

Zylindersegmentventil – entwickelt für partikelbeladene Dickstoffe

FELIX WEBER, MARCUS GEIMER, CHRISTOPH RECK

In heutigen Dickstoffpumpen sind Ventile verschiedener Bauart zu finden. Diese werden hunderttausendfach geschaltet, müssen hohen Drücken standhalten und sind technisch anspruchsvollen Medien ausgesetzt. Pumpen für Dickstoffe mit Feststoffzuschlägen arbeiten in der Regel diskontinuierlich. Im Zuge der Neuentwicklung einer Konstantflusspumpe für Dickstoffe wurde das Dickstoffventil als kritische Baugruppe identifiziert. An dieses werden zusätzlich weitere Anforderungen gestellt: das Dickstoffventil arbeitet in einem geschlossenen Druckraum und muss die Funktion eines 3/3-Wegeventils realisieren. Die Gesamtheit der Rahmenbedingungen führt dazu, dass die bekannten Ventile sich nicht für diese Anwendung eignen. Mit der Lösung dieses Problems beschäftigt sich ein Forschungsprojekt des „TEILINSTITUTS MOBILE ARBEITSMASCHINEN“ des KARLSRUHER INSTITUTS FÜR TECHNOLOGIE in Kooperation mit der PUTZMEISTER ENGINEERING GMBH. Der Beitrag beschreibt das mithilfe einer systematischen Analyse und Lösungssuche entwickelte Zylindersegmentventil und stellt den Forschungsbereich der Frischbetonventileffekte vor.

Die Förderlücke der heute am Markt verfügbaren Pumpen für partikelbeladene Dickstoffe wirkt sich negativ auf deren Bedienqualität, Maschinenbelastung und Maschinenwirkungsgrad aus. Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass es im Bereich der Konstantflüssumpen für partikelbeladene Dickstoffe eine Vielzahl an Forschungsprojekten und Patenten gibt. Allerdings hat es aus verschiedenen Gründen keine dieser Pumpen bis zur Serienreife geschafft. Eine neuartige Frischbetonpumpe, die an dieser Stelle mit vorgestellt werden soll, kann mithilfe des Überblendungs-Prinzips einen konstanten Volumenstrom fördern. **Bild 1** zeigt, dass die zwei pulsierenden Frischbetonvolumenströme Q1 und Q2 mithilfe eines 3/3-Wegeventils zu einem konstanten Frischbetonvolumenstrom Q3 vereinigt werden.

Die Aufgabe eines Ventils ist es „innerhalb oder am Ende einer mediumführenden Leitung unmittelbar Einfluss auf Volumenstrom, Druck oder Mischungsverhältnis eines oder mehrerer Medien“ [1] zu nehmen. In einer Frischbetonpumpe muss diese Funktion trotz eines Fördermediums, das abrasiv und aushärtend ist sowie über ein Größtkorn von über

30 mm verfügen kann, bei mehreren hunderttausenden Schaltungen, sicher abgebildet werden. Zudem muss das Ventil in einem geschlossenen, unter bis zu 200 bar stehenden Gehäuse arbeiten.

EIGNUNG BEKANNTER VENTILE

Die größten Probleme bei Dickstoffventilen „sind Erosionsverschleiß, Beschädigung und Einklemmen von Feststoffpartikeln zwischen den Dichtflächen, Verkockung, Kristallisation oder Plattierungen an den Dichtflächen, Ablagerung in Toträumen und Blockieren“ [2]. Diese Rahmenbedingungen führen dazu, dass die bekannten Hubventile, wie Sitzventile und Schieberventile, Schwenkventile, wie Kugelventile, Kükenventile und einklappbare Scheibenventile, sowie die Quetsch- und Membranventile sich nicht für die geschilderte Anwendung eignen. Sitzventile eignen sich zwar für hohe Schaltwechsel, allerdings nicht für partikelbeladene Arbeitsmedien [1]. Schieberventile haben sich zusetzende Toträume und große Nebendichtungen, die durch das abrasive Medium schnell verschleifen. Kugel- und Kükenventile verfügen über große Reibflächen und in gewissen Schaltsituationen über nicht vermeidbare Toträume [3]. Quetsch- und

Membranventile halten dem abzusperrenden Druck in Kombination mit den mediumseitigen Belastungen nur wenige Schaltzyklen stand.

VORGEHEN

Um die kritischen Anforderungen an das Ventil zu identifizieren, wird eine Schaltzustandsanalyse durchgeführt. Darauf folgend werden Verfahren zum Umgang mit Steinen im Dichtspalt vorgestellt (Steinverfahren). Neben den Steinverfahren erfolgt auch eine Untersuchung der Frischbetondichtungseffekte mithilfe eines Prüfstands. Abschließend werden das neuentwickelte Dickstoffventil und Beispielanwendungen erläutert.

Schaltzustandsanalyse Jedes Ventil durchläuft im Betrieb verschiedene Zustände. Im Folgenden wird zwischen Ventiltakten und Ventilphasen unterschieden. Während eines Ventiltakts bewegt sich mindestens ein Ventilkörper, was zu einer transienten Dickstoffströmung führt. Bei einer Ventilphase hingegen, bewegt sich kein Ventilkörper, sodass sich eine stationäre Strömung ausbildet.

Ein sich in der Offenphase befindliches Ventil wird durch einen Schließtakt in die Geschlossenphase überführt und sodann durch den Öffnungstakt wieder in die Offenphase. Im Folgenden werden die Offenphase und der Schließtakt genauer diskutiert und hieraus die beim Schließen eines Ventils auftretenden Anforderungen abgeleitet (**Bild 2**). Auf der linken Seite des Bildes ist schematisch die Entwicklung der Dichtspalthöhe über die Zeit während des Schließprozesses dargestellt.

Während der Offenphase des Ventils wird dieses vom Dickstoff durchströmt. Hieraus lassen sich die Anforderung nach einem geringen Strömungswiderstand (bzw. hoher K_V -Wert) und Totraumarmut ableiten. Ein Mindestquerschnitt darf nicht unterschritten werden, da es sonst zur Verstopfung (sog. Stopfer) der Engstelle kommen kann. Der Schließtakt lässt sich in Schließverdrängung, Annäherung und Dichtungsaufbau unterteilen. Die Dichtspalthöhe wird während der Schließverdrängung auf den Größtkorndurchmesser reduziert. Während dieser Bewegung soll der Ventilkörper möglichst wenig Volumen verdrängen und hierbei nur einen niedrigen Strömungswiderstand bieten, sodass für die Schließverdrängung nur eine geringe Betätigungskraft benötigt wird. Wenn das Ventil weiter geschlossen wird, befindet sich dieses in der Annäherung. Bei dieser wird das Größtkorn überwunden und der Dichtspalt weiter verringert. Hierbei ist von Interesse, dass während der Annähe-

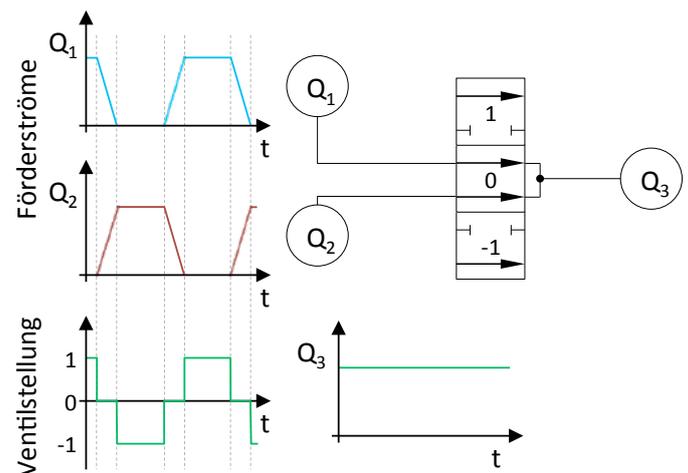


Bild 1: Frischbetonvolumenströme durch das 3/3-Wegeventil der Konstantflussfrischbetonpumpe (Verwendung der hydraulischen Notation zur Veranschaulichung der Frischbetonströme).

rung die im Dickstoff befindlichen Feststoffzuschläge schnell, verschleißarm und unter Aufwendung von niedrigen Betätigungskräften überwunden werden. Die möglichen Ansätze, die Feststoffzuschläge zu überwinden, werden als Steinverfahren bezeichnet. Der letzte Teiltakt ist der Dichtungsaufbau. Beim Dichtungsaufbau wird die Dichtspalthöhe weiter verringert und eine Dichtung aufgebaut. Dickstoffe haben teilweise eine selbstdichtende Eigenschaft, sodass durch das Medium gewisse Spalte abdichtet werden können (Vergleich: [5], [6]). Der den Spalt abdichtende Dickstoff wird als Dichtkuchen definiert. Durch die Analyse der Ventiltakte und -phasen werden die für ein Dickstoffventil relevanten Gebiete identifiziert: die Steinverfahren und die Dickstoffselbstdichtungseigenschaften.

Steinverfahren: Überwindung von Fremdkörpern im Dichtspalt

Als Steinverfahren werden hier Vorgehensweisen zum Umgang bzw. zur Überwindung der im Dichtspalt befindlichen Feststoffzuschläge des Dickstoffs während des Teiltakts ‚Annäherung‘ bezeichnet. **Bild 3** zeigt eine Übersicht aller Steinverfahren.

Es gibt drei grundsätzlich verschiedene Vorgehensweisen, wie mit im Dichtspalt vorhandenen Feststoffzuschlägen während der Annäherung der Dichtpartner umgegangen werden kann: zerstören, integrieren oder entfernen. Bei dem Zerstören der Steine werden diese zwischen den Ventilbauteilen eingeklemmt und je nach Bauart entweder zerdrückt oder abgeschert. Eine andere Möglichkeit besteht darin, entweder die

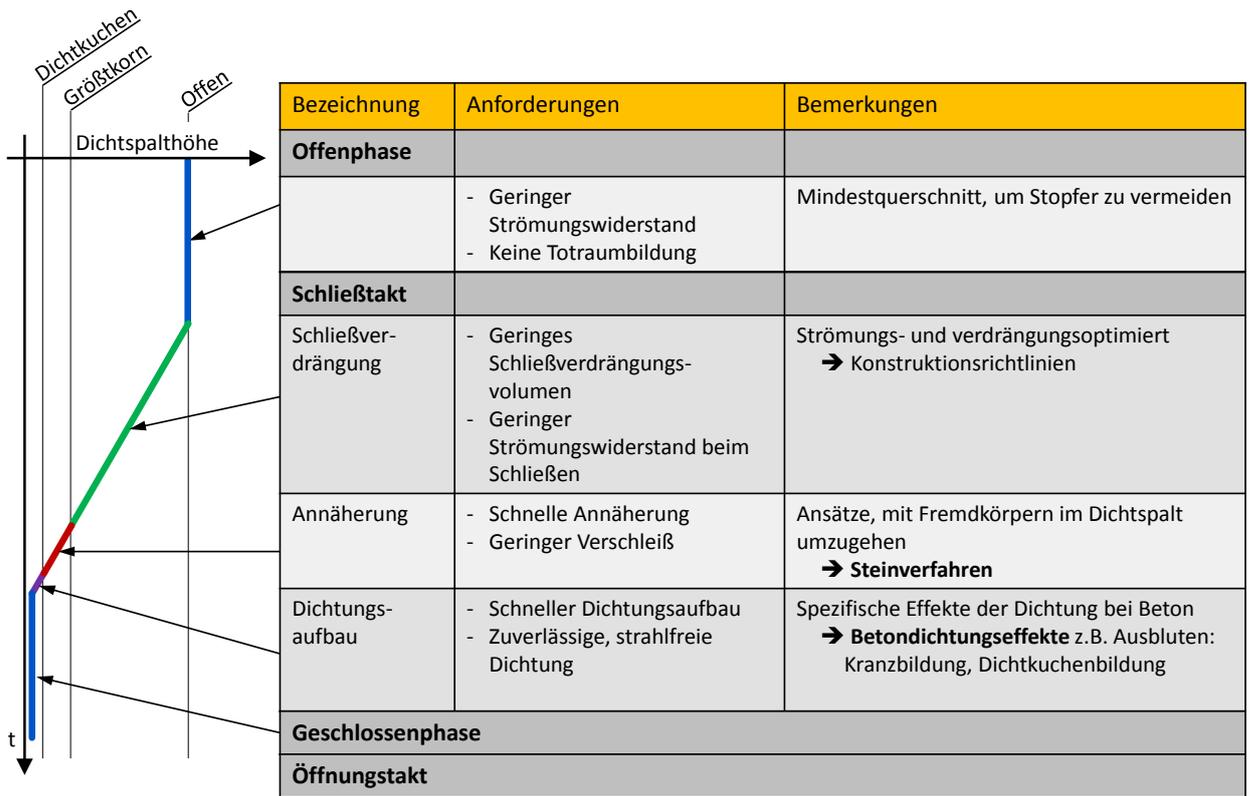


Bild 2: Analyse der in einem schließenden Ventil ablaufenden Prozesse.

Fremdkörper in die elastische Dichtung zu integrieren oder eine Verstopfung gezielt zu erzeugen und damit die Dichtfunktion zu realisieren bevor sie wieder aufgehoben wird. Die dritte mögliche Vorgehensweise ist den Fremdkörper aus dem Dichtspalt zu entfernen. Dies kann entweder durch ein mechanisches Ausschleiben, ein fluidisches Ausspülen bzw. Ausblasen oder aber durch Einsaugen realisiert werden.

Untersuchung des Schließens und Abdichtens eines Frischbetonventils Mithilfe der vorangegangenen Ventilanalyse werden zwei für die Funktion des Dickstoffventils sehr wichtige, allerdings bis jetzt weitgehend unerforschte Teilfunktionen identifiziert: Das Schließen und das Dichten eines Dickstoffventils. Diese werden an einem modular aufgebauten Prüfstand (**Bild 4**) untersucht. Ziel ist es, zu verstehen,

1. Fremdkörper zerstören

- 1.1 Fremdkörper zerdrücken; Bruchstücke bleiben im Dichtspalt
- 1.2 Fremdkörper abscheren; Bruchstücke ausschleiben

2. Fremdkörper in Dichtung integrieren

- 2.1 Elastische Dichtpartner, in welche die Fremdkörper eingebettet bzw. integriert werden
- 2.2 Stopfer gezielt erzeugen und wieder beheben, um ein Ventil zu realisieren

3. Fremdkörper aus dem Dichtspalt entfernen

- 3.1 Mechanisch ausschleiben
- 3.2 Fluidisches Ausspülen bzw. Ausblasen
- 3.3 Einsaugen

Bild 3: Steinverfahren; Vorgehensweisen zur Überwindung sich im Dichtspalt befindlicher Partikel.

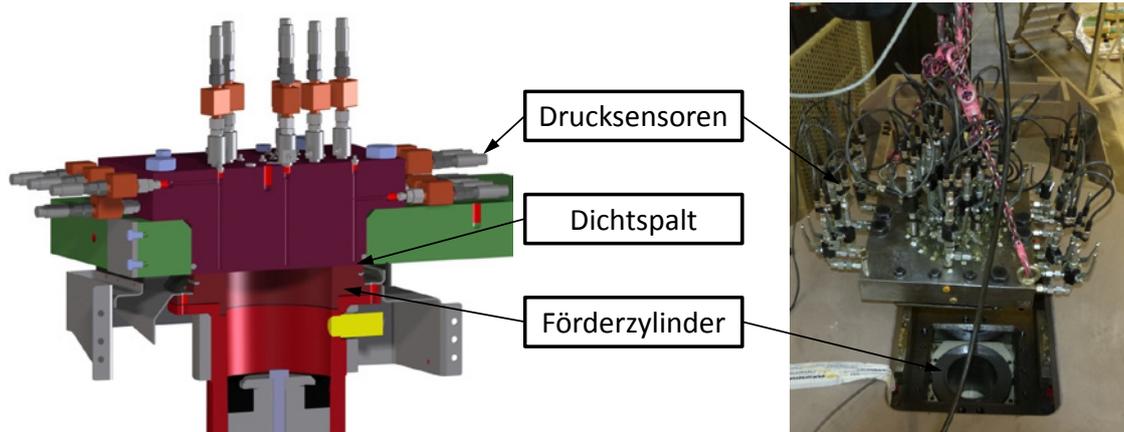


Bild 4: Detaildarstellung des Prüfstands zur Untersuchung von Frischbetonventileffekten; Prüfstandskonfiguration zur Druckverlaufsmessung im Dichtspalt.

welche Funktionszusammenhänge bei der Selbstdichtung und dem Schließen eines Frischbetonventils von Bedeutung sind. Mithilfe dieses Wissens können daraufhin Dickstoffventile anforderungsgerecht ausgelegt und angesteuert werden.

In Dickstoffventilen bilden das Ventilglied und der Ventilsitz im Kontaktbereich eine berührende Dichtung in Form einer kreisringförmigen Dichtfläche. Im Frischbetonventil, wie auch am Prüfstand, baut sich über den Radius der kreisringförmigen Dichtfläche der Mediumdruck von der Hochdruckseite (im Förderzylinder) zur Niederdruckseite (Umgebung) ab. Am Prüfstand werden die an den Messstellen im Dichtspalt herrschenden Drücke durch Messkanäle, die mit einem Übertragungsmedium gefüllte sind, an die Drucksensoren weitergeleitet.

In **Bild 5** ist zu erkennen, dass es bei Wasser zu einem regressiven Druckverlauf über den Radius der Kreisringdichtflächen kommt. Dies kann mit einem abnehmenden Strömungswiderstand aufgrund einer sich verlängernden Dichtspallänge bei zunehmendem Radius erklärt werden (Gleitringdichtung [3]). Bei Frischbeton ist ein bedeutend schnellerer Abfall des Drucks im Bereich der hochdruckzugewandten Kante der Kreisringdichtflächen zu erkennen. Der Druckverlauf lässt auf die Selbstdichtungseigenschaften und die Ausbildung eines Dichtkuchens schließen. Die Beobachtungen lassen die These zu, dass die den Dichtspalt öffnenden Kräfte aufgrund des Dichtspaltdrucks bei Frischbeton deutlich geringer ausfallen als bei Wasser.

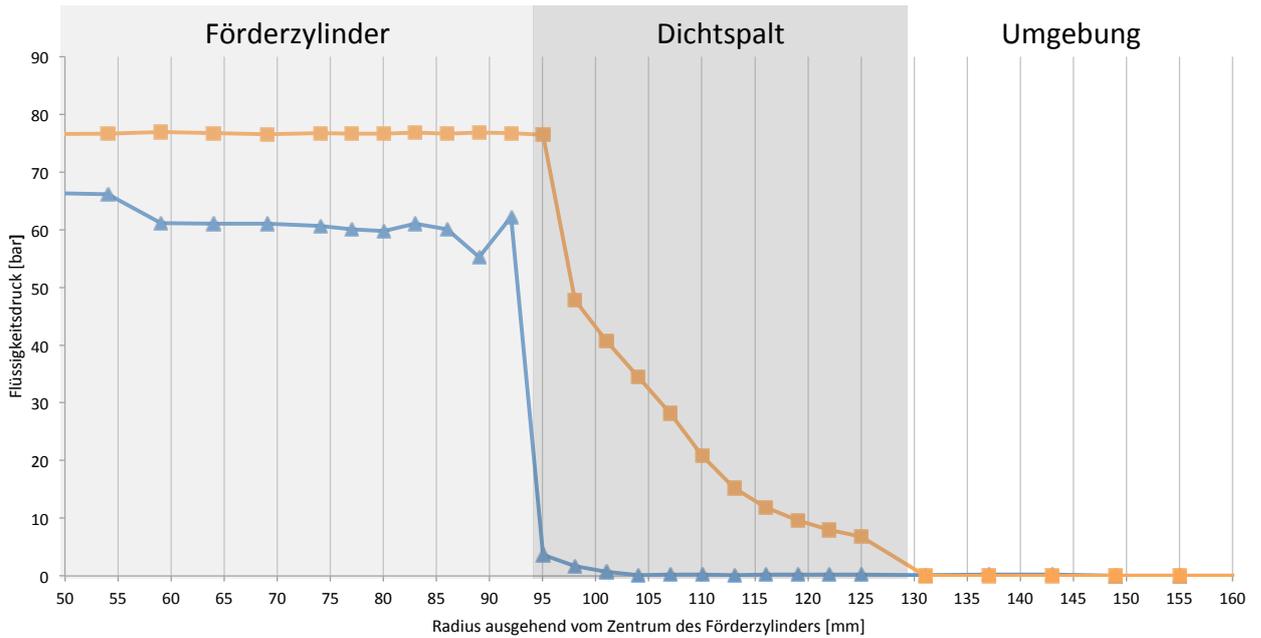
DAS ZYLINDERSEGMENTVENTIL

Mithilfe dieser Erkenntnisse wird ein für Dickstoff mit groben Feststoffzuschlägen geeignetes Zylinder-

segmentventil (**Bild 6**) mit abscherendem Ventilschließverfahren, selbstverstärkender Dichtung und automatischer Verschleißnachstellung der Dichtpartner entwickelt (**Bild 7**).

Das Zylindersegmentventil besteht aus einem gewölbten Ventilsitz und einem drehbaren Ventilglied, das sich wiederum in ein Schwenkteil und ein Dichtteil unterteilen lässt. Durch Verdrehen des Ventilgliedes gibt das Dichtteil Öffnungen in dem Ventilsitz frei bzw. verschließt diese. In der abgebildeten Konfiguration kann somit die linke, die rechte oder keine Ventileinlassöffnung verschlossen werden (**Bild 8**). Schwenkteil und Dichtteil sind derart verbunden, dass sie eine radiale Relativbewegung ausführen können. Um dabei eine Abdichtung zu gewährleisten, wird ein Elastomer eingesetzt.

Der beschriebene Aufbau des Ventils hat zur Folge, dass bei einem höheren Druck auf der Innenseite des Ventils als auf der Außenseite das Dichtteil in den Ventilsitz gepresst wird, also das Prinzip einer selbstverstärkenden Dichtung (allgemein: Prinzip der Selbsthilfe [4]) angewendet wird. Basierend auf den im vorangegangenen Abschnitt erläuterten Messungen kann festgestellt werden, dass bei Frischbeton nur eine geringe Öffnungskraft aufgrund des Dichtspaltdrucks zu erwarten ist. Das Dichtglied kann somit mithilfe der selbstverstärkenden Dichtung sicher auf das Dichtteil gepresst werden. Um die Betätigungskraft und den Verschleiß des Ventils zu minimieren wird es nur im druckdifferenzfreien Zustand geschaltet (Vergleich: **Bild 1**). Bei Verschleiß wird das Dichtteil durch dessen radiale Verschiebbarkeit automatisch nachgestellt. Weitere Besonderheiten des tottraumarmen Zylindersegmentventils



Fördermedium:	Förderdruck:	Flächenpressung der Dichtflächen:	Maße des Dichtspalts:
Wasser	76bar	ca. 5000 kPa	35mm breit, 0mm hoch
Frischbeton angepasste Regelsieblinie A DIN 1045-2, Größtkorn 8mm, W/Z-Wert 0,55	84bar	ca. 6000 kPa	35mm breit, 0mm hoch

Bild 5: Druck im Dichtspalt über den Dichtspaltradius; Versuchsmedien Wasser und Frischbeton im Vergleich.

bestehen darin, dass dessen Durchflussöffnungen mit einer Bewegung verschlossen werden, die Fremdkörper abschert (Steinverfahren 1.2), und dank der rotierenden Ventilgliedbewegung (im Gegensatz zu einer linearen), eine zuverlässige Dichtung der Welle möglich ist.

ANWENDUNGSBEREICH

Aufgrund der beschriebenen Eigenschaften eignet sich das Zylindersegmentventil für Einsätze mit hohen

Schaltzyklen, großen, immer in die gleiche Richtung auftretenden Druckunterschieden und abrasiven, fremdkörperhaltigen, aushärtenden Fördermedien. Derartige Anforderungen sind nicht nur bei der Frischbetonförderung, sondern auch im Anlagenbau bei der Rohöl-, Klärschlamm-, Erz- oder Biomaterialverarbeitung anzutreffen. Aufgrund seiner selbstverstärkenden Dichtung eignet sich die vorgestellte Bauweise des Zylindersegmentventils allerdings nicht für Einbausituationen mit umkehrenden Druckverhältnissen und Anwendungen,

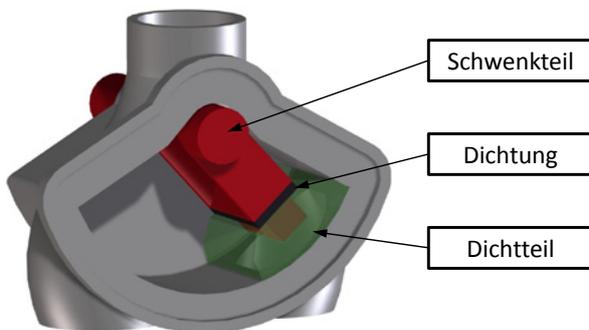


Bild 6: Das Zylindersegmentventil.

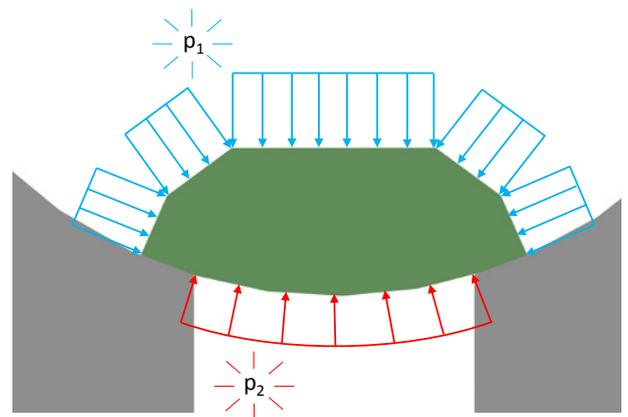


Bild 7: Das selbstverstärkende, verschleißnachstellende Dichtteil des Zylindersegmentventils.

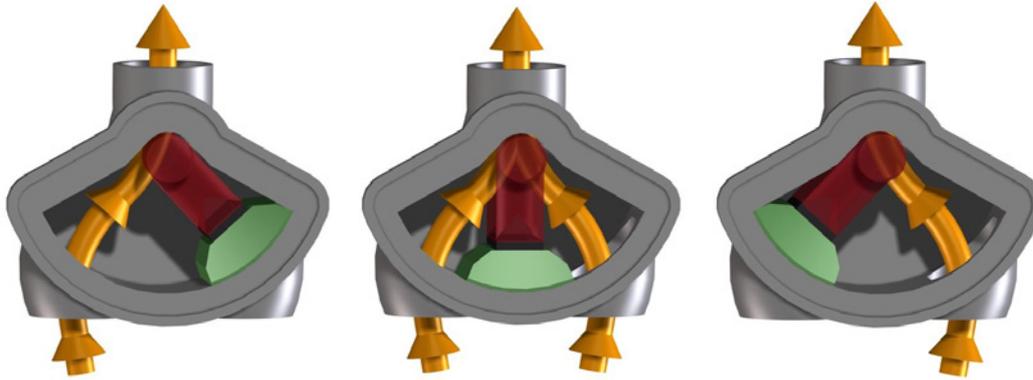


Bild 8: Die drei Schaltstellungen des Zylindersegmentventils.

bei denen es unter hohen Druckdifferenzen geöffnet wird. Mithilfe des dem Zylindersegmentventil zugrundeliegenden Prinzips können verschiedene Schaltaufgaben, wie beispielsweise die eines 2/2- oder auch eines 3/3-Wegeventils, realisiert werden.

LITERATURHINWEISE

- [1] Kroupa, Ralph: Ventiltechnologie im Anlagenbau. Weinheim, 1994.
- [2] Kecke, Hans Joachim; Kleinschmidt, Paul: Industrie-Rohrleitungsarmaturen. Düsseldorf, 1994.
- [3] Müller, Heinz K.; Nau, Bernard S.: 12. Gleitringdichtungen: Grundlagen. www.fachwissen-dichtungstechnik.de, Stand 09.2014.
- [4] Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinz: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Auflage 8. Berlin Heidelberg, 2013.
- [5] Hornig, Ute; Meichsner, Heinz; Wolf, Hans-Dieter: Beton- und Stahlbetonbau, Heft 8, Selbstdichtung von Trennrissen in Arbeitsfugen. Berlin: Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, 1998.
- [6] Nacke, Claudia; Hornig, Ute; Dehn, Frank: Beton- und Stahlbetonbau, Heft 8, Selbstdichtungsverhalten von Trennrissen in Stahlbetonkonstruktionen unter Einwirkung von landwirtschaftlichen Flüssigkeiten. Berlin: Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, 2014.

Autoren



M. SC. FELIX WEBER

Akademischer Mitarbeiter am Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST)
Teilinstitut Mobile Arbeitsmaschinen des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)



PROF. DR.-ING. MARCUS GEIMER

Institutsleiter des Instituts für Fahrzeugsystemtechnik (FAST)
Teilinstitut Mobile Arbeitsmaschinen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)



B. SC. CHRISTOPH RECK

Masterand
Putzmeister Engineering GmbH
Aichtal

Für die Veröffentlichung des oben genannten Werkes wird dem Verlag ein einfaches Nutzungsrecht eingeräumt. Dem Autor steht es frei, eine digitale Kopie des Dokumentes nach der Publikation durch den Verlag zeitlich unbeschränkt auf einen öffentlich zugänglichen Non-Profit akademischen Server zu legen. Hierbei wird auf die Quelle der Erstveröffentlichung verwiesen.