Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *130 (2017), 69–75*

Johannes Briesovsky

Resonanzpulsationstechnik für ressourcenschonende Prozesse in der Verfahrenstechnik

Ich war Student im zweiten Studienjahr, als Otto und seine Ehefrau Sweta nach Leningrad kamen und Ernst-Otto die Aspirantur bei Professor Pjotr Grigorjewitsch Romankow begann und wir gute Freunde und Partner bis heute wurden. Ich wünsche uns, dass diese Freundschaft und Partnerschaft noch lange währt.

1 Einführung

Die Resonanzpulsationstechnik (RPT; vgl. Briesovsky 2015) bringt ein Fluidsystem in Eigenschwingungen. Es findet eine Reziprog-Bewegung statt, die mit starken Beschleunigungen und einer Homogenisierung des Prozessraumes verbunden ist.

Dabei werden wesentliche Prozessverbesserungen erreicht (siehe Tab. 1). Besonderer Schwerpunkt der Untersuchungen waren Flüssigphasenprozesse mit Feststoffen (Ionenaustauscherharz, Filtration, Extraktion und Wandablagerungen). Als Beispiel wird die Bierfiltration behandelt.

2 Filtration von Bier

2.1 Anschwemmfiltration

Die Anschwemmfiltration von Bier mit Kieselgur stellt den Stand der Technik dar (vgl. Weber/Modrok 2004). Ca. 82 Prozent der Ausgaben für die Bierfiltration entfallen auf diese Methode. Die Nachteile der Kieselgur-Anschwemmfiltration liegen sowohl im gesundheitlichen Bereich (Cristoballit als möglicher Silicoseverursacher) als auch bei Problemen beim Handling und in der Entsorgung.

Tab. 1: Prozesseffekte der Resonanzpulsationstechnik

System	Prozess	Effekt
Gas-Flüssigkeit	Belüftung von Wasser	Sauerstoffdurchgangserhöhung: 1.000%
	Denitrifizierung von Abwasser	Mikroorganismenaktivitätserhöhung: 25%
Flüssigkeit-Flüssigkeit	Extraktion von Caprolactam	Energiereduzierung: 90%
	Gammalactonherstellung	Ausbeuteerhöhung: 40%
Flüssigkeit-Feststoff	Ionenaustausch bei der Prozesswasserbehandlung von Schwermetallen (Nickelionen)	Erhöhung der Beladungsfähigkeit: 70%
	Filtration (Kaolinsuspension)	Ablagerungsvermeidung
	Verminderung der Wandablagerungen bei der Aufheizung von Deponie-Sickerwasser	Keine Ablagerungen
	Verminderung der Wandablagerungen bei der Aufheizung von Altöl	Keine Ablagerungen
	Querstromfiltration von Bier	Energieeinsparung: 90%
	Extraktion von Eibennadeln	Ausbeuteerhöhung: 50%
Gas-Feststoff	Wirbelschicht	Homogene Wirbelschicht für Geldart C-Pulver (z.B. Titandioxid); Gasreduzierung: 90%

Eigene Darstellung

2.2 Membranfiltration

Mit der Entwicklung der Membrantechnik (ursprünglich in der Dialyse) entstand das Querstromfiltrationsverfahren, das auch in der Getränkefiltration eingesetzt werden kann.

Die Querstromfiltration stellt zunehmend eine Alternative zur „dead end"-Betriebsweise dar (siehe Abb. 1).

Bei der Querstromfiltration ist eine wesentliche Aufgabe, die Deckschichtbildung auf der Unfiltratseite zu verhindern oder zu vermindern. Dies wird üblicherweise durch eine Erhöhung der Überströmgeschwindigkeit des Unfiltrates an der Membran bis 8 m/s erreicht. Dabei steigt die erforderliche Pumpenenergie stark an. So wird beschrieben (vgl. Thiel/Rip-

perger 2010), dass bei einer Überströmgeschwindigkeit des Feeds von 2 m/s die Energiekosten 3,8 Prozent der Gesamtkosten, bei 4 m/s 24 Prozent und bei 8 m/s 65,3 Prozent ausmachen Außerdem kann die Verstopfungsneigung der Kapillaren verstärkt und somit der Permeatfluss vermindert werden. Diese Nachteile beseitigt die Resonanzpulsation als druckgetriebenes Verfahren der Mikrofiltration problemlos.

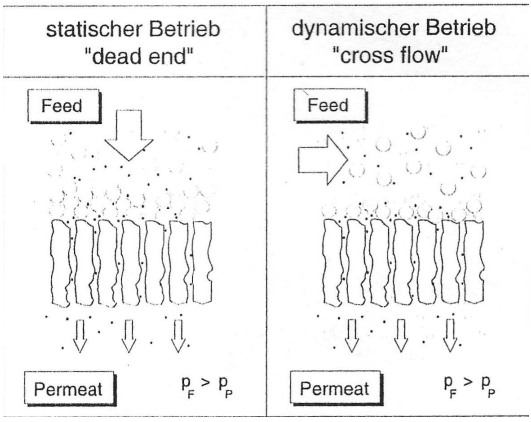


Abb. 1: Feed- und Permeat-Fluss bei der statischen und der dynamischen Filtration

Quelle: Rautenbach 1997, S. 200

3 Resonanzpulsationstechnik

3.1 Verfahren

Auf Grund der Erfahrungen mit pulsierenden Flüssigkeitssäulen bei der Foulingverminderung in Wärmeübertragern (Aufheizen von Deponiesickerwasser und Altöl) wurde die Bierfiltration mit der Resonanzpulsationstechnik (RPT) untersucht. Dabei wird die Fluidsäule zu Eigenschwingungen (Resonanz) im Infraschallfrequenz-Bereich erregt. Die Schwingungen führen zu einer Hin- und Herbewegung der Flüssigkeitsmasse an der Membranwand und damit zu einem ständigen Auf- und Abbau der Strömung (Einlaufströmung, Richardson-Effekt).

3.2 Bierfiltration mit RPT

Die Filtrationsversuche wurden in der Privatbrauerei Metzler in Dingsleben, Thüringen, durchgeführt, wobei mit Originalbier und mit Pulsationssystemen versehenen Filtrationsanlagen industrieller Größe gearbeitet wurde (vgl. Lauckner et al. 2015). Durch Einsatz der Pulsation konnte die Überströmgeschwindigkeit stark reduziert und eine wesentliche Durchsatzerhöhung des Filtrates über einen längeren Zeitraum als bei der dynamischen Filtration mit Umlaufpumpe erreicht werden.

Das Ziel dieser Vorgehensweise bestand darin, bei der Bierfiltration die Nachteile der Querstromfiltration, wie die Membranverblockung nach kurzen Betriebszeiten, den Energieeintrag für die Umwälzpumpen für hohe Anströmgeschwindigkeiten zu reduzieren und den apparatetechnischen Aufwand zu verringern. Die Anwendung der RPT führt zur Lösung dieser Probleme, indem die Überströmgeschwindigkeit des Unfiltrats über der Membran wesentlich reduziert wird und eine gegenphasige Doppelpulsation zwischen der Innen- und Außenwand der Membran das Ablagern von Feststoffen auf der Membran vermindert bzw. vermieden (vgl. DE 10 2012 209 820).

Durch die pulsierende Bewegung der Fluide im Infraschallbereich (unter 20 Hz) auf der Retentatseite und im Gegentakt auch auf der Filtratseite wird der Deckschichtaufbau verhindert bzw. vermindert. Gleichzeitig kann mit höheren Durchsätzen gearbeitet und die Betriebszeit bis zur Reinigung verlängert werden.

Die Abführung des Retentats erfolgt gegenüber dem praktizierten Verfahren kontinuierlich. Damit konnte das Verfahren der Cross-Flow-Filtration für die Bierfiltration modifiziert und die Wirtschaftlichkeit deutlich verbessert werden.

Die Untersuchungen wurden mit zwei Prototypen-Anlagen durchgeführt: einer Sechsmodulanlage mit 30 m^2 Filterfläche und einer Einmodulanlage (12 m^2 Filterfläche) (siehe Abb. 2).

Die Frequenz der Schwingung wurde zu < 3 Hz ermittelt. Es wurde eine Fluxrate von 108 l/m^2h erreicht und lag damit über dem in der Literatur (vgl. Gans 1995) angegebenem Zielwert von 80 l/m^2h. Es konnte ohne Umlaufpumpe gefahren werden, wodurch sich eine wesentliche Energieeinsparung ergibt.

Wichtig ist der Nachweis des Deckschichtabbaus bei Zuschaltung des Pulsators (siehe Abb. 3).

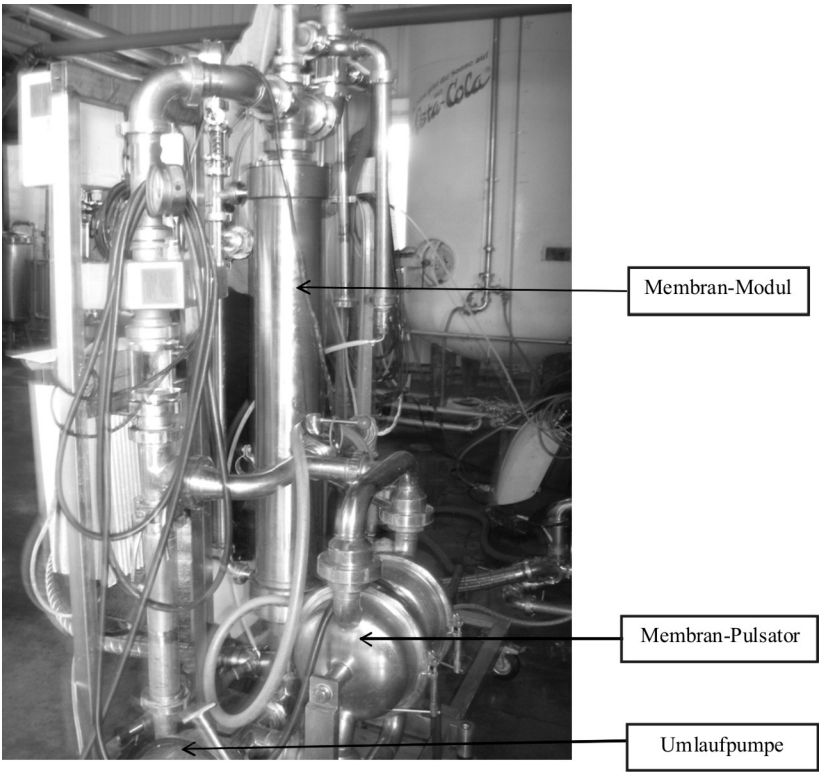
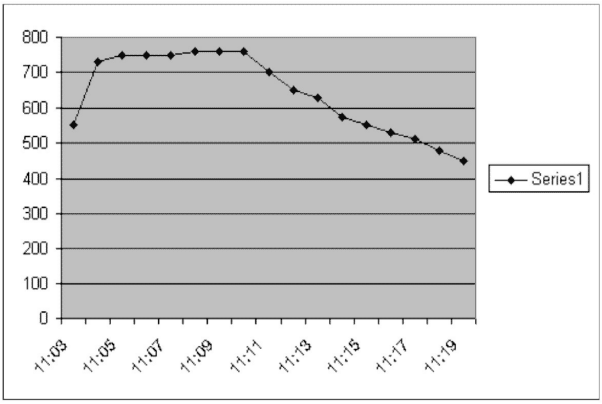


Abb. 2: Querstromfiltrationsanlage (Filterfläche 12 m^2) mit Pulsator und Umlaufpumpe

Quelle: Archiv des Verfassers

(a) Die Pulsabschaltung um 11:11 Uhr führt zu Fluxverringerung



(b) Die Pulszuschaltung um 11.25 zeigt die Fluxzunahme als Effekt der Deckschicht-Reduzierung bis zur Abschaltung um 11:40 Uhr

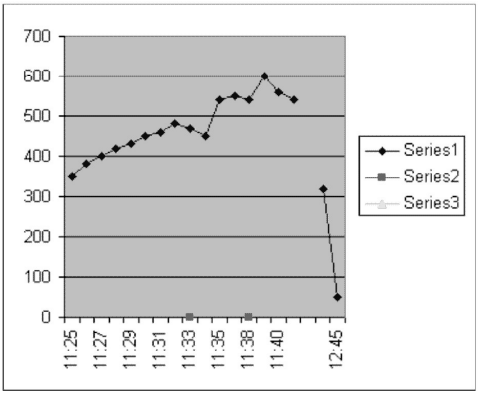


Abb. 3: Filtratstrom (l/h) eines Versuchstages von 11:03 Uhr bis 11:40 Uhr mit (a) Pulsabschaltung und (b) Pulszuschaltung

Quelle: Archiv des Verfassers

4 Zusammenfassung

Die Querstromfiltration mit Resonanzpulsation im Gegentaktbetrieb ist ein ressourcenschonender Prozess, d.h. er ist energieeinsparend, führt zu größeren Duchsätzen, zu einer wesentlichen Standzeiterhöhung des Filtermoduls

und damit ist der Durchsatz höher als bei der dynamischen Filtration mit Umlaufpumpe. Die Querstromfiltration von Bier kann als Dead-end-Filtration als druckgetrieben geführt werden, d.h. es findet ein reduzierter Umlauf des Unfiltrats statt. Das wirkt sich auch auf den Leistungsbedarf der Umlaufpumpen aus.

Literatur

Briesovsky, J. (2015): Technologische Prozessintensivierung durch resonante Pulsationen. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Technologiewandel in der Wissensgesellschaft – qualitative und quantitative Veränderungen –. Berlin, S. 169–175 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 122)

DE 10 2012 209 820 A1: Offenlegungsschrift „Verfahren zur Filtration einer Flüssigkeit sowie Filtrationsvorrichtung“. Anmelder: Privatbrauerei Metzler GmbH & Co. KG; Erfinder: Briesovsky, J.; Lauckner, G.; Metzler, U.; Metzler, Ch. – Offenlegungstag: 12.12.2013

Gans, U. (1995): Die wirtschaftliche Crossflow-Mikrofiltration von Bier. Düsseldorf (zugleich: Dissertation TU München)

Hahn, A. (2008): Die kieselgurfreie Bierfiltration auf dem Prüfstand. In: Brauindustrie, H. 11, S. 34

Lauckner, G.; Briesovsky, J.; Metzler, U. (2015): Schwingungen ohne Bedenken. In: Brauindustrie, H. 4, S. 40–43

Rautenbach, R. (1997): Membranverfahren. Berlin u.a.O.

Thiel, A.; Ripperger, S. (2010): Verfahren und Verfahrenskombination zur Klärung und Entkeimung biotechnologisch hergestellter Produkte und ihre Wirtschaftlichkeit dargestellt am Beispiel der Bierklärung. In: F& S – Filtrieren und Separieren, Jg. 24, Nr. 5, S. 238–242

Weber, D.; Modrok, A. (2004): Crossflow-Filtration von Bier. – URL: www.prozesstechnik-online.de/food/-/article/5829531/25681335