

Untersuchung der Reinigungsfähigkeit von Filtergeweben aus Polymeren

C. Leipert, H. Nirschl*

Bei Filtrationsprozessen spielt die Reinigung der Filtermedien eine zentrale Rolle. Denn nur durch eine effiziente Reinigung derselben können Kreuzkontaminationen vermieden und die Produktqualität erhöht werden. Deshalb beschäftigt sich dieser Artikel mit dem Reinigungsverhalten von Filtergeweben. Dabei liegt das Augenmerk vor allem auf den physikalischen Grundlagen bei der Reinigung. Die durchgeführten Untersuchungen sollen Aufschluss über die Reinigungsfähigkeit von Filtergeweben unterschiedlicher Geometrie (Maschenweite und Fadendurchmesser) liefern. Ebenso soll der Einfluss unterschiedlicher Materialien (PP, PET, PA6) und verschiedener Partikelgrößen auf die Reinigungsfähigkeit des Filtertuches geklärt werden.

1. Einleitung

Im Bereich von Rohrleitungen gibt es bisher zahlreiche Untersuchungen zur Reinigungsfähigkeit. Graßhoff /1/ beschäftigte sich mit dem Reinigungsverhalten von zylindrischen Toträumen. Er untersuchte dabei unterschiedliche Strömungsführungen in rechtwinklig verzweigten Rohrleitungssystemen. Er folgerte, dass das Totraumproblem eventuell konstruktiv gelöst werden müsse durch den Einbau von Strömungsteilern, die einen Teilstrom direkt in den Totraum leiten /1/

Lielieveld /2/ diskutierte Prozessbeispiele von häufig auftretenden CCPs (Critical Control Points). Er schaute sich vor allem statische und dynamische Dichtungen etwas genauer an. Die Anforderungen an Dichtungen im aseptischen Bereich sind besonders hoch. Sie sollen ein Eindringen von Mikroorganismen von außen vermeiden und ein Austreten von Produkt aus dem Verfahrensraum verhindern. Lielieveld stellte fest, dass bei einem Temperaturanstieg der O-Ring zwischen Edelstahl-Flanschen sich so stark ausdehnt und deformiert, dass er über die äußere Kante der Flansche hinausragt. Nach dem Abkühlen veränderte sich die Form des Dichtrings dahingehend, dass ein Eindringen von Mikroorganismen in den Produktraum möglich war. Druckänderungen bewirkten eine Bewegung des O-Ringes zur produktberührten Seite. Dadurch wurden ebenfalls Mikroorganismen ins Innere des Prozessraumes transportiert. Einzelne statische Dichtungen sind sehr effizient,

um Leckagen abzudichten, aber sie können das Eindringen von Bakterien nicht verhindern. Bénézech /3/ untersuchte die Reinigungsfähigkeit einer Exzenterschneckenpumpe, die in der Lebensmittelindustrie häufig zum Einsatz kommt. Sein Ziel war es, eine genaue Testmethode zur Reinigungsfähigkeit von Prozessanlagenanteilen zu entwickeln. Als Verunreinigung setzte er Sporen eines *B.cereus* Stammes ein. Die Testmethode lieferte gute und genaue Ergebnisse. Jedoch ist sie für den Einsatz von Bauteilen im Lebensmittel-sektor nur bedingt einsetzbar. Denn das Arbeiten mit Nähragar, um schwer erreichbare Stellen in Bauteilen zu erreichen, die ständig mit Lebensmitteln in Kontakt stehen, ist sehr kritisch. Hofmann /4/ betrachtete die Reinigung als Stoffübergang und deren Adaption als Qualifizierungsmethode für die Reinigbarkeit von Produktionsanlagen.

Im Gegensatz dazu untersuchte Bobe /5/ die Abreinigung von Partikeln auf technisch relevanten Oberflächen. Ein Bestandteil seiner Arbeit lag darin, das Ablöseverhalten von Partikeln auf Oberflächen mit unterschiedlichen Eigenschaften bei der Überströmung zu betrachten. Er untersuchte den Einfluss der Oberflächenrauigkeit, der Oberflächenenergie und betrachtete verschiedene Oberflächen mit genau definierten Strukturen. Die Herstellung dieser Strukturen erfolgte im lithographischen Ätzverfahren. Eine Rauheitsstruktur bestand dabei aus Gräben unterschiedlicher Breite senkrecht zur Strömungsrichtung. Eine weitere Rauheitsstruktur, die Bobe untersuchte, hatte dagegen nach dem Ätzverfahren säulenartige Rauheiten unterschiedlicher Breite. Er untersuchte zwei Partikelgrößen (1,16 µm und 5,71 µm). Die „kleinen“ Partikel lagen bei jeder hergestellte Struktur zwischen den Erhöhungen, die großen dagegen passten nur in eine einzige Struktur zwischen die Erhöhungen. Bobe fand zum einen heraus, dass die Struktur einer

Oberfläche und das Größenverhältnis von Grabenbreite der Struktur zur Partikelgröße den Reinigungserfolg stärker bestimmen als ein gemessener Rauheitskennwert. Zum anderen stellte er mit seinen Versuchen fest, dass Oberflächen mit geringeren Oberflächenenergien einen höheren Reinigungserfolg aufweisen.

Weigl /6/ untersuchte die Haftkräfte von Polystyrolpartikeln, Hefen, und Glas-kugeln auf unterschiedlich rauen Oberflächen. Er stellte unter anderem fest, dass bei Abtrennung der Partikel normal zu einer glatt polierten Oberfläche eine höhere Kraft aufgewendet werden muss als bei rauen. In diesem Fall erhöht sich die Kontaktfläche und damit die Haftkraft der Partikel. Die Forderung nach immer glatteren Oberflächen scheint demnach nicht sinnvoll zu sein.

Erst Stahl /7/ beschäftigte sich mit der Reinigung von Filtermedien. Er wendete eine mikrobiologische Testmethode der EHEDG (European Hygienic Design Group) zur Beurteilung der Reinigbarkeit auf Filtermedien an.

Wie aus der Literatur ersichtlich ist, haben sich im Hygienebereich von Rohrleitungen, Pumpen und Dichtungen in den letzten Jahren bemerkenswerte Fortschritte entwickelt. Die EHEDG hat viele Richtlinien und Hinweise zur hygiene-gerechten Konstruktion dieser Bauteile konzipiert. Im Bereich der Reinigung von Filtermedien jedoch gibt es keinerlei Richtlinien, die für das Erreichen einer optimalen Reinheit zu befolgen sind. Oft werden große Mengen von sauren und basischen Reinigungsmitteln eingesetzt, um die gewünschte Reinheit zu erreichen. In Filtrationsprozessen bleiben nach der Kuchenabnahme oder dem Kuchenabwurf immer noch Partikel auf dem Filtermedium zurück. Deshalb beschäftigt sich dieser Artikel mit der Untersuchung der physikalischen Grundlagen bei der Reinigung von Filtermedien.

* Dipl.-Ing. Caroline Leipert
Prof. Dr. Ing Hermann Nirschl

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Campus Süd
Institut für Mechanische Verfahrenstechnik
und Mechanik
Bereich Verfahrenstechnische Maschinen
Straße am Forum 8 (Geb. 30.70)
D-76131 Karlsruhe
Tel.: +49 (0)721 608 - 44833
Fax: +49 (0)721 608 - 42403
E-Mail: Caroline.Leipert@kit.edu



2. Theorie

2.1 Haftkraft

Damit eine hydrodynamische Reinigung erfolgreich ist, muss die Haftkraft zwischen Oberfläche und Verunreinigung überwunden werden. Verunreinigungen können sowohl lösliche Stoffe als auch Partikel sein.

Im Folgenden soll nun die Physik der Haftkraft näher erläutert werden. Schubert /8/ teilt die Haftkräfte in Bindemechanismen mit und ohne Materialbrücken ein. Unter Bindemechanismen mit Materialbrücken versteht er Sintervorgänge, Erhärten von kristallisch gelösten Stoffen im Kontaktbereich, Flüssigkeitsbrücken und Kapillarflüssigkeit. Ohne Materialbrücken sind van-der-Waals Kräfte, elektrostatische Kräfte und formschlüssige Verbindungen für eine Haftung verantwortlich.

Da die Reinigung der Filtermedien im Rahmen dieser Untersuchungen in wässrigen Medien stattfindet, fallen Kräfte durch wässrige Flüssigkeitsbrücken weg. Auch sind keine Haftkräfte durch Sintern, Kristallisation oder Formschluss erzeugt worden. Demnach spielen bei diesen Untersuchungen nur die van-der-Waals und die elektrostatische Kraft eine Rolle. Elektrostatische Kräfte treten bei geladenen Partikeln und Wandungen auf, während van-der-Waals Kräfte immer auftreten. Die Haftung kann demzufolge in wässriger Umgebung entweder durch elektrostatische und van-der-Waals Kräfte oder nur durch van-der-Waals Kräfte erfolgen /9/.

2.2 Zusammenspiel von elektrostatischen und van der Waals Kräften

Die Haftkraft setzt sich wie oben erwähnt aus der van-der-Waals Kraft und der elektrostatischen Kraft zusammen

$$F_H = F_{vdW} + F_{el} \quad (1)$$

Hierbei ist F_H die Haftkraft, F_{vdW} die van-der-Waals Kraft und F_{el} die elektrostatische Kraft.

Die van-der-Waals Anziehung lässt sich über quantenmechanische Vorgänge erklären. Die Elektronenbewegung in einem Atom oder Molekül führt zu einer Ladungsfluktuation, die einen zeitlich veränderlichen Dipol zur Folge hat. Die Ausbildung dieses fluktuierenden Dipols führt bei genügend kleinem Abstand zu einer Anziehung zweier benachbarter Teilchen. Die Größe der van-der-Waals Kraft ist von der Partikelgröße, von den Materialien der Haftpartner, von dem Zwischenmedium (in diesem Fall Wasser) und von dem Abstand der Haftpartner voneinander abhängig /8; 10/.

Die elektrostatische Kraft tritt zwischen geladenen Partikeln und geladenen Oberflächen auf. Je nach Ladung der Oberflächen kann es entweder zu einer Anziehung (Oberflächen sind unterschiedlich geladen) oder zu einer Abstoßung (Oberflächen besitzen die gleiche Ladung) kommen. Die elektrostatische Kraft lässt sich nach dem Kugel-Platte Modell folgendermaßen berechnen:

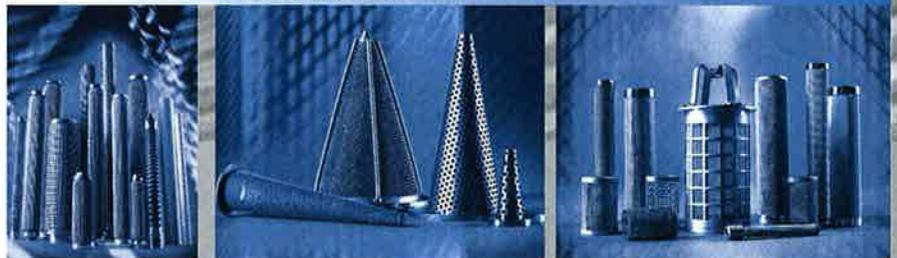
$$F_{el} = \pi \cdot d \cdot 32 \cdot k \cdot T \cdot \rho_{\infty} \cdot \delta \cdot e^{-\frac{a_0+a}{\delta}} \cdot \tanh\left(\frac{z_1 \cdot e \cdot \zeta_1}{4 \cdot k \cdot T}\right) \cdot \tanh\left(\frac{z_2 \cdot e \cdot \zeta_2}{4 \cdot k \cdot T}\right) \quad (2)$$

Hierbei ist A die Kontaktfläche, T die absolute Temperatur, ρ_{∞} die Umgebungsdichte, z die Ionenwertigkeit, ζ das Zetapotential des jeweiligen Stoffes, δ die Dicke der diffusiven Schicht, a_0 der Adhäsionsabstand, $a + a_0$ der Abstand der beiden Haftpartner voneinander. Stoßen sich die beiden Oberflächen ab (Partikel und Wand haben gleichnamige Ladungen), können die Haftpartner sich üblicherweise nicht so nahe kommen, dass die van-der-Waals Kraft wirksam wird. Ziehen die Haftpartner sich dagegen an, treten zusätzlich van-der-Waals Kräfte auf /9/.

High Filtration

Nur das Beste kommt durch

PACO Spinpack-Siebe



In der Filtertechnik ist es wie überall im Business: Nur die Besten kommen durch. PACO zählt bereits seit 5 Jahrzehnten zum Feinsten, was die Filter-Technik mit Elementen und Komponenten aus Metalldrahtgeweben,

Metallfaservliesen, Spaltrohren, Lochblechen, u. v. a. zu bieten hat. Ganz gleich, wie Ihr Bedarf aussieht: PACO garantiert Ihnen immer Highest Filtration Value – ganz individuell.



Tabelle 1: Filtergewebe zur Untersuchung des Einflusses der Fadendicke auf die Abreinigbarkeit

Material	Maschenweite (μm)	Fadendicke (μm)	Offene Filterfläche (%)
PET	710	260	54
PET	710	350	45

Tabelle 2: Filtergewebe zur Untersuchung des Einflusses der Maschenweite auf die Abreinigbarkeit

Material	Maschenweite (μm)	Fadendicke (μm)	Offene Filterfläche (%)
PET	590	350	40
PET	710	350	45
PET	1180	350	60

Tabelle 3: Filtergewebe zur Untersuchung des Einflusses des Materials auf die Abreinigbarkeit

Material	Maschenweite (μm)	Fadendicke (μm)	Offene Filterfläche (%)
PET	300	205	36
PA 6	300	215	34
PP	297	215	35

3. Material und Methoden

3.1 Filtermedien

In der Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 sind die untersuchten Filtermedien dargestellt. Es handelt sich um Gewebe aus den Materialien Polypropylen (PP), Polyamid 6 (PA6) und Polyethylenephterlat (PET) in Leinwandbindung. Da ein Ziel war, den Einfluss der Filtergeometrie auf die Reinigbarkeit des Filtermediums genauer zu beschreiben, wurden zum einen Filtermedien mit konstanter Maschenweite, aber unterschiedlichem Fadendurchmesser und zum anderen Filtermedien mit konstanter Fadendicke und variierten Maschenweiten untersucht (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2). Die ausgewählten Filtermedien in Tabelle 3 sollen Aussagen über den Materialeinfluss liefern.

Die Auswahlkriterien der Filtermedien bezogen sich hauptsächlich auf die Untersuchungen der Geometrie-Parameter.

3.2 Versuchsdurchführung

3.2.1 Kontaminierung der Filtermedien

Die Kontaminierung der Filtermedien erfolgte mit fluoreszenzmarkierten Partikeln der Firma Microparticles. Dabei handelt es sich um monodisperse Melamin-Harz-Partikel mit einer sehr engen Partikelgrößenverteilung. Es wurden Partikel der Größen 5 und 10 μm eingesetzt.

Nach dem Kuchenabwurf bleiben bei Filtrationsprozessen immer noch eine Menge Partikel auf dem Filtermedium zurück. Von diesem Zustand soll bei diesen Untersuchungen ausgegangen werden. Die Beladung der Partikel vor dem Reinigungsversuch lag zwischen 800 und 1000 Partikel auf einer betrachteten Fläche von 24 mm^2 . Die Gewebe wurden hierbei nur mit Suspension beaufschlagt, es bildete sich dabei kein Kuchen aus. Es lagerten sich lediglich Einzelpartikel auf dem Filtermedium ab. Mithilfe eines Fluoreszenzmikroskops durch direktes

Auszählen erfolgte die Bestimmung der Menge an Partikeln, die sich vor und nach der Durchströmung auf der betrachteten Fläche des Filtermediums befanden. Der Rückstand an Partikeln entspricht dem Verhältnis zwischen der Partikelzahl, die sich nach und der Partikelzahl, die sich vor der Reinigung auf dem Filtermedium befindet.

3.2.2 Durchströmung der Filtermedien

Die Durchströmung der kontaminierten Filtermedien erfolgte bei drei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten (0,6 m/s, 0,8 m/s und 1 m/s). Die Spülzeit war bei allen Versuchen konstant, sie lag bei 20 s. Bei den Versuchen zur Untersuchung der Geometrie, der Partikelgröße und des Materials war das Reinigungsmittel demineralisiertes Wasser. Für die Versuche zur Untersuchung des Einflusses des Zetapotentials wurden schwache Säuren bzw. Laugen eingesetzt.

Die Fluoreszenzmikroskop-Aufnahmen der Gewebe nach der Durchströmung gaben Aufschluss über die noch verbleibenden Partikel auf der Geweboberfläche. Somit konnte der Rückhalt der Partikel nach folgender Formel bestimmt werden:

$$R = \frac{N_{\text{nach}}}{N_{\text{vor}}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Wobei N_{nach} für die Anzahl der Partikel nach der Durchströmung und N_{vor} für die Anzahl der Partikel vor der Durchströmung stehen.

Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau der Durchströmungsapparatur.

Die Anlage besteht aus einem Druckbehälter 1 (Fassungsvolumen 99 Liter) und einer Filterhalterung (2). Das Reinigungsmittel wird vom Behälter 1 durch die Filterhalterung auf eine Waage (3) gefördert. An der Filterhalterung sind zusätzlich zwei Drucksensoren angebracht, um den Druckverlust beim Durch-

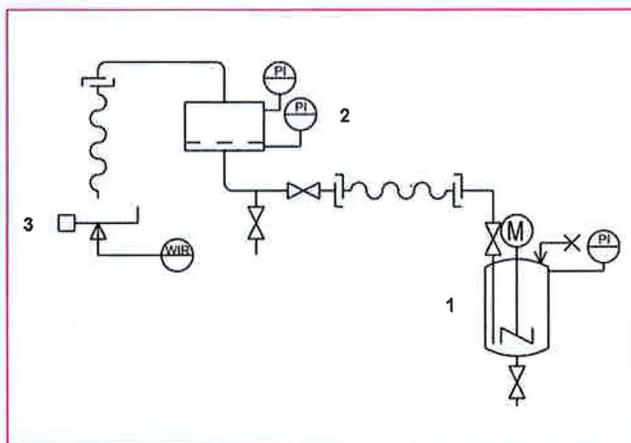


Abb. 1: Durchströmungsanlage

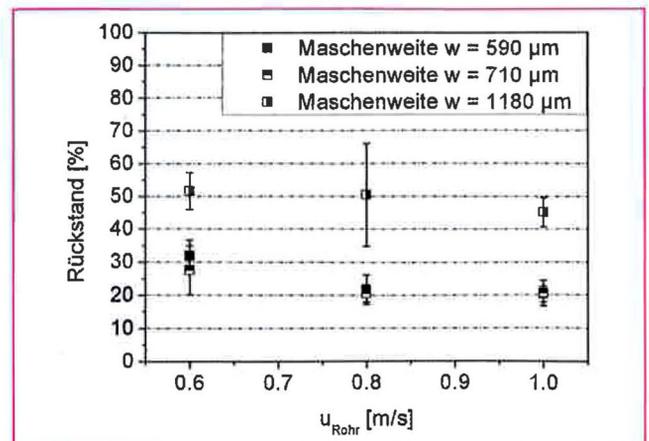


Abb. 2: Einfluss der Maschenweite auf die Reinigung (Filtergewebe entsprechend Tabelle 2)

strömen des Filtermediums messen zu können. Über den Behälterdruck kann die Strömungsgeschwindigkeit durch das Filtermedium eingestellt werden.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Abhängigkeit der Reinigung von der Geometrie des Filtermediums

In der folgenden Abbildung 2 ist der Rückstand an Partikeln auf dem Filtermedium in Abhängigkeit der Durchströmungsgeschwindigkeit dargestellt. Mit steigender Strömungsgeschwindigkeit ist der Rückstand auf dem Filtermedium geringer. Denn höhere Strömungsgeschwindigkeiten führen zu höheren Wand Schubspannungen am Filterfaden und somit erfahren die Partikel bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten auch höhere Kräfte.

Die eingesetzten Filtermedien besaßen zwar den gleichen Fadendurchmesser d , aber unterschiedliche Maschenweiten w (Abbildung 2). Es ist zu beobachten, dass mit steigender Maschenweite w das Reinigungsergebnis des Filters schlechter wird (Rückstand R steigt). Besonders auffällig ist das bei Filtermedien der Maschenweite $w = 590 \mu\text{m}$ und $w = 1180 \mu\text{m}$. Der Rückhalt von Partikeln auf dem Filter unterscheidet sich dabei um fast das Zweifache.

Das Filtermedium mit der kleineren Maschenweite hat eine geringere freie Fläche als das Filtermedium mit der größeren Maschenweite. Die Spülflüssigkeit muss bei konstantem Massenstrom in den kleineren Maschenweiten schneller beschleunigt werden als in den größeren. Demnach wirken auf die Partikel in den kleinen Maschenweiten auch größere Kräfte, die zu einem leichteren Ablösen der Partikel führen.

In Abbildung 3 ist der Rückhalt in Abhängigkeit der Durchströmungsgeschwindigkeit von Filtermedien mit konstanter Maschenweite und unterschiedlichen Fadendurchmessern dargestellt. Mit steigendem Fadendurchmesser wird das Reinigungsergebnis besser. Besonders deutlich wird das bei der Strömungsgeschwindigkeit von $0,8 \text{ m/s}$. Der Rückhalt an Partikeln auf den Filtermedien unterscheidet sich dabei um etwa 17% .

Erklären lässt sich das analog zu der Abhängigkeit der Maschenweite. Filtermedien mit größeren Fadendurchmessern weisen eine geringere freie Fläche als Filtermedien mit kleineren Durchmessern auf. Die Anzahl der Maschen pro Filterfläche ist somit geringer. Das bedeutet, dass auch hier bei konstantem Massenstrom die Strömung in den einzelnen Maschen schneller beschleunigt wird und somit höhere Kräfte auf die Partikel wirken, als bei Filtermedien mit geringeren Fadendurchmessern.

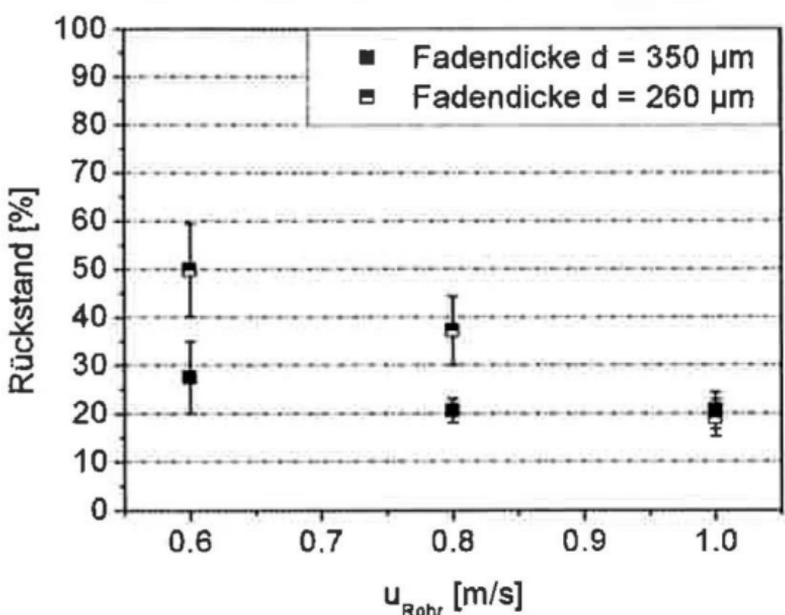


Abb. 3: Einfluss des Fadendurchmessers auf die Reinigungsfähigkeit (Filtergewebe entsprechend Tabelle 1)

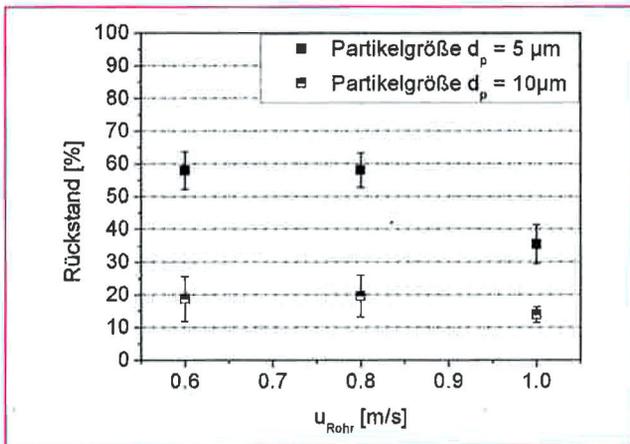


Abb. 4: Einfluss der Partikelgröße auf die Reinigungsfähigkeit (Filtergewebe aus PP, $w = 297 \mu\text{m}$, $d = 215 \mu\text{m}$)

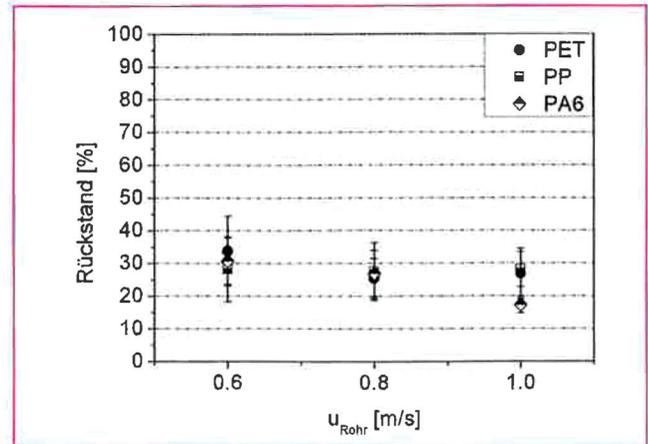


Abb. 5: Einfluss des Materials auf die Reinigungsfähigkeit (Filtergewebe entsprechend Tabelle 3)

4.2 Abhängigkeit der Reinigung von der Partikelgröße

In Abbildung 4 ist der Einfluss der Partikelgröße auf die Reinigung dargestellt. Es ist zu sehen, dass mit zunehmender Partikelgröße der Reinigungsgrad zunimmt. Eine Vergrößerung der Partikel wirkt sich demnach positiv auf das Reinigungsverhalten aus. Der Grund für diesen Sachverhalt ist, dass die Adhäsionskräfte (Van der Waals Kräfte, Elektrostatische Kräfte) nur proportional zum Partikeldurchmesser ansteigen, während die trennenden Kräfte (gemeint sind hier die Auftriebskräfte, die Widerstandskräfte und das Moment der Oberflächenspannung, die auf die Angriffsfläche des Partikels wirken), proportional zum Partikeldurchmesser im Quadrat ansteigen, wie das Modell nach Burdick /11/ zeigt. Größere Verunreinigungen lassen sich deshalb leichter abtrennen als feinere.

4.3 Abhängigkeit der Reinigung vom Material des Filtergewebes

Ein weiterer Faktor, der die Reinigung maßgeblich beeinflusst, ist das Filtermaterial. Für diese Untersuchungen stan-

den die drei Materialien PP, PET und PA6 zur Verfügung. Wie aus der Abbildung 5 hervorgeht, haben die Materialien PP, PET und PA6 auf die Reinigungsfähigkeit keinen signifikanten Einfluss. Im Rahmen der Messgenauigkeit liegt der Rückhalt bei allen drei Materialien bei 25 bis 30 %.

Bestätigen lassen sich diese Ergebnisse durch Untersuchungen der Haftkräfte dieser drei Materialien. Die Bestimmung erfolgte mit Hilfe einer Ultrazentrifuge. Dazu wurden partikelbeladene Einzelfäden der drei Materialien in einer speziellen Halterung in der Ultrazentrifuge eingebaut und bei steigenden Drehzahlen beansprucht. Nach jeder Drehzahl erfolgte die bildanalytische Auswertung der Filterfäden unter dem Fluoreszenzmikroskop. Die Trennkräfte ließen sich über die Zentrifugalkraft berechnen. Für PET ergab sich eine Trennkraft von 95,3 nN, für PA 6 95,8 nN und für PP 57,9 nN. Die Ergebnisse zeigten, dass die Trennkräfte der von dem System Partikel/PA6 und Partikel/PET sehr nahe bei einander Materialien im Rahmen der Messgenauigkeit sehr nahe zusammen liegen, wie die Ergebnisse aus Abbildung 5 erwarten

ließen. Das System Polypropylen/ Partikel jedoch ergab eine viel niedrige Trennkraft. Demnach müssten die Partikel am leichtesten vom Polypropylen-Gewebe abgelöst werden. In Abbildung 5 ist dies jedoch nicht der Fall. Polypropylen hat fast das gleiche Reinigungsergebnis als PA6 und PET. Der Grund dafür könnte in der Messgenauigkeit bei den Reinigungsversuchen liegen.

4.4 Abhängigkeit der Reinigung vom Zetapotential

Im Folgenden (Abbildung 6) sind Reinigungsversuche mit 5 µm Partikeln für ein Filtermedium aus PA 6 dargestellt. Diese Versuche erfolgten im Ultraschallbad bei unterschiedlichen pH-Werten. Die pH-Wert-Lösungen wurden mit Acetoxyssäure (Essigsäure) bzw. Natronlauge hergestellt ohne Zugabe jeglicher Elektrolyte. Aus der Abbildung 6 ist ersichtlich, dass PA 6 im basischen Bereich den größten Reinigungserfolg erzielt.

Um diesen Sachverhalt zu klären, wurden Zetapotentialmessungen in Abhängigkeit des pH-Wertes sowohl von den Filtermedien, also auch von den Partikeln durchgeführt. Die Zetapotential-Messungen der Filtermedien wurden an einer Strömungspotenzial-Messapparatur der TU-Kaiserslautern gemessen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 dargestellt. Der isoelektrische Punkt der Partikel liegt bei einem pH-Wert von 6,1, während der des Filtermediums bei einem pH-Wert von 4,2 liegt. Aus der Abbildung geht hervor, dass im sauren Bereich das Zetapotential positiv ist und im basischen Bereich negative Werte annimmt. Das bedeutet, dass im basischen Bereich (OH⁻-Ionen Überschuss) die Materialoberfläche negativ und im sauren Bereich (H₃O⁺ - Ionen Überschuss) positiv geladen ist. Zwischen den beiden isoelektrischen Punkten (also zwischen pH 4,2 und 6,1) haben die Zetapotentiale der Partikel und der Filteroberfläche unterschiedliche Vorzeichen.

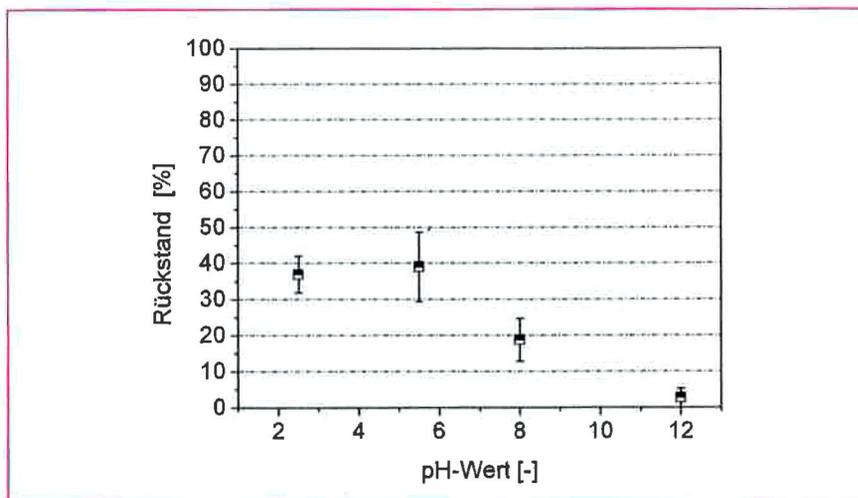


Abb. 6: Einfluss des pH-Wertes der Reinigungsflüssigkeit auf die Reinigungsfähigkeit (Filtermedium aus PA6 entsprechend Tabelle 3)

Die Partikeloberfläche ist in diesem Fall positiv geladen, während die Filteroberfläche eine negative Ladung trägt. Da sich ungleichnamige Ladungen anziehen, wird die Haftkraft durch die elektrostatische Anziehung verstärkt. Desto größer ist die zu überwindende Energiebarriere, die aufgebracht werden muss, um die Partikel abzutrennen. In Abbildung 7 wird dieser Sachverhalt ebenfalls bestätigt. Im Bereich zwischen pH 4,2 und 6,1 ist der größte Rückstand an Partikeln auf der Filteroberfläche vorhanden.

Bei pH-Werten kleiner 4,1 sind die Zetapotentiale von Filteroberfläche und Partikeloberfläche beide positiv, d.h. die Oberflächen besitzen beide gleichnamige Ladung. Dadurch kommt es zu einer elektrostatischen Abstoßung der beiden Oberflächen. Dabei wird die Haftkraft, die sich aus der elektrostatischen Kraft und der van der Waals Kraft zusammensetzt, vermindert. Die zu überwindende Energiebarriere wird kleiner. /4/.

Bei pH-Werten größer 6,1 sind die Zetapotentiale von Filteroberfläche und Partikeloberfläche negativ, beide Oberflächen haben gleichnamige Ladungen. Auch hier kommt es zu einer elektrostatischen Abstoßung, was wiederum zu einer Verringerung der zu überwindenden Energiebarriere führt. In diesen beiden Randbereichen ist der Rückhalt kleiner als zwischen pH 4,2 und 6,1 wie aus Abbildung 6 hervorgeht.

Durch Kenntnis des Zetapotentials von Verunreinigung und Filteroberfläche wäre es zukünftig möglich, im Vorfeld Aussagen über den einzustellenden pH-Wert des zu verwendenden Reinigungsmittels zu machen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Wie aus den Untersuchungen hervorgeht, zeigen die drei Materialien der Filtermedien (PP, PET, PA6) keinen Unterschied in der Abreinigung. Dieses Ergebnis liegt nahe, da es sich bei allen drei Materialien um Polymere handelt und diese ähnliche Stoffeigenschaften bzw. Grenzflächeneigenschaften aufweisen. Für die Wahl des Filtermaterials sollte in diesem Fall also nur die pH-Beständigkeit und die Temperaturbeständigkeit eine Rolle spielen. Ebenso müssen für kleinere Partikelgrößen deutlich größere Kräfte aufgebracht werden, um diese von der Filteroberfläche zu entfernen.

Wie ebenfalls gezeigt wurde, lassen sich Filtermedien mit kleineren Maschen viel leichter reinigen als Filtermedien mit großen Maschenweiten, während sich die Filtermedien mit größeren Fadendurch-

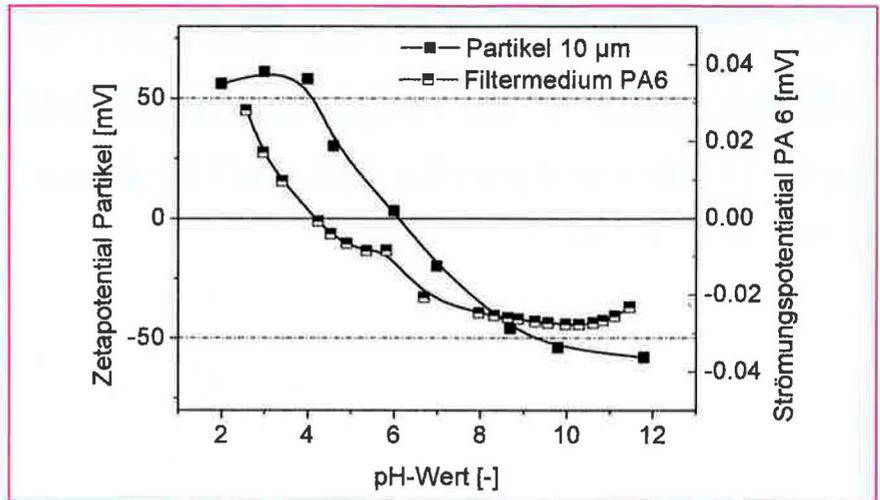


Abb. 7: Zetapotential bzw. Strömungspotential von Melaminharz bzw. PA 6

messern besser reinigen lassen als mit kleineren. Die Gründe dafür sind in der jeweils größeren Mantelfläche des Filtermediums zu finden. Je größer die Mantelfläche bei gleichbleibender Filtrationsfläche, desto größer muss die Beschleunigung der Reinigungsflüssigkeit in den Poren sein.

Die höchste Reinigungsrate, die bisher bei Versuchen mit demineralisiertem Wasser erreicht wurde, lag jedoch nur bei ca. 88%. Wie die Versuche mit pH-Variationen des Reinigungsmittels zeigten, kann die Reinigungsrate bei der Wahl des richtigen pH-Wertes bis auf 98,5 % ansteigen.

Problematisch ist die Reinigung von kolloidalen Partikel sein. Denn je kleiner die Partikel sind, desto größer die Haftkräfte und desto schwieriger wird sich das Ablösen der Partikel von der Filteroberfläche entwickeln. Eine reine Rückströmung wird hierbei nicht mehr ausreichen. Deshalb wird eine Verstärkung der Reinigung von Filtermedien mithilfe pulsatorischer Strömung notwendig sein.

6. Danksagung

Die Autoren danken der AiF für die Finanzierung des Projektes, der Firma Sefar für die Bereitstellung der Filtermedien, und dem Lehrstuhl Mechanische

Verfahrenstechnik der TU-Kaiserslautern (Lehrstuhlinhaber Professor Dr. Ing. Siegfried Ripperger) für die Durchführung der Strömungspotential-Messungen.

Literatur

- /1/ Graßhoff, A. and H. Reuter: Untersuchungen zum Reinigungsverhalten zylindrischer Toträume, Chemie Ingenieur Technik, 55 (1983), Nr. 5, S. 406-407
- /2/ Lelieveld, H. L. M.: HACCP and hygienic design, Food Control, 5 (1994), Nr. 3, S. 140-144
- /3/ Bénézech, T., C. Lelièvre, et al.: A new test method for in-place cleanability of food processing equipment, Journal of Food Engineering, 54 (2002), Nr. 1, S. 7-15
- /4/ Hofman, J.: Stoffübergang bei der Reinigung als Qualifizierungsmethode der Reinigbarkeit, Dissertation (2007), Technische Universität München
- /5/ Bobe, U.: Die Reinigbarkeit technischer Oberflächen im immmergierten System Dissertation (2008), Technische Universität München
- /6/ Weigl, B.: Trennkräfte zwischen Mikroorganismen, Partikeln und Oberflächen, Dissertation (2003), Technische Universität München
- /7/ Stahl, S., S. Siggelkow, et al.: A Microbiological Test Method to Determine the Cleanability of Filter Media in Solid-Liquid-Separation Applications, Engineering in Life Sciences, 7 (2007), Nr. 2, S. 136-142
- /8/ Schubert, H.: Grundlagen des Agglomerierens, Chemie Ingenieur Technik, 51 (1979), Nr. 4, S. 266-277
- /9/ Nassauer, J.: Adsorption und Haftung an Oberflächen und Membranen Technische Universität München (1985)
- /10/ Schmidt, E. and D. Nitschke: Aufwirbelung von auf Oberflächen abgelagerten Partikelschichten, Chemie Ingenieur Technik, 78 (2006), Nr. 5, S. 525-533
- /11/ Burdick, G. M., N. S. Berman, et al.: Hydrodynamic particle removal from surfaces, Thin Solid Films, 488 (2005), Nr. 1-2, S. 116-123

Ihr „Draht“ zur Anzeigenabteilung der F&S – Filtrieren und Separieren

VDL-Verlag GmbH
Verlag & Dienstleistungen
Eckhard von der Lühne
Heinrich-Heine-Straße 5
63322 Rödermark

Tel.: 0 60 74 / 92 08 80
Fax: 0 60 74 / 9 33 34
e-mail: vdl-verlag@t-online.de
www.fs-journal.de