

Robuste Miniatur-Zahnringpumpe

In der Feinchemie- und Pharmaproduktion wird vermehrt von Batch auf kontinuierliche Verfahren umgestellt. Dabei kommen mehr und mehr Mikrostrukturapparate und reaktivere Edukte in höherer Konzentration zum Einsatz. Hier sind robuste Pumpen für kleine Volumenströme bis zu 1 l/min gefordert.

TEXT: Carsten Damerau, HNP Mikrosysteme FOTOS/GRAFIKEN: HNP Mikrosysteme

In vielen Anlagen kommen keramische Kolbenpumpen, Membranpumpen aus polymeren Werkstoffen und bei geringeren Differenzdrücken oder höheren Viskositäten auch Zahnradpumpen zum Einsatz. Kolben- und Membranpumpen zeigen starke Pulsation, die auch Pulsationsdämpfer häufig nur unzureichend begrenzen können. Vor allem in Mikrostrukturapparaten oder Rohrreaktoren und bei der Durchführung mischempfindlicher Reaktionen wird die Leistungsfähigkeit der Anlagen durch Pulsation begrenzt. Der Einsatz von rotatorischen Verdrängerpumpen ist aufgrund ihrer bauartbedingt geringen Volumenstrom- und Druckpulsation wünschenswert. Allerdings wird dieser durch die sich aus den inneren Spaltweiten ergebende geringe Drucksteifigkeit eingegrenzt.

Mikrozahnringpumpen werden den Anforderungen nach hoher Leistungsfähigkeit, hoher Präzision, geringer Pulsation und größtmöglicher Medienbeständigkeit gerecht. Bei Mikrozahnringpumpen handelt es sich um die miniaturisierte Ausführung der zuverlässigen und häufig eingesetzten Zahnringpumpe. Diese gehören zur Gruppe der rotatorischen Verdrängerpumpen, bei denen der Verdränger aus zwei Bauteilen besteht: einem Innenrotor und einem Außenrotor, die sich um ihre exzentrisch versetzten Rotationsachsen drehen. Der Innenrotor besitzt eine Außenverzahnung und der Außenrotor eine Innenverzahnung. Die Verzahnung des Außenrotors besitzt einen Zahn mehr als die Verzahnung des Innenrotors. Prinzipiell sind beliebige Zahnzahlen möglich – technisch relevant sind im Wesentlichen die Zahnzahlverhältnisse von 4/5, 6/7, 8/9, 10/11 und 13/14. Die Geometrie der Verzahnung leitet sich aus sogenannten Rollkurven (Trochoiden) ab.

Eine trochoidverzahnte Mikrozahnringpumpe kommt im Gegensatz zur evolventenverzahnten Innenzahnradpumpe mit wesentlich weniger Zähnen aus. Außerdem benötigt sie zur Abdichtung kein sichelförmiges Füllstück zwischen dem angetriebenen Zahnrad und dem Hohlrad. Beides trägt dazu bei, dass sich die Zahnringpumpe einfacher miniaturisiert herstellen lässt.

Die Welle der Mikrozahnringpumpe ist mit dem Innenrotor drehsteif verbunden und wird von einem Elektromotor angetrieben. Die typischen Antriebsdrehzahlen liegen zwischen 1 und 6.000 U/min. Der Außenrotor ist an seinem Umfang drehbar gelagert und wird aufgrund der Verzahnung vom Innenrotor mit angetrieben. Beide Rotoren befinden sich in kämmerndem Eingriff und bilden während der Rotation zu jedem Zeitpunkt ein System von mehreren an den Berührungspunkten abgedichteten Förderkammern. Bei einem Zähnezahlverhältnis von 6/7 ergibt sich so eine Kammeranzahl von sechs.

Geringe Pulsation, geringe Scherung

Bei der Rotation der Rotoren um ihre versetzten Achsen vergrößern sich die Förderkammern auf der Saugseite, während sie sich gleichzeitig auf der Druckseite verkleinern. Zwischen der nierenförmigen Ein- bzw. Auslassöffnung, die gleichzeitig mehrere Förderkammern verbindet, entsteht auf diese Weise ein gleichmäßiger und pulsationsarmer Förderstrom.

Der Ungleichförmigkeitsgrad, das heißt die Pulsation des Volumenstroms, beträgt bei einem Zähnezahlverhältnis von 6/7 sechs Prozent und bei einem Verhältnis von 10/11

1,5 Prozent. Verglichen mit dem hohen Pulsationswert einer einfach wirkenden Membran- oder Kolbenpumpe von 314 Prozent ist die Pulsation der Zahnringpumpe damit sehr niedrig. Hinsichtlich Gleichmäßigkeit und Pulsationsarmut des Volumenstromes erweisen sich Mikro Zahnringpumpen den im Labor üblichen Spritzenpumpen als ebenbürtig.

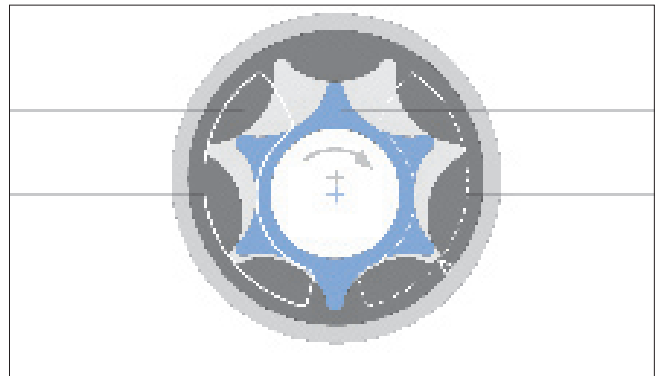
Ein weiterer Vorteil, der sich aus der speziellen Verzahnung der Mikro Zahnringpumpe ergibt, ist die Tatsache, dass Innen- und Außenrotor bei der Drehung ein untersetztes Getriebe bilden. Dieses sorgt dafür, dass die Relativgeschwindigkeit an den Berührungspunkten der Rotoren um den Faktor der Zahnzahl des Außenrotors vermindert ist. Dadurch ergeben sich günstige Verschleißigenschaften und die Scherkräfte, die auf das Medium wirken, vermindern sich erheblich.

Beim Einsatz der Mikro Zahnringpumpe ist eine hohe Leistungsfähigkeit, die neben der Pumpe auch vom fluidischen Aufbau und der Genauigkeit des Antriebssystems beeinflusst wird, wichtig. Grundsätzlich entscheiden geringe innere Leckagen über die Leistungsfähigkeit einer Pumpe. Diese sogenannten Rückströmungen machen sich bei kleinen Pumpen stärker bemerkbar als bei großen, da Mikropumpen an sich weniger fördern und ein Leckagestrom sich – relativ gesehen – stärker auswirkt. Geringe innere Leckagen bedeuten, dass enge Spaltmaße erforderlich sind. Da die Mikro Zahnringpumpe in ihrem Inneren ein rotierendes mechanisches System besitzt, sind gewisse Spaltgrößen an den Zahnflanken und an den Stirnflächen der Rotoren nötig, um eine reibungsarme Drehung zu ermöglichen. Nach dem Hagen-Poiseuilleschen-Gesetz hat eine Verdopplung der Spalthöhe eine Verachtfachung der Leckage zur Folge. Diese Gesetzmäßigkeit macht deutlich, wie wichtig es ist, geringe Spalthöhen zu realisieren und einzuhalten. Bei den Mikro Zahnringpumpen betragen die Spalthöhen 2 µm. Aufgrund der engen Spaltmaße und erforderlichen Toleranzen sind die Präzisionskomponenten wie Rotoren und Lager mittels Erosions-, Schleif- und Läppverfahren hergestellt. Diese Verfahren garantieren die hohe erforderliche Fertigungsgenauigkeit im Mikrometerbereich, geringe geometrischen Formabweichungen in Bezug auf Rechtwinkligkeit und Parallelität sowie die geforderten Oberflächenrauigkeiten.

Enge Fertigungstoleranzen und Spaltmaße sind auch die Kriterien, die für die Höhe des erzielbaren Förderdrucks entscheidend sind. Die erreichbaren Differenzdrücke bewegen sich je nach Pumpentyp und Antriebsleistung bei Medien mit wässriger Viskosität zwischen 1,5 und 40 bar. Mit Medien mittlerer Viskosität (> 500 mPas) werden Spitzendrücke von über 200 bar erzielt.

Breites Förderspektrum

Das sehr gute Ansaugverhalten der Mikro Zahnringpumpen resultiert aus den engen Spaltmaßen sowie dem geringen Totvolumen. Die experimentell ermittelten NPSHR-Werte liegen hierbei im Bereich von 0,5 m. Da die Ein- und Auslas-



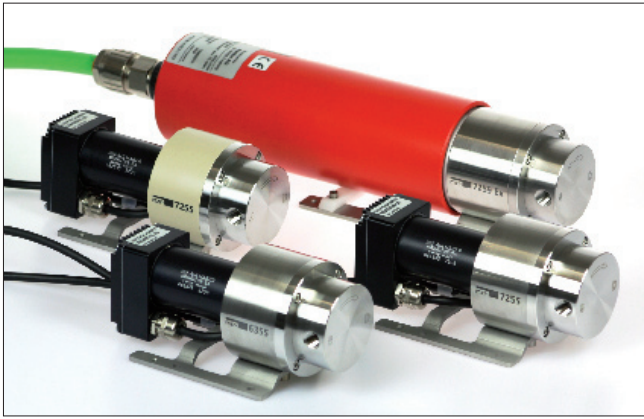
Prinzipaufbau der Mikro Zahnringpumpe.

söffnungen der Pumpe alleine durch die nierenförmige Geometrie der Öffnungen bestimmt sind und keinerlei zusätzliche Ventile benötigt werden, lassen sich auch Medien mit höherer Viskosität pumpen. Der Viskositätsbereich, in dem Mikro Zahnring(mzr)-Pumpen eingesetzt werden, reicht von 0,3 mPas bis zu Viskositäten von 1.000.000 mPas.

Mikropumpen unterscheiden sich von anderen mikro-mechatronischen Produkten durch wesentliche Aspekte der Medienverträglichkeit und Tribochemie. Pumpen sind per Definition medienberührt und die Oberflächen der bewegten Bauteile der Pumpe treten mit dem geförderten Fluid in eine komplexe tribochemische Wechselwirkung. Diese Tatsache macht sich vor allem bei kleinen geometrischen Abmessungen bemerkbar, da hier das Verhältnis von Oberfläche zum Volumen sehr groß ist. Bei Mikro Zahnringpumpen kommen deshalb für die Präzisionskomponenten wie Rotoren und Lager die Werkstoffe Hartmetall und Keramik zum Einsatz. Diese Werkstoffe ermöglichen aufgrund ihrer Härte und tribochemischen Eigenschaften auch den Betrieb mit nichtschmierenden Medien wie Wasser oder Lösungsmitteln. Edelstahl – selbst in hoch legierter Form – wäre beispielsweise für einen Einsatz als Rotorwerkstoff ungeeig-



Der Verdränger besteht aus einem Innenrotor mit Außenverzahnung und einem Außenrotor mit einer Innenverzahnung.



Hermetisch inerte Mikrozahlringpumpen fördern Volumenströme von wenigen μl bis zu 1 l pro Minute.

net, da dieser bei der Förderung von Wasser oder bereits mit der Luftfeuchtigkeit dünnste Passivierungsschichten ausbildet. Diese Schichten werden an den Kontaktstellen der Rotoren und den Stirnflächen abgetragen, wobei sich die Schicht dann unter Medieneinwirkungen neu ausbildet und abermals abgetragen wird. Edelstahl bildet so zusammen mit Wasser ein tribochemisches System, das hohe Verschleißraten zur Folge hat und ihn für den Einsatz als Rotorwerkstoff ungeeignet macht.

Hartmetall ist ein Sinterwerkstoff, der zu über 90 Prozent aus Wolframkarbid besteht und in seiner korrosionsbeständigsten Ausführung mit Nickel gebunden ist. Dieser Werkstoff zeichnet sich durch eine besonders hohe Härte aus, die an die von keramischen Werkstoffen heranreicht, und be-

sitzt gute chemische Beständigkeit gegenüber einer Vielzahl von Medien. Zur Erzielung höchster chemischer Beständigkeit werden Oxidkeramiken und Siliciumcarbid als weitere Standardwerkstoffe eingesetzt.

Für eine hohe Medienbeständigkeit der Gehäuseteile werden hochwertige Edelstähle, Hastelloy, Titan, Tantal oder Peek verwendet. Die Wellendichtringe, sofern vorhanden, sind aus verschleißbeständigem, graphitverstärktem PTFE. Die Pumpen enthalten außerdem zur statischen Abdichtung O-Ringe aus FKM und können optional mit FFKM oder EPDM ausgestattet werden. Der Einsatz der genannten Werkstoffe ermöglicht die Förderung einer großen Palette von nichtschmierenden und schmierenden Medien wie beispielsweise deionisiertes Wasser, wässrige Lösungen, Säuren und Basen, organische Lösungsmittel, Öle, Schmierstoffe, Fette, Klebstoffe, Gele, Tinten, Farben, Lacke sowie andere höherviskose Medien. „Exotische“ Medien wie Propylenoxid, Phosgen, flüssiges Natrium oder radioaktive Lösungen sind ebenfalls bereits mit Mikrozahlringpumpen erfolgreich gefördert worden. Ferner können Suspensionen gefördert werden. Hier liegen sowohl für Medien wie Blut und Zelllösungen als auch mit organischen (weichen) oder mit mineralischen (harten) Partikeln wie Titandioxid, Sand usw. positive Erfahrungen hinsichtlich Dosiergenauigkeit, Scher- und Verschleißarmut vor. □

Literatur

[1] Fabel, 2007: Fabel, Susanne, Online-Enzyminhibitionsdetektor für die Wirkungsbezogene Analyse von Toxinen, München, Technische Universität, Diss., 2007.

> [MORE@CLICK PAK90XXX](#)