

# **Abschlussbericht**

**Feuchtwasseraufbereitung im Offsetdruck mittels Membranfiltration  
und mittels eines innovativen Mess- und Nachdosiersystems  
- Phase III -**

## **Antragsteller:**

### **Fa. UNISENSOR Sensorsysteme GmbH**

Prof. Dr.-Ing. Gunther Krieg

Am Sandfeld 11

76149 Karlsruhe

Tel: 0721 / 97884-0

Fax: 0721 / 97884-44

## **Partner:**

### **Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft**

Prof. Dr. Jan Hoinkis

Fakultät Elektro- und Informationstechnik

Moltkestr. 30

76133 Karlsruhe

Tel: 0721 / 925-1372

Fax: 0721 / 925-1301

Dieser Bericht enthält Informationen, welche Betriebsgeheimnisse der Firma

**UNISENSOR Sensorsysteme GmbH**

Am Sandfeld 11  
76149 Karlsruhe

und der

**Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft**

Fakultät Elektro- und Informationstechnik  
Moltkestr. 30  
76133 Karlsruhe

sind. Alle Informationen sind daher streng vertraulich zu behandeln.

<b>1. EINLEITUNG.....</b>	<b>6</b>
<b>2. PROBLEMSTELLUNG .....</b>	<b>8</b>
<b>3. VORFILTERSYSTEME.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 ZENTRIFUGENTEST.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2 HYDROZYKLONABSCHEIDER .....</b>	<b>12</b>
<b>3.3 SELBSTREINIGENDER AUTOMATIKFILTER.....</b>	<b>15</b>
<b>4. MEMBRANFILTRATION .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 DIE KLEINE TECHNIKUMSANLAGE.....</b>	<b>15</b>
4.1.1 Feldversuche in der Druckerei Color-Druck in Pforzheim.....	16
<b>4.2 DIE GROBE TECHNIKUMSANLAGE .....</b>	<b>24</b>
4.2.1 Testbetrieb in der Druckerei Color-Druck in Pforzheim .....	25
<b>5. EINZELKOMPONENTENMESSUNG MIT DEM MESS- UND REGELSYSTEM OPTOSCAN .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1 MESSUNG UND REGELUNG DER GESAMTKONZENTRATION IN KOMBINATION DER MEMBRANFILTRATIONSANLAGE .....</b>	<b>28</b>
<b>5.2 MESSUNG UND REGELUNG DER KONZENTRATION VON EINZELKOMPONENTEN.....</b>	<b>30</b>
<b>6. WIRTSCHAFTLICHE VORTEILE .....</b>	<b>34</b>
<b>6.1 WIRTSCHAFTLICHE VORTEILE DURCH REGELUNG DER GESAMTKONZENTRATION .....</b>	<b>34</b>
<b>6.2 WIRTSCHAFTLICHE VORTEILE DURCH REGELUNG DER GESAMTKONZENTRATION UND FILTRATION .....</b>	<b>40</b>
<b>7. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>45</b>
<b>8. AUSBLICK.....</b>	<b>46</b>
<b>9. PATENTLAGE .....</b>	<b>47</b>
<b>10. ANHANG.....</b>	<b>48</b>

<b>BILD 3.1: LABORZENTRIFUGE DER HS KARLSRUHE.....</b>	<b>9</b>
<b>BILD 3.2: VERGLEICH DER FEUCHTWASSERPROBEN VOR UND NACH DEM ZENTRIFUGIEREN.....</b>	<b>10</b>
<b>BILD 3.3: MESSDATEN DER PROBEN DES ZENTRIFUGENVERSUCHS.....</b>	<b>11</b>
<b>BILD 3.4: FOTO UND FUNKTIONSSCHEMA FILSTAR.....</b>	<b>12</b>
<b>BILD 3.5: LABORAUFBAU DES HYDROZYKLONABSCHIEDERS FILSTAR.....</b>	<b>13</b>
<b>BILD 4.1: AUFKONZENTRATIONSVERSUCH INOPOR MEMBRAN.....</b>	<b>17</b>
<b>BILD 4.2: AUFKONZENTRATIONSVERSUCH TAMI MEMBRAN 1.....</b>	<b>18</b>
<b>BILD 4.3: AUFKONZENTRATIONSVERSUCH TAMI MEMBRAN 1 NACH EINLAUFPHASE.....</b>	<b>19</b>
<b>BILD 4.4: LANGZEIT-AUFKONZENTRATIONSVERSUCH TAMI MEMBRAN 1.....</b>	<b>20</b>
<b>BILD 4.5: LANGZEIT-AUFKONZENTRATIONSVERSUCH MEMBRAFLOW MEMBRAN.....</b>	<b>21</b>
<b>BILD 4.6: LANGZEIT-AUFKONZENTRATIONSVERSUCH TAMI MEMBRAN 2.....</b>	<b>22</b>
<b>BILD 4.7: VERGLEICH PERMEAT DER VERSCHIEDENEN MEMBRANEN.....</b>	<b>23</b>
<b>BILD 4.8: VERLAUF DES PERMEATFLOWS.....</b>	<b>25</b>
<b>BILD 5.1: UNTERSCHIEDLICHE MESSDATEN DER ERSTEN TESTLÄUFE BEI COLOR-DRUCK IN PFORZHEIM VOR UND NACH DER FILTRATION BEI KONSTANT GEREGLTER GESAMTKONZENTRATION DES ADDITIVS.....</b>	<b>28</b>
<b>BILD 5.2: UNTERSCHIEDLICHE MESSDATEN NACH INSTALLATION EINER GRÖßER DIMENSIONIERTEN FILTRATIONSANLAGE VOR UND WÄHREND DER FILTRATION BEI KONSTANT GEREGLTER GESAMTKONZENTRATION DES ADDITIVS UND KALIBRATIONSKURVE.....</b>	<b>29</b>
<b>BILD 5.4: INTENSITÄTSVERLAUF ZWEIER STRAHLUNGSQUELLEN FÜR DEN ERWEITERTEN AUSWERTEEREICH.....</b>	<b>31</b>
<b>BILD 6.1: FORTDRUCKLEISTUNG OHNE (ROT) UND MIT REGELUNG (BLAU).....</b>	<b>40</b>
<b>BILD 6.2: BAHNRISSE PRO 100.000 LAUFMETER OHNE (ROT) UND MIT REGELUNG (BLAU).....</b>	<b>41</b>

<b>BILD 6.3: ANTEIL DER MAKULATUR AM NETTOPAPIERVERBRAUCH OHNE (LINKS) UND MIT REGELUNG (RECHTS) .....</b>	<b>42</b>
<b>BILD 6.4: FORTDRUCKLEISTUNG OHNE (ROT) UND MIT MEMBRANFILTRATIONSANLAGE (BLAU).....</b>	<b>43</b>
<b>BILD 6.5: ANTEIL DER MAKULATUR AM NETTOPAPIERVERBRAUCH OHNE (LINKS) UND MIT MEMBRANFILTRATIONSANLAGE (RECHTS).....</b>	<b>43</b>
<b>BILD 6.6 PRODUKTIVITÄT UND AUSFALLZEITEN OHNE (LINKS) UND MIT MEMBRANFILTRATIONSANLAGE (RECHTS).....</b>	<b>44</b>

## 1. Einleitung

Im Bereich des Offsetdrucks müssen zur Befeuchtung der Druckwalzen so genannte Feuchtmittel eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um Prozesswässer, welche unterschiedliche Hilfschemikalien enthalten – meist Alkohole und sonstige chemische Additive. Dieses Feuchtwasser wird während des Druckbetriebs typischerweise im Kreislauf gefahren, wobei es sich mit Schmutzstoffen wie etwa Feinpartikeln, gelösten Farbstoffen und Salzen anreichert. Deshalb muss es in gewissen Zeitintervallen gegen frisches Feuchtwasser ausgetauscht und entsorgt werden.

Ziel dieses Projekts ist, durch kontinuierliche Behandlung des Feuchtwassers während des Druckprozesses dafür zu sorgen, dass zum einen die Zeitintervalle für einen Austausch deutlich verlängert werden. Zum anderen kann durch eine kontinuierliche Reinigung und analytische Online-Kontrolle der Zusammensetzung der gesamte bisher übliche Verbrauch an Prozesschemikalien drastisch gesenkt werden. Diese Maßnahmen im Sinne eines produktionsintegrierten Umweltschutzes führen insgesamt zu einer erheblichen Umweltentlastung sowohl in der Abluft durch weniger VOC- (Volatile Organic Carbon, flüchtige organische Kohlenstoffe) Emissionen, als auch zu geringeren Mengen an organischer Fracht im Abwasser.

Dieses Ziel soll erreicht werden durch eine neuartige Filtration des Feuchtwassers in Kombination mit einem präzisen Mess- und Nachdosierungssystem, das zur Aufrechterhaltung einer konstanten und dem Prozess angepassten Additivmischung mit optimierten Konzentrationen von bis zu 20 Einzelkomponenten dient.

Die Besonderheiten dieses Systems bestehen in der erstmaligen Messung und geregelten Nachdosierung der einzelnen Additivkomponenten sowie im Einsatz der innovativen Membranfiltrationstechnik. Durch diese Maßnahmen soll erstmals die Standzeit der Prozesswässer in den Druckbetrieben soweit verlängert werden, dass vollständig auf einen Feuchtwasserwechsel verzichtet werden kann. Letzteres ist mit den derzeitigen eingesetzten einfachen Filtrationsmethoden nicht möglich.

Der Einsatz der präzisen Messtechnik von UNISENSOR hat im bisherigen Projektverlauf zu verblüffenden Ergebnissen geführt. So wurden bei der weit verbreiteten volumetrischen Dosierung der Additive im Feuchtwasser starke Abweichungen zwischen Ist- und Soll-Werten festgestellt, die zu übermäßigem Verbrauch an Prozesschemikalien sowie zu einer erheblichen Reduktion der Wirtschaftlichkeit des Druckprozesses führen. Durch Online-Messung und Regelung wird eine genaue Einstellung der Konzentrationen der Additivkomponenten und damit einhergehend eine Reduktion des Chemikalienverbrauchs sowie eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Druckprozesses erreicht.

Als weitere Folge werden die Verbräuche der übrigen Prozesschemikalien sowie die Mengen an Papiermakulatur deutlich abgesenkt.

Die Tauglichkeit der eingesetzten Membranfiltrationstechnik konnte in Feldversuchen der Projektphasen I - III nachgewiesen werden. Die Feldversuche wurden mit einer Laboranlage bei den nachfolgend aufgeführten Druckereien an Bogen-, bzw. Rollenoffset-Druckmaschinen durchgeführt:

- "Kunst & Werbedruck" in Bad Oeynhausen (Bogenoffset-Druckmaschine) / 3 Monate
- "Kraft-Druck" in Ettlingen (Bogenoffset-Druckmaschine) / 4 Monate
- "Color-Druck" in Pforzheim (64-Seiten-Rollenoffset-Druckmaschine) / bisher 8 Monate

Des Weiteren wurden Filtrationsversuche mit Feuchtwasser aus der Druckerei Leunismann in Hannover gefahren (ca. 30 Liter), um erste Erkenntnisse zur Filtrierbarkeit zu gewinnen. Alle konventionellen Filtrationsverfahren haben bisher keinen effektiven Reinigungserfolg mit diesem Feuchtwasser erbracht. Die Ergebnisse der Versuche mit der Membranfiltration sind durchweg positiv. Das Feuchtwasser konnte aufgereinigt werden, ohne dass es zu Problemen während der Versuchsdauer kam.

Die Ergebnisse aus den Feldversuchen zeigen, dass die eingesetzte Filtrationstechnik zur Reinigung des Feuchtwassers prinzipiell gut geeignet ist.

Für den **Bogenoffset-Bereich** ist die in Phase I + II eingesetzte Laboranlage, was die Reinigungskapazität betrifft, nahezu ausreichend dimensioniert. Die in den Feuchtwasseraufbereitungsanlagen bereits vorhandenen Filtrationssysteme (Beutelfilter) sind geeignet, um als Vorfilter für die eingesetzte Membranfiltration zu dienen.

Im **Rollenoffset-Bereich** wurde klar, dass die in den Phasen I + II bereit gestellten Laboranlagen für die dort eingesetzten Mengen an Feuchtwasser, zu klein dimensioniert sind, um eine bei allen Betriebszuständen ausreichende Reinigung zu gewährleisten. Außerdem sind die Filtrationssysteme in den Feuchtwasseraufbereitungsanlagen infolge der größeren Schmutzbelastung des Feuchtwassers, verglichen mit dem Bogenoffset-Bereich, nicht ausreichend, um als Vorfiltration für die Membranfiltration zu dienen. Die verwendeten Beutelfilter verschmutzen sehr schnell und müssen häufig gewechselt werden. Es muss entweder ein effektiverer Vorreinigungsschritt oder eine andere Membran für den Rollenoffset-Bereich gefunden werden, um die Membranfiltrationstechnik auch hier optimal und zuverlässig einsetzen zu können. Optimal wäre hierbei ein selbst reinigender Vorfilter.

Die Qualität des durch die Membranfiltration gereinigten Feuchtwassers ist sowohl im Bogen- als auch im Rollenoffset-Bereich als hervorragend zu bezeichnen.

## 2. Problemstellung

In Phase I + II dieses Projektes wurden bereits wichtige Teilziele realisiert, welche gemäß Projektplan mit Erreichen der Meilensteinen in den an die DBU weitergeleiteten Zwischen- und Kurzberichten dokumentiert sind. Im September 2006 wurden die bisherigen Ergebnisse in einer Präsentation bei einem Workshop bei der DBU in Osnabrück „Innovationen für die Druckereibranche“ Herrn Schwake und einem größeren Zuhörerkreis vorgestellt.

In den Projektphasen I + II wurden Feldversuche mit einer kleinen Technikumsanlage in mehreren Druckereien durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Feldversuchen zeigten, dass die eingesetzte Filtrationstechnik zur Aufreinigung des Feuchtwassers prinzipiell gut geeignet ist. Im **Bogenoffset-Bereich** war die eingesetzte Laboranlage, was die Reinigungskapazität betrifft nahezu ausreichend dimensioniert. Die in den Feuchtwasseraufbereitungsanlagen vorhandenen Filtrationssystemen (Beutelfilter) waren ausreichend, um als Vorfilter für die eingesetzte Membranfiltration zu dienen. Die Untersuchungen haben jedoch auch gezeigt, dass im **Rollenoffset-Bereich** der hohe Feststoffgehalt des verunreinigten Feuchtwassers das Hauptproblem darstellt. Bei den Feldtests führte dieser hohe Feststoffgehalt zu einem raschen Absinken des Permeatvolumenstroms auf ein niedriges Niveau, bis hin zum Verblocken der Membranen und zu einem allgemein niedrigen Permeatvolumenstrom. Die Folge war, dass die Membranen nach kurzer Betriebsdauer gereinigt werden mußten und kein stabiler Betrieb über einen längeren Zeitraum möglich war. Außerdem war die Ausbeute an gereinigtem Feuchtwasser auf die Zeit bezogen nur unzufriedenstellend.

Die Arbeiten während Phase III sollten deshalb auf den Bereich Rollenoffset fokussiert werden. Die Schwerpunkte der Untersuchungen waren

- Auswahl und Feldtest einer geeigneten **Vorreinigungsstufe**
- Aufbau und Feldtest eines **Membranfiltrationsprototyps** mit ausreichender Kapazität.
- Messung und Regelung der Gesamtkonzentration in Kombination mit der Membranfiltrationsanlage
- Messung und Regelung der Konzentration von Einzelkomponenten

Um das Problem des hohen Feststoffgehalts zu lösen, wurden verschiedene Vorfiltersysteme betrachtet. Die Vorfiltersysteme müssen in der Lage sein kontinuierlich zu laufen, ohne dass Verbrauchsmaterial anfällt und gleichzeitig einen Abscheidegrad des Feststoffes aufweisen, der ausreichend ist, um einen stabilen Membranfiltrationsprozess zu gewährleisten. Die Gerätekosten der Verfahren sollen so niedrig wie möglich sein. Außerdem ist es wichtig, dass die Verluste an Feuchtwasser durch die Vorfiltration minimal sind. Als kontinuierlich laufende Vorfiltersysteme kamen zum Beispiel Zentrifugalabscheider wie Hydrozyklone, Tellerseparatoren und Röhrenzentrifugen oder selbstreinigende Automatikfilter in Betracht.

Ein weiterer Lösungsansatz dieser Problemstellung war der Einbau von Membranen in der bestehenden Membranfiltrationsanlage, welche mit einem allgemein höheren Permeatvolumenstrom für einen stabileren Filtrationsprozess über einen längeren Zeitraum sorgen können.

Ein zweiter, größer dimensionierter Membranfiltrationsprototyp der Hochschule Karlsruhe wurde gemeinsam mit dem Mess und Regelsystem OPTOSCAN der Firma UNISENSOR an einer 64-Seiten Rollenoffsetdrucklinie installiert. Ersten Testläufe aus Projektphase I + II in Kombination mit der für den Rollenoffset zu klein dimensionierten Technikumsanlage zeigten bereits positive Effekte auf die Genauigkeit der Additivmessung. In diesem Feldtest gilt es nun zu ergründen, in wie fern sich die erhöhte Filtrationsleistung der zweiten Technikumsanlage weiter positiv auf die Genauigkeit der Messung auswirkt und in wie weit dadurch stabile Bedingungen für die Mess- und Regelung von Einzelkomponenten, bzw. Komponentengruppen geschaffen werden.



### 3. Vorfiltersysteme

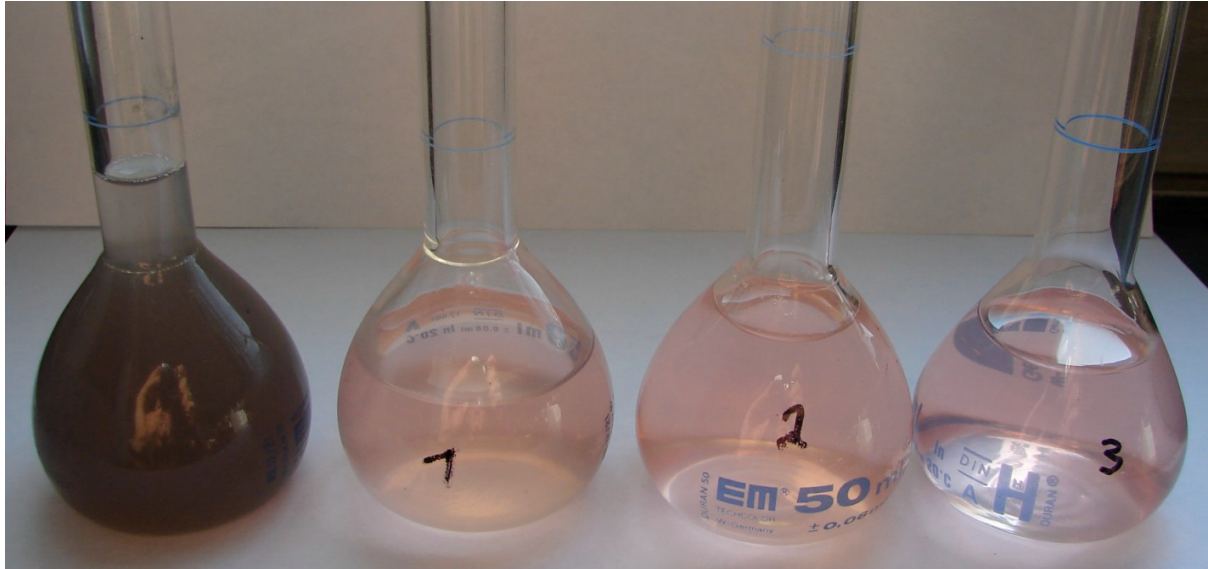
#### 3.1 Zentrifugentest

Eine an der Hochschule Karlsruhe vorhandene Laborzentrifuge des Herstellers MSE, Modell GF-8, wurde eingesetzt, um zu beurteilen, wie sich die feststoffhaltigen Verunreinigungen im Zentrifugalfeld abscheiden lassen. Bild 3.1 zeigt die geöffnete Zentrifuge mit dem eingebauten Rotor. Es wurden 50ml-Proben bei 1000 min<sup>-1</sup> (256 g), 2000 min<sup>-1</sup> (1024 g) und 3000 min<sup>-1</sup> (2304 g) zentrifugiert. Die gewünschte Drehzahl wurde am Bedienfeld eingestellt und die Zentrifuge gestartet. Sobald die Soll Drehzahl erreicht war, wurde die Zentrifuge ausgeschaltet. Nachdem die Zentrifuge ausgelaufen war, wurden die Proben entnommen und der Überstand, ohne den absedimentierten Feststoff aufzuwirbeln, aus der Probenflasche vorsichtig abgeschüttet.



**Bild 3.1: Laborzentrifuge der HS Karlsruhe**

Bild 3.2 zeigt von links nach rechts: Die Ausgangprobe des verunreinigten Feuchtwassers (Probe 1), Überstand nach dem Zentrifugieren mit 1000 min<sup>-1</sup> (256 g, Probe 2) Überstand nach dem Zentrifugieren mit 2000 min<sup>-1</sup> (1024 g) und Probe 3 Überstand nach dem Zentrifugieren mit 3000 min<sup>-1</sup> (2304 g). Es ist gut zu erkennen, dass Probe 1 noch leicht trübe ist, bei Probe 2 ist kaum eine Trübung erkennbar und Probe 3 erscheint visuell klar.



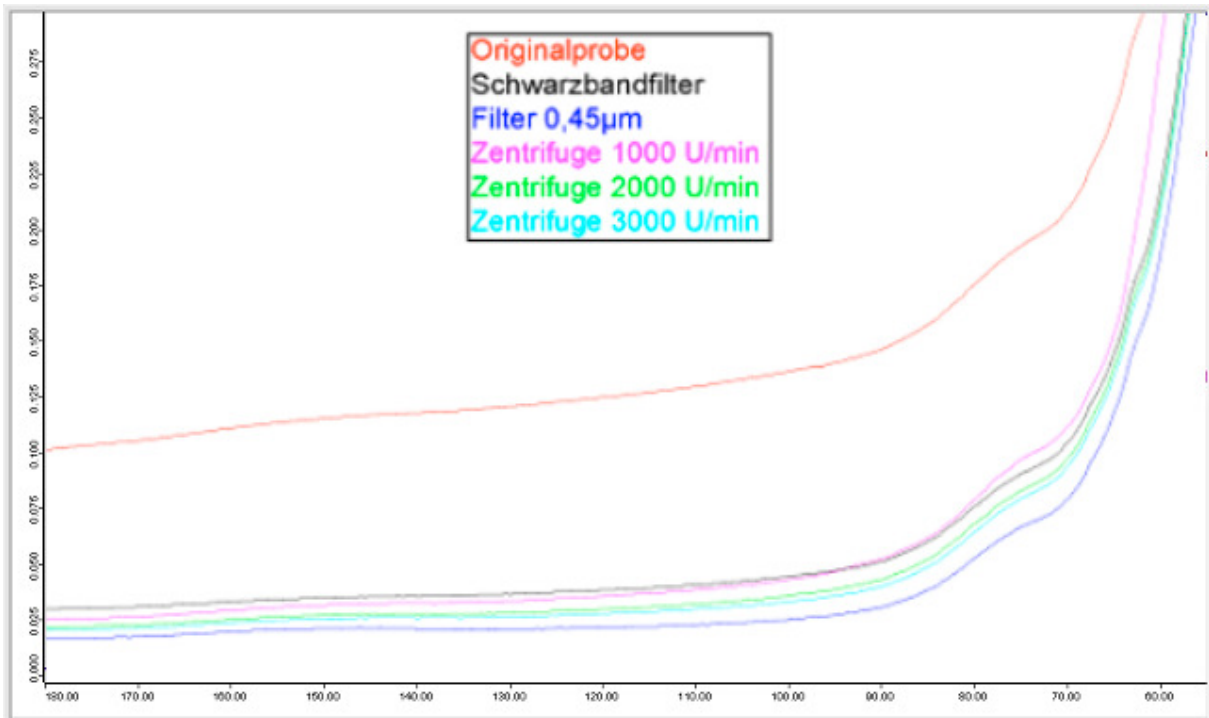
**Bild 3.2: Vergleich der Feuchtwasserproben vor und nach dem Zentrifugieren**

Es wurde jeweils eine Probe des Überstands gezogen. Diese wurden dann mit der Originalprobe, dem Filtrat eines Papierfilters (Schwarzband) und eines  $0,45\mu\text{m}$ -Filters verglichen. Die Konzentration und die Größe von Feststoffpartikeln beeinflusst dabei den Transmissionsgrad  $\tau$  auf Grund von Streuung. Je höher die Partikelkonzentration und je höher die Partikelgröße ist, um so geringer ist die Transmission und um so größer ist die Streuung. Dieser Effekt wurde genutzt, um eine qualitative Aussage über den Feststoffpartikelgehalt der untersuchten Proben zu machen. Die Aussage ist nur qualitativ, also vergleichend, da die Partikelgrößenverteilung, der in den Proben enthaltenen Feststoffe unbekannt ist. Dennoch lässt sich über die Lage der einzelnen Messdaten zueinander eine Aussage treffen, welche Probe mehr oder weniger Feststoffanteile enthält. Je mehr Feststoffanteile in einer Probe enthalten sind, desto weiter sind die Messdaten nach oben hin verschoben (s. Bild 3.3). Für den Zusammenhang zwischen dem Transmissionsgrad  $\tau$  und der Extinktion  $E$  gilt:

$$E = -\lg \frac{I}{I_0} = \lg \frac{I_0}{I} = \lg \frac{1}{\tau}$$

Mit  $I_0$  Intensität des einfallendes Lichts vor der Probe und  $I$  Intensität des Lichts nach dem Durchgang durch die Probe. Das bedeutet wenn die Extinktion  $E=1$  ist, beträgt die Lichtintensität nach dem Durchgang durch die Probe noch  $I=0,1$  der einfallenden Lichtintensität  $I_0$ , bei  $E=2$  ist  $I=0,01$ , bei  $E=3$  ist  $I=0,001$ , usw.

Für die Gewinnung des Filtrates des Schwarzband- und des  $0,45\mu\text{m}$ -Filters wurde die selbe Ausgangsprobe wie für die Zentrifugenversuche benutzt. Die aufgenommenen Messdaten sind in Bild 3.3 aufgetragen. Alle Kurven der behandelten Proben liegen deutlich unterhalb der Kurve der verunreinigten Originalprobe. Die Kurven der Probe des Schwarzbandfiltrats und der bei  $1000 \text{ min}^{-1}$  ( $256 \text{ g}$ ) zentrifugierten Probe liegen eng beieinander und gleichzeitig oberhalb der Kurven der anderen behandelten Proben. Mit etwas Abstand unter diesen beiden Kurven liegt die  $2000 \text{ min}^{-1}$ -Kurve, mit geringem Abstand darunter folgt die  $3000 \text{ min}^{-1}$ -Kurve. Die Kurve der mit dem  $0,45\mu\text{m}$ -Filter filtrierten Probe liegt nochmals deutlich unterhalb der  $3000 \text{ min}^{-1}$ -Kurve.

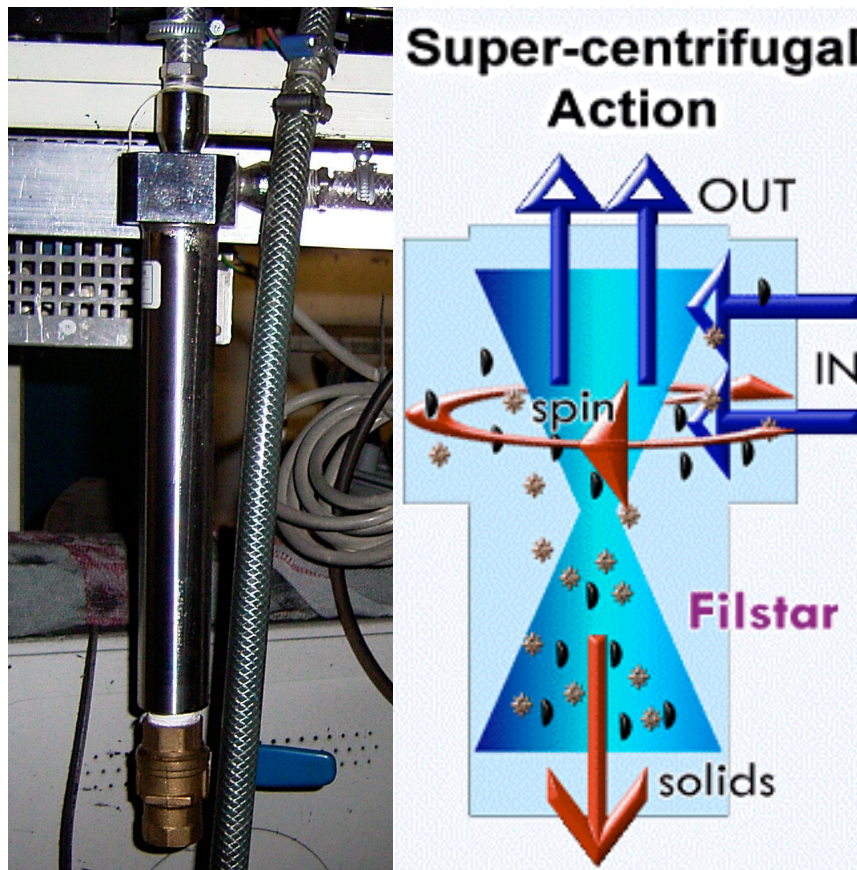


**Bild 3.3: Messdaten der Proben des Zentrifugenversuchs**

Die Versuche zeigen, dass es im Zentrifugalfeld möglich ist das verunreinigte Feuchtwasser von Feststoffen zu reinigen. Je nach Stärke des Zentrifugalfeldes werden ungefähr gleiche Ergebnisse wie bei der Filtration mit einem Schwarzbandfilter oder sogar bessere Ergebnisse erreicht. Das Aufreinigungsergebnis eines 0,45µm-Filters kann bei den hier gewählt Drehzahlen nicht erreicht werden.

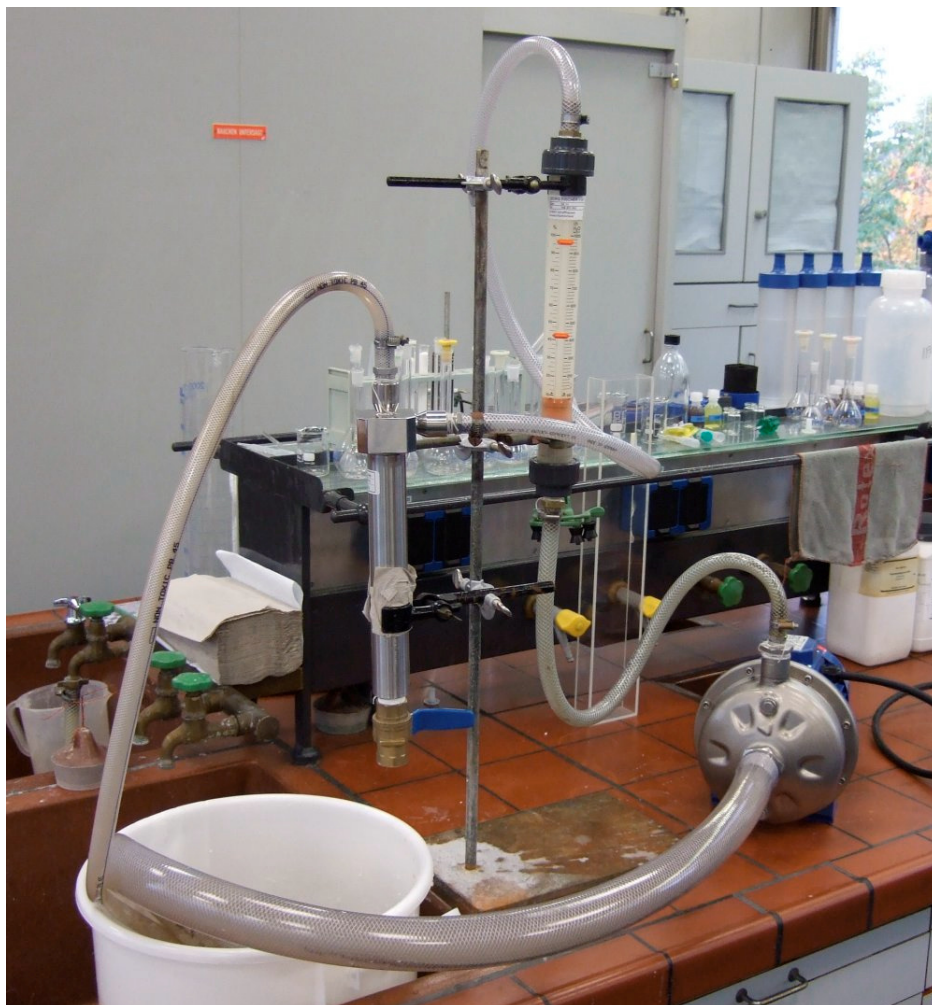
### 3.2 Hydrozyklonabscheider

Auf Grund der erfolgreichen Vorversuche an der Laborzentrifuge der Hochschule Karlsruhe, wurde ein Vorreinigungssystem, das nach dem Prinzip eines Zentrifugalabscheiders arbeitet getestet. Da Hydrozyklonabscheider gegenüber Tellerseparatoren und Röhrenzentrifugen einen sehr geringen apparativen Aufwand darstellen und daher von den Anschaffungskosten her am günstigsten sind, wurde ein Hydrozyklonabscheider der Firma C & M Rogers Ltd. vom Typ Filstar S auf seine Tauglichkeit als kontinuierlich laufendes Vorfiltersystem hin getestet. Laut Herstellerangaben ist die Baugröße Typ S des Filstar für einen Volumenstrom von 8 bis 15 l/min ausgelegt. Damit können Feststoffe mit einer Dichte größer  $1,5 \text{ g/cm}^3$  abgetrennt werden. Bild 3.4 ein Foto des in der Druckerei Color-Druck Pforzheim eingesetzten Hydrozyklonabscheiders und das dazugehörige Funktionsschema.



**Bild 3.4: Foto und Funktionsschema Filstar**

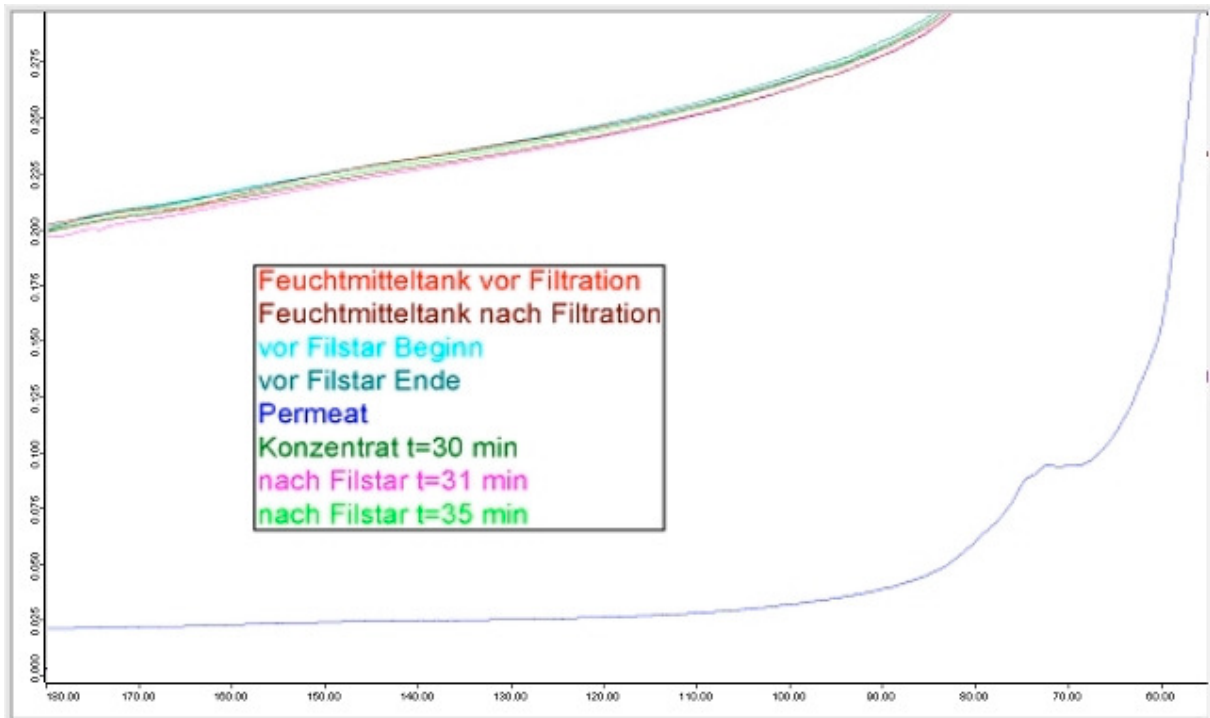
Die mit Feststoff verunreinigte Flüssigkeit wird tangential in den oberen Bereich des Hydrozyklonabscheiders eingeleitet. Dadurch wird die Flüssigkeitssäule in Rotation versetzt. Wegen der entstehenden Zentrifugalkräfte sammeln sich die Feststoffe an der Innenwand im oberen Bereich. Durch ihre höhere Dichte sinken die Partikel ab und gelangen über den mittleren Bereich in den beruhigten unteren Bereich. Im unteren Bereich sammelt sich der Feststoff an und wird in gewissen Zeitintervallen, durch öffnen des Ablassventils, mit etwas Flüssigkeit ausgetragen. Die gereinigte Flüssigkeit verläßt den Hydrozyklonabscheider durch den senkrechten Anschluß im oberen Bereich. Die Hauptbestandteile des Versuchsaufbaus zum Test des Filstars sind eine Kreiselpumpe, ein Volumenstrommessgerät, ein Frequenzumrichter und der Filstar selbst. Zur Probennahme des gereinigten Fluids ist nach dem Filstar ein Kugelhahn vorgesehen. Für eine letzte Versuchsreihe wurde noch ein Kugelhahn zur Probennahme vor dem Filstar installiert. Bild 3.5 zeigt einen probeweisen Versuchsaufbau im Labor an der Hochschule Karlsruhe. Hier fehlen allerdings noch die Kugelhähne zur Probennahme.



**Bild 3.5: Laboraufbau des Hydrozyklonabscheiders Filstar**

Die Versuche vor Ort in der Druckerei Color-Druck in Pforzheim wurden wie folgt durchgeführt: Über den Frequenzumrichter wurde die Drehzahl der Pumpe so eingestellt, dass der gewünschte Wert am Volumenstrommessgerät vor dem Filstar angezeigt wird. Der Kugelhahn unten am Filstar wurde geöffnet, um abgelagerten Feststoff auszuspülen. Mit dem Schließen dieses Kugelhahns startete der eigentliche Versuch. In gewissen Zeitintervallen wurde dieser Kugelhahn geöffnet, um den angesammelten Feststoff abzulassen. Dazu wurde ein Flüssigkeitsvolumen von ca. 250 bis 300 ml abgelassen. Zur Beurteilung der Reinigungsleistung wurden Proben direkt aus dem Feuchtwassertank, vom gereinigten Feuchtwasser nach dem Filstar, vom abgelassenen Konzentrat des Filstars und später auch Feuchtwasserproben vor dem Filstar über die Probenentnahmestelle gezogen.

Es wurden Versuche zur Beurteilung des Abscheidevermögens des Hydrozyklonabscheiders Filstar mit einem Volumenstrom von 750, 1000 und 1300 l/h (12,5 / 16,7 / 21,7 l/min) gefahren. Es ist aber bei keinem der drei Versuche ein nur nahezu annähernd ausreichendes Abscheidevermögen zu beobachten. Die folgende Abbildung (Bild 3.6) zeigt die Messdaten der während des Versuchs mit einem Volumenstrom von 1300 l/h genommenen Proben.



**Bild 3.6: Messdaten Filstar-Versuch 1300 l/h**

Die Kurven der Proben liegen so dicht zusammen, dass eine Unterscheidung im Rahmen der Messungenauigkeit nicht möglich ist. Es ist keinerlei Aufreinigungs- oder Aufkonzentrationseffekt ersichtlich. Alle Kurven der liegen aber deutlich über der Kurve des Permeats der Membranfiltration. Die Versuchsergebnisse lassen den Schluß zu, dass der Hydrozyklonabscheider Filstar ungeeignet ist die vorhandenen Feststoffe zuverlässig aus dem Feuchtwasser zu entfernen.

### **3.3 Selbstreinigender Automatikfilter**

Automatikfilter sind durch ihren hohen technischen Aufwand und dem daraus resultierenden hohen Preis als Vorfiltrationseinheit zu teuer. Ein weiterer gravierender Nachteil ist das große Volumen an Feuchtwasser, das zum Austragen des angesammelten Feststoffs und zum Abreinigen der Filterkerze benötigt wird. Dieses Volumen an Feuchtwasser müßte gesondert aufbereitet werden, was einen weiteren technischen Aufwand bedeutet. Dieses Feuchtwasservolumen zu entsorgen ist nicht wirtschaftlich und ökologisch nicht sinnvoll. Aus diesen Gründen wurde kein Automatikfilter in Form eines Teststandes vor Ort in der Druckerei getestet.

## **4. Membranfiltration**

### **4.1 Die kleine Technikumsanlage**

Die Hauptbestandteile der mobilen Technikumsanlage sind der Kreislaufbehälter, die Beschickungs- und Umwälzpumpe, sowie die Membranmodule mit den Membranen. In jedes der drei Membranmodule wird jeweils ein Membranelement eingebaut. Das Anlagenprinzip ist eine Querstromfiltration für den quasikontinuierlichen Betrieb, mit einem offenen Kreislauf und vollständiger Konzentratrückführung. Sensoren und Messeinrichtungen sorgen für eine Visualisierung bzw. Aufnahme der wichtigsten Prozessgrößen durch einen PC. Die Prozessgrößen werden mittels eines speziellen Programms aufgenommen und gespeichert.

Ein Kreislaufbehälter ist zur Kühlung doppelwandig ausgeführt. Durch einen kapazitiven Füllstandssensor wird der Füllstand im Kreislaufbehälter kontrolliert. Fällt der Füllstand unter einen Minimalwert ab, wird solange Feuchtwasser direkt aus dem Tank der Druckmaschine zugeführt, bis der maximale Füllstand erreicht ist. Das Volumen des geförderten Feuchtmittels wird durch einen Volumenstromzähler ermittelt. Beschickungspumpe wird eine Pumpe verwendet, die gleichzeitig für die Überströmung und den Druckaufbau zuständig ist. Die Drehzahl der Pumpe ist mittels eines Frequenzumrichters einstellbar, wodurch die Überströmung eingestellt werden kann. Der Druck wird über eine Drosselstelle nach den Membranmodulen eingestellt. Die Pumpe fördert das Feuchtwasser aus dem Kreislaufbehälter unter Druck durch die Membranmodule und die darin eingebauten Membranen. Ein Teil des Volumenstroms an Feuchtwasser permeiert durch die Membranen und wird als gereinigtes Permeat zurück in den Tank der Feuchtwasseraufbereitungsanlage geleitet. Der restliche Feuchtwasservolumenstrom wird zurück in den Kreislaufbehälter geführt. Da dieser Reststrom um den Anteil des Permeats geringer ist, aber noch den gesamten Feststoff enthält, konzentriert sich der Feststoff im Lauf der Filtration auf. Wenn ein Maximalwert erreicht ist wird das Konzentrat aus dem Kreislaufbehälter abgelassen und die Anlage nach einer eventuell nötigen Reinigung erneut befüllt.

Mit Sensoren werden der Druck, vor und nach den Membranmodulen, die Temperatur im Kreislaufbehälter und vor dem Eintritt in die Membranmodule registriert. Der Volumenstrom des Permeats und der Gesamtvolumenstrom vor den Membranmodulen werden mit Flügelradmessgeräten ermittelt. Die Daten werden sowohl lokal durch Displays und Zeigerinstrumente angezeigt, als auch zur Aufzeichnung an einen Messdatenrechner übertragen. Auf diesem Rechner werden die gesammelten Daten online visualisiert.

#### **4.1.1 Feldversuche in der Druckerei Color-Druck in Pforzheim**

Color-Druck ist ein mittelständiges Unternehmen mit 225 Mitarbeitern. Und erzielt einen Jahresumsatz von 33 Mio. Euro. Das Unternehmen ist neben der Produktion von Massenaufgabe mittels Rollenoffset-Druck auf hochwertige, maßgeschneiderte Druckerzeugnisse spezialisiert. Die Filtrationsanlage wurde an den Feuchtwassertank einer 64-Seiten-MAN-Roland LITHOMAN IV-Rollenoffset-Maschine über einen Schlauch angeschlossen. Nach der Filtration wurde über einen weiteren Schlauch das Permeat in den Feuchtmittelbehälter zurückgeführt. Das gesamte Volumen des in der Druckmaschine zirkulierenden Feuchtmittels beträgt ungefähr 400 Liter. Die Rollenoffset-Druckmaschine ist bis dato mit einer Vorreinigung ausgestattet. Dabei sind Schaumstoffmatten in den Vorratsbehälter gelegt und werden mit dem zurückgeführten Feuchtmittel quasi begossen. Mit diesen Matten kann nur eine geringe Reinigung stattfinden. Hauptsächlich werden grobe Papierpartikel zurückgehalten, aber keineswegs Farbstoffe und auch keine sonstigen gelösten Chemikalien. Zusätzlich wird das Feuchtwasser mit einem Beutelfilter der Firma GRAFIX ConTemp gereinigt.

In dieser Druckerei wird mit IPA-haltigem Feuchtwasser gearbeitet zusätzlich kommen Feuchtmittel der Firma DruckChemie zum Einsatz. Der IPA-Gehalt beträgt je nach Druckauftrag 2 bis 3 Vol.-%, die des Feuchtmittelzusatzes in der Regel 3,5 Vol.-%.

Es wurden insgesamt vier verschiedene Membranen getestet. Hierbei sollte vor allem getestet werden, wie sich die verschiedenen Membranen auf die zeitliche Stabilität des Filtrationsprozesses, gerade im Hinblick auf die hohe Feststoffbeladung des Feuchtwassers, auswirken. Des weiteren war zu untersuchen, ob durch die Wahl einer geeigneten Membran auf einen bisher für nötig gehaltenen Vorfiltrationsschritt verzichtet werden kann. Anhand dieser Tests mit der kleinen mobilen Technikumsanlage sollte eine geeignete Membran für eine größer dimensionierte Prototypenanlage ausgewählt werden.

#### **Inopor Membran:**

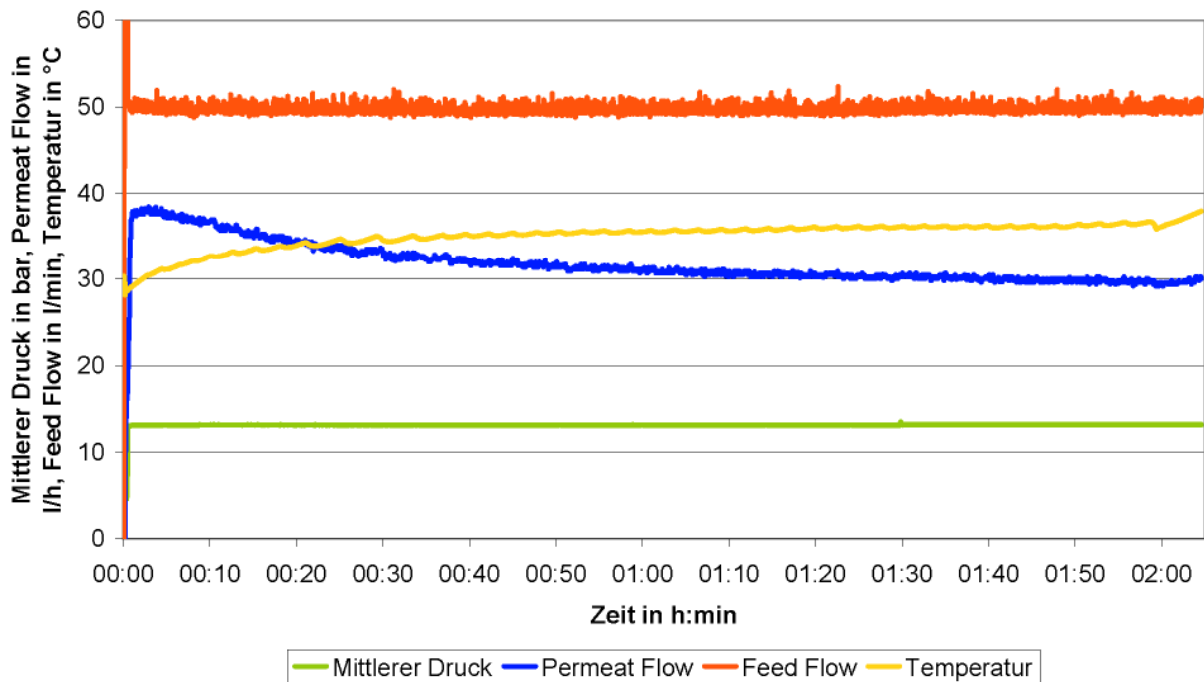
Hersteller Inopor GmbH, ehemals Inocermic GmbH  
19 Kanäle mit 3,5 mm Durchmesser

#### **Ergebnisse Aufkonzentrationsversuche:**

Mit dieser Membran wurden Aufkonzentrationsversuche mit einer Gesamtdauer von 10 Stunden durchgeführt. Während dieser Versuchsdauer wurden insgesamt ca. 350 l Permeat erzeugt und eine maximale Ausbeute von 94 % erreicht. In Bild 4.1 ist der zeitliche Verlauf des gemittelten Drucks (zwischen Membran-Eingang und Ausgang), des Permeat und des Feed Volumenstroms (Permeat und Feed Flow), sowie der Temperatur eines typischen Aufkonzentrationsversuchs mit der Inopor Membran dargestellt.



## Aufkonzentrationsversuch



**Bild 4.1: Aufkonzentrationsversuch Inopor Membran**

Während des gesamten Versuchs waren der gemittelte Druck und der Feed Flow konstant. Der mittlere Druck beträgt 12 bar, der Feed Flow 50 l/min, was einer Überströmungsgeschwindigkeit von 4,5 m/s entspricht. Im Verlauf des Versuchs steigt die Temperatur von anfänglich ca. 28 °C auf ca. 37 °C und verbleibt auf diesem Niveau nahezu konstant. Der Permeat Flow sank während des Versuchs von 38 l/h (127 l/h\*m<sup>2</sup>) zu Beginn ständig weiter ab auf einen Wert von 29 l/h (97 l/h\*m<sup>2</sup>) zum Ende des Versuchs. Es war nicht zu erkennen, dass ein nahezu konstanter Wert des Permeat Flows erreicht wird. Also ist kein über einen längeren Zeitraum stabiler Membranfiltrationsprozess mit dieser Membran zu erwarten.

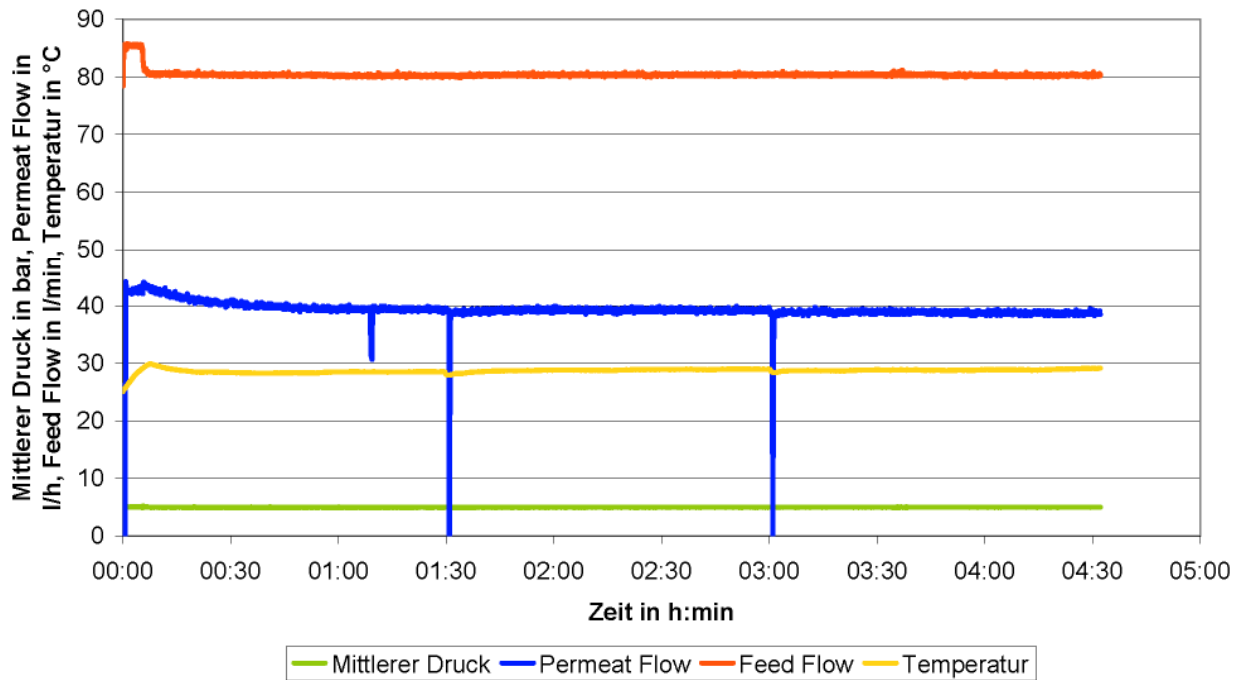
### Tami Membran 1:

Hersteller Tami Industries  
23 Kanäle mit 3,6 mm Durchmesser

### **Ergebnisse Aufkonzentrationsversuche:**

Mit dieser Membran wurden Aufkonzentrationsversuche mit einer Gesamtdauer von knapp über 40 Stunden durchgeführt. Während dieser Versuchsdauer wurden insgesamt mehr als 1300 l Permeat erzeugt und eine maximale Ausbeute von >97 % erreicht. In Abbildung 4.2 ist der zeitliche Verlauf des mittleren Drucks, des Permeat und des Feed Volumenstroms (Permeat und Feed Flow), sowie der Temperatur von typischen Aufkonzentrationsversuchen mit der Tami Membran 1 dargestellt. Bild 4.5 zeigt den Verlauf der Kennlinien der Membran nach einer gewissen Einlaufphase dargestellt.

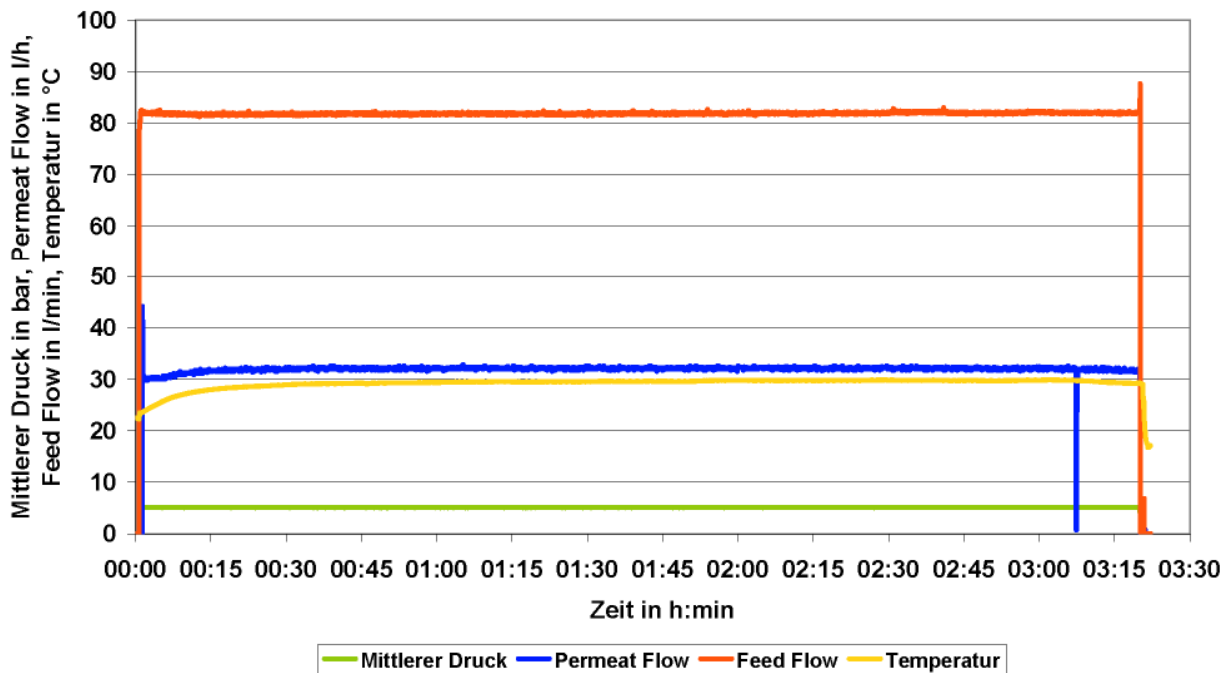
### Aufkonzentrationsversuch



**Bild 4.2: Aufkonzentrationsversuch Tami Membran 1**

Während des gesamten Versuchs sind der gemittelte Druck und der Feed Flow konstant. Der gemittelte Druck beträgt 5 bar, der Feed Flow 80 l/min, was einer Überströmungsgeschwindigkeit von 5,5 m/s entspricht. Die Temperatur blieb während des gesamten Versuchs nahezu konstant auf einem Wert von 29°C. Der Permeat Flow sank zu Beginn des Versuchs etwas ab und pendelte sich dann auf einem Wert von 40 l/h (89 l/h\*m<sup>2</sup>) ein. Es wird über einen längeren Zeitraum ein nahezu konstanter Permeat Flows erreicht.

### Aufkonzentrationsversuch



**Bild 4.3: Aufkonzentrationsversuch Tami Membran 1 nach Einlaufphase**

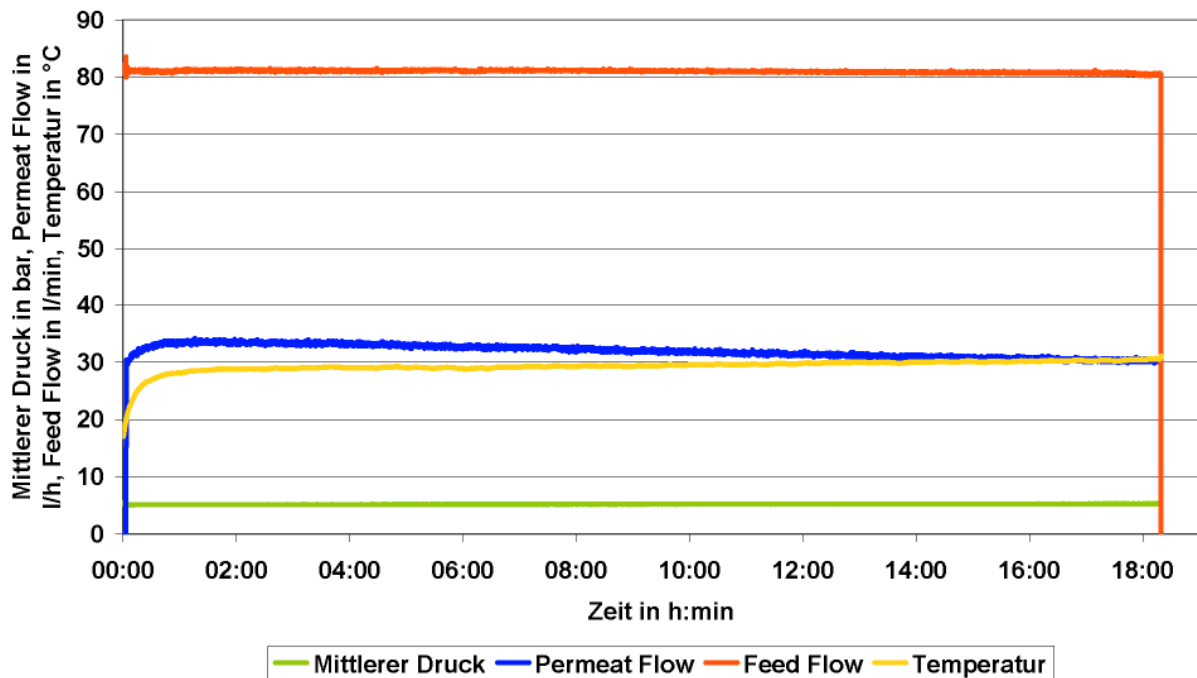
Auch in diesem Versuch sind der mittlere Druck und der Feed Flow konstant. Der mittlere Druck beträgt 5 bar, der Feed Flow 80 l/min, was einer Überströmungsgeschwindigkeit von 5,5 m/s entspricht. Die Temperatur stieg zu Beginn des Versuchs an und erreichte nach einiger Zeit einen nahezu konstanten Wert von 30°C. Der Permeat Flow war bis auf einen leichten Anstieg am Versuchsbeginn nahezu konstant bei 33 l/h (73 l/h\*m<sup>2</sup>). Es wird über einen längeren Zeitraum ein sehr konstanter Permeat Flows erreicht.

Der Permeat Flow der neuen Membran liegt mit 40 l/h (89 l/h\*m<sup>2</sup>) etwas über dem Permeat Flow von 33 l/h (73 l/h\*m<sup>2</sup>), der nach einer Einlaufphase erreicht wird. Aber beide Kurvenverläufe zeigen einen über einen längeren Zeitraum als konstant zu betrachteten Permeat Flow, so dass ein zeitlich stabiler Filtrationsprozess mit dieser Membran zu erwarten ist

#### Ergebniss Langzeit-Aufkonzentrationsversuch:

Um weitere Erfahrungen über das Langzeitverhalten der Tami Membranen 1 zu sammeln, wurden ein Langzeit-Aufkonzentrationsversuch durchgeführt. Während diesem Versuch wurden 585 l Permeat in einer Zeit von 18,3 Stunden erzeugt, was eine Ausbeute von etwas mehr als 97 % ergibt. Der Verlauf der Kennlinien des Langzeit-Aufkonzentrationsversuchs ist in Bild 4.4 aufgetragen.

### Langzeit-Aufkonzentrationsversuch



**Bild 4.4: Langzeit-Aufkonzentrationsversuch Tami Membran 1**

Wie in der vorherigen Versuchen mit dieser Membran war der mittlere Druck und der Feed Flow konstant. Der mittlere Druck beträgt 5 bar, der Feed Flow 80 l/min, was einer Überströmungsgeschwindigkeit von 5,5 m/s entspricht. Die Temperatur stieg zu Beginn des Versuchs an und erreicht nach einiger Zeit einen nahezu konstanten Wert von 30°C, mit einer leicht steigenden Tendenz. Der Permeat Flow stieg zu Beginn des Versuchs rasch auf etwa 33 l/h (73 l/h\*m<sup>2</sup>) an. Von diesem Wert aus fiel der Permeat Flow über etwa 18 Stunden hinweg bis auf 30 l/h (67 l/h\*m<sup>2</sup>) ab. Das Absinken des Permeat Flows ist auf die lange Versuchsdauer hingesehen sehr gering und durch die steigende Feststoffkonzentration im Filtrationskreislauf zu erklären. Mit der Tami Membran 1 ist es möglich einen stabilen Filtrationsprozess zu erreichen.

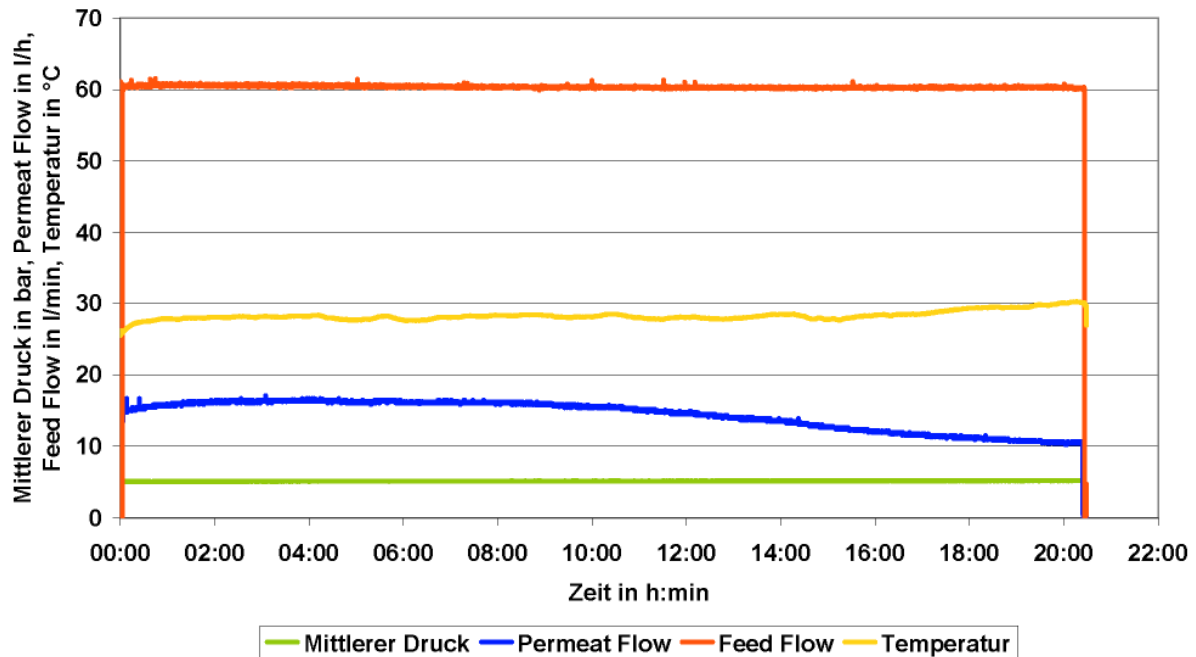
#### **Membraflow Membran:**

Hersteller GEA Westfalia Seperator Membraflow  
19 Kanäle mit 3,5 mm Durchmesser

#### **Ergebnisse Langzeit-Aufkonzentrationsversuche:**

Auf die Durchführung von Aufkonzentrationsversuchen mit dieser Membran wird verzichtet und statt dessen wurden zwei Langzeit-Aufkonzentrationsversuche mit einer Dauer von insgesamt 40,5 Stunden durchgeführt. Dabei wurden ca. 540 l Permeat erzeugt und eine Ausbeute von knapp unter 94 % erreicht. In Bild 4.5 ist der zeitliche Verlauf des mittleren Drucks, des Permeat und des Feed Volumensstroms (Permeat und Feed Flow), sowie der Temperatur eines Langzeit-Aufkonzentrationsversuchs mit der Membraflow Membran dargestellt.

### Langzeit-Aufkonzentrationversuch



**Bild 4.5: Langzeit-Aufkonzentrationsversuch Membraflow Membran**

Während des gesamten Versuchs war der Druck und der Feed Flow konstant. Der mittlere Druck beträgt 5 bar, der Feed Flow 50 l/min, was einer Überströmungsgeschwindigkeit von 4,5 m/s entspricht. Am Anfang des Versuchs steigt die Temperatur rasch auf 28°C an und verbleibt auf diesem Niveau nahezu konstant. Zum Ende des Versuchs hin stieg die Temperatur auf 30°C. Der Permeat Flow während der ersten 9 Stunden des Versuchs ist, abgesehen von einem geringen Anstieg ganz zu Beginn, nahezu konstant bei einem Wert von 16 l/h (53 l/h\*m<sup>2</sup>). Zum Ende hin fiel der Permeat Flow dann auf 10 l/h (33 l/h\*m<sup>2</sup>) ab. Es war zwar über einen gewissen Zeitraum ein fast konstanter Permeat Flow zu beobachten, aber der Durchsatz dieser Membran liegt deutlich unterhalb, der Tami Membran 1. Es ist ein stabiler Filtrationsprozess eventuell möglich, doch das allgemein niedrige Niveau des Permeat Flows spricht gegen den Einsatz dieser Membran.

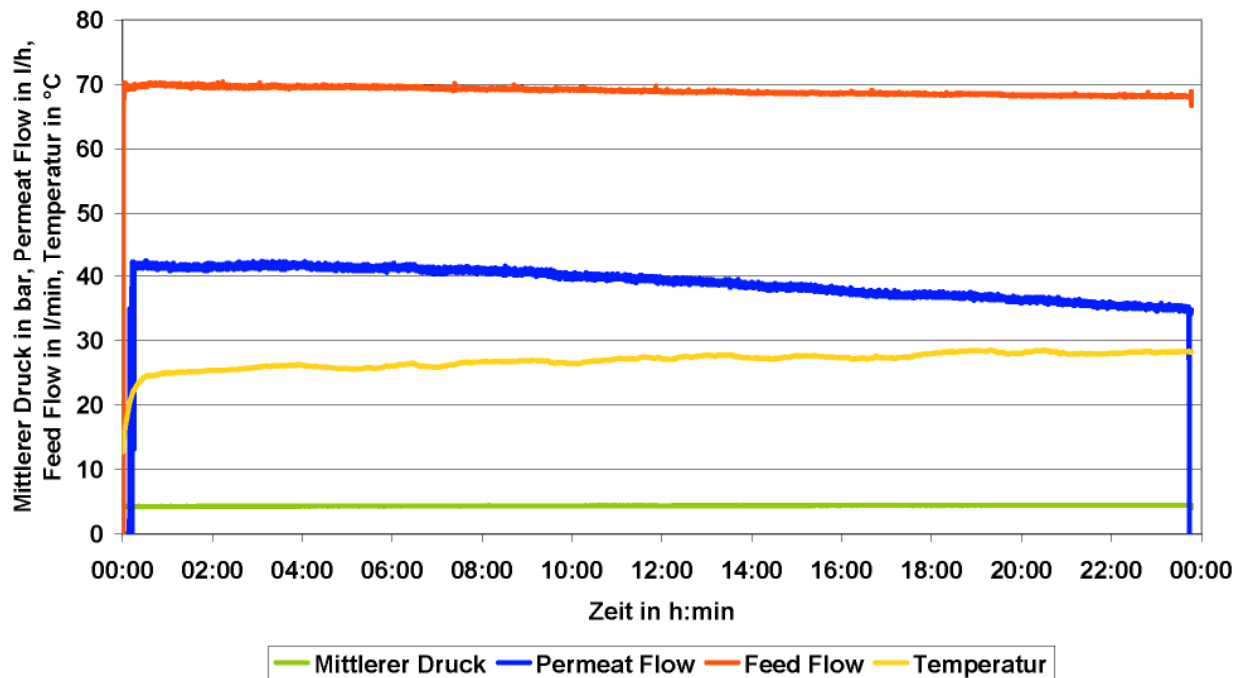
#### **Tami Membran 2:**

Hersteller Tami Industries  
39 Kanäle mit 2,5 mm Durchmesser

#### **Ergebnisse Langzeit-Aufkonzentrationsversuche:**

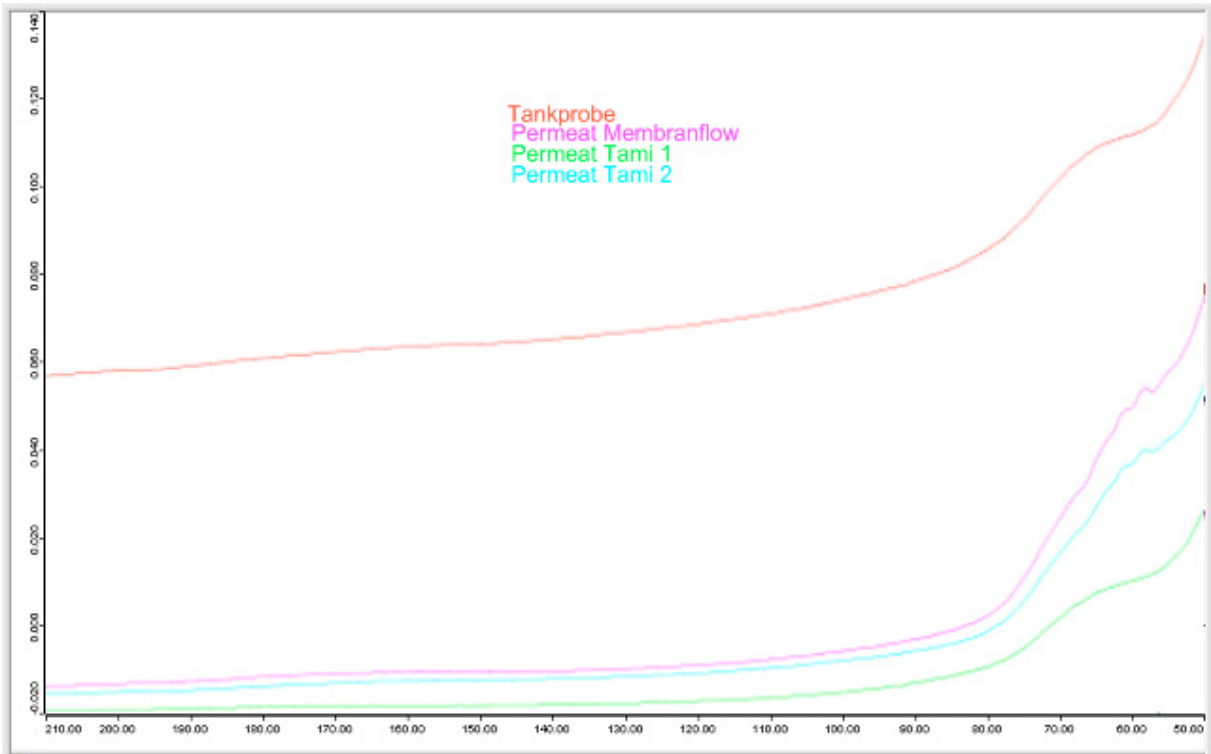
Mit dieser Membran wurde ebenfalls auf die Durchführung von Aufkonzentrationsversuchen verzichtet und statt dessen wurden sechs Langzeit-Aufkonzentrationsversuche mit einer Dauer von insgesamt fast 135 Stunden durchgeführt. Dabei wurden 4840 l Permeat erzeugt und eine Ausbeute >98 % erreicht. In Bild 4.6 ist der zeitliche Verlauf des mittleren Drucks, des Permeat und des Feed Volumenstroms (Permeat und Feed Flow), sowie der Temperatur eines Langzeit-Aufkonzentrationsversuchs mit der Tami Membran 2 dargestellt. Dieser Versuch wurde nach einer gewissen Einlaufphase der Membran durchgeführt. Es handelt sich also nicht um die Werte die mit der ganz neuen Membran erreicht werden. Der Wert des Permeat Flows der neuen Membran liegt etwas höher, konnte aber leider nicht korrekt aufgezeichnet werden, da er außerhalb des Messbereichs des Durchflussmessgerätes liegt. Beim Auslitern von Hand wurde ein Permeat Flow von 45 bis 50 l/h (75 bis 83 l/h\*m<sup>2</sup>) ermittelt.

### Langzeit-Aufkonzentrationsversuch



**Bild 4.6: Langzeit-Aufkonzentrationsversuch Tami Membran 2**

Während des gesamten Versuchs waren der mittlere Druck und der Feed Flow konstant. Der mittlere Druck beträgt 5 bar, der Feed Flow 70 l/min, was einer Überströmungsgeschwindigkeit von 5,5 m/s entspricht. Am Anfang des Versuchs stieg die Temperatur rasch auf 25°C an und steigt dann über die Versuchsdauer von fast 24 Stunden bis zu einem Wert von 28°C leicht an. Der Permeat Flow während der ersten 8 Stunden des Versuchs ist, abgesehen von einem geringen Anstieg ganz zu Beginn, nahezu konstant bei einem Wert von 41 l/h (68 l/h·m<sup>2</sup>). Zum Ende hin fällt der Permeat Flow dann auf 35 l/h (58 l/h·m<sup>2</sup>) ab. Es ist zwar ein gewisser Abfall des Permeat Flows zu beobachten, dieser ist aber bezogen auf die Versuchsdauer gering. Außerdem ist der mit dieser Membran erzielte Permeat Flow absolut gesehen der höchste unter den getesteten Membranen. Außerdem ist in Bild 4.7 zu erkennen, dass es im Auswertebereich keine signifikanten Unterschiede in der Qualität des erzeugten Permeats zwischen den Tami Membranen 1 und 2 bzw. der Membraflow Membran gibt. Als Referenz ist neben den Kurven des Permeats auch eine Kurve einer Probe des verschmutzten Feuchtwassers aus dem Tank aufgetragen. Deshalb wurde diese Membran für den Einbau in der leistungsfähigeren Technikumsanlage im Prototypenmaßstab ausgewählt.



**Bild 4.7: Vergleich Permeat der verschiedenen Membranen**

## 4.2 Die große Technikumsanlage

Diese Anlage im Prototypenmaßstab ist auf Basis der Ergebnisse der Versuche und Erfahrungen, die mit der kleinen mobilen Technikumsanlage gewonnen wurden ausgelegt. Das Anlagenprinzip ist, wie bei der kleinen mobilen Technikumsanlage eine Querstromfiltration für den quasikontinuierlichen Betrieb, mit einem offenen Kreislauf und vollständiger Konzentratrückführung.

Die Hauptbestandteile, neben dem Membranmodul mit den Membranen sind der Kreislaufbehälter, und die Zirkulationspumpe. Weitere Bestandteile sind die Pumpen zur automatischen Befüllung und Entleerung sowie diverse elektromagnetische und pneumatische Ventile. Der Füllstand im Kreislaufbehälter wird konduktometrisch überwacht. Fällt der Füllstand unter den minimalen Arbeitsfüllstand, wird solange Feuchtwasser aus der Feuchtwasseranlage der Druckmaschine zugeführt, bis der maximale Arbeitsfüllstand erreicht ist. Eine Pumpe fördert das Feuchtwasser aus dem Kreislaufbehälter unter Druck durch das Membranmodul und die darin eingebauten Filtrationsmembranen. Ein Teil des Volumenstroms an Feuchtwasser permeiert durch die Membranen und wird als gereinigtes Permeat zurück in den Tank der Feuchtwasseraufbereitungsanlage geleitet. Der restliche Feuchtwasservolumenstrom wird zurück in den Kreislaufbehälter geführt. Da dieser Reststrom um den Anteil des Permeats geringer ist, aber noch den gesamten Feststoff enthält, konzentriert sich der Feststoff im Lauf der Filtration auf



#### 4.2.1 Testbetrieb in der Druckerei Color-Druck in Pforzheim

Die große Technikumsanlage im Prototypenmaßstab wurde, wie schon die kleine mobile Technikumsanlage, in der Druckerei Color-Druck in Pforzheim an eine 64-Seiten-MAN-Roland-Lithoman IV-Rollenoffset-Maschine mittels Schläuchen angeschlossen und im Bypass betrieben. Das Feuchtwasservolumen beträgt ca. 400 Liter. Das Feuchtwasser hat einen IPA-Gehalt von 2 bis 3 Vol.-%. Das Zusatzmittel von DruckChemie wird in der Regel auf eine Konzentration von 3,5 Vol.-% eingestellt.

Vor der Inbetriebnahme der Filtrationsanlage, wurde ein Testlauf mit Wasser durchgeführt. Dabei wurde die Anlage auf Dichtigkeit geprüft und die Wasserwerte der Membran wurden bei verschiedenen Drücken gemessen. Diese Werte sind in der untenstehenden Tabelle 4.1 dargestellt.

Druck in bar	Flow in l/h	Flux in l/hm <sup>2</sup>
2	358,5	128,0
2,5	411,8	147,1
3	549,8	196,4
3,5	659,4	235,5

Tabelle 4.1: Wasserwerte

Der Druck wurde für alle nachfolgenden Tests mit Feuchtwasser auf 2,5 bar eingestellt. Zur Beurteilung des Filtrationsprozesses wurde der Permeatvolumenstrom abgelesen und der Verlauf über der Zeit aufgetragen. Außerdem wurden sowohl Permeatproben, als auch Proben des Feuchtwassers aus dem Tank der Druckmaschine genommen. Von den Tankproben wurde der Feststoffgehalt per Filtration bestimmt. Dazu wurde ein Volumen von 50 ml der Tankprobe in einer Nutsche mittels Unterdruck durch einen 0,45 µm Filter abfiltriert. Der Filter wurde im Neuzustand vor der Filtration gewogen. Nach der Filtration wurde der mit dem Feststoff beladene Filter eine Stunde bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet und danach gewogen. Die Differenz zwischen dem Gewicht des neuen Filters und des mit Feststoff beladenen Filters ergibt den Feststoff, der sich in der Probe befindet.

In Bild 4.8 ist der zeitliche Verlauf des Permeatflows dargestellt. Hierbei werden 3 Versuchsreihen unterschieden. Während der 1. Versuchsreihe ergibt sich ein Ausbeute von ca. 97 %. In der 2. steigt die Ausbeute auf ca. 98 %. In der 3. konnte die Ausbeute nochmals gesteigert werden und zwar auf 98,5 %.

Verlauf des Permeatflows

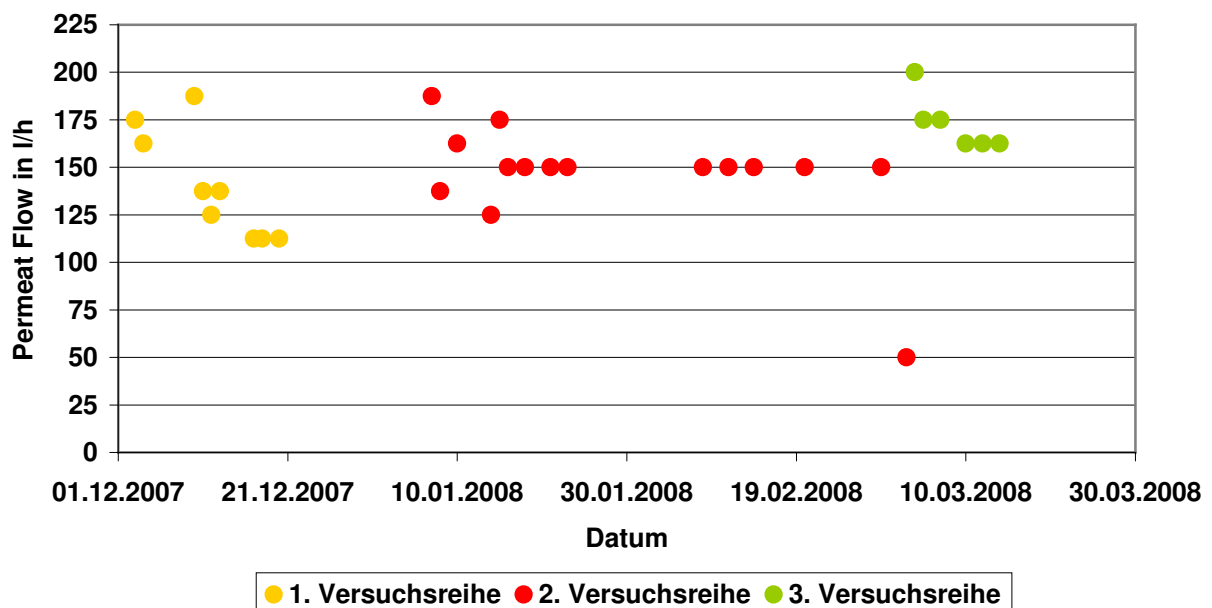


Bild 4.8: Verlauf des Permeatflows

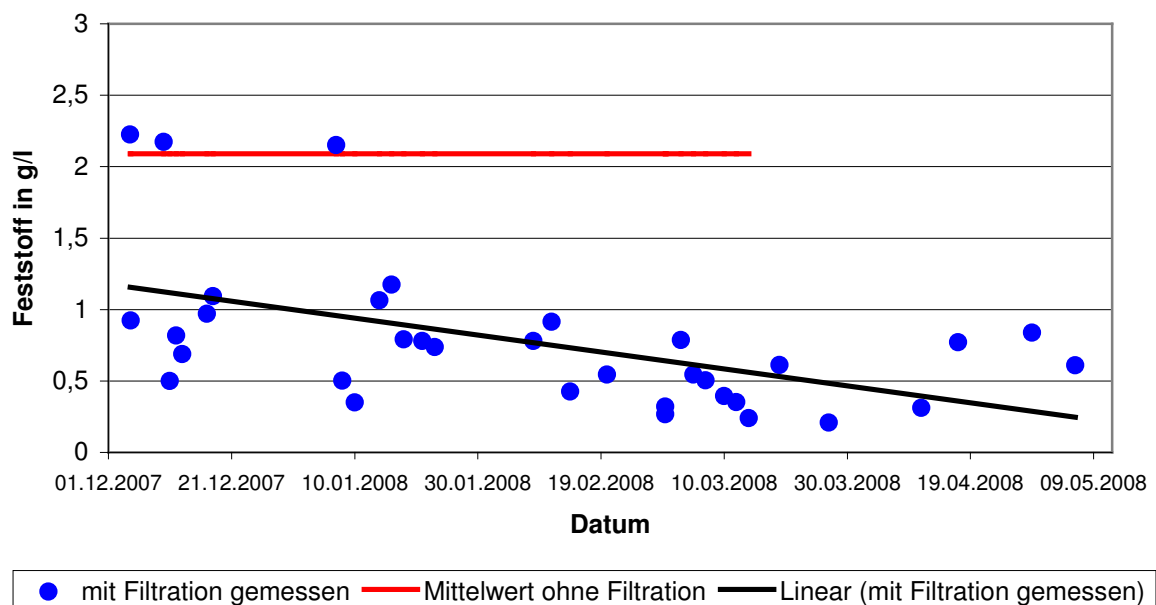
Während der 1. Versuchsreihe vom 03.12 bis 20.12.2007 lag der Permeatflow zwischen knapp 190 und etwas mehr als 110 l/h (Flux 67,9 bis 39,3 l/h\*m<sup>2</sup>). Es ist bis auf einen Punkt ein abnehmender Trend des Flow zu erkennen. Dies könnte auf die Tatsache zurück zu führen sein, dass ab dem 17.12.2007 sehr viel Schmutz durch ein Papier niedriger Qualität ins Feuchtwasser eingetragen wird. Am 20.12.2007 wurde die Filtrationsanlage gereinigt und bis zum 7.1.2008 wegen Betriebsferien in der Druckerei Color-Druck Pforzheim stillgelegt.

Der Permeatflow während der 2. Versuchsreihe vom 7.1.2008 bis zum 3.3.2008 lag um 150 l/h (Flux 53,6 l/h\*m<sup>2</sup>). Am Anfang sind einige Abweichung sowohl nach oben, als auch unten zu sehen, aber im Mittel liegt der Flow bei ca. 150 l/h. Nach diesen Abweichungen in der Anfangsphase bleibt der Wert aber konstant auf 150 l/h. Am 3.3.2008 fällt der Permeatflow auf 50 l/h (Flux 17,9 l/h\*m<sup>2</sup>) ab. Die Reinigung wird manuell ausgelöst. Nach der Reinigung erhöhte sich der Permeatflow auf 200 l/h (Flux 71,4 l/h\*m<sup>2</sup>).

Ab dem 4.3.2008 lief die 3. Versuchsphase. Der Permeatflow sank von anfänglich 200 l/h (Flux 71,4 l/h\*m<sup>2</sup>) auf 162,5 l/h (Flux 58 l/h\*m<sup>2</sup>) und verblieb auf diesem Niveau auch in den folgenden Wochen.

Der zeitliche Verlauf des Feststoffgehalts im Feuchtwassertank der Druckmaschine ist in Abbildung 4.9 grafisch dargestellt. Hierbei wurde der Feststoffgehalt im Labor durch Filtration der Feuchtwasserprobe über einen 0,4 µm Filter ermittelt. Der Feststoffgehalt des Feuchtwassers liegt bis auf drei Werte immer deutlich unterhalb von 1,5 g/l. Die drei Werte, die oberhalb von 1,5 g/l liegen sind gemessen worden, nachdem die Filtrationsanlage eine gewisse Zeit nicht gelaufen ist. Sie zeigen, also den Feststoffgehalt des Feuchtwassers ohne Filtration. Der Mittelwert, des Feststoffgehalts ohne Filtration beträgt ca. 2,1 g/l. Über alle Messwert gesehen ist ein deutlich abnehmender Trend des Feststoffgehalts zu erkennen. Der Mittelwert des Feststoffgehalts mit Filtration beträgt etwa 0,7 g/l, was einer Verminderung gegenüber dem Mittelwert ohne Filtration von etwa 70% entspricht. Die auftretenden Schwankungen des Feststoffgehalts sind durch unterschiedliche Druckaufträge, unterschiedliche Papierqualitäten und eventuelle Maschinenstillstandszeiten zu erklären.

**Feststoffgehalt im Feuchtwassertank**



**Bild 4.9: Zeitlicher Verlauf des Feststoffgehalt im Feuchtwassertank**

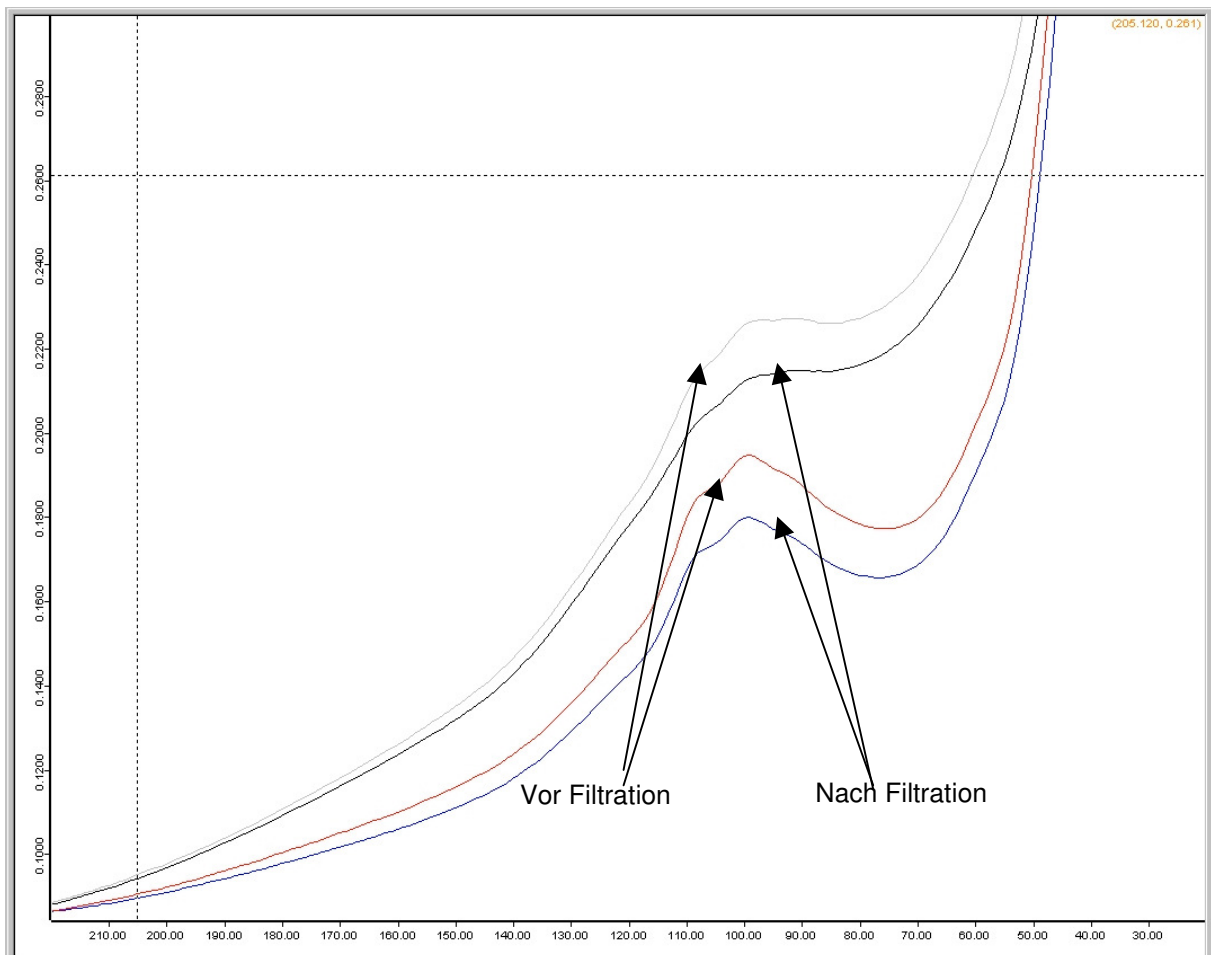
## **Reinigungsstrategie**

Eine monatliche Reinigung hat sich während der Pilotierung als ausreichend herausgestellt. Diese Reinigung ist notwendig, da in der Druckerei Color-Druck normales Leitungswasser und kein ionengetauschtes oder Umkehrosmosewasser als Feuchtwasserbasis verwendet wird. Durch die Reinigung werden Kalkablagerungen von den Membranen entfernt. Eventuell sollte eine Komplettreinigung der Anlage 1 bis 2 mal im Jahr durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass sich kein Biofilm auf den Membranen bildet und die Filterleistung negativ beeinflusst.

## 5. Einzelkomponentenmessung mit dem Mess- und Regelsystem OPTOSCAN

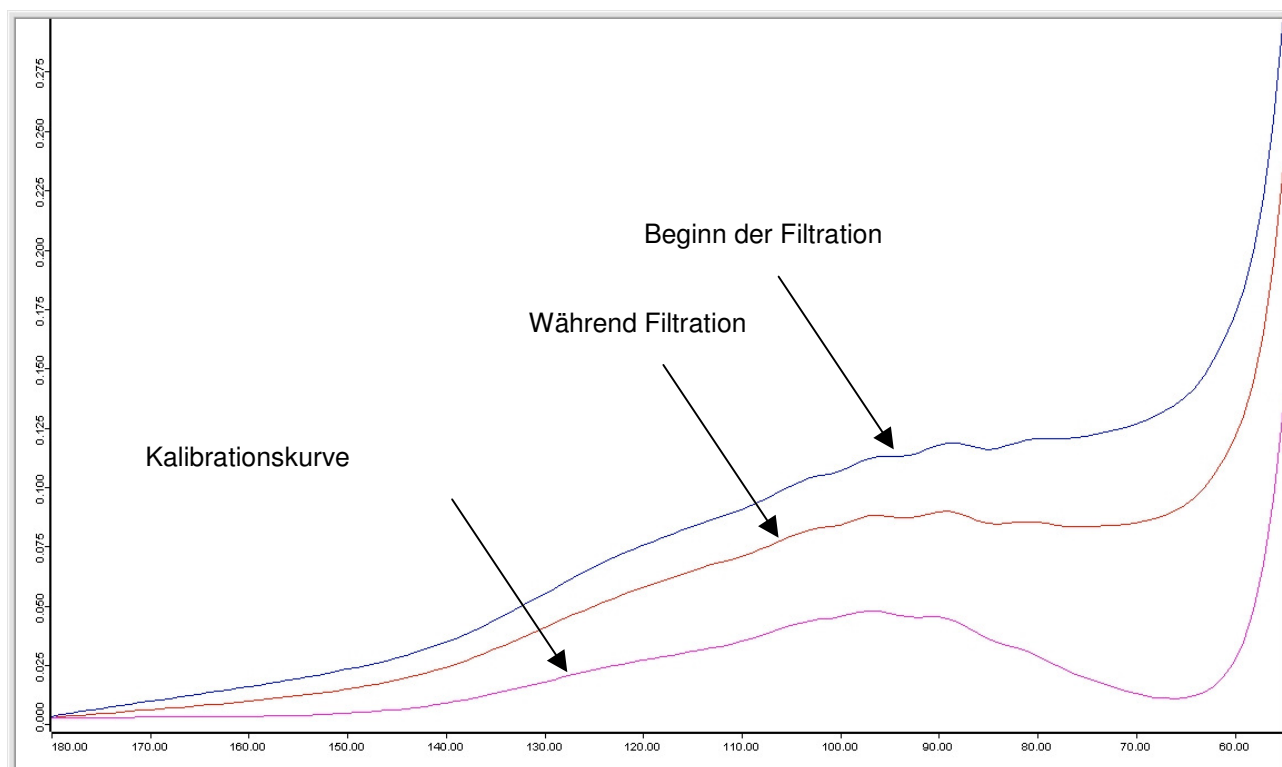
### 5.1 Messung und Regelung der Gesamtkonzentration in Kombination der Membranfiltrationsanlage

Mit Ende der Phase II konnten Messungen und Kalibrierungen an Einzelkomponenten unter Realbedingungen noch nicht durchgeführt werden, da sich in realen Feuchtwässern noch störenden Komponenten sowie Verunreinigungen und evtl. andere, die Messung negativ beeinflussende, Störkomponenten befinden. Messungen unter Realbedingungen sowie weiterführende Forschungen in Kombination mit der Membranfiltrationsanlage wurden bereits mit Ende der zweiten Projektphase am Standort bei Color-Druck in Pforzheim eingeleitet. Hier wurde, im Prototypenmaßstab, das Ziel der Zusammenführung der Filtrationsanlage der Hochschule Karlsruhe und des Mess- und Regelsystems der Firma UNISENSOR de facto erreicht. Die ersten Testläufe zeigten bereits die positiven Effekte der Filtration auf die Additivmessung. Einen Eindruck dieser ersten Testläufe und Messungen vermittelt Bild 5.1.



**Bild 5.1: Unterschiedliche Messdaten der ersten Testläufe bei Color-Druck in Pforzheim vor und nach der Filtration bei konstant geregelter Gesamtkonzentration des Additivs**

Trotz der zu kleinen Dimensionierung der Filtrationsanlage für einen solch großen Feuchtwasserkreislauf, konnten die Konzentrationen feiner Partikel von Störstoffen deutlich verringert werden. Dies hat noch stabilere Messwerte und wesentlich geringeren Kalibrier Aufwand zur Folge, da weniger Fremdstoffe und Querempfindlichkeiten dem Messsystem bekannt gemacht werden müssen. Die Feuchtwasserqualität konnte dauerhaft sauber und konstant gehalten werden. Identische Messergebnisse wurden nach dem Wechsel auf die größer dimensionierte Filtrationsanlage erzielt. Bild 5.2 zeigt die Messdaten zu Beginn und während der Filtration bei konstant gehaltener Gesamtkonzentration des Additivs von 3,5%, sowie eine Kalibrierkurve von ebenfalls 3,5%.



**Bild 5.2: Unterschiedliche Messdaten nach Installation einer größer dimensionierten Filtrationsanlage vor und während der Filtration bei konstant geregelter Gesamtkonzentration des Additivs und Kalibrationskurve**

Die dargestellten Messdaten wurden der Übersicht wegen am linken Bildrand auf einen Punkt zusammen geschoben. Es lässt sich erkennen, dass mit aktiver Filtration sich die Feuchtwasserqualität der Kalibrationsprobe annähert, was eine stabilere Messung der Gesamtkonzentration zur Folge hat und somit eine gute Grundlage für die Messung einzelner Komponenten oder Komponentengruppen des Konzentrates im Feuchtwasser bildete.

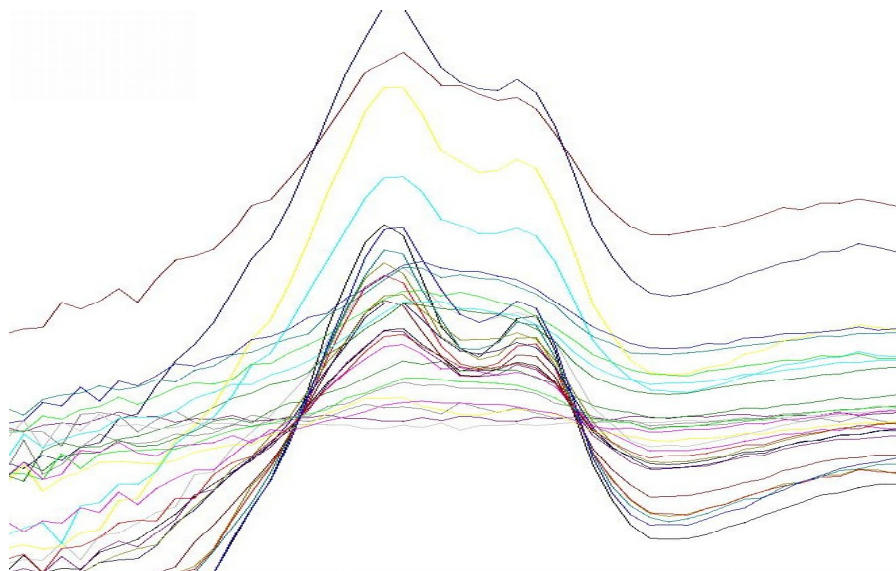
Die Messung und Regelung einzelner Additivkomponenten oder Komponentengruppen sollte basierend auf diesen Ergebnissen zu Abschluß des Projektes in Kombination mit der Filtrationsanlage am Standort in Pforzheim bei der Druckerei Color-Druck stattfinden. Leider stellte sich heraus, dass DruckChemie, Hersteller des Additivs bei Color-Druck, aus Geheimhaltungsgründen die Rezeptur des Konzentrates nicht offenlegen wollte. Somit konnte dieses Vorhaben an diesem Standort leider nicht durchgeführt werden.

## 5.2 Messung und Regelung der Konzentration von Einzelkomponenten

Basierend auf den erfolgreichen Kalibrationen von Einzelkomponenten eines Zusatzmittelkonzentrates der Firma Fuji-Film (ehem. Fuji-Hunt) aus Phase I und II des Projektes wurden die Arbeiten an einem industriefähigen Prototypen zur Messung und Regelung der Komponenten im Feldversuch weiter voran getrieben. Hierfür wurde das System nach Änderungen im optischen Messweg und am mechanischen Aufbau neu auf die inerten Einzelkomponenten kalibriert. Die bisher erzielten Messungen, Kalibrierungen und Ergebnisse konnten bisher nur im Labormaßstab und unter Reinbedingungen durchgeführt und getestet werden.

Im Laufe dieser Arbeiten kristallisierte sich heraus, dass dieses Additiv der Firma Fuji-Film mit welchem die bisherigen Ergebnisse erzielt wurden in der Form nicht mehr am Markt zum Einsatz kommt. Wie im voran gegangenen Kapitel erwähnt, stellte sich heraus, dass die Messung und Regelung von Einzelkomponenten in Kombination mit der Filtrationsanlage bei Color-Druck nicht durchgeführt werden konnte. Somit wurde es notwendig kurzfristig das Vorhaben, der Einzelkomponentenmessung neu zu definieren und die bisherigen Erfahrungen und Ergebnisse auf ein sich aktuell am Markt befindlichen Additiv der Firma Fuji-Film zu übertragen. Um dieses Additiv untersuchen zu können, stellte Fuji-Film UNISENSOR freundlicherweise Proben der einzelnen Bestandteile zur Verfügung, sowie seine Rezeptur. Da diese Daten selbstverständlich streng vertraulich behandelt werden müssen, wurden die Namen der einzelnen Komponenten analog zu den bisherigen Versuchen mit den Buchstaben A bis Q substituiert. Die Einteilung erfolgte in PH-Puffer (Komponente A - D), Komplexbildner (Komponente E), Biozide (Komponente F), Alkohole (Komponente G - M), Tenside (Komponente N - P) und Korrosionsschutz (Komponente Q). Die Annahme, dass es sich bei dem neuen Additiv um eine Weiterentwicklung des bisherigen handelt und somit in den meisten Komponenten gleich oder ähnlich zusammengesetzt ist trat nicht ein, weshalb das weitere Vorgehen neu ausgerichtet werden musste.

Um vorab erste Eindrücke und Erfahrungen mit dem neuen Additiv zu sammeln wurden Kalibrierungen mit dem Gesamtkonzentrat erstellt. Hierzu wurde auch ein zweiter Auswertebereich herangezogen, welcher sich jedoch als nicht notwendig erwies. Allerdings wurden im Vergleich zu den vorherigen Versuchen im zweiten Auswertebereich andere Sensoren verwendet und somit auch der Auswertebereich insgesamt erweitert. In Bild 5.3 ist deutlich die Doppelpeak-Struktur, welche hauptsächlich von IPA herrührt, zu erkennen, während in den IPA-freien Proben ebenfalls eine Erhebung zu finden ist.



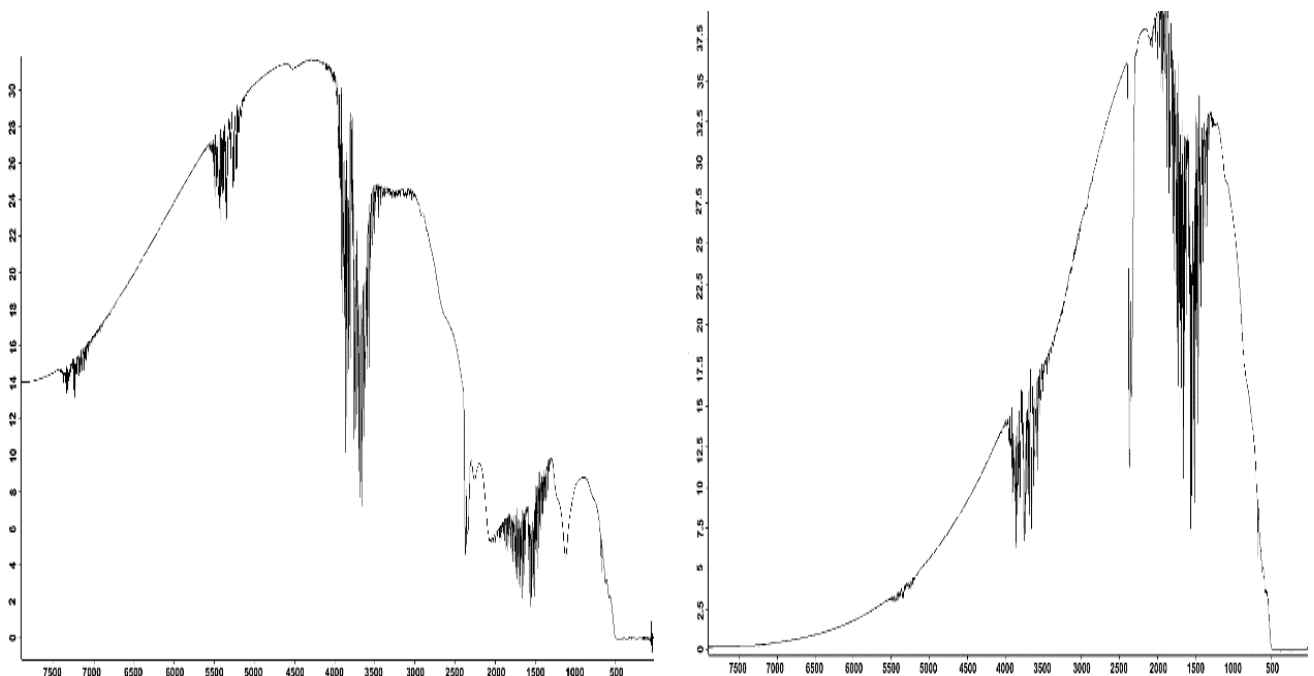
**Bild 5.3: Kalibrierproben im erweiterten Bereich**

Nach Analyse der neuen Einzelkomponenten zeigte sich, dass die Komponenten F, J und Q im ersten Auswertebereich ein charakteristisches Verhalten aufweisen. Daher war es naheliegend, aus diesen Komponenten ein 3-Komponentengemisch herzustellen und zu kalibrieren.

Nachdem das 3-Komponentengemisch erfolgreich kalibriert werden konnte, sollte anschließend die Frage geklärt werden, ob die Anwesenheit anderer Komponenten die Messung evtl. störend beeinflussen könnte. Daher wurde die Kalibration auch mit Beimengungen der übrigen Komponenten durchgeführt. Hierzu wurde zu jeder Probe so viel Zusatzmittel hinzugefügt, dass darin die Dosis von F, J und Q im Mittel noch einmal enthalten war. Dadurch verdoppelte sich die Konzentration der Proben F, J und Q in etwa, während die anderen Komponenten mit einfacher Konzentration vorhanden waren. Diese Proben wurden erneut kalibriert. Die hieraus resultierende Kalibrierung wurde anschließend mit einer der Kalibrationsproben, und zwei Testproben verifiziert. Zusätzlich wurde die Kalibrierung an zwei realen Feuchtwasserproben aus dem Druckprozess mit unterschiedlichen Konzentrationen überprüft, und die Ergebnisse mit den Konzentrationen laut Rezeptur des Zusatzmittelkonzentrates verglichen.

Mit den Einflüssen der anderen Komponenten konnten immerhin noch zwei Komponenten bestimmt werden. Das bedeutet, dass man mit dieser Kalibration voraussichtlich in der Lage sein sollte, die Konzentrationen mindestens zweier Komponenten in einem Feuchtmittelansatz nachzuweisen. In einem Test mit realen Feuchtwasserproben aus dem Druckprozess konnten diese Komponenten allerdings nicht mit der geforderten Genauigkeit nachgewiesen werden, was auf Querempfindlichkeiten mit weiteren noch unbekanntem Stoffen im realen Prozess schließen lässt. Um stabile Messungen im Prozess durchführen zu können müssen diese Stoffe der Kalibrierung ebenfalls bekannt sein.

Da im ersten Auswertebereich nur wenige Stoffe nachzuweisen waren, stellte sich die Frage, ob weitere Stoffe im erweiterten Bereich nachzuweisen sind. In bisherigen Versuchen wurde dieser Bereich aus zwei Gründen vernachlässigt, zum einen sind für solche Wellenlängen geeignete Sensoren sehr teuer und zum anderen macht sich hier die Wasserabsorption sehr stark bemerkbar. Dies lässt sich an der folgenden Abbildung der Intensitätsverteilungen zweier unterschiedlicher Strahlungsquellen erkennen. In diesen Darstellungen sind deutlich die Banden der Wasserabsorption und der Kohlenstoffdioxidabsorption zu sehen.



**Bild 5.4: Intensitätsverlauf zweier Strahlungsquellen für den erweiterten Auswertebereich**

Nach einigen grundlegenden Versuchen stellte sich heraus, dass die Schichtdicke im Bereich von einigen  $\mu\text{m}$  liegen musste. Da sich herausstellte, dass bei Schichtdicken im Bereich der Wellenlänge die Messungen durch Doppelreflexionen in der Küvette gestört werden, musste auch dies gelöst werden. Zunächst wurden Daten einer 10%- IPA- Lösung, einer 10%- Ethanol (vergällt)- Lösung, einem 3% Feuchtwasseransatz und einer realen Feuchtwasserprobe aufgenommen. Da ein erster Versuch recht vielversprechend war, wurden Recherchen zu verschiedenen Komponenten des Zusatzmittels durchgeführt. Dabei wurden vorrangig die Stoffgruppe der Alkohole berücksichtigt, da diese eine Hauptfunktionalität im Zusatzmittel einnehmen und mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht miteinander reagieren. Säuren und Basen, die pH-Puffer bilden blieben unberücksichtigt.

Prinzipiell scheint ein Nachweis einzelner Komponenten im erweiterten Auswertebereich möglich zu sein. Alle recherchierten Stoffe zeigen deutliche Struktur in einem ersten Bereich. Ein zweiter Bereich steht auch zur Messung zur Verfügung.

Probleme:

- Die Konzentration von IPA in realen Feuchtmitteln an Druckmaschinen beträgt ca. 3-4%, die Konzentration des Zusatzmittelkonzentrats liegt bei ca. 3%. Dadurch liegt die Konzentration einer einzelnen Komponente des Zusatzmittels im Feuchtwasser bei nur bei ca. 0,2%, bzw. je nach Komponente auch deutlich darunter. Dies bedeutet, dass IPA ein bis zwei Zehnerpotenzen höher dosiert wäre, als die zu messenden Einzelkomponenten.
- Trotz der dünnen Schichtdicke der Messzelle wirkt sich die Wasserabsorption stark aus. In einem Bereich liegen die eigentlich interessanten Peaks auf der Kante des messbaren Fensters.

Diese Messungen zeigten leider keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Die Strukturbildung der Alkohole war aufgrund der sehr niedrigen Konzentrationen der Komponenten von 0,007% bis 0,42% (bei 3% Additivkonzentration) nicht ausreichend bzw. überhaupt nicht vorhanden. Lediglich Isopropanol und Komponente G konnten aufgrund der Struktur nachgewiesen jedoch nicht mit der benötigten Genauigkeit qualitativ gemessen werden. Alle übrigen Stoffe waren nicht nachweisbar. Für die weitere Auswertung war eine Modifikation der Messeinrichtung notwendig, um die Nachweisgrenze zu erhöhen und auf diese Weise bessere Ergebnisse zu erzielen.

Hierzu wurde nun ein anderer Sensor und eine modifizierte Messzelle eingesetzt. Der neue Detektor zeichnet sich durch eine deutlich höhere Sensitivität gegenüber dem vorherigen (ca. Faktor 10) aus. Zudem wurde der optische Anwendungsbereich verändert. Hierzu war es weiterhin notwendig, die Strahlungsquelle zu ersetzen. Die geänderte Strahlungsquelle besitzt im festgelegten Auswertebereich eine höhere Intensität und erzeugt somit ein rauschärmeres Signal. Der Fokus der Messungen wurde auf den Nachweis der Alkohole gelegt, da diese das größte Nachweispotential besitzen und ihnen im Vergleich zu den anderen Komponenten im Druckprozess die größere Bedeutung zukommt. Zudem nehmen die Alkohole im Additiv den größten Volumenanteil in Anspruch.

Um einen Eindruck zu erlangen, an welchen Stellen die einzelnen Komponenten Messeffekte aufweisen, wurden diese einzeln vermessen. Die Konzentration der Komponenten betrug 3%. Alle Stoffe, ausgenommen Komponente F, haben eine auffällige Struktur. Es ist jedoch nicht klar, ob diese bei vorliegenden Konzentrationen im Feuchtwasser noch vom Rauschen unterschieden werden können. Komponente L hat mit  $25 \cdot 10^{-3}$  den größte optischen Messeffekt bei einer Konzentration von 3%. Die Komponente F zeigt keinen Messeffekt im ausgewerteten Bereich, an ihrer Messkurve wurde das Rauschen zu  $6 \cdot 10^{-4}$  Absorptionseinheiten bestimmt. Die Ansätze der Einzelkomponenten mit 3% Konzentration dienten vorerst der Bereichsfindung für eine Auswertung. Diese Konzentration ist bei 3% Additivkonzentration im Feuchtwasser jedoch deutlich geringer.



In aufwendigen Untersuchungen ist es gelungen den Messeffekt des Additivs künstlich anhand weniger Einzelkomponenten nachzuformen. Diese wenigen Komponenten zeigen bei 3% Konzentration strukturierte Messkurven. Diese 3% wurden jedoch nur zur Bereichswahl benutzt, im Feuchtwasser sind diese Komponenten bei 3% Additivkonzentration mit viel geringerer Konzentration vorhanden. Um eine Regelung der Einzelkomponenten realisieren zu können, müßten diese mit einer Genauigkeit von 10% der Sollwertkonzentration bestimmt werden können. Da das Grundrauschen des Sensors bei  $6 \cdot 10^{-4}$  Absorptionseinheiten liegt, müßten alle Komponenten mindestens einen Messeffekt von  $6 \cdot 10^{-3}$  Absorptionseinheiten besitzen um genau geregelt werden zu können. Zudem ist noch zu klären, ob die Messdaten unter Prozessbedingungen der sehr niedrigen Konzentrationen für eine Auswertung geeignet sind, da es zu Überlagerungen kommt. Mit den bisher erzielten Ergebnissen ist noch keine Regelung unter Prozessbedingungen möglich.

## **6. Wirtschaftliche Vorteile**

### **6.1 Wirtschaftliche Vorteile durch Regelung der Gesamtkonzentration**

Nachdem in verschiedenen typischen Rollendruckereien, z.B. Ringier Print, Schweiz, Broschek Rollenoffset, Lübeck, Kraft-Schlötels, Wassenberg, Kaufmann, Lahr, Evers-Druck, Meldorf, etc. die grundsätzliche Funktionalität der Messung und Regelung der Konzentrationen des Feuchtmitteladditivs nachgewiesen werden konnte, wurde im Rahmen von Phase I und Phase II ein Modell zur Wirtschaftlichkeitsberechnung des neuen Mess-, Regel- und Dosiersystems entwickelt. Das Modell beruht auf der Berücksichtigung von Steigerungen der Wirtschaftlichkeit des Druckprozesses infolge von Reduktion der Papiermakulatur, des Additivverbrauchs, der Maschinenwaschzeiten, des Alkoholeinsatzes und insbesondere auf der Berechnung der Zunahme der Produktivität der Drucklinie infolge der Erhöhung der mittleren Papierbahngeschwindigkeit durch die mit dem neuen Verfahren erzielte optimale Verfahrensführung. Ergebnisblätter einer typischen Wirtschaftlichkeitsrechnung sind auf den folgenden Seiten dargestellt.

# Kostenreduktion durch höheren Nutzungsgrad

Lithoman III

## ohne OPTOSCAN

Nutzungsgrad: 83,0 %

→ ca. 1.088 h Ausfallzeit / Jahr



## mit OPTOSCAN

Nutzungsgrad: 85,0%

→ ca. 960 h Ausfallzeit / Jahr

= - 128 h (= - 12%) Ausfallzeit / Jahr

Maschinenkosten<sup>\*\*</sup>: ca. € 910 /h

**mögl. Kostenreduktion: ca. € 116.480,- / Jahr**

\* Produktionsstunden / Jahr = 6400 ; \*\* Maschinenkosten  
= AfA, Personal, Umlage Gemeinkosten, etc.

# Kostenreduktion durch geringere Makulatur

Lithoman III

## ohne OPTOSCAN

Makulatur: ca. 253.228 U / Woche  
→ ca. 13.167.856 U / Jahr  
898.877 kg / Jahr



## mit OPTOSCAN

Makulatur: ca. 226.706 U / Woche  
→ ca. 11.788.512 U / Jahr  
-10%  
-94.158 kg / Jahr

94.158 kg x 0,77 €/kg

mögl. Kostenreduktion: ca. € 72.502,- / Jahr

\* Zylinderumfang: 0,89m  
ØPapiergewicht: 65 g/m<sup>2</sup>

Ø Bahnbreite: 1180mm  
Ø Papierpreis: 0,77€/kg

# Kostenreduktion durch Zusatzmittel-Reduktion

Lithoman III

## ohne OPTOSCAN

Zusatz - Verbrauch / Jahr bei 2,7%

→ ca. 29.207 kg / Jahr

Preis: 1,60 € / kg

€ 46.731,- / Jahr



## mit OPTOSCAN

Zusatz - Reduktion auf 2,5%







→ ca. 24.880 kg / Jahr

39.808 € / Jahr

46.731 €/a - 39.808 €/a

mögl. Kostenreduktion: ca. € 6.923,- / Jahr

# Gesamte Kosteneinsparung

	Lithoman III
 <b>Nutzungsgrad</b> 83% ↗ 85%	€ 116.480,-
 <b>Materialkosten</b>	
 Papiermakulatur	€ 72.502,-
 Additiv-Verbrauch	€ 6.923,-
 Waschzeiten	€ nicht ausgewertet
 <b>Entsorgungskosten Feuchtwasser</b>	€ nicht ausgewertet
<hr/>	
<b>Kostenreduktion / Jahr</b>	<b>ca. € 195.905,-</b>

Es konnte in allen Feldtests gezeigt werden, dass das neue Mess- und Regelsystem Wirtschaftlichkeitseffekte in bemerkenswerter Höhe erzielt. Letztere sind in der Regel so hoch, dass bei einem angestrebten Verkaufspreis von ca. EUR 70.000,- pro System eine Amortisation innerhalb von nur 7 bis 14 Monaten erreicht wird.

Neben der Weiterentwicklung zur Serienreife übernimmt die UNISENSOR GmbH sowohl die Produktion als auch den Service, den Vertrieb sowie das Marketing des Mess-, Regel- und Dosiersystems. Die erforderliche Personalstruktur wurde bereits im Rahmen des früheren Projekts ALCOPRINT aufgebaut und während der Projektphasen I und II an die zukünftigen Anforderungen angepasst. Ebenso wurde das Servicepersonal der deutschen Servicebereiche Nord-Ost einschließlich Polen, der Bereich West einschließlich Belgien, Holland, Luxemburg und der Bereich Süd mit Schweiz, Österreich, Slowenien, Tschechien, Ungarn und Griechenland an bereits getätigten Testinstallationen des Systems geschult.

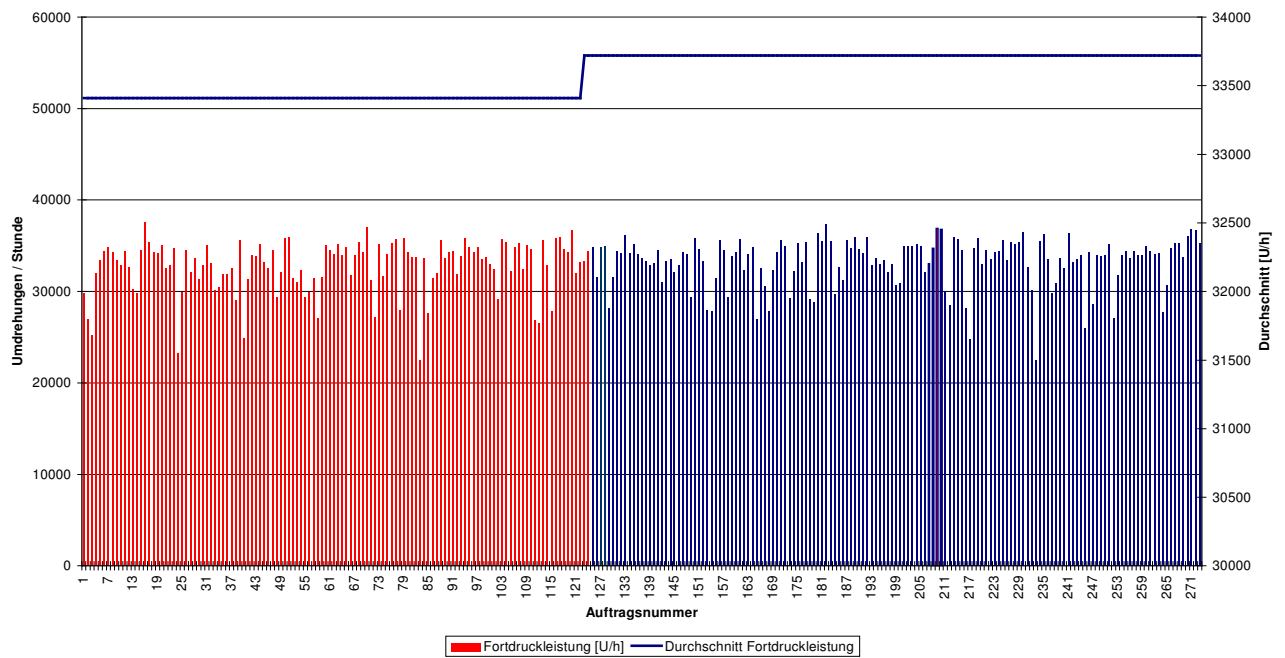
Die Vorbereitungen zur Serienproduktion sind abgeschlossen. Änderungen und Updates in der bestehenden Software können jederzeit implementiert werden.

Um negative Auswirkungen von unvermeidlichen Anfangsserienfehlern auf die laufende Druckproduktion zu vermeiden wurden/werden sämtliche Installationen bei Kunden mit Modemverbindung ausgerüstet. Jedes System wird mindestens 3 mal pro Arbeitstag von einem qualifizierten Fachmann abgefragt und überprüft, so dass eventuelle Fehler bereits im Vorfeld erkannt und damit negative Auswirkungen auf den Druckprozess weitestgehend vermieden werden können.

## 6.2 Wirtschaftliche Vorteile durch Regelung der Gesamtkonzentration und Filtration

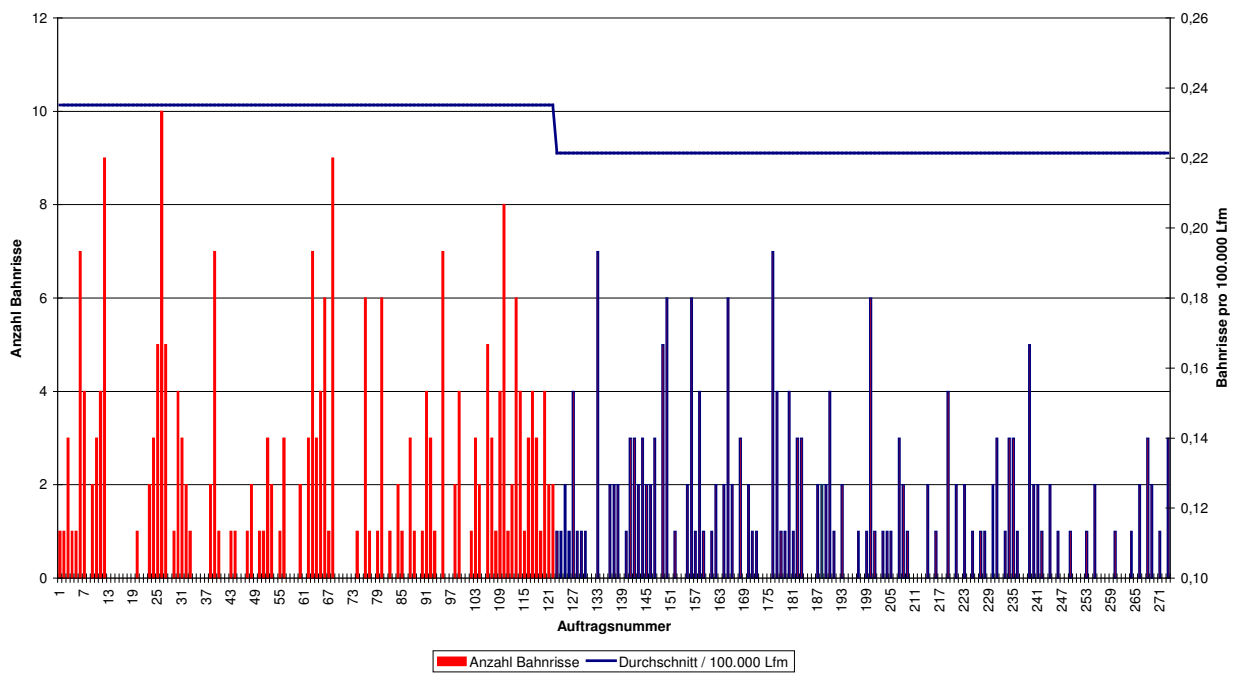
Auf den Folgenden Seiten sind die Wirtschaftlichen Vorteile, welche bei Color-Druck in Pforzheim durch die Regelung der Gesamtkonzentration erzielt wurden dargestellt.

Durch die Messung und Regelung der Gesamtkonzentration des Additivs dieser 64-Seiten Rollenoffsetdruckmaschine wurde durch Steigerung der Fortdruckleistung um einen Prozentpunkt (Bild 6.1) und durch Reduzierung der Gesamtmakulatur und 0,2 Prozentpunkte, unter anderem bedingt durch einen Rückgang der Papierbahnrisse pro 100.000 Laufmeter um ca. 8% (Bild 6.2), eine jährliche Kostenersparnis von ca. 110.000 Euro erzielt.



**Bild 6.1: Fortdruckleistung ohne (rot) und mit Regelung (blau)**

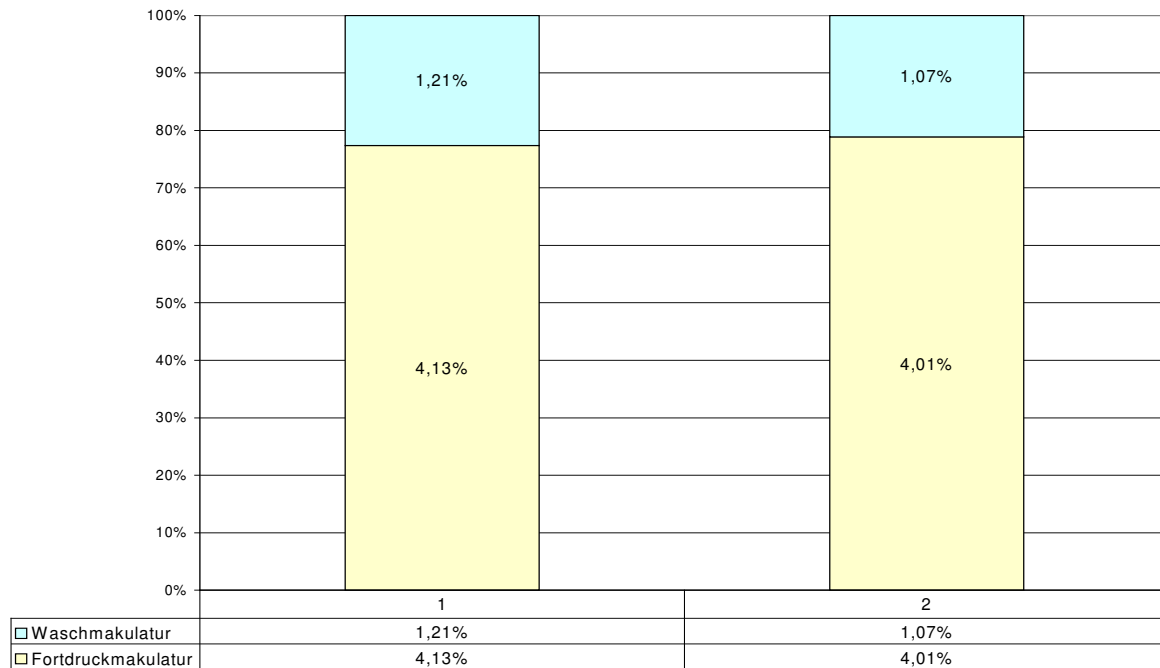




**Bild 6.2: Bahnrisse pro 100.000 Laufmeter ohne (rot) und mit Regelung (blau)**

Aus den obigen Abbildungen lässt sich erkennen, dass die Fortdruckleistung von 33.400 U/h auf 33.700 U/h gesteigert und die Bahnrisse pro 100.000 Laufmeter von 0,24 auf 0,22 Bahnrisse pro 100.000 Laufmeter verringert werden konnten.

Weiterhin konnte ein Rückgang der Gesamtmakulatur, resultierend unter anderem aus dem Rückgang der Makulatur während des Fortdruckes und während des Gummituchwaschens, verbucht werden (Bild 6.3).



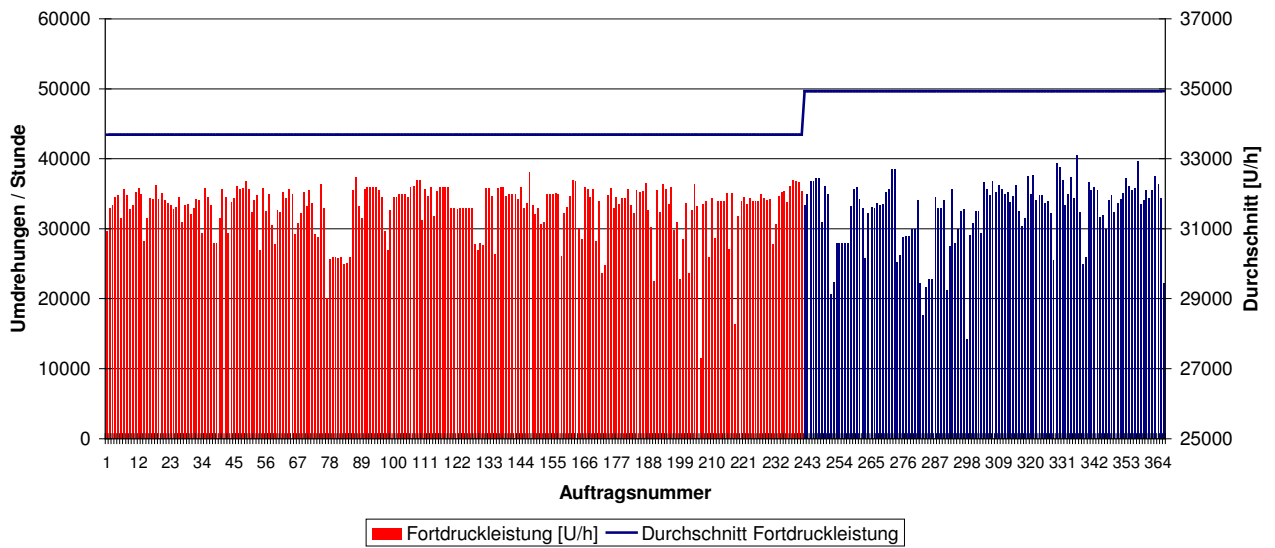
**Bild 6.3: Anteil der Makulatur am Nettopapierverbrauch ohne (links) und mit Regelung (rechts)**

Die Verminderung des Feststoffgehaltes im Feuchtwasser und die daraus resultierende bessere Feuchtwasserqualität, hat insgesamt zu einer ökologischen und wirtschaftlichen Verbesserung des Druckprozesses geführt. Die Verbesserungen wurden durch die Auswertung und den Vergleich der Produktionsrapporte für den Druckprozess an der 64-Seiten Druckmaschine bei Color-Druck vor und nach Einsatz der Feuchtwasserfiltration verifiziert.

Die Verbesserung des Druckprozesses hat sich insbesondere gezeigt durch:

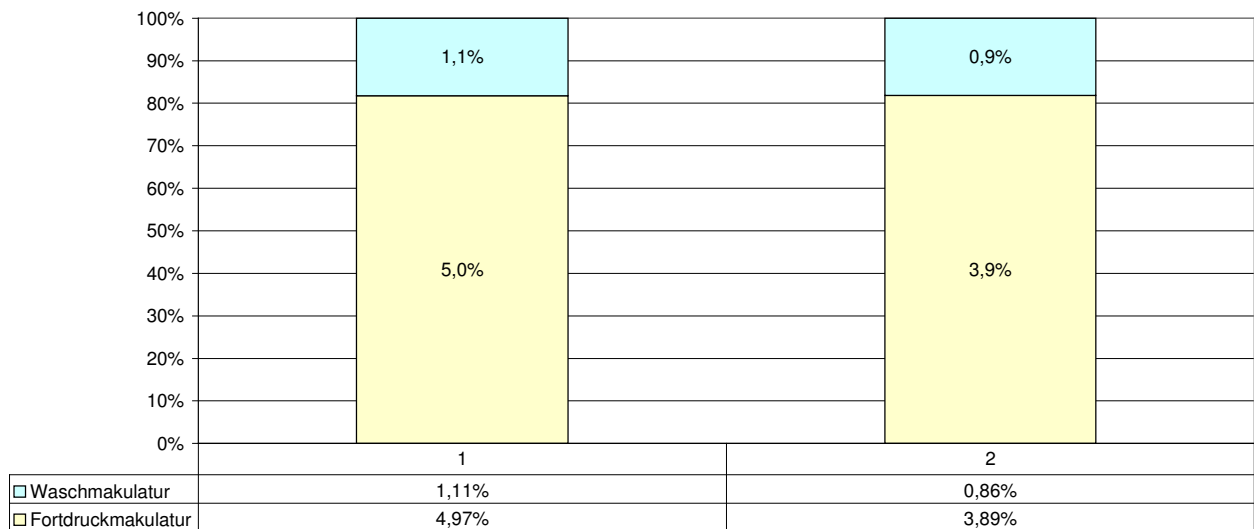
- Erhöhung der Fortdruckleistung (= Nettopapierverbrauch / Fortdruckzeit in Umdrehungen pro Stunde) und damit geringeren Ausfallzeiten
- geringe Zahl von Bahnrissen geringerer Anteil an Makulatur

Die Erhöhung der Fortdruckleistung ist in Abb. 6.4 dargestellt. Diese erhöht sich von etwa 33.700 U/h auf etwa 35.000 U/h. Die Bahnrise pro 100.000 Laufmeter sind durch Einsatz der Filtration von 0,22 auf 0,17 gesunken.

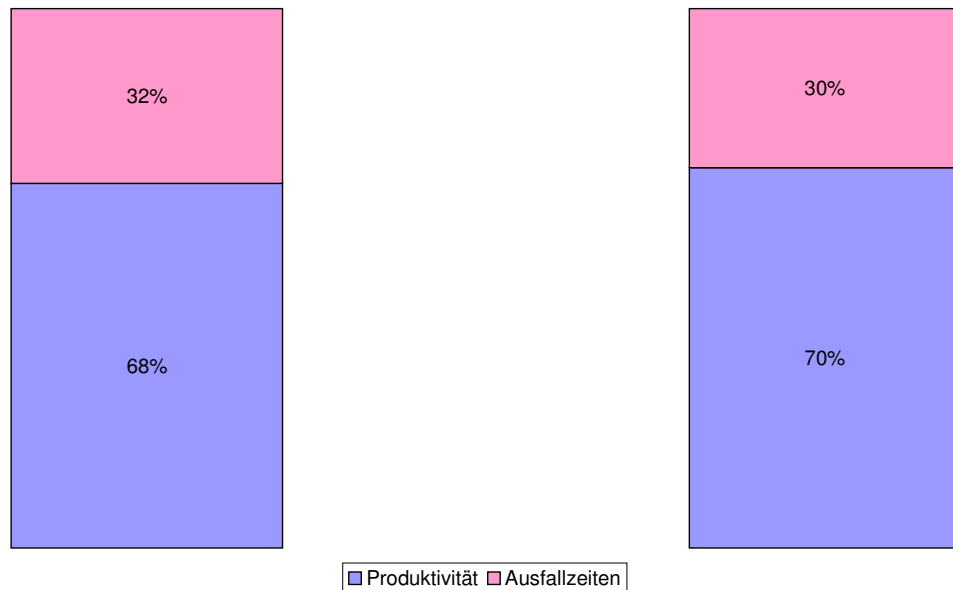


**Bild 6.4: Fortdruckleistung ohne (rot) und mit Membranfiltrationsanlage (blau)**

Insgesamt ergibt sich eine Produktivitätssteigerung von 2 Prozentpunkten (Bild 6.6). Durch die damit verbundene Verringerung der Ausfallzeiten ergibt sich bei 910 Euro Maschinenkosten pro Stunden eine jährliche Einsparung von 136.000 Euro. Des weiteren ist mit geringerem Verschleiß im Feuchtwerk, der Druckplatte und dem Gummituch zu rechnen. Dies resultiert in einem geringeren Wartungs- und Reparaturaufwand. Ein weiterer positiver Einfluß ergibt sich durch die Verminderung der nötigen Gummituchwaschungen. Dadurch wird der Waschmittelverbrauch für die Gummituchwäsche verringert, was Material- und Entsorgungskosten einspart.



**Bild 6.5: Anteil der Makulatur am Nettopapierverbrauch ohne (links) und mit Membranfiltrationsanlage (rechts)**



**Bild 6.6 Produktivität und Ausfallzeiten ohne (links) und mit Membranfiltrationsanlage (rechts)**

Für die Kombination aus Mess- und Regelsystem und Membranfiltrationsanlage ergibt sich somit insgesamt eine jährliche Einsparung von ca. 246.000 Euro. Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit sind weiterhin die Anschaffungs- und Betriebskosten der Membranfiltrationsanlage sowie des Mess- und Regelsystems einzurechnen.

Kostenrechnung für Filteranlage:

Anschaffungspreis ca. 50.000 Euro

- Stromkosten pro Jahr : 6.500 Betriebsstunden x 4 kW x 0,15 Euro pro kWh = 3.900 Euro
- Membranersatzkosten: Pro Jahr 1/10 der Membranenkosten = 300 Euro
- Reinigungsmittel: ca. 100 Liter pro Jahr = 250 Euro
- Konzentratentsorgung pro Jahr: ca. 1300 Euro
- Benötigte Mannstunden pro Jahr: ca. 240 x 50 Euro/h = 12.000 Euro

Kostenrechnung für Mess- und Regelsystem OPTOSCAN:

- Anschaffungspreis ca. 65.000 Euro
- Installationspauschale (inkl. Installationsmaterial, Arbeitszeit und Schulung) = 2.200 Euro
- Stromkosten pro Jahr: 6.500 Betriebsstunden x 0,6 kW x 0,15 Euro pro kWh = 585 Euro
- Servicepauschale pro Jahr (inkl. Verbrauchsmaterial und Arbeitsstunden): 3.100 Euro

Die jährlichen Betriebskosten beider Systeme betragen somit etwa 21.500 Euro. Daraus resultiert eine jährliche Einsparung bei Einsatz der Systeme von insgesamt ca. 224.500 Euro. Unter Berücksichtigung des Anschaffungspreises von etwa 115.000 Euro hätte sich die Gesamtanlage in ungefähr 6 Monaten amortisiert. Bei den Pilotversuchen in der Druckerei Color-Druck hat sich der Einsatz der Membranfiltration auch vorteilhaft für die Messungen mit dem OPTOSCAN erwiesen. Durch Einsatz der Membranfiltration kann die Additivkonzentration im partikelfreien Permeat stets präzise ermittelt und die Komponenten können entsprechend nachdosiert werden.

## 7. Zusammenfassung

Basierend auf der Mess- und Regeltechnik des OPTOSCAN-Systems wurde zwischenzeitlich von der Firma UNISENSOR ein Industrieprototyp entwickelt, der die exakte Messung und Regelung einzelner Komponenten, bzw. Komponentengruppen von chemischen Additiven unter Realbedingungen im laufenden Druckprozess gewährleistet.

Bezüglich der Mess- und Regelungstechnik konnte in den ersten beiden Phasen des Projektes eindrucksvoll anhand von Wirtschaftlichkeitsrechnungen nachgewiesen werden, dass bereits durch die Messung und Regelung des Gesamtgemisches, d.h. der Gesamtkonzentration erhebliche umweltrelevante und massive wirtschaftliche Vorteile erreicht wurden.

Durch die zurückliegenden Untersuchungen konnte eine prinzipielle Machbarkeit der Messung von Einzelkomponenten bereits gezeigt werden. Die exakte Messung und Regelung vor allem im realen Druckprozess setzt allerdings voraus, dass nur nicht reaktive, sogenannte inerte, Bestandteile im verwendeten Additiv eingesetzt werden. Dies ist jedoch für einen stabilen Druckprozess ohnehin eine notwendige Voraussetzung. Die Tatsache, dass im Rahmen dieses Projektes diese Effekte aufgedeckt werden konnten, kann als weiterer Erfolg verbucht werden.

Zusammenfassung der wichtigsten praxisrelevanten Ergebnisse der Feldversuche aus Phase III mit der großen Membranfiltrationsanlage:

- Insgesamt wurden mehr als 200m<sup>3</sup> Feuchtmittel in der Druckerei Color-Druck erfolgreich filtriert.
- Der Einsatz einer kontinuierlich arbeitenden Vorreinigungsstufe (Hydrozyklon, selbstreinigende Automatikfilter) hat sich aufgrund der geringen Reinigungseffizienz und des technischen Aufwands als nicht sinnvoll erwiesen.
- Bei den Feldversuchen kristallisierte sich eine Membran als am zuverlässigsten heraus. Der durchschnittliche Durchfluss mit dieser Membran lag bei einem transmembranen Druck von 2,5 bar und einer Membranfläche von 2,8m<sup>2</sup> im Bereich von 150 l/h.
- Der Flux konnte während der gesamten Feldversuche stabil im Bereich der oben genannten Durchflusswerte gehalten werden. Typischerweise genügte eine Reinigung in monatlichen Intervallen.
- Der Einsatz der Membranfiltration und OPTOSCAN bei Regelung der Gesamtkonzentration an Additiv führt insgesamt zu einer Erhöhung der Produktivität um 2 Prozentpunkte, was zu ökologischen Vorteilen führt und nach Abzug der jährlichen Betriebskosten einer jährlichen Kosteneinsparung von etwa 224.500 Euro entspricht.
- Die eingesetzte große Technikumsanlage ist unter gewissen Betriebsbedingungen der 64-Seiten Druckmaschine bei Color-Druck noch etwas zu klein dimensioniert. Die Kapazität dieser Anlage lässt sich jedoch ohne großen Aufwand um etwa 30-40% erhöhen (siehe Ausblick).

Das ursprüngliche Ziel Einzelkomponenten des Additivs im Feuchtwasser unter Prozessbedingungen messen und regeln zu können wurde in den Projektphasen I bis III leider noch nicht erreicht. Es ist jedoch geplant umgehend nach Projektabschluss durch Wechsel in einen weiteren bisher noch nicht genutzten Auswertebereich die erforderlich niedrigen Konzentrationen zu messen und zu regeln. Abgesehen davon ist die bereits erfolgreich realisierte Messung und Regelung der Gesamtkonzentration des Additivs mit so großen wirtschaftlichen Vorteilen verknüpft, dass das Vorhaben als ein großer Erfolg bezeichnet werden muss.

## 8. Ausblick

Die bestehende Zusammenarbeit mit Druckereien und auch mit einem führenden Zusatzmittelhersteller zeigt, dass in diesem Unternehmen die Chancen, die mit der Filtration verbunden sind, zunehmend wahrgenommen werden und großes Interesse finden.

Abschließend lässt sich sagen, dass der Einsatz der Membranfiltration in Verbindung mit einer prozessspezifischen Messung- und Dosierung an Feuchtmittelkomponenten sehr viele Vorteile für Ökologie und Ökonomie in der Drucktechnik erwarten läßt.

Durch die Pilotversuche mit einer Membranfiltrationsanlage im technischen Maßstab in der Druckerei Color-Druck konnte die prinzipielle Eignung dieser Technologie im praktischen Einsatz verifiziert werden. Durch die Filtration konnte der Feststoffgehalt im Feuchtwasser im Durchschnitt um 70% gegenüber dem Durchschnittswert ohne Filtration gesenkt werden. Dies hat zu einer Verbesserung des gesamten Druckprozesses geführt. Die Auswertung der Produktionsrapporte hat gezeigt, dass die durchschnittliche Zahl der Bahnrisse und die Makulatur verringert werden konnten. Die gesamte Produktivität des Druckprozesses hat sich um 2 Prozentpunkte erhöht. Nach Abzug der Betriebskosten des Mess- und Regelsystems und der Filtrationsanlage ergibt sich eine jährliche Einsparung von etwa 224.500 Euro.

Es hat sich auch gezeigt, dass die leistungsfähigere Rollenoffset-Technikumsanlage im Prototypenmaßstab unter gewissen Betriebsbedingungen der Druckmaschine, nicht ausreichend gegen den Schmutzeintrag ankommt. Dies ist vor allem bei sehr hohen Druckgeschwindigkeiten und bei niedriger Qualität des verwendeten Papiers der Fall. Außerdem ist noch zu bedenken, dass die Untersuchungen an einer 64-Seiten Druckmaschine durchgeführt wurden, es aber auch noch größere Druckmaschinen bis zu 96-Seiten in Zukunft geben wird. Bei größeren Druckmaschinen ist mit einem vermehrten Eintrag von Feststoffverunreinigungen in das Feuchtwasser zu rechnen, deshalb sollte die Reinigungskapazität einer Filtrationsanlage hier größer sein. Aus diesen genannten Gründen, ist es sinnvoll die Reinigungsleistung einer verkaufs- und marktfähigen Filteranlage noch etwas zu erhöhen. Hierbei gibt es zwei Möglichkeiten. Zum einen kann die Membranfläche erhöht werden. Dadurch würde sich die Membranfläche um 20% vergrößern, was eine Steigerung des Permeatflusses von 10 bis 15% erwarten lässt. Ein zweiter Ansatzpunkt zur Erhöhung der Filterleistung ist die Filtration auf einem höheren Druckniveau zu betreiben. Bei Untersuchungen mit der kleinen mobilen Technikumsanlage wurden Versuche mit 5 bar Betriebsdruck erfolgreich durchgeführt, was einem etwa doppelt so großem Betriebsdruck entspricht, wie der bei der Rollenoffset-Technikumsanlage im Prototypenmaßstab. Die Verdoppelung des Drucks resultiert unter idealen Bedingungen in einem um ca. 40% erhöhten Permeatfluss. Eine realistische Abschätzung wäre, dass mit dem doppelten Betriebsdruck ca. 20 bis 25% mehr Filtrationsleistung erzielt werden könnten. Es ist also noch Spielraum für die Erhöhung der Filtrationsleistung durch die Optimierung der Parameter des Filtrationsprozesses (z.B. höhere Temperatur) vorhanden. Hierdurch dürfte sich die in Rahmen dieses Projektes untersuchte Technik zur Feuchtwasserfiltration auch auf zukünftige Anforderungen anpassen lassen.

## **9. Patentlage**

- Das deutsche Patent zur Messung und Regelung der Einzelkomponenten des Additivs im Feuchtwasser wurde inzwischen erteilt. Die auf der Priorität dieser Deutschen Patentanmeldung beruhenden Europäischen- und US-Patentanmeldungen, welche mit ca. 1 Jahr Verzögerung angemeldet wurden befinden sich noch in den Prüfungsverfahren.
- Eine weitere Deutsche Patentanmeldung mit Verfahrensschwerpunkten im apparativen Bereich wurde ebenfalls in den USA sowie in Europa hinterlegt. Alle drei Patentbegehren befinden sich noch in den Prüfungsverfahren.

## 10. Anhang

### Literaturverzeichnis

1. D. M. Haaland, E.V. Thomas, *Anal. Chem.* 60 (1998) 1193
2. G. Schwedt, *Taschenatlas der Analytik*, Thieme Verlag, Stuttgart, 1. Auflage (1992): S. 110 f.
3. P. Geladi, B.R. Kowalski, *Anal. Chim. Acta* 185 (1986) 1
4. K.R. Beebe, B. Kowalski, *Anal. Chem.* 59 (1987) 1007 A
5. H. Martens, T. Naes, *Multivariate Calibration*, J. Wiley & Sons, New York (1998): Kapitel 3.5  
S. D. Brown, *Appl. Spectrosc.* 49, No. 12 (1995) 14 A