

oup

FLUIDTECHNIK

INDUSTRIEHYDRAULIK – MOBILHYDRAULIK – PNEUMATIK

MIT 16 SEITEN

**Mobile
Maschinen**

TITEL

**DAS BESTE AUS
ZWEI WELTEN**

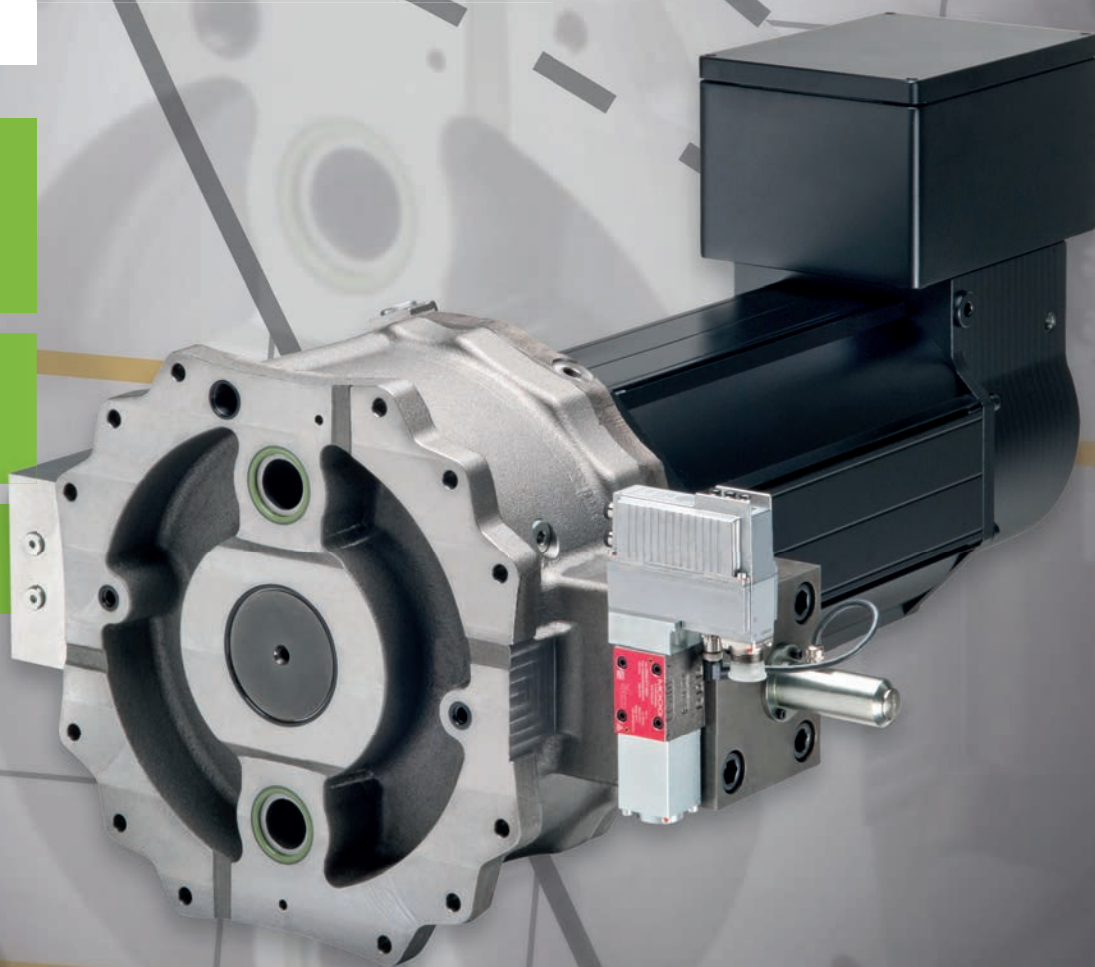
Elektrohydrostatische Antriebs-
systeme unter der Lupe

**SCHLAUCHDECKEN IM
VERGLEICH**

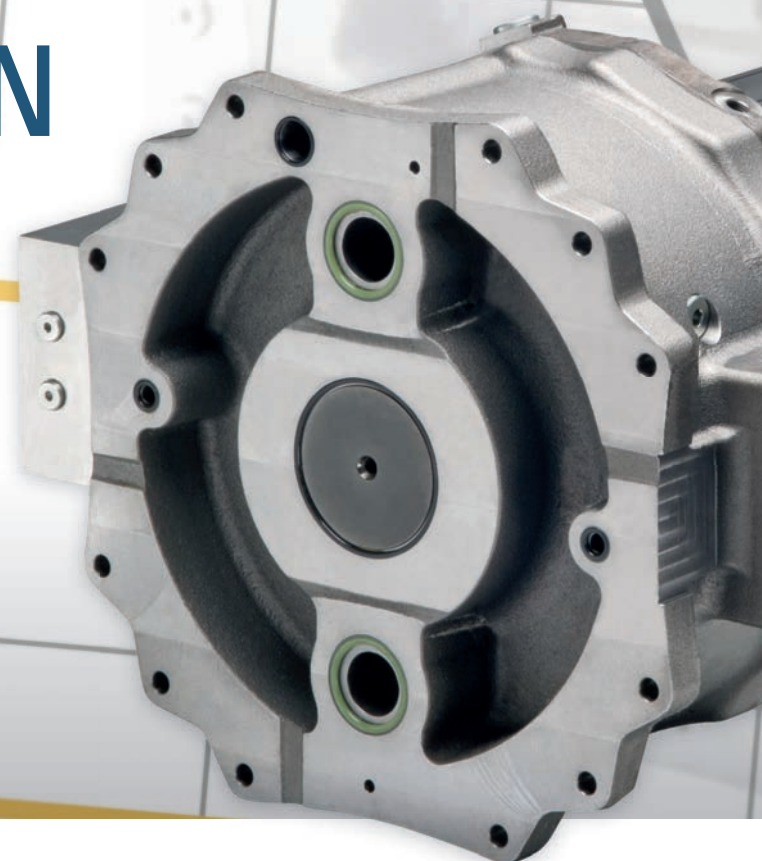
„Umwickelt“ versus „glatt“

SMART FARMING

5G in der Landwirtschaft



DAS BESTE AUS ZWEI WELTEN



Elektrohydrostatische Antriebssysteme verbinden hydraulische und elektrische Kraftübertragung. Als Vorteile gelten vor allem Energieeffizienz und geringe Umweltbelastung bei dennoch hoher Kraftübertragung. Ein weiterer, oft übersehener Vorteil ist der optimierende Einsatz einer Übersetzung.

Elektrohydrostatische Antriebssysteme (EAS) sind durch eine Reihe von Vorteilen gekennzeichnet. Dazu zählen die hohe Energieeffizienz, die gute Umweltverträglichkeit durch ein drastisch reduziertes Ölvolumen, eine geringe Geräuschentwicklung, die Bereitstellung von hohen Kräften und der allgemein stark verringerte Bedarf an zusätzlicher hydraulischer Infrastruktur wie Schläuche und Rohre.

Neben den genannten Vorteilen zeichnet sich ein elektrohydrostatisches Antriebssystem durch ein weiteres Merkmal aus: Die einfache Umschaltung der Übersetzung. Die Übersetzung funktioniert ähnlich wie bei einem Autogetriebe. Bei einem EAS wird durch

Wahl der Übersetzung die Antriebsdrehzahl des elektrischen Motors optimal auf die Geschwindigkeit des hydraulischen Aktuators eingestellt.

Diese Übersetzungsänderung kann prinzipiell auf zwei Wegen erfolgen: Über eine generatorische und eine aktuatorische Umschaltung. Bei der generatorischen Umschaltung wird der „Generator“ - in diesem Fall die hydrostatische Maschine - in ihrem Förderolumen verändert. Das kann über die Zu- und Abschaltung von mehreren hydrostatischen Einheiten mit unterschiedlichen Förderolumina realisiert werden oder einfacher über den Einsatz einer verstellbaren Einheit. Bei der aktuatorischen Umschaltung wird zwischen unterschiedlichen Wirkflächen eines einzelnen Zylinders oder zwischen mehreren Zylindern mit unterschiedlichen Abmessungen umgeschaltet.

ELEKTROMECHANISCHE UND HYDRAULISCHE LEISTUNG

Am Beispiel einer Elektrohydrostatischen Pumpeneinheit (EPU) Moog EPU19 ist der Zusammenhang zwischen der elektromechanischen Leistung und der hydraulischen Leistung, die von der Pumpeneinheit abgenommen wird, darstellbar. Der elektrische Motor wird über das Drehmoment in Abhängigkeit der Drehzahl charakterisiert (Siehe Abb.01). Kurve 1 zeigt das dauerhaft zur Verfügung ste-

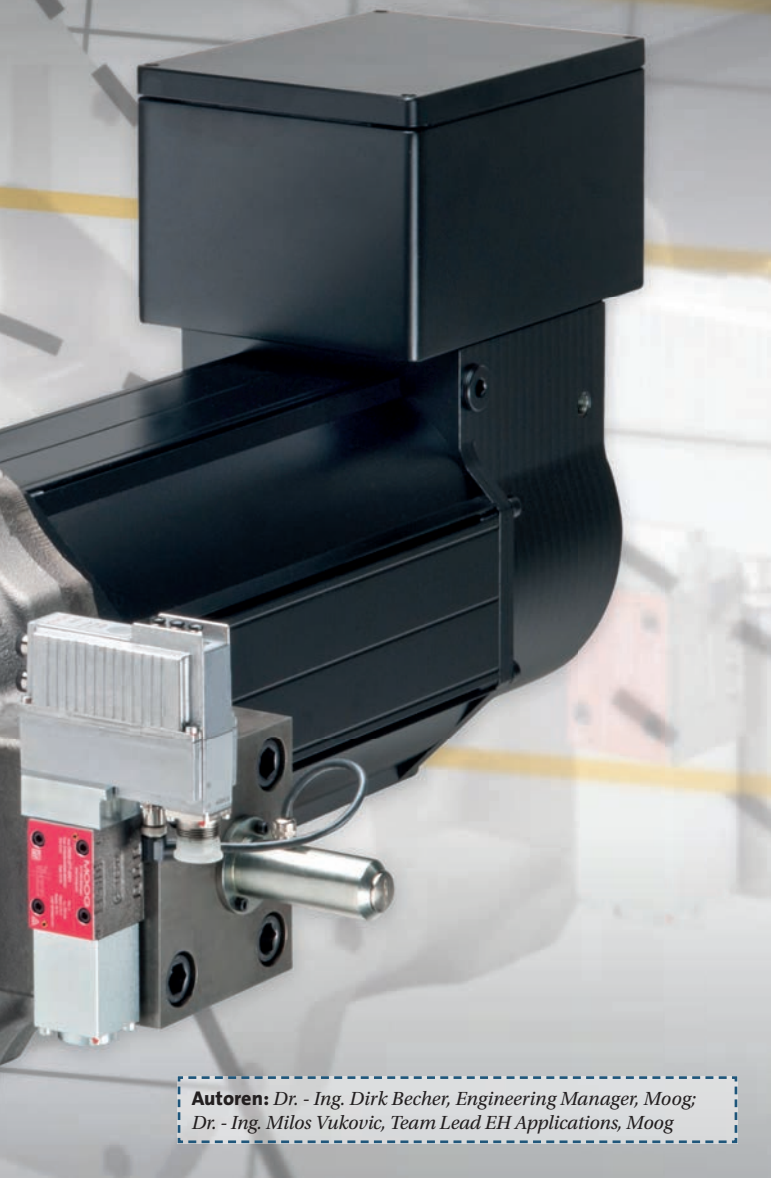
POINTIERT 

**ELEKTROHYDROSTATISCHE ANTRIEBE
PUNKTEN MIT EINFACHER UMSCHALTUNG**

**VARIABILITÄT DES VERDRÄNGUNGS-
VOLUMENS FÜR EPU-WAHL BEDEUTEND**

**STUFENLOSE VERSTELLBARKEIT
ERHÖHT PUMPENLEISTUNG**

**VERDRÄNGUNGSVOLUMEN UND
LEISTUNG OPTIMAL REGULIERBAR**



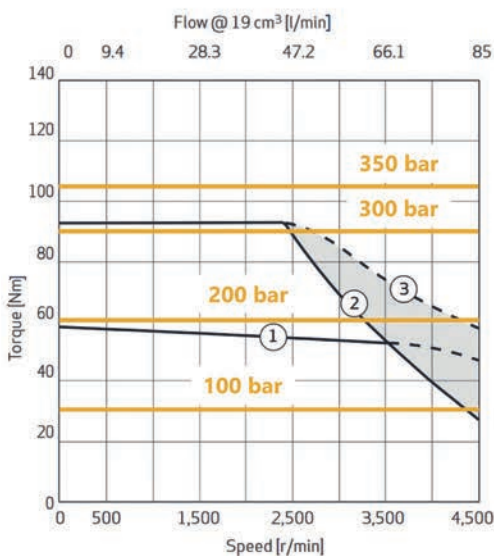
Autoren: Dr. - Ing. Dirk Becher, Engineering Manager, Moog;
Dr. - Ing. Milos Vukovic, Team Lead EH Applications, Moog

hende Drehmoment. Die Kurven 2 und 3 zeigen das maximale Drehmoment mit und ohne Feldschwächebetrieb, welches aber während eines Zyklus nur für eine begrenzte Zeit abgerufen werden kann. Der Unterschied zwischen dem rechten und dem linken Diagramm ist die Größe des elektrischen Motors. Das Kennfeld der Pumpe ist gekennzeichnet durch den zur Drehzahl proportionalen Volumenstrom und den Druck am Pumpenausgang. Der Druck ist - bei hier konstantem Fördervolumen - proportional zum Drehmoment des Antriebsmotors. Es wird deutlich, dass der größere elektrische Antrieb den dauerhaft abrufbaren maximalen Betriebsdruck deutlich erhöht.

EINFLUSS DES VERDRÄNGUNGSVOLUMENS

Das geometrische Verdrängungsvolumen der hydrostatischen Einheit beeinflusst drehzahlabhängig den abgegebenen Volumenstrom. Je höher das Verdrängungsvolumen, desto höher der Volumenstrom bei gleicher Drehzahl. Abhängig vom Druck steigt das benötigte Antriebsdrehmoment. Idealerweise benutzt man in Pha-

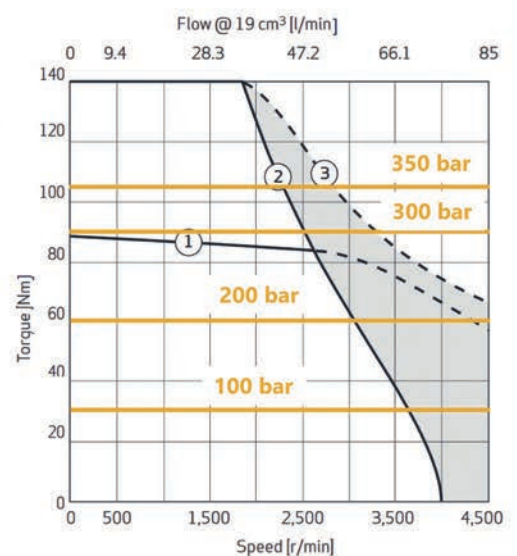
01 Elektromechanische und hydraulische Kennwerte einer EPU19 (Elektromotoren mit unterschiedlicher Leistungsklasse)




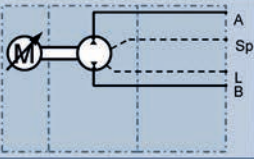
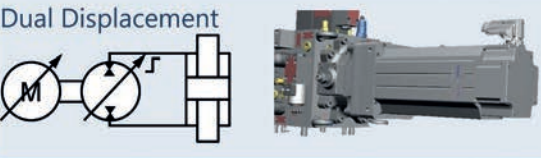
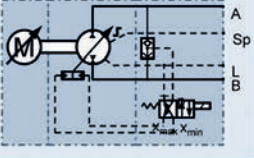
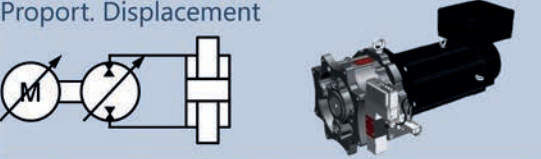
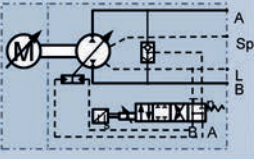
- ① Drehmoment Dauerbetrieb
- ② Maximales Drehmoment ohne Feldschwächung
- ③ Maximales Drehmoment mit Feldschwächung



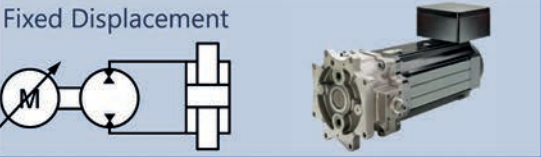
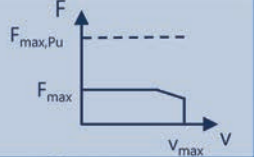
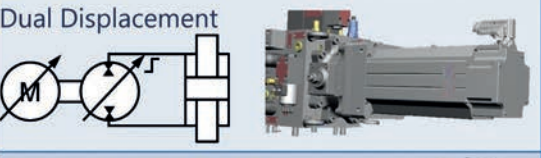
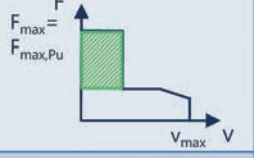
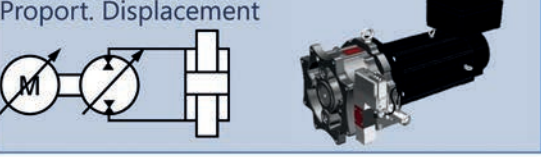
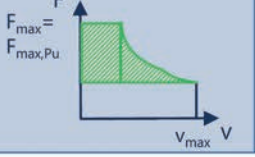
EPU19 → 19 cm³/U



02 Grundsätzliche Möglichkeiten zur Beeinflussung des Verdrängungsvolumens einer EPU

Antriebskonzept – Pumpenbasiertes Getriebe	Hydr. Schaltung	Charakterisierung
<p>Fixed Displacement</p> 		<ul style="list-style-type: none"> Hydrostatische Einheit mit konstantem Fördervolumen Fördervolumen einstellbar
<p>Dual Displacement</p> 		<ul style="list-style-type: none"> Hydrostatische Einheit mit variablem Fördervolumen Zwei Fördervolumina einstellbar Umschaltung zwischen V_{max} und V_{min} durch Schaltventil
<p>Proport. Displacement</p> 		<ul style="list-style-type: none"> Hydrostatische Einheit mit variablem Fördervolumen Proportionale Förderstromverstellung Förderstromreglung durch Proportional Ventil

03 Mögliche Anwendungen des Antriebskonzepts mit pumpenbasiertem Getriebe

Antriebskonzept – Pumpenbasiertes Getriebe	Hydraulischer Aktuator	Anwendung
<p>Fixed Displacement</p> 		<ul style="list-style-type: none"> Nahezu konstante Kraft Veränderliche Geschwindigkeit → z.B. Simulationsplattform, Tiefziehkissen, Test System
<p>Dual Displacement</p> 		<ul style="list-style-type: none"> Anwendung mit ausgeprägter Geschwindigkeits- und Kraftphase → z.B. kleine und mittelgroße Pressen
<p>Proport. Displacement</p> 		<ul style="list-style-type: none"> Anwendung mit ausgeprägter Geschwindigkeits- und Kraftphase Maximale Ausnutzung der Antriebsleistung → z.B. kleine und große Pressen

sen, in denen ein hoher Volumenstrom bei geringem Druck benötigt wird, eine hydrostatische Einheit mit großem Verdrängungsvolumen. In Phasen, in denen ein hoher Druck bei gleichzeitig reduziertem Volumenstrom gefordert ist, ist dagegen ein kleines Verdrängungsvolumen optimal.

Die einfachste Variante ist die mit einem konstanten Verdrängungsvolumen. Bei der Moog EPU ist dieses Verdrängungsvolumen über Verstellspindeln in einem begrenzten Bereich einstellbar. Einmal justiert bleibt es für die Anwendung konstant.

Die Dual Displacement Variante erlaubt die Umschaltung zwischen zwei unterschiedlichen Verdrängungsvolumina, die nach Bedarf in der Applikation abgerufen werden können. Dazu wird über die Verstellspindeln ein maximales und ein minimales Verdrän-

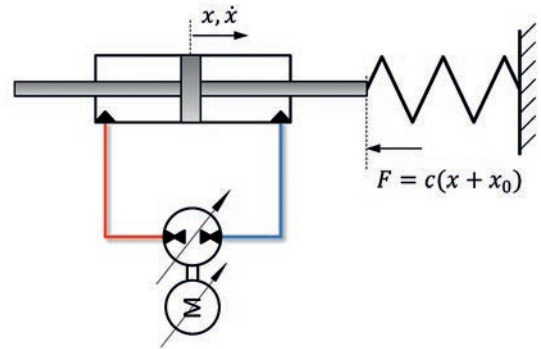
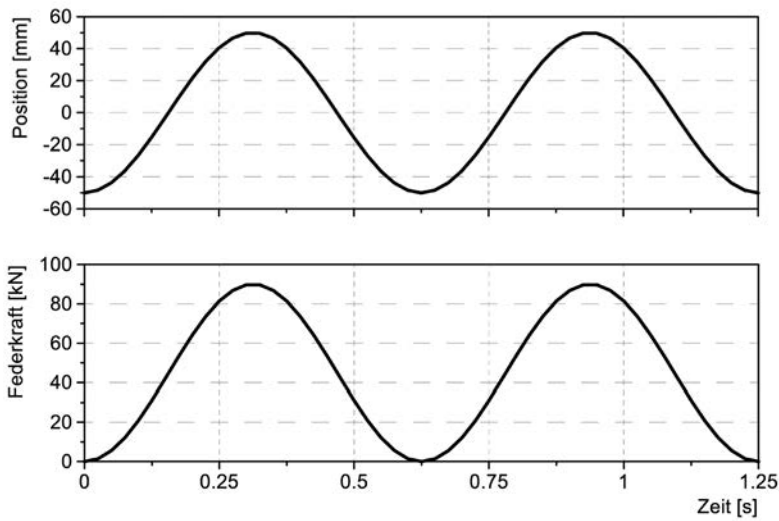
gungsvolumen eingestellt. Die Umschaltung erfolgt über ein einfaches Schaltventil.

Die dritte Variante verfügt über eine stufenlose, proportionale Verstellung des Verdrängungsvolumens. Dazu wird die Position des Hubringes lagegeregelt. Mit dieser Variante ist es möglich, einen beliebigen Wert zwischen Null und dem maximalen Verdrängungsvolumen einzustellen.

EINFLUSS DER VERSTELLUNG IN DER ANWENDUNG

Das Beispiel der EPU19 in Medium Performance-Ausführung hat bereits gezeigt, dass man mit dem elektrischen Motor zwar die ma-

04 Elektrohydrostatischer Antrieb mit Federbelastung



ximale Drehzahl der hydrostatischen Einheit erreichen kann, aber der maximal zulässige Druck am Pumpenausgang auf Grund der Drehmomentbeschränkung des Motors nicht erreicht werden kann. Am jeweiligen hydraulischen Aktuator sieht man, dass dieser zwar mit maximaler Geschwindigkeit verfahren werden kann, die maximal mögliche Kraft/Druck auf Grund der Drehmomentbeschränkung des Motors jedoch nicht erreicht wird.

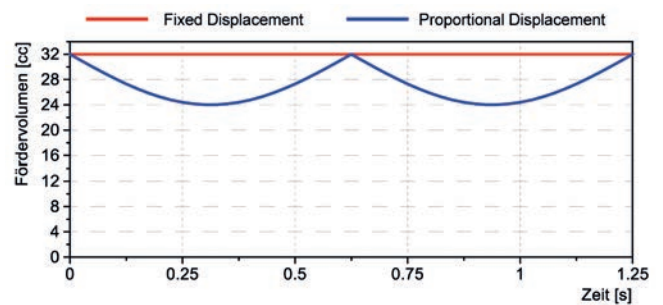
Anders sieht es bei der Dual Displacement Variante aus: In Phasen, in denen eine hohe Geschwindigkeit bei geringer Kraft gefordert wird, wird die Pumpe auf maximales Verdrängungsvolumen gestellt. Im umgekehrten Fall, wenn eine hohe Kraft am Zylinder notwendig ist, wird die Pumpe durch die „Dual Displacement Option“ auf ihr minimales Verdrängungsvolumen eingestellt. Damit reduziert sich zwar die Verfahrensgeschwindigkeit bei maximaler Kraft, aber das Motordrehmoment ist auf Grund des reduzierten Verdrängungsvolumens in der Lage, den maximalen Betriebsdruck zu erzeugen. Das funktioniert ebenfalls bei der proportionalen Verstellung der Pumpeneinheit. Zusätzlich entfällt bei dieser Option das „harte“ Umschalten zwischen den beiden Verdrängungsvolumina. Außerdem kann am Aktuator die maximale mechanische Motorleistung als bekannte Leistungshyperbel auf der hydraulischen Seite genutzt werden. Prinzipiell kann eine Verstellung der hydraulischen Pumpe, ob in zwei Stufen oder stufenlos, dazu dienen, sowohl die Größe des elektrischen Motors als auch die Größe des Umrichters zu reduzieren. Dank ihrer spezifischen Eigenheiten kann man für die drei EPU Varianten Anwendungs hinweise ableiten.

Die Fixed Displacement Variante wird in Anwendungen eingesetzt, in denen der Kraftverlauf im Zyklus relativ konstant ist, gleichzeitig aber eine variable Geschwindigkeit des Aktuators gefordert wird. Typische Anwendungen sind: Simulationsplattformen, Tiefziehpressen oder Anlagen zum Test von Materialien und Strukturen.

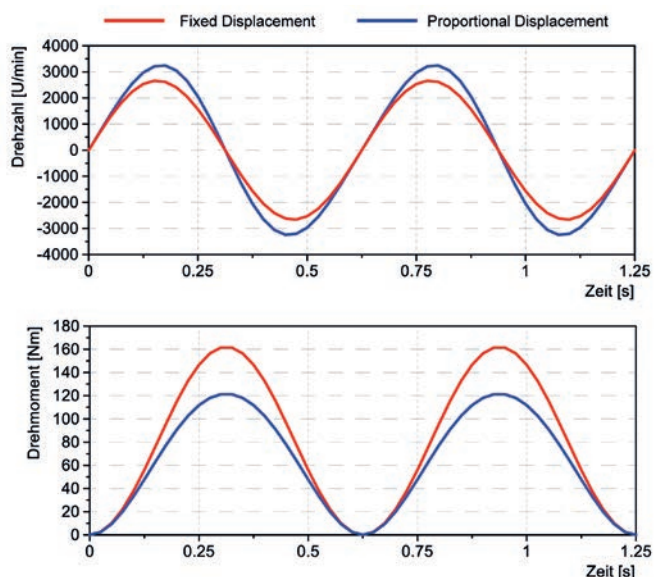
Die Dual Displacement Variante ist für Anwendungen geeignet, die durch eine ausgeprägte Phase hoher Geschwindigkeit in Abwechslung mit einer ausgeprägten Kraftphase gekennzeichnet sind. Typische Anwendungen sind kleine bis mittlere Pressen.

Für solche Anwendungen eignet sich die stufenlosen elektrohydrostatischen Verstellung. Durch sie kann auf der hydraulischen Seite die komplette Leistungshyperbel abfahren werden und passt besonders für mittlere und große Pressen.

05 Verlauf des Verdrängungsvolumens der Fixed und Proportional Displacement Einheiten



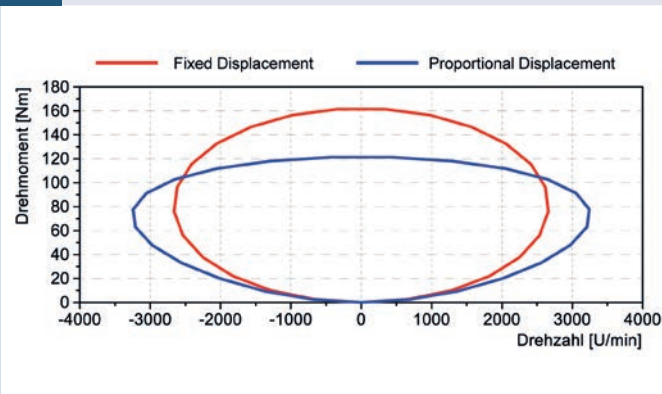
06 Drehzahl und Drehmoment (ohne Berücksichtigung der Verluste) als Funktion der Zeit



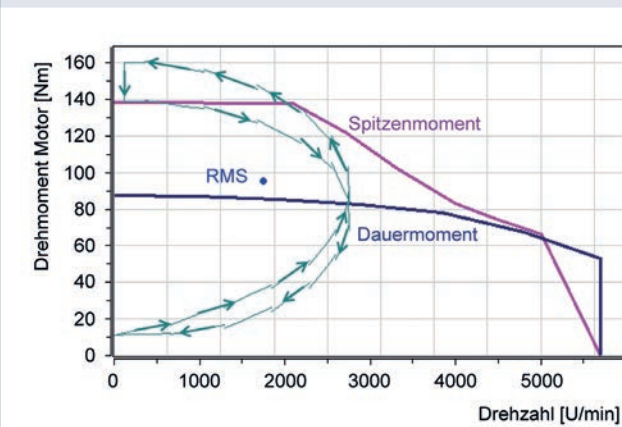
VORTEILE STUFENLOSER VERSTELLUNG

Um die Vorteile der stufenlosen Verstellung näher zu erläutern, soll die Auslegung und Auswahl einer EPU anhand einer Beispielanwendung durchgeführt werden. In diesem Beispiel handelt es sich

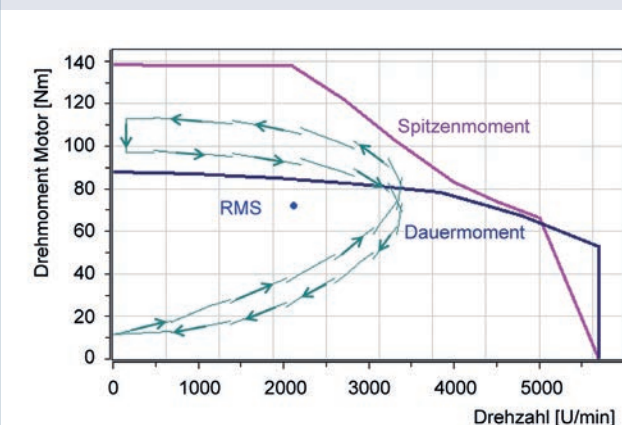
07 Drehmoment als Funktion der Drehzahl



08 Belastung der SEHA032 MOW EPU mit einer Fixed Displacement Einheit



09 Belastung der SEHA032 MOW EPU mit einer Proportional Displacement Einheit



um einen Gleichgangzylinder, der mit einer Feder konstanter Steifigkeit belastet wird (siehe Abb.4). Der Zylinder wird mit Hilfe einer EPU im geschlossenen Kreislauf betrieben.

Die Auslegung wird für eine 32cm² EPU mit konstantem und stufenlos verstellbarem Verdrängungsvolumen durchgeführt. Das Verdrängungsvolumen wird bei der stufenlosen Ausführung genau entgegengesetzt zum Kraftverlauf (siehe Abb.5) verstellt. Der Drehmomentenbedarf des Servomotors kann mit der stufenlosen Verstellung von ungefähr 160 auf 120 Nm reduziert werden (Abb.6).

Die Vorteile der stufenlosen Verstellung werden noch deutlicher, wenn man das Drehmoment als Funktion der Drehzahl darstellt (siehe Abb. 7). Durch die stufenlose Änderung der Getriebeübersetzung muss die Drehzahl der Einheit erhöht werden, um den gleichen Volumenstrom zur Verfügung zu stellen. Dabei wird die Drehmomentbelastung des Motors reduziert. Deshalb wird der ursprüngliche Verlauf der Einheit mit konstantem Verdrängungsvolumen in der senkrechten Richtung zusammengestaucht und in der waagerechten Richtung ausgedehnt.

Betrachtet man jetzt die Motorbelastung der 32cm² EPU in der MOW Ausführung (wassergekühlter Motor mittlerer Größe) stellt man fest, dass der RMS Wert oberhalb der Dauerdrehmomentkennlinie des Motors liegt (siehe Abb. 8). Die dargestellten Arbeitspunkte befinden sich auf zwei etwas versetzten Halbellipsen, da die EPU beim Ausfahren des Zylinders als Pumpe arbeitet und beim Einfahren des Zylinders von der Feder angetrieben wird und in den generatorischen Betrieb wechselt. Abgesehen von der RMS-Belastung ergeben sich auch Arbeitspunkte mit Drehmomenten um die 160 Nm, die vom gewählten Motor gar nicht zur Verfügung gestellt werden können. In diesem Fall müssten ein größerer Motor und dementsprechend auch ein größerer Umrichter ausgewählt werden.

Wie vorher erklärt, ergeben sich im Falle einer stufenlosen Verstellung der Pumpe neue Arbeitspunkte für den Motor. Der neue RMS-Wert liegt jetzt tatsächlich unterhalb der Dauerdrehmomentkennlinie des Motors liegt (siehe Abb. 9). Weiterhin befinden sich auch alle Arbeitspunkte unterhalb der Spitzendrehmomentkennlinie. Das Beispiel zeigt, wie eine Verstellung des Verdrängungsvolumens der Pumpe die Verwendung eines kleineren Servomotors in dieser Anwendung ermöglicht.

VERSTELLBARES VERDRÄNGUNGSVOLUMEN

Die Verstellmöglichkeit des Verdrängungsvolumens der hydrostatischen Einheit bietet eine einfache Möglichkeit, die Größe von Elektromotor und Umrichter zu reduzieren. Das spart Kosten und kann zu einer geringeren elektrischen Anschlussleistung beitragen. Bereits die Dual Displacement Verstellung bietet dazu genügend Potential. Den maximalen Freiheitsgrad bietet eine proportionale Verstellung des Verdrängungsvolumens. Dadurch erreicht man einen sanften Übergang zwischen den einzelnen Systemzuständen und kann die Leistung des Elektromotors auf der hydraulischen Seite maximal ausnutzen. Ein weiteres Potential dieser Variante liegt in der Möglichkeit, die Drehzahl des Elektromotors und das Verdrängungsvolumen der hydrostatischen Einheit optimal aufeinander abzustimmen. Eine Optimierung hinsichtlich minimaler Leistungsverluste oder die gezielte Optimierung der erreichbaren Dynamik innerhalb eines Zyklus sind dadurch möglich.

Bilder: Moog GmbH

www.moog.com