

Mangelnder Sachverstand erleichtert Auswahl

Sind hydraulische Eigenschaften ein sekundäres Auswahlkriterium für Kreiselpumpen?

Wenn man mit Anwendern oder Herstellern spricht, gewinnt man häufig den Eindruck, daß die hydraulischen Eigenschaften einer Pumpe vollkommen nebensächlich wären.

So wie die maximale Leistung eines Pkw-Motors bestenfalls ein Indiz, aber nicht eine Meßgröße für den Fahrspaß sein kann, kann auch ein Punkt auf einer Kennlinie nicht die Eigenschaften einer Pumpe beschreiben.

Hersteller und Lieferanten sind häufig der Ansicht, daß in Ermangelung des notwendigen Sachverstandes der Kunden, diese die Pumpen ausschließlich nach rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten auswählen würden. In den weitestgehendsten Veröffentlichungen und Druckschriften werden deshalb insbesondere die Vorzüge einiger Konstruktionsdetails oder Ausführungen aus Sicht der Pumpenhersteller beschrieben.

Sicherlich sind Punkte wichtig, z.B. wie viele verschiedene Größen von Gleitringdichtungen ein Pumpenhersteller einsetzt. Ob der Einfluß auf die Kosten durch Beschränkung auf wenige Größen der Gleitringwellenabdichtung positiv ist, kommt auf die Anzahl und die Größen der eingesetzten Pumpen im Betrieb an und kann nicht pauschal beantwortet werden.

Eine Pumpe ist Mittel zum Zweck. Scheinbar erfüllen eine Vielzahl verschiedenster aber auch sehr ähnlicher

Raimund Kalinowski



Jahrgang 1957, gelernter und studierter Brauer, leitender Inbetriebnehmer, 1. Braumeister, Leiter der Brau- und Maschinentechnischen Abteilung der VLB Berlin, leitende Positionen im Anlagenbau, Verfasser zahlreicher Privat- und Gerichtsgutachten sowie Anlagenbewertungen.

Jetzt tätig als selbstständiger Unternehmensberater und Sachverständiger für Planungs- und Ausführungsfehler in der Brau- und Getränkeindustrie.

Pumpen die gestellten Anforderungen. Die meisten Anwender sind nicht in der Lage, die für eine bestimmte Aufgabe günstigste Pumpe auszuwählen. Meist wird nach Herstellern d.h. Markennamen oder aber nach dem niedrigsten Anschaffungspreis ausgewählt.

Auslegung auf Betriebspunkt?

Pumpen werden häufig für ein Medium bei einem einzigen Betriebspunkt ausgelegt. Dies ist jedoch falsch! Unsinnigerweise verwenden einige Hersteller Computerprogramme, bei denen man einen Pumpentyp für einen bestimmten Betriebspunkt auswählen kann.

Es gibt keinen realen Anwendungsfall, bei dem die

- Produktdaten inkl. der Temperatur ebenso konstant wären, wie
- Zulaufhöhe,
- Fördervolumen und
- Förderdruck.

Je nach Erfahrung und Instinkt des Sachbearbeiters wird die für einen einzigen Betriebspunkt ausgewählte Pumpe mehr oder weniger den Anforderungen gerecht werden. Pumpen sollten zum einen nach den Eigenschaften des zu fördernden Produktes und zum anderen nach den hydraulischen Anforderungen ausgewählt werden.

Über das zu fördernde Produkt sind deshalb folgende Daten wichtig:



Abb. 1: Kreiselpumpe mit Inducer zur Reduzierung des NPSH-Wertes. (Foto: Packo)

- Wie empfindlich ist das Produkt gegenüber Scherkräften, bzw. sind Scherkräfte erwünscht (Bsp.: Ganze Früchte oder das Lösen von Trockenstoffen)?
- Viskosität;
- Dichte;
- Werden Gasanteile mitgefördert (Bsp.: CIP-Rücklaufpumpe, Entleeren von Tanks)?
- Siedepunkt;
- Temperatur;
- Besondere Produkteigenschaften, wie abrasiv (z.B. Filterhilfsmittel, zu lösende Trockenstoffe), neigt zum Auskristallisieren (z.B. hohe Zuckerkonzentrationen), Nicht-Newton-Flüssigkeit (z.B. Xanthan), explosiv (z.B. in Äthanol gelöstes Limonenöl).

Für die hydraulische Auslegung der Pumpe wäre die Anlagenkennlinie wichtig, die sich aber aus den meist während des Betriebes verändernden Parametern

- Volumenstrom,
- Druckdifferenz und
- Zulaufhöhe ebenfalls während des Betriebes stetig verändert.

Durch Kenntnis der Betriebsbedingungen und des Produktes kann ermittelt werden, in welchem Bereich der Kennlinie die Pumpe betrieben werden wird.

Zulaufhöhe und NPSH

Die Zulaufhöhe bzw. mangelnde Zulaufhöhe ist besonders wichtig bei der Auswahl einer Pumpe für die Förderung von siedenden Flüssigkeiten.

Vereinfacht ausgedrückt ist der NPSH-Wert der Unterdruck, den die Pumpe im Saugstutzen erzeugt. Wenn nun bei einer siedenden Flüssigkeit der NPSH-Wert größer ist, als die statische Flüssigkeitssäule am Saugstutzen, bilden sich durch den entstehenden Unterdruck und die damit verbundene Absenkung der Siedetemperatur, bei nahezu konstanter Temperatur des Fördermediums, Dampfblasen. Sowie in der Pumpe die Druckumsetzung erfolgt, kondensieren diese Dampfblasen schlagartig, d. h. die Dampfblasen implodieren oder einfach ausgedrückt, die Pumpe kavitiert.

Ein gewisses Maß an Kavitation, vor allem wenn sie nur selten auftritt, übersteht jede Pumpe. Die vom Hersteller angegebenen NPSH-Werte werden üblicherweise ermittelt, wenn bereits Kavitation auftritt, aber der Förderstrom durch die Kavitation nur um max. fünf Prozent verringert wird. Bei starker Kavitation kann die Pumpe beschädigt oder zerstört werden.

Je nach Bauart und Ausführung der Pumpe sind Pumpen mehr oder weniger empfindlich gegenüber Kavitation. Kreiselpumpen bei denen die Druckumsetzung möglichst gleichmäßig in der Nähe des Zentrums erfolgt und speziell Pumpen mit geschmiedeten Gehäusen oder Gehäusen aus Edelstahlfeinguß sind sehr robust und überstehen einen gewissen Grad an Kavitation dauerhaft. Durch den Einsatz geeigneter Inducer (Abb. 1) kann der NPSH-Wert verringert werden.

Die Pumpe, die am häufigsten für Produkt oder CIP-Flüssigkeiten eingesetzt wird, ist die Kreiselpumpe in hygienischer Ausführung mit Gleitringwellenabdichtung und offenem Laufrad, entweder in tiefgezogener oder in massiver Bauweise. Gehäuse in Edelstahlfeinguß (Abb. 2a und 2b) oder in einer Schmiedeausführung sind aufwendiger in der Herstellung als tiefgezogene Blechgehäuse. Aber auch bei tiefgezogenen Blechgehäusen gibt es deutliche Unterschiede, nicht nur in der Materialstärke sondern auch in der weiteren Ausführung. Die Standardoberflächenqualitäten von Feingußgehäusen sind vollkommen ausreichend. Nachbearbeitete Oberflächen mit Rautiefen von unter $0,8 \mu\text{m}$ sind für den Einsatz in der Getränkeindustrie nicht notwendig.



Abb. 2a: Kreiselpumpe mit Ringgehäuse.

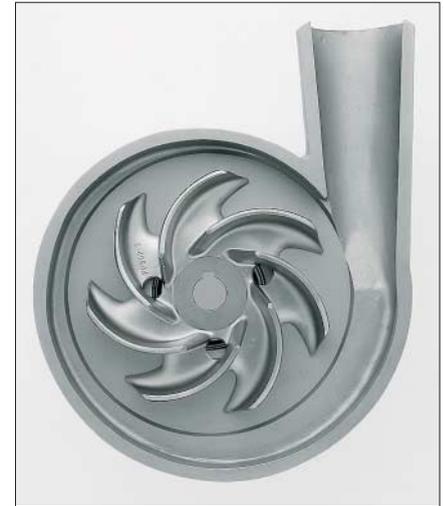


Abb. 2b: Kreiselpumpe mit Spiralgehäuse.

Auslegung nach Kennlinien

Die Auslegung der Pumpe geschieht anhand der Kennlinie (Abb. 3). Zunächst fällt auf, daß die Förderhöhe bei Nullförderung (d. h. der Druck, der erzeugt werden kann, wenn die Pumpe gegen ein geschlossenes Ventil, und somit mit dem Volumenstrom 0 fördert) geringfügig niedriger ist, als bei einem geringen Volumenstrom.

Die Pumpenkennlinien werden zwar real gemessen, aber dann normgerecht auf eine konstante Drehzahl berechnet. Ein Asynchronmotor dreht unter Belastung langsamer als im Leerlauf, d. h. bei Nullförderung und dem damit verbundenen, geringsten Leistungsbedarf, ist die reale Drehzahl höher, als beim maximalen Volumenstrom. Mit zunehmendem Volumenstrom steigen NPSH-Wert und Leistungsaufnahme an und die Förderhöhe fällt ab. Die reale Kennlinie ist wegen der Berechnung auf eine konstante Drehzahl steiler und die NPSH-Werte sind entsprechend höher. Wenn man eine Pumpe nach Kennlinie auslegt, hat man immer eine „Reserve“ in der Förderhöhe. Meist wird vom Planer bei der Auswahl der Pumpe noch eine zusätzliche Reserve in der Förderhöhe

eingepplant. Insbesondere bei flachen Kennlinien muß bei Pumpen mit unregelmäßiger Drehzahl hiervor gewarnt werden.

Dies soll an einem Beispiel erläutert werden:

Es soll von einem Tank mit einer Füllhöhe von 5 m in einen identischen Tank umgepumpt werden. Zwischen den Tanks befindet sich ein Plattenwärmeübertrager mit einem Nenn-Druckverlust von 1,5 bar bei einem Volumenstrom von $40 \text{ m}^3/\text{h}$. Wenn Tank 1 leer und Tank 2 voll ist, beträgt die Druckdifferenz 0,5 bar. Üblicherweise wird die notwendige Pumpe so ausgelegt, daß man alle bekannten Drücke bzw. Druckverluste addiert und einen Zuschlag für Leitungsverluste, Ventile etc. wählt. In diesem Beispiel würde man sicherlich $40 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 3 bar anfragen und dann die Pumpe FP 3532 mit dem 155 mm Laufrad wählen, die nach Kennlinie 3,2 bar bei $40 \text{ m}^3/\text{h}$ fördert. Nach der vorliegenden Kennlinie wäre ein 5,5 kW Motor ausreichend.

Wenn nun der Prozeß anläuft, ist der Quelltank voll und der Zieltank leer, der Zuschlag für Rohrleitungen und Ventile war mit 1 bar vermutlich eher großzügig

gewählt. Dies bedeutet, daß beim Anfahren des Prozesses bei einem gewünschten Volumenstrom von 40 m³/h eine Förderhöhe von 1,5 bar vollkommen ausreichen würde. Die Pumpe in unserem Beispiel fördert nun wesentlich mehr. Durch den zunehmenden Volumenstrom, steigt natürlich der Druckverlust gemäß Anlagenkennlinie an, so daß 60 bis 70 m³/h gefördert würden und zwar bei einer Förderhöhe von etwa 2,5 bar. Der Leistungsbedarf würde nun 7 kW betragen. Am Ende des Umpumpens hat sich die Druckdifferenz durch die veränderten Flüssigkeitssäulen um 1 bar erhöht, da jedoch bei erhöhtem Druck der Volumenstrom abnimmt, verringert sich der Druckverlust im Plattenwärmeübertrager und in der Rohrleitung, so daß bei einer Druckdifferenz von 2,8 bar noch über 50 m³/h gefördert würden.

Normalerweise sind Wärmeübertrager nicht mit solchen Reserven ausgestattet, so daß der Volumenstrom eingeregelt

werden muß. Maschinenbauer setzen hierfür bevorzugt Stellventile ein, die den Druck abbauen. Die Kosten für ein hygienisches Stellventil sind in diesem Leistungsbereich höher als für einen Frequenzumformer, mit dem über eine Drehzahleinstellung der Betriebsbereich gewählt werden könnte.

Es würde bei diesem Beispiel normalerweise das 155 mm Laufrad mit dem 7,5 kW Antrieb ausgesucht werden. Die Drehzahl wäre während des Betriebes reduziert, um den Förderstrom konstant zu halten. Ein 5,5 kW Antrieb könnte in Erwägung gezogen werden.

Geänderte Auswahl bei Frequenzumformerbetrieb

Üblicherweise werden Plattenwärmeübertrager mit erhöhtem Volumenstrom gereinigt, so daß ein 5,5 kW Motor in Verbindung mit dem 155 mm Laufrad zu klein wäre. Frequenzumformer redu-

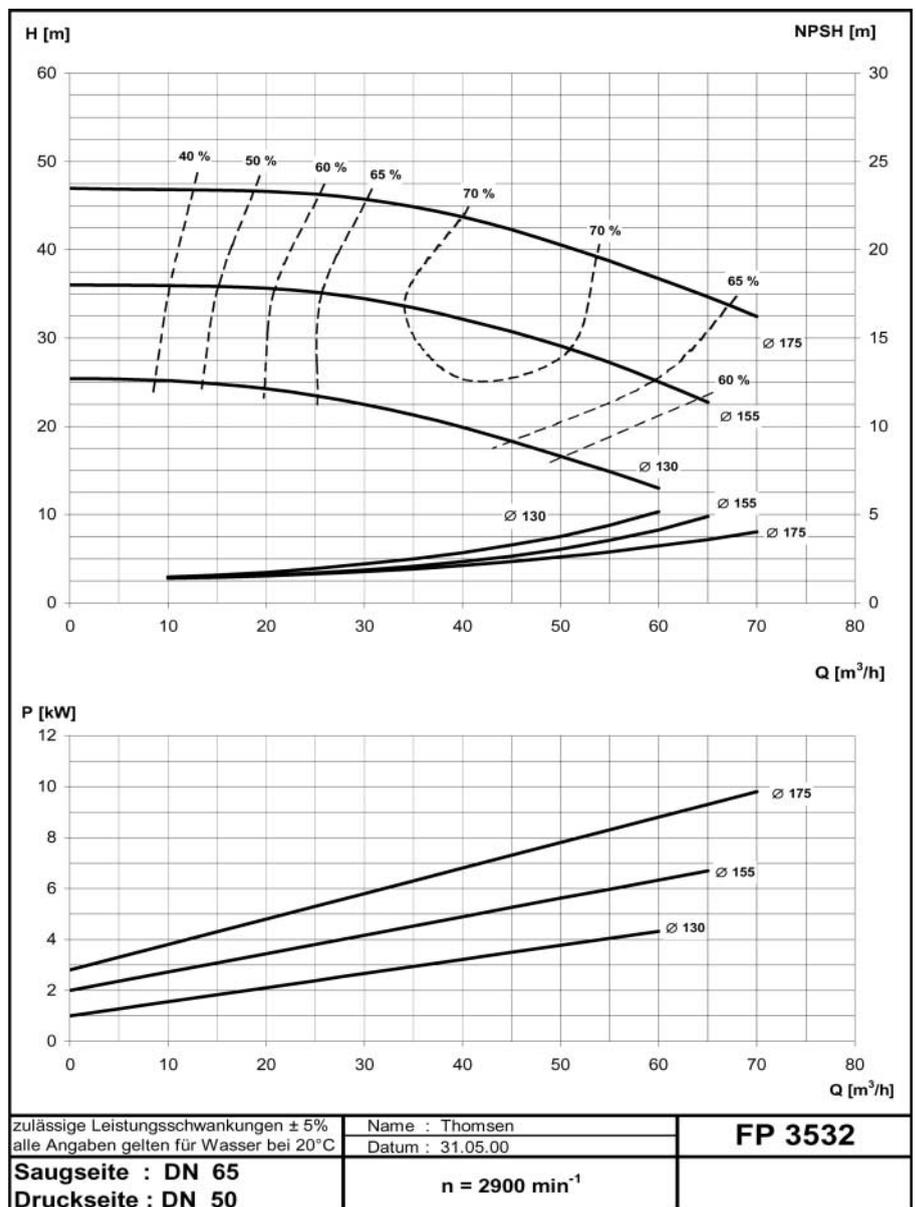


Abb. 3: Die Auslegung der Pumpe geschieht anhand der Kennlinie. (Quelle: Fristam)

zieren bauartbedingt bei Frequenzen unterhalb der Netzfrequenz die Spannung. Daraus folgt, daß bei Frequenzen unterhalb der Netzfrequenz nicht die Nennleistung des Motors zur Verfügung steht. Wenn man nun statt des 155 mm Laufrades das 130 mm Laufrad wählte, würde während des normalen Betriebes die Drehzahl auf ein Niveau oberhalb der der Netzfrequenz entsprechenden Drehzahl angehoben.

Bei höherer Frequenz ist der Magnetismus höher und der Motor erhält durch die höhere Drehzahl des Lüfterrades eine bessere Kühlung. Der 5,5 kW Motor in Verbindung mit dem 130 mm Laufrad wäre vollkommen ausreichend für einen Volumenstrom von z. B. 55 m³/h bei einer Druckdifferenz von 2 bar. Die höhere Drehzahl hat nur einen sehr geringen Einfluß auf die Haltbarkeit von Gleitringdichtung und z. B. Motorlagerung. Man bedenke, daß in Ländern mit einer Netzfrequenz von 60 Hz alle unregelmäßig Drehstrom-Antriebe mit einer um 20 Prozent höheren Drehzahl betrieben werden, als in Ländern mit einem 50 Hz Netz ohne das ein signifikant höherer Verschleiß zu beobachten wäre.

Konstruktionsgrundlagen

Konstruktiv bestimmen vornehmlich

- die Tiefe des Gehäuses und die Größe der Stutzen bei einer Kreiselpumpe den Volumenstrom und
- die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades den Druck.

Bei zahlreichen Anwendungsfällen wird ein relativ hoher Druck bei geringem Volumenstrom benötigt. Die technische Lösung besteht hier üblicherweise entweder aus mehrstufigen Kreiselpumpen oder aber aus dem Einsatz einer großen einstufigen Kreiselpumpe. Beide Lösungen sind jedoch relativ teure Kompromisse. Die mehrstufige Kreiselpumpe ist durch die interne Umlenkung nicht besonders strömungsgünstig und meist auch schwieriger zu reinigen. Die große, einstufige Pumpe wird in einem ungünstigen Bereich der Kennlinie, mit entsprechend schlechtem Wirkungsgrad betrieben.

Eine Pumpe Type FP2/32-125 (Abb. 4), die mit einem 140 mm Laufrad, einstufig, einen Volumenstrom von 3,5 m³/h und einen Druck von 9,8 bar (!) mit einem 3,0 kW Motor jedoch bei einer Drehzahl von 5 250 min⁻¹ liefert, war über 3000 Stunden ohne Wartung im Produktionseinsatz. Bei einer unregelmäßigten Pumpe wäre für diesen Einsatz eine FP2/40-250 (Abb. 5) mit 250 mm Laufrad und 11 kW Motor zum Einsatz gekommen, eine Pumpe, die konstruktiv für Volumenströme von über 30 m³/h gedacht ist.

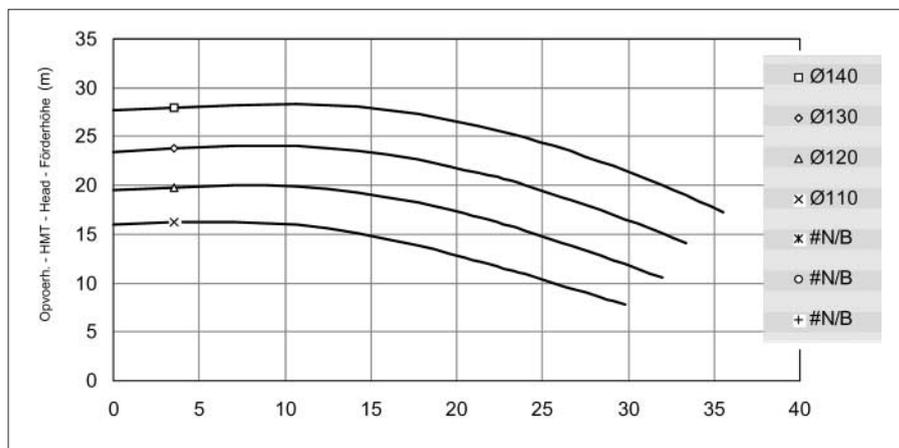


Abb. 4: Kennlinie FP2/32-132. (Quelle: Packo)

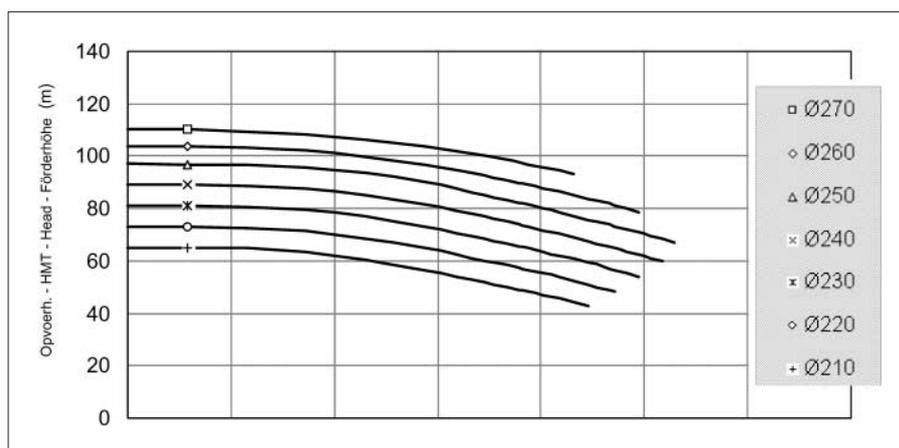


Abb. 5: Kennlinie FP2/40-250. (Quelle: Packo)

Pulsation bei Kreiselpumpen?

Kreiselpumpen gelten als pulsationsfrei. Sie sind es aber nicht. Jedes Mal, wenn eine Laufradschaufel den Druckstutzen passiert, gibt es einen kleinen Druckstoß. Der Verfasser hat beobachtet, daß Pumpen mit Laufrädern mit einer ungeraden Anzahl von Schaufeln gleichmäßiger fördern als solche mit

einer geraden Schaufelanzahl. Diese Beobachtung wurde von Fristam bestätigt. Es gibt für diese Beobachtung keine wissenschaftlich fundierte Erklärung, da es bis heute nicht untersucht wurde. Der Grund könnte im Zusammentreffen einiger Faktoren liegen, die evtl. nicht in ursächlichem Zusammenhang mit der Teilbarkeit durch zwei der Schaufelanzahl stehen. Die greifbarste Erklärung ist, daß wenn eine Schaufel

den Druckstutzen passiert, die Druckwelle sich auch im Pumpengehäuse ausbreitet und daß das interne Schwingen unterschiedlich ist, ob sich, wie bei Laufrädern mit gerader Schaufelanzahl zu diesem Zeitpunkt nun eine Schaufel gegenüber dem Druckstutzen befindet oder wie bei ungeraden Schaufelanzahlen sich dort der Raum zwischen zwei Schaufeln befindet. Eine andere mögliche Erklärung ist: Die Drehmomententfaltung eines Drehstrommotors ist auch nicht vollkommen gleichmäßig. Und da das Drehfeld des Motors dem Anker voraus eilt, könnte durch die immer paarige Anzahl von Polen, der Anker zusammen mit der geraden Anzahl von Schaufeln einen Schwingkreis bilden.

Eine hohe Schaufelanzahl und eine hohe Drehzahl, d.h. eine hohe Pulsationsfrequenz glätten die Druckamplitude. Üblich sind Laufräder mit (drei) vier bis sieben (acht) Schaufeln. Eine deutlich höhere Schaufelanzahl würde wegen der fertigungstechnisch notwendigen minimalen Materialstärke der einzelnen Schaufeln, durch eine Verengung im Eintritt das Saugvermögen der Pumpe reduzieren und durch eine erhöhte innere Reibung den Wirkungsgrad verringern.

Wenn Kreiselpumpen zum Mischen verwendet werden, beeinflusst die Pulsation das Dosierergebnis negativ, sofern die Steuerung die Pulsation nicht kompensieren kann. Ein simples Dämpfen des Meßwertes ist nicht zu empfehlen, da hierunter ebenfalls die Genauigkeit leidet. Unter Umständen kann diese Pulsation auch schwere Meßfehler verursachen. Einer der führenden internationalen Hersteller von Massedurchflußmessern benutzt eine Erregerfrequenz, die bei üblichen Kreiselpumpen und üblichen Drehzahlen von der Pulsationsfrequenz der Kreiselpumpe überlagert werden kann. Es kann dann zu Meßfehlern im Bereich von zehn Prozent kommen, die der Massedurchflußmesser nicht als fehlerhaft erkennt.



Abb. 6: Drehkolben- oder Kreiskolbenpumpen fördern sehr produktschonend, sie können trockenselbstansaugend ausgeführt sein.

Produktschonende Eigenschaften

Es gibt sehr große Unterschiede bezüglich der produktschonenden Eigenschaften von Kreiselpumpen, prinzipiell gilt

- kleine Drehzahl mit entsprechend geringer Beschleunigung des Fördermediums,
- hohe Wirkungsgrade,
- gleichmäßige, möglichst zentrale Druckumsetzung,
- kleine, jedoch nicht kleinste Spaltmaße sowie
- Spiralgehäuse (vgl. Abb. 2b)

begünstigen eine schonende Förderung. Wirklich produktschonend sind Kreiselpumpen jedoch nicht. Schraubenzentrifugalpumpen sind wesentlich produktschonender, aber vornehmlich für große Volumenströme bei kleinen Druckdifferenzen einsetzbar.

Pumpen für Sonderaufgaben

Insbesondere zur Lösung von Trockenstoffen während der Förderung können Shear Pumps eingesetzt werden, die sehr hohe Scherkräfte erzeugen. Zur Förderung von hochviskosen Medien werden meist zwangsfördernde Pumpen eingesetzt. Hier findet man auch noch Exzentrerschneckenpumpen („Monopumpen“). Der aus einem Elastomer bestehende Stator ist ein Verschleißteil und der Abrieb gelangt ins Produkt. Deswegen wurden z.B. im Molkereibereich meist weiße Statormaterialien eingesetzt. Inzwischen werden diese Pumpen durch höherwertige Pumpen zunehmend verdrängt.

Drehkolben- oder Kreiskolbenpumpen (Abb. 6) fördern sehr produktschonend, sie können trockenselbstansaugend ausgeführt sein. Seit einigen Jahren gibt es auch Schraubenspindelpumpen in hygienischer Ausführung. Probleme mit der Wellenabdichtung zu Beginn der Markteinführung haben dem Ansehen geschadet. Ein großer Vorteil der Schraubenspindelpumpen ist der große, nutzbare Drehzahlbereich, so daß sie meist nicht im Bypass gecipt werden müssen.

Membranpumpen haben Ein- und Auslaßventile, die je nach Fördermedium verkleben oder verklemmen können, so daß die Pumpe dann nicht mehr fördert. Für Produktpumpen sollte eine Überwachung für die Unversehrtheit der Membrane zwingend vorgesehen werden. Membranpumpen lassen sich in großen Bereichen durch Hub- und Drehzahlveränderung verstellen. Pneumatisch angetriebene Membranpumpen haben relativ geringe Anschaffungskosten und können bei sehr geringen Betriebszeiten kostengünstig sein.

Strahlpumpen werden z.B. eingesetzt, um Trockenstoffe in eine Umwälzleitung einzusaugen oder um Gase in Flüssigkeiten zu lösen. Der Treibstoff kann flüssig oder gasförmig sein. Kolbenpumpen und Zahnradpumpen werden meist als Dosierpumpen eingesetzt. Hygienisch einwandfreie Ausführungen sind sehr aufwendig und dementsprechend teuer.

Zusammenfassung

Es wurde ein Überblick über hygienische Pumpen gegeben. Auf Kreiselpumpen wurde hierbei genauer eingegangen. Praktische Hinweise in Verbindung mit einem Beispiel veranschaulichten die Betrachtungen. Als Fazit kann festgehalten werden, daß Kreiselpumpen nicht pulsationsfrei fördern und daß bei einer drehzahlgeregelten Kreiselpumpe meist das kleinere zur Auswahl stehende Laufrad und Drehzahlen bei Frequenzen oberhalb der Netzfrequenz günstiger sind. □