

# Schneller formen

## Positions- und Druckregelung einer hydraulischen Pressachse

Im Frühjahr des vergangenen Jahres erteilte die Universität Kassel der Gottfried Joos Maschinenfabrik (Joos), Pfalzengrafenweiler, den Auftrag, eine Laborpresse für das Institut für Werkstofftechnik zu konstruieren. Sie entstand in enger Zusammenarbeit mit der TR-Systemtechnik, Trosingen.

►►► Zu den Vorgaben: Das Schließen der Presse sollte mit einer Genauigkeit von plus/minus 0,1 Millimeter absolut und einer Schnellhubgeschwindigkeit von mindestens 40 Millimeter pro Sekunde erfolgen, um ein übermäßiges Abkühlen des vorgewärmten Pressgutes beim Überführen in die Pressstellung zu vermeiden. Anschließend sollten die Werkstücke mit ei-

ner stufenlos einstellbaren Kraft von maximal 800 Kilonewton und einer Genauigkeit von plus/minus einem bar gepresst werden.

Berücksichtigt werden musste zudem, dass sich die Presse während des Pressvorganges aufgrund der Werkstückverformung mit einer Hubgeschwindigkeit von bis zu 15 Millimeter pro Sekunde bewegt.

Die Vorgaben engten die Auswahl beim Konstruktionsprinzip ein: Die Einheit musste positions- und druckregelt betrieben werden und außerdem der Wechsel zwischen beiden Regelungsarten schlagfrei erfolgen, da während des Umschaltens von der einen in die andere Betriebsart (etwa von der Positionierung zum Pressen) kein Stoß auf das Werkstück erfolgen durfte. Zudem sollte die Bauhöhe der Presse möglichst gering ausfallen.

Da einerseits die Stärke von Joos im Bereich der Entwicklung und Fertigung gesteuerter Pressen liegt, und andererseits gesteuerte und geregelte Lösungen konzeptionell erhebliche Unterschiede aufweisen, griff das Unternehmen auf ein Angebot der TR-Systemtechnik zurück die Auslegung der hydraulischen Pressachse und die zugehörige Regelung mithilfe des Auslegungsprogramms Control Packages ‚hyTRax‘ zu realisieren.

### Industrie-PC als Steuerung

Bei der zu regelnden Achse handelte es sich um einen doppelwirkenden Differentialzylinder mit 500 Millimeter Hub und integriertem Weg- und Druckmess-System (Bild 2). Die Ausführung der hydraulischen Komponenten war im Rahmen der gesetzten Vorgaben ‚frei parametrierbar‘. Joos sah den Einsatz eines Zylinders mit 180 Millimeter Kolbendurchmesser vor.

Für die Steuerung sollte ein Siemens Industrie-PC Verwendung finden, der per Profibus-DP und S7-Funktionsbausteine mit den untergeordneten Komponenten kommunizieren würde.

Mit Hilfe des ‚hyTRax‘ wurden sodann in einem ersten Schritt die Mindestanforderungen an die hydraulischen Komponenten bestimmt. So – aufgrund der geforderten aufzubringenden Kraft, erforderlichen Geschwindigkeit und des geplanten Systemdrucks oder Kolbendurchmessers – erste Richtwerte zur Dimensionierung der hydraulischen Achse. Auf dieser Grundla-



Bild 1: Laborpresse für die UNI Kassel: ‚Neuland‘ für Joos und TR-Systemtechnik.

ge erfolgte gemeinsam mit Joos eine Grobdimensionierung der hydraulischen Komponenten. Im darauf folgenden Schritt wurde die hydraulische Achse virtuell aufgebaut.

Dabei gab es unter anderem zu berücksichtigen: konstruktive Daten des Zylinders, Totvolumina in den Zuleitungen, Nenndaten des Ventils sowie Anforderungen an das Aggregat. Die stationären Kennlinienfelder wurden ebenfalls anhand des ‚hyTRax‘-Auslegungsprogramms automatisch erstellt.

In Bild 4 ist dafür beispielhaft die sich stationär einstellende Geschwindigkeit in Abhängigkeit des angreifenden Lastdruck und dem Ventilöffnungsgrad dargestellt. Die senkrechten, gelben Linien markieren den geforderten Arbeitsbereich des Hydrauliksystems.

Neben den stationären Kennlinienfel-

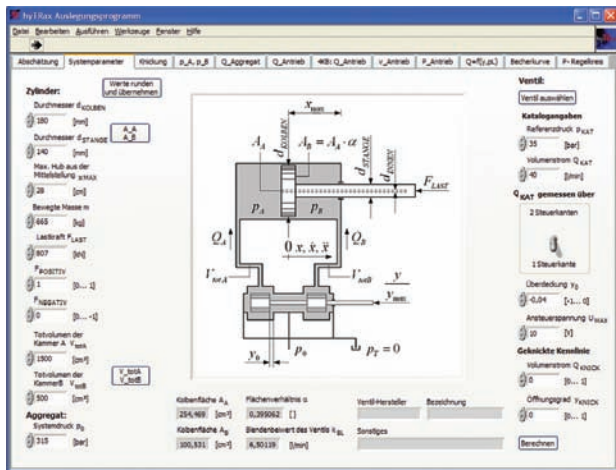
dern ist die so genannte Becherkurve eine weitere wichtige Kennlinie der Servohydraulik, siehe Bild 5. Denn um bei einer digitalen Regelung zu jedem Zeitpunkt jeden Zustand des Systems erfassen und kontrollieren zu können, muss die höchste Eigenfrequenz des Systems berücksichtigt werden. Diese lässt sich mithilfe der Becherkurve bestimmen, bei der die Eigenfrequenzen des Hydraulikzylinders über dem (normierten) Kolbenhub aufgetragen sind. Entsprechend dieser Eigenfrequenz wird die Mindestanforderung an die Abtastzeit der Regelung bestimmt.

**Digitale Simulation**

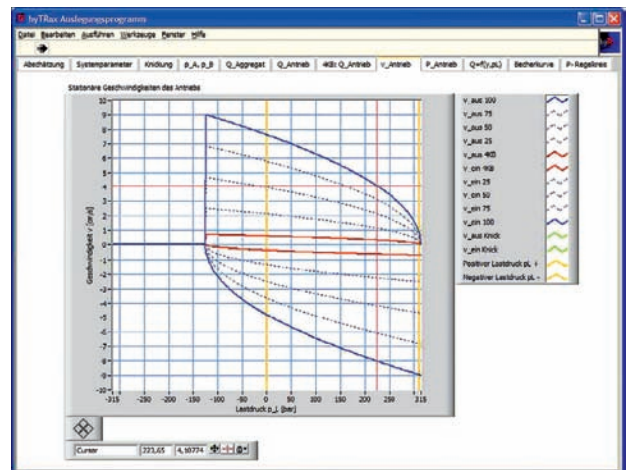
Im letzten Schritt der Systemauslegung wurde die virtuelle Hydraulikachse mit einem rein proportionalen Regleranteil zum Positionsregelkreis geschlossen. Sprungantwort (blau) und Geschwindigkeits-

sprungantwort des offenen Regelkreises (rot) sind in Bild 6 darstellt. Die sich ergebenden regelungstechnischen Kenngrößen wie Schleppfehler, Nachgiebigkeit, Geschwindigkeits- und Kreisverstärkung sind wichtige Anhaltspunkte zur Beurteilung der schließlich erreichbaren Leistungsdaten. Sollen zu einem späteren Zeitpunkt höherwertige Regelalgorithmen (Kaskade, Zustandsregler, Trajektorienregler, etc.) zum Einsatz kommen, kann die Dynamik des Gesamtsystems gegenüber den mit einem P-Regler erreichbaren Werten nicht um ein Vielfaches angehoben werden. Der einfache P-Regler liefert somit erste, wichtige Anhaltswerte zur Regelbarkeit der untersuchten Systemkonfiguration.

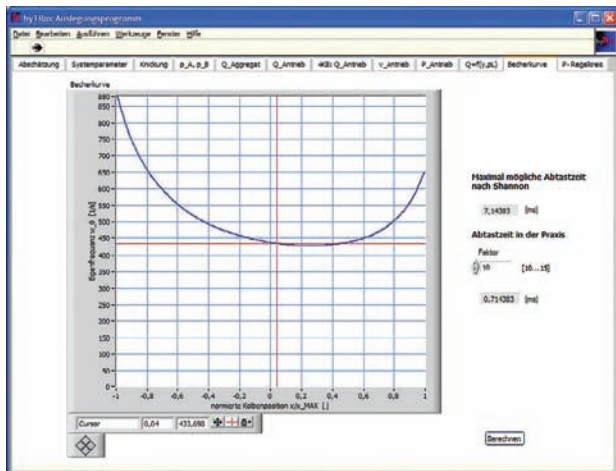
Da die rechnergestützte Vordimensionierung Erfolg für eine versprechende Konstellation versprach, wurde mit den er-



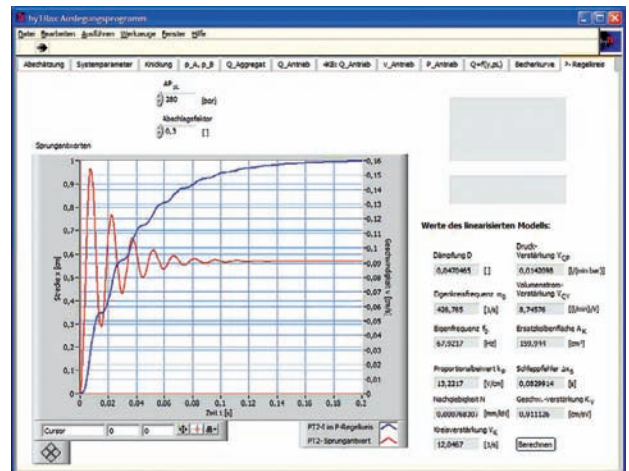
**Bild 3: Screenshot des ‚hyTRax‘-Auslegungsprogramms: Systemparameter der virtuell aufgebauten Hydraulikachse.**



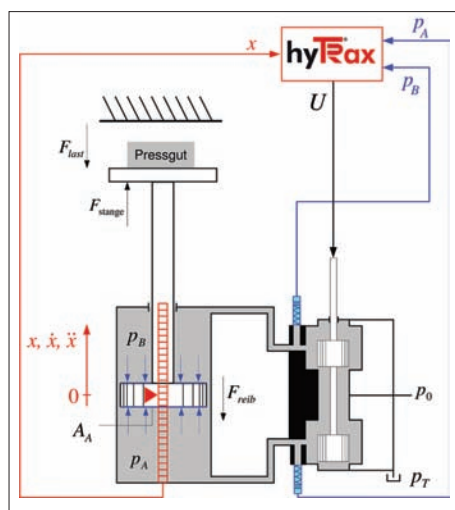
**Bild 4: Stationäres Kennfeld der Hydraulikachse: Die senkrechten gelben Linien markieren den Arbeitsbereich.**



**Bild 5: Becherkurve des Hydraulikantriebs: dient zur Ermittlung der höchsten Eigenfrequenz.**



**Bild 6: Kenndaten der virtuellen Achse: Sprungantwort (blau) und Geschwindigkeitssprungantwort des offenen Regelkreises (rot).**



**Bild 2: Prinzipieller Aufbau der Presse: unter anderem doppelwirkender Differentialzylinder als zu regelnde Achse.**

mittelten Leistungsdaten und ausgewählten Komponenten eine digitale Simulation der hydraulischen Presse aufgebaut.

Für eine solche Simulation stehen fertige Module zur Verfügung, die einfache Anpassung an die konkrete Applikation erlauben – solange es sich um Standardfälle handelt. Bei spezielleren Konstellationen müssen Teile der Simulationsmodule weitergehenden Modifikationen unterworfen oder gar neu programmiert werden.

Mit dieser digitalen Simulation können auch sämtliche signifikanten nichtlinearen Einflüsse berücksichtigt und die geforder-

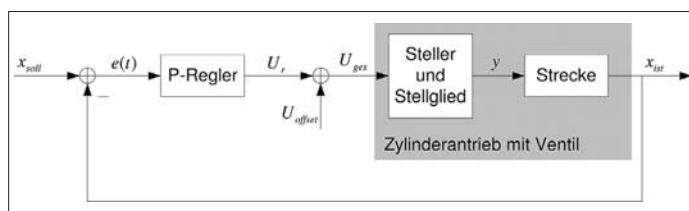
## Hydraulischer Antrieb fährt mit hoher Geschwindigkeit in die Nähe des Werkstücks

ten Lastzyklen virtuell durchfahren werden. In dieser Auslegungsphase werden die Regler der Lage- und Druckregelung konkret definiert und vorparametriert. So auch beim Projekt der Laborpresse.

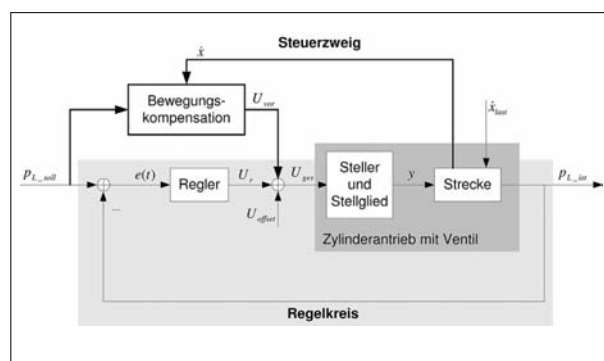
In den Fällen, bei denen systembedingte Begrenzungen zu Abweichungen zwischen Vorsteuermodell und realem Antrieb führen, erkennt diese ein spezieller Vorfilter. Er vermag sodann automatisch den nominalen Führungssignalverlauf so zu korrigieren, dass eine Kollision mit den Begrenzungen vermieden wird. Auch diese Entwicklung stammt von der TRSystemtechnik.

Simuliert wurden die Regelkreise als Abtastsysteme – unter Berücksichtigung aller relevanten Nichtlinearitäten sowie

**Bild 7: Einfacher P-Regler im Wegregelkreis: plus/minus 0,1 Millimeter bei der absoluten Positionierung.**



**Bild 8: Prinzipieller Aufbau des Druckregelkonzepts: PI-Regler optimiert das Führungsverhalten.**



der speziellen Ventildynamik. Das Führungs- und Störverhalten der kompletten hydraulischen Presse im geschlossenen Regelkreis wurde ebenfalls simuliert – anhand konkreter von Joos definierter Arbeitszyklen. Derart konnte das System vor dem realen Aufbau getestet werden.

Für den Wegregelkreis erwies sich die Verwendung eines einfachen P-Reglers als ausreichend (siehe Bild 7), da er die geforderte Genauigkeit von plus/minus 0,1 Millimeter für die absolute Positionierung erreichte.

Für den Fall eines sich ergebenden zusätzlichen Regelfehlers aufgrund eines be-

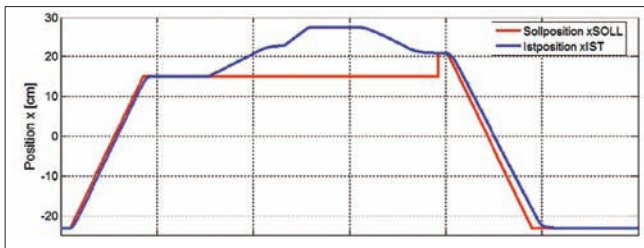
niger als einer Sekunde ausgeregelt wurden, so dass die geforderte stationäre Genauigkeit von plus/minus einem bar einzuhalten war. Die Amplitude des Störsignals wurde in der Simulation in Absprache mit Joos bewusst sehr hoch angesetzt, dennoch wurden sehr gute Regelergebnisse erreicht.

Abbildung 9 enthält eine Teildarstellung des Simulationsergebnisses für einen Pressenzyklus. Der gesamte Ablauf stellt sich wie folgt dar: Zu Beginn fährt der hydraulische Antrieb mit hoher Geschwindigkeit in die Nähe des Werkstückes und setzt positionsgeregelt auf dieses auf (Umschalt-Flanke auf Null).

### Umschalten in die Druckregelung

Nach dem Überschreiten eines Schwelldruckes erfolgt das Umschalten in die Druckregelung – das Bauteil wird gepresst (Umschalt-Flanke auf Eins). Nach dem Pressvorgang wird die Presse wiederum positionsgeregelt mit hoher Geschwindigkeit geöffnet (Umschalt-Flanke auf Null).

Blieb die Frage nach dem Leistungsbedarf und möglichst energieeinsparendem Betrieb. Die Analyse ergab folgendes: Würde die Laborpresse in allen Betriebspunkten mit einem Systemdruck von 315 bar betrieben, müsste für die Phasen hoher Geschwindigkeit ( $v = 40\text{mm/s}$ ) die elektrische Leistung der Verstellpumpe bei 35 kW liegen. Das Pressen des Werkstückes hingegen erforderte lediglich etwa ein Drittel dieser Leistung. Um die Presse mit dieser



**Bild 9: Teildarstellung des Simulationsergebnisses für einen Pressenzyklus.**

geringeren Leistung betreiben zu können, wurde ein energiesparendes Steuerungskonzept ausgearbeitet, das den gesamten Arbeitsvorgang aus Betriebsphasen-Sequenzen mit unterschiedlich hohen Systemdrücken zusammensetzt.

Dabei wird der Zylinder zunächst mit niedrigem Systemdruck positionsgeregt ausgefahren, so dass sich die Presse mit hoher Geschwindigkeit schließt. Daraufhin wird der hohe Systemdruck entsprechend eingestellt, um die notwendige Presskraft erzeugen zu können. Die Pumpenauslenkung wird dabei begrenzt, um hohe Geschwindigkeiten zu vermeiden. Mit

Hilfe der schlagfreien Umschaltung wird sodann in die Druckregelung gewechselt – das Bauteil wird gepresst. Nach der Druckregelung erfolgt automatisch die Rückschaltung in die Positionsregelung. Bei laufender Regelung wird der niedrigere Systemdruck eingestellt und die Presse mit hoher Geschwindigkeit geöffnet.

Im Interesse einer geringen Bauhöhe der Laborpresse entschied sich Joos für einen magnetostriktiven Wegsensor, Typ ‚LP-38‘ von TR-Electronic, im Aluminium-Profilgehäuse mit abgewinkeltem Stecker. Die Regel- und Steuerplatinen des ‚hyTRax‘-Reglers von TR-Systemtechnik befinden

sich in einem gekapselten, separaten Gehäuse, das an beliebiger Stelle in der Nähe des Einsatzortes platziert werden kann.

Die Kommunikation zwischen ‚hyTRax‘ als Slave und der übergeordneten Siemens-Steuerung als Master erfolgt über S7-Funktionsbausteine, deren Standardversion von TR-Systemtechnik stammt. Die applikationsspezifischen Anpassungen der Funktionsbausteine für Joos sowie der Steuerungsablauf der Presse wurden von einem Systempartner, dem österreichischen Ingenieurbüro Binder und Föhl Automatisierungstechnik (IBF Automation), in Vils durchgeführt.



webCODE

[www.tr-systemtechnik.de](http://www.tr-systemtechnik.de)

TR-Systemtechnik GmbH

Direkter Zugriff unter [www.fluid.de](http://www.fluid.de)

Code eintragen und go drücken **flu11028**