



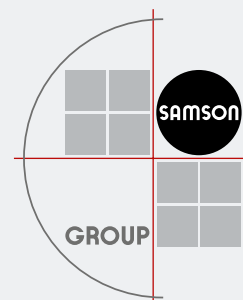
## ■ SONDERDRUCK

Stellventile mit sehr schneller  
und präziser Stellungsregelung



Verfasser:  
Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer  
Ulrich Schulz  
Uwe Vogel

Sonderdruck aus  
„Industriearmaturen“  
Heft 2/2006 · Mai





## Stellventile mit sehr schneller und präziser Stellungsregelung

Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer, Direktor Entwicklungsplanung und -logistik, SAMSON AG

Ulrich Schulz, Entwicklung Pneumatik, SAMSON AG

Uwe Vogel, Leiter Produktabteilung Stellgeräte/Pneumatik, SAMSON AG

Verfahrenstechnische Prozesse wie der Parex-Prozess™ im petrochemischen Bereich oder Verdichterbypass-Regelungen im Energiebereich stellen erhebliche Anforderungen an Stellventile. Einerseits müssen große Hubänderungen von einem Stellventil mit z. T. großen pneumatischen Antrieben in sehr kurzer Zeit bewältigt werden, andererseits sind auch möglichst kleine Hubänderungen ohne Überschwingen regelungstechnisch umzusetzen. Für diese Prozesse wurde eine neuartige pneumatische Schaltung mit Luftleistungsverstärkern und einem hochpräzisen und dynamischen digitalen Stellungsregler verwendet, die zu einem hervorragenden Regelverhalten solcher Stellventile führt.

### Control valves with extremely fast and precise positioning control loop

Industrial processes, such as the Parex™ process in the petrochemical sector or compressor bypass control in the energy sector, place formidable demands on control valves. Valves, some of which fitted with large pneumatic actuators, need to make long strokes very quickly, while they must also be able to handle small stroking movements without overshooting. A new kind of pneumatic valve hook-up with volume boosters and a highly accurate, dynamic digital positioner has been engineered to meet the requirements for these types of processes, providing the valve with excellent control characteristics.

## 1. Typische verfahrenstechnische Prozesse

### Parex-Prozess™

Der Parex-Prozess™ [1] dient zur Anreicherung von Para-Xylen, einem Grundstoff für die Polyester- oder Farbstoff-Herstellung, aus einem Xylen-Gemisch. Die Trennung durch eine Destillation ist schwierig, da die Siedepunkte der Xylen-Isomere sehr dicht zusammen liegen. Der von UOP entwickelte Parex-Prozess™ stellt quasi einen Fließbett-Adsorber mit einem kontinuierlichen Gegenstrom des Xylen-Gemisches dar. Feed und Produkt strömen kontinuierlich über das Adsorber-Bett und erhöhen die Para-Xylen Ausbeute auf über 97 %.

Eine typische Anlage besteht aus 24 Adsorber-Böden, die über ein sogenanntes „rotary valve“, eine Art Umschaltventil, abwechselnd angesteuert werden. Nach jedem Umschaltvorgang sorgen zwei pneumatische Stellventile für die Druck- bzw. Durchflussregelung der Stoffströme. Da die Umschaltvorgänge sehr schnell sind, ist es wichtig, dass die Stellventile sofort und ohne Überschwingen auf die geänderten Betriebsbedingungen

reagieren. Ein gutes Regelverhalten der sogenannten Push- und pump-around-Ventile ist direkt mit einer Erhöhung der Produktausbeute verbunden. Neben dem Parex-Prozess™ gibt es eine Reihe weiterer Adsorptionsprozesse im Bereich von petrochemischen Anlagen, die ähnliche Anforderungen an die Stellventile stellen.

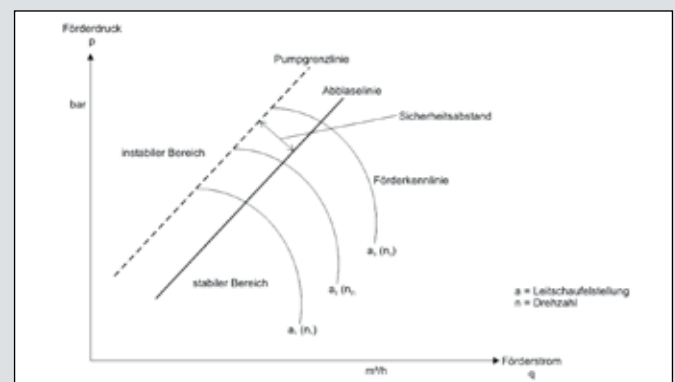


Bild 1: Typisches Druck-Durchflusskennfeld eines Turbinenverdichters





Bild 3: Stellventil mit großem pneumatischen Antrieb und einem digitalen Stellungsregler (SAMSON Typ 3730-3 Expert\*) für Parex™-Prozess-Anwendung

Diese Verschaltung hat jedoch den Nachteil, dass sich die erforderlichen Stellzeiten nur mit einem starken Überschwinger erzielen lassen. Weiterhin weisen einfache Verschaltungen mit Stellungsregler und Volumenverstärker ein schlechtes Klein-Signalverhalten auf, so dass sich kleine Sollwertänderungen nur unzureichend ausregeln lassen.

## 2. Auslegung und Auswahl der Stellventile

Für alle Prozesse sind die Stellventile zunächst sehr sorgfältig für die vorgegebenen Prozessdaten mit den üblichen Auslegungsverfahren (gemäß IEC 60534) auszulegen (Bild 2, Seite 1). Bezüglich des dynamischen Stellverhaltens sind z. B. für eine konkrete Anlage mit einem Parex-Prozess™ folgende Grenzwerte zu erfüllen:

- Kriterien für das Sprungantwortverhalten: Bei Sprüngen zwischen 5 und 50 % in beiden Richtungen über den ganzen Stellbereich von 0 bis 100 % darf die Antwortzeit inklusive Totzeit maximal zwei Sekunden betragen und es darf kein „Overshoot“ (Überschwinger) auftreten.
- Kriterien für das Regelverhalten: Im normalen Automatikbetrieb soll das Stellventil selbst bei kleinen Signalände-

rungen auf den Eingang des Stellungsreglers innerhalb von 10 Sekunden antworten.

- Die Schließ- und Öffnungszeiten für den gesamten Stellbereich des Stellventils dürfen maximal zwei Sekunden betragen.

Diese Anforderungen sind nur mit einer speziellen pneumatischen Verschaltung des Stellungsreglers und der hier benötigten Luftleistungsverstärker möglich, welche im Folgenden beschrieben werden. Bei der Auslegung sollte eine Vorauswahl der Anzahl der notwendigen Luftleistungsverstärker zum Erreichen der geforderten Zeiten möglich sein (Bild 2, Seite 2).

## 3. Engineering und konstruktive Ausführung des Stellventils

Der Stellungsregler beinhaltet einen dem Hauptregelkreis des Prozesses unterlagerten Regelkreis zum präzisen und schnellen Stellen der Öffnung des Stellventils im Bereich von 0 bis 100 %. Der Sollwert für diesen Regelkreis wird von dem Hauptregelkreis des Prozessleitsystems zur Regelung von Prozessgrößen wie Druck, Temperatur, Durchfluss oder Behälterfüllstand vorgegeben.

Zum Stellen der Ventilöffnung benötigt der elektropneumatische Stellungsregler elektrische Hilfsenergie, ein elektrisches Sollwertsignal (4 bis 20 mA oder Bussignal) und pneumatische Hilfsenergie in Form eines möglichst konstanten Luftversorgungsdruckes. Je nach Regelabweichung belüftet oder entlüftet der Stellungsregler die Membrankammer des pneumatischen

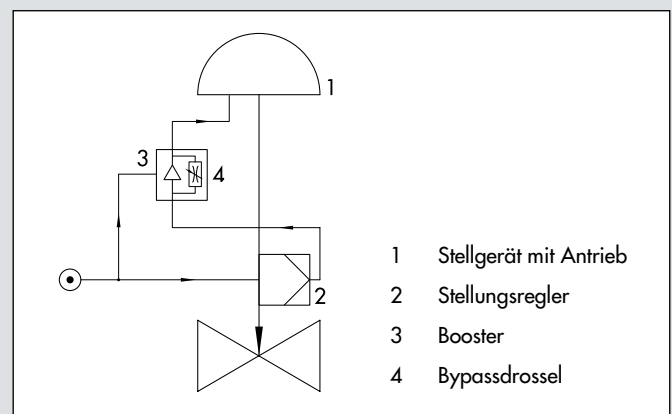


Bild 4: Stellgerät mit Luftleistungsverstärker



Bild 5: Ventil aus Bild 3 in der Anlage (im Vordergrund neuartige pneumatische Verschaltung)

Antriebes, der meist mit einer oder mehreren Federn auf der anderen Membranseite zur Ermöglichung der Sicherheitsstellung ausgerüstet ist. Je nach Luftleistung des Stellungsreglers verändert sich die Stellgeschwindigkeit.

Bei größeren Stellventilnennweiten ( $> 4''$ ) und den daraus resultierenden höheren Strömungskräften am Kegel sind folglich auch Antriebe mit größeren Wirkflächen (wie z. B. 1400 oder 2800 cm<sup>2</sup>) bei gleichzeitig größeren Nennhüben (z. B. 120 mm) einzusetzen (Bild 3). Dadurch sind die zu befüllenden oder entlüftenden Volumina im Antrieb verhältnismäßig groß, und die Stellgeschwindigkeit reduziert sich erheblich.

Hierzu werden sogenannte Luftleistungsverstärker (Booster) mit dem Stellungsregler kombiniert (Bild 4). Der Stellungsregler erhöht oder reduziert den Luftdruck auf die Eingangsmembran des Luftleistungsverstärkers nun so, dass dieser den eigentlichen Antrieb mit größeren Durchlassquerschnitten be- oder entlüftet, wenn Regelabweichungen vorliegen.

Ein solcher Luftleistungsverstärker (Booster) besitzt in der Regel eine einstellbare Bypassdrossel, um den Stellungsregelkreis zu stabilisieren. Bei geschlossener Bypassdrossel erhöht oder reduziert der Stellungsregler den Luftdruck auf der Regelmembran des Boosters, der dementsprechend den pneumatischen

Antrieb be- oder entlüftet. Über die Rückführung der Ventilstellung zum Stellungsregler ändert der Stellungsregler sein pneumatisches Ausgangssignal solange, bis die Regelabweichung gegen 0 geht. Wie bei allen Regelkreisen kann es wegen der hohen Luftleistung des Boosters zu einer instabilen Regelung kommen.

Daher wird die Bypassdrossel in der Regel geöffnet. Bei kleinen Regelabweichungen arbeitet der Stellungsregler mit sehr kleiner Luftlieferung und die erzeugten Luftströme fließen am Booster vorbei, der damit auch wegen seiner natürlichen Hysterese nicht anspricht. Der Antrieb wird dann vom Stellungsregler direkt bis zur Ausregelung je nach Regelabweichungsvorzeichen be- oder entlüftet. Die Bypassdrosselstellung bestimmt die Höhe des Sollwertsignaländerungsbereiches, in der der Booster nicht arbeitet. In diesem Bereich können dann die Reaktionszeiten auf Sollwertsignaländerungen zu lang sein. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Öffnungsgeschwindigkeit bei großen Sollwertsignaländerungen (z. B. 0 auf 100 %) abnimmt, wenn die Bypassdrossel zu weit geöffnet wird.

Es handelt sich also um eine problematische Einstellung, da das Optimum zwischen Instabilität und ausreichend kleiner und schnell reduzierter Regelabweichung in der Praxis meist nur aufwändig zu ermitteln ist.

Die im Folgenden beschriebene, neue pneumatische Schaltung (Bild 5) ermöglicht hier im Zusammenspiel mit einem digitalen Stellungsregler eine deutliche Verbesserung des dynamischen Regelverhaltens.

Für größere Signaländerungen beim Sollwert arbeitet diese pneumatische Schaltung mit einem Vorsteuer- und Hauptbooster. Alle Booster sind mit einer Bypassdrossel ausgerüstet.

Der Vorsteuerbooster besitzt eine deutlich größere Luftleistung als der Stellungsregler, sie ist aber deutlich kleiner als die Luftleistung des Hauptboosters. Dadurch lässt der Stellungsregler zusammen mit dem Vorsteuerbooster den Hauptbooster zur Be- oder Entlüftung des Antriebs schneller ansprechen. Die Bypassdrosseln können nun weiter geöffnet werden, was eine hohe Stabilität des Regelkreises bei hoher Regelgenauigkeit und ohne ausgeprägtes Überschwingverhalten bewirkt.



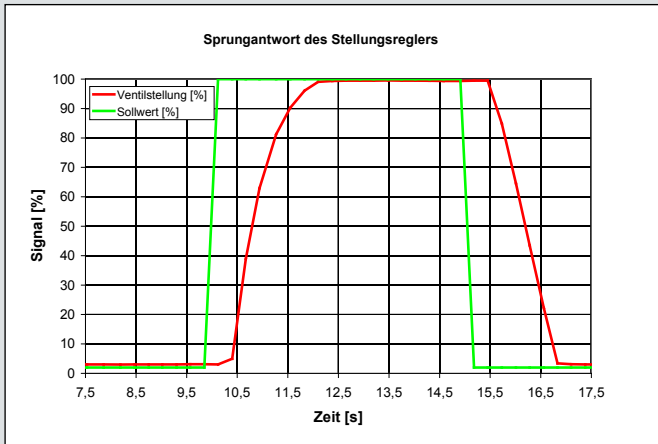


Bild 6: Öffnungs- und Schließverhalten mit Zeiten von ca. 2 sec

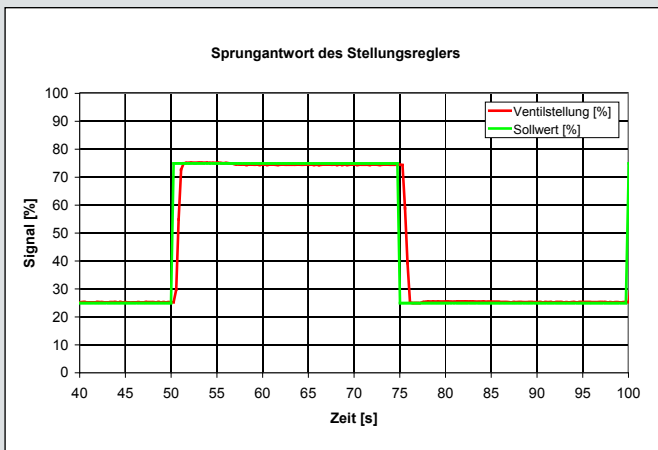


Bild 7: Sprungantwortverhalten bei 50 % Sprüngen (Antwortzeit < 2 sec)

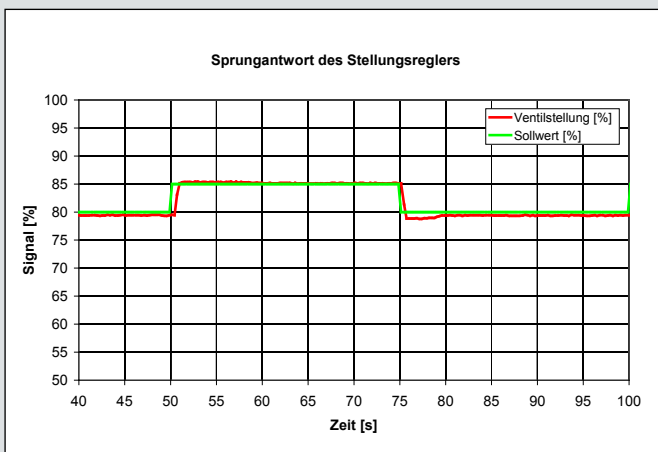


Bild 8: Sprungantwortverhalten bei 5 % Sprüngen (Antwortzeit < 2 sec)

Für sehr kleine Signaländerungen unter  $\pm 2\%$  kommt man aber auch hier an die Grenzen, was die Schnelligkeit angeht. Abhilfe schafft ein zusätzlicher parallel zum Hauptstrang angeordneter zweiter Bypassbooster. Bei kleinen Signaländerungen sprechen die Booster im Hauptstrang nicht an, und der Stellungsregler übernimmt zusammen nur mit dem Bypassbooster die Regelung.

Es wird mit dieser neuartigen Schaltung aus digitalem Stellungsregler, Bypassbooster sowie Vorsteuer- und Hauptbooster ein Stellungsregelverhalten bei einem Ventil mit großem pneumatischen Antrieb erreicht, was durch sehr hohe Dynamik mit kleinen Antwortzeiten, hohe Regelgenauigkeit und große Auflösung von kleinen Sollwertänderungen gekennzeichnet ist. Dies verdeutlichen die Diagramme in den Bildern 6 bis 9.

#### 4. Sehr gute dynamische Stellperformance im laufenden Prozessbetrieb

Die Hauptaufgabe des digitalen Stellungsreglers ist natürlich die schnelle und präzise Stellungsregelung gemäß den Anforderungen und die optimale, selbsttätige Einstellung der richtigen Regelparameter im Zusammenspiel mit der komplexen neuartigen pneumatischen Verschaltung mit den Luftleistungsverstärkern. Bei den betrachteten Anlagen wurde der in [3] vorgestellte digitale Stellungsregler eingesetzt, der sich durch die sehr vorteilhafte Kombination aus digitalen und analogen Komponenten bei der Signalverarbeitung als Vorstufe des internen

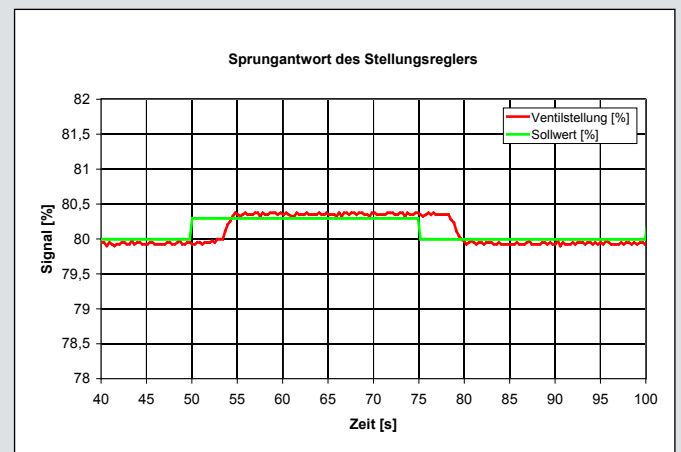


Bild 9: Sprungantwortverhalten bei 0,3 % Sprüngen (Antwortzeit < 5 sec)

pneumatischen Luftleistungsverstärkers auszeichnet. Dieser Stellungsregler hat sozusagen den „Control loop performance tuner“ on-board und braucht für die optimale Anpassung an das pneumatische System keine externe Software wie bei anderen Herstellern. Damit ist auch für den Instandhalter die Wiederinbetriebnahme nach eventuellen Wartungs- oder Reparaturarbeiten ohne großen Aufwand in kurzer Zeit möglich.

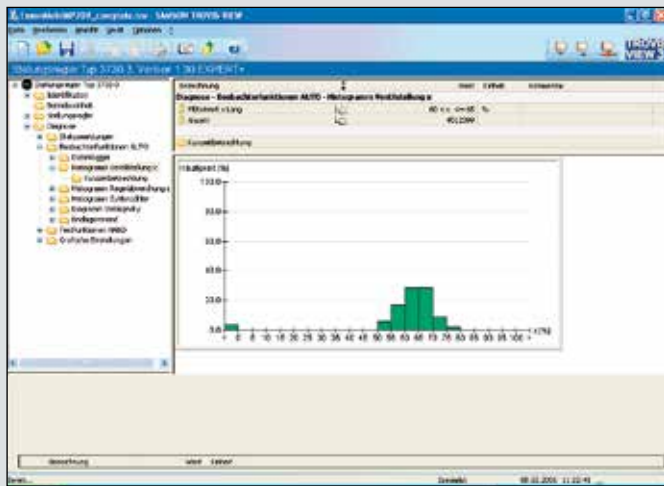


Bild 10: Information über Langzeit-Arbeitsbereich von 50 bis 80 % des Stellventils (On-board-Diagnoseinformation aus digitalem Stellungsregler)

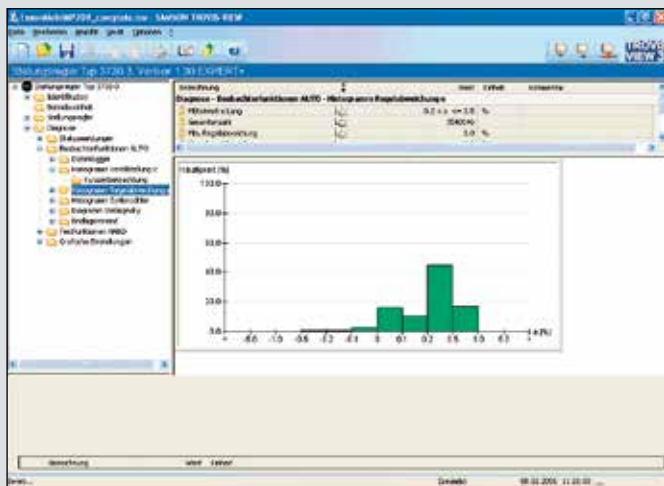


Bild 11: Information über Langzeit-Regelgenauigkeit mit typischen Werten zwischen 0,2 und 0,5 % (On-board-Diagnoseinformation aus digitalem Stellungsregler)

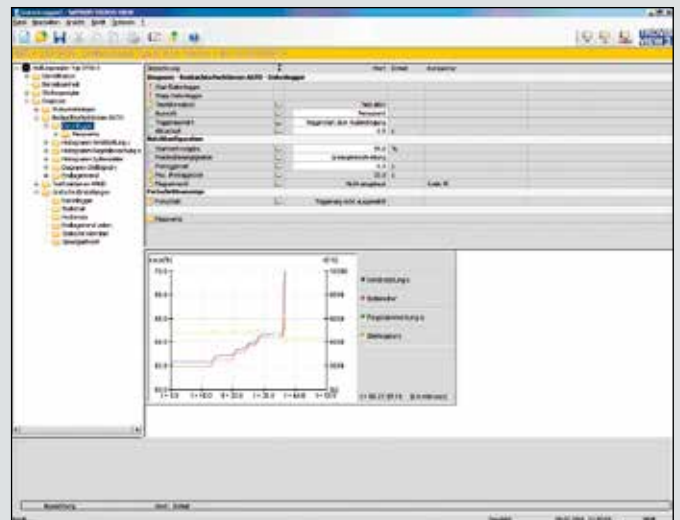
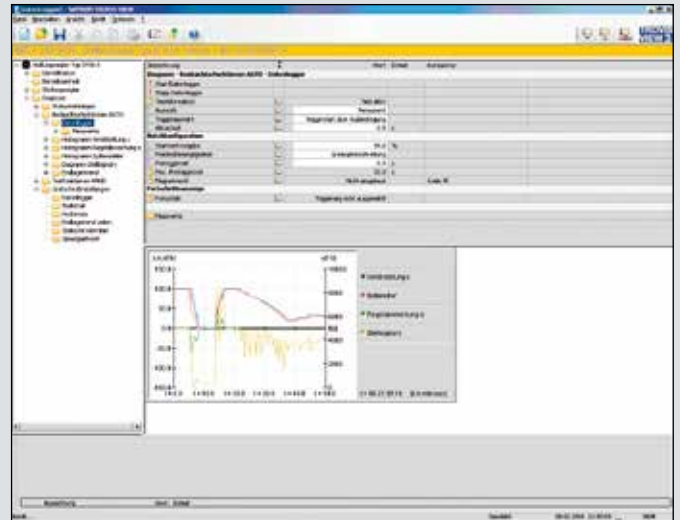


Bild 12: Momentaufnahmen des permanenten Datenloggers

Zusätzlich nutzen die Kunden bei diesem Stellungsregler auch die erweiterten On-board- und On-line-Diagnosemöglichkeiten, die er „nebenbei“ im laufenden Betrieb bereitstellt [3].

Wichtige Informationen erhielt man durch die im Stellungsregler gespeicherten Histogramme für die Ventilstellung (Stellarbeitsbereich, Bild 10) und die stationäre Regelgenauigkeit (Bild 11). Es zeigt sich, dass die stationäre Regelgenauigkeit sehr gute Werte zwischen 0,2 und 0,5 % im Mittel aufweist.



Der permanente On-line-Datenlogger im Stellungsregler wurde verwendet, um die sehr gute dynamische Stellperformance im laufenden Prozessbetrieb zu dokumentieren und zu analysieren (Bilder 12a und b). Man erkennt das sehr gute Stellverhalten auch im Anlagenbetrieb.

Im Off-line-Betrieb kann der Stellungsregler selbst sein Sprungantwortverhalten wie in den Bildern 6 bis 9 aufnehmen.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Mit der vorgestellten pneumatischen Verschaltung aus einem hochpräzisen, schnellen digitalen Stellungsregler und der neuartigen Anordnung von diversen Luftleistungsverstärkern lassen sich Stellventile in regelungstechnisch anspruchsvollen Anwendungen, wie z. B. Parex™-Anlagen oder Verdichter-Bypass-Regelungen, bei hoher Stellgeschwindigkeit sowohl bei großen als auch bei kleinen Signaländerungen mit hoher Präzision regeln. Ein Anwender<sup>1</sup> rüstete zwei bestehende Ventile in einer Anlage mit einer entsprechenden Verschaltung aus und sagte nach dem Wiederanfahren der Anlage: „Die Inbetriebnahme der OLEX-Anlage war und ist sehr erfolgreich gewesen. Es hat auf Anhieb so funktioniert wie ich es mir vorgestellt hatte. Es hat sogar den ursprünglichen Differenzdruck der Adsorber um 0,5 bar, also von 3,5 bar(ü) (Problem) auf 3,0 bar(ü) herabgesetzt!“

<sup>1</sup>Wolfgang Brans von SASOL Moers

### Literatur:

- [1] UOP-Parex-Prozess™: <http://www.uop.com>, Process Technology and Equipment, UOP 4217-9
- [2] Breckner, K., Schäden vermeiden durch Pumpgrenzregelung bei Turboverdichtern, Chemie Anlagen und Verfahren cav 2/97
- [3] Kiesbauer, J.: Neues, integriertes Diagnosekonzept bei digitalen Stellungsreglern. atp – Automatisierungstechnische Praxis 46 (2004), H. 4, S. 40–48



Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer  
Direktor Entwicklungsplanung und -logistik  
SAMSON AG, Frankfurt am Main  
Telefon: 069 4009-1464  
E-Mail: drjkiesbauer@samson.de



Ulrich Schulz  
Entwicklung Pneumatik  
SAMSON AG, Frankfurt am Main  
Telefon: 069 4009-1663  
E-Mail: uschulz@samson.de



Uwe Vogel  
Leiter Produktabteilung Stellgeräte/Pneumatik  
SAMSON AG, Frankfurt am Main  
Telefon: 069 4009-1223  
E-Mail: uvogel@samson.de





# Innovation aus Tradition



SAMSON AG · MESS- UND REGELTECHNIK · Weismüllerstraße 3 · 60314 Frankfurt am Main  
Telefon: 069 4009-0 · Telefax: 069 4009-1507 · E-Mail: [samson@samson.de](mailto:samson@samson.de) · Internet: [www.samson.de](http://www.samson.de)  
SAMSON GROUP · [www.samsongroup.net](http://www.samsongroup.net)