

# Unterstützung für die Armaturen-Auslegung bei Verwendung drehzahlveränderlicher Stellantriebe

## Support for valve design using variable-speed actuator systems

Ottmar Kögel

*Ob in der Wasserwirtschaft, Kraftwerken oder anderen Industrieanlagen, überall werden wichtige Abläufe automatisiert. Die Lenkung von Stoff- und Energiekreisläufen für Produktion und Verarbeitung geschieht dabei mit Armaturen wie zum Beispiel Klappen und Hähnen oder auch hochkomplexen Regelventilen. Die heutzutage voll automatisierte Betätigung solcher Armaturen übernehmen abhängig von der Anwendung häufig elektrische Stellantriebe.*

*Im Fall des SIPOS 5 Flash, im Weiteren einfach SIPOS 5, ist der Antrieb längst den üblichen Anforderungen entwachsen. Die praktisch freie Wahl der Abtriebsdrehzahl ist die Basis der SIPOS 5-Technologie. Dies wird durch Ansteuerung über einen Frequenzumrichter ermöglicht. Die Firmware des Antriebs kontrolliert nicht nur die Ansteuerung, sondern stellt auch die vielfältigen Funktionen, die diese Baureihe auszeichnen, zur Verfügung. Die Technologie, die dem zu Grunde liegt und die daraus resultierenden Vorteile für die Armaturenauslegung sollen hier näher betrachtet werden.*

*Whether in water industry, power-generating plants or in other industrial facilities, more and more important processes and operations are undergoing automation. Management of material and energy circuits for production and processing is accomplished in this context using elements such as butterfly and ball valves, and more complex control valves. The nowadays fully automated actuation of such control elements is frequently performed, depending on the particular application, by electrical actuators.*

*In the case of the SIPOS 5 Flash, referred to below simply as SIPOS 5, the actuator system long ago outgrew the basic requirements. The virtually unrestricted selection of output speed provides the foundation for SIPOS 5 technology. This is made possible by means of driving of the motor via a frequency converter. The actuator firmware controls not only the drive arrangement, but also provides the diverse functions that characterize the SIPOS 5 range. The underlying technology and the resultant benefits for valve design are examined here in more detail.*

### Motoransteuerung beim SIPOS 5

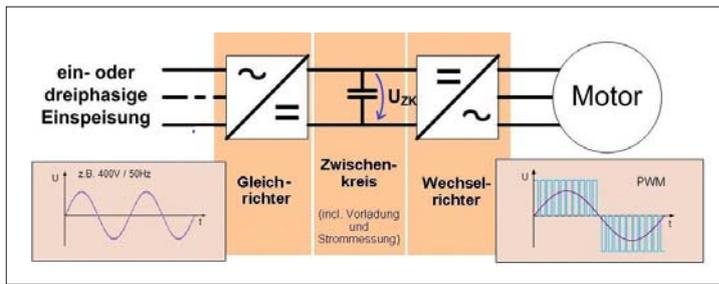
#### Funktionsweise eines Frequenzumrichters

Ein Frequenzumrichter (FU) ist ein Gerät, das aus einer Netzspannung einer bestimmten Frequenz und Amplitude einen Drehstrom einer frei einstellbaren Frequenz und Amplitude macht. Mit dieser „umgerichteten“ Spannung wird

dann im Fall des SIPOS 5 der Motor im Stellantrieb angesteuert. Es kommen sogenannte „Frequenzumrichter mit Spannungszwischenkreis“ zum Einsatz. Die prinzipielle Funktionsweise eines solchen FU-Typs zeigt **Bild 1**.

Zunächst wird die Eingangswechselspannung über eine Diodenbrücke gleichgerichtet. Aus zum Beispiel 230

Volt Netzspannung wird ca. 320 V wellige Gleichspannung. Im Zwischenkreis (ZK) werden Kondensatoren mit ausreichender Kapazität vorgeladen und die DC-Spannung geglättet. Die gesteuerte Wechselrichtung der ZK-Gleichspannung in die am Motor benötigte 3-Phasen-Wechselspannung übernehmen schnell schaltende Transistoren, so genannte IGBT-Module.



**Bild 1:** Übersichtsschema Frequenzumrichter mit Gleichspannungs-Zwischenkreis

**Fig. 1:** Overview diagram of frequency converter with AC intermediate circuit

Am Motor, der zugleich „filternde“ Funktion hat, wird aus Pulsen (Pulsweitenmodulation, PWM) dann eine sinusförmige Wechselspannung (s. Bild 1).

### Drehzahlveränderbarkeit/ U/f-Kennlinie

Mittels Umrichtertechnologie kann man also die Spannung (Frequenz, Amplitude) am Motor nahezu beliebig vorgeben. Die maximale Amplitude am Ausgang ist dabei durch die Eingangsspannung begrenzt.

Mit einer gängigen U/f-Kennlinie, ergänzt um das Abtriebsdrehmoment  $M$ , werden die Verhältnisse übersichtlich und man kann einige für den SIPOS 5 grundsätzliche Merkmale ablesen (**Bild 2**).

Die Grafik zeigt zum einen den Verlauf

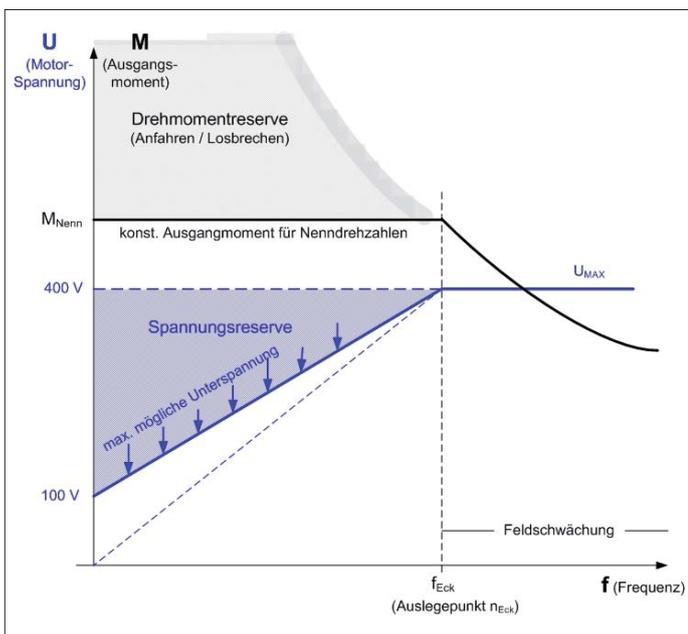
der am Motor anliegenden Spannung (blau) über der Frequenz. Am Auslegungspunkt  $f_{Eck}$  erreicht sie ihren Maximalwert  $U_{MAX}$  (für den gewählten Beispielmotor hier 400 V). Bis zu dieser  $f_{Eck}$  bzw. Drehzahl  $n_{Eck}$  ist das Ausgangsdrehmoment konstant ( $M_{ab} = konst.$ ). Für noch höhere Drehzahlen geht das Moment nach unten (Feldschwächung).

Die weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber Netzschwankungen wird unten erläutert.

Mit der *Drehzahlveränderbarkeit* und den *Spannungsreserven* hat man ganz praktische Vorteile:

### Anfahren – langsam aber kraftvoll und sicher

Armaturen müssen bisweilen große Druckdifferenzen beherrschen. Beim



**Bild 2:** Für einen Asynchronmotor typische U, M/f-Kennlinie

**Fig. 2:** Typical U, M/f characteristic curve for an asynchronous motor

schnellen Verfahren der Armatur kommt es zu turbulenten Strömungen. Durch das Anfahren aus der Endlage mit reduzierter Drehzahl kann zuerst der Druckausgleich stattfinden, ohne die Armatur zu „stressen“. Dank Frequenzumrichter-Steuerung kann für die kleineren Drehzahlen die Spannung (maximal um die Spannungsreserve) erhöht werden und der SIPOS 5 startet mit kräftigem Anzugsmoment. Anschließend kann er mit höherer Drehzahl bzw. Stellgeschwindigkeit verfahren.

### Losbrechen mit erhöhtem Drehmoment

Ähnlich dem „kraftvollen Anfahren“ kann die Spannungsreserve auch für das Losbrechen eingesetzt werden. In Bild 2 ist die mit steigender Frequenz (Drehzahl) abnehmende Spannungsreserve unterhalb der maximal möglichen Spannung (hier 400 V) gekennzeichnet. Wird die Spannung am Motor über den optimalen unteren Grenzwert angehoben, steigt auch das Abtriebsmoment, ebenfalls in der Grafik oben angedeutet. Eine übliche Erhöhung des Drehmomentes um etwa 30 % wird bereits mit einer Mehrspannung von nur 14 % erreicht. Es gilt  $M \sim U^2$ .

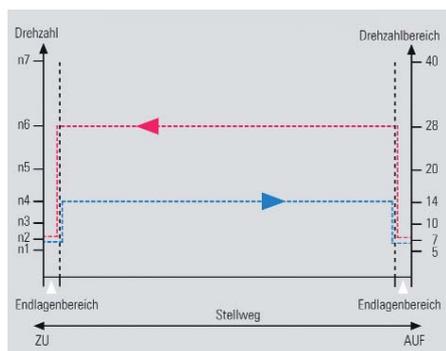
### Sanft in die Endlagen durch Drehzahlreduzierung

Während für den Stellweg verschiedene Drehzahlen innerhalb des jeweiligen Drehzahlbereiches gewählt werden können, senkt der Antrieb die Geschwindigkeit in den Endlagenbereichen auf einen fixen kleinen Wert ab. Die Endlagen werden daher sanft angefahren (**Bild 3**).

Das bewirkt zum einen *weniger Materialermüdung oder -verschleiß* an der Armatur, zum anderen kann die (Regel-) Armatur, häufig eine kostspielige Komponente auf das tatsächlich auftretende Moment hin optimiert ausgelegt werden.

### Drehmomentabhängige Abschaltung

Bei SIPOS 5 Antrieben werden wie bei konventionellen Antrieben Drehstrom-Asynchron-Motoren verwendet. Der Unterschied besteht darin, dass beim SIPOS 5-Antrieb immer eine dem Be-



**Bild 3:** Drehzahlreduzierung: Im Lauf mit 14 U/min (AUF) bzw. 28 U/min (ZU), in den Endlagen mit dem Wert 7 U/min.

**Fig. 3:** Speed reduction: 14 rpm (OPEN) and 28 rpm (CLOSE) during motion, 7 rpm approaching the limit positions

triebspunkt (Drehmoment und Drehzahl) zugehörige Motor-Spannungskennlinie, die U/f-Kennlinie, selektiert wird.

Für eine bestimmte Drehzahl hat der SIPOS 5 im Gegensatz zum konventionellen Antrieb eine spezielle Kennlinienschar, das heißt eine für jede Drehzahl-/Abschaltmoment-Kombination (**Bild 4**).

Das eingestellte Abschaltmoment entspricht dem Blockier- (Kipp-) Moment des Motors. Wird der Antrieb stark belastet, bleibt er am Kipp-Punkt mit dem parametrisierten Abschaltmoment stehen. Stets gilt: Kippmoment = Abschaltmoment – eine statische Momentenerhöhung ist ausgeschlossen! Allein kinetische Effekte erhöhen noch das Moment auf die Armatur.

### Abschaltversagen

Nachdem beim konventionellen Antrieb zum Beispiel mittels Verschiebeschnecke und „Spazierstock“ das Abschaltmoment „erkannt“ ist, wird der mechanische Drehmo-Schalter ausgelöst (Abschaltung,  $M_{ab,soll}$ ). Diese Abschaltverzögerung kann im Extremfall bis zu einigen 100 ms dauern. Da der Antrieb mit voller Drehzahl verfährt, kommt es zu einem gewissen Nachlauf bis  $M_{ab,ist}$  (rot in **Bild 5**). Versagt diese Abschaltung, steigt das Moment entlang der Kennlinie stark an, der Motor kommt erst beim Mehrfachen des Abschaltmomentes ( $M_{max, statisch}$ , rot) am Kipp-Punkt zum stehen.

Beim SIPOS 5 hingegen liegt die Motor-Spannungskennlinie immer so nied-

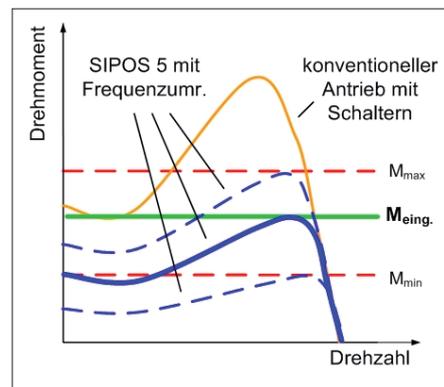
rig, dass Abschaltmoment gleich Kippmoment ist,  $M_{ab,soll} = M_{ab,statisch}$ . Ein Abschaltversagen im obigen Sinne gibt es bei SIPOS-Antrieben nicht. Kommt es durch einen Fehler (zum Beispiel bei der Strommessung) zum Versagen der Drehmomenterkennung, käme der Antrieb dank reduzierter Drehzahl in den Endlagen trotzdem ohne nennenswerten Nachlauf beim Kippmoment des Motors zum Stillstand (blau in Bild 5).

Würde die Endlage nicht als solche erkannt (zum Beispiel verstelltes Lage-Potentiometer), der Antrieb also mit der eingestellten (maximalen) Drehzahl in die Endlage fahren, käme wieder der gleiche Mechanismus „Abschalt- gleich Kippmoment“ zum Tragen: Der Antrieb kommt ohne jeglichen weiteren Steuerungseingriff zum Stillstand. Modellrechnungen zeigen, dass das Überhöhungsmoment abhängig von der Armaturen-Steifigkeit nur beim 1,2 bis 1,5-fachen Wert der entsprechenden Abschaltmomentes liegt.

### Spannungsversorgung

#### Kompensation von Netzschwankungen

Eine Armatur benötigt ein bestimmtes mechanisches Drehmoment ermittelt auf der Basis der verfahrenstechnischen Daten. Der Antrieb soll dieses nach Möglichkeit über den gesamten Drehzahlbereich aufbringen. Bei konventionellen elektrischen Stellantrieben ist das Moment an der Abtriebswelle wesentlich von der Eingangsspannung abhängig, da hier der Motor direkt auf das Netz geschaltet wird: „Die Anforderung, die elektrischen Stellantriebe auf kurzzeitige



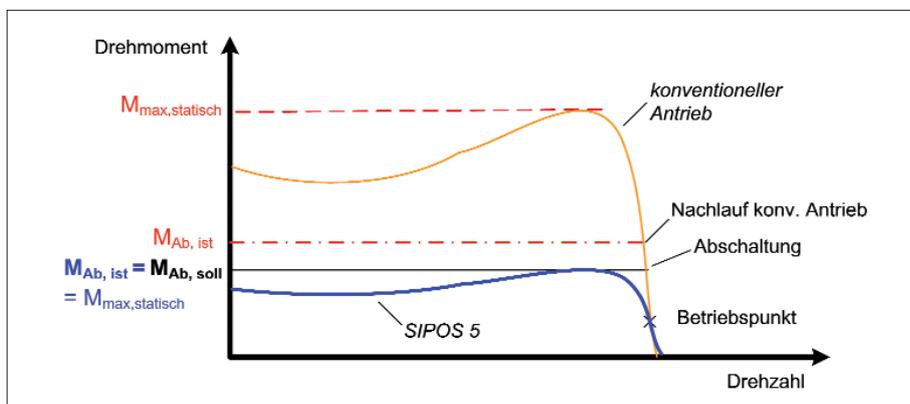
**Bild 4:** Drehmomentabhängige Abschaltung: Kennlinien-Schar beim SIPOS 5

**Fig. 4:** Torque-dependent deactivation: characteristic curve array for the SIPOS 5

Spannungsschwankungen zwischen 80 % bzw. 110 % der Nennspannung auszuliegen, ist in der Kraftwerkstechnik seit Jahren Standard. Beim SIPOS 5 wird durch die Verwendung eines FU die Motorspannung weitgehend unabhängig von der Eingangs-Netzspannung geregelt.

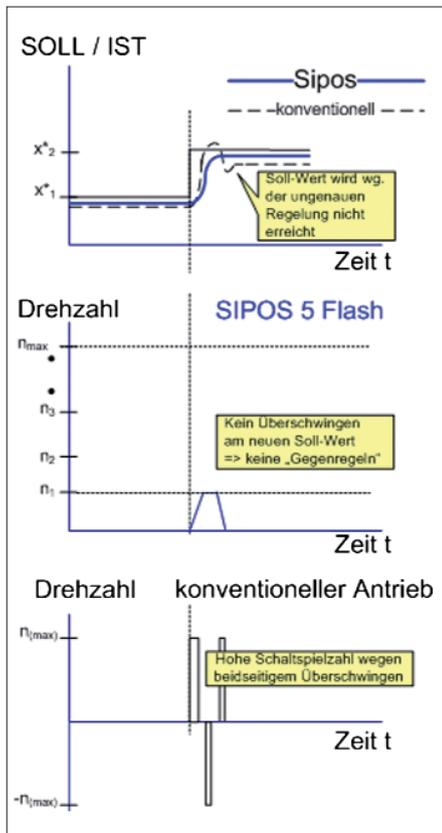
### Überspannung

Die Zwischenkreiskondensatoren  $C_{ZK}$  puffern die über den Standard hinausgehenden Überspannungen ab. Die Elektronik toleriert bis zu +20 % des angegebenen Spannungsbereiches. Bis +30 % werden kurzzeitig akzeptiert. Danach bzw. sofort bei noch höherer Spannung wird beim SIPOS 5 der Motor abgeschaltet. Mögliche Ursachen für Überspannung sind: Netzsynchrosation (im Kraftwerk), Spannungsspitzen im Netz, An- bzw. Ausschalten größerer Verbraucher in der Nähe (Lastwechsel).



**Bild 5:** Abschaltversagen bei SIPOS 5 und konventionellem Stellantrieb

**Fig. 5:** Shutdown behaviour for SIPOS 5 and conventional actuation system



**Bild 6:** Nachführen des Ist-Wertes („Sprungantwort“) beim adaptiven Stellungsregler des SIPOS und beim konventionellen Antrieb. Darunter die jeweiligen Drehzahlverläufe.

**Fig. 6:** Tracking of actual value („jump response“) for SIPOS adaptive positioner and conventional actuator. Plots of speed shown at bottom

### Unterspannung

Hier nutzt der Antrieb die oben erläuterte Spannungsreserve (s. Bild 3, U/f-Kennlinie). Bis zu -25 % sind kurzzeitig möglich. Dabei wird in Abhängigkeit vom Betriebspunkt gegebenenfalls das Laufmoment reduziert. Mögliche Ursachen einer Unterspannung sind zum Beispiel Not-Aggregat, USV, lange Leitungen, Einschalten größerer Verbraucher in der Nähe (Lastwechsel).

### Anlaufstrom kleiner gleich Nennstrom

Im FU des SIPOS 5 Flash werden Drehzahlsprünge in rampenförmige Sollwerte umgewandelt. Der Asynchronmotor wird quasi immer im momentanen Nennpunkt „jenseits des Kippunktes“ betrieben. Damit entfällt das Phänomen „Anlaufstrom“, die Zuleitungen müssen nur auf die Stromaufnahme bei Nennlaufmoment ausgelegt werden. Das

spart Leitungsquerschnitt, aber auch Versorgungsreserve.

## Weitere Vorteile aus der Drehzahlveränderbarkeit

### SIPOS 5-Funktionen

Neben der Möglichkeit aus insgesamt sieben verschiedenen Drehzahlen in passender Abstufung und unterschiedlich für die AUF- und ZU-Richtung sowie für NOT auszuwählen erleichtern folgende (Software-) Funktionen erheblich die Armaturenauslegung:

### Adaptiver Stellungsregler

Der integrierte Stellungsregler des SIPOS 5 Flash ist ein adaptiver Dreipunkt-Regler. Mit der Drehzahlveränderbarkeit ergeben sich folgende Vorteile (**Bild 6**):

- Weniger Schaltspiele, da der SIPOS 5 mit reduzierter Drehzahl verfährt und Überschwinger um den angesteuerten neuen Sollwert praktisch ausgeschlossen sind. SOLL-IST-Differenzen korrigiert auch der konventionelle Antrieb. Oft kommt es aber wegen der fest eingestellten Drehzahl zu Überschwingern mit unerwünschten Schaltspielen.

- Höhere Regelgenauigkeit, da in der Nähe des Sollwertes nur mit niedrigster Drehzahl verfahren wird. Standard-Antriebe mit fester Drehzahl können feinste Positionsänderungen mitunter gar nicht ausregeln.

Der adaptive Stellungsregler hat beim SIPOS 5-Stellantrieb eine zentrale Rolle

und wird daher in zahllosen Anwendungen verschiedenster Art eingesetzt.

## Unterschiedliche Drehzahlen/ Stellzeiten im Weg

Ausführliche Beschreibungen der SIPOS 5-Funktionen sind in [1] oder [2]).

### Wegabhängig Drehzahleinstellung

Mit dieser schon länger verfügbaren Funktion wird aus insgesamt sieben verschiedenen Drehzahlen der Verlauf der Antriebsgeschwindigkeit wegabhängig an bis zu zehn Stützpunkten festgelegt.

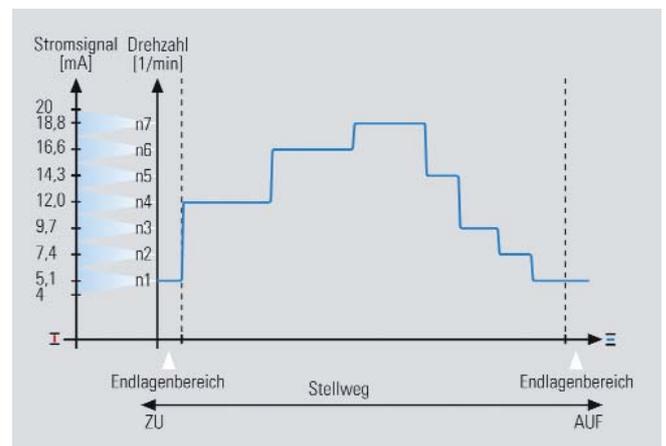
### Weg-Stellzeit-Funktion

Die Auslegung erfolgt üblicherweise in Stellzeiten. Beim SIPOS können daher mit bis zu zehn Wertepaaren (Position; Stellzeit) die am Prozess angelegten erforderlichen Stellzeiten direkt eingestellt werden – ohne Umrechnungen in den bekannten Größen Wegposition/ Wunschstellzeit.

Mit dieser wegabhängigen Drehzahlveränderbarkeit wird insbesondere die *Linearisierung von Ventilkennlinien* angestrebt.

### Wasserschläge/Kavitation vermeiden

Langsam Anfahren, erst Druckdifferenzen ausgleichen und dann mit höherer Drehzahl an die definierte Armaturenstellung fahren, schließlich wieder mit niedriger Drehzahl in die Endlage. Die beiden SIPOS 5-Funktion *Wegabhängige Drehzahleinstellung* oder *Weg-Stell-*



**Bild 7:** Beispiel für Verlauf der Funktion „Analoge Drehzahlvorgabe“

**Fig. 7:** Specimen plot of "analog speed specification"

zeitfunktion gehören zur Standard-Anwendung in Kraftwerken oder Wasseranlagen.

## Analoge Drehzahlvorgabe – Reagieren auf Prozessänderungen

Da zunehmend genauere Prozesse mit verbesserten Regeleigenschaften gefordert werden, muss auch der Stellantrieb immer feinfühlicher auf kleinere Veränderungen reagieren. Über die analoge Drehzahlvorgabe kann mit dem SIPOS 5 Flash PROFITRON ohne Umparametrierung im Betrieb mit unterschiedlichen Drehzahlen verfahren werden. Die Vorgabe erfolgt über ein 0/4 ... 20-mA-Signal am zweiten Analogeingang des Antriebs. Geringe Abweichungen werden mit niedrigen Drehzahlen korrigiert, während die schnelle Reaktion auf gro-

ße Regelabweichungen hohe Drehzahlen erfordert (**Bild 7**).

Die Regelung des Dampfdruckes in der Fernwärmeversorgung gehört beispielsweise zu den Standardanwendungen dieser SIPOS-Funktion.

## Schlussbemerkung

Die Vorteile einer beim SIPOS 5 auf Frequenzumrichtertechnik basierenden Drehzahlveränderbarkeit liegen auf der Hand: Bei Inbetriebnahme von Antrieb und Armatur, dem eigentlichen Betrieb oder Prozessoptimierungen. Aber nicht erst im praktischen Betrieb, sondern schon weit im Vorfeld, bei Planung und Auslegung punktet der SIPOS 5 gegenüber konventionellen Stellantrieben: Die Festlegung der Art der Armaturen und des Drehmomentes bzw. Schubkraft ge-

nügen. Auch ohne die genaue Bestimmung weiterer Antriebskenngrößen, wie eben der Abtriebsdrehzahl, kann ein Antrieb ausgelegt, eingeplant und bestellt werden.

## Literaturhinweise

- [1] Rebhan, M.; Nölp, G.: Vorteile der Drehzahlveränderbarkeit bei Stell- und Regelantrieben. Industriearmaturen, Heft 1/2005, März
- [2] Kögel, O.: Drehzahlveränderliche Stellantriebe in der Praxis. Industriearmaturen, Heft 3/2005, September



### Ottmar Kögel

Produktmanagement  
SIPOS Aktorik GmbH  
Tel. (ab 1.1.2008):  
09187 9227-5121  
ottmar.koegel@sipos.de