

# Auslegungsprogramm zur Erhöhung der Nutzungsdauer von Drehkolbenpumpen

*Zweiwellige Drehkolbenpumpen werden häufig zum Fördern von Schlämmen und Suspensionen mit Grobstoffen in Gülle-, Biogas- und Kläranlagen eingesetzt. Die Pumpenkennlinien verändern sich mit zunehmendem Verschleiß in erheblichem Maße. Auf der Basis eines Berechnungsmodells für verschleißbedingte Leckageverluste bei realen Fördermedien [1] wurde ein Auslegungsprogramm für Drehkolbenpumpen entwickelt, das zusammen mit dem bekannten Programm für Güllerohrleitungsrechnungen [2] die komplexe Planung von landwirtschaftlichen Pumpenanlagen ermöglicht.*

Dipl.-Ing. Burkhard Verhülsdonk und Dipl.-Ing. Paul Krampe sind Mitarbeiter der Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH, Holthöge, 49632 Essen (Oldb.); e-mail: [verhuelsdonk@vogelsang-gmbh.com](mailto:verhuelsdonk@vogelsang-gmbh.com)  
Dr.-Ing. habil. Meno Türk und Dipl.-Ing. (FH) Thomas Zenke sind Mitarbeiter in der Abteilung „Technik in der Tierhaltung“ im Institut für Agrartechnik Bornim e. V. (ATB) (Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zanke), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam; e-mail: [mtuerk@atb-potsdam.de](mailto:mtuerk@atb-potsdam.de)  
Die Untersuchungen wurden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit BMWi gefördert.

## Schlüsselwörter

Software, Drehkolbenpumpe, Auslegung, Nutzungsdauer, Verschleiß, Leckage

## Keywords

Software, rotary lobe pumps, planning, pumping time, abrasive pump wear, gap leakage

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 04606 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

In Drehkolbenpumpen sind zwischen den überührungslos rotierenden Kolben und ortsfestem Gehäuse stets definierte Spalte vorhanden. Dadurch treten Spaltströmungsverluste (Leckage) auf. Während diese Spalte bei neuen Pumpen relativ gering sind, vergrößern sie sich im Lauf der Betriebszeit in Folge von Gleit- und Strahlverschleiß durch abrasive Grobstoffe. Dadurch verändern sich die Pumpenkennlinien. Die Auswirkungen dieser Spalte auf das Förderverhalten sind im Wesentlichen vom Fließverhalten der Fördermedien abhängig. Deshalb ist es für Anwender und Konstrukteure hilfreich, wenn die Pumpenkennlinien in Abhängigkeit von relevanten Einflussfaktoren modellhaft berechnet werden können. Der Konstrukteur ist dann in der Lage, unter Zuhilfenahme eines bestimmten Verschleißverhaltens Förderleistung und Wirkungsgrad abzuschätzen. Der Serviceingenieur muss die Ursache von Havariefällen aufdecken. Der Hersteller von Drehkolbenpumpen kann im Falle von extrem abrasiven Medien durch Berechnen der Standzeiten den unwirtschaftlichen Einsatz von Drehkolbenpumpen vermeiden.

## Programmgrundlagen

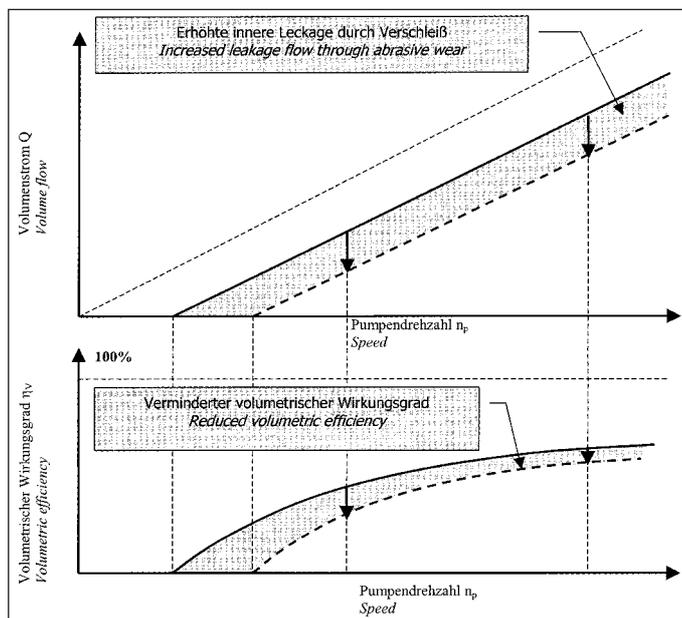
Die mathematischen Grundlagen zur Berechnung von Pumpenkennlinien sind ausführlich beschrieben worden [1, 3, 4, 5]. Zur Bestimmung des realen Volumen-

stroms einer Drehkolbenpumpe ist es erforderlich, die Spaltströmungen in den Kopf-, Mitten- und Stirnspalten in Abhängigkeit von den Fließeigenschaften des Fördermediums und den konstruktiven Gegebenheiten zu berechnen.

Bei feststoffbeladenen Suspensionen haben sich elastomer beschichtete Drehkolben bewährt. Enge Spaltweiten sind bei neuen Pumpen die Regel, die rotierenden Kolben berühren sich und das Gehäuse nicht. Die Spalte vergrößern sich beim weiteren Betrieb durch den Einfluss abrasiver Bestandteile im Fördermedium. Die Korngröße spielt dabei eine entscheidende Rolle. Die experimentellen Untersuchungen dazu erfolgten im ATB [3]. Diese wurden in einem Rechenmodell zusammengefasst [1]. Auf dieser Grundlage wurde in der Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH das Pumpenauslegungsprogramm CAPS (Computer Aided Pump Selection) entwickelt und mit Erfolg angewendet. Die Rohrleitungsauslegung zur Festlegung des Anlagenbetriebspunktes erfolgt für landwirtschaftliche Dickstoffe und Suspensionen (Gülle, Bio- und Klärschlämme) mit Hilfe des Programms ROHRWIN [2], so dass eine komplexe Berechnung und Modellierung der Förderaufgabe erfolgen

*Bild 1: Veränderung der Kennlinien von Drehkolbenpumpen bei Verschleiß*

*Fig. 1: Change of characteristic curves of rotary lobe pumps with abrasive wear*



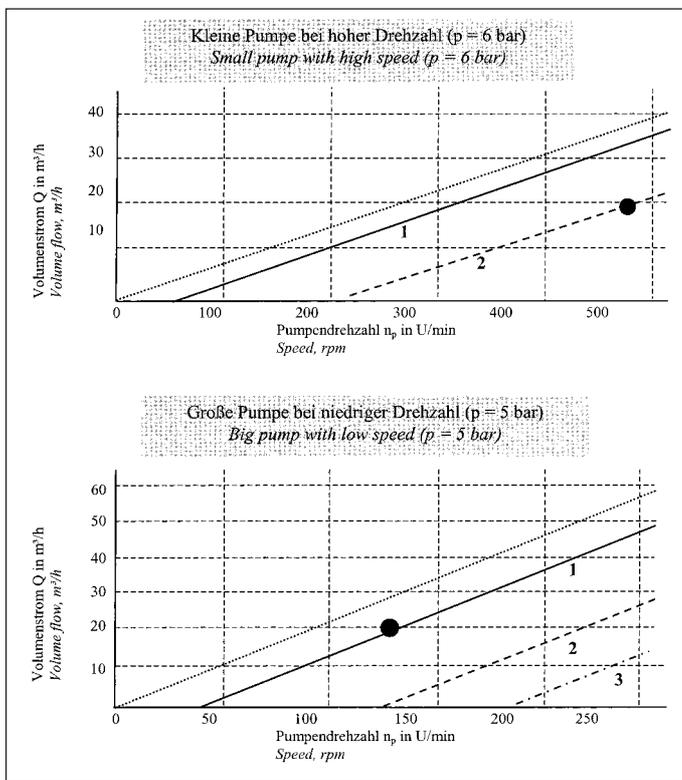


Bild 2: Einfluss der Drehzahl auf den Förderdurchsatz von Drehkolbenpumpen bei Verschleiß (Anwendungsbeispiel)

Fig. 2: Effect of speed on volume flow of rotary lobe pumps with abrasive wear (application example)

1 - neue Pumpe / new pump; 2 - verschlissene Pumpe (s = 0,7 mm) / worn pump (s = 0.7 mm); 3 - verschlissene Pumpe (s = 0,9 mm) / worn pump (s = 0.9 mm); • - Betriebspunkt / working point

kann. Dadurch ergeben sich entscheidende Vorteile bei Auswahl, Planung und Konstruktion von Drehkolbenpumpen, insbesondere bei schwierigen Förderproblemen.

Das Programm CAPS bietet folgende Anwendungsmöglichkeiten:

- 1) *Auslegung einer Drehkolbenpumpe anhand der vorgegebenen Betriebsdaten:* Das Programm schlägt eine Reihe möglicher Pumpen vor. Ein Expertensystem wählt eine optimale Pumpe aus, wobei die Optimierung nach Gesichtspunkten wie Arbeitsbereich, Wirkungsgrade und Preis erfolgt, deren Gewichtungen einstellbar sind. Ein geeigneter Antriebsmotor wird ebenfalls vorgeschlagen.
- 2) *Berechnung einer ausgewählten Pumpe:* Das Datenblatt sowie verschiedene Kennfelder werden berechnet, wobei gewünschte Drehzahl- und Druckbereiche einstellbar sind. Der Verschleißzustand kann simuliert werden, wobei der Rundum-Verschleiß (gleiche Spaltgröße in Kopf- und Stirnspalt) durch Eingabe einer mittleren Korngröße zu verändern ist.
- 3) *Simulation von Verschleißszenarien:* Es können sämtliche Spalte, die der Konstrukteur beeinflussen kann, getrennt simuliert werden. Sogar ein Kolbenuntermaß kann vorgegeben werden, so dass auch Pumpen mit Stahlkolben berechnet werden können, bei denen das Berühren der Kolben mit dem Gehäuse unbedingt vermieden werden muss.

Das Programm benutzt Excel-Tabellenblätter und -diagramme. Neben den eigentlichen Auslegungsdaten wie Volumendurchsatz, Motorleistung und Wirkungsgrade können auch die konstruktiven Einzelheiten einer Pumpenanlage wie Anschlussvarianten, Motoren, Kupplungen und Grundplatten als

Einzelteil- oder Zusammenbauzeichnung abgerufen werden. Die Weiterentwicklung des Programms hat das Ziel komplette Angebotsunterlagen zu erstellen.

### Anwendung

Ein lange offenes Problem der Pumpenauslegung war die Frage der optimalen Pumpendrehzahl bei zunehmendem Verschleiß. Hier stützte man sich bisher auf Erfahrungen mit Excenterschneckenpumpen. Der ständige Reibverschleiß in Excenterschneckenpumpen erfordert aufgrund der Lagerung des Rotors im Stator stets niedrige Drehzahlen [6]. Die Rotoren einer Drehkolbenpumpe berühren sich und das unschließende Gehäuse nicht, es tritt also vorwiegend Strömungsverfälschung auf und die Pumpendrehzahl beeinflusst den Verschleiß nur unwesentlich. Daher sind hier erheblich höhere Betriebsdrehzahlen möglich. Es ist also vorteilhaft, kleinere Baugrößen mit höheren Pumpendrehzahlen einzusetzen. Die Vermutung, dass eine langsamer laufende Drehkolbenpumpe mit angenommenem geringeren Verschleiß höhere Standzeiten hat, ist nicht richtig. Bild 1 kennzeichnet die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen Verschleiß und dem volumetrischen Wirkungsgrad  $\eta_V$ . Eine schnell laufende Pumpe mit anfänglich höherem volumetrischen Wirkungsgrad hat auch bei Verschleiß einen besseren Wirkungsgrad. Die Verschleißwirkungen sind bei höherer Drehzahl deutlich geringer. Diese Tatsache hat sich im praktischen Betrieb bestätigt (Bild 2).

In einer Pumpenanlage der Lebensmittelindustrie sollen mit einer Drehkolbenpumpe Kartoffelabfälle gefördert werden bei einem Gegendruck von  $p_D = 5$  bis 6 bar und

einem Durchsatz von  $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$ . Zunächst wurde eine langsam laufende Pumpe vom Typ R 210 HD mit einem Kammervolumen von  $3,8 \text{ l/U}$  und einer Drehzahl von  $n_p = 130 \text{ min}^{-1}$  eingesetzt. Die Standzeit zwischen den Kolbenwechsellern war jedoch zu gering. Erst nach dem Einsatz einer kleineren Pumpe vom Typ R 70 HD mit einem Kammervolumen von  $1,27 \text{ l/U}$  ( $1/3$  des Hubvolumens der größeren Pumpe) und  $n_p = 475 \text{ min}^{-1}$  konnten die Standzeiten um rund 100 % erhöht werden.

Mit Hilfe des Auslegungsprogramms CAPS wurde das Beispiel nachgerechnet (Bild 2). Bei Verschleiß wird die Durchsatzleistung  $Q = 0$ . Die kleinere Ersatzpumpe erreicht auch bei Verschleiß ( $s = 0,7 \text{ mm}$ ) noch den Betriebspunkt ( $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Die Beobachtungen zeigen, dass sich die Rückstromrate bei Strahlverschleiß bei allen Pumpen etwa um einen gleichen Faktor erhöht, wenn diese unter den gleichen Bedingungen mit gleichem Förderdurchsatz betrieben werden.

Ist der Pumpenwirkungsgrad  $\eta_V$  im Neu- und im Verschleißzustand bekannt, lässt sich das Verschleißverhalten einer anderen Pumpe mit Hilfe von CAPS abschätzen. Die mittlere Korngröße wird so eingestellt, dass sich bei beiden Pumpen ein gleicher Verschleißfaktor  $F_V$  ergibt. Dieser berechnet sich als Verhältnis der Spaltströme einer verschlissenen zu einer neuen Pumpe:

$$F_V = \frac{1 - \eta_{V \text{ Verschleiß}}}{1 - \eta_{V \text{ Neu}}} = \frac{Q_{S \text{ Verschleiß}}}{Q_{S \text{ Neu}}}$$

Daraus folgt als generelle Empfehlung zur Pumpen-Auslegung, dass bei Betriebsbedingungen mit Strahlverschleiß stets Pumpen mit dem höheren volumetrischen Wirkungsgrad im Neuzustand gewählt werden sollten.

### Zusammenfassung

Auf der Grundlage umfangreicher experimenteller und theoretischer Untersuchungen wurden Berechnungsmodelle zur Bestimmung von Pumpenkennlinien in Abhängigkeit vom Verschleiß und Fließverhalten entwickelt, die nun in Form einer neuen Pumpenauslegungs-Software (CAPS) genutzt werden. Zusammen mit einem bekannten Auslegungsprogramm für Güllerohrleitungen (ROHRWIN) ist eine komplexe Berechnung von Pumpenanlagen möglich. Dadurch erhöht sich die Qualität von Konstruktion, Planung und Einsatz. Durch die optimierte Pumpenauswahl unter Berücksichtigung konkreter Verschleißszenarien kann eine Verdoppelung der Nutzungsdauer der Drehkolbenpumpen erreicht werden. Das betrifft besonders Einsatzfälle in Gülle-, Biogas- und Kläranlagen mit besonders hohem Verschleiß.