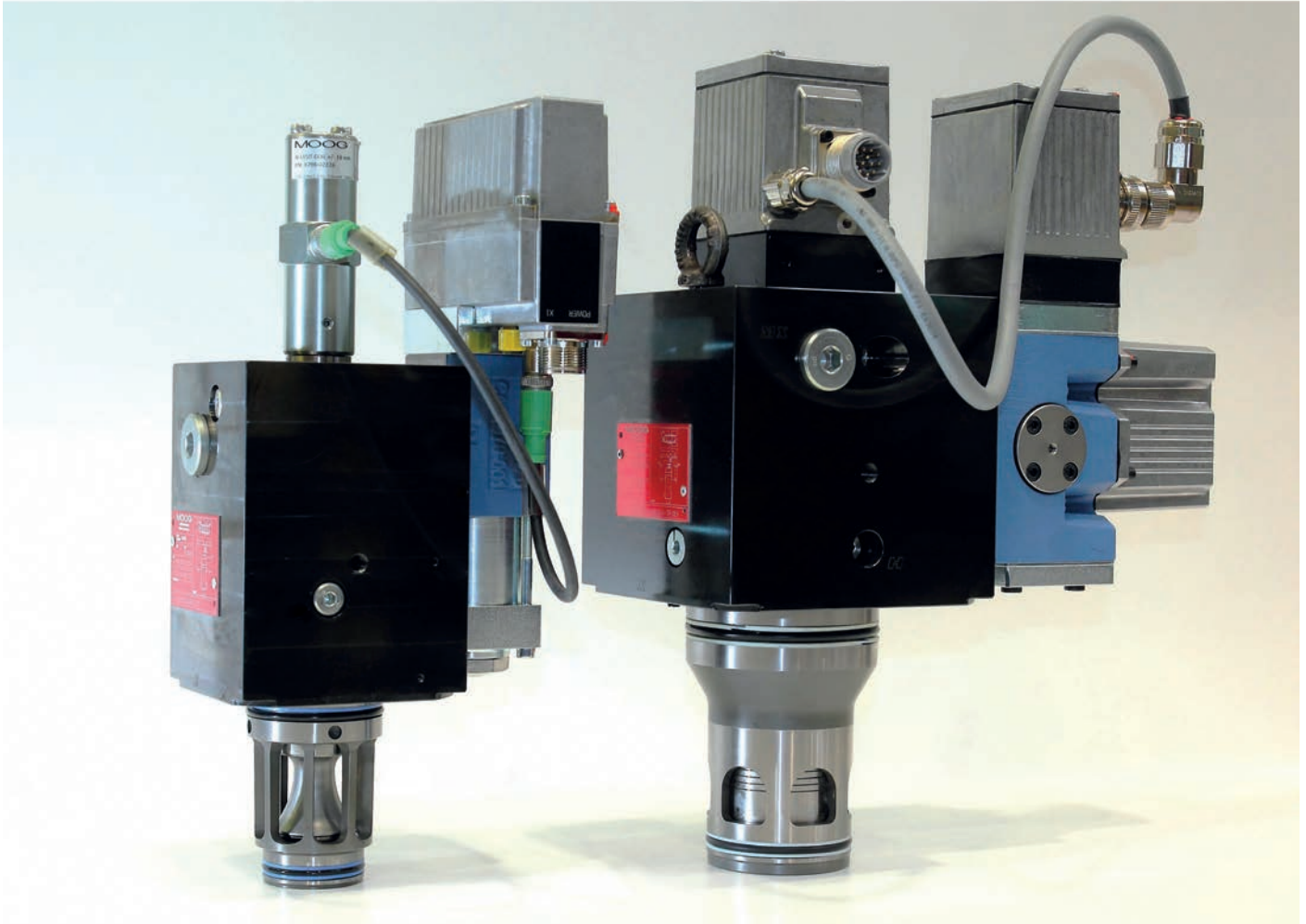


# WENIGER IST MEHR – SERVOCARTRIDGES AUF EINEM NEUEN LEISTUNGSNIVEAU



2-Wege-Einbau-Stetigventile, auch Servocartridges genannt, kommen dort zum Einsatz, wo große Volumenströme exakt und mit hoher Dynamik geregelt werden müssen. Verbreitete Anwendungsgebiete sind zum Beispiel die Regelung des Gießprozesses in Druckgießmaschinen oder die Steuerung von Kraftaufbau und Dekompression in Schmiedepressen. Moog hat eine komplette neue Baureihe konstruiert.

Die Marktanforderungen für 2-Wege-Einbau-Stetigventile gehen neben hoher Dynamik und steigenden Betriebsdrücken (420 bar) auch in Richtung höherer Nennvolumenströme, um durch die Verwendung kleinerer Nenngrößen Bauraum und damit auch Kosten einsparen zu können. Weiterhin gewinnt die Energieeffizienz eine immer höhere Bedeutung, speziell im Hinblick auf den Steuerölverbrauch.

Bei der Entwicklung einer neuen Servocartridge-Baureihe X700 wurde daher der Fokus darauf gelegt, die oben genannten Anforderungen hinsichtlich Nenndurchfluss, Dynamik und Energieeffizienz mit innovativen Design-Ansätzen und unter Verwendung moderner Entwicklungstools bestmöglich zu erfüllen.

## WENIGER STEUERÖLVERLUSTE – MEHR ENERGIEEFFIZIENZ

Die bisher verwendeten zweistufigen Vorsteuerventile der Moog D661-Baureihe mit ServoJet®-Strahlrohrverstärker als Vorsteuer Einheit zeichnen sich durch hohe Dynamik der Servocartridges aus. Allerdings arbeitet ein Strahlrohrverstärker mit einem konstanten Vorsteuerölvolumenstrom, der auch im Ruhezustand des Ventils abfließt. Gerade in Anwendungen, in denen die Ventile

Joerg Wagner, Team Leader Valve Development,  
Dr.-Ing. Marco Wiegandt, Engineering Manager Valve Development und  
Frank Jost, Senior Engineer Valve Development, alle Moog Industrial Group

aufgrund langer Nebenzeiten nur für einen kurzen Teil des Gesamtprozesses aktiv sind, macht sich dieser konstante Steuerölverbrauch negativ bemerkbar.

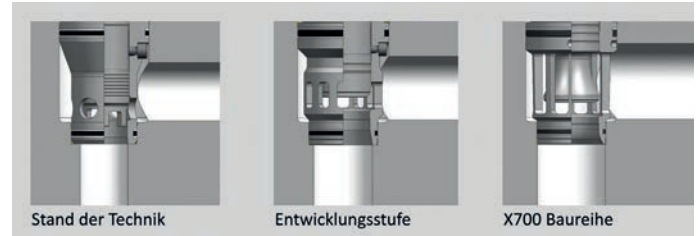
Aus diesem Grund wurden für die neue Baureihe direkt betätigte Vorsteuerventile verwendet, um den Steuerölverbrauch zu minimieren. Die Wahl fiel auf die Moog-Baureihe D636 mit digitaler Leistungselektronik und Linearmotorantrieb. Die Ventile gehören zur Familie der Moog Direct Drive Valves (DDV) und werden seit Jahren erfolgreich in vielen Anwendungen eingesetzt. Der doppeltwirkende Linearmotor wurde speziell für diese Anwendung nochmals weiterentwickelt, um eine noch höhere Dynamik zu erreichen.

Durch die Verwendung einer digitalen Onboard-Elektronik können die Ventile mit einer Feldbusschnittstelle ausgestattet werden und dank der integrierten Diagnose- und Überwachungsfunktionen auch in anspruchsvollen Industrie-4.0-Szenarien eingesetzt werden.

## WENIGER VORSTEUERÖLBEDARF

Da das neue NG6-Vorsteuerventil einen geringeren Nennvolumenstrom als das bisherige NG10-Ventil aufweist, wurde der Steuerölbedarf deutlich gesenkt. Um dennoch kurze Stellzeiten und eine hohe Dynamik zu erzielen, wurden die Steuerflächen des Servocartridges optimiert.

Bei der Gestaltung der Steuerflächen eines Servocartridges ergibt sich ein Zielkonflikt: Einerseits führen große Stellflächen zu hohen Stellkräften und damit zu einem stabilen Regelverhalten. Andererseits wächst bei gegebener Stellzeit der benötigte Steuerölvolumenstrom mit größerer Stellfläche an. Bei kleineren Stellflächen werden geringere Steuerölvolumenströme benötigt, wodurch wiederum die Stellkräfte sinken und folglich höhere Steuerdrücke für die Regelung der Hauptstufe benötigt werden.



### 01 Entwicklungsstufen der Durchflussoptimierung

Ziel der Entwicklung war es, mit reduzierten Stellflächen ein stabiles Regelverhalten zu erreichen. Dazu wurden Kegel und Hülse der Hauptstufe mit Hilfe von CFD-Simulationen so optimiert, dass auch mit geringeren Stellkräften eine optimale Funktion gewährleistet ist. Weiterhin bietet der digitale Lageregler gegenüber dem analogen Regler der Vorgänger-Baureihe erweiterte Möglichkeiten, die eine stabile Lageregelung der Hauptstufe auch bei geringeren Stellkräften gewährleisten. Als Ergebnis dieser Maßnahmen bieten die Servocartridges eine sehr gute Dynamik und eine hohe Stabilität der Lageregelung auch bei Vorsteuerdrücken, die nur 50 % des Hauptstufendrucks betragen.

## WENIGER DRUCKABFALL - MEHR NENNDURCHFLUSS

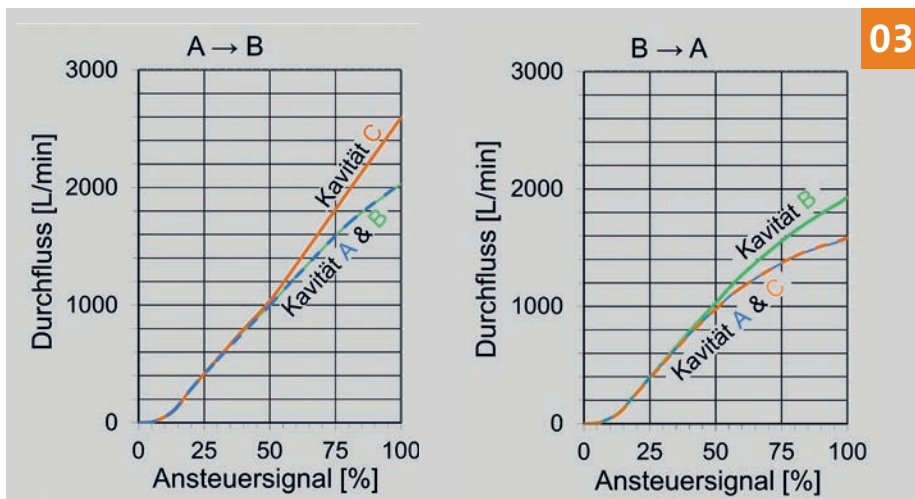
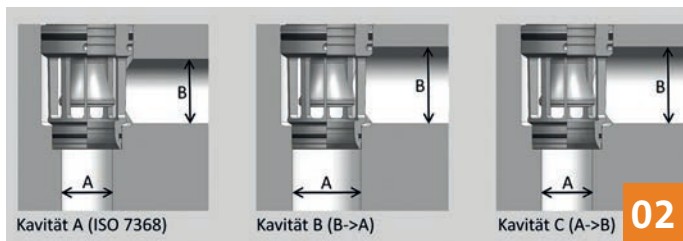
Bei der Entwicklung von Kegel und Hülse sollte der Betriebsdruck der Hauptstufe auf 420 bar angehoben und gleichzeitig der Nenndurchfluss erheblich verbessert werden. Auch bei der Ventilentwicklung gilt die Faustregel, dass hohe Durchflüsse auch große Querschnitte erfordern. Aber auch die Ventilgeometrie im Durchströmungsbereich und die Ausführung der An-

schlussbohrungen im Steuerblock sind entscheidende Faktoren. Daher wurde bei der Entwicklung nicht nur auf die Optimierung von Kegel und Hülse, sondern auch auf einfache, aber wirksame Optimierungen der Anschlussbohrungen großer Wert gelegt.

Der Einsatz moderner computerbasierter Entwicklungs- und Simulationswerkzeuge eröffnet den Konstrukteuren zahlreiche Möglichkeiten der effizienten und detaillierten Ventilgestaltung. So können mit Hilfe von FEM-Festigkeitsberechnungen und CFD-Durchflusssimulationen die Geometrien von Ventilkegel und Ventilhülse am Computer optimiert werden, ohne dass Prototypenventile gebaut und vermessen werden müssen. Dies ist nicht nur kostengünstig, sondern auch sehr zeiteffizient. Darüber hinaus ermöglicht die detaillierte Analyse der Simulationsergebnisse eine zielgerichtete Optimierung der Bauteile.

### WENIGER MATERIAL FÜR MEHR DURCHFLUSS

Bild 1 zeigt beispielhaft verschiedene Innovationsstufen des Kegel- und Hülsendesigns der 2-Wege-Servocartridges: Links im Bild ist die Konstruktion von Kegel und Hülse der bisherigen DSHR-Baureihe mit runden seitlichen Bohrungen in der Ventilhülse und zylindrischem Ventilkegel entsprechend dem bisherigen Stand der Technik zu sehen. In der ersten Entwicklungsstufe, die sich noch an das konventionelle Cartridge-Design anlehnt (Mitte), wurde bereits eine Durchflusssteigerung durch langlochförmige Fenster bei immer noch zylindrischem Kegel erreicht. Einen deutlichen Sprung in der Durchflussperformance brachte jedoch erst der Übergang zu großen, rechteckigen Fenstern mit sehr schmalen Stegen sowie einem taillierten Kegeldesign (Bild



rechts). Die Hülse ist dabei so weit optimiert, dass selbst bei vollständigem Wegfall der Stege zwischen den Fenstern der Durchfluss nur noch um ca. 7 % steigen würde.

Üblicherweise werden bei Einbauventilen die auftretenden Axialkräfte über die Hülse in der Einbaubohrung abgestützt (zu sehen in Bild 1, links). Durch eine im neuen Design eingeführte Fixierung der Hülse im Steuerdeckel wurden die an der Hülse auftretenden Kräfte soweit verringert, dass diese sehr filigran mit großen Öffnungen und schmalen Stegen ausgeführt werden konnte. Ein entscheidender Vorteil der schmalen Stege ist die Unabhängigkeit des Durchflusses von der Hülsenausrichtung. Das bedeu-

## NEUE KEGELGEOMETRIE ERLAUBT VERBESSERTE DURCHSTRÖMUNG IM INNEREN VENTILBEREICH

tet, es spielt keine Rolle, wie die Hülse gegenüber der seitlichen B-Bohrung ausgerichtet ist. Der Durchfluss ist immer annähernd gleich. Dies ist bei Hülsen mit wenigen großen Öffnungen nicht der Fall. Hier muss auf die Ausrichtung der Hülse gegenüber der B-Bohrung geachtet werden, um den optimalen Durchfluss zu erreichen.

Zusammen mit der Hülse wurde auch die Kegelgeometrie optimiert. Der ursprünglich zylindrische Kegel wurde dabei zu einem taillierten Kegel weiterentwickelt. Diese neue Geometrie erlaubt eine verbesserte Durchströmung im inneren Ventilbereich zwischen Kegel und Hülse. Dadurch wird das Einbauventil nicht nur zwischen Ventilhülse und Aufnahmebohrung durchströmt, sondern auch durch den neu geschaffenen Raum zwischen Ventilhülse und Kegel, was den Durchflusswiderstand noch einmal deutlich reduziert.

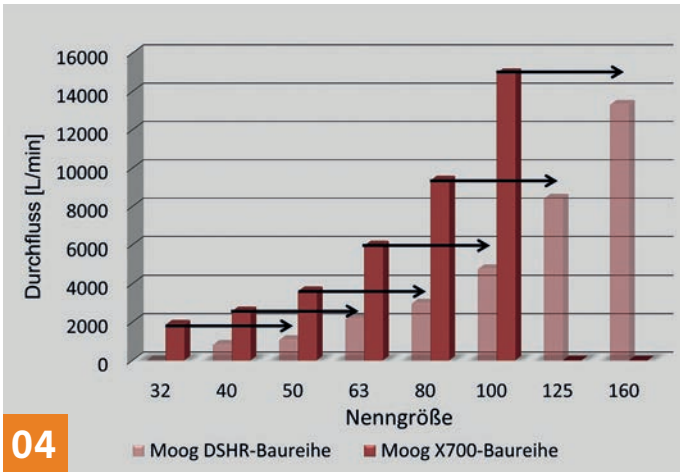
### WENIGER DRUCKABFALL IM STEUERBLOCK

Während der Entwicklung wurde nicht nur das Ventil strömungsoptimiert, sondern auch die Aufnahmebohrung nach ISO 7368 betrachtet. In der Norm sind die maximale Größe des axialen A-Anschlusses und ein Durchmesserbereich für die radiale B-Bohrung vorgegeben.

Untersuchungen im Rahmen der Entwicklung haben gezeigt, dass es sehr vorteilhaft ist, für die Durchströmungsrichtungen A nach B und B nach A jeweils unterschiedliche, teils von der Norm abweichende Bohrungsdurchmesser zu verwenden. Aus diesem Grund wurden neben den genormten Anschlussdurch-

**02** Übersicht der optimierten Anschlussdurchmesser

**03** Abhängigkeit des Nenndurchflusses von Durchströmungsrichtung und Anschlussdurchmessern (Nenngröße 40 bei 5 bar  $\Delta p$ )



04

**04** Nenndurchflüsse der Baureihen DSHR und X700 (Durchflussrichtung A-B)

**05** Durchfluss über Stellzeit der Baureihen DSHR und X700 (Durchflussrichtung A-B)

messern noch zwei weitere Durchmesserpaarungen für A- und B-Anschluss definiert (Bild 2), um dem Anwender je nach Durchströmungsrichtung die Gestaltung eines Steuerblocks mit optimal niedrigem Durchflusswiderstand zu ermöglichen. Die Aufnahmebohrung des Einbauventils entspricht dabei der ISO-Kavität, weist aber vergrößerte Anschlussbohrungen auf.

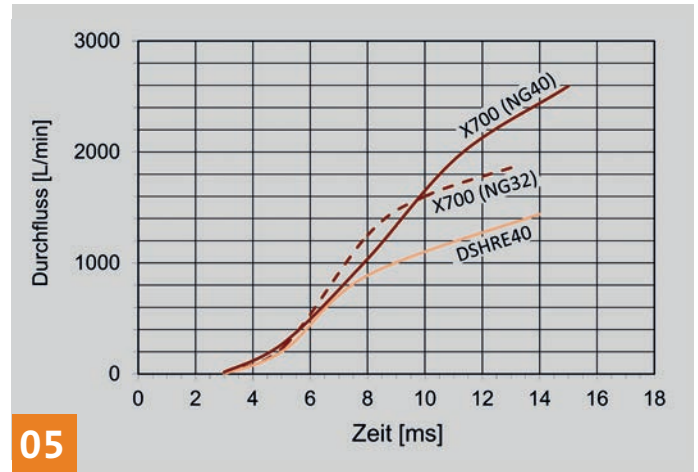
Die Bohrungsform A ist die universelle Bohrungsform nach ISO 7368. Die Bohrungsform B ist für die Durchströmungsrichtung B nach A und die Bohrungsform C für die Durchströmungsrichtung A nach B optimiert. Abbildung zeigt den Einfluss von Bohrungsform und Durchflussrichtung am Beispiel der Nenngröße 40.

Auch in den weiterführenden Bohrungen im Steuerblock sorgen die größeren Bohrungsdurchmesser für geringere Druckverluste.

### WENIGER KOSTEN DURCH KLEINERE BAUGRÖSSE

Das Ergebnis des innovativen neuen Designs ist ein deutlich verbessertes Durchflussverhalten des Ventils, das es dem Anwender erlaubt, die Ventile bei gleichen Durchflusswerten zukünftig ein bis zwei Nenngrößen kleiner auszuwählen.

Die deutliche Erhöhung der Nennvolumenströme bei annähernd gleichbleibenden Stellzeiten hat die Anwendungsperformance der Servocartridges deutlich erhöht: In dynamisch anspruchsvollen Anwendungen ist die wichtigste Kenngröße die Zeit, in der ein Zylinder auf eine bestimmte Geschwindigkeit beschleunigt und wieder abgebremst werden kann. Diese Zeit wurde durch die erheblich verbesserte Durchflussperformance deutlich verringert, wie Bild 5 zeigt. Darin ist ein Vergleich der innerhalb einer bestimmten Zeit erreichbaren Durchflüsse zu sehen: Das DSHR benötigt 14 ms, um den maximalen Nenndurchfluss zu erreichen. Das entsprechende Ventil der X700-



05

Baureihe muss für diesen Durchfluss jedoch nur zu 65 % geöffnet werden und erreicht ihn daher bereits nach 9 ms, also um 35 % schneller.

Damit erhalten die Anwender bei Beibehalten der Nenngröße eine wesentlich höhere Performance ihrer Anlage bzw. können selbst bei Wahl einer kleineren Nenngröße eine bessere Performance erzielen.

### FAZIT: WENIGER IST MEHR

Mit der Entwicklung der neuen Baureihe X700 hebt Moog die Performance von Servocartridge-Ventilen auf ein neues Niveau. Sowohl beim Nenndurchfluss als auch bei der Stellzeit zum Erreichen eines bestimmten Durchflusses wird die bisherige Technologie deutlich übertrumpft. Die Vorteile für den Anwender liegen auf der Hand: Er kann kleinere Nenngrößen einsetzen und profitiert dennoch von größeren Nenndurchflüssen und kürzeren Stellzeiten.

Bilder: Moog Luxembourg S.à r.L.

[www.moog.com](http://www.moog.com)

## POINTIERT

VERBESSERTES DURCHFLUSSVERHALTEN  
ERLAUBT DEN EINSATZ KLEINERER VENTILE

ERHÖHUNG DER NENNVOLUMENSTRÖME  
BEI GLEICHBLEIBENDEN STELLZEITEN

COMPUTERGESTÜTZTE ENTWICKLUNGS-  
UND SIMULATIONSWERKZEUGE

OPTIMIERTE AUFNAHMEBOHRUNGEN  
VERRINGERN DRUCKVERLUSTE