

Meno Türk und Günter Hörnig, Potsdam-Bornim, sowie Bernd Verhülsdonk, Essen

Schwingungsprobleme beim praktischen Einsatz von Drehkolbenpumpen

Ventillose rotierende Verdränger-pumpen werden zum Fördern von konzentrierten Suspensionen wie Gülle oder Flüssigfutter eingesetzt. Nachteilig ist der ungleichmäßige Verdrängungsvorgang, der zu Druckpulsationen und Vibrations-schwingungen von Pumpe und Rohrleitungen führen kann.

Die mechanischen Ursachen der Pulsation sind bekannt. Als Konsequenz wird eine neuentwickelte Kolbenbauform dargestellt. Praktische Messungen belegen das bessere Schwingungsverhalten schrägverzahnter Drehkolben bei verschiedenen Fördermedien im Druck- und im Saugbereich im Vergleich zu bisherigen Ovalekolben.

Dr.-Ing. habil. Meno Türk und Prof. Dr. sc. techn. Günter Hörnig sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Abteilung „Technik in der Tierhaltung“ im Institut für Agrartechnik Bornim e. V. ATB (Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zasko), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, e-mail: mtuerk@atb-potsdam.de
Dipl.-Ing. Bernd Verhülsdonk ist leitender Mitarbeiter in der HUGO VOGELSANG MASCHINENBAU GmbH, Holthöhe 12-14, 49632 Essen.
Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung erscheint in Bd 5, Agrartechnische Forschung, H. 1/99

Schlüsselwörter

Pulsation, Drehkolbenpumpen, schrägverzahnte pulsationsfreie Kolben, konzentrierte organische Schlämme

Keywords

Pulsation, rotary-lobe pumps, helical geared pulsation-free lobes, concentrated organic slurries

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 99108 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Landwirtschaftliche Dickstoffe wie Gülle oder auch Flüssigfutter sind mit Kreiselpumpen oft nicht förderbar. Dann setzt man vorteilhafter selbstabdichtende, ventillose rotierende Verdrängerpumpen mit großen Querschnitten ein. Das sind Exzentrerschneckenpumpen oder nach dem Roots-Prinzip arbeitende Drehkolbenpumpen. Mit diesen Pumpen können – durch die konstanten Kammervolumina und die geringen Drehzahlen – empfindliche Stoffe wie Flüssigfutter schonend gefördert und Dosieraufgaben gut erfüllt werden [1].

Aufgrund der kompakten Bauweise haben sich Drehkolbenpumpen bei großen Förderdurchsätzen gegenüber Exzentrerschneckenpumpen durchgesetzt. Sie haben sich auch in der Landwirtschaft für die Förderung komplizierter Stoffe bewährt [2].

Nachteilig ist beim praktischen Einsatz von Drehkolbenpumpen der ungleichmäßige Verdrängungsvorgang, der insbesondere in langen und starren Rohrleitungen zu Durchsatz- und Druckpulsationen führt. Vibrations-schwingungen von Pumpe, Antrieb und Rohrleitungen sind die Folgen und die Kavitationsgefahr auf der Saugseite wird erhöht. Daher sind neue schrägverzahnte Kolbenformen gefragt, die geringere Pulsationen erzeugen und bei hohen Drehzahlen besser einsetzbar sind [3 bis 6].

Konstruktive Aspekte

Rotierenden Verdrängerpumpen mit herkömmlichen Ovalekolben (Bild 1 links) ist ein periodisch schwankender Volumenstrom eigen. In den angeschlossenen Rohrleitungen wird durch das Beschleunigen und Verzögern der Flüssigkeitssäule eine Druckpulsation erzeugt. Das Antriebsdrehmoment ist dem Hubvolumen direkt proportional. Durch die Verminderung von Volumenstromschwankungen verkleinern sich auch die Druckpulsationen. Das kann man am Einfachsten durch phasenversetztes Überlagern zweier paralleler Volumenströme erreichen. Dazu sind allerdings zwei gleiche Drehkolbenpumpen mit einer Phasenverschiebung von einer halben Periode erforderlich. Stellt man sich eine unendliche Zahl parallel geschalteter Drehkolbenpumpen vor, die über mindestens eine volle Verdrängungsperiode in allen Eingriffspunkten miteinander wirken, könnte jegliche Ungleichförmigkeit des Volumenstroms verschwinden und geometrisch bedingte Pulsation tritt nicht mehr auf. Das wird mit einer neuen Lösung, dem schrägverzahnten Drehkolben [3 bis 6], realisiert (Bild 1 rechts). Der Umschlingungswinkel über die Kolbenlänge beträgt genau eine halbe Zahnteilung. Um die Abdichtung der Pumpe in jedem Betriebspunkt zu gewährleisten, muss das Gehäuse

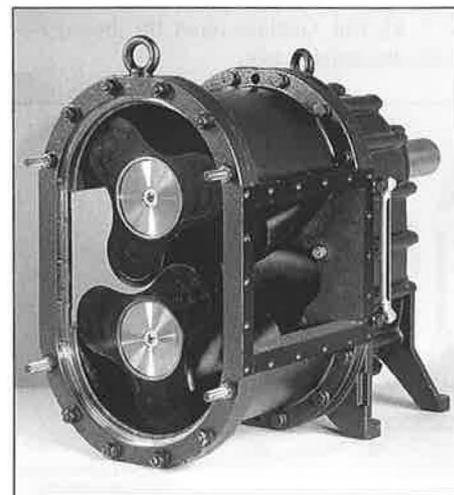
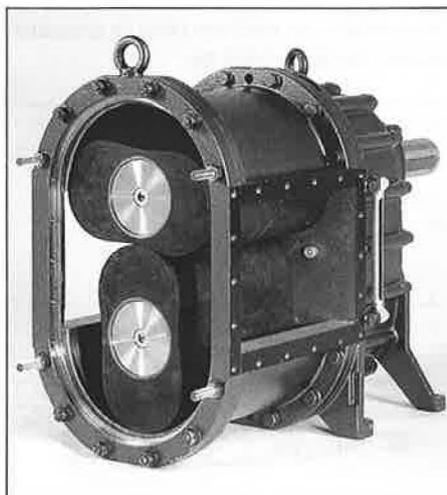


Bild 1: Drehkolbenpumpe mit Ovalekolben (links) und mit schrägverzahnten Kolben (rechts)

Fig. 1: Rotary-lobe pump with oval lobes (left) and with helical geared lobes (right)

jeden Kolben (bei geraden Austrittskanten) mindestens über eine Zahnteilung plus Umschlingungswinkel umschließen. Dann können herkömmliche Ovalkolben und schrägverzahnte Kolben paarweise ausgetauscht und in vorhandene Pumpengehäuse eingebaut werden.

Praktische Untersuchungen

Es stellt sich die Frage, ob die theoretisch begründeten Vorteile der schrägverzahnten Drehkolben auch in praktischen Förderversuchen mit verschiedenen Fördermedien bestätigt werden. Dazu wurden am ATB-Förderversuchsstand Pumpversuche mit Wasser und verschiedenen hochkonzentrierten Flüssigfutmischungen durchgeführt. Man kann Rohr- und Pumpenkennlinien bei stufenlos einstellbarem Druck und Durchsatz zugleich messen. Das ist besonders bei hochviskosen organischen Suspensionen mit nicht-Newton'schen Fließeigenschaften von Bedeutung. Die Rohrleitung wird bei Laminarströmung als Rohrviskosimeter genutzt und so werden Veränderungen der Fließeigenschaften ständig beobachtet und dokumentiert. Der Versuchsstand besteht aus einem Wiegemischer, dem Pumpenaggregat und Messrohren aus PVC und Stahl. Der Pumpenantrieb wird über Frequenzumformer stufenlos gesteuert. Zur Druckeinstellung ist hinter der Förderpumpe eine sogenannte Bremspumpe (ebenfalls eine Drehkolbenpumpe) in Reihe angeordnet. Durch Drehzahlverstellung über den Frequenzumformer im Vier-Quadranten-Betrieb wird auch bei hochkonzentrierten Dickstoffen eine stufenlose Druckeinstellung im Bereich von 0 bis 10 bar realisiert. Im Saugstutzen ist eine Drosselklappe zur Saugdruckeinstellung angeordnet.

Die statischen Pumpenkennlinien sind zur Leistungsbeurteilung hinsichtlich Wirkungsgrad, Energieaufwand, Verschleiß und anderen Einflussgrößen beim Fördern verschiedener Medien von Interesse [1]. Die dynamische Belastung, also das Schwingungsverhalten oder die Pulsation, wird am deutlichsten mit Hilfe des Drehmomentverlaufs dargestellt und kennzeichnet die instabilen Förderbereiche.

Bei hohen Drehzahlen und saugseitigem Drosseln des Volumenstroms kommt man schnell in den Bereich der Kavitation (Bild 2). Hier zeigt sich der schwingungsarme Lauf schrägverzahnter Kolben am deutlichsten. Beim „normalen“ Fördern mit hoher Pumpendrehzahl (800 min^{-1}) kann man den Förderzyklus der zweiflügeligen geraden Ovalkolben und der vierflügeligen schrägverzahnten Drehkolben jeweils für eine volle Umdrehung nachvollziehen (Bild 3). Bei der Ovalkolben-Pumpe können demnach auch negative Drehmomente auftreten. Dies ist ein Hinweis auf druckseitige Kavitation. Beim Abbremsen der druckseitigen Flüssigkeitssäule aufgrund der geometrischen Volumstromschwankungen wird der Dampfdruck erreicht und die Flüssigkeitssäule reißt ab. Die obere Drehzahlgrenze der Ovalkolben ist damit überschritten. Der Einfluss des Fördermediums ist ebenfalls aus Bild 3 zu ersehen. In beiden Pumpen überlagern sich Pulsationen infolge des ungleichförmigen Verdrängungsvorgangs und infolge der Rückströmung durch mit dem Drehwinkel wechselnde Spalte. Weil die gemessene Pumpe mit schrägverzahnten Kolben infolge eingebauter großer Spalte erheblich undichter war als jene mit Ovalkolben, sind sowohl bei Wasser als auch bei Flüssigfutter überhaupt erst Rückstrom-Pulsationen erkennbar. Durch die Dämpfung des mit organi-

schon Feststoffen und Gasen beladenen „elastischen“ Flüssigfutters wirken sich die geometrisch bedingten Pulsationen nicht so gravierend aus wie bei Wasser. Insbesondere kommt es nicht zu druckseitigen Kavitationen. In jedem Fall dominieren die geometrisch begründeten Pulsationen und die Schwingungsamplituden der Ovalkolben sind erheblich größer als die der schrägverzahnten Drehkolben. Damit bestätigen sich die theoretischen Überlegungen zur Entwicklung des pulsationsarmen Drehkolbens.

Der Fertigungsaufwand für die Herstellung schrägverzahnter Gummikolben ist natürlich höher als für Ovalkolben. Die Ovalkolben haben kürzere Dichtlinien, die innere Dichtigkeit ist besser. Damit sind diese Pumpen bei kleineren Drehzahlen unter 500 min^{-1} und Drücken unter 5 bar für Dosieraufgaben nach wie vor gut geeignet.

Fazit

Geometrische Zusammenhänge begründen die Ursachen der oft auftretenden Druckpulsationen beim Förderprozess. Zur Reduzierung dieser Schwingungslastungen wurde eine neue schrägverzahnte Kolbenbauform entwickelt. Damit werden Drehmomentschwankungen deutlich gemindert. Besonders bei hohen Drehzahlen ergibt sich ein wesentlich stabileres Förderverhalten im Druck- und im Saugbereich, sogar bei Kavitation. In praktischen Förderversuchen mit Wasser und Flüssigfutter wird das Schwingungsverhalten beider Drehkolbenbauformen gegenübergestellt. Bei extremen Drehzahl- und Druckbelastungen haben die neuen schrägverzahnten Kolben deutliche Vorteile. Bei geringeren Drehzahlen erfüllen die Ovalkolben aufgrund der größeren inneren Dichtigkeit die Dosieraufgaben besser.

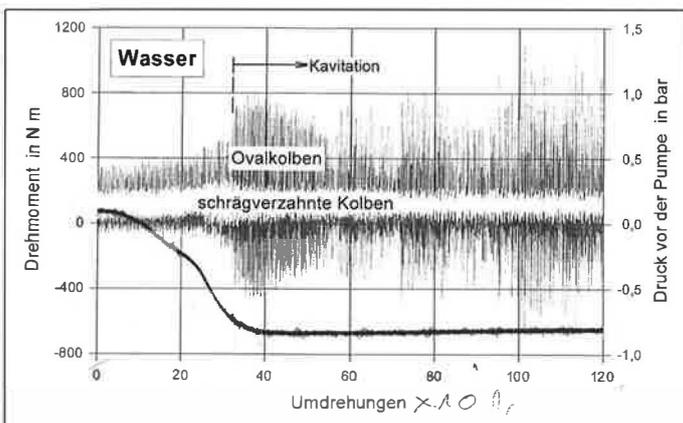


Bild 2: Drehmomentschwingungen beim saugseitigen Drosseln einer Drehkolbenpumpe V 136-140 Q mit zweiflügeligen Ovalkolben und vierflügeligen schrägverzahnten Gummikolben in V-Form bei 900 min^{-1}

Fig. 2: Torque pulsation at suction side throttle of rotary-lobe pump V 136-140 Q with two bladed oval lobe and a four-bladed helical geared rubber lobe in V-shape at 900 rpm

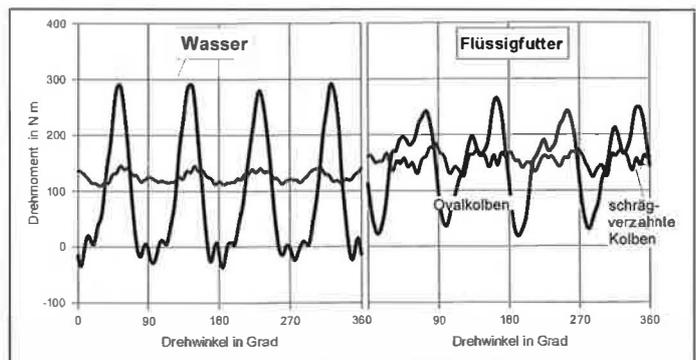


Bild 3: Drehmomentschwingungen über 360° einer Drehkolbenpumpe V 136-140 Q mit zweiflügeligen Ovalkolben und vierflügeligen schrägverzahnten Gummikolben in V-Form beim Fördern von Wasser und Flüssigfutter ($TS = 23,9\%$) mit 800 min^{-1}

Fig. 3: Torque pulsation over 360° of rotary-lobe pump V 136-140 Q with two bladed oval lobe and a four-bladed helical geared rubber lobe in V-shape when conveying water and liquid feed ($dm=23.9\%$) at 800 rpm