

## CFD-Analyse von Kegelventilen für oszillierende Verdrängerpumpen

Die Leistung oszillierender Verdrängerpumpen hängt vom Zustand der Ventile ab. Abrasive und hochviskose Medien stellen das Material vor besondere Herausforderungen. Ventile, die in FELUWA MULTISAFE® Pumpen verarbeitet sind, zeichnen sich durch eine hohe Verschleißfestigkeit aus. Die damit einhergehende Verlängerung der Ventillebensdauer erhöht neben der Verfügbarkeit der Pumpe auch die Lebensdauer anderer Anlagenkomponenten. Mithilfe einer CFD-Analyse von Kegelventilen wurde deshalb eine experimentelle Bewertung der Einflussfaktoren abrasiver und hochviskoser Fördermedien auf den Verschleiß von Kegelventilen durchgeführt.

### FELUWA MULTISAFE® Pumpen

Bei den FELUWA MULTISAFE® Pumpen handelt es sich um Doppel-Schlauchmembranpumpen, die für Volumenströme bis 1.350 m<sup>3</sup> / h und Drücke bis 350 bar geeignet sind. Diese besondere, hermetisch dichte und leckagefreie Ausführung der oszillierenden Verdrängerpumpen gewährleistet, dass das Fördermedium weder mit dem Pumpenkopf noch mit dem Hydraulikraum in Berührung kommt. Die Doppel-Schlauchmembrane ist eine Weiterentwicklung der traditionellen Flachmembrane mit mehreren Vorteilen. Sie trennt das Pumpengehäuse von dem Fördermedium und sorgt dafür, dass die Flüssigkeit die Pumpe geradlinig ohne Umlenkungen passiert. Somit ist auch das Pumpengehäuse sicher vor Verschleiß geschützt, wenn aggressive oder abrasive Flüssigkeiten gepumpt werden. Zum Schutz von Mensch und Umwelt verhindern die doppelten, ineinander angeordneten Schlauchmembranen zuverlässig, dass das Fördermedium in die Hydraulikeinheit der Pumpe gelangt. Dank dieser einzigartigen Konstruktion sind die Rückschlagventile die einzigen Verschleißteile dieser Pumpe. Die Ventile sind in der Lage, Partikel mit einem Durchmesser von bis zu 10 mm zu fördern. Dynamisches Verhalten und Robustheit sind die Hauptziele bei der Ventilkonstruktion.

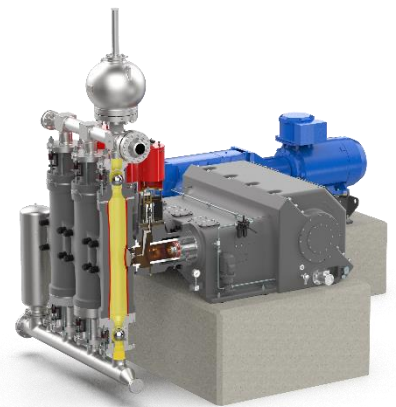


Abb. 1: FELUWA MULTISAFE® Pumpe

Der Verschleiß in den Ventilen wird durch die Partikel im Fördermedium verursacht. Beispielsweise gleiten sie entlang der Oberflächen oder treffen hart auf diese auf. Durch Verschleiß werden auch die Führungsflächen beeinflusst aufgrund der relativen Bewegung des Führungsflächenpaares gemäß der Ventilkonstruktion. Die Größenverteilung, die Härte der Partikel und die rheologischen Eigenschaften der Trägerflüssigkeit sind entscheidend für das Abriebverhalten des Fördermediums. Der Verschleiß wird aber auch von den Strömungsgeschwindigkeiten beeinflusst. Eine maßgeschneiderte Auslegung der Ventile ist daher notwendig, um den Verschleiß zu reduzieren.

Für den Einsatz in Verdrängerpumpen stehen drei verschiedene Ventiltypen zur Verfügung: Kugelventile, Kegelventile und Plattenventile. Im Rahmen der CFD-Analyse wurden Kegelventile in Bezug auf Strömung und Verschleiß bewertet. Kegelventile kommen u.a. bei Fördermedien mit Feststoffen zum Einsatz und haben gegenüber Kugelventilen den Vorteil, dass sie nicht begrenzt sind auf niedrigere Hubzahlen und Größen.

Bezogen auf die Anwendung fällt die Wahl auf Kugelventile bei chemisch aggressiven Fördermedien. Plattenventile sind zwar für höhere Hubzahlen geeignet, aber nur bedingt für feststoffhaltige Medien.

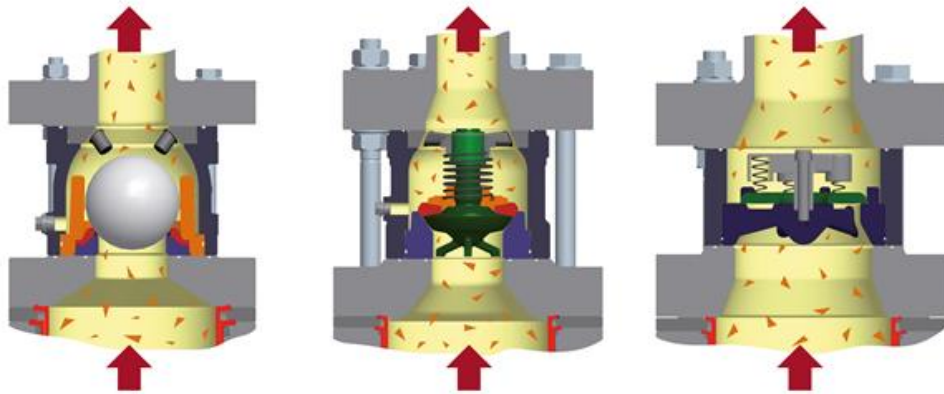


Abb. 2 v. l. n. r. Kugelventil, Kegelventil, Plattenventil

### CFD Analyse und 1D-FSI-Modell

Mit Hilfe der CFD Analyse (**C**omputational **F**luid **D**ynamics) kann die Strömung mit hoher Genauigkeit berechnet werden. Im Rahmen einer Studie wurden auch aufwendige Kinematik Simulationen durchgeführt.

### Ergebnisse des 1D-FSI-Modells

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen unterschiedliche Hubkurven des Kegelventils unter verschiedenen Bedingungen. In diesen Fällen wird der Ventilhub über den Kurbelwellenwinkel für den Druckhub aufgetragen, wobei 0° die Ausgangsstellung des Hubs ist. Die Standardbedingungen sind 90 U/min, 16 bar Auslassdruck, eine Federsteifigkeit von 3 N/mm und eine Federvorspannung von 50 N. Abweichungen von dieser Standardbedingung sind in der entsprechenden Legende aufgeführt. Die Grafiken zeigen, dass die Betriebsbedingungen wie Betriebsdruck und Hubzahl (Abbildung 7) einen großen Einfluss auf die Ventilkinematik haben. Ein Blick auf die Hubzahlen in Abbildung 3a veranschaulicht, dass der maximale Ventilhub mit zunehmender Pumpendrehzahl ansteigt. Aufgrund der enormen Rechenzeiten wurde ein eigenes Modell entwickelt, das mit Hilfe von CFD-Ergebnissen Ventilkinematiken mit hoher Genauigkeit vorhersagen kann. Der Rechenaufwand sinkt dadurch um mehrere Größenordnungen, was umfangreiche Parameterstudien erlaubt.

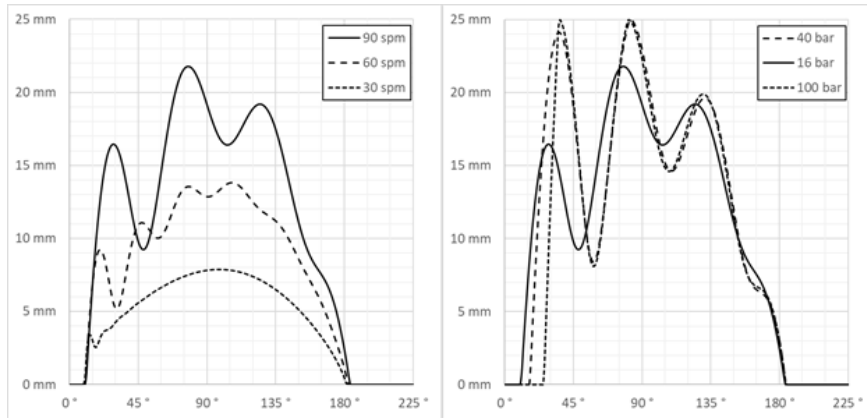


Abb. 3a: Hubkurven bei unterschiedl. Hubzahl      3b: Hubkurven bei unterschiedlichem Betriebsdruck

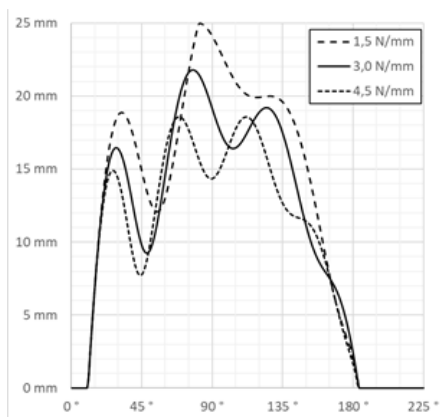


Abb. 4a: Hubkurven bei unterschiedlichen Federraten

Mit zunehmendem Betriebsdruck beginnt das Öffnen mit entsprechender Verzögerung. Ein verzögertes Öffnen der Ventile erhöht den anfänglichen Bewegungsablauf bis zum Auftreffen auf die Hubbegrenzung.

Abbildung 4a zeigt eine Möglichkeit zur Verbesserung des dynamischen Verhaltens des Ventils und der Einfluss der Federsteifigkeit ist dargestellt. Höhere Federraten verbessern das dynamische Verhalten, die Schwingungsamplitude wird verringert und das Risiko eines Aufpralls auf die Hubbegrenzung wird verringert.

Es ist somit ersichtlich, dass eine losgelöste Betrachtung der Ventile nicht möglich ist. Eine Optimierung muss demzufolge neben konstruktiven Parametern, wie Federvorspannung oder Federrate, auch die Einflüsse von Betriebsbedingungen, wie Betriebsdruck und Hubzahl sowie die Eigenschaften des Fördermediums gleichermaßen berücksichtigen. Dies führt dazu, dass eine aufwendige CFD-Parameterstudie nicht durchführbar ist.

### Ergebnisse der Erosionssimulation

Im Allgemeinen ist die Erosionssimulation der zweite Schritt und basiert auf der reinen Strömungssimulation. Der Unterschied besteht darin, dass jetzt Feststoffe als zweite Phase in die Strömung einbezogen werden.

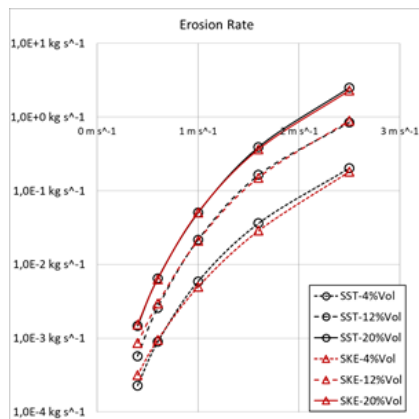


Abb. 5: Berechnete Gesamterosionsraten für verschiedene Konzentrationen von Wasser-Sand-Gemisch

Der Massenanteil der Partikeldurchmesser ist zwischen 25 und 500 Mikrometer als normalverteilt betrachtet. Der Partikelmassenstrom wird entsprechend der Volumenkonzentration umgerechnet. Die Volumenkonzentration variiert zwischen 4 und 20 % und die Ventileinlassgeschwindigkeit zwischen 0,4 und 2,5 m/s. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abbildung 5 für die Turbulenzmodelle SST und SKE dargestellt. Für die drei Konzentrationen kann eine Korrelation zwischen Geschwindigkeit und Gesamterosionsrate in einem Exponentialgesetz mit einem Exponenten zwischen 3,5 und 4,1 angegeben werden. In dem Ventil kann ein kombinierter Erosionsmechanismus des Gleitens und Schlagens beobachtet werden, wie in Abbildung 6 dargestellt wird.

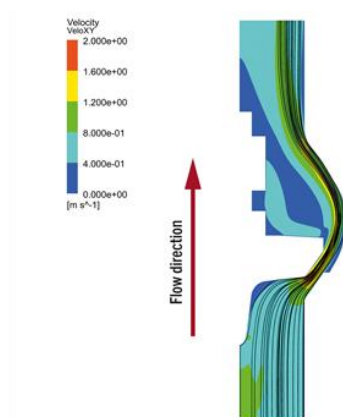


Abb. 6: Geschwindigkeitsfeld und Partikelbahnen

Die höchste Erosionsrate liegt in der Umleitungszone stromabwärts des Spaltes zwischen Ventilkegel und Ventilsitz. Ein Exponent in dieser Größe bedeutet bei einer Geschwindigkeitsverdopplung um den Faktor 2 einen Anstieg der Erosionsrate um den Faktor 11-17. Eine Verdopplung der Konzentration führt lediglich zu einem Anstieg der Erosionsrate um den Faktor 3-4. Eine Erhöhung des Feststofftransportes sollte daher immer durch Erhöhung der Konzentration erfolgen, da ansonsten der Verschleiß signifikant ansteigt.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

In diesem Artikel wird ein Ventilkonstruktionsprozess vorgestellt, bei dem die Ventilkinematik und die Verschleißstellen berücksichtigt werden. Die Ventilkinematik wird als zweistufiges Modell abgebildet, das aus einer intensiven numerischen Untersuchung der Strömung und einem eindimensionalen Ansatz zur Wechselwirkung der Fluidstruktur besteht. Diese Methode konnte erfolgreich durch experimentelle Daten und durch Vergleich mit Simulationen der vollständigen Fluidstrukturwechselwirkung verifiziert werden. Im Vergleich zu einer vollständigen Simulation der Fluidstrukturwechselwirkung besteht der Vorteil dieses Entwurfsprozesses darin, dass die numerische Untersuchung entkoppelt ist und daher nur einmal und nicht für jede Kombination von Betriebsbedingungen und Entwurfparametern durchgeführt werden muss. Dies macht dieses Modell flexibel und brauchbar als Entwurfsmodell, während ein vollständiger FSI nur für die endgültige Entwurfsüberprüfung nützlich ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Modelleingabedaten unabhängig von der Ventilgeometrie angepasst werden können, bis im 1D-FSI-Modell die ideale Ventilleistung erreicht ist. Im zweiten Schritt werden die geometrischen Parameter der Ventilkonstruktion angepasst, bis die Druckverluste und Ventilkräfte den ermittelten Eingangsdaten entsprechen. Dies ist ein Ziel des aktuellen Forschungsfortschritts.

Die Implementierung von Erosion in diesem Entwurfsprozess ermöglicht es dem Ingenieur, Schwachstellen in einem frühen Stadium des Entwurfsprozesses zu identifizieren. Der Geschwindigkeit muss besondere Aufmerksamkeit zukommen, da der Verschleiß mit der Geschwindigkeit in der vierten Potenz steigt. Darüber hinaus gehende Untersuchungen zum Verschleiß sind ein weiteres Ziel des aktuellen Forschungsfortschritts. Zu diesem Zweck hat FELUWA einen hauseigenen Hochdruckprüfstand mit einem Druckbereich von bis zu 160 bar und einer Durchflussmenge von bis zu 15 m<sup>3</sup>/h eingerichtet, der aus einer Hochdruck-Schlammpumpe, einem temperaturgeregelten Mischtank und der entsprechenden Messtechnik zur Überprüfung und Validierung des Erosionsmodells in Bezug auf Rückschlagventile besteht. Ziel ist es, ein unabhängiges Erosionsmodell zu entwickeln, das dem 1D-FSI-Modell ähnelt.

Die Nutzung der hier beschriebenen Berechnungsmodelle ermöglicht es FELUWA, die Ventile für die MULTISAFE®-Pumpen stetig weiter zu optimieren und die beste Ventilvariante mit dem geringsten Verschleiß für den jeweiligen Anwendungsfall auszuwählen.