)

Für weitere Versuche wurde ein Vorfilter in der Zuleitung installiert, um die Grobstoffe vorher abzutrennen.

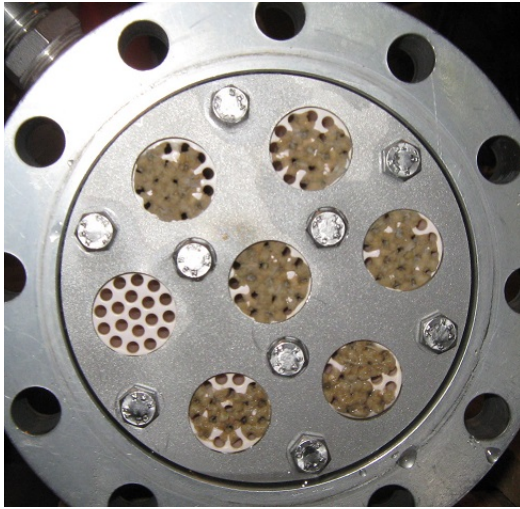


Abbildung 4-11: verstopfte Kanäle

Nachdem die ersten Startschwierigkeiten erkannt und beseitigt wurden, lief die Anlage, teilweise im Langzeitbetrieb, ohne Probleme.

### 4.5 Neubau einer Filtrationsanlage für organische Lösemittel

#### 4.5.1 Ausgangssituation

Keine der bereits dargestellten Testanlagen darf mit organischen Lösemitteln betrieben werden, da diese aufgrund ihrer Brennbarkeit explosionsfähige Gemische bilden können, die ein hohes Gefährdungspotential darstellen. Derartige Anlagen unterliegen der Richtlinie 94/9/EG und müssen den einschlägigen Normen entsprechen. Somit sollte für die Tests der Membran in organischen Lösemitteln eine Anlage gebaut werden, die die RL erfüllt und bei der Firma Merck zum Einsatz kommen sollte.

Während eines ersten Treffens mit der Firma Merck wurden folgende Anforderungen für die Konzeption der Anlage definiert:

- *Auslegungsdruck: 40bar* – der höhere Druck ist wichtig, da absehbar war, dass die Permeabilität der neuen Membranen aufgrund der noch kleineren Porengröße viel geringer sein wird
- *Auslegungstemperatur: 10 - 60°C*
- *Filtrationsmedium: organische Lösemittel* – Schwerpunkt hier sollte auf Heptan liegen, jedoch gab es noch keine konkreten Festlegungen
- *Permeatmenge: ca. 100 kg/h* – um einen Batch innerhalb eines Tages „abzuarbeiten“ wurde diese Zielstellung vorgegeben, jedoch waren zu diesem Zeitpunkt die Permeabilitäten der Membran noch nicht bekannt
- *Mobil, beengte Platzverhältnisse, umrüstbar* – die Limitierung der Baugröße war hauptsächlich auf die Begrenzung der Höhe im Technikum und der Zufahrtswege zum Technikum begründet, zudem sollte die Anlage in unterschiedlichen Gebäuden zum Einsatz kommen
- *Weitestgehend automatisiert*
- *separate Druck- und Volumenstromregelung*
- *Explosionsuntergruppe: IIC* – in dem vorgesehenen Technikum ist eine Wasserstoffatmosphäre möglich, so dass die höchste Explosionsuntergruppe angesetzt werden musste
- *Explosionsbereich: Zone 1* (innerhalb und außerhalb der Anlage)
- *Temperaturklasse T4*

#### 4.5.2 Grundlagen des Explosionsschutzes

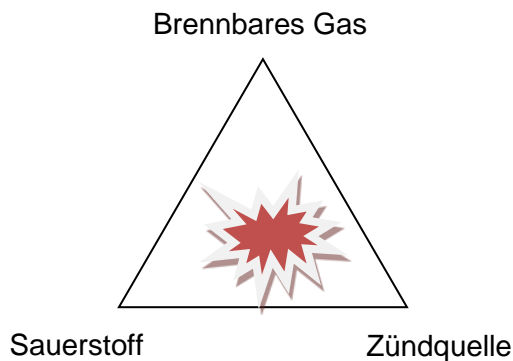
Im folgenden Kapitel soll kurz auf die Grundlagen des Explosionsschutzes eingegangen werden. Dabei möchte ich das Augenmerk nur auf den Explosionsschutz für Gase (Gerätegruppe II) legen, da der Staubexplosionsschutz bei der Filtrationsanlage nur eine untergeordnete Rolle spielt.

„Eine Explosion ist eine chemische Reaktion oder ein physikalischer Vorgang, bei dem Temperatur und Druck in kurzer Zeit erheblich ansteigen. Dabei kommt es zu einer plötzli-

chen Volumenausdehnung von Gasen und der Freisetzung von großen Energiemengen auf kleinem Raum,...“ (Wikipedia, Wikipedia Seitentitel: Explosion, 2013)

„Explosionsgefährdete Anlagen sind grundsätzlich durch Schutzmaßnahmen abzusichern. Diese beruhen auf der Kenntnis der verwendeten Substanzen und deren sicherheitsrelevanten Eigenschaften.“ (Pepperl+Fuchs, 2013)

Für eine Explosion sind 3 Faktoren notwendig, die gleichzeitig erfüllt sein müssen:



In dem Explosionsdreieck ist zu erkennen, dass neben dem brennbaren Gas noch Sauerstoff vorhanden sein muss, um erst einmal ein explosionsfähiges Gemisch zu bilden. Dabei kommt es auf das Mischungsverhältnis an, welches innerhalb der Explosionsgrenzen<sup>7</sup> liegen muss. Sobald noch eine Zündquelle hinkommt, kann es zu einer Explosion kommen.

Ziel des Explosionsschutzes ist es, einen dieser drei Faktoren sicher zu verhindern. Dabei unterscheidet man primäre, sekundäre und tertiäre Explosionsschutzmaßnahmen.

Unter primären Sicherheitsmaßnahmen fällt u.a. die Substitution des brennbaren Stoffes oder die des Sauerstoffs, um die Bildung eines explosionsfähigen Gemisches zu verhindern. Da die Filtrationsanlage für organische Lösemittel gedacht ist, ist der Ersatz des Lösemittels durch andere nicht brennbare Stoffe keine Option. Eine gängige Schutzmaßnahme zur Reduzierung des Sauerstoffgehaltes ist die Inertisierung, wobei der Sauerstoff durch Inertstoffe (Stickstoff, Argon) in abgeschlossenen Anlagenteilen verdünnt wird. Jedoch muss sichergestellt werden, dass der Restgehalt an Sauerstoff unter der Konzentration liegt, die noch ein explosionsfähiges Gemisch bilden kann.

Zu den sekundären Schutzmaßnahmen zählen alle Maßnahmen zur Verhinderung von Zündquellen. Dazu muss der Bereich in bestimmte Risikobereiche eingeteilt werden, die die Häufigkeit und Dauer einer explosionsfähigen Atmosphäre beschreiben. Man unterscheidet nach Anhang 3 der Betriebssicherheitsverordnung:

---

<sup>7</sup> Explosionsgrenzen...“Gemische aus brennbaren Gasen, Dämpfen oder Stäuben mit dem in Luft enthaltenen Sauerstoff sind bei bestimmten Mischungsverhältnissen explosionsfähig. Der Bereich, der alle explosiven Mischungsverhältnisse zusammenfasst, wird von zwei Explosionsgrenzen, der oberen und der unteren Explosionsgrenze (OEG bzw. UEG), beschrieben.“[ (Wikipedia, Wikipedia Seitentitel Explosionsgrenze, 2013)] Sind die Konzentration an brennbaren Stoffen unter- oder oberhalb der Grenzen ist das Gemisch nicht explosionsfähig.

Zone 0: Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Stoffen in Form von Gasen, Dämpfen oder Nebeln, ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

z.B. das Innere von Anlagen, Apparaten und Rohren

Zone 1: Bereich, in dem damit zu rechnen ist, dass explosionsfähige Atmosphäre als Mischung aus brennbaren Stoffen in Form von Gas, Dampf oder Nebel mit Luft bei Normalbetrieb gelegentlich auftritt.

z.B. Umgebung von Zone 0, Nahbereich um Gleitringdichtungen, Probenahmeöffnungen

Zone 2: Bereich, in dem bei Normalbetrieb nicht damit zu rechnen ist, dass explosionsfähige Atmosphäre als Mischung aus brennbaren Stoffen in Form von Gas, Dampf oder Nebel mit Luft austritt, wenn sie aber dennoch auftritt, dann nur kurzfristig.

z.B. Bereich um Zone 1

Mögliche Zündquellen sind:

- Heiße Oberflächen
- Mechanisch erzeugte Funken
- Elektrische Anlagen
- Elektrostatische Aufladungen
- Blitzschlag
- Elektromagnetische Strahlung
- Exotherme Reaktion
- Adiabatische Kompression

In den folgenden Kapiteln wird auf die Beurteilung der Zündgefahren und die dementsprechenden Maßnahmen für die Testanlage eingegangen.

Neben der Einteilung der Zonen ist die Explosionsgruppe ein weiterer wichtiger Parameter für die Beurteilung und Festlegung der Maßnahmen. Die Gase werden hinsichtlich ihrer Zündfähigkeit in 3 unterschiedliche Kategorien eingeteilt: IIA, IIB, IIC, wobei die Zündwilligkeit des Gases von IIA bis IIC zunimmt. Die Explosionsgruppe gibt unter anderem Grenzwerte für Spaltweiten, Mindestzündströme und abhängig von der Explosionszone eine Maximalfläche an nicht ableitfähiger Oberfläche an.

Jedes brennbare Gas besitzt eine spezifische Zündtemperatur, die ein explosionsfähiges Gemisch zünden kann. Um nicht für jedes Gas einen eigenen Grenzwert festzulegen, existieren 6 Temperaturklassen, denen jeder Stoff zugeordnet wird. Diese Temperaturklassen geben die maximale Oberflächentemperatur an, die in dem System erlaubt sind. (Tabelle 1) Die Temperaturklassen gelten für eine Umgebungstemperatur von -20 – 40°C.

Temperaturklasse	Max. Oberflächentemperatur [°C]
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Tabelle 1: Temperaturklassen für Geräte der Gruppe II G (DIN, 2009)

Gegenstände aus isolierenden Materialien können durch Reiben oder infolge betrieblicher Vorgänge aufgeladen werden. Beim Umgang mit isolierenden Gegenständen oder Einrichtungen sind in explosionsgefährdeten Bereichen Maßnahmen zu ergreifen. [] Eine Maßnahme stellt die Begrenzung der Oberflächen nichtableitfähiger Oberflächen dar. Leitfähige Gegenstände müssen immer geerdet sein.

Der tertiäre Explosionsschutz begrenzt die Auswirkungen einer Explosion, wenn das Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre und einer wirksamen Zündquelle nicht verhindert werden kann.

### 4.5.3 Gefährdungsanalyse

### 4.5.4 Problemstellungen und Lösungen

MOPPL

## 4.6 Zusammenfassung

## 4.7 Literatur

## 5 Literaturverzeichnis

DIN. (2009). DIN EN 13463-1. *Nicht-elektrische Geräte für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen - Teil1: Grundlagen und Anforderungen; Deutsche Fassung EN 13463-1:2009.*



Pepperl+Fuchs. (2013). *Grundlagen Ex-Schutz*.

Wikipedia. (4. April 2013). *Wikipedia Seitentitel Explosionsgrenze*, 116966829. Abgerufen am 26. April 2013 von <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Explosionsgrenze&oldid=116966829>

Wikipedia. (18. April 2013). *Wikipedia Seitentitel: Explosion*, 117642199. Abgerufen am 25. April 2013 von <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Explosion&oldid=117642199>

## **6 Aufreinigung und Recycling von Lösemitteln**

S. Zeidler, U. Kätzel  
Merck KGaA, Darmstadt

### **6.1 Einleitung**

### **6.2 Stoffstromanalyse + Auswahl Testsysteme**

### **6.3 Versuche + Analytik Testsystem 1**

### **6.4 Versuche + Analytik Testsystem 2**

### **6.5 Anlagenoptimierung + mehrstufige Aufreinigung**

### **6.6 Verfahrensvergleich inkl. destillativer Endaufreinigung**

### **6.7 Zusammenfassung**

### **6.8 Literatur**

## **7 Aufbereitung von Spül- und Reinigungsbädern aus der Metallverarbeitung**

M. Lehmann<sup>1</sup>, A. Stobbe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BENSELER Sachsen GmbH & Co. KG, Frankenberg

<sup>2</sup>Andreas Junghans-Anlagenbau und Edelstahlbearbeitung, Frankenberg

### **7.1 Einleitung**

### **7.2 Anwendungsspezifische Anforderungen**

### **7.3 Stoffstrombilanzierung**

### **7.4 Konzepterstellung Filtration**

### **7.5 Laborversuch Bäder ECM**

### **7.6 Laborversuch Spülwasser**

### **7.7 Laborversuch Bäder TEM**

### **7.8 Pilotversuche mit Abwasser aus Metall**

### **7.9 Zusammenfassung**

### **7.10 Literatur**

## **8. Aufbereitung und Kreislaufführung farbiger Waschwässer aus der Textilveredelung**

### **8.1 Einleitung**

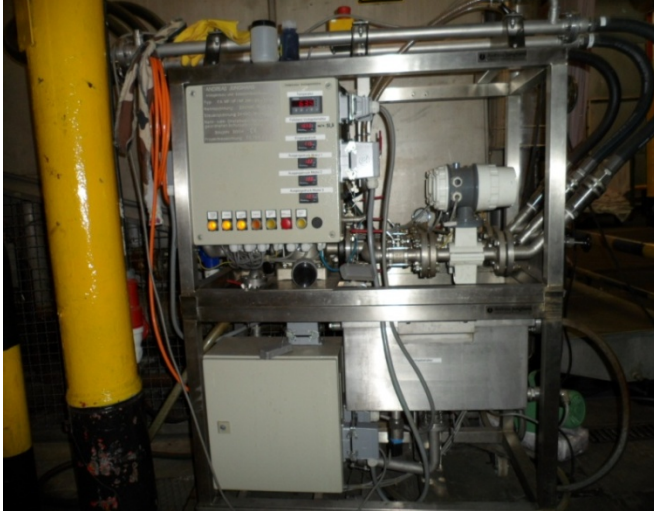
Die Aufgabenstellung bei Color Textil bestand darin, dass durch den Einsatz einer 200 Da – Keramikmembrane an der Breitwaschmaschine.

Typ Delphin der Fa. Brückner und an der Mercerisier-Anlage der Fa. Küsters eine Trennung von Schmutzwasser bzw. Natronlauge/Wasser erfolgen sollte. Dabei war an eine Wiederverwendung des gereinigten Abwassers wie auch eine Wiederverwendung der Natronlauge in den bestehenden Betriebskreislauf gedacht. Neben der Wiederverwendung des gereinigten Wassers sollte auch hier gleichzeitig eine Energieeinsparung mit erfolgen, da die Wassertemperatur immerhin noch rund 40 °C nach der Reinigung beträgt.

Durchgeführt wurden die Versuche auf einer Pilotanlage „MINI“ der Firma Andreas Junghans aus Frankenberg.

Darstellung und Beschreibung der Pilotanlage „MINI“ (Bild 1)

- Mobile Filtrationsanlage zur Aufnahme von max. 3 parallel installierter MKR (Ø 25 mm) und einer Länge von 1200 mm
- Max. Filterfläche: 0,75 m<sup>2</sup>
- Beheizbarer Vorlagebehälter mit 2-Punkt-Füllstandsregelung bei angeschlossener Speisepumpe
- Auslegungsdruck: 16 bar
- Einzelne Membranloops absperbar – unterschiedliche Überströmgeschwindigkeiten realisierbar
- Nur für wässrige Medien
- Einsatz für qualitative und quantitative Analysen
- Durch automatisierte Nachspeisung auch für Langzeittests geeignet



Die Anlage wurde an das Abwasser der Strang-Waschmaschine „Delphin & Breitabteil“ sowie am Laugenmischabteil an der Mercerisieranlage angeschlossen.

Bild 1 Pilotanlage der Firma A. Junghans

### 8.2 Anwendungsspezifische Anforderungen

Da es sich bei den Versuchen um zwei getrennte Forschungsaufgaben handelte, sind somit zwei **Untergliederungspunkte** zu analysieren.

- Abwasserfiltration durch Einsatz von Nanomembranen an der Strang-Breitwaschmaschine – Typ Delphin der Fa. Brückner
- Laugenrückfiltration an der Mercerisiermaschine – Typ Küsters

#### **Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde**

Die für die Versuchsdurchführung bereit gestellte Pilotanlage der Fa. A. Junghans war zunächst mit drei 200 – Dalton Keramik Membranen (19 – Kanal – Röhren) bestückt, die vom Fraunhofer IKTS zur Verfügung gestellt wurden. Alle dazu erforderlichen Anschlüsse erfolgten durch Color Textil.

Entsprechend der durchzuführenden Versuche erfolgte die dafür notwendige Bereitstellung der Gewebeflächen.

### **Planung und Ablauf des Vorhabens**

Leider mussten durch unvorhergesehene Abgänge von Mitarbeitern aus dem Forschungsarbeits-Team neue Planungen für den Ablauf der Versuche durchgeführt werden, welches nun zur Lösung der gesteckten Ziele führte.

Unter Einbeziehung der neuen verantwortlichen Leiter war dann eine reibungslose Versuchsdurchführung möglich. Dies betraf sowohl die Color Textil wie auch die Zusammenarbeit mit dem Hersteller der Pilotanlage A.Junghans und einigen Partnern aus dem Verbundprojekt.

Dabei wirkte sich auch günstig die Nähe zu dem Pilotanlagen-Hersteller aus, da sich der Betrieb ebenfalls in Frankenberg befindet.

### **Wissenschaftlicher und technischer Stand**

Entsprechend den Vorgaben des Projektes gab es am Anfang dazu keine wissenschaftlichen Erkenntnisse und auch der technische Stand, besonders bezogen auf die Laugenrückgewinnung waren nicht vorhanden.

Für die durchzuführenden Forschungsarbeiten mussten sich die dementsprechenden Informationen erarbeitet bzw. eingeholt werden. Es lagen nur Erkenntnisse für die Aufbereitung von Schmutzwasser durch Ausfällung mittels Chemikalien vor, da hier eine Anlage seit 1995 bei Colortextil besteht.

Trennung von Laugen-Mischwasser und Aufarbeitung von Schmutzwasser mittels Filtrierung durch Nanokeramik-Membranen stellte Neuland dar und es mussten und wurden hier neue Erkenntnisse erarbeitet.

#### **8.2.1 Abwasserfiltration durch Einsatz von Nanomembranen an der Strang-Breitwaschmaschine Typ „Delphin“**

Wie bereits erwähnt, galt es hier das Schmutzwasser mittels Nanokeramik-Membrane zu filtrieren, um das saubere und noch warme Abwasser wieder in den Waschkreislauf zurück zu führen. Dabei sollte gleichzeitig die Restwärme des gefilterten Wassers mit genutzt werden. Verwendet wurde dabei die 450er Dalton und die 200er Dalton - Membrane

Wie in der Einleitung schon erwähnt, konzentrierte sich die Versuchsdurchführung zur Abwasserreinigung auf das vom Schmutz am meisten verunreinigte Waschwasser der nachstehend abgebildeten Anlage (Bild 2).

Das zu reinigende Abwasser hatte noch eine Temperatur von 65 ° C und nach der Filtration von 40 ° C. Die Temperaturen unterliegen leichten Schwankungen, so dass die hier angegebenen Temperaturen als Durchschnitt zu betrachten sind.

Da bei Color Textil als Hauptfarbstoffe – Reaktivfarbstoffe – eingesetzt werden, wurde dementsprechend auch das zu filternde Abwasser dafür verwendet. Neben dem Farbstoff befinden sich in dem Abwasser z. B. auch noch andere Verunreinigungen, wie allgemeiner Schmutz, feine textile Fäserchen, Druckverdickung und noch verschiedene Chemikalien.

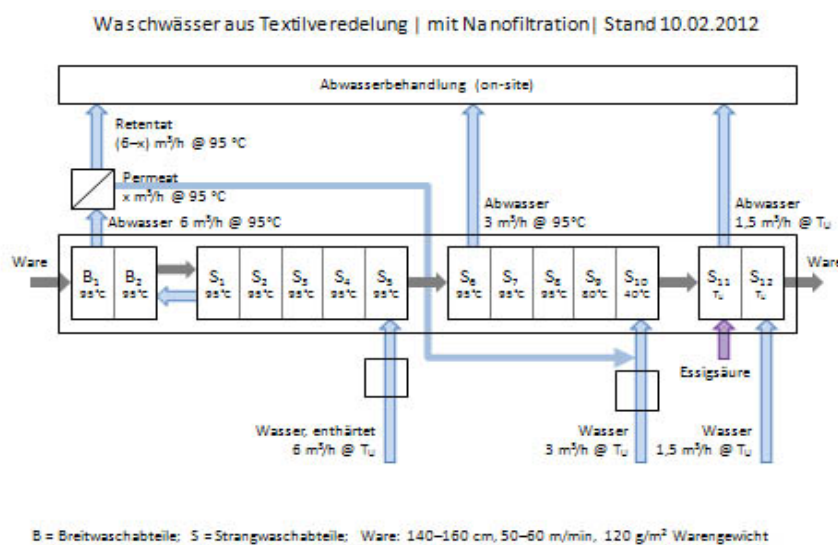


Bild 2 Strangwaschmaschine (Delphin-Anlage)

Die weiteren nachfolgenden Aufzeichnungen dokumentieren die Versuche

- Ausmessung der gefilterten Wasserproben
- Opazitätsmessung (Trübung)
- Waschversuche von Weißware mit Permeat
- Messungen mit dem Spektralphotometer CM 3600 d von Konica Minolta

- Ausmessung der gefilterten Wasserproben

Es wurde eine deutliche Reinigung des Schmutzwassers erzielt, wie es die nachfolgenden Aufnahmen beweisen.

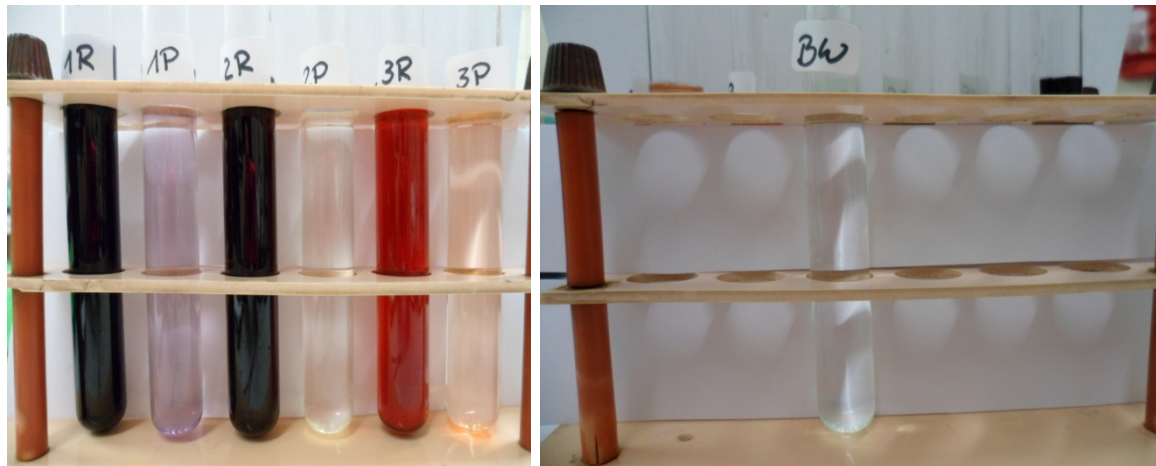


Bild 3 Darstellung der gezogenen Proben von der Pilotanlage

Legende dazu:

Probennummer: 1, 2, 3

BW= Betriebswasser

P= Permeat

R= Retentat

Wenn man auch mit dem Auge den Säuberungsgrad des gefilterten Abwassers erkennen kann, so geben aber erst genaue Messungen mit dem Spektralphotometer den tatsächlichen Säuberungseffekt wieder.

b) Opazität (Trübungsmessungen)

Die Trübung ist die Verringerung der Durchsichtigkeit einer Flüssigkeit, verursacht durch die Gegenwart ungelöster Substanzen. In unserem Fall wurde nach DR. Lange – CADAS 50, Scan von 450 – 720 nm Wellenlänge in 50 mm Küvette-Messung Betriebswasser zu den jeweiligen Proben gemessen.



Probe	E bei $\lambda$ 450	E bei $\lambda$ 500	E bei $\lambda$ 550	E bei $\lambda$ 600	E bei $\lambda$ 650	E bei $\lambda$ 720
1P - 1 Permeat	0,466	0,525	0,624	0,483	0,245	0,055
1R - 1 Retentat	4,894	4,894	5,014	4,471	3,314	0,733
2P - 2 Permeat	0,435	0,363	0,287	0,211	0,171	0,130
2R - 2 Retentat	4,894	4,894	5,014	5,061	3,888	1,080
3P - 3 Permeat	0,761	0,790	0,462	0,199	0,163	0,133
3R - 3 Retentat	4,895	5,894	5,011	2,348	1,288	0,513

Tabelle 1 Messungen nach Dr. Lange CADAS 50 , Scan von 450 -720 nm Wellenlänge

Diese Versuchsreihe diente dazu, um Anhaltswerte zu erhalten für das bessere Verständnis bei der Ausmessung des Weißgrades mit dem Spektralfotometer und als Ausgangswert für eine evtl. spätere Online-Messung an der Delphin – Anlage.

c) Waschversuche von Weißware mit Permeat

Ausgangspunkt ist wieder das durch Nanomembranen gefilterte Wasser, um zu wissen, in wie weit färbt das doch für das Auge „saubere“, gefilterte Abwasser weißes Gewebe noch an, um dann später weitere Ausmessungen mit dem Spektralphotometer durchführen zu können.

Dazu wurden folgende Gewebeproben verwendet:

Artikel 104101, Satin – DVB	Webware
Artikel 104016, Satin – DD (imprägniert)	Webware
Artikel 105, Interlock – DVB (mercerisiert)	Strickware
Artikel 105, Interlock – DD (imprägniert)	Strickware

Abkürzungen dazu siehe Tabelle 2

Mit dem Permeat wurde ein Waschversuch auf der Laborfärbemaschine „Linitets“ simuliert. Die verschiedenen Proben wurden mit Permeat und 3 ml/l Lavan RND (Waschmittel) versetzt. 200 ml pro Waschversuch im Flottenverhältnis 1:10 bei 98°C 60 Minuten gewaschen.

Anschließend wurden die Proben mit klarem Wasser gespült, neutralisiert mit 60 %iger Essigsäure (pH 4 – 5) und getrocknet.

Diese Messungen wurden auf dem Spektralphotometer CM 3600d von Konica Minolta durchgeführt.

Auswertung der Proben - Pass/Fail Farbmessung

Probe	Weißgrad Berger
Interlock DD ungewaschen	67,18
Interlock DD mit Permeat 1 gewaschen	80,28
Interlock DD mit Permeat 2 gewaschen	78,18
Interlock DD mit Permeat 3 gewaschen	74,14
Interlock DVB ungewaschen	69,43
Interlock DVB mit Permeat 1 gewaschen	74,57
Interlock DVB mit Permeat 2 gewaschen	71,20
Interlock DVB mit Permeat 3 gewaschen	67,16
Satin DD ungewaschen	68,58
Satin DD mit Permeat 1 gewaschen	81,81
Satin DD mit Permeat 2 gewaschen	79,91
Satin DD mit Permeat 3 gewaschen	76,01
Satin DVB ungewaschen	72,12
Satin DVB mit Permeat 1 gewaschen	80,99
Satin DVB mit Permeat 2 gewaschen	79,15
Satin DVB mit Permeat 3 gewaschen	74,51

Tabelle 2 Pass/Fail Farbmessung

Legende: DD = Digitaldruckware  
DVB = Druckvorbehandelte Ware

Beide Gewebeflächen sind noch nicht bedruckt, lediglich die DD-Ware hat eine Vorimprägnierung, wobei bei der Vorimprägnierung ein leichter gelber Farbton auf dem Gewebe entsteht. Somit ist der Weißgrad der ungewaschenen Gewebeprobe niedriger gegenüber der gewaschenen Gewebeprobe. Leider wird durch den Restfarbstoff im Permeat der Weißgrad etwas angeschmutzt.

d) Wellenlängenmessung mit dem Spektrofotometer

Es ist sicherlich nicht sinnvoll, die vielen durchgeführten Messungen darzustellen. Zwei Messbilder (Abbildungen 3 und 4) sollen dem Leser aufzeigen, wie solche Prüfungsergebnisse dargestellt werden.

Am Beispiel DVB für die Abbildung 3 und 4 wird dies sichtbar, wenn man die beiden Farbkurven grün und rot vergleicht. Um so näher oder deckungsgleich die Farbkurven liegen, desto richtiger ist das gewünschte Ergebnis.

Zum Beispiel: DVB P2 wurde vom Computer abgelehnt, da die rote und grüne Kurve zu weit auseinander liegen. Damit ist die Abweichung zum Weißgrad zu hoch (Bild 4)

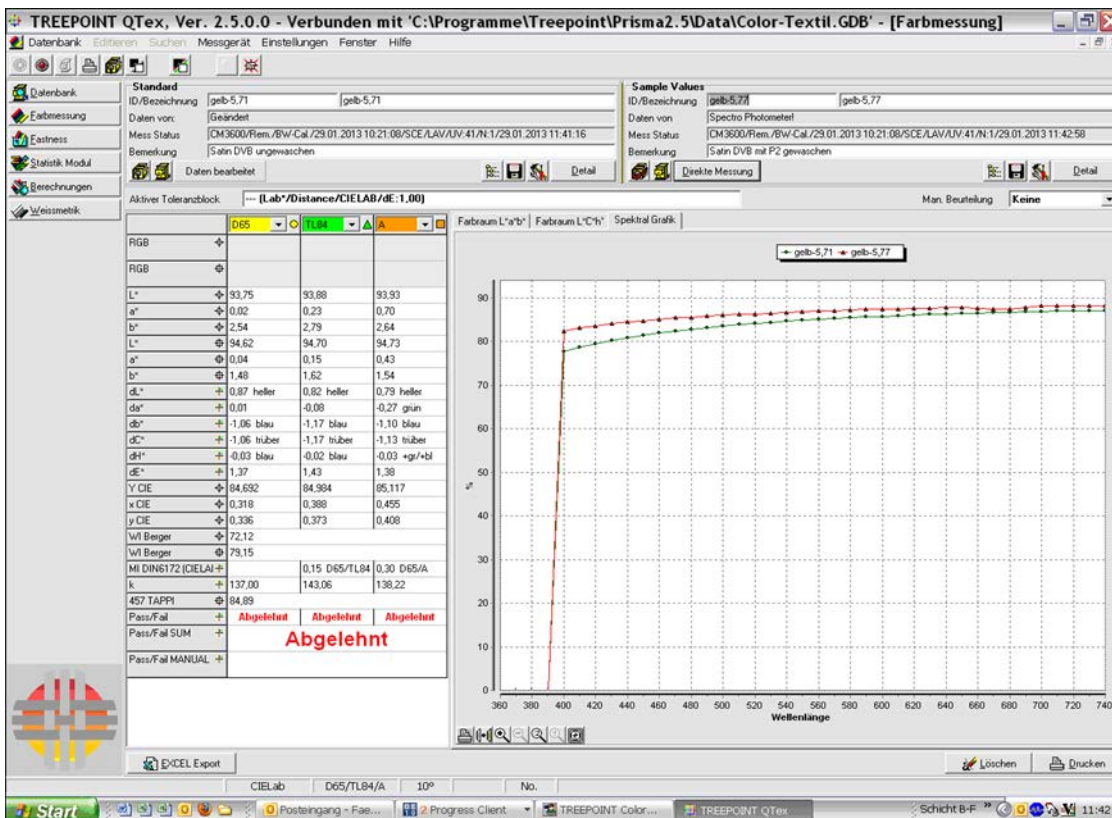


Bild 4 DVB P2 Farbablehnung - dc ist trüber und db ist blauer

Zum Beispiel: DVB P3 wurde gerade noch vom Computer akzeptiert, da beide Kurven relativ nah beieinander liegen (Bild 5)

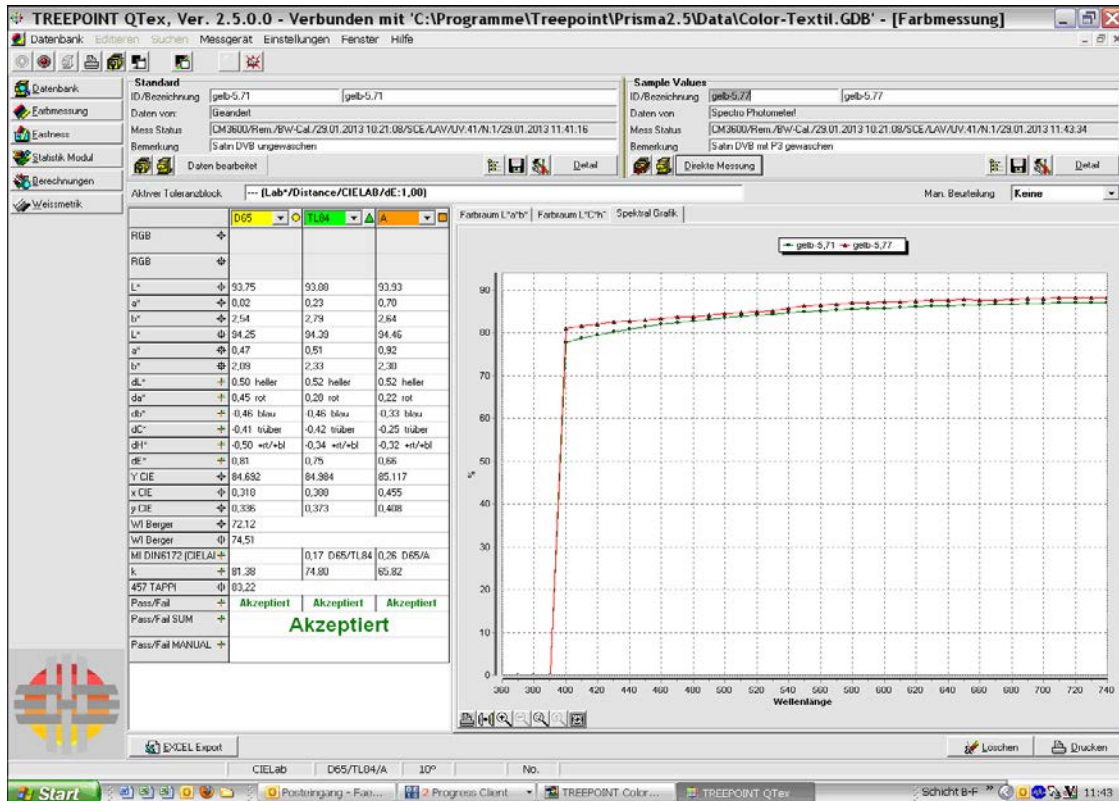


Bild 5 DVB P3 Farbe akzeptiert - Lab -Werte in Ordnung

### 8.2.2 Laugnrückfiltration an der Mercerisieranlage – Typ „Küsters“

Mittels einer 200er – Dalton-Keramik Membrane sollte die Natronlaugen-Rückfiltration aus dem Mischwasser erfolgen. Das heißt, das zu mercerisierende Baumwollgewebe wird nach dem Hauptgang der Mercerisierung durch ein Wasserbad gefahren, um die noch dem Gewebe anhaftende Restlauge weitest gehend zu entfernen. Die dadurch im Mischwasser enthaltene Natronlauge sollte jetzt durch den Einsatz von Nanokeramikmembranen wieder zurück gewonnen werden. Dabei sollte die Trennung Lauge vom Wasser und Schmutz erfolgen. Die Restlauge, die zwischen 6 und 8 °Be` liegt, sollte dann wieder mit der konzentrierten Natronlauge verarbeitet werden, um die für die Mercerisierung erforderliche Konzentration von 28 °Baume` zu haben.

Kurze Erklärung zur Bezeichnung - ° Be`:

Grad Baume` auch Baume`-Grad (Einheitenzeichen °Be`) ist eine nach dem französischen Chemiker Antoine Baume` (1728 – 1804) benannte , größtenteils veraltete Gradeinteilung der Aräometerskala zur Bestimmung der relativen Dichte von Flüssigkeiten über den Auftrieb (aus Wikipedia, der freien Enzyklopädie entnommen).

Wenn auch größtenteils veraltet, so wird doch in manchen Unternehmen heute noch danach gearbeitet ( z. B. auch noch in der Zuckerindustrie )

Leider schaffte die 200 Dalton Keramikmembrane diese Trennung nicht, denn die anschließenden ausgemessenen Proben – Permeat und Rententat zeigten beide eine gleiche Laugenkonzentration von 7°Be`an. Dies bedeutet im Klartext: es erfolgte keine Trennung von Lauge zu Wasser und Schmutz. Nach Rücksprache mit dem Fraunhofer IKTS in Hermsdorf wurden noch einmal 3 neue 450 Da-Keramikmembranen eingesetzt und getestet. Leider konnte auch hier keine Verbesserung erreicht werden. Die ausgemessenen Werte deckten sich mit den vorangegangenen Ausmessungen.

In unserem Fall eigneten sich also die verwendeten Keramikmembranen nicht für die Trennung Natronlauge/Wasser-Schmutz. (unter dem Schmutz versteht man kleine Flusen, Webereischlichte/Pektine/Öle und Staub). In der Literatur konnten dazu auch keine Angaben für diesen speziellen Fall gefunden werden.

Es lag nun der Gedanke nahe, einen ganz anderen Weg zu gehen, der allerdings mit der Filtration durch Keramikmembranen nicht mehr zum Forschungsthema zählte. Es kam der Gedanke auf, dafür das Prinzip der Umkehr-Osmose zu verwenden. Rücksprachen mit den Herstellern solcher Osmose-Anlagen zeigten auch hier Grenzen des Verfahrens. Die Umkehr-Osmose-Anlagen filtern reines Wasser aus den vorgegebenen Substraten, wie zum Beispiel der Trinkwassergewinnung, aber nicht umgekehrt.

Eine echte Lösung würde hier nur die Eindampfung des Mischwassers bringen. Für die Color-Textil kommt aber diese Lösung aus vielerlei Gründen nicht in Betracht. Zum Beispiel Aufwand/Nutzen stehen nicht im Verhältnis zum gewonnenen Ätznatron.

Zwei Erklärungen dazu sollen diese Darlegungen noch untermauern:

- a) Die Gesamtmenge am Verbrauch von Natronlauge ist bei CT zu gering, um die aufzubringenden Investitionen kurzfristig wieder zurück zu zahlen.
- b) Der Natronlaugenpreis ist sehr schwankend und hat den für unser Unternehmen kritischen Preis von > 0,30.-€/Liter noch nie erreicht. Da Natronlauge ein Abfallprodukt aus der chemischen Industrie ist, werden sich hier auch keine wesentlichen Veränderungen ergeben.

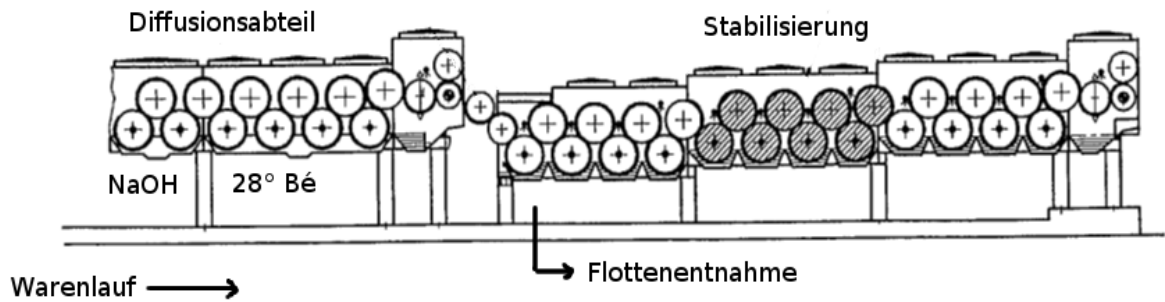


Bild 6 Mercerisierungsanlage Typ „Küster“

Die Pilotanlage der Fa. A. Junghans wurde an das Abteil – Flottenentnahme - angeschlossen.

### 8.2.2.1 Kurzbericht Laborversuche Color-Textil

#### Versuche mit verdünntem Laugenmischabwasser

Im April 2012 wurden erste Versuche im Technikumsmaßstab mit von der Firma Color Textil zur Verfügung gestelltem verdünntem Laugenabwasser durchgeführt.

Für die Versuche standen 30 l dieser Lösung mit pH-Wert 9,2 und Leitfähigkeit 2,8 mS, CSB ca. 1200 mg/l zur Verfügung. Es wurden der Summenparameter Leitfähigkeit bestimmt und über diesen Parameter auch der Rückhalt ermittelt. Eingesetzt wurden vom IKTS Hermsdorf zur Verfügung gestellte Keramikmembranen mit einer trenngrenze von 200 Da und einer Länge von 250mm mit einem Kanal.

Aufgrund der sehr geringen Membranfläche und des entsprechend geringen Flusses wurde (bei einem transmembranen Druck von 15 bar) trotz eines Versuches über mehrere Stunden (auf verschiedene Tage verteilt) lediglich eine Aufkonzentrierung von 2,8 mS auf 4,5 mS erreicht. Die pH-Werte von Feed und Permeat waren bei allen Messungen gleich. Der geringe Abfall des pH-Wertes im Laufe der Aufkonzentrierung ist meiner Meinung nach als nicht signifikant einzustufen.

	Menge (Liter)	pH-Wert	Leitfähigkeit (mS)	Fluss (ml/h)	Flux (l/(m <sup>2</sup> *h))	Rückhalt (Leitfähigkeit %)	Rückhalt (CSB %)
Feed/Konzentrat (Start)	30	9,2	2,8	250	45	46	93
Feed/Konzentrat (Ende)	20	8,9	4,5	400	80	38	95

Abbildung1: Versuch1 NF mit verdünntem Laugenabwasser

Der Rückhalt bezogen auf die Leitfähigkeit ist mit 46% bis 38% eher gering. Der Rückhalt des Summenparameters CSB ist mit über 90% verhältnismäßig groß, was wahrscheinlich auf die recht gute Abtrennung der verhältnismäßig großen Moleküle (z.B. Farbmoleküle) zurückzuführen ist. Die kleineren Ionen (z.B. Metall oder Hydroxylionen) werden kaum zurückgehalten, was der geringe Rückhalt bezogen auf die Leitfähigkeit belegt. Der Flux hat sich im Laufe der Versuchsreihe etwas erhöht, ebenso ließ sich die zu erwartende Steigerung des Flusses bei höheren Temperaturen beobachten. Um bezüglich der Temperaturabhängigkeit belastbare Aussagen zu treffen reichen die durchgeführten Versuche allerdings nicht aus.

Diese Rückhalte konnten in einem Dauerversuch über ca.400 Stunden mit Aufkonzentrierung der Versuchslösung von CSB 1130 mg/l auf 3790 mg/l bestätigt werden. Der Rückhalt bezogen auf die Leitfähigkeit lag über den gesamten Versuchszeitraum bei ca. 60%. Der CSB-Rückhalt nahm im Laufe des Versuches von 95% auf 98% zu. Der Grund liegt im steigenden Feed CSB, während der CSB-Wert des Permeat weitestgehend konstant bleibt. (siehe Abbildung 2)

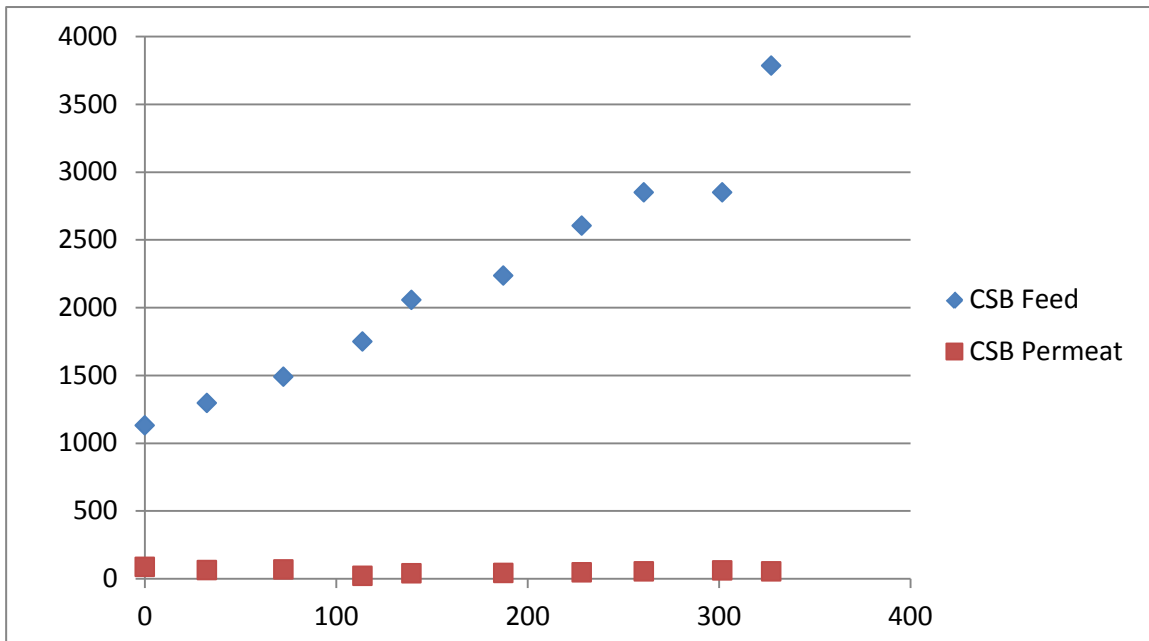


Abbildung 2: Dauerversuch NF-200Da mit verdünntem Laugenabwasser

### 8.3 Berechnung der Effektivität zum BMBF-Projekt: NanoMembrane

Ist-Zustand – Delphin-Anlage:

	Teilstrom 2 Delphin	Teilstrom 3 Delphin
	Hartwasser warm	Weichwasser
Wasserverbrauch:	5000 l/h	5000 l/h
Betriebsstunden:	2300 h/a	2300 h/a
Wasserverbrauch Jahr:	11.500 m <sup>3</sup>	11.500 m <sup>3</sup>
Gesamtverbrauch:	23.000 m <sup>3</sup>	
Abwassertemperatur:	95 °C	

Eine Wärmerückgewinnung des Abwassers erfolgt bereits. Das Abwasser der Anlage wird zur Nutzung in die Druckerei zugeführt. Damit wird entsprechend Frischwasser im Druckereibereich eingespart.



## 7. Aufbereitung und Kreislaufführung farbiger Waschwässer aus der Textilveredelung

---

Kosten Wasserbezug:

Wasserentnahme Oberflächenwasser:	0,05 €/m <sup>3</sup>
Abwasserkosten im Durchschnitt:	1,66 €/m <sup>3</sup>
Abwasserkosten ohne Wiederverwendung in Druckerei:	38.000 €/a

Anlagekosten:	200.000 €
Energieverbrauch:	46 kW/h
Betriebsstunden:	2300 h/a
Energieverbrauch gesamt:	105.800 kW/a
Strompreis 2013:	14,847 ct/kWh
Energiekosten der Anlage:	15.708,13 €/a

Einsparung Abwasser erfolgt nicht, da das Abwasser wiederverwendet wird.

Investitionskosten:	200.000 €
Laufende Kosten: Strom:	15.708,13 €/a
Wasser:	38.000 €/a
Einsparung:	22.291,87 €/a
Rückflussdauer:	9 Jahre

### **Berechnung Laugenrückgewinnung (Ist-Zustand)**

Material : CO Gewebe

Effektive Tagesproduktion : 25 Tm/d

Warengewicht : 225 g/lfm

Ware kg / d Produktion :  $225 \text{ g/lfm} \times 25000/1000 = 5625 \text{ kg/d}$

Warenvorlage: entschlichtet und gebrüht

Mercerisation : N/N mit 70 % Pick-up

Konzentration der Mercerisierlauge : 32 ° Be'

anfallende Schwachlauge : 2 m<sup>3</sup>/h mit 8 ° Be'

eingesetzte Frischlauge : 50 ° Be'

Preis Frischlauge : 225,00 €/t

#### **Berechnung:**

Die monatliche Berechnung zum Laugenverbrauch ist wie folgt:

$5,625 \text{ t/d NaOH } 50\% \text{ig} \times 21 \text{ d} = 118,125 \text{ t NaOH/Monat} \times 225,00 \text{ €/t NaOH} = 26.578,13 \text{ €/Monat Laugenkosten.}$

Hochgerechnet auf ein Jahr ergeben sich Kosten von:

$26.578,13 \text{ €/Monat} \times 12 \text{ Monate} = 318.937,50 \text{ € Laugenkosten/Jahr}$

Nach Angaben von der Firma Körting / Hannover lassen sich 75 % der in der Mercerisation eingesetzten Lauge zurückgewinnen (Laugenrückgewinnung).

75% von 318.937,50 € = 239.000,00 € könnten mit einer Laugenrückgewinnung, oder ähnlichen an Kosten für NaOH gespart werden.

Ohne Laugenrückgewinnung fallen ca. 2 m<sup>3</sup>/h alkalisches Abwasser an.

Wir zahlen dafür 1,52 €/m<sup>3</sup>. Wenn man davon ausgeht, dass wir 20 h pro Tag, 21 Tage pro Monat und 12 Monate pro Jahr mercerisieren, fallen Kosten von Abwasserpreis:

$1,52 \text{ € /m}^3 \times 2 \text{ m}^3/\text{h} \times 20 \text{ h pro Tag} \times 20 \text{ Tage / Monat} \times 12 \text{ Monate} = 14.592,00 \text{ € pro Jahr an.}$

Die theoretische Einsparung an Natronlage und Abwasserkosten würden also jährlich 239.000,00 € + 14.592,00 € = 253.792,00 € betragen.

Diese Rechnung bezieht sich auf einen Stichtag, zum Beispiel 28.05.2013. Hier lag eben der Einkaufs-Preis bei 22,5 ct/ kg NaOH.

Die Einsparung verringert sich noch, da hier Abschreibungen, Stromverbrauch usw. von der zusätzlich aufgestellten Anlage anfallen.

### 8.4 Stoffstrombilanzierung

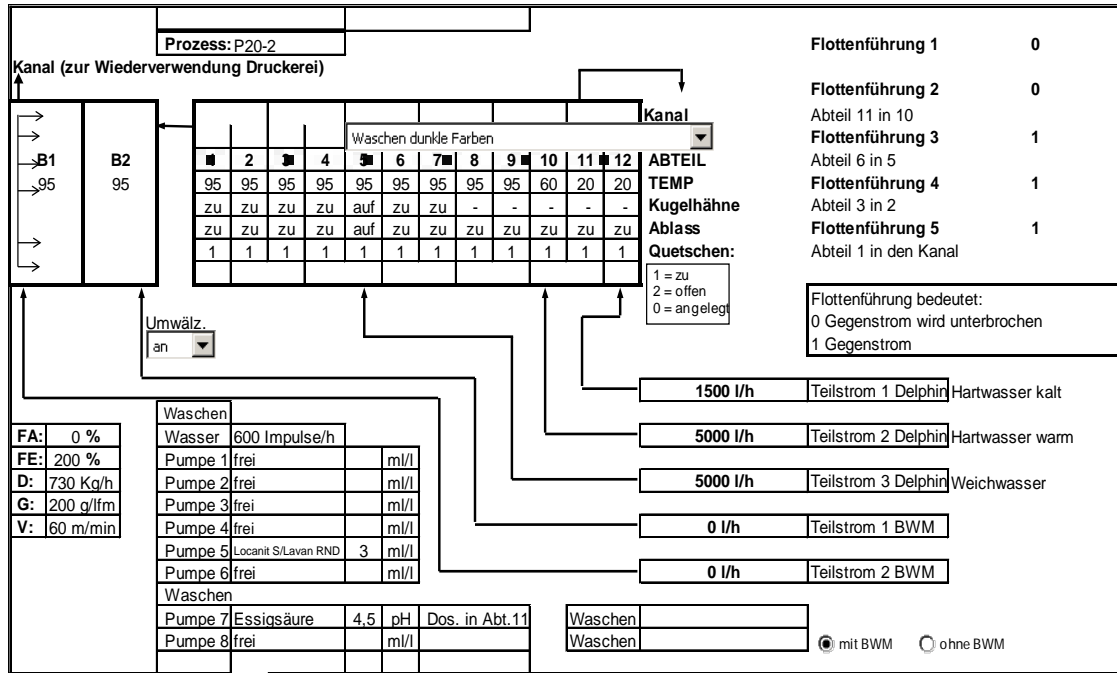


Tabelle 4: Flottenführung Delphin-Anlage

Die Tabelle zeigt die derzeitige Flottenführung in der Delphin-Anlage für "Reaktivdrucknachwäsche". Gewaschen wird im Gegenstromprinzip bei 95 °C, wobei das anfallende Abwasser zur Weiterverwendung in die Druckerei gegeben. Somit ist durch die geschickte Flottenstromführung kein zusätzliches Wasser nötig und es fallen somit auch keine weiteren zusätzlichen Kosten an.

### 8.5 Laborversuche mit Abwässern aus Textil

Im Gliederungspunkt 8.2.1 wurden im Bild 3 die gezogenen Proben durch Pilotanlage dargestellt.

Alle damit im Zusammenhang stehenden Aussagen sind darin vereinigt.

## 8.6 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit der Ergebnisse

Wie in den Gliederungspunkten 8.1.1 und 8.2.2 dargestellt, lassen sich daraus kaum verwertbare Nutzensrechnungen ableiten, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt für die Firma Color Textil interessant wären. Für die Aufbereitung des Abwassers zwecks Wiederverwendung in der Delphin-Anlage ergeben sich aus den Versuchen folgende Werte, die im Gliederungspunkt 8.2.1 dargestellt sind.

## 8.7 Zusammenfassung

In den bisherigen Ausführungen wurde angedeutet, dass durch die Aufbereitung des Schmutzwassers wieder ein Teil des nun erhaltenen, gereinigten Waschwassers zurück in den den Betriebskreislauf geführt wird.

Bei dem gereinigten Wasser sprechen wir von dem Begriff „**Permeat**“. Das automatisch anfallende, sehr stark verschmutzte Wasser, welches Farbstoff, Druckverdickung, Chemikalien, allgemeiner Schmutz usw. enthält, wird als „**Rententat**“ bezeichnet. Somit zerfällt das zu reinigende Schmutzwasser in zwei Begriffszonen.

Die bisherigen durchgeführten Versuche, hier speziell mit der 200 Da – Membrane, 3 parallel installierte MKR (Ø 25 mm ) und einer Länge von 1200 mm mit einer max. Filterfläche von 0,75 m<sup>2</sup> installiert in einer Pilotanlage der Fa. A. Junghans , zeigten sichtbare Teilerfolge. Dies war auch dadurch möglich geworden, das bereits im Vorfeld bei der Fa. A. Junghans Laborversuche mit unserem Abwasser durchgeführt wurden. Es wurde auch ein Versuch gefahren, wo anstelle der 200 Da Membrane eine 450 Da Membrane , Porengröße 0,9 nm, zur Anwendung kam. Gravierende Unterschiede konnten dabei nicht festgestellt werden. Der eigentliche Einsatz der 450 Da-Membrane war für die Laugentrennung vorgesehen.

Um den tatsächlichen Reinigungsgrad des Permeats zu kennen , wurden Messungen mit dem Spektralphotometer durchgeführt. Die Messungen zeigten, das noch geringe Mengen an Farbstoff in den Permeat sind und somit nicht geeignet ist für den Einsatz bei Waschprozessen für Weißware/Weißfonds. Jederzeit aber einsetzbar für Reinigungsprozesse ( Hilfsprozesse ), wie zum Beispiel für Druckdeckenwäsche, Raketel-und Kübelwäsche usw..

Da in der Textilveredelung immer sehr viel Wasser benötigt wird (z. Beispiel verbraucht die Delphin-Anlage 10 m<sup>3</sup>/h) müsste eine Anlage dafür errichtet werden mit einer ganz anderen Dimension. Diese Bedingungen können zurzeit nicht in die Realität umgesetzt werden, da der dazu erforderliche Platz und auch die Investitionen nicht gesichert sind.

Wie bereits schon im Vorfeld angesprochen existiert bei der Color-Textil eine Grobwasserschmutz- Reinigungsanlage, die nach dem Ausfällungsverfahren arbeitet und damit ist eine solche Filtration durch Einsatz von Nanokeramikmembranen auch unter dem Gesichtspunkt Kostenaufwand/Nutzen zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht aktuell.

Ein größeres Interesse bestand in der Rückgewinnung von Natronlauge aus dem Mischwasser, welches bei der Mercerisation von Baumwollstoffen anfällt. Hier existiert bei der Color-Textil keine Anlage, die dafür ausgelegt ist. Hier hätte eine kleine, funktionierende Anlage einen Durchbruch bringen können. Leider brachten die durchgeführten Versuche überhaupt keinen Erfolg gegenüber den Versuchen mit der Abwasserschmutzaufbereitung.

Die auf dem Markt befindlichen Verdampfungsanlagen zur Rückgewinnung von Natronlauge kommen aus vielerlei Gründen nicht für die Color-Textil in Betracht. Ein ganz wichtiger Punkt dazu ist, dass die für eine sinnvolle Amortisation unser Mengenprofil dafür zu klein ist. Deshalb wäre eine kleine Anlage nach dem Prinzip – Filtration durch Nanokeramikmembranen ideal gewesen. Bei der Lösung dieser Aufgabe hat das Fraunhofer IKTS sich stark bemüht, um eine Lösung zu finden, aber alle guten Ideen scheiterten. Selbst das Prinzip der Umkehrosmose ist hier nicht zum Erfolg gekommen.

### **8.8 Literatur**

Als Fachliteratur wurde das Internet verwendet und die geführten Gespräche mit Fachleuten/Teilnehmern.

## **8 Erprobung nanoporöser keramischer Membranen in der Papier- und Zellstoffindustrie**

<sup>1</sup>PTS Papiertechnische Stiftung

<sup>2</sup>Zellstoff Stendal GmbH

<sup>3</sup>Koehler Kehl GmbH

### **8.1 Einleitung**

### **8.2 Proben- und Anlagenvorbereitung**

### **8.3 Laborversuche mit Abwässern aus Papier/Zellstoff**

### **8.4 Ablagerungsanalyse und Reinigung**

### **8.5 Konzentratverwertung**

### **8.6 Vorplanung und Inbetriebnahme**

### **8.7 Pilotversuche mit Abwässern aus Papier**

### **8.8 Pilotversuche mit Abwässern aus Zellstoff**

### **8.9 Ergebnisdokumentation und Auswertung**

## **8.10 Zusammenfassung**

## **8.11 Literatur**

## **9 Ökobilanzielle Bewertung von NanoMembrane-Anwendungen**

Universität Stuttgart Lehrstuhl für Bauphysik LBP, Stuttgart

### **9.1 Einleitung**

### **9.2 Definition Untersuchungsrahmen**

### **9.3 Datenerfassung**

### **9.4 Ökobilanzmodell Nanomembranen**

### **9.5 LCA Anwendungsszenario (Textilindustrie)**

### **9.6 LCA Anwendungsszenario (Papierindustrie)**

### **9.7 LCA Anwendungsszenario (Chem. Industrie)**

### **9.8 Einsparpotential: Anwendung NanoMembran**

### **9.9 Branchenübergreifende Hochrechnung**

### **9.10 Zusammenfassung**



## 9.11 Literatur

## **10 Zusammenfassung**

I. Voigt<sup>1</sup>, U. Kätzel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Hermsdorf

<sup>2</sup>Merck KGaA, Darmstadt

### **10.1 Projektverlauf**

### **10.2 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse**

### **10.3 Position zum internationalen Stand**

### **10.4 Qualifizierungsarbeiten**

### **10.5 Publikationen**

#### **10.5.1 Vorträge**

#### **10.5.2 Poster**

#### **10.5.3 Veröffentlichungen**

### **10.6 Verwertung der Ergebnisse**

#### **10.6.1 Wissenschaftliche Verwertung der Ergebnisse:**

#### **10.6.2 Wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse:**