

# Das Kavitationsverhalten von Drehkolbenpumpen

*Das Kavitationsverhalten ist für die Pumpenauslegung von großer Bedeutung. Kavitation führt zu instabilen Förderzuständen und erzeugt dabei typische Geräusche. Sie tritt in der Pumpe an den Stellen mit den größten Strömungsgeschwindigkeiten auf. Die wichtigsten Einflussgrößen auf das Kavitationsverhalten von schräg verzahnten Drehkolbenpumpen, wie die Pumpendrehzahl, der Kolbenverschleiß, die Viskosität des Fördermediums und der Förderdruck werden untersucht und bewertet.*

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Zenke und Dr.-Ing. habil. Meno Türk 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)

Dipl.-Ing. Burkhard Verhülsdonk ist Mitarbeiter der Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH, Holthöge, 49632 Essen (Oldb.); e-mail: [verhuelsonk@vogelsang-gmbh.com](mailto:verhuelsonk@vogelsang-gmbh.com)

Diese Untersuchungen erfolgten im Rahmen eines Kooperationsprojektes, gefördert durch das BMWi zusammen mit der Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH

## Schlüsselwörter

Kavitation, Saugverhalten, Drehkolbenpumpe, Verschleiß

## Keywords

Cavitation, suction behaviour, rotary lobe pump, wear

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 04117 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Zweiwellige Drehkolbenpumpen können für ein sehr breites Spektrum von Fördermedien eingesetzt werden - von niedrig viskosen reinen Flüssigkeiten bis zu hoch viskosen und grobdispersen Suspensionen. Dabei ist auch ein stabiles Saugverhalten von großer Bedeutung. Eine wesentliche Ursache für Störungen an Pumpenanlagen ist Kavitation, die zumeist eine Folge ungünstiger Strömungs- und Druckverhältnisse ist. Bei Kavitation bilden sich Unterdruckzonen an der Saugseite oder in der Pumpe, in denen der statische Druck örtlich unter den Dampfdruck der Förderflüssigkeit sinkt und es entstehen Dampfblasen [1]. Diese kondensieren schlagartig und verursachen erhebliche Lärmemissionen, mechanische Schwingungen, auf Dauer Verschleiß und schließlich den vollständigen Zusammenbruch des Förderstroms.

Zur Vermeidung von Pumpenkavitation ist eine bestimmte saugseitige Druckhöhe erforderlich. Dazu wurde der Begriff  $NPSH_r$  (required Net-Positive-Suction-Head) definiert.  $NPSH_r$  beschreibt den absoluten Einlassdruck, der zur Vermeidung von Kavitation mindestens auf der Saugseite der Pumpe anstehen muss. Er stellt somit einen wesentlichen Parameter bei der Auslegung einer Pumpanlage dar [1].

Bei der Pumpenanwendung ist die Überwachung von Sicherheitsgrenzen vor dem Auftreten von Kavitation notwendig, so zum Beispiel die Reduzierung der Förderhöhe oder des Förderstroms um einen bestimmten

Betrag (3 oder 5 %). Bei Drehkolbenpumpen mit stabilen Saugkennlinien wird vor allem die Veränderung des Förderstromes beobachtet [1]. Das erfordert einen hohen messtechnischen Aufwand, weil eine permanente Kontrolle des Volumenstromes in Echtzeit erforderlich ist.

Bei Förderversuchen am Pumpenversuchsstand des ATB wurden typische Geräusche zwei charakteristischen Kavitationszuständen zugeordnet. Diese Beobachtungen erfolgten ohne messtechnischen Aufwand und lassen sich auch im praktischen Einsatz zur Ermittlung von Kavitationsgrenzen anwenden.

Die wichtigsten Einflussparameter auf das Kavitationsverhalten von schräg verzahnten Drehkolbenpumpen werden diskutiert.

## Untersuchungsmethode

Folgende Einflussgrößen werden untersucht und verändert:

- Pumpendrehzahl im Bereich von 200 bis 600  $\text{min}^{-1}$  beim Fördern von Wasser mit 20 °C
  - Verschleiß der Kolben durch Einsatz unterschiedlicher Kolben mit Kopfspalten von 0,5, 1,5 und 2,5 mm [2]
  - Viskosität des Fördermediums durch Versuche mit Wasser (20 °C,  $\eta = 1 \text{ mPa s}$ ) und Glycerin (20 °C,  $\eta = 1450 \text{ mPa s}$ )
  - Förderdruck im Bereich von 2 bis 6 bar
- Der Pumpenversuchsstand besteht im Wesentlichen aus zwei baugleichen in Reihe an-

Bild 1: Einfluss der Pumpendrehzahl auf die Kavitation; (Wasser 20 °C,  $p_D = 2 \text{ bar}$ ,  $s_K = 0,5 \text{ mm}$ );  $p_{s1}$  - Kavitationsbeginn,  $p_{s2}$  - ausgeprägte Kavitation und Strömungsabbriss

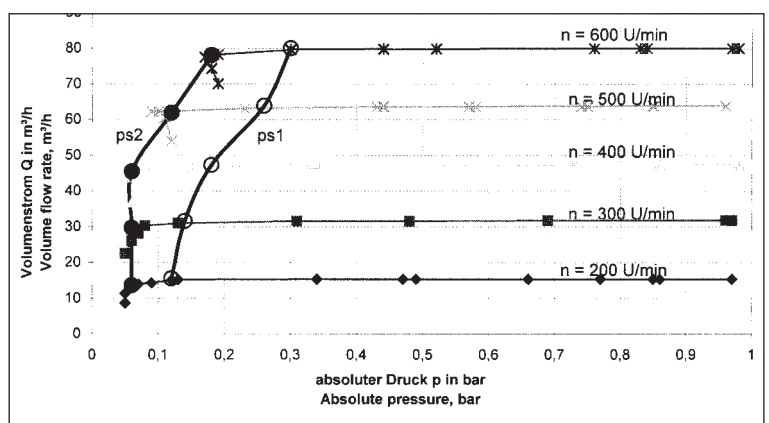


Fig. 1: Effect on rotational speed on cavitation; (water 20 °C,  $p_D = 2 \text{ bar}$ ,  $s_K = 0,5 \text{ mm}$ );  $p_{s1}$  - beginning of cavitation,  $p_{s2}$  - full cavitation and stall of flow

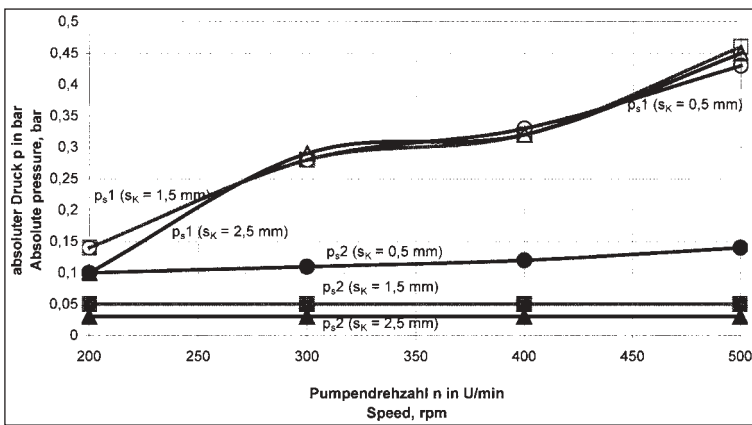


Bild 2: Einfluss des Kolbenverschleißes auf die Kavitation; ( $\eta = 1450$  mPas,  $p_D = 2$  bar),  $p_{s1}$  - Kavitationsbeginn,  $p_{s2}$  - ausgeprägte Kavitation und Strömungsabriss

Fig. 2: Effect of lobe wear on cavitation; ( $\eta = 1,450$  mPas,  $p_D = 2$  bar),  $p_{s1}$  - beginning of cavitation,  $p_{s2}$  - full cavitation and stall of flow

geordneten Drehkolbenpumpen (Typ VX 136-140 Q der Fa. Hugo Vogelsang Maschinenbau GmbH in Essen/Oldbg.) mit schräg verzahnten gummierten Kolben [2], von denen eine als Förderpumpe (Arbeitspumpe), die andere als Bremspumpe dient. Die Pumpendrehzahlen werden jeweils über Frequenzumrichter eingestellt. Auf der Saugseite der Förderpumpe ist ein Drosselventil angeordnet. Neben dem saug- und druckseitigen Absolutdruck werden die Drehzahl, das Drehmoment, der Volumenstrom und die Temperatur kontinuierlich gemessen und im Messrechner gespeichert. Es werden Saugkennlinien bis zur ausgeprägten Kavitation und Strömungsabriss ( $Q = 0$ ) aufgenommen. Auffällige Pumpengeräusche werden bei dem Saugdruck gekennzeichnet, bei dem sie erstmalig auftreten. Dabei werden zwei Kavitationszustände unterschieden.

1. Der Kavitationsdruck  $p_{s1}$  entspricht dem absoluten saugseitigen Druck, bei dem erste Geräusche in der Pumpe (Zischen und Blubbern) auftreten. Damit wird der Beginn von Spaltkavitation [1] gekennzeichnet.
2. Der Kavitationsdruck  $p_{s2}$  entspricht dem absoluten saugseitigen Druck, bei dem periodisch hämmernde Druckschläge und Knattergeräusche einsetzen. Das entspricht dem Beginn ausgeprägter Kavitation und der Förderstrom reißt schlagartig ab. Es tritt Verdrängungsraumkavitation [1] auf, die durch eine ungenügende Befüllung der Verdrängerammer verursacht wird und Spaltraumkavitation überlagert.

### Versuchsergebnisse

Die Drehzahlabhängigkeit des Kavitationsbeginns zeigt Bild 1. Der Kavitationsdruck  $p_{s1}$  verändert sich nahezu linear mit dem Volumenstrom und der Drehzahl. Bei steigender Drehzahl ergibt sich eine höhere relative Strömungsgeschwindigkeit im Kopfspalt. Die Sicherheitsgrenze  $NPSH_r$  ist etwa vergleichbar mit dem Kavitationszustand  $p_{s1}$  und sollte keinesfalls überschritten werden.

Im unteren Drehzahlbereich  $n < 400$  min<sup>-1</sup> bleibt der Kavitationsdruck  $p_{s2}$  nahezu konstant und ist unabhängig von der Drehzahl.

Bei  $n > 400$  min<sup>-1</sup> tritt  $p_{s2}$  bei höherem absoluten Druck ( $> 0,1$  bar) auf, es setzen also starke Schläge in der Pumpe ein und der Volumenstrom reißt ab. Dieser instabile Zustand führt zu erheblichen mechanischen Belastungen und kann sogar eine Zerstörung der Pumpenanlage zur Folge haben.

### Die Verschleißabhängigkeit

der Kavitationszustände  $p_{s1}$  und  $p_{s2}$  wird mit hoch viskosem Glycerin untersucht. Der Kavitationsdruck  $p_{s1}$  ist vom Pumpenverschleiß nahezu unabhängig und vergrößert sich mit steigender Drehzahl (Bild 2), das Saugverhalten verschlechtert sich also. Der Kavitationsdruck  $p_{s2}$  vermindert sich mit zunehmendem Verschleiß. Das Saugverhalten wird bei höher viskosen Medien mit zunehmendem Verschleiß also verbessert und Kavitation tritt erst bei sehr geringen absoluten Drücken ( $< 0,05$  bar) auf. Es tritt hauptsächlich Verdrängungsraumkavitation auf. Der zunehmende Verschleiß bewirkt eine schnellere Befüllung der Pumpenkammer, da aufgrund des größeren Spaltquerschnitts ein erhöhter Spaltvolumenstrom entsteht. Das durch Verschleiß verbesserte Kavitationsverhalten ist jedoch verbunden mit einem geringeren volumetrischen Wirkungsgrad [2].

Bei Wasser wird der Kavitationsdruck  $p_{s1}$  mit zunehmendem Verschleiß etwas größer. Der ausgeprägte Kavitationsdruck  $p_{s2}$  ist vom Verschleiß nahezu unabhängig. Erst bei  $n_p > 500$  min<sup>-1</sup> wird  $p_{s2}$  mit zunehmendem Verschleiß kleiner.

### Die Viskosität

beeinflusst den Förderstrom, den energetischen Wirkungsgrad [2] und auch das Saugverhalten in erheblicher Weise.

Das Saugverhalten ist bei Glycerin deutlich schlechter als bei Wasser. Bei hoch viskosen Fördermedien ist die Drehkolbenpumpe nahezu dicht, es gibt keine Spaltströmungen mehr und so tritt vor allem Verdrängungsraumkavitation auf, weil der Pumpenraum nicht ausreichend gefüllt wird.

### Der Förderdruck

beeinflusst die Kavitation sehr deutlich. Mit

steigendem Förderdruck werden  $p_{s1}$  und  $p_{s2}$  größer.

Der zunehmende Förderdruck bewirkt eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit im Kopfspalt von der Druck- zur Saugseite und hat ein Absinken des statischen Druckes im Spalt zur Folge. Bei höherer Drehzahl ( $> 400$  min<sup>-1</sup>) wird der Einfluss des Förderdrucks auf die Kavitationsdrücke  $p_{s1}$  und  $p_{s2}$  jedoch geringer. Vermutlich überdecken die von der Umfangsgeschwindigkeit beeinflussten Kavitationseffekte bei steigender Drehzahl die druckinduzierten Kavitationsvorgänge.

Der Einfluss des Förderdrucks auf die Kavitation wird auch durch die Wellendurchbiegung bei einseitig gelagerten Drehkolbenpumpen verstärkt. Die Wellenenden werden bei hohen Förderdrücken auseinander gedrückt und der Kopfspalt verändert sich. Doppelt gelagerte Pumpen haben dagegen ein deutlich stabileres Saugverhalten [2].

Auch Drehkolbenpumpen mit verschiedenen Kolbenformen haben ein unterschiedliches Saugverhalten [3]. Mehrflügelige schräg verzahnte Kolben erzeugen geringere Druckpulsationen, haben eine höhere Laufruhe und ein besseres Saugverhalten als zweiflügelige gerade verzahnte Ovale, insbesondere bei höheren Drehzahlen von  $n > 400$  min<sup>-1</sup>.

### Zusammenfassung

Das Kavitationsverhalten von Drehkolbenpumpen wird von verschiedenen Betriebsparametern (Pumpendrehzahl, Förderdruck, Viskosität des Fördermediums, Verschleiß und Bauform der Kolben) beeinflusst.

Mit Hilfe akustischer Kavitationsbeobachtungen wurden einige Einflussfaktoren auf das Saugverhalten bewertet. Dabei wurden zwei Kavitationszustände unterschieden:  $p_{s1}$  als Beginn und  $p_{s2}$  als ausgeprägte Kavitation. Grund hierfür sind vermutlich unterschiedliche Kavitationsformen. Spaltkavitation ( $p_{s1}$ ) erkennt man durch zischende Geräusche, Verdrängungsraumkavitation ( $p_{s2}$ ) durch heftige Druckschläge in der Pumpe und Strömungsabriss ( $Q = 0$ ). Der Kavitationszustand  $p_{s2}$  muss bei der Pumpenanwendung in jedem Fall vermieden werden, da eine Pumpenanlage zerstört werden kann.

Der Kavitationsbeginn  $p_{s1}$  ist eine hinreichend genaue Einsatzgrenze und etwa identisch mit  $NPSH_r$ . In der Praxis wird diese Kavitationsgrenze häufig mit dem Absinken des Förderstroms um 3 % definiert. Bei diesem Kriterium kann bei Drehkolbenpumpen bereits in erheblichem Maße Kavitation auftreten. Daher sind ständige Beobachtungen des Saugverhaltens beim praktischen Betrieb unerlässlich.