



Paul GmbH & Co.

Metallgewebe und Filterfabriken
Industriegebiet West - Auf der Hohle
36396 Steinau an der Straße

ABSCHLUSSBERICHT

zum Projekt:

Aktenzeichen

22810

Projekttitlel

Oberflächen-Feinstfiltration ohne Einsatz von Filterhilfsmitteln

Projektbeginn:

22.09.2005

Projektende:

30.04.2008

Inhalt

1. PROJEKTVERLAUF	3
1.1 PROJEKTZIELE	3
1.2 DARSTELLUNG DES PROJEKTVERLAUFS	4
1.3 PROJEKTFÖRDERLICHE BZW. -HEMMENDE UMSTÄNDE	6
2. EREIGNISSE	8
<hr/>	
2.1 BEWERTUNG UND BESCHREIBUNG DER EREIGNISSE	8
2.2 VERGLEICH MIT DEN URSPRÜNGLICHEN ZIELEN	12
2.3 WEITERFÜHRENDE FRAGESTELLUNGEN	12
2.4 MÖGLICHKEITEN DER UMSETZUNG DER ANWENDUNG	12
3. SONSTIGE FÜR DIE BEWERTUNG DER FÖRDERMAßNAHME WICHTIGE UMSTÄNDE	14
<hr/>	
3.1 ÖKOLOGISCHE UND ÖKONOMISCHE ABGRENZUNG ZUM STAND DER TECHNIK	14
3.2 MAßNAHMEN ZUR VERBREITERUNG DER VORHABENSERGEBNISSE	14
3.3 ABSCHLUSSBEWERTUNG	14

1. Projektverlauf

1.1 Projektmotivation / Ziele

In der Getränkeindustrie und dabei insbesondere bei der Herstellung von Bier erfolgt die Klarfiltration der Produkte heute nahezu ausschließlich mit Hilfe der Kieselgur-Anschwemmfiltration. Dabei wird dem Unfiltrat Kieselgur (pulverförmiges Mineral aus den Schalen fossiler Kieselalgen) beigemischt, welches sich an den Oberflächen der Filterkerzen als Filterschicht aufbaut und die entsprechende Klarfiltration der Getränke bewirkt.

Dieses Verfahren ist mit einer Reihe von gravierenden Nachteilen behaftet:

- ◆ Große Wasservermischung des Produkts bei An- und Abfahren der Anlagen
- ◆ Nur in begrenztem Umfang definierbarer Trenngrad
- ◆ Entstehung von großen Volumina an Kieselgurschlämmen (ca. 150.000 t/Jahr in Deutschland), welche kostenintensiv entsorgt werden müssen.

Aufgrund dieser Problematik sucht die Getränkeindustrie seit geraumer Zeit nach alternativen Lösungen, welche bis heute ausschließlich im Bereich der Membranfiltration gefunden wurden.

Membranfiltrationen zeichnen sich jedoch durch einen sehr hohen Energieaufwand sowie die Notwendigkeit einer kosten- und aufwandsintensiven Reinigung- und Rückspülung der eingesetzten Membranen aus. Vor diesem Hintergrund konnten sich entsprechende Lösungen am Markt nur in sehr begrenztem Umfang, insbesondere im Bereich von kleineren Brauereien, etablieren.

Ziel des Vorhabens war daher die Entwicklung, Demonstration und der Funktionsnachweis einer hilfsstofffreien Feinstfiltration auf Basis eines innovativen Oberflächenfilters. Dieser sollte auf einem konditionierten Metalldrahtgewebe mit einer Maschenweite von $\leq 1 \mu\text{m}$ aufgebaut werden.

Mit der Projektdurchführung wurden folgende umweltrelevante Effekte anvisiert:



- Entfall jeglicher Filterhilfsmittel (Kieselgur, Cellulose etc.).
- Schonung der vorhandenen Kieselgur-Ressourcen → die bekannten Vorkommen decken den heutigen Verbrauch nur noch 20 bis max. 30 Jahre ab.
- Umwandlung der bislang mehrheitlich als Abfallstoff (Kieselgurschlamm) zu entsorgenden Filterschlämme in einen z. B. als Futtermittel verwendbaren Wertstoff.
- Einsparung von Deponievolumen in Höhe von ca. 150.000 m³ jährlich allein in Deutschland.
- Drastische Reduzierung des Einsatzes umweltbelastender Reinigungsmedien (konz. NaOH oder H₂SO₄), im Idealfall völliger Wegfall.
- Gleichzeitige Einsparung von wertvollem Trinkwasser durch kontinuierlichen Anlagenbetrieb.

Den Nachweis der Verfahrensfunktion sollte nach entsprechenden Laborversuchen eine halbtechnische Demonstrationsanlage im Bereich der Brauereiwirtschaft liefern.

1.2 Darstellung des Projektverlaufs

Zunächst wurden bestehende Verfahren daraufhin untersucht, inwieweit sie Beiträge zur Herstellung eines planungsgemäßen Oberflächenmediums leisten können und welche prozesstechnischen Spezifika ggf. zu beachten sind. Die wesentlichen Aspekte wurden experimentell flankiert. Generell bezogen sich diese Untersuchungen auf den Vergleich verschiedener Konzepte auf Basis von a) Metalldrahtgeweben und b) gelochten Blechen.



Für beide Varianten wurde zunächst je ein Erfolg versprechender Lösungsansatz herausgearbeitet:

zu a) Gewebe als Oberflächenkomponente gesintert und durch Kalanderverfahren verdichtet. Das sich bildende filterwirksame Kugeldreieck wird dadurch auf Porengrößen bis 1 μm reduziert. Im Zusammenhang mit dieser Konstruktion wurden im Labor Trübwerte um 0,8 erreicht. Über einen längeren Zeitraum wurden die Konzepte a) und b) gleichberechtigt untersucht. Variante a) musste letztlich aber als mögliche Option für eine Komplettlösung ausgeschlossen werden. Weitere Versuche und Untersuchungen auch mit Werkstoffkombinationen und mechanischer Dickenreduzierung brachten keinen messbaren Erfolg im Bereich $< 0,8$ micron. Dazu kommt die Tatsache einer sehr reduzierten filterwirksamen Oberfläche, so dass für ein statisches Filtrationsverfahren ein derartiges Filter-Hybridmedium ausscheidet. Ein Einsatz in einer Zentrifuge scheidet nach mehreren Versuchen aufgrund der filigranen Struktur und der fehlenden Eigenstabilität gleichfalls aus. Weitere Versuche in dieser Richtung werden als nicht mehr zielführend erachtet und wir konzentrierten uns auf b).

zu b) Blech als Trägermaterial mit definierten Durchdrücköffnungen, die durch einen nachgeschalteten Bearbeitungsvorgang oberflächengeglättet werden. Diese Stufe konnte messtechnisch mit Porenöffnungen von 0,3 - 0,8 μm qualifiziert werden. Eine im Laborversuch durchgeführte Bierfiltration ergab einen Trübwert von 0,9.

Zum Herstellen der Öffnungen wurden Laser-, Elektronenstrahl- und Ätzverfahren sowie mechanische Ansätze untersucht. Leider erwiesen auch hier alle untersuchten Verfahrensvariationen im Prozess als nicht genügend stabil.

In einer weitergehenden Versuchsreihe wurde daher probiert, mechanisch hergestellte Durchbrüche mittels Kalanderverfahren auf 0,000 mm wieder zu schließen, um das Blech einem nachfolgenden elektrolytischen Ätzprozess zu unterziehen. Unsere Erwartung war, dass durch die an Kanten entstehenden höheren Stromliniendichten ein höherer Materialabtrag an der (ehemaligen) Öffnungsstelle stattfindet als auf dem flachen Material. Dieser spektakulär klingende Ansatz war nun von Erfolg gekrönt.



In konkreten Experimenten ergab sich mit einem entsprechend hergestellten Filter auf der realen GesamtfILTERfläche von 42.000 mm² eine offene FILTERfläche von 29 mm². Es wurden Versuche mit Wasser und mit Bier durchgeführt, wobei Drücke im Bereich von 3,5 – 4 bar angelegt waren.

Mit dieser Anordnung konnte eine sehr gute Filterung von trübem Bier erreicht werden. Prinzipiell ist damit aber der Nachweis der Funktionalität unseres Lösungsansatzes gelungen, es ist grundsätzlich möglich mit Oberflächenfiltern Schwebstoffe aus trübem Bier zu entfernen und adäquate Filterergebnisse zu erreichen, wie sie bislang nur mit Filterhilfsmitteln erreicht werden.

Dieses Konzept wurde dann bis zum Projektabschluss weiterentwickelt und qualifiziert (vgl. Pos. 2.1).

1.3 Projektförderliche bzw. -hemmende Umstände

In Pos. 1.2 wurde bereits beschrieben, dass trotz der großen Anzahl infrage kommender Verfahrensvarianten keiner der ursprünglichen Ansätze direkt zielführend war. Die Durchführung und Absicherung der entsprechenden Versuche hat deutlich mehr Zeit in Anspruch genommen, als wir ursprünglich erwartet hatten. Der Projektzeitplan kam daher sukzessive in Bedrängnis. Mehrfache Laufzeitverlängerungen waren notwendig.

Dennoch gelang es mit dem oben ebenfalls skizzierten Verfahrensansatz (Lochblech → Verschießen der Löcher → elektrolytischer Ätzprozess) einen generell erfolgsversprechenden Verfahrensansatz zu qualifizieren. Es stand daher zu keinem Zeitpunkt der generelle Projekterfolg in Frage.

Weiterhin als hinderlich für einen raschen Projektfortschritt erwies sich die Tatsache, dass eine in diesem Umfang nicht erwartete Vielzahl von Verfahrensvarianten untersucht werden mussten, bis ein Erfolg versprechender Lösungsansatz gefunden war.



Problematisch hierbei war, dass wir zwar über das gesamte einzusetzende Technologiespektrum im eigenen Hause verfügen, aber natürlich nicht zu jeder Verfahrenstechnik auch adäquate Laboraufbauten vorhalten können. Es war daher notwendig im großen Umfang Produktionstechnik für die Versuche zu nutzen, was nur stattfinden konnte, wenn diese nicht unmittelbar im Produktionseinsatz war. Darüber hinaus haben Umrüstzeiten und Wiederinbetriebnahme für die Produktion viel Zeit gekostet, so dass statt geplanter 1 Woche je Herstellvariante im Schnitt 3 – 4 Wochen vergingen.

Ein von uns in dieser Form überhaupt nicht erwartetes Problem entstand im weiteren Projektverlauf bei dem Versuch, Rohbier von Brauereien zu erhalten, um hieran entsprechende Versuche durchführen zu können. Es war von mehreren Brauereien im Projektvorfeld eine entsprechende Unterstützung zugesichert worden, auf unsere Anfragen gab es aber immer wieder neue Ausflüchte (Vorweihnachtszeit, Sommerzeit, usw.), was letztlich dazu geführt hat, dass wir unsere Versuchsreihen nach dem Zeitplan der Brauereien ausrichten mussten.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass wir deutlich geringere Kosten zum Ansatz gebracht haben, als im Antrag dargelegt war. Dies bedeutet nicht, dass die Arbeiten nicht durchgeführt wurden, vielmehr hatten wir während des Projektes mit erheblichen konjunkturbedingten Mitarbeiterengpässen zu kämpfen, so dass speziell im gewerblichen Bereich (Musterbau, Tests) jeweils operativ entschieden werden musste, wer die entsprechenden Arbeiten durchführt. Dies führte zu stark wechselndem Projektpersonal, was die Aufzeichnung der entsprechenden Stunden extrem erschwerte. Um hier Missverständnisse oder evtl. Fehler zu vermeiden, haben wir darauf verzichtet die entsprechenden Stunden abzurechnen. Die erreichten Ergebnisse unterstützen aber, dass die entsprechenden Arbeiten durchgeführt wurden (siehe nachfolgende Ausführung in Pos. 2). Wir unterstreichen damit insbesondere auch, dass wir mit der gebotenen Sorgfalt mit den Fördermitteln umgegangen sind.

2. Ergebnisse

2.1 Bewertung und Beschreibung der Ergebnisse

Parallel zu den Untersuchungen am generellen Filterkonzept haben wir einen Durchfluss-Teststand konzipiert, der über einfache Adaptionen die jeweils gefertigten Gewebe in Rondenform verprüfен lässt (siehe nachf. Abbildungen).



Abbildung 1: Laborversuchsstand

Im Zusammenhang mit der Erstellung dieses Laboraufbaus wurden auch prinzipielle Verfahrenskonzepte durchdacht.

Unter Berücksichtigung der notwendigen Prozessvolumina ist eine Anlage herkömmlicher Bauart wegen der enorm hohen notwendigen Filterflächen unrealistisch. Hier muss daher mit einem angepassten Verfahren gearbeitet werden, wobei sich aus den Untersuchungen das Cross-Flow-Verfahren als sinnvollster Ansatz herauskristallisierte. Die Membran ist im speziellen Fall unser neues Filterkonzept. Die notwendige turbulente Strömung haben wir auf Basis einer kleinen Zentrifuge simuliert.

Die spezielle Zielsetzung im Weiteren Verlauf war darauf gerichtet, den Prozess und speziell die prozesstechnischen Abhängigkeiten, zu beherrschen:

- Abhängigkeit von Blechdicke und Öffnung
- Abhängigkeit von der Materialhärte
- Parameter des anschließenden Kalandervorgangs zur Reduzierung der Blechdicke und
- Verschließen eben dieser Öffnung.

Es wurde daher ein Werkzeug konzipiert, welches sehr feine und reproduzierbare Lochungen im Blech (noch feiner als die bisher industriell zu erzielenden Dreieckslochungen, z. B. eines Conidur – Lochbleches) generieren kann, um in einem größeren Versuchsrahmen Leistungsparameter nicht nur hochrechnen, sondern gesichert bewerten zu können.

Erste Versuche mit Perforationsrädern und Nadelleisten, wie sie für das Feinstlochen von nichtmetallischen Werkstoffen eingesetzt werden, mussten aus Verschleißgründen abgesetzt werden.



Ein weiteres Problem war die relative Ungenauigkeit in der Spitzenhöhe, mit der Folge unterschiedlicher Eindringungstiefen und damit Locherweiterungen.

Im Ergebnis weitergehender Untersuchungen wurde daher der Einsatz so genannter Des-sinierwalzen (ein Verfahren der Oberflächenprägung) als sinnvoller Verfahrensansatz herausgearbeitet.

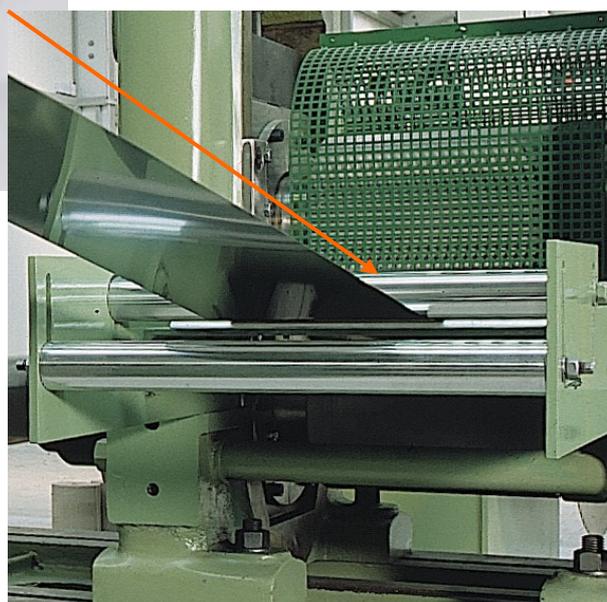


Abbildung 2:

Verfahren zur Lochblecherzeugung (oben ...
Werkzeug; unten ... während des Prozes-
ses)

Die durch das Durchprägen erzielten Trichterspitzen wurden durch einen anschließenden Kalandervorgang wieder geschlossen und dann einer elektrochemischen Microbearbeitung (Elektropolieren) unterzogen, wobei eine lange Versuchsreihe unter Berücksichtigung von:

- unterschiedlichen Stromdichten
- variierender Zeitdauer

durchgeführt wurde.

Bei den Testprägungen wurden Porenöffnungen im Sub- μ -Bereich generiert, allerdings lag der erreichte filterwirksame Querschnitt wegen der Teilungsabstände der Einzellochungen zueinander bei etwa 0,1 %. Für eine weitergehende Untersuchung sind Prägungen in einem engeren Teilungsabstand anzustreben, wobei zunächst ein Querschnitt von 1,5 % angedacht ist. Dies sollte ausreichen, um bei der vorgegebenen Elementgröße angepasst an unsere Vorrichtungen messbare Durchsätze zu erzielen.

Möglich ist ein Ansatz für eine Vorstufe zur Abtrennung der meisten Trübstoffe und Hefen, auf Basis unserer Sub- μ -Gewebe wobei rechnerisch ein Abscheiden von 90 – 95 % der Trübstoffbeladung angestrebt wird. Die weitere und endgültige Trennung über die in dem Bereich $< 0,8 \mu$ entwickelten Oberflächenmedien (PACO-Hybridmedium) muss im finalen Trennvorgang möglicherweise 1, 2 oder 3-stufig vorgenommen werden.



2.2 Vergleich mit den ursprünglichen Zielen

Generell ist es gelungen, nachzuweisen, dass Feinstfiltration mit Oberflächenfiltern möglich ist. Auch zur Herstellung entsprechender Filtermedien sind gute Verfahrensansätze erarbeitet worden.

Leider mussten wir bei sehr vielen Detailfragen erkennen, dass die gesamte Thematik (vgl. auch Pos. 1.3) sehr viel komplexer und aufwändiger ist als ursprünglich erwartet. Die geplanten Zeithorizonte wurden deutlich überschritten und auch nach dem Projektabschluss müssen noch weitergehende Arbeiten (eigenfinanziert) stattfinden.

2.3 Weiterführende Fragestellungen

Nach Abschluss der geförderten Projektphase werden wir unabhängig davon, auf dem derzeitigen Ergebnisstand weiterarbeiten, insbesondere nachdem der Nachweis erbracht ist, dass wir einen Oberflächenfilter fertigen können, der im Sub- μ -Bereich liegt.

Das Augenmerk wird dabei liegen auf

1. höherer Reproduzierbarkeit des Prozesses und
2. höherem filterwirksamem Querschnitt (Ziel: $\geq 2,5$ %).

2.4 Möglichkeiten der Umsetzung der Anwendung

Da bis zu einer komplett hilfsstofffreien Filtration noch einiges an Arbeit vor uns liegt, haben inzwischen Gespräche mit Anlagenbauern begonnen, mit dem Schwerpunkt möglicher anlagenbedingter Anpassungen für ein 2-Stufen-Model. Die Idee besteht darin, einen PACO-Oberflächenfilter einer konventionellen Kieselgur- bzw. PVPP-Filtration vorzuschalten, mit dem Ziel einen hohen Prozentsatz an Schwebstoffen filterhilfsmittelfrei abzuschneiden. Die dann immer noch notwendige Hilfsmittel-Filtration kann über die dann sehr viel längeren Standzeiten eines Anschwemmvorganges durch die Reduzierung von Einsatzmengen an Filterhilfsschichten deutlich umweltfreundlicher gestaltet werden.



Mit einem solchen Zwischenschritt erwarten wir eine erste Umsetzung der Ergebnisse in der Praxis sowie weitergehende Erfahrungen mit dem Umgang mit dem neuen Material und somit eine Befruchtung weitergehender Arbeiten in Richtung kompletter Hilfsstofffreiheit.



3. Sonstige für die Bewertung der Fördermaßnahme wichtige Umstände

3.1 Ökologische und ökonomische Abgrenzung zum Stand der Technik

Dieses Projekt ist sowohl in ökologischer Hinsicht (Verringerung des Einsatzes von schädlichen Filteradditiven), als auch ökonomischer Hinsicht (Reduzierung von Entsorgungsaufwendungen) sinnvoll, insbesondere vor dem Hintergrund von Entsorgungspässen und drastischen Steigerungen der Entsorgungskosten für die Abfallkieselgur. Wesentlich ist die Vermeidung gesundheitsschädigender Exposition beim Umgang mit Kieselgur. Diese PACO-Entwicklung stellt somit einen Meilenstein in der Entwicklung des produktionsintegrierten Umweltschutzes für Brauereien grundsätzlich dar.

3.2 Maßnahmen zur Verbreiterung der Vorhabensergebnisse

Für das favorisierte Filtermedium (Mikro-Lochblech) sowie das Verfahren zu dessen Erzeugung wurden Schutzrechte angemeldet. Von einer Veröffentlichung wird daher momentan abgesehen.

Abgesehen davon ist es für eine neue Verfahrensidee in unserem Bereich immer notwendig, vor der Präsentation eine Piloterprobung vorweisen zu können. Ohne eine solche Unterstützung bekommt das neue Verfahren rasch einen „theoretischen Anstrich“, was die Einführung in den Markt nachhaltig behindert. Leider fehlt uns ein solcher Pilot noch, mit Veröffentlichungen wird daher momentan vorsichtig umgegangen.

3.3 Abschlussbewertung

Das generelle Projektziel, der Nachweis einer Tauglichkeit von Oberflächenfiltern für die Feinstfiltration ist gelungen, wenngleich verschiedenste (von uns zumeist nicht beeinflussbare) Behinderungen dazu geführt haben, dass in der Projektlaufzeit kein halbtechnischer Versuch mehr gelungen ist. Dieser wird aber momentan (eigenfinanziert) vorangetrieben.



Grundsätzlich darf außerdem bemerkt werden, dass wir im Rahmen dieses Projektes sehr viel Erfahrung im Umgang mit Filtermedien gewonnen haben und dies auch in anderen Bereichen, z. B. Abwasserfiltration, bereits einsetzen, allerdings in höheren Filterfeinheiten.

Das Projekt als Ganzes sehen wir daher als Erfolg an, auch wenn zunächst nicht alle gesteckten Ziele erreicht wurden.

Steinau, den 04.09.2008

Unterschrift der Geschäftsleitung

