

**BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM**

**Abschlussbericht  
zum Vorhaben:**

E-PVC Latex-Filtration mit dynamischem Krauss-Maffei Crossflow-Filter  
(DyCroFi)

Aktenzeichen: MBc3-001856

**Fördernehmer/-in:**

SolVin GmbH & Co. KG

**Umweltbereich**

**Laufzeit des Vorhabens**

01.09.2011 bis 30.06.2013

**Autor**

Dr. Jean-Christophe Lepers

Dipl.-Ing.

Betriebsleitung PVC-Anlage

SolVin GmbH & Co. KG

Ludwigstr. 12 – 47495 Rheinberg

E-Mail: jean-christophe.lepers@solvay.com

Tel: +49 2843 / 73 22 23

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit**

März 2014

## Berichts-Kennblatt

<b>Aktenzeichen:</b> 70441-5/32	<b>Vorhaben-Nr.:</b> 20198
<b>Titel des Vorhabens</b> „E-PVC Latex-Filtration mit dynamischem Krauss-Maffei Crossflow-Filter (DyCroFi)“	
<b>Autor(en); Name(n), Vorname(n)</b> Lepers, Dr. Jean-Christophe	<b>Vorhabensbeginn</b> 01.09.2011
	<b>Vorhabensende (Abschlussdatum)</b> 30.06.2013
<b>Fördernehmer/-in ( Name, Anschrift )</b> SolVin GmbH & Co. KG Ludwigstr. 12 47495 Rheinberg	<b>Veröffentlichungsdatum</b> 14.03.2014
	<b>Seitenzahl</b> 35
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
<b>Kurzfassung / Summary</b>	
<p>Mit dem Demonstrationsvorhaben „DyCroFi“ setzte das Unterehmen SolVin GmbH in Rheinberg die Technologie der dynamischen Crossflow-Filtration erstmals in der Chemischen Industrie zur Aufkonzentration von Latex-Emulsion im großtechnischen Maßstab um. Ziel des Demonstrationsprojektes war es, im Prozess der E-PVC-Herstellung der Emulsion bereits vor dem eigentlichen Trocknungsvorgang Prozesswasser zu entziehen und somit den Energiebedarf im Trocknungsprozess erheblich zu reduzieren. Mit einer Verzögerung von acht Monaten wurde das Projekt am 1. September 2011 gestartet und am 30. Juni 2013 abgeschlossen. Verbunden mit dem Projekt waren hohe Erwartungen an die potenziellen Einsparmöglichkeiten an Trocknungsenergie durch die Einführung eines neues Filtrationsverfahrens im bestehenden Herstellungsprozess. Gleichzeitig sollte Latex mit gleichbleibender Qualität produziert werden. Die grundlegende Integration des Filtrationsprozesses in den Herstellungsprozess ist ebenso gelungen wie die Sicherstellung eines qualitativ gleichwertigen Endprodukts. Die ursprünglich angestrebte Aufkonzentration des Latex und die damit verbundene Reduktion des in der Emulsion enthaltenen Prozesswassers um 20 % vor dem Trocknungsprozess konnte jedoch nur teilweise erreicht werden. Nach mehreren Schadensereignissen in der neuen Filtrationsstufe während des Demonstrationsprojektes wird die Anlage nun mit einer auf 48 % aufkonzentrierten Emulsion stabil gefahren. Im Ergebnis konnte eine Reduzierung des Prozesswassers in der Latex-Emulsion in Höhe von 8 % erreicht werden. Pro Jahr können in einem typischen Produktionsjahr bereits dadurch 7,25 GW an Primärenergie und damit verbunden 1.971 Tonnen an CO<sub>2</sub> in der E-PVC-Herstellung am Standort Rheinberg eingespart werden.</p> <p>Zusammenfassend konnten die eingangs definierten Erfolgskriterien wie folgt erfüllt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anpassung des Filtrationsverfahrens an die Einsatzerfordernisse der E-PVC-Herstellung konnte prinzipiell erfüllt werden;</li> <li>• stabile Integration des Filtersystems im bestehenden Produktionsprozess konnte umgesetzt werden im Hinblick auf die Möglichkeit, den Produktionsprozess unabhängig vom Filterverhalten aufrecht erhalten zu können;</li> <li>• effiziente Aufkonzentration des Filtrats und damit Abtrennung des in der Emulsion vorhandenen Prozesswassers konnte nur unzureichend erfüllt werden;</li> <li>• dies führt zu erheblich geringeren Einsparungen an Energie, als sie in der Amortisation des Projektes eingeplant;</li> <li>• ausreichend große Einsatzbandbreite des Filtersystems hinsichtlich unterschiedlicher Produktzusammensetzungen konnte erzielt werden, da alle drei Produktvarianten der Linie E5 über die Ultrafiltration behandelt werden können;</li> <li>• die Produktqualität ist weitgehend konstant, hinsichtlich der Produkteigenschaften kam es nur zu geringfügigen Änderungen, die die Einsatzqualität nicht beeinträchtigten.</li> </ul> <p>Obleich das Projekt offiziell abgeschlossen ist, führt das Unternehmen das Projekt in Eigenregie weiter und lotet auch Einsatzmöglichkeiten für andere Produktbereiche aus.</p>	
<b>Schlagwörter</b> Latex, PVC-Produktion, Polymerisation, Ultrafiltration, Keramikscheiben, Koagulation, transmembraner Druck	
<b>Anzahl der gelieferten Berichte</b> Papierform: 10 Elektronischer Datenträger: 1	<b>Sonstige Medien:</b> Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage:

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b><u>Einleitung</u></b>	<b>4</b>
1.1	Kurzbeschreibung des Unternehmens	4
1.2	Ausgangssituation	4
<b>2</b>	<b><u>Vorhabensumsetzung</u></b>	<b>7</b>
2.1	Ziel des Vorhabens	7
2.2	Darstellung der technischen Lösung	8
2.3	Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	11
2.4	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	14
<b>3</b>	<b><u>Ergebnisse</u></b>	<b>14</b>
3.1	Bewertung der Vorhabensdurchführung	14
3.2	Stoff- und Energiebilanz	15
3.3	Umweltbilanz	16
3.4	Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms	18
3.5	Wirtschaftlichkeitsanalyse	19
3.6	Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren	20
<b>4</b>	<b><u>Empfehlungen</u></b>	<b>21</b>
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung	21
4.2	Modellcharakter	21
4.3	Zusammenfassung	22
<b>5</b>	<b><u>Literatur</u></b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b><u>Anhang</u></b>	<b>25</b>
6.1	DCF Filter	25
6.2	3D-Modelle	30
6.3	Untersuchungsergebnisse	33
6.4	Diverse Bilder	34
6.5	Abkürzungsverzeichnis	35

## **1 Einleitung**

### **1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens**

Die SolVin GmbH & Co. KG ist Teil des international tätigen Chemieunternehmens Solvay. Solvay ist eine internationale Chemiegruppe und bedient breit gefächerte Märkte wie Energie und Umwelt, Automobil- und Luftfahrt, Elektro und Elektronik. Das Unternehmen erzielt 90 Prozent des Umsatzes in Märkten, in denen es weltweit zu den Top 3 gehört. Solvay, mit Hauptsitz in Brüssel, beschäftigt rund 29.400 Mitarbeiter in 56 Ländern und erzielte 2013 einen Umsatz von 9,9 Mrd. Euro.

In Deutschland beschäftigt Solvay über 3.000 Mitarbeiter und erzielte 2013 einschließlich der Tochter- und Beteiligungsgesellschaften einen Umsatz von rund 1,7 Mrd. Euro.

Die SolVin GmbH & Co. KG wurde 1999 als ein Gemeinschaftsunternehmen der SOLVAY GmbH, Hannover, und der BASF SE, Ludwigshafen, gegründet. Dabei hält die SOLVAY GmbH 75 % der Anteile. Hauptverkaufsprodukte der Gesellschaft sind Polyvinylchlorid, Polyvinylidenchlorid sowie in geringerem Umfang Dichlorethan und Vinylchlorid.

SolVin verfügt über Anlagen in Belgien, Frankreich, Deutschland, Spanien und Italien mit einer Jahreskapazität von 1,3 Millionen Tonnen PVC. Das Solvay-Werk Rheinberg, an dem das vorgestellte Projekt durchgeführt wurde, zählt zu den größten deutschen Produktionsstandorten der Solvay-Gruppe und beschäftigt rund 800 Mitarbeiter. Hier werden unter anderem Soda, Natriumbicarbonat, Natronlauge und Polyvinylchlorid (PVC), aber auch der Hochleistungskunststoff Polyarylamid (IXEF®) hergestellt. Für viele der in Rheinberg hergestellten Produkte ist Solvay europa- bzw. weltweit Marktführer.

Das Unternehmen SolVin ist ebenso wie die Mutter Solvay S.A. dem Gedanken des Umweltschutzes, der nachhaltigen Entwicklung sowie des Responsible Care verpflichtet, was bspw. aus "Solvay Way", Solvays Nachhaltigkeitsinitiative, hervorgeht. Ziel ist es, die Nachhaltigkeit unserer Prozesse und Produkte systematisch zu verbessern. Dies zeigt sich auch in der regelmäßigen Auslobung des europäischen Wettbewerbs „The SolVin Award for PVC Innovation“, der nicht zuletzt auf Verbesserungen der Umweltbilanz der PVC-Herstellung abstellt.

Vor diesem Hintergrund und dem Streben nach kontinuierlicher Verbesserung des Umweltschutzes und einer effizienten Ressourcennutzung im gesamten Produktionsprozess hat SolVin mit dem Projekt DyCroFi ein Verfahren getestet und umgesetzt, mit dem der Energieeinsatz bei der PVC-Herstellung verringert werden konnte.

### **1.2 Ausgangssituation**

Am Standort Rheinberg werden im Schnitt jährlich rund 45.000 Tonnen E-PVC hergestellt. Polyvinylchlorid (PVC) ist ein amorpher thermoplastischer Kunststoff und wird durch radikalische Polymerisation aus dem Monomer Vinylchlorid erzeugt. Monomere sind molekulare Verbindungen, die sich unter dem Einfluss eines Initiators im Rahmen der Polymerisation zu langkettigen, hochmolekularen Verbindungen, den Polymeren, zusammenschließen. Im Wesentlichen sind drei verschiedene Polymerisationsverfahren bekannt. Das

historisch gesehen älteste Verfahren, das auch im Werk Rheinberg zur Anwendung kommt, ist die Emulsionspolymerisation.

Beim verbreiteten Herstellungsprozess von Emulsions-PVC wird aus dem Grundstoff VC unter Zugabe von Additiven, Emulgatoren und Initiatoren sowie demineralisiertem Wasser eine Emulsion aufgesetzt. In dieser Emulsion reagiert das VC zu PVC und liegt in einer Stoffkonzentration zwischen rund 35 % und 50 % vor, so dass bei dem bisher geltenden Stand der Technik bis zu 65 % Wasseranteil durch Trocknung zu entfernen sind. Dies geschieht im Standardverfahren energieintensiv durch Zuführung von Heißluft in einen Zerstäubungstrockner.

Der grundlegende Prozess der Herstellung von E-PVC wird im Folgenden anhand der Abbildung 1 skizziert und orientiert sich an den Prozessschritten 1 - 6.

## Herstellung von E-PVC

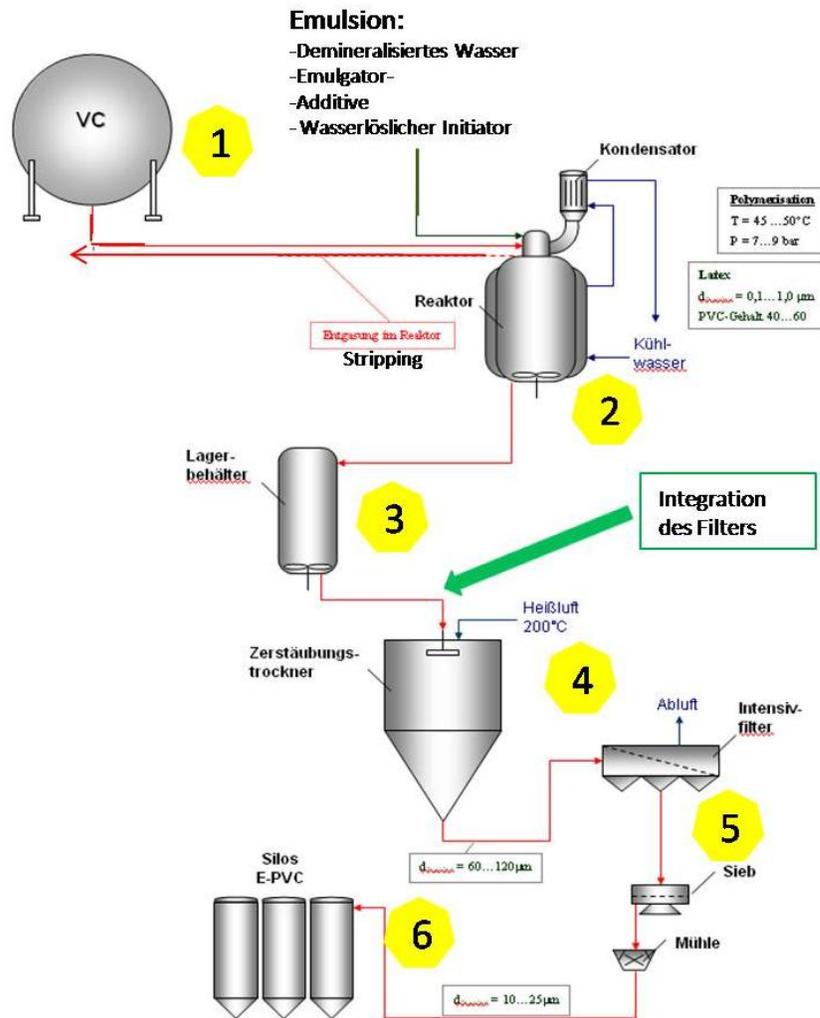


Abb. 1: Produktionsschritte E-PVC-Herstellung

Schritt 1: Dem Grundstoff VCM werden neben den wasserlöslichen Initiatoren Additive sowie Emulgatoren zugegeben und mit demineralisiertem Wasser zu einer Emulsion ver-

menget. Damit liegt ein fein verteiltes Gemisch zweier normalerweise nicht mischbarer Flüssigkeiten vor.

Schritt 2: Dieses Gemisch wird im Reaktor auf eine Reaktionstemperatur erhitzt, bei der die Initiatoren ihre Wirkung entfalten. Ab diesem Zeitpunkt reagieren VCM und Zusatzstoffe in einer exothermen Reaktion zu Latex als Vorstufe des Endprodukts E-PVC. Die entstehende Reaktionswärme muss kontinuierlich durch Kühlwasser abgeführt werden. VCM, das nicht reagiert hat, wird im sogenannten „Stripping-Verfahren“ aus dem Reaktor gesaugt und rückverflüssigt.

Schritt 3: Das Reaktionsprodukt wird im Lagerbehälter zwischengespeichert. Dies ist notwendig, da das E-PVC im Rahmen einer batch-Produktion hergestellt wird, während der anschließende Trocknungsprozess kontinuierlich ausgelegt ist.

Schritt 4: Der Latex mit einer durchschnittlichen Zusammensetzung aus 40 % Reaktionsprodukt und 60 % Wasseranteil wird kontinuierlich vom Lagerbehälter dem Zerstäubungstrockner zugeführt. Als Trocknungsmedium dient ca. 200 °C heiße Luft, durch die das Produkt als feiner Nebel zu Boden fällt. Ein nachgeschalteter Filter dient dazu, das getrocknete Produkt aus dem Luftstrom zu entziehen.

Schritt 5: Das getrocknete Produkt wird zunächst gesiebt und kann dann über eine Mühle zur gewünschten Partikelgröße vermahlen werden, bevor es letztlich den Silos (Schritt 6) zugeführt wird.

In diesem gängigen Verfahren wird die Latex-Emulsion direkt in den Sprühtrockner geleitet (Schritt 2 bis Schritt 4) und enthält damit die vollständige Menge an Prozesswasser; der Zwischentank dient lediglich der Verstetigung des Produktionsprozesses. Dies führt dazu, dass der Wassergehalt von durchschnittlich 60 % mit hohem Energieaufwand vollständig über den Trocknungsprozess entfernt werden muss. Durchschnittlich waren im Werk Rheinberg pro Tonne Produkt gut 1,5 t Wasser zu verdampfen mit einem Energiebedarf von knapp 1.933 kWh. Dieser verfahrensbedingte hohe Energiebedarf zur Reduktion des Wassergehalts wurde bereits frühzeitig als erheblicher Nachteil des ansonsten vorteilhaften Prozesses erkannt. Ansätze einer Filtration, um den Wassergehalt vorzeitig zu reduzieren, scheiterten bislang am Fehlen einer geeigneten Technologie zur Filtration der Latex-Emulsion.

Die Filtration ist ein Verfahren zur Trennung oder Reinigung eines Mediums und beruht auf mechanischen und physikalischen Wirkmechanismen. Das zu trennende Gemisch läuft durch einen Filter, wobei die Porengröße des Filters den Stoffdurchfluss bestimmt. Allerdings werden nicht nur Partikel zurückgehalten, die größer als die Porengröße des Filters sind. Vielmehr führen Faktoren wie Partikelträgheit, Diffusionseffekte, Elektrostatik oder Sperreffekt dazu, dass auch Partikel abgeschieden werden, die weit kleiner als die Porengröße des Filters sind. Nach einer gewissen Zeit bildet sich aus den zurückgehaltenen Partikeln eine Schicht, die sogenannte Deckschicht. Durch den Aufbau solch einer Deckschicht verringert sich die Filtrationsleistung und der Strömungswiderstand des Filters steigt an. Je nach Konzeption des Filters muss die Deckschicht daher von Zeit zu Zeit entfernt oder der Filter ausgetauscht werden. Derartige Effekte konnten im Stand der Technik bisher weder für die klassische Membranfiltration noch für die Crossflow-Filtration (CF) zufriedenstellend gelöst werden.

So scheidet die klassische kuchenbildende Filtration bereits allein wegen der Verblockungsneigung aus, die durch eine hohe Ausflockungsneigung verstärkt wird. Vor diesem Hintergrund wäre bspw. ein hoher Wartungsaufwand des Filters mit entsprechenden Produktionsausfällen notwendig. Dies wäre wirtschaftlich jedoch nicht tragbar. Auch ein Einsatz des traditionellen Crossflow-Verfahrens scheitert nicht zuletzt an der Verblockungstendenz.

Bereits von SolVin in der Vergangenheit durchgeführte Testreihen hatten dies eindrucksvoll bestätigt. Auch ein Umwälzen der Emulsion, um den Filterkuchen zu lösen, wirft große Probleme auf. Aufgrund der hohen Scherkräfte und dem punktuellen Energieimpuls durch die Umwälzpumpe kommt es häufig zu Koagulationserscheinungen im Latex. Dies wirkt sich negativ auf die Qualität aus. Zudem verstopfen die Poren der Filtermembran so intensiv, dass nur über den Einsatz aggressiver Lösungsmittel eine befriedigende Reinigungsleistung erzielt werden kann.

Eine Weiterentwicklung des CF-Verfahrens zu einem dynamischen Filtrationsverfahren unter Verwendung neuester keramischer Materialien war Anlass, das Filtrationsprinzip in die E-PVC-Herstellung zu integrieren, um den hohen Energiebedarf zu reduzieren. Die Technologie wurde über das Unternehmen Andritz GmbH realisiert und war Ausgangspunkt des geförderten Projektes.

## **2 Vorhabensumsetzung**

### **2.1 Ziel des Vorhabens**

Das nunmehr abgeschlossene Demonstrationsvorhaben „E-PVC Latex-Filtration mit dynamischem Krauss-Maffei Crossflow-Filter (DyCroFi-PVC)“ wurde durch das Unternehmen SolVin GmbH & Co. KG am Standort Rheinberg in eigener Verantwortung durchgeführt. Ziel des Demonstrationsprojektes war es, durch die erstmalige Integration eines neuartigen Filtersystems in den Prozess der E-PVC-Herstellung der Emulsion vor dem eigentlichen Trocknungsvorgang Prozesswasser zu entziehen und somit den Energiebedarf im Trocknungsprozess erheblich zu reduzieren. Das Filtersystem wurde dementsprechend im Produktionsprozess zwischen den Prozessschritten 3 und 4 eingebunden (vgl. Abb. 1).

Angesichts des hohen Wassergehalts und des damit zur Trocknung benötigten hohen Energieverbrauchs im bisher als Stand der Technik eingesetzten Verfahrens stellt die Einbindung eines Filters zur mechanischen Wasserabscheidung den zentralen Ansatz dar, um im Herstellungsprozess des E-PVC Verbesserungen der Energieeffizienz zu erreichen. Hierfür wurde die neuartige Filtrationstechnologie der dynamischen Crossflow-Filtration (DCF) erstmals in der Chemischen Industrie im laufenden Produktionsprozess zur Anwendung gebracht, die eine Kombination der beiden bekannten Technologien der Crossflow- und der Membran-Filtration darstellt. Dazu war eine Reihe von innovativen Weiterentwicklungen und Anpassungen der Technologie und seiner mechanischen Umsetzung an das Produkt und die Einsatzumgebung notwendig. Dies umso mehr vor dem Hintergrund des im Handling anspruchsvollen Produkts im Rahmen der industriellen E-PVC-Herstellung.

Diese Anpassungserfordernisse betrafen folgende drei Kernbereiche des Projekts:

1. die Abstimmung und Einstellungen des Filtersystems und seiner mechanischen Komponenten in Hinblick auf die Eigenschaften der zu filternden Emulsion;
2. die Einbindung des Filtersystems in bestehende Produktionsanlagen bei fortlaufendem Produktionsprozess - in diesem Fall am Standort Rheinberg;
3. erstmaliger Aufbau eines Filtersystems in einem großtechnischen industriellen Maßstab in einer bisher nicht erprobten Größenordnung.

Vor Einstieg in das Vorhaben konnte das Unternehmen in ersten Laborversuchen die grundsätzliche Möglichkeit nachweisen, dieses Verfahren auch im Rahmen der E-PVC-Herstellung einzusetzen. Für einen Projekterfolg wurden bei Start des Vorhabens folgende zentrale Zielsetzungen und damit Erfolgskriterien des Demonstrationsvorhabens identifiziert:

- Anpassung des Filtrationsverfahrens an die Einsatzerfordernisse der E-PVC-Herstellung;
- stabile Integration des Filtersystems im bestehenden Produktionsprozess;
- effiziente Aufkonzentration des Filtrats und damit
- eine hohe Abtrennung des in der Emulsion vorhandenen Prozesswassers;
- ausreichend große Einsatzbandbreite des Filtersystems hinsichtlich unterschiedlicher Produktzusammensetzungen bei gleichbleibender Produktqualität;
- ausreichende Robustheit des Filtersystems zum Einsatz im Dauerbetrieb;
- Wartungsfreundlichkeit und Verschleißarmut durch ausreichend lange Wartungsintervalle in Abhängigkeit von den systemimmanenten Selbstreinigungskräften.

## 2.2 Darstellung der technischen Lösung

Das Demonstrationsprojekt machte sich die neuartige Technologie der dynamischen Crossflow-Filtration (DCF) zu Nutze. Hierbei handelt es sich um eine Kombination der beiden bekannten Technologien der Crossflow- und der Membran-Filtration. Das Grundprinzip führt das Filtrat als stehende Säule über den Filter, der sich mit hoher Geschwindigkeit um die eigene Achse dreht. Damit wird das bewegliche Element vom Medium auf die Membran verlagert. Diese besteht aus feinporiger Keramik und dreht sich mit hoher Geschwindigkeit um ihre eigene Achse. Das Grundprinzip zeigt die Abbildung 2.

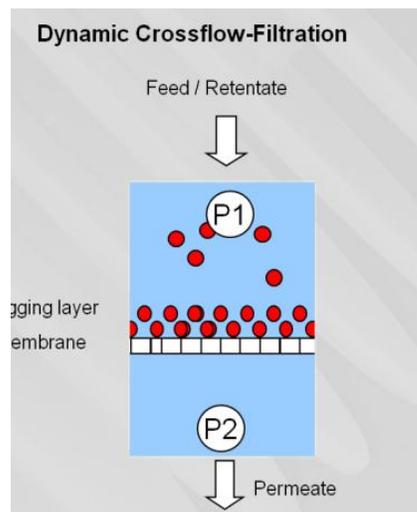


Abb. 2: Dynamische Crossflow-Filtration (DCF)

Der dynamische Crossflow-Filter setzt sich aus mehreren dieser rotierenden Membranen zusammen, die versetzt auf zwei parallelen Wellen angeordnet sind. Hierbei erzeugen die versetzt rotierenden keramischen Scheiben in ihrem Überlappungsbereich eine turbulente Differenzgeschwindigkeit. Diese führt zu einer mechanischen Selbstreinigung der Membranen, da die Deckschicht aufgewirbelt wird. Aufgrund der Rotation wird eine

Relativbewegung der sich überlappenden Membranen zueinander erzeugt, welche die Partikelablagerungen auf der Membran permanent aufwirbelt und die Bildung des Filterkuchens minimiert. Während dieser Überlappungsbereich zur Abreinigung dient, wird die eigentliche Filterleistung über die restliche Membranfläche geleistet (siehe Abbildung 3).

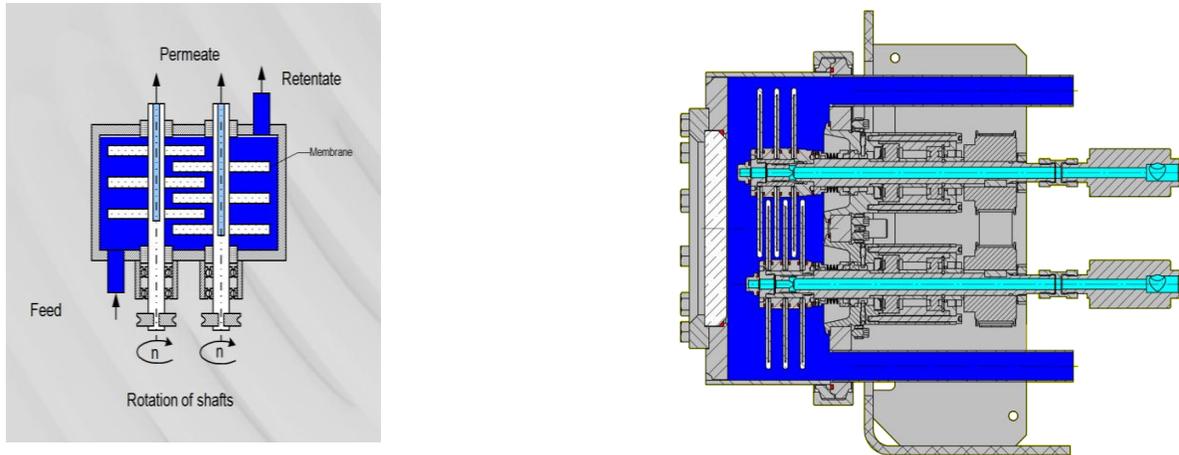


Abb. 3: Aufbau und Funktionsweise des dynamischen Crossflow-Filters

Die Abreinigungswirkung der dynamischen Crossflow-Filtration mittels rotierenden Membranscheiben auf zwei parallelen Wellen / Schäften ist bei weitem effizienter als bei traditionellen Systemen. Da die Turbulenzen dreidimensional ausgerichtet sind, werden Strömungsgeschwindigkeiten sowohl parallel als auch vertikal zur Membranoberfläche erzeugt. Insbesondere die vertikale Komponente fehlt bei umpumpenden Membransystemen komplett. Durch die hohe Geschwindigkeit, verbunden mit dem kleinen Abstand der Scheiben zueinander, werden Wandschubspannungen ( $T$ ) erreicht, welche selbst kleinste Substanzen wie beispielsweise Katalysatoren, Hydroxide, Pigmente oder Polymere wirkungsvoll von der Filtrationsoberfläche entfernen.

Im Projekt wurde dieses technische Grundprinzip über die Einbindung von Filtern der Firma Andritz GmbH im Rahmen einer Ultrafiltrationsanlage umgesetzt. An rotierenden Achsen sind Keramikscheiben angebracht, die die Filtrationsleistung erbringen. Details zu den Filtern finden sich im entsprechenden Datenblatt im Anhang 6.1.

Die Ultrafiltrationsanlage wurde im bestehenden Herstellungsprozess unmittelbar zwischen dem Reaktor, in dem die Emulsion hergestellt wird, und dem Lagerbehälter für die Emulsion als Puffer vor der Trocknung errichtet (vgl. Abbildung 4). In dieser Abbildung blau gekennzeichnet ist der Strom des filtrierten Wassers aus der Ultrafiltration zum Auffangbehälter.

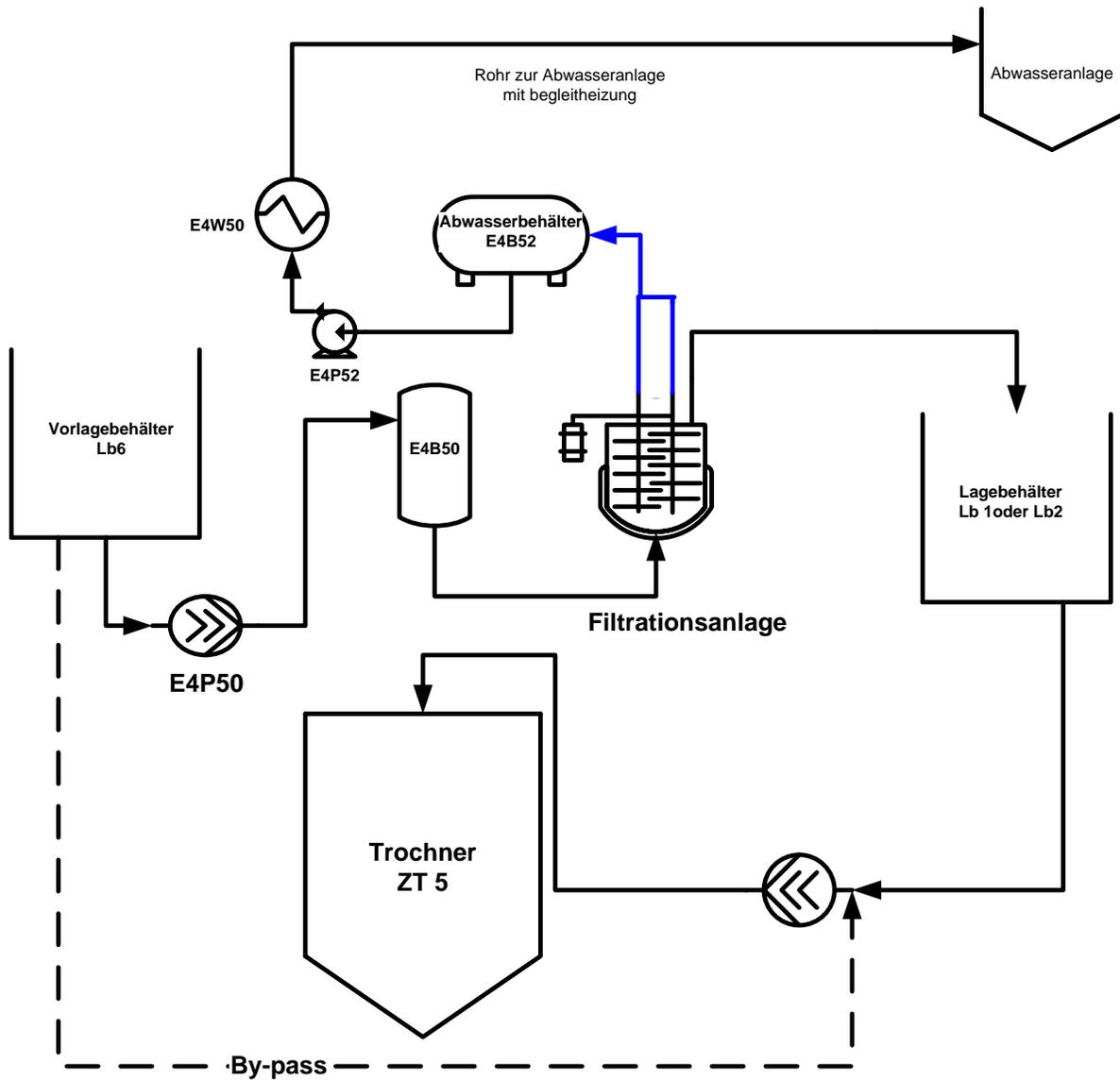


Abb. 4: Einbindung der Filtrationsanlage im Gesamtprozess

Der zu filtrierende Latex wird aus dem Vorlagenbehälter LB6 mittels einer Pumpe (E4P50) in einen Pufferbehälter (E4B50) und anschließend zur Filtration weitergeleitet. Hier findet der Filtrationsprozess statt, bei dem Wasser entzogen wird. Das Wasser wird durch die Keramikscheiben entzogen und über die rotierenden Achsen zu einem Abwasserbehälter geleitet (E4B52) und anschließend der biologischen Abwasseranlage zugeleitet mittels einer Pumpe (E4P52) durch einen Wärmetauscher (E4W52). Diese aufkonzentrierte Latex-Emulsion wird über den als Puffer fungierenden Lagerbehälter (Lb1 oder Lb2) in den Trockner (ZT5) weitergeleitet. Durch die Lagerbehälter Lb6 bzw. Lb1 / Lb2 und einen installierten by-pass zur Filtrationsanlage können Trocknungs- und Filtrationsprozess voneinander abgekoppelt werden. Auf diese Weise kann der Produktionsprozess bei Störungen der Filtrationsanlage weitergeführt werden bzw. die Filter in unterschiedlicher Kombination (bspw. beide Filter aktiv, ein Filter aktiv und zweiter Filter in Wartung) gefahren werden.

## 2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Das Vorhaben sollte gemäß ursprünglicher Planung im Zeitraum vom 1. April 2011 bis zum 31. Januar 2013 stattfinden. Tatsächlich wurde das Projekt im Zeitraum vom 1. September 2011 bis 30. Juni 2013 realisiert. Grund für die Projektverzögerung waren unerwartete Probleme bei der Identifikation der optimalen Auswahl von Keramikscheiben für den geplanten Filter in Kombination mit der erforderlichen Durchflussmenge im Rahmen der Latex-Produktion. Daneben kam es während des Umsetzungsprozesses zu Verzögerungen, hervorgerufen durch Beschädigungen der neuen Filter.

Im Vorfeld des geförderten Vorhabens hatte SolVin in einer kleinen Versuchsanlage bereits Tests mit verschiedenen Filterversionen im Hinblick auf die Porosität der Keramikscheiben durchgeführt, um die optimale Lösung für das geplante Vorhaben zu verifizieren. Die hier zunächst gefundene Lösung wurde als Ausgangspunkt für die großtechnische Demonstration gewählt.

Die ursprünglichen Planungen sahen eine Ableitung des ausfiltrierten Wassers in die lokale Abwasseraufbereitung der Betriebseinheit 2 „Polymerisation“ vor, also am direkten Installationsort der Ultrafiltration. Während der umfangreichen Zusatztests stellte sich jedoch heraus, dass der Anteil an Chemikalien im ausgefilterten Wasser höher als gedacht war. Um keine Änderungen an der Zusammensetzung der Rezeptur des E-PVC vornehmen zu müssen oder weitere konstruktive Änderungen bei der Filtration entwickeln zu müssen, wurde der Chemikaliengehalt als gegeben akzeptiert. Damit musste eine alternative Lösung zur Abwasserbehandlung gefunden werden, da die normale Abwasseranlage höheren chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) nicht behandeln kann. In Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden wurde vereinbart, die entstehenden Abwässer der biologischen Kläranlage der VCM-Anlage zuzuführen und dort zu klären. Diese Anlage ist rund 800 m vom Standort der Ultrafiltration entfernt, so dass weiteres Equipment anzuschaffen und zu installieren war (Tank E4B52, Pumpe E4P52, Wärmetauscher E4W52 und beheizte isolierte Rohrleitung (vgl. Abb. 4).

Die durch diese Änderungen notwendigen internen und externen Abstimmungsprozesse führten zu der genannten Verzögerung des Projektstarts.

In der Konsequenz mussten mit Beginn der Projektlaufzeit auch die Aktivitäten im Rahmen der Planung (AP 1) und des Engineering & Konstruktion (AP 3) ausgeweitet werden, um die Ergebnisse aus der Weiterentwicklung des DCF in der Demonstrationsanlage umzusetzen. So wurden ein ausführliches Fließschema und ein Arbeitsablaufdiagramm für die E-PVC-Produktion erstellt. Auf Basis dieses Schemas wurden die erforderlichen Eigenschaften und Positionen der Verrohrung der Ventile sowie Sicherheitsventile berechnet und bemessen. Zudem wurden Parameter der großen Anlagenteile, wie beispielsweise Pumpen, Wärmetauscher und Pufferspeicher, berechnet. Für die Erarbeitung und Festlegung des Konstruktionsdesigns wurde parallel ein 3D-Modell erstellt. Das Modell ist im Anhang 6.2 beigefügt.

Die Messtechnik wurde im Demonstrationsvorhaben zudem genutzt, um eine optimale Einstellung von Produktionsprozess und Anlagentechnik zu erreichen, um den Projekterfolg anhand spezifischer Messergebnisse nachzuvollziehen. In einem weiteren Schritt wurde die Elektrotechnik implementiert und das Gesamtsystem einem Funktionstest unterzogen. Die notwendige Mess-, Steuer- und Regeltechnik (PLS) konnte in diesem Arbeitspaket ebenfalls erfolgreich programmiert und konfiguriert werden.

Die Auslieferung der DC-Filtrationsanlage von der Andritz GmbH an SolVin erfolgte im August 2012, so dass ihre Montage und Einbindung (AP 6) im September 2012 fristgerecht durchgeführt werden konnte. Parallel zu diesen Bautätigkeiten wurde die Programmierung der gesamten Ultrafiltrationsanlage vorgenommen und Testläufe mit „virtuellen“ Filtern in einem Simulationsprogramm durchgeführt, um alle Sequenzen zu prüfen.

Die Filtrationsanlage wurde einem mechanischen Test unterzogen und die Steuerungssoftware eingestellt. Dabei wurde zunächst allein Wasser als Testmedium verwendet, um den Einfluss des Mediums auf die Filtereinstellungen faktisch auszuschließen. Alle Programmsequenzen wurden in diesem Arbeitsschritt überprüft, um die Stabilität der Gesamtinstallation sicherzustellen. Einige Parameter, wie bspw. die Reihenfolge der Ventilöffnungen sowie der Druck in den Spülnetzen, mussten angepasst werden.

Im Rahmen der genannten Aktivitäten wurden u. a. alle Grenzwerte für einen sicheren Betrieb der Filtration festgelegt und anschließend getestet. Dies betraf bspw. das maximale Drehmoment von Schaft und Keramikscheiben. Diese Maßnahmen waren notwendig, um die Robustheit der Anlage insbesondere vor dem Hintergrund des späteren Einsatzes im Dauerbetrieb zu gewährleisten. Mit Vorliegen dieser Ergebnisse konnte planmäßig mit den eigentlichen Testläufen an der Anlage begonnen werden (AP 7, Oktober 2012). Aus mechanischen Gesichtspunkten wurde bspw. das maximale Drehmoment der Filter anfänglich 100 % festgesetzt.

In der zweiten Stufe wurde die Filtrationsanlage mit Latex betrieben und der Druck im Filter zunächst sehr gering gehalten. Eine übermäßige Belastung der Filterkomponenten während der ersten Testläufe sollte so verhindert werden. Im Werk Rheinberg werden drei unterschiedliche Varianten von EPVC als Typ 1 - Typ 3 hergestellt, die alle über die Filtrationsanlage geleitet werden sollen.

Gleichzeitig wurden alle relevanten Prozessparameter eingehend untersucht und getestet, die die Filtrationsvorgänge beeinflussen. Hierzu zählen bspw. der Druck im Filter, der sukzessiv erhöht wurde, Rückspülfrequenz und -druck sowie Rückflussdauer oder die Fließrate der Dispersion. Bei der Permeation im Filtrationsprozess kam es zu Beginn der Testläufe zu einer ausgeprägten Schaumbildung, hervorgerufen durch Druckänderungen in der Emulsion: Der Latex erreicht den Filterapparat und Druck. Sobald das enthaltene Wasser durch die Keramikscheiben der Filter diffundiert, kommt es zu einem Druckabfall. Hierdurch kommt es zu einer Entgasung und damit verbunden zur Schaumbildung. Dieser Schaum führte zu Problemen bei der Messung des Wasserdurchflusses und damit zu Schwierigkeiten in der Prozessüberwachung und der Steuerung des Filters.

Um diese Schaumbildung im Filter zu vermeiden, wurden weitere Leitungen für das Permeat (ausgefiltertes Wasser) mit automatischen Ventilen zur Steuerung des Abflusses installiert, so dass die Druckunterschiede gemindert werden konnten. Zudem wurde die Programmsequenz der Software angepasst.

Neben der Reparatur des beschädigten Filters wurde eine Flockungserkennung im Austritt des Permeats installiert, um den Gehalt von Latex im Abwasser detektieren zu können. Auf diese Weise ist ein weiterer Sicherheitsmechanismus installiert, der auf einen Bruch von Keramikscheiben in der Filteranlage hinweist. Zudem wurde ein Monitoring eingeführt, um frühzeitig mögliche Koagulationen im Filter zu erkennen. Sobald sich dieses Problem abzeichnet, wird der Filter automatisch in den Reinigungsmodus gestellt, um anhaftendes

Latex zu entfernen. Gleichzeitig wurde das maximale Drehmoment für die Filter herabgesetzt auf 86 %.

Während der Anlaufphase und der sich anschließenden Demonstrationsphase wurde die Anlage sukzessive hochgefahren und auch das aus dem Filterprozess gewonnene Latex schrittweise in den weiteren Produktionsprozess eingespeist. So wurde zunächst das im Ergebnis aufkonzentrierte Latex nach der Filtration mit konventionell hergestelltem Latex über den By-pass verdünnt. Nach und nach wurde dann der Anteil des konzentrierten Latex erhöht, der dem Trockner zugeführt wurde.

Im Zuge dieser Aktivitäten wurden zudem die Raten der Aufkonzentration des Latex im Filtrationsprozess sukzessive angehoben. In der ursprünglichen Projektplanung wurde eine Rate von 60 % angepeilt. Während des Projektes zeigte sich jedoch, dass mit zunehmender Aufkonzentration des Latex sich die Produkteigenschaften zunehmend negativ auf den neuen Prozess auswirkten. Der Latex begann auszuflocken oder zu gelieren, die Emulsion insgesamt wurde zunehmend instabil und verhinderte somit eine stabile Filtration und Trocknung. Trotz mehrerer Versuche konnte letztlich eine Aufkonzentration von 48 % nicht überschritten werden.

In einem letzten Schritt wurde schließlich mit der Produktion und Filtration von Emulsions-PVC ausschließlich aus konzentriertem Latex begonnen. Dabei wurde das Ziel verfolgt, den Effekt der Ultrafiltration auf die finalen Produkteigenschaften zu bestimmen. Die dafür notwendigen Untersuchungen wurden sowohl im betriebseigenen Labor am Standort Rheinberg als auch im Zentrallabor in Brüssel durchgeführt. Die Routine-Qualitätskontrollen zeigten, dass die Eigenschaften des Endprodukts nach Ultrafiltration mit denen des konventionell hergestellten Produkts identisch sind (identisches rheologisches Verhalten, Anteil grober Partikel etc.).

Ebenso wurden anwendungstechnische Prüfungen vorgenommen und Produktproben an ausgewählte Kunden für ihre eigenen Untersuchungen versandt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Anhang 6.3 im Detail wiedergegeben. Zusammenfassend hat sich gezeigt, dass es nur vernachlässigbare Unterschiede in der Produktqualität zwischen konventionellem und mit dem neuen Verfahren hergestelltem Endprodukt gibt.

In dieser Zeit wurden die zentralen Parameter der Filter laufend kontrolliert. Hierzu gehörten etwa der Zu- und Abfluss der Latex-Emulsion am Filter, das Abflussverhalten und -volumen des gefilterten Wassers oder das Drehmoment der Filter selbst. Sobald einer der Parameter die in den Vorversuchen ermittelten Werte verlässt, wird der betroffene Filter automatisch gestoppt und mit reinem Wasser gespült. Bei Vorliegen oder bei der Vermutung eines schweren Defekts eines Filters wird der betreffende Filter außer Betrieb gesetzt und manuell inspiziert. Soweit eine Reinigung ausreicht, wird dies von hierfür geschultem Personal vor Ort durchgeführt. Bei einer Beschädigung kann der Filter je nach Schadensausmaß ganz oder auch nur teilweise ausgebaut werden. Eine Reparatur kann in der Regel vor Ort im Werk durchgeführt werden. Durch die bautechnische Lösung ist die Zugänglichkeit der Filtrationskammer gewährleistet. Durch die eingepflanzten Puffertanks und den By-pass konnte während der Demonstrationsphase die Produktion durchgängig aufrechterhalten werden. Die Problematik der Schaumbildung konnte zwar erheblich reduziert werden, trat während der Demonstrationsphase jedoch weiterhin sporadisch auf und konnte bisher nicht gänzlich gelöst werden. Insgesamt kam es während der Projektumsetzung zu drei Teilschäden an den Keramikscheiben und zu einem Totalschaden am Filter, bei dem sämtliche Scheiben zerbrachen.

## 2.4 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Um Leistung und Kapazität der Filter überwachen und messen zu können, wurde eine Reihe von Messinstrumenten installiert, mit denen folgende Parameter laufend erfasst werden:

- Fluss und Dichte des Latex bei Eintritt mittels Coriolis-Flussmessung;
- Fluss und Dichte des Latex bei Austritt mittels Coriolis-Flussmessung;
- Fluss und Dichte des Permeats (Wasser) bei Austritt mittels Coriolis-Flussmessung;
- Druck und Temperatur vom Latex in Filter;
- Druck und Niveaumessung des Latex dienen dem Tank (E4B50) als Puffer;
- Niveaumessung des Abfallwassertanks (E4B52);
- Trübungsmessung des Wassers, das die Filter verlässt.
- Druck des Rückspülwassers

Alle diese Daten werden gesammelt und durch über ein EDV-Steuerungssystem (PLS:Prozessleitsystem) verarbeitet, um den Betrieb der Filtrationseinheit kontinuierlich zu überwachen.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Das Projekt ist Ergebnis einer für die Chemische Industrie typischen Vorgehensweise: Im Vorfeld hatte eine Reihe von Versuchen im Labormaßstab stattgefunden, die in Kooperation mit der Andritz GmbH durchgeführt worden waren. Eine kleine Versuchsanlage in Rheinberg wurde genutzt, um im Kleinstmaßstab erste Filter zu testen, um eine technische Lösung für eine Großanlage zu ermitteln.

Die erstmalige großtechnische Umsetzung der Filtration von E-PVC in einem laufenden Produktionsprozess war Gegenstand des geförderten Projekts. Die Realisierung gestaltete sich erheblich schwieriger, zeitaufwendiger und kostenintensiver als im Antrag geplant.

Die Herausforderungen betrafen dabei den Filter selbst, die Filtrationsfähigkeit des Latex, die Zusammensetzung des Abwassers und das Verhalten der Emulsion im Filtrationsprozess, die von Beginn an zu Zeitverzögerungen im Projektstart, aber auch zu Anpassungserfordernissen und Nachrüstungen in der Projektdurchführung, geführt haben. So verursachte bereits die notwendige Umleitung des Permeats aus der Filtration in die biologische Kläranlage erhebliche Mehrkosten für zusätzliche Installationen und Anpassungen im Genehmigungsverfahren für die Erteilung einer BImSch-Genehmigung für die Anlage.

Auch die grundlegende Veränderung in der Wahl des Filters, mit den für eine laufende Produktion doch unzureichenden Filtrationsleistungen, erforderten erhebliche Anpassungsmaßnahmen sowohl in der Planung als auch in der Realisation der Ultrafiltrationsanlage. Neben den Anpassungen im Steuerungs- und Messequipment schlug hier vor allem der notwendige Einbau eines zweiten Filters finanziell erheblich zu buche. Auch die Schaumbildung des Permeats zu Beginn der Testläufe war so nicht erwartet. Hierdurch konnten die Filter im Prozess nicht ausreichend beobachtet und rechtzeitig gesteuert werden. In der

Konsequenz kam es zu Beschädigungen am Filter und damit zu zusätzlich ungeplanten Reparatur- und Ersatzkosten. All diese Kosten waren in der Antragsplanung nicht vorgesehen oder beantragt und haben damit den von SolVin selbst zu finanzierenden Kostenteil erheblich vergrößert.

Gleichzeitig konnte bisher im Prozess der Filtration die angestrebte Stabilität noch nicht erreicht werden. Der Latex ist sehr anfällig zur Koagulation, so dass die Keramikscheiben der Filter sehr schnell belegt sind und zum Bruch neigen. Trotz der Einrichtung eines spezifischen Monitorings kam es in den Monaten der Demonstrationsphase zu drei Vorfällen, bei denen einige der Scheiben der Filter zu Bruch gingen. Beim letzten Ereignis wurden sogar alle Keramikscheiben eines Filters zerstört.

Dies hatte nicht nur die bereits angesprochenen Reparaturkosten zur Folge, sondern weitere Kosten bei den allgemeinen Wartungsarbeiten, da die Intervalle zur Reinigung und Wartung immer weiter erhöht wurden. Zudem war eine intensive Schulung sowohl der Techniker in der Filtrationsbedienung als auch der Wartungsmannschaft im Handling notwendig. Unterbrechungen in der Produktion konnten zwar weitgehend vermieden werden, die erhofften Energieeinsparungen durch die Trocknung des aufkonzentrierten Latex blieben jedoch notgedrungen hinter den Erwartungen zurück. Die ursprüngliche Erwartung der Amortisationszeit muss erheblich korrigiert werden.

Positiv ist das Projektergebnis aber im Hinblick auf die Produktqualität, die keine signifikanten Abweichungen erkennen lässt. Damit ist SolVin zuversichtlich, dass auch alle noch ausstehenden Rückmeldungen der Testkunden positiv ausfallen werden. Der Absatz des neuartig produzierten E-PVC erscheint damit gesichert. Das Unternehmen wird die Filtrationsanlage weiter betreiben und ist zuversichtlich, die noch ausstehenden Herausforderungen auf ein beherrschbares Maß reduzieren zu können, die langfristig die Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs doch noch erreichen lässt. Auch nach Abschluss des Demonstrationsvorhabens wird SolVin weitere Anstrengungen zur Optimierung der Anlage unternehmen.

### **3.2 Stoff- und Energiebilanz**

Die Ultrafiltrationsinbetriebnahme in Linie 5 hat im September 2012 stattgefunden. Mittels dieser Linie werden drei PVC-Typen produziert: Typ 1, Typ 2, Typ3 (aufgrund der Vertraulichkeit wurden die Namen der PVC-Typen durch 3-Letter-Codes ersetzt).

Die Gesamtlaufzeit der Filteranlage im Projekt liegt bei 1.537 Stunden. Der während dieser Zeit gefilterte Latex wurde zu den Trocknern weitergeleitet. Dabei wurde der Latex gerade vor dem Hintergrund der langsamen Beimischung in den konventionell produzierten Latex über drei unterschiedliche Trockner der Linie geleitet. Diese Trockner sind jeweils 8.000 Stunden in Betrieb gewesen, verfügen aber über keine Messvorrichtung, um den Anteil der aufkonzentrierten Latex-Emulsion in der Gesamtmenge erfassen zu können. Dies wäre technisch nicht lösbar. Daher konnte keine direkte Erfassung der Energieeinsparungen im Trocknungsprozess während der neun Monate erfolgen. Daher wurde zur Ermittlung der Energieeinsparung die Menge des ausfiltrierten Wassers als Hilfsgröße verwendet. Dieses wurde laufend erfasst und musste nicht über die Trocknung entzogen werden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt für jedes der drei Latex-Produkte die operativen Stunden des Filters, die Menge der gefilterten Latex-Emulsion und die Menge des aufkonzentrierten

Latex an. Zusätzlich wird die Menge des ausgefilterten und der Kläranlage zugeführten Wassers ausgewiesen. Ebenso zeigt die Tabelle die Menge des produzierten PVC und die mit der Aufkonzentration verbundene Energieeinsparung durch die reduzierte zu verdampfende Wassermenge im Trockner.

Typ	Zeit in h	Latex in t	Aufkonzentriertes Latex in t	Permeat in t	PVC in t	Energieeinsparung in MWh
Typ 1	313,0	822,3	685,3	137,0	311,9	176,0
Typ 2	648,0	1.525,0	1.372,0	152,0	630,0	195,3
Typ 3	576,3	1.450,7	1.240,0	210,5	551,6	270,5
<b>Summe</b>	<b>1.537,3</b>	<b>3.798,0</b>	<b>3.297,3</b>	<b>499,5</b>	<b>1.493,5</b>	<b>641,9</b>

Tab. 1: Mengenangaben der Latexverarbeitung im Demonstrationszeitraum

### 3.3 Umweltbilanz

#### Erwarteter Effekt bei Projektstart

Mit Durchführung des Projektes verbunden war die Erwartung, die E-PVC-Produktion energieeffizienter zu gestalten. Einsparungen von bis zu 50 % der Trocknungsenergie waren angestrebt. Damit waren folgende unmittelbare Entlastungen der Umwelt verbunden:

1. Reduzierung des Primärenergieverbrauchs im Trocknungsprozess durch die geringere Menge an Wasser, die pro Tonne E-PVC verdampft werden muss;
2. damit unmittelbar verbundene Verminderungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie in Abhängigkeit des Primärenergieträgers an weiteren Treibhausgasen.

Bei einem im Stand der Technik durchschnittlichen Wassergehalt von 60 % in der Emulsion sind pro Tonne Produkt gut 1,5 t Wasser zu verdampfen mit einem Energiebedarf von knapp 1.933 kWh. Die nachfolgende Tabelle zeigt bei diesem grundlegenden Energiebedarf von 1.933 kWh pro Tonne Endprodukt den Energieverbrauch am Standort in der Ausgangssituation:

	Produktions- menge E-PVC in t		Energieaufwand im Trocknungs- prozess in kWh	
	2008	2009	2008	2009
<b>Referenzanlage</b>	11.727	11.050	22.672	21.363
<b>Weitere Produktionslinien</b>	27.199	24.524	52.583	47.412
<b>Summe</b>	<b>38.926</b>	<b>35.574</b>	<b>75.255</b>	<b>68.775</b>

Tab. 2: E-PVC-Produktion und Energiebedarf am Standort Rheinberg in der Ausgangssituation

Mit dem Projekt sollte der Anteil des Wassers um mehr als die Hälfte reduziert werden, was einer Aufkonzentration der Emulsion um rund 20 % entspricht. Die nachfolgende Tabelle zeigt die ursprünglich angestrebten Projektparameter für die Demonstrationsanlage.

		in %	in t	Energiebedarf zur Trocknung
Konzentration vor Filtration	PVC-Gehalt	40	1	1.933 kWh
	Wassergehalt	60	1,5	
Konzentration nach Filtration	PVC-Gehalt	60	1	859 kWh
	Wassergehalt	40	0,67	

Tab. 3: Emulsions-Konzentrationen und Energieeinsparung für die Demonstrationsanlage

Ausgehend von diesen Werten sollte sich der Energiebedarf für die Trocknung pro Tonne 1.074 kWh auf dann 859 kWh verringern. Dem entgegen steht der Energieaufwand für die Filtration. Dabei war die Erwartung, dass für das gesamte Filtersystem ein Energiebedarf von 11 kWh je Tonne E-PVC einzusetzen ist. Bei einer Produktionskapazität der Referenzanlage von 41 Tonnen und einer durchschnittlichen Produktionszeit von 340 Tagen ergab sich folgende Bilanz an direkt mit dem Demonstrationsvorhaben verbundenen Umwelt-effekten:

	Primärenergie in MWh	CO <sub>2</sub> in t
Energieeinsparung Trocknung	14.972	4.072
Energieaufwand Filtration	- 153	- 42
<b>Summe</b>	<b>14.819</b>	<b>4.030</b>

Tab. 4: Erwartete jährliche Gesamteinsparung der Demonstrationsanlage

Die mit einer erfolgreichen Projektumsetzung verbundene Ausfilterung des Wassers wurde auf 0,83 t / Tonne E-PVC beziffert. Dies summiert sich bei den angegebenen Produktionsvolumina auf eine Gesamtmenge von gut 11.570 Tonnen Wasser pro Jahr. Soweit dieses Wasser rückstandsfrei zu gewinnen wäre, sollte in einem Folgeprojekt die Möglichkeit seiner Rückgewinnung für den Produktionsprozess angestrebt werden.

#### Realisierter Effekt nach Projektumsetzung

Nach Ende der Demonstrationsphase konnte dauerhaft eine Aufkonzentration des Latex von ursprünglich 40 % auf 48 % in der Anlage erreicht werden. Bei diesem Wert ist eine stabile Anlagenfahrweise sichergestellt, ohne die geschilderten Gefahren von Filterausfällen u. ä. zu erhöhen. Die folgende Tabelle weist die damit erzielte Energieeinsparung pro Tonne zu trocknender Latex-Emulsion aus und stellt sie der Ausgangssituation gegenüber.

		in %	in t	Energiebedarf zur Trocknung
Konzentration vor Filtration	PVC-Gehalt	40	1	1.933kWh
	Wassergehalt	60	1,5	
Konzentration nach Filtration	PVC-Gehalt	48	1	1.391kWh
	Wassergehalt	52	1,08	

Tab. 5: Ursprüngliche und realisierte Energieeinsparung pro Tonne Latex-Emulsion

Ausgehend von diesen Werten verringert sich der Energiebedarf für die Trocknung pro Tonne um 542 kWh auf dann 1.391 kWh. Dem entgegen steht der Energieaufwand für die Filtration, die bei 22 kWh je Tonne E-PVC liegt. Bei einer Produktionskapazität von 41

Tonnen und einer durchschnittlichen Produktionszeit von 340 Tagen führt zu einer jährlichen Einsparung an Primärenergie in Höhe von 7,25 GW und gut 1.971 Tonnen CO<sub>2</sub>; dies zeigt die nachfolgende Tabelle nochmals im Überblick.

	<b>Primärenergie in MWh</b>	<b>CO<sub>2</sub> in Tonnen</b>
Energieeinsparung Trocknung	7.555	2.055
Energieaufwand Filtration	- 306	- 84
<b>Summe</b>	<b>7.249</b>	<b>1.971</b>

Tab. 6: Realisierte jährliche Gesamteinsparung der Demonstrationsanlage

Aktuell werden diese Mengen noch nicht auf der Anlage produziert, da noch nicht alle Kunden eine Abnahme der Endprodukte zugesagt haben. Daher liegt die bei Ende des Demonstrationsvorhabens unmittelbar realisierte Einsparung bei rund 48 % der angegebenen Volumina, also bei ca. 3.480 MW an Primärenergie und 946 Tonnen eingespartem CO<sub>2</sub>.

### 3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Während des Vorhabens wurden die Produktion der Latex-Typen und das damit verbundene Filterverhalten und die entstehenden Abwasserströme intensiv überwacht und ausgelesen. Nachfolgend werden die zentralen Ergebnisse der Messungen zunächst für alle drei Varianten des Latex aufgezeigt. Der gesamte Messzeitraum über alle drei Latex-Typen beträgt mehr als 1.500 Stunden.

Die wässrige Latex-Emulsion wird dem Filter von unten zugeführt, die aufkonzentrierte Emulsion auf der Oberseite des Filterschachts abgeführt. Durch die Keramikscheiben des Filters wird das Permeat (abgeschiedenes Wasser) ausgefiltert. Um ein Anhaften bzw. eine Zusammenballung des Latex auf der Oberfläche der Keramikscheiben zu vermeiden, wurde regelmäßig ein Spülvorgang durchgeführt. Seine Häufigkeit ebenso wie die hierzu eingesetzte Menge an Wasser wurde dabei in Abhängigkeit der folgenden Faktoren bestimmt: Latex-Typus, Konzentration des PVC in der Latex-Emulsion sowie Einsatzdauer der zu spülenden Keramikscheiben. Die folgende Abbildung (Abb. 5) zeigt die Entwicklung der Filtrationsrate für alle drei Latex-Typen. Die Filtrationsleistung wurde normiert auf Basis der Filtrationsrate von Wasser (= 1).

Die Abbildung zeigt deutlich auf, dass die Filtrationsrate unmittelbar abhängig vom jeweils verarbeiteten Latex-Typ abhängt. Einflussgrößen sind hier vor allem die unterschiedlichen Partikelgrößen des PVC und die verwendeten Emulgiermittel. Zudem ließ die Filtrationsleistung insgesamt erheblich nach, wie der Vergleich der Typen 1 und 3 vor bzw. nach 400 Betriebsstunden zeigt. Nach diesen 400 Stunden Betriebszeit stabilisierte sich die Filtrationsleistung für jeden Typ auf unterschiedlichem aber konstant bleibendem Niveau.

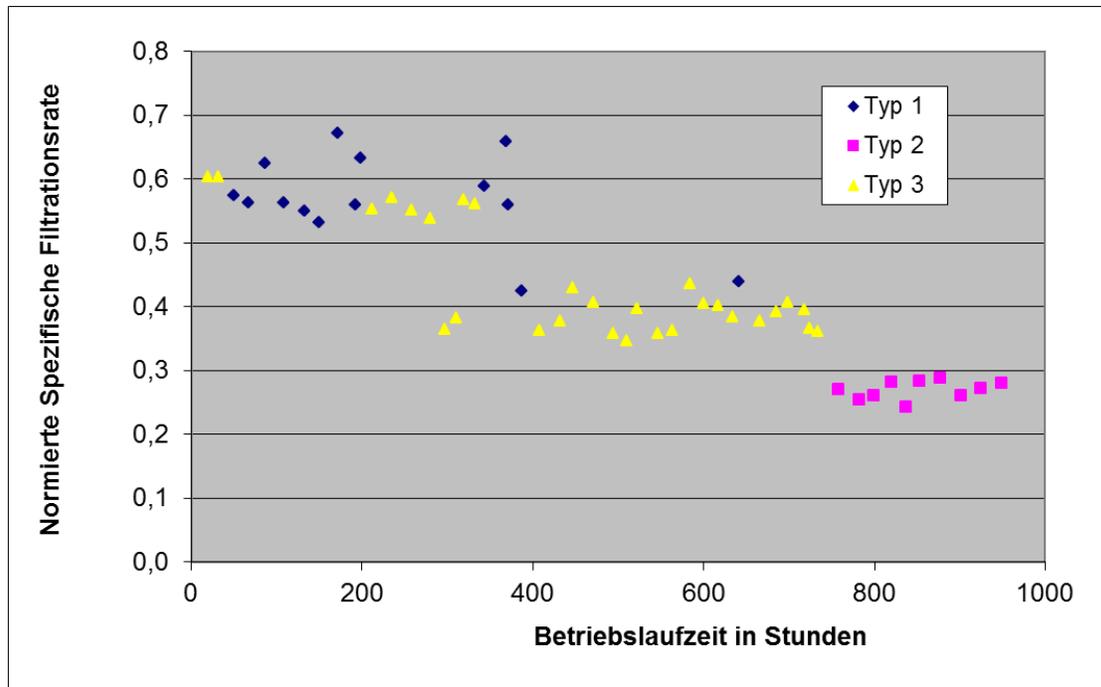


Abb. 5: Entwicklung der Filtrationsrate der Latex-Typen 1 - 3

### 3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Mit der Projektplanung verbunden war die Erwartung, dass sich das Projekt unter Förderung durch das Unternehmen SolVin umsetzen lässt und sich in 3,2 Jahren amortisieren kann. Die entsprechende Amortisationsrechnung ging von tatsächlichen Projektkosten i. H. v. € 851.736,00 aus. Unterstellt wurde dabei, dass langfristig ein stabiler Produktionsprozess zu Energieeinsparungen bis zu 50 % im Trocknungsprozess führen könne mit entsprechenden finanziellen Einsparungen bei den Energiekosten. Vorausgesetzt wurden auch eine gleichbleibende Qualität des Endprodukts und stabile Produktionsmengen.

Die Umsetzung des Projektes hat aufgrund der geschilderten Schwierigkeiten zu erhöhten Projektkosten geführt, die sich im Ergebnis auf eine Gesamthöhe von € 1.400.000,00 belaufen. Gleichzeitig kam es im Projektverlauf zu einer Zerstörung eines vollständigen Satzes an Keramikscheiben.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die angepasste Amortisationsrechnung basierend auf den aktuellen Kosten, sowie den tatsächlich möglichen Einsparungen an Energie. Die Rechnung basiert zudem auf der Erwartung, Ende 2014 die Produktionsanlage in voller Auslastung zu fahren.

	Jahr	Gesamteinsparung in €	Abschreibungen Unterhaltskosten in €	Anschaffungs- kosten in €	Auszahlung in €	Amortisation	
						ohne Förderung in €	mit Förderung in €
1	2011		0	-62.317		-62.317	-62.317
2	2012	0	-10.173	-1.224.500	137.000	-1.296.990	-1.159.990
3	2013	31.745	-30.521	-113.181	15.000	-1.408.946	-1.256.946
4	2014	234.663	-61.041			-1.235.325	-1.083.325
5	2015	184.518	-61.041			-1.111.848	-959.848
6	2016	185.441	-61.041			-987.448	-835.448
7	2017	186.368	-61.041			-862.122	-710.122
8	2018	187.300	-61.041			-735.863	-583.863
9	2019	188.236	-61.041			-608.668	-456.668
10	2020	189.177	-61.041			-480.531	-328.531
11	2021	190.123	-61.041			-351.449	-199.449
12	2022	191.074	-61.041			-221.416	-69.416
13	2023	192.029	-61.041			-90.428	61.572
14	2024	192.989	-61.041			41.521	193.521
15	2025	193.954	-61.041			174.434	326.434

Tab. 7: Amortisationsrechnung

Diese Amortisationsrechnung berücksichtigt die Rückflüsse durch Energieeinsparungen bei bestehender Produktionsauslastung. SolVin hofft jedoch, durch weitere kleinere Ergänzungsinvestitionen in der kommenden Zeit zusätzliche Verbesserungen des Trocknungsprozesses zu erzielen. Damit sollen Vorteile im Hinblick auf Qualität und Produktionsverlust erzielt werden. Zudem ist SolVin nach wie vor überzeugt, einen Zusatznutzen bspw. durch das gezeigte Engagement für nachhaltiges und ressourcenschonendes Wirtschaften erreicht zu haben. Sollte es dem Unternehmen noch gelingen, die Anlagenstabilität der Demonstrationsanlage zu erhöhen und gleichzeitig die Produktionsmenge auszuweiten, könnte die Amortisationszeit von derzeit 13 Jahren ggf. auf einen Zeitraum von fünf Jahren reduziert werden.

### 3.6 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Die Technologie ist bisher noch nicht in vollem Umfang ausgereift und in anderen Bereichen des Unternehmens eingesetzt. Grundsätzlich besteht auch keine alternative Technologie zur Aufkonzentration von Latex in einer Emulsion. Vor diesem Hintergrund ist ein sinnvoller Vergleich zu anderen Technologien nicht möglich.

## **4 Empfehlungen**

### **4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung**

Die Umsetzung des Projektes war für das Unternehmen SolVin eine neue Erfahrung und besondere Herausforderung. Trotz intensiver Vorplanungen und Untersuchungen im Labor- und Versuchsmaßstab war das Unternehmen nicht auf die erheblichen Unsicherheiten und Änderungen im Projekt gefasst. Dennoch ist aus Unternehmersicht das Projektergebnis durchaus vielversprechend. So reduzierte sich trotz eines 100%igen Upscales von Labor- auf Industriemaßstab die erreichte Filtrationsleistung „nur“ um den Faktor 4.

Zu Beginn des Projektes wurde noch eine Aufkonzentration der Latex-Emulsion auf 60 % angestrebt, realisiert werden konnten lediglich 48 %. Es stellte sich heraus, dass die Konzentration des Latex in der Emulsion nicht stabil gehalten werden konnte und auch die Leistung der eingesetzten Filter hinter den Erwartungen zurück blieb.

Auch die Umsetzung erwies sich als erheblich problematischer als angenommen. Eine einfache Regelung der Filter im neuen Prozess sollte zum erwünschten Ergebnis führen. Doch die Kombination aus den Produkteigenschaften des Latex und der Fragilität der Keramikscheiben im Filter erforderten erhebliche Anstrengungen im Steuerungsprozess der Anlage. Die Komplexität des Gesamtprojekts wurde mit jeder Erkenntnis höher und kostspieliger. Die realisierte Anlage wird nun vollautomatisch ohne Operator geführt.

Vor diesem Hintergrund mussten die Ambitionen bei der Aufkonzentration angepasst werden: 50 % Latex-Anteil in der Emulsion schienen das erreichbare Maximum zu sein. Zudem ist die für ein solches Projekt vorzuhaltende Infrastruktur äußerst komplex und kostspielig (Steuerung, Messequipment, Programmierung), die Überwachung der Filtrationsanlage muss sehr eng erfolgen.

Als Fazit lässt sich daher festhalten, dass die Umsetzung dieser Technologie allein vor dem Hintergrund der möglichen Energieeinsparung zu komplex ist und einen zu geringen Beitrag leistet. Diese Einschätzung mag sich angesichts weiter drastisch steigender Energiepreise noch relativieren. Allerdings kann die Technologie ihr volles Potenzial entfalten, wenn sie mit Anstrengungen für eine Produktivitätssteigerung insgesamt verbunden wird. Wird die Technologie von Beginn an als integraler Bestandteil einer neuen Produktionslinie berücksichtigt, können wesentliche und kostenentscheidende Elemente passend dimensioniert werden. Dies gilt bspw. für einen dem Filtrationsprozess nachgeschalteten Trockner, der auf die ideale Größe in Abhängigkeit der Aufkonzentrationsrate der Latex-Emulsion ausgelegt werden kann. Derartige Effekte reduzieren das anfängliche Investment, so dass die DC-Filtration wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Hier wird SolVin in Zukunft weiter ansetzen und die Erfahrungen aus dem Demonstrationsvorhaben weiter umsetzen.

### **4.2 Modellcharakter**

Die bisherigen Ergebnisse und Erfahrungen des Projektes wurden innerhalb des Konzerns verbreitet. Alle Standorte des Unternehmens, die E-PVC herstellen, werden informiert und können die Umsetzung am Standort in Rheinberg vor Ort erfahren. Auch weitere Teilsektionen des Unternehmens mit in den zentralen Eigenschaften und Fertigungsprozessen

vergleichbaren Produkten werden intensiv in den Informationsfluss eingebunden, um Möglichkeiten einer analogen Anwendung zu ermitteln. Dies betrifft vor allem den Sektor. Auch die unternehmensinterne Entwicklungsabteilung erhält die notwendigen Detailinformationen. Die ursprünglich geplante weitere Verbreitung der Informationen bspw. in Fachzeitschriften wurde angesichts der Projektschwierigkeiten zunächst ausgesetzt.

### 4.3 Zusammenfassung

Das Projekt „DyCroFi“ wurde mit einer Verzögerung von acht Monaten am 1. September 2011 gestartet und am 30. Juli 2013 nach Abschluss der geplanten Demonstrationsphase abgeschlossen. Verbunden mit dem Projekt waren hohe Erwartungen an die potenziellen Einsparmöglichkeiten an Trocknungsenergie durch die Einführung eines neuen Filtrationsverfahrens im bestehenden Herstellungsprozess. Gleichzeitig sollte Latex mit gleichbleibender Qualität produziert werden.

Das Projekt ist offiziell abgeschlossen, erreichte seine gesteckten Ziele jedoch nur teilweise und wird vom Unternehmen SolVin in Eigenregie und finanzieller Verantwortung noch weitergeführt, um zusätzliche Fortschritte in der Umsetzung zu erreichen.

Die Projektkosten haben sich gegenüber der Ausgangsplanung erheblich erhöht und die Projektausführung verändert. So wurde eine alternative Lösung in der Abwasserbehandlung ebenso notwendig wie der Einsatz eines zweiten Filters und By-pass-Möglichkeiten für die neue Filtrationsanlage, um den Produktionsprozess so stabil wie möglich fahren zu können.

Die erhoffte Aufkonzentration des Latex in der zur trocknenden Emulsion von 40 % im Ausgangsprozess auf bis zu 60 % bei optimaler Projektumsetzung konnte nicht erreicht werden. Derzeit liegt die Rate bei 48 %, da die Latex-Eigenschaften eine hohe Gefahr der Beschädigung der Filter mit sich bringt. Vor diesem Hintergrund wurden auch die Erwartungen an die Energieeinsparungen nicht erreicht.

Realisiert werden konnten Einsparungen von ca. 3.479,52 MW an Primärenergie und 946,08 Tonnen CO<sub>2</sub> sowie 2.652,48 Tonnen Wasser im Jahr.

Zusammenfassend konnten die eingangs definierten Erfolgskriterien wie folgt erfüllt werden:

- Anpassung des Filtrationsverfahrens an die Einsatzerfordernisse der E-PVC-Herstellung konnte prinzipiell erfüllt werden;
- stabile Integration des Filtersystems im bestehenden Produktionsprozess konnte umgesetzt werden im Hinblick auf die Möglichkeit, den Produktionsprozess unabhängig vom Filterverhalten aufrecht erhalten zu können;
- effiziente Aufkonzentration des Filtrats konnte nicht erreicht werden - eine 8%ige Aufkonzentration bleibt weit hinter den Erwartungen zurück und führt damit
- zu einer weitaus geringeren Abtrennung des in der Emulsion vorhandenen Prozesswassers als erwartet (dies führt zu erheblich geringeren Einsparungen an Energie, als sie in der Amortisation des Projektes eingeplant waren);
- ausreichend große Einsatzbandbreite des Filtersystems hinsichtlich unterschiedlicher Produktzusammensetzungen konnte erzielt werden, da alle drei Produktvarianten der Linie E5 über die Ultrafiltration behandelt werden können;

- die Produktqualität ist weitgehend konstant, hinsichtlich der Produkteigenschaften kam es nur zu geringfügigen Änderungen, die die Einsatzqualität nicht zu beeinträchtigen scheinen (bei einem Produkt wurde dies bereits durch Kunden bestätigt, bei den beiden weiteren Produktvarianten gibt es erste positive Signale);
- damit konnten auch die Anforderung an die Wartungsfreundlichkeit und Verschleißarmut nicht erreicht werden.

#### Übersichtstabelle

Trocknung des E-PVC in der Referenzanlage		Ohne Ultrafiltration	Mit Ultrafiltration	Einsparung
Spezifische Energie /t PVC	kWh/t	1.933	1.413 (1391+22)	564
Energieaufwand auf jährlicher Basis	GWh/a	26,95	19,7	7,25
CO2-Äquivalent auf jährlicher Basis	t/a	7.327	5.356	1.971
Abwasser aus gesamter Trocknung	t/a	keine	5.526	
VC-Emissionen		Kein Effekt		

## **5 Literatur**

<http://www.andritz.com/no-index/pf-detail?productid=4881>

<http://www.vsep.com/pdf/LatexConcentration.pdf>

<http://www.kochmembrane.com/Membrane-Products/Hollow-Fiber/Ultrafiltration/MegaPure-Solutions.aspx>

## 6 Anhang

### 6.1 DCF Filter

### 3.3 Typschild

						
<b>Typ</b> type	<b>Maschine</b> machine	<b>Baugruppe</b> component	Behälter vessel	Heizmantel jacket		
	Krauss-Maffei DCF 312/16,4	Werkstoff material	1.4571	1.4301		
	<b>Herstellnummer</b> serial no.	60001409, 60001414	zul. Betriebsdruck PS adm. pressure PS	bar ü bar g	3	6
	<b>Auftragsnummer</b> order no.	37000645	zul. Betriebstemperatur TS adm. temperature TS	°C	0-80	0-80
	<b>Baujahr</b> year of manufacture	2012	Inhalt V capacity V	l	180	48
<b>Explosionsschutzkennzeichnung</b> explosion-proof identification	 II 3 G IIA T2	Nr. der benannten Stelle no. of notified body	---	---		
<b>Nr. der Techn. Dokumentation</b> no. of techn. documentation	DocMgr 00018625	zul. Drehzahl adm. speed	min <sup>-1</sup> rpm	400		
ANDRITZ KMPT GmbH, Industriestr. 1-3, 85256 Vierkirchen, Germany						

### 3.9 Grenzwerte

<b>Druck</b>	
max. zul. Gasdruck im Verfahrensraum = Auslegungsdruck (Überdruck)	3 bar
max. zul. Druck für die Heizzone = Auslegungsdruck (Überdruck)	6 bar
<b>Temperaturen</b>	
Zulässiger Umgebungstemperaturbereich für den Betrieb der Maschine	10 – 40 °C
Auslegungstemperatur des Behälters	0–80 °C
Zulässiger Temperaturbereich des zu verarbeitenden Produkts	0–80 °C
Auslegungstemperatur der Heiz-/Kühlzone	0–80 °C
Mindesttemperatur für Quenchflüssigkeit (Wasser)	4 °C
Transporttemperatur, minimal *)	> 0 °C
Lagerungstemperatur, minimal *)	> 0 °C
<b>Luftschallwerte</b>	
Schalldruckpegel nach Maschinenrichtlinie	< 78 dB(A)

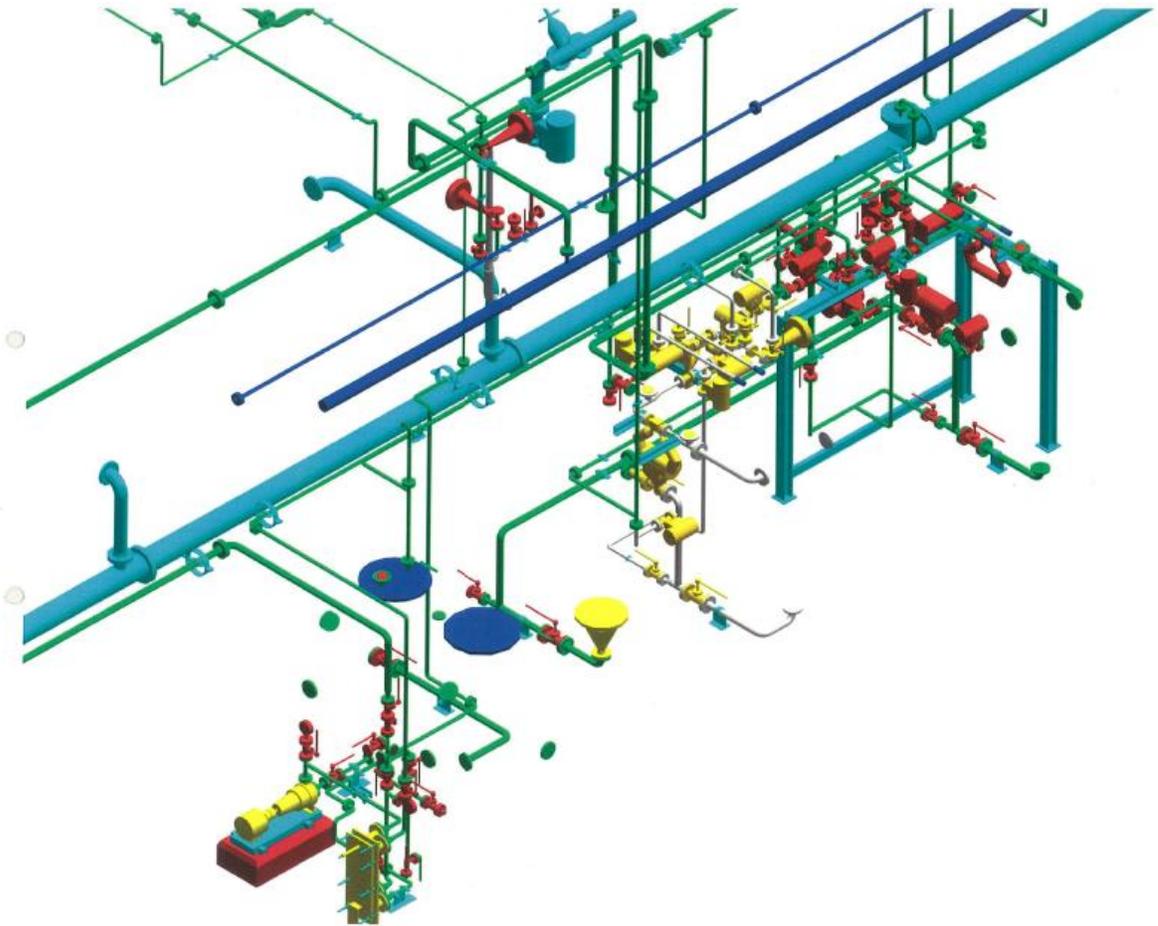
- \*) Wird Wasser aus der Filtereinheit entfernt (kein Wasser im Inneren der Einheit und kein Wasser in Zu- und Ablaufleitungen) und die Filterscheiben sind nicht wasserfeucht, dann sind Transport- und Lagerungstemperaturen von -5°C zulässig.

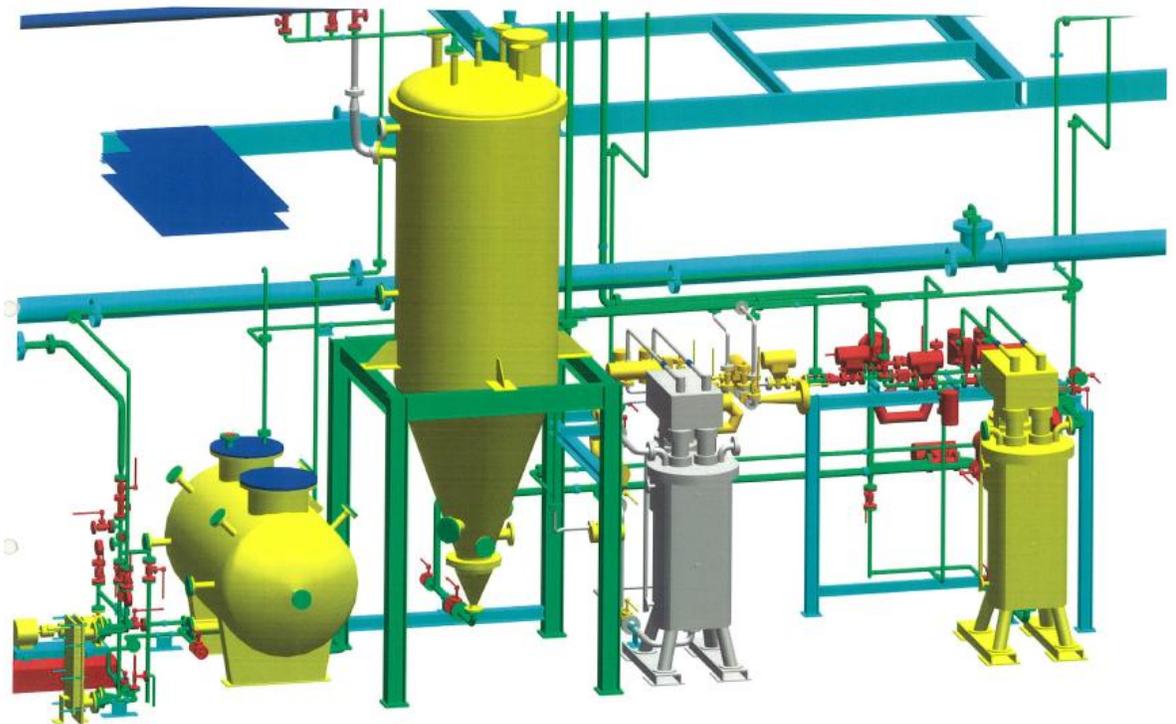
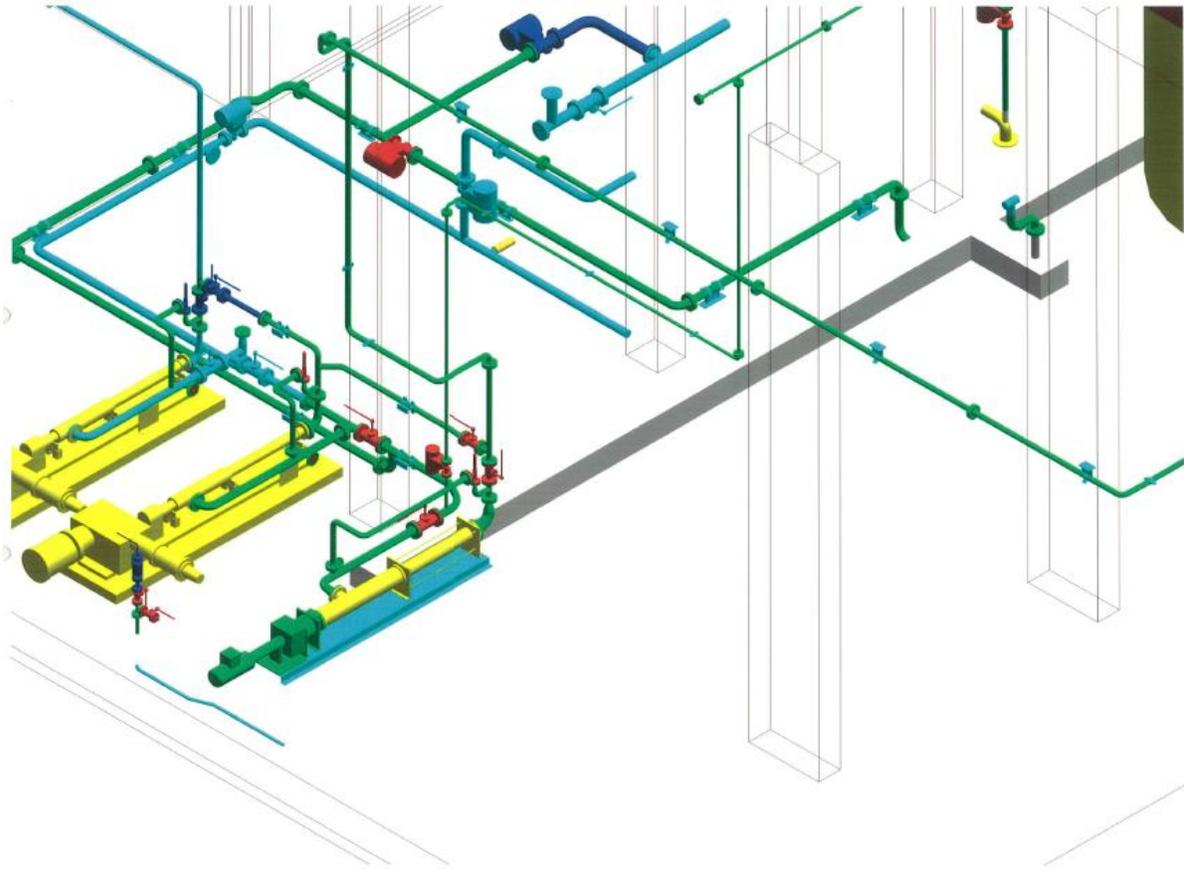
Pos.	Benennung	Norm	Anschluß- maße	Bemerkung
N1	Retentat-Eintrag (Produktzulauf)	EN 1092-1 / 11 B1	DN50 PN16	Installation eines Siebes (Siebweite < 1 mm) empfehlenswert
N2	Retentat-Auslaß (Entleerung)	EN 1092-1 / 11 B1	DN50 PN16	Bei giftigen oder ag- gressiven Medium sind besondere Vorkehrun- gen zu treffen
N3	Entlüftung Prozessraum	EN 1092-1 / 11 B1	DN50 PN16	
N4	Temperaturmessung	ISO 228	G 1 Innengewinde	
N5.1	Permeataustrag 1 (links)	Verschraubung NC-G-V 42L	für Rohr Ø42mm	
N5.2	Permeataustrag 2 (rechts)	Verschraubung NC-G-V 42L	für Rohr Ø42mm	
N5.3	Permeataustrag 1 an der Drehdurchführung (links)	ISO 228	G 1 1/2 Innengewinde	intern verbunden mit N5.1
N5.4	Permeataustrag 2 an der Drehdurchführung (rechts)	ISO 228	G 1 1/2 Innengewinde	intern verbunden mit N5.2
N7	Druckmessung	ISO 228	G 1 Innengewinde	
N8	Zulauf von Heiz- / oder Kühlmittel	EN 1092-1 / 11 B1	DN25 PN16	
N9	Ablauf von Heiz- / oder Kühlmittel	EN 1092-1 / 11 B1	DN25 PN16	
N10	Begasung der Lippendich- tung links, oben	Push-in Fitting	für Schlauch Ø 6mm	ca. 0,3 bar, leichter Durchfluß
N10.1	Begasung der Lippendich- tung rechts, oben	Push-in Fitting	für Schlauch Ø 6mm	ca. 0,3 bar, leichter Durchfluß
N11	Begasung der Lippendich- tung links, unten	Push-in Fitting	für Schlauch Ø 6mm	verschlossen
N11.1	Begasung der Lippendich- tung rechts, unten	Push-in Fitting	für Schlauch Ø 6mm	verschlossen
N12	Sperrflüssigkeit für Gleit- ringdichtung links - Zulauf	Push-in Fitting	für Schlauch Ø 10mm	anzuschließen an Flüssigkeits- versorgungssystem;
N12.1	Sperrflüssigkeit für Gleit- ringdichtung rechts - Zulauf	Push-in Fitting	für Schlauch Ø 10mm	Medium: VE Wasser, Durchfluß: ca. 1-3 l/min, Druck: mindestens 1 bar über Behälterdruck, Temperatur im Rücklauf max. 60°C
N13	Sperrflüssigkeit für Gleit- ringdichtung links - Ablauf	Push-in Fitting	für Schlauch Ø 10mm	
N13.1	Sperrflüssigkeit für Gleit- ringdichtung rechts - Ablauf	Push-in Fitting	für Schlauch Ø 10mm	
N14	Entleerung des Heiz-/Kühl- mantels	ISO 228	G 1/8	verschlossen

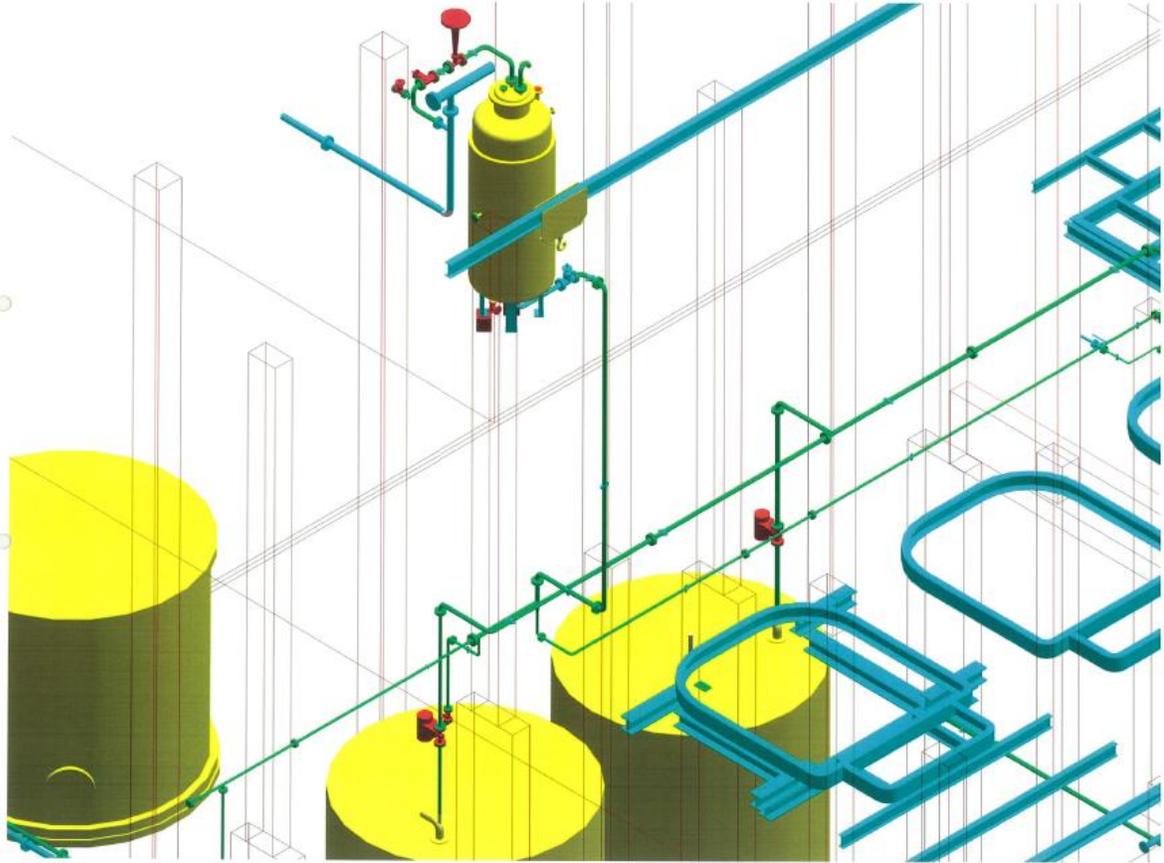
Pos.	Benennung	Norm	Anschluß- maße	Bemerkung
N18	Anschluß für Sicherheits- ventil	ISO 228	G 1 Innengewinde	
N20	Begasung des Lager- zwischenraums links	ISO 228	G 1/4	nicht angeschlossen; mit Deckel verschlossen
N20.1	Begasung des Lager- zwischenraums rechts	ISO 228	G 1/4	
N21	Temperaturmessung der Lagerung links, unten	ISO 228	G 1/4	nicht angeschlossen; mit Deckel verschlossen
N21.1	Temperaturmessung der Lagerung rechts, unten	ISO 228	G 1/4	
N22	Temperaturmessung der Lagerung links, oben	ISO 228	G 1/4	
N22.1	Temperaturmessung der Lagerung rechts, oben	ISO 228	G 1/4	
N23	Leckage der Gleitringdich- tung - links	Push-in Fitting	für Schlauch Ø 6mm	bauseits abzuführen
N23.1	Leckage der Gleitringdich- tung - rechts	Push-in Fitting	für Schlauch Ø 6mm	
N26	Sperrflüssigkeit für Dreh- durchführung links - Zulauf	ISO 228	G 1/4	am Umfang sind 4 Boh- rungen vorhanden, die werksseitig verschlos- sen sind; eine Bohrung, die am besten zugäng- lich ist, als Anschluß verwenden;
N26.1	Sperrflüssigkeit für Dreh- durchführung rechts - Zulauf	ISO 228	G 1/4	
N27	Sperrflüssigkeit für Dreh- durchführung links - Ablauf	ISO 228	G 1/4	verschlossen
N27.1	Sperrflüssigkeit für Dreh- durchführung rechts - Ablauf	ISO 228	G 1/4	verschlossen
N29	Schmierung des Lagers der Drehdurchführung, links	Schmiernippel	M6	mit Schmiernippel (DIN71412, AM6)
N29.1	Schmierung des Lagers der Drehdurchführung, rechts	Schmiernippel	M6	mit Schmiernippel (DIN71412, AM6)

Pos.	Benennung	Norm	Anschluß- maße	Bemerkung
N30	Schmierung der Lager unten, links	Schmiernippel	G 1/8	mit Schmiernippel (DIN71412, CR 1/8)
N30.1	Schmierung der Lager unten, rechts	Schmiernippel	G 1/8	mit Schmiernippel (DIN71412, CR 1/8)
N31	Schmierung der Lager oben, links	Schmiernippel	G 1/8	mit Schmiernippel (DIN71412, CR 1/8)
N31.1	Schmierung der Lager oben, rechts	Schmiernippel	G 1/8	mit Schmiernippel (DIN71412, CR 1/8)
N41	Hauptanschluß für Begasungseinheit	Push-in Fitting	für Schlauch Ø10mm	Zufuhr von Gas zu An- schluß N10 und N10.1

## 6.2 3D-Modelle







### 6.3 Untersuchungsergebnisse

			Type 1		Type 2		Type 3	
Evaluations of non grinded resin			Classical resin	Ultra filtration	Classical resin	Ultra filtration	Classical resin	Ultra filtration
N° instr.	Properties	unit						
01A	Viscosity index	ml/g	112	115	136	137	134	134
	K.wert		66,9	67,6	72,8	73,0	72,3	72,3
47B	Malvern (vol) d <sub>10</sub>	µm	14,9	16,6	8,7	7,9	19,4	18,2
	d <sub>50</sub>	"	32,1	32,9	35,4	33,8	41,6	41,8
	d <sub>90</sub>	"	60,6	59,4	80,6	77,2	80,6	81,0
	s		1,4	1,3	2,0	2,1	1,5	1,5
02A	Volatile materials	g/kg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
68A	Compressibility	%	10	10	8	9	10,2	11,4
Evaluations of grinded resin								
N° instr.	Properties	unit						
47B	Malvern (vol) d <sub>10</sub>	µm	2,1	2,5	2,7	2,6	3,1	2,8
	d <sub>50</sub>	"	14,8	19,1	15,6	15,5	25,1	24,7
	d <sub>90</sub>	"	36,8	46,5	47,0	46,9	55,3	54,4
	s		2,3	2,3	2,9	2,9	2,1	2,1
45A	Mocker	g/kg	0,17	0,41	0,019	0,013	0,419	0,459
49A	Fogging B	mg	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,1
Evaluations on plastisols								
Viscosity (s-1)		Shear						
73A	1,4	Pa.s	54,2	52,0	8,8	7,7	42,0	44,1
RS1	2	"	50,4	48,9	8,9	7,5	34,5	36,1
	4	"	44,5	44,8	9,0	7,2	26,0	26,9
	8	"	40,8	42,4	8,8	6,9	20,5	21,2
	12	"	39,6	40,9	8,6	6,7	17,8	18,5
	16	"	38,6	40,2	8,5	6,6	16,3	16,9
	24	"	38,3	39,4	8,2	6,5	14,5	15,1
	32	"	38,3	38,9	8,0	6,3	13,4	13,8
	36	"	37,9	38,3	7,8	6,2	12,8	13,3
	50	"	38,1	37,7	7,6	6,1	11,9	12,4
	70	"	38,1	36,4	7,2	5,9	11,1	11,4
	100	"	37,2	32,3	6,9	5,7	10,2	10,5
	200	"			6,0	5,3	8,6	8,8
	400	"			4,7	4,5	6,5	6,7
	600	"			3,8	3,9	4,7	5,4
	800	"			3,3	3,4	3,6	4,3
	1000	"			2,9	2,9	3,2	3,5
Capilaire	100	"	45,1	46,2	7,4	6,5	14,5	14,3
	150	"	47,1	45,9	7,2	6,1	13,2	12,7
	200	"	48,5	44,8	6,9	5,8	12,3	11,8
	400	"	48,9	42,0	6,3	5,3	10,6	10,3
	600	"	45,6	38,5	5,7	4,9	9,6	9,3
	800	"	42,9	35,5	5,5	4,7	8,9	8,8
	1000	"	40,6	33,6	5,2	4,0	8,5	8,3
Degassing								
	Plastisol quantity	g	10,0	10,3	10,4	10,5	10,2	10,4
	Initial level	cm	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5
	Final Level	cm	7,3	8,0	10,5	10,8	2,0	1,7
	Time	sec	90	90	90	90	27	28
Scratching test								
44B	1st Scratching	µm	138	149	113	111		
	4th Scratching	µm	60	99	93	95		

## 6.4 Diverse Bilder



Dynamic crossflow filtration equipment von Andritz GmbH



## 6.5 Abkürzungsverzeichnis

CF	Crossflow-Filtration
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
DCF	dynamische Crossflow-Filtration
E-PVC	Emulsions-Polyvinylchlorid
PLS	Prozessleitsystem
PVC	Polyvinylchlorid
PVDC	Polyvinylidenechlorid
VC	Vinylchlorid
VCM	Vinyl Chloride Monomer