



Bulletin HY11-3291/DE

# Pressebericht DFplus®

---



**Hinweis**

Die in diesem Katalog oder in Form anderer Informationen durch die Parker Hannifin GmbH, ihre Niederlassungen, Vertriebsbüros oder ihre autorisierten Werksvertretungen gemachten Angaben sind für Anwender mit Sachkenntnissen bestimmt. Vom Anwender ist eine Überprüfung der über das ausgewählte Produkt gemachten Angaben auf Eignung für die geforderten Funktionen erforderlich. Bedingt durch die unterschiedlichen Aufgaben und Arbeitsabläufe in einem System muss der Anwender prüfen und sicherstellen, dass durch die Eigenschaften des Produkts alle Forderungen hinsichtlich Funktion und Sicherheit des Systems erfüllt werden.

Die Anforderungen an hydraulische Systeme und Anlagen sind in den letzten Jahren stark gestiegen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, haben die Hersteller hydraulischer Komponenten große Anstrengungen unternommen, die Leistung und Performance von hydraulischen Ventilen zu erhöhen. Ein bestimmendes Bauteil bei Stetigwegeventilen ist der Ventilantrieb, der maßgeblich für die Dynamik und Stellgenauigkeit des Kolbenschiebers verantwortlich ist. Bei den Antrieben haben sich verschiedene Antriebskonzepte durchgesetzt. Im Bereich der hochdynamischen Ventile ist der elektrohydraulisch arbeitende Torque-Motor bei Servoventilen und der elektromechanisch wirkende Proportionalmagnet bei Stetigwegeventilen weit verbreitet. Servoventile erreichen höchste Dynamik, sind jedoch von ihrer mechanischen Konstruktion aufwendig und deshalb auch preislich höher angesiedelt. Bisherige Stetigwegeventile sind dagegen günstiger, bieten aber aufgrund der Physik des Antriebs nicht die Dynamik, die im Feld oft gefordert wird. Hier verlangt der Kunde nach einer Technik, die präzise, hochdynamisch und zugleich robust ist. Parker Hannifin schließt diese Lücke mit der neuen Ventilserie DFplus® mit patentierter VCD® Antriebstechnologie.



Bild1: DFplus®

### 1.) Anforderungen an ein hochdynamisches Stetigwegeventil

#### Direkte Anforderungen vom Kunden

Im weiteren ist mit dem Begriff „Regelventil“ ein Stetigwegeventil mit elektromechanischem Antrieb, integrierter Ventilelektronik und elektronischer Kolbenpositionsrückführung gemeint. Servoventile fallen hier unter den Oberbegriff „Stetigwegeventile“.

Wichtige Punkte beim Einsatz von Stetigwegeventilen sind Zuverlässigkeit, Lebensdauer, Sicherheit und Kosten. Von modernen hydraulischen Systemen wird heute erwartet, dass sie unter den verschiedensten Umgebungsbedingungen störungsfrei, reproduzierbar und stets mit gleicher Präzision arbeiten. Das setzt das einwandfreie

Funktionieren jeder einzelnen Komponente voraus. Der Einfluss von Störgrößen wie wechselnden Betriebsdrücken, unterschiedlichen Umgebungs- und Fluidtemperaturen und veränderlichem Verschmutzungsgrad des Druckmittels wirkt dem entgegen und entscheidet auch mit über die Lebensdauer des Ventils / Antriebs. Zusätzlich zu diesen Aspekten schreiben viele Kunden ein definiertes Verhalten des Regelventils bei Störungen, wie z.B. Stromausfällen vor. Für diese Fälle ist ein kalkulierbares Verhalten der Komponente hilfreich, teilweise sogar vorgeschrieben, um Schäden an Mensch oder Maschine vorzubeugen. Diese Anforderungen zielen im Ganzen auf einen sicheren und kostenminimierten Betrieb des Ventils und damit der Anlage. Denn oft sind die Kosten für den Austausch einer Komponente bzw. für die Inbetriebnahme um ein Vielfaches höher, als die eigentlichen Komponentenkosten.

#### Dynamik

In der Anwendung ist die Dynamik eines Regel- oder Servoventils und damit des Ventilantriebs von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund folgen hier kurz die Grundlagen.

Die Dynamik bei Stetigwegeventilen wird durch zwei Faktoren bestimmt; die Sprungantwort und den Frequenzgang. Mit der Sprungantwort ist die Reaktion des Kolbenschiebers (Istwert) auf eine sprungförmige Änderung des Eingangssignals (Sollwert) gemeint.

Hierbei entscheidet die Sprungantwortzeit, wie schnell eine Hubbewegung ausgeführt wird. In der Regel ist die Sprungantwortzeit die Zeit, in der die Istposition des Kolbenschiebers 90% der Sollwertvorgabe erreicht hat. Der Verlauf der Sprungantwort entscheidet, wie die Endposition erreicht wurde. Grundsätzlich ist ein Überschwingen, d.h. ein kurzzeitiges Überfahren der Sollposition des Kolbenschiebers nicht erwünscht. Dieses Verhalten ist mit übergeordneten Regelkreisen, z.B. für eine hydraulische Achse, schwer zu kontrollieren.

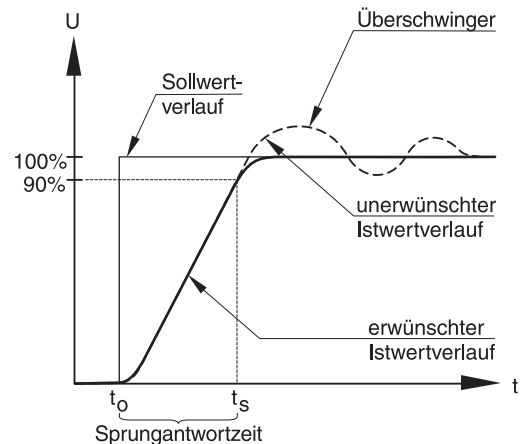


Bild 2: Sprungantwort

Der Frequenzgang beschreibt das Verhalten des Ventils (Kolbenschieber-Istwert) auf ein sinusförmiges Eingangssignal (Sollwert) mit steigender Frequenz. Dabei wird die Amplitudenhöhe des Sollwerts mit der des Istwerts verglichen. Idealerweise sollten beide Amplituden mit steigender Frequenz gleich bleiben. Die Trägheits- und Reibungseinflüsse und das Verhalten des elektronischen Regelkreises bzw. der mechanischen Rückführung beim Servoventil machen hier leider einen Strich durch die Rechnung. Im Normalfall vermindert sich die Istwertamplitude mit steigender Frequenz. Es kann jedoch auch vorkommen, dass der Kolbenschieber „aufschwingt“. Dann erhöht sich die Istwertamplitude gegenüber dem Sollwert. Dieses Verhalten ist nicht erwünscht., weil es einem stabilen und präzisen Verhalten eines übergeordneten Regelkreises entgegenwirkt.

Das Verhältnis der Amplituden wird in Dezibel (db) angegeben und logarithmisch im Bode-Diagramm dargestellt. Charakteristische Punkte sind 0db (Sollwertamplitude = Istwertamplitude) und -3db (Sollwertamplitude = ca. 70% Istwertamplitude). Positive Werte für das Amplitudenverhältnis zeigen sich beim Aufschwingen des Kolbenschiebers.

Ein zweites Merkmal beim Frequenzgang ist der Phasengang. Er beschreibt auch das Verhalten des Sollwerts zum Istwert. Jetzt wird aber nicht die Größe der Signale verglichen, sondern der zeitliche Versatz, mit dem der Istwert den Sollwert erreicht. In der Praxis bedeutet das, dass der Kolbenschieber mit steigender Frequenz dem Sollwert „hinterhereilt“. Erstrebenswert ist hier ein möglichst geringer Versatz mit steigender Frequenz. Der Versatz wird als Winkeldifferenz zwischen den beiden Sinussignalen (Sollwert, Istwert) im Bode-Diagramm dargestellt. Ein charakteristischer Punkt zur Bestimmung des Phasengangs ist die Frequenz bei 90° Phasenwinkel. Grundsätzlich wird sowohl bei Amplitudenverhältnis und Phasengang versucht Istwertverhalten und Sollwertverhalten möglichst lange, d.h. bis zu hohen Frequenzen, genau aufeinander abzubilden.

## Volumentrom

Eine charakteristische Kenngröße für Stetigwegeventile ist der Nennvolumentrom. Er bestimmt die Einsatzmöglichkeiten und -grenzen des Ventils. Der Anwender möchte zum Einen eine möglichst genaue Abstimmung des Ventilvervolumentroms zu seiner Anlage finden, zum Anderen auch in der Lage sein, bei geringer Baugröße des Ventils hohe Durchflüsse bei hohen Druckabfällen zu realisieren. Hohe Druckabfälle bedingen hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Ventil, die wiederum hohe Reaktionskräfte auf den Kolbenschieber verursachen.

Es ist Aufgabe des Ventilantriebs, die Reaktionskräfte zu kontrollieren und eine schließende oder öffnende Bewegung des Kolbenschiebers zu unterbinden. Zu diesem Zweck muss der Antrieb in der Lage sein, ein Kraftniveau zu erzeugen, das diese Kräfte mindestens ausgleicht. Überschreiten die Strömungskräfte die Antriebskraft so kann der Kolben dem Sollwertsignal im Arbeitsbereich nicht weiter folgen. Man spricht dann von der Einsatzgrenze.

Für zeitbegrenzte Stellaufgaben bei hohen Strömungskräften wird zusätzlich ein Überschuss an Kraft verlangt. Je höher der Überschuss an Kraft, desto dynamischer wird das Ventil auf Sollwertveränderungen reagieren können.

Ein zweiter wichtiger Faktor ist der Verlauf der Volumenstromkennlinie. Es wird angestrebt, den Verlauf des Sollwerts über dem Volumenstrom bei konstantem Druckabfall über das Ventil linear zu halten. Damit erreicht man in jedem Arbeitspunkt des Ventils die gleiche Volumenstromverstärkung. So ist es möglich, eine übergeordnete Regelung (z.B. eine geregelte Achse) optimal zu parametrieren.

## 2.) Antriebstechnologien

Man erkennt schnell, dass einige der oben genannte Forderungen nur erfüllt werden können, wenn der Antrieb des Stetigwegeventils entsprechend leistungsfähig ist. Die Entwicklung hier hat schon in den 50er Jahren mit den Torque-Motor angetriebenen Servoventilen begonnen. Sie wurden in erster Linie in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt und zeichnen sich durch eine hohe Dynamik aus. Mit der in den 70er Jahren aufkommenden Proportionaltechnik in der Stationär- und Mobilhydraulik und den daraus steigenden Genauigkeiten, was Positionierung, Druck- und Geschwindigkeitsregelung angeht, fanden Servoventile auch hier ihre Verbreitung; insbesondere bei High-End Anwendungen. Das Arbeitsprinzip beim Torque-Motor beruht auf einer Wippe aus Weicheisen, die in einem Spulenmagnetfeld ein Drehmoment erzeugt. Die Kraft dieser Anordnung und die Winkelauslenkung der Wippe ist sehr klein und kann nicht direkt aktiv zur Auslenkung des Kolbenschiebers genutzt werden. Als hydraulische Verstärkerstufe wird deshalb mit der Wippe eine Prallplatte bewegt, die beweglich zwischen zwei öldurchströmten Düsen angeordnet ist. Damit wird eine Druckdifferenz erzeugt, die in der Hauptstufe den Kolbenschieber bewegt. Eine Rückführfeder verbindet Kolben und Wippe und sorgt für eine mechanische Rückkopplung.

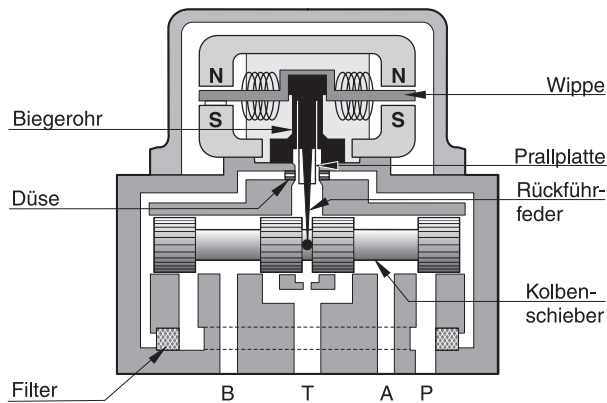


Bild 3: Servoventil mit Torquemotor Antrieb

Das größte Einsatzgebiet in der Elektrohydraulik hat heute der Proportionalmagnet. Ursprünglich aus dem Schaltmagneten durch Anpassung der Magnetkennlinie entstanden, kann der Proportionalmagnet auch einstufige Ventile antreiben. Er besteht aus einer Spule, in der sich ein Anker bewegt. Der Anker ist zusätzlich im Ankerraum mit speziellen Beschichtungen oder Folien gelagert, weil er dazu neigt, sich an die Wand des Ankerraums anzulegen. Die Kraft auf den Anker ist ungefähr proportional zum Spulenstrom und im Arbeitsbereich annähernd unabhängig vom Hub. Die Krafrichtung ist bei einfachen Proportionalmagneten einseitig. Um den Strom in einen definierten Hub umzusetzen, benötigt man eine Feder, die den Kolben gegen den Anker hält. Bei einer Entstromung sorgt sie dafür, dass der Kolbenschieber in seine Ausgangslage zurückgedrückt wird.

Eine Ausnahme bildet hier der Doppelhub-Proportionalmagnet, der einen Magnet für jede Richtung beinhaltet. Bei gleichem Bauvolumen halbiert sich allerdings die Kraft pro Magnet. Typische Kräfte bei Proportionalmagneten für Ventile der Nenngröße 6 liegen bei ca. 70 N, wobei die nutzbare Kraft wegen der Kompensierung der Federkräfte um einiges geringer ist.

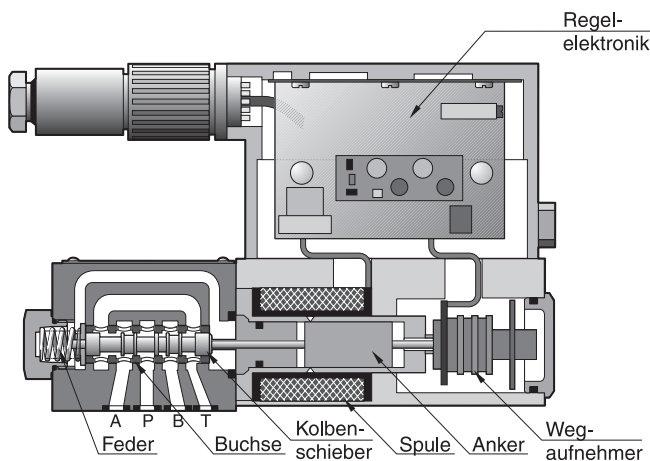


Bild 4: Stetigwegeventil mit Proportionalmagnet-Antrieb

DFplus\_Press\_DE.PM6.5 CM

Vergleicht man Regelventile mit Proportionalmagnetantrieb und Servoventile mit Torque-Motor direkt miteinander, so wird schnell klar, was das Dilemma ist, in der die Proportionalhydraulik zur Zeit steckt:

Servoventile bieten exzellente Dynamik, sind aber aufwendig in ihrer Mechanik, teurer und intensiver in der Wartung als Proportionalventile. Aufgrund des Wirkprinzips mit Düsen und Prallplatte werden hier im allgemeinen hohe Anforderungen an die Filterung gestellt. Trotz aufwendig beschichteter Bauteile kommt es wegen des permanenten Ölstrahl durch die Düsen auf die Prallplatte zu Verschleiß. Wechselnde Versorgungsdrücke können zusätzlich Einfluss auf das dynamische Verhalten der Hauptstufe haben.

Proportionalmagnet-angetriebene Ventile sind in der Konstruktion robust und preisgünstig. Die Nutzkräftentwicklung ist begrenzt, da ein großer Anteil der Magnetkraft zur Kompression der Rückstellfeder benötigt wird. Trotz optimierter Kraft-Hub Kennlinien ist es bis heute nicht gelungen, eine echte Linearität zwischen Strom und Kraft über den gesamten Hubbereich zu realisieren. Die Ventilhersteller kompensieren diese Nichtlinearitäten im allgemeinen in der Regelelektronik des Ventils. Die damit verbundene komplexere Reglerstruktur kann sich nachteilig auf das Frequenzverhalten auswirken. Ein weiterer Nachteil ist die zusätzliche Lagerung, mit der der Anker im Ankerraum geführt werden muss. Prinzipbedingt wirken nicht nur axiale Kräfte auf den Anker. Durch Inhomogenitäten im Magnetfeld und durch konstruktive Asymmetrien wirken auch radiale Kraftkomponenten auf den runden Ankercörper. Im Betrieb wird er sich immer an einer bevorzugten Stelle an die Wandung des Ankerraums anlegen. An dieser Stelle kommt es zu einer linienförmigen Kontaktstelle und damit zu einer hohen lokalen Reibarbeit. Trotz moderner Beschichtungen oder Lagermaterialien wirkt sich diese Reibung nachteilig auf das mechanische Verhalten des Ventils aus. Wegen der geringeren Dynamik sind Proportionalmagnet-angetriebene Ventile bis heute keine echte Alternative zu Servoventilen.

Parker VCD® Technology

Parker Hannifin ist mit der VCD® (“Voice Coil Drive”) Technology bei der Ventilserie DFplus® der Spagat zwischen exzellenter Dynamik und robustem Design gelungen. Das DFplus® verbindet die Vorteile eines elektromechanischen Antriebs mit der Performance eines Servoventils. Das Arbeitsprinzip beruht auf der Bewegung einer stromdurchflossenen Spule im Feld eines Permanentmagneten. Dieses Wirkprinzip wird bei Lautsprechern genutzt, um extrem hohe Frequenzen zu erzeugen. Der Antrieb weist, im Gegensatz zum Proportionalmagnet, eine echte Linearität zwischen Kraft und Spulenstrom auf, unabhängig von der jeweiligen Hubposition. Die gesamte Kraft des Aktuators kann bidirektional genutzt werden, d.h. durch Verpolung der Spule wird die Bewegungsrichtung bei vollem verfügbarem Kraftniveau umgekehrt. Der Antrieb wurde kraftoptimiert und für den nassen Betrieb in Hydraulikfluid weiterentwickelt. Der VCD® Antrieb wurde zusammen mit anderen konstruktiven Neuerungen in die Ventilserie DFplus® integriert. Am Beispiel des DFplus® Regelventils der NG6 wird im folgenden detaillierter auf die Konstruktion eingegangen. Vergleichend dazu wird ein Standard Servoventil der Größe 04 und ein High-Response Proportional- Magnetventil mit Doppelhubmagnet der NG6 hinzugezogen. Alle Ventile haben einen Nennvolumenstrom von 40 l/min bei 35 bar Druckabfall über eine Steuerkante.

Wie schon beschrieben besteht der VCD® Antrieb prinzipiell aus einer Läufererspule, die sich über einem permanentmagnetischen Zylinder bewegt. Die Läufererspule ist auf einen Träger gewickelt, der über eine Koppelstelle fest mit dem Kolbenschieber verbunden ist. Die gesamte bewegliche Einheit Kolben-Läufer ist nur über den Kolbenschieber in der Buchse gelagert. Somit entfällt eine zusätzliche Lagerstelle für den Aktuator. Prinzipbedingt arbeitet die Läufererspule über dem Magnetzylinder absolut querkraftfrei, wodurch die Lagerstelle nicht zusätzlich belastet wird.

Integriert im Aktuatorgehäuse befindet sich ein hochauflösendes Wegmesssystem, das permanent die aktuelle Kolbenposition an die Regelelektronik meldet. Die Auswahl der Elektronikbauteile, sowie der Aufbau der Schaltkreise reduzieren Temperatureinflüsse auf ein absolutes Minimum. Der Antrieb selbst stellt eine eigenständige Einheit dar und ist funktionsfähig ohne zusätzliche Federn.

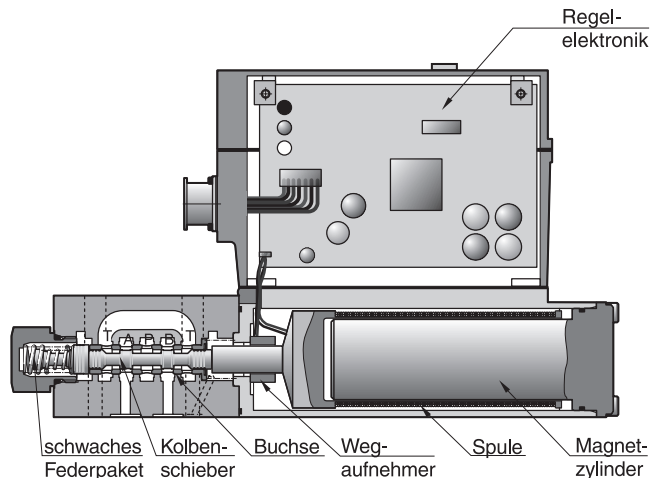


Bild 5: Parker DFplus® mit VCD® Antrieb

Das A und O für ein hochdynamisches Ventil ist eine hohe Nutzkraft. Bei einem nutzbaren Kraftniveau von über 100N in jede Richtung ist der VCD® Antrieb jedem Proportionalmagneten (auch Doppelhubmagneten) für die Baugröße NG6 weit überlegen. Typische Nutzkräfte liegen hier einseitig bei unter 70N für einfache Magnete und zweiseitig unter 35N bei Doppelhubmagneten. Die feste Verbindung zwischen Läufer und Kolbenschieber beim DFplus® ermöglicht die spiel- und dämpfungsfreie Übertragung der gesamten Kraft in beide Richtungen. Damit erreicht das DFplus® ein Frequenzverhalten im Kleinsignalbereich von 400Hz bei -3dB Amplitudenverstärkung bzw. eine 90°-Grenzfrequenz von über 350Hz. Das flache Verhalten des Amplitudengangs bei hohen Frequenzen gewährleistet ein stabiles und präzises Verhalten in übergeordneten Regelkreisen. Standard Servoventile liegen bei 420Hz/-3dB (250Hz/90°) und zeigen bei hohen Frequenzen ein Aufschwingen. Ein hochdynamisches Doppelhubmagnet-Regelventil liegt mit 180Hz/-3dB und 212Hz bei 90° Phasenverschiebung weit darunter.

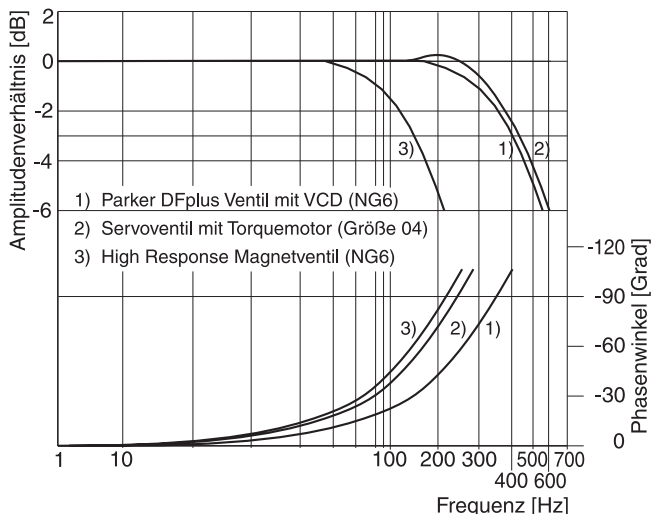


Bild 6: Frequenzgang (schematische Darstellung)

Ein zusätzliches „Plus“ zeigt sich bei der Einsatzgrenze. Servoventil und DFplus® können über den gesamten Druckabfall bis 350 bar durch das Ventil die Strömungskräfte am Kolben kontrollieren. Das Regelventil ist hier auf einen maximalen Druckabfall von 250 bar begrenzt. Der Überschuss an Kraft ist in diesem Betriebsbereich so gering, dass dynamische Stellaufgaben nur noch beschränkt ausgeführt werden können. Bedingt durch die großen Durchflussmengen kann das DFplus® der Nenngröße 6 in einigen Anwendungen ein Standard Regelventil der Nenngröße 10 ersetzen.

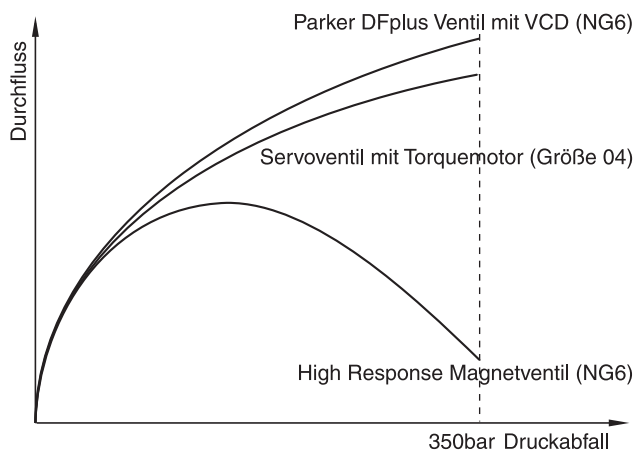


Bild 7: Einsatzgrenze (schematische Darstellung)

Die eigentliche Volumenstromsteuerung geschieht in den Fenstern der Buchse, in der der Kolbenschieber läuft. Eine nahezu lineare Volumenstromkennlinie bei allen möglichen konstanten Druckabfällen wird durch die Form der Fenster erreicht. Durch eine eng gestaffelte Auswahl von Nenndurchflüssen findet der Kunde das für seine Anwendung passende Ventil.

Neben den genannten Vorteilen bietet das DFplus® einige Features, die dem Betreiber zusätzlichen Nutzen und Sicherheit verschaffen. Jedes Ventil hat eine Vorzugsstellung, die bei Stromausfall oder bewusstem Abschalten des Freigabesignals angefahren wird. Konstruktiv wird das mit einem schwachen Federpaket erreicht, das den Kolbenschieber in diese Position verfährt. In Vorzugsstellung wird eine der zwei Arbeitstellungen zu ca. 30% angefahren. Die Richtung ist optional wählbar.

Das DFplus® kann mit allen gängigen Eingangssignalen angesteuert werden und gewährleistet so einen einfachen Austausch bestehender Komponenten. Preislich ist das DFplus® im Bereich der hochdynamischen Proportionalventile angesiedelt und ist damit eine interessante Alternative zu den teureren Servoventilen.

*Dipl.-Ing. Walter Krips ist Produktbereichsleiter für Stetigwegeventile im Geschäftsbereich Elektrohydraulik der Hydraulic Controls Division, Kaarst. Die HCD gehört zur Hydraulics Group der Parker Hannifin Corporation.*



**Parker Hannifin GmbH**  
Hydraulic Controls Division  
Gutenbergstr. 38  
41564 Kaarst, Deutschland  
Tel.: 0181 99 44 43 0  
Fax: 02131-513-230

Bulletin HY11-3291/DE,  
07/03 LB  
© Copyright 2003  
Parker Hannifin  
Corporation  
Alle Rechte vorbehalten.