

## **Forschungsvorhaben Nr. 24 ZBG (Zutech-Programm):**

*„Entwicklung laserunterstützter Verarbeitungsmethoden zur Herstellung neuartiger, mikrostrukturierter Edelstahlfiltersysteme“*

*Industriegruppe:*

**Verein zur Förderung der Energie- und Umwelttechnik**

*Projektkoordination:* Fraunhofer UMSICHT (IUSE), Oberhausen,  
Dipl.-Ing. Josef Robert

*Projektzeitraum:* 01.04.2000 – 31.03.2002

*Zuwendungssumme:* DM 203.848,- FhG UMSICHT  
DM 110.050,- Laserzentrum FH Münster  
DM 101.550,- TU Chemnitz  
DM 415.448,-

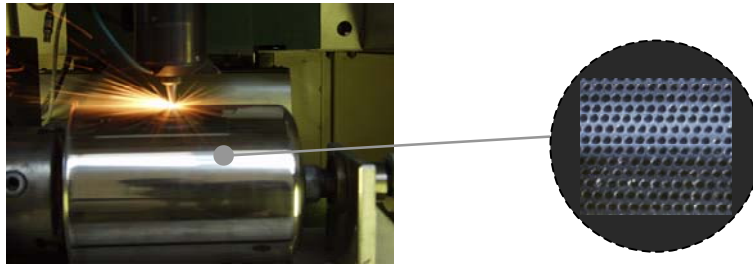
### **Ausgangssituation**

Trennverfahren im Bereich der Biotechnik oder Lebensmitteltechnik (z. B. Entkeimung) müssen oftmals strenge Spezifikationen und Gesetzesvorgaben (Sterilität und Produktreinheit) einhalten. Preiswerte Massenprodukte wie PP- und PS- Membranmodule versagen bei den zur Sterilisation erforderlichen Temperaturen  $> 100\text{ °C}$  aufgrund einer irreversiblen Strukturänderung des Membranmaterials und/ oder Undichtigkeiten durch Aufweichung der Verklebung. Effiziente Reinigungsverfahren wie das Rück-Spül-Verfahren oder die Ultraschallbehandlung lassen sich wegen der Empfindlichkeit vieler Polymermembranen gegen mechanische Beanspruchungen nicht anwenden. Obwohl hochspezifische Polymermembranen mit einer Beständigkeit im stark sauren oder alkalischen Bereich entwickelt wurden, ist ihr Einsatz als Filtermodul zur Fraktionierung chemisch aggressiver Medien durch die Anfälligkeit der Verklebungen und Dichtungsstoffe beschränkt. Gesinterte Keramikfilter sind zwar gegen aggressive und heiße Medien resistent, neigen jedoch aufgrund ihres hohen Porengröße zu Schichtdicke-Verhältnisses (1:100) zur Verstopfung und bei schnellen Temperaturlastwechseln zur Rissbildung.

Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Fertigung von beständigen, leistungsstarken Mikrofiltersystemen mit hoher Trennschärfe. Eine lange Lebensdauer, hohe Robustheit und Sterilisierbarkeit der Filter soll durch den Einsatz von Edelstahl als Filterwerkstoff erreicht werden. Mittels laserunterstützter Verarbeitungsmethoden hoher Präzision und Reproduzierbarkeit sollen Filtertypen mit einer Lochstruktur erzeugt und diese sowie verschiedene andere Filtermaterialien aus Edelstahl zu einem stabilen und leistungsfähigen Modul gefügt werden. Eine Senkung der Filterherstellkosten bei Steigerung der Filterqualität wird durch den Einsatz innovativer schneller Bohr- und Fügemethoden mit hochwertigen Laserstrahlquellen beabsichtigt.

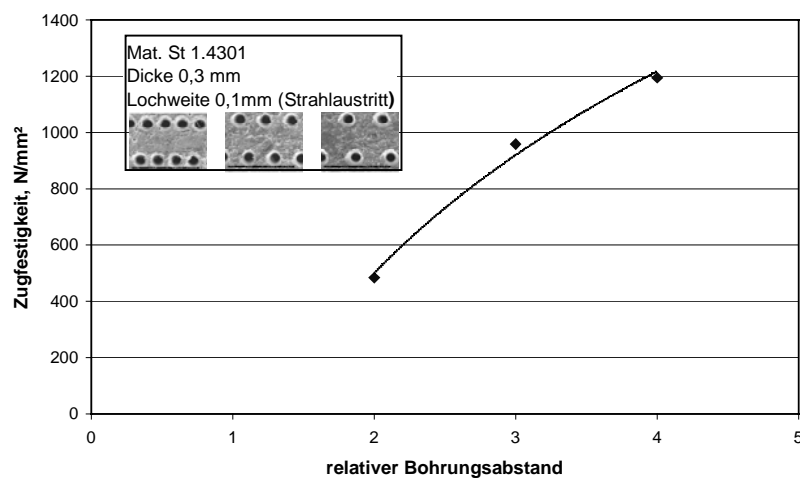
### **Forschungsergebnisse**

Ein neuartiges Laserbohrverfahren wurde entwickelt (Bohren „on the fly“), mittels dem schnell und kostengünstig (5 – 45 Euro/m<sup>2</sup>, zzgl. Materialkosten) Edelstahlfilter mit Lochweiten  $> 10\text{ }\mu\text{m}$  erzeugt wurden. Beim Bohren „on the fly“ erfolgt das Einbringen der Bohrungen während eines konstanten Vorschubs des Werkstücks unter einem gepulsten Laserstrahl (vgl. **Abb. 1**).



**Abb. 1:** Fertigung eines Edelstahl-Kerzenfilters mittels Bohren „on the fly“

Hohe Bohrraten (ein Loch pro Puls) können mit diesem Verfahren erreicht werden, da Beschleunigungsvorgänge der Einzelpositionierung entfallen. Mit Materialstärken von 0,1 – 0,5 mm sind die als Rohr- oder Flachmodul gefertigten Filter selbsttragend und ertragen sogar bei kleinen relativen Bohrabständen (bezogen auf die Lochweite) höhere mechanische Beanspruchungen als übliche Filtermodule (vgl. **Abb. 2**).



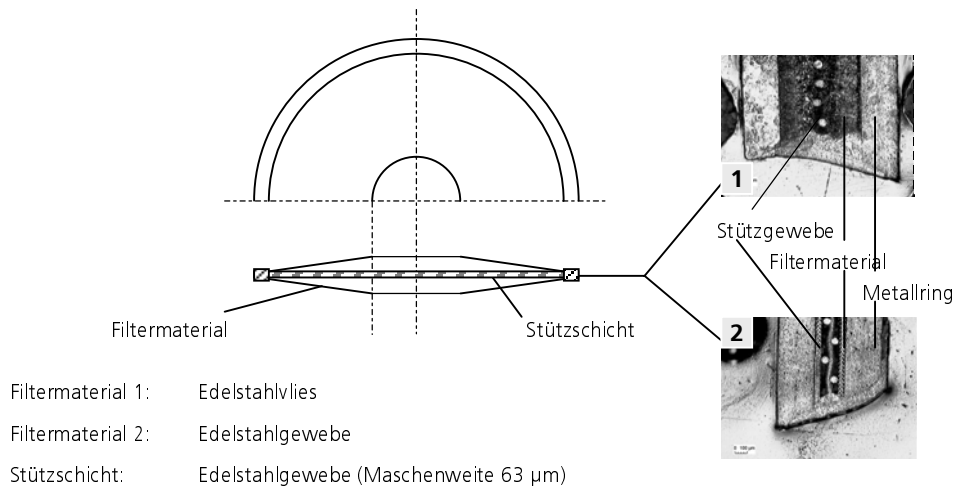
**Abb. 2:** Zugfestigkeit (Höchstkraft bezogen auf unstrukturierten Ausgangsquerschnitt) in Abhängigkeit des relativen Bohrabstands

Die mechanische Beständigkeit solcher Edelstahlfilter erlaubt den erfolgreichen Einsatz von Rückspülverfahren und Ultraschallbehandlung zur Aufrechterhaltung hoher Permeatleistungen. Gegenüber Reinigungslaugen und schwachen Säuren haben sich diese Filtertypen in Korrosionstests mit 10 % iger NaOH und 10 % iger Phosphorsäure als widerstandsfähig erwiesen. Die Verwendung von Sauerstoff als Laserschutzgas muß trotz seiner beschleunigenden Wirkung auf den Bohrprozess vermieden werden, da sich unterschiedlich dicke oxidische Schichten bei der Materialbearbeitung ausbilden, die sich als besonders korrosionsanfällig herausstellten.

Durch die Bearbeitung in einem neu konzipierten Lasermikrobearbeitungszentrum mit hochpräziser x-y-Verfahrenheit und zwei integrierten Laserstrahlquellen gelang die Erzeugung von Edelstahlfilterfolien mit minimalen Lochweiten von 5 µm (vgl. **Tab. 1**). Als Laserstrahlquelle wird ein diodengepumpter Nd:YAG-Laser (Fa. Quantronix/Darmstadt) mit bestmöglicher Strahlqualität (TEM<sub>00</sub>) und der Möglichkeit zur Frequenzverdopplung und Verdreifachung verwendet. Weitere untersuchte Filtermaterialien aus Edelstahl waren ein gesintertes Vlies, ein Gewebe mit aufgesinteter Keramikunterschicht und ein Edelstahlfeinstgewebe (vgl. **Tab. 1**). Mittels einer speziellen Behandlungsmethode wurde eine Maschenweitenverengung des Edelstahlfeinstgewebes auf 1 µm in diesem Forschungsvorhaben erzielt. Die hervorragende Permeatleistung der getesteten Edelstahlfeinstfilter von bis zu 90 000 l/hm<sup>2</sup>bar wurde in Filtrationsexperimenten mit destilliertem Wasser nachge-

wiesen. Mit handelsüblichen Filterkerzen ergibt sich die Durchflussleistung mit Wasser zu 1000 – 2000 l/hm<sup>2</sup>.

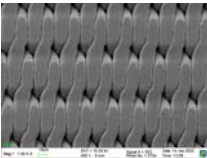
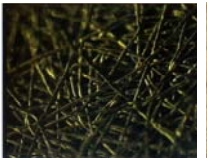
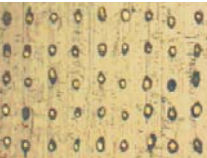
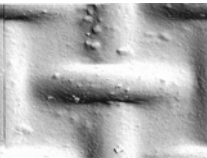


Eine in diesem Projekt entwickelte Methode des Lasermikroschweißens erlaubt, sehr dünne Filterfolien aus Edelstahl dauerhaft in eine kompakte Modulbauform zu bringen unter Verzicht auf chemisch aggressive und begrenzt haltbare Klebstoffe (vgl. **Abb. 3**).



**Abb. 3:** Prinzipskizze einer verschweißten Filtertasche

Wie in **Abb. 3** in den beiden REM-Aufnahmen veranschaulicht wird, gelang es, das dünne Edelstahlfeinstgewebe bzw. das Edstahlvlies mittels einer Stirnflachnaht entlang eines äußeren Metallrings mit einer steifen Korpusstruktur stoffschlüssig und gasdicht zu einer Filtertasche zu verbinden (vgl. **Tab. 1**). Die in diesem Projekt zur Filtertaschenstabilisierung ausgewählten inkompressiblen Metallgewebe haben zudem den Vorteil, als Abstandshalter den Permeatabfluss zum Sammelrohr zu beschleunigen. Einen Überblick der durchgeführten Forschungsaktivitäten zur lasergestützten Erzeugung von Feinstfiltersystemen aus Edstahl gibt **Tab. 1**.

**Tab. 1:** Charakterisierung der untersuchten Edstahl-Feinstfiltermaterialien und -module

Eigenschaften	Edstahlgewebe	Metallfaservlies	Filterfolie	Edstahlgewebe+keramische Trennschicht (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ZrO <sub>2</sub> )
Dicke	0,043-0,06 mm	0,1 mm	0,1 mm	0,08-0,1 mm
minimale Porengröße	1 µm - 50 µm	≥ 1,5 µm	5 µm	50 nm - 0,24 µm
Porosität	19-40 %	< 90 %	< 10 %	k. A.
Filtermaterial				
Filtermodul			zu kleine Probenmenge	nicht nach angewandter Methode verschweißbar, da Verbundfilter

Durch den Einsatz von effizienten Reinigungsmethoden sind die Permeatleistungen der

Filtermodule auf ca. 160 % (Druckstoßverfahren) der Leistung ohne online Reinigung zu steigern. Der Druck von 1-3 bar muss beim Druckstoßverfahren von Stützplatten aufgefangen werden. Im Ultraschallbad konnte in wenigen Minuten eine komplette Ablösung der Deckschicht erreicht werden, da aufgrund der homogenen Porenstruktur Partikel nahezu vollständig auf der Oberfläche des Edelstahlfilters abgelagert waren (vgl. **Abb. 4**, Mikroskopaufnahme). Die gereinigten Filter wurden ohne Abschwächung der Permeatleistung wiederverwendet. Experimente zur Verhinderung der Partikelablagerungen durch Einbringen von Schwingungsenergie in das Filtersystem sind noch nicht abgeschlossen.



**Abb. 4:** Deckschichtbelegter Gewebefilter a) vor und b) nach Ultraschallbad (Verweilzeit 2 min)

### **Wirtschaftliche Bedeutung**

Aufgrund gestiegener Anforderungen an die Reinheit von Produkten in der chemischen Industrie, Pharmazie und Biotechnologie und strengerer Umweltbestimmungen in der Abwassertechnik wächst der Markt für Produkte und Anlagen der Mikrofiltration jährlich um ca. 10 % bei einem Umsatz von 1 Milliarde US-\$ (2002). Da das Entwicklungspotential von polymeren Mikrofiltern ausgeschöpft ist, wird zunehmend die Erforschung von Fertigungsmethoden für anorganische Filtermaterialien vorangetrieben, welche sich durch hohe Robustheit und Leistungsstärke auszeichnen. Infolge der Einführung neuartiger hochwertiger Edelstahlfilter wird mittelfristig ein Strukturwandel und resultierend durch die Schaffung neuer Märkte ein Wachstum des Filtermarkts herbeigeführt, von dem vor allem kleine flexible und innovationsfreudige Unternehmen profitieren.

Ein ausbaufähiges Einsatzgebiet der Mikrofiltration ist die Lebensmittel- und Getränkeindustrie, die 1995 14 % am Mikrofiltrationsmarkt ausmachte. Oben genannte feinporige Filterscheiben sind sterilisierbar und können zu kompakten leistungsstarken Filtrationseinheiten verschaltet werden (Filterturm). Je nach realisierbarer Filterfeinheit sind solche trennscharfen, lebensmittelechten Filterscheiben zur Gelägearbeitung oder Klarfiltration in zumeist kleinen und mittleren Brauereien sowie zur schonenden, energiesparenden Milchentkeimung einsetzbar. Ihre Nutzungsdauer bei diesen Anwendungen ist voraussichtlich sehr hoch (mehrere Jahre), weil sie resistent gegen Biofouling und leicht zu reinigen sind.

Auf Anregung eines Mitglieds des projektbegleitenden Ausschusses wird begonnen, die Eignung solcher Filtertürme in der Aufbereitung faseriger heißer Waschlagen mittlerer Wäschereibetriebe zu untersuchen, die dort in großen Mengen anfallen und hohe Kosten verursachen. Aufgrund ihrer Resistenz gegen starke Laugen und hohe Temperaturen sowie ihrer geringen Verstopfungsanfälligkeit gegen Fasern können feinste Edelmetallgewebe oder Lochfolien bevorzugt zur Abtrennung faseriger Bestandteile aus Wässern der Textilverarbeitung und -behandlung angewandt werden.

Lasergefertigte Grobfilter aus Edelstahl lassen sich über einen langen Betriebszeitraum zur Entfernung stark abrasiver Partikel selbst unter aggressiven Milieubedingungen einsetzen ohne Gefahr einer Fasereinschleppung in das Produkt wie bei grobmaschigen Gewebefiltern. Ein Prototyp eines grobporigen Edelstahlkerzenfilters, der nach dem dynamischen Einzelpulsbohrverfahren laserperforiert wurde, wird zur Abtrennung von Käsestaub in einer kleinen Molkerei (De Lucia, Heiden) eingesetzt.

Mit einer erwarteten durchschnittlichen Zuwachsrate von 12 % und einem voraussicht-

lichen Weltmarktvolumen von ca. 6,5 Milliarden im Jahr 2004 bleibt die Lasermaterialbearbeitung eine Wachstumsbranche mit hohem Aktivitätspotential für kleine, flexible und innovationsfreudige Unternehmen (vgl. <http://www.vdma.de>). Das stärkste Wachstum wird für die Mikrobearbeitung prognostiziert.

Nach dem Vorbild des Mikrobearbeitungszentrum, das während des Forschungsprojektes zur Fertigung von Edelstahlfiltermodulen eingerichtet wurde und sich durch eine hohe Funktionalität und Universalität bei geringem Platzbedarf auszeichnet, können für kleine und mittlere Unternehmen bedarfsgerecht Laserbearbeitungszentren konzipiert und aufgebaut werden (Strahlquellen, Bearbeitungsoptiken, Positioniersysteme, Spannmittel). Der Forschungsbedarf und resultierend die Entwicklungskosten solcher Anlagen werden für potentielle Anwender reduziert.

Mögliche Einsatzgebiete des Mikronahtschweißens über die Filtertechnik hinaus sind die Feinwerk- und Medizintechnik, in der sich eine Vielzahl von kleinen und mittleren Unternehmen spezialisiert haben. Bei der Herstellung von Mikrobauteilen (Mikromischer, Mikrokühler usw.) kann auf unbeständige Klebverbindungen mit großen Auflageflächen zugunsten haltbarer feinsten Schweißnähte verzichtet werden. Dünne Edelstahlfolien können zu kompakten Wärmetauschern oder Vakuumisolatoren mit einem hohen Wirkungsgrad verschweißt werden.

#### Publikationsliste

- Projektendbericht
- Präsentation auf der Tagung des wissenschaftlichen Rates, November 2002
- Detailpräsentationen bei einer Vielzahl von Anwendern z. B. in der Lebensmittelbranche (Molkerei Rehsöft, Molkerei Delucia, Molkerei Wiesenhof, Gießerei Claas, Gewebehersteller Freudenberg usw.)
- Detailpräsentationen bei potentiellen Herstellern lasergelochter Edelstahlfilter der Laser-/Mikrosystemtechnik (z. B. Fa. MicroLas, Fa. MicroTec, Fa. Bartels Mikrotechnik)
- Präsentation auf der Achema, Frankfurt, Mai 2003

Die Arbeiten wurden im Rahmen des AiF-Forschungsvorhabens Nr. 24 ZBG (Laufzeit 01.04.00 bis 31.03.02) durchgeführt und aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ gefördert. Dem BMWA und der AiF wird für die Förderung gedankt.