

## Zur Einbindung hydraulischer Elemente in SIMPACK

Am Institut für Theoretische Grundlagen der Fahrzeugtechnik (ITGF) der TU Dresden wird SIMPACK zur Modellierung und Simulation von Schienenfahrzeugen benutzt. Durch die Entwicklung neuer Fahrzeugkonzepte ist es notwendig geworden, aktive Krafterelemente in die Modelle einzubinden. Die Einbeziehung hydraulischer, pneumatischer oder elektrischer Elemente in die Simulation erfolgt in SIMPACK über die Schnittstelle der USER-Routinen, welche Eigendynamik und nichtlineare Charakteristika enthalten können. Für die entsprechenden Krafterelemente wurden FORTRAN 77 - Subroutinen programmiert, welche durch definierte Übergabeparameter mit dem Hauptprogramm in Verbindung stehen.

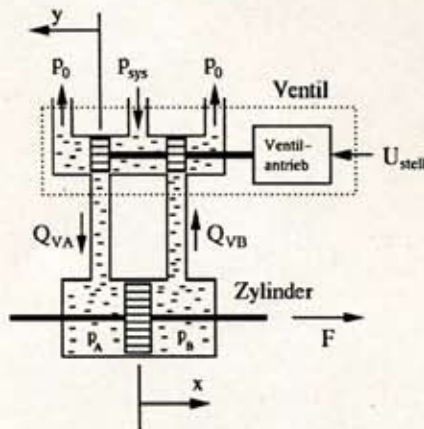
Im folgenden Artikel ist am Beispiel eines ventilgesteuerten Hydraulikantriebes ein Ansatz für die Realisierung hydraulischer Baugruppen innerhalb der Simulation mit SIMPACK beschrieben.

Dipl.-Ing. Sven Dronka, Institut für Theoretische Grundlagen der Fahrzeugtechnik, TU Dresden

### Die Beschreibung hydraulischer Baugruppen

Zu Beginn sollen Funktion und mathematische Beschreibung des in unserem Beispiel benutzten hydraulischen Antriebes erläutert werden. Es sei darauf hingewiesen werden, daß für unser Beispiel vereinfachte Formeln benutzt werden. Für eine detailliertere Beschreibung steht entsprechende Literatur ([3], [1]) zur Verfügung

Der ventilgesteuerte Hydraulikantrieb besteht aus der üblichen (vereinfachten) Anordnung von Ventil und Zylinder



Schematische Darstellung eines ventilgesteuerten Hydraulikantriebes

Variable	Beschreibung
$p_{sys}$	Hydraulik-Systemdruck
$p_0$	Hydraulikdruck im Auffangbehälter
$p_A, p_B$	Hydraulikdrücke in den Zylinderkammern A und B
$Q$	Volumenströme
$A$	Kolbenflächen
$V$	Ölvolumen
$U_{stell}$	Steuerspannung am Ventil
$E_{öl}$	Elastizitätsmodul
$V_{tot,L}$	Ölvolumen in den Hydraulikleitungen
$V_{tot,Zyl}$	Ölvolumen in den Zylinderkammern in Einbaulage
$c_v$	Ventilkonstante

Die Funktionsweise solcher hydraulischer Systeme kann grob folgendermaßen beschrieben werden: Über ein Ventil, das aktiv gesteuert werden kann, wird den abgeschlossenen Hydraulikvolumen (Zylinderkammer+Leitung) Hydraulikflüssigkeit zu- bzw. abgeführt. Durch diese Flüssigkeitszu- bzw. abführung wird eine Druckänderung in den Hydraulikvolumina bewirkt, welche am Kolben des Hydraulikzylinders eine Kraftänderung hervorruft.

Das dynamische Verhalten des Ventilantriebes wird durch ein  $PT_2$ -Verhalten abgebildet. Die Darstellung in Zustandsform lautet:

$$\begin{aligned} \dot{z}_1 &= z_2 \\ \dot{z}_2 &= -\omega_0^2 z_1 - 2D\omega_0 z_2 + k_p \omega_0^2 U_{stell} \end{aligned} \quad (1)$$

wobei die Ventilöffnung  $y = z_1$  ist. Das dynamische Verhalten des Ventiles wird folglich über die Parameter  $k_p$ ,  $D$  und  $\omega_0$  beschrieben.

Aus der aktuellen Ventilöffnung  $y$  werden nun die Volumenströme  $Q_{VA}$  und  $Q_{VB}$  berechnet. Je nach Ventilöffnung  $y$ , d.h. ob Hydraulikflüssigkeit zu- bzw. abgeführt wird, sind unterschiedliche Formeln zu benutzen (2):

$$\begin{aligned} y > 0 & & y < 0 \\ Q_{VA} &= c_v \cdot y \cdot \sqrt{p_{sys} - p_A} & Q_{VA} &= c_v \cdot y \cdot \sqrt{p_A - p_0} \\ Q_{VB} &= c_v \cdot y \cdot \sqrt{p_B - p_0} & Q_{VB} &= c_v \cdot y \cdot \sqrt{p_{sys} - p_B} \end{aligned}$$

Mit den Volumenströmen  $Q_{VA}$  und  $Q_{VB}$  vom Ventil und den aktuellen Größen für Kolbenweg  $x$  (Abweichung der Kolbenposition von der Einbaulage) und der Kolbengeschwindigkeit  $\dot{x}$  ist somit die Berechnung der rechten Seiten der Differentialgleichungen des Druckaufbaus möglich.

$$\dot{p}_A = \frac{E_{öl}}{V_{tot,L,A} + V_{tot,Zyl,A} + V_{ZA}(x)} (Q_{VA} - Q_{ZA}(\dot{x})) \quad (3)$$

$$\dot{p}_B = \frac{E_{öl}}{V_{tot,L,B} + V_{tot,Zyl,B} + V_{ZB}(x)} (Q_{VB} - Q_{ZB}(\dot{x})) \quad (4)$$

mit:

$$V_{ZA}(x) = A_A \cdot x \quad (5)$$

$$V_{ZB}(x) = A_B \cdot x \quad (6)$$

$$Q_Z(\dot{x}) = A \cdot \dot{x} \quad (7)$$

$$Q_{ZB}(\dot{x}) = A_B \cdot \dot{x} \quad (8)$$

Die Drücke  $p_A$  und  $p_B$  in den Zylinderkammern erhält man durch Integration von  $\dot{p}_A$  und  $\dot{p}_B$ .

Bei Ansteuerung von zwei Zylindern durch ein Ventil ergeben sich für die Druckaufbaugleichungen (3) und (4) folgende Änderungen:

$$\dot{p}_A = f(Q_{VA}, V_{ZA_1} + V_{ZA_2}, Q_{ZA_1} + Q_{ZA_2})$$

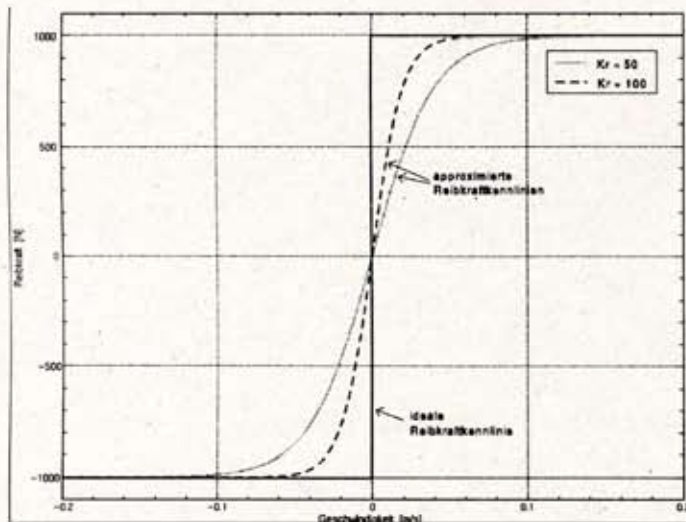
$$\dot{p}_B = f(Q_{VB}, V_{ZB_1} + V_{ZB_2}, Q_{ZB_1} + Q_{ZB_2})$$

Alle hydraulisch verbundenen Ölvolumina werden als ein Ölvolumen betrachtet. Dies gilt unter der Annahme eines augenblicklichen Druckausgleiches zwischen den hydraulisch verbundenen Zylinderkammern. Weiterhin ist zu beachten, daß in den Differentialgleichungen des Druckaufbaus veränderte Totvolumen  $V_{tot}$  einzusetzen sind. Die Gleichungen (5)-(8) müssen für jeden Zylinder berechnet und entsprechend summiert in die Gleichungen (3) und (4) eingearbeitet werden.

Aus den berechneten Drücken wird nun die wirksame Kraft  $F$  des Zylinders berechnet, die, um einen Reibkraftanteil verringert, an das mechanische Modell übergeben werden kann:

$$F = p_A \cdot A_A - p_B \cdot A_B - F_R(\dot{x}) \quad (9)$$

Diese Gleichung ist für jeden Zylinder zu berechnen, wobei sich die Ergebnisse bei gleichen Zylindern nur im Reibkraftanteil unterscheiden.



Die Reibkräfte in den Zylindern wurden durch die folgende Funktion angenähert:

$$F_R(\dot{x}) = 1000 \cdot \left( \frac{2}{1 + e^{-k_r \cdot \dot{x}}} \right) - 1 \quad (10)$$

Mit dem Parameter  $k_r$  kann der Anstieg der Kurve beeinflusst werden.  $k_r$  ist entsprechend den im Modell auftretenden Geschwindigkeiten festzulegen.

Im folgendem Bild sind die Kennlinien für zwei verschiedene Werte von  $k_r$  eingezeichnet.

Soviel zur Berechnung des Systems "Ventil-Zylinder". Entsprechende Regelkreise bzw. Steuerungen müßten zusätzlich beispielsweise in SIMPACK CONTROL realisiert werden.

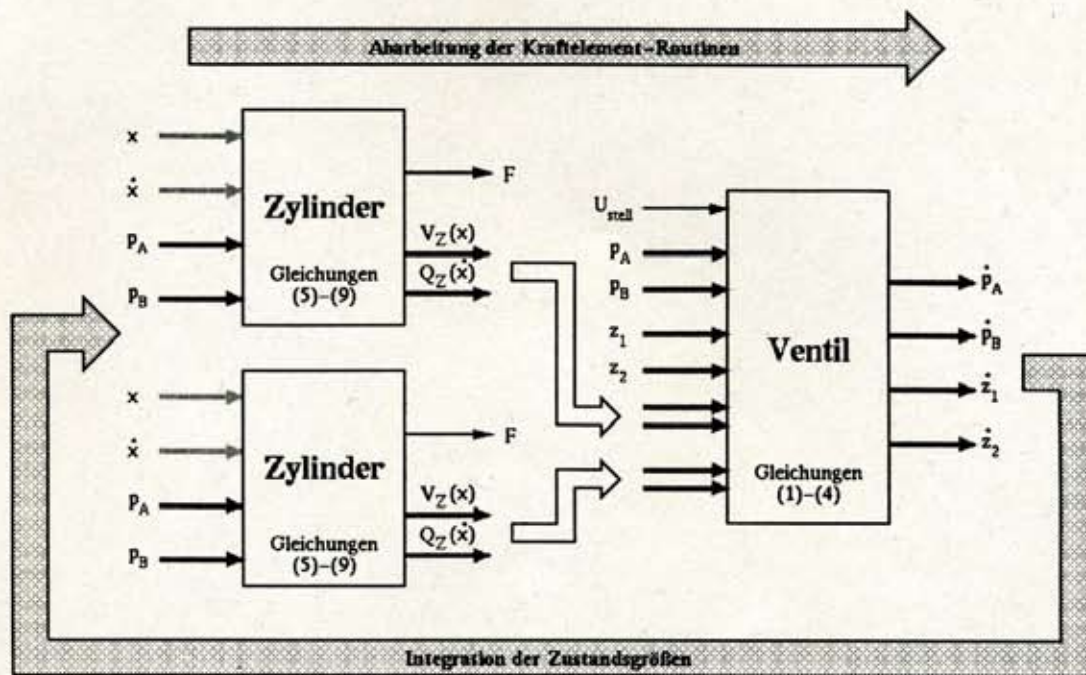
### Realisierung der hydraulischen Elemente in SIMPACK

Die Realisierung der hydraulischen Elemente erfolgt in SIMPACK durch FORTRAN-Subroutinen. An diese Subroutinen werden vom SIMPACK-Hauptprogramm Parameter übergeben, wobei einige gleichzeitig als Rückgabeparameter dienen. Zur Nachbildung von Kraftelementen mit Eigendynamik können in einem Kraftelement zusätzliche Zustandsgrößen definiert werden, welche während der Zeitschrittintegration mit gelöst werden.

Um ein Kraftelement in ein SIMPACK-Modell über die grafische Benutzer-Oberfläche ansprechen zu können, müssen die jeweiligen Kraftangriffspunkte (Marker) angegeben und der Typ des Kraftelementes definiert werden. Weiterhin können dem Kraftelement Parameter übergeben werden, die je nach Kraftelementtyp verschieden sein können.

Die Programmierung von benutzerdefinierten Kraftelementen ist in [2] ausführlich beschrieben und soll daher hier nicht behandelt werden. Es folgt ein kurzer Blick auf die programmiertechnischen Möglichkeiten, die in SIMPACK gegeben sind.

- Jede Baugruppe muß als eigenes Element definiert werden. Auch wenn ein Ventil zwei Zylinder bedient, müssen mindestens zwei Kraftelemente definiert werden, um die Rückgabe von Kräften an zwei unterschiedlichen Stellen realisieren zu können. Weiterhin ist der Zugriff auf Relativlängen und -geschwindigkeiten ohne zusätzliche Informationen zunächst nur innerhalb der Routinen des jeweiligen Kraftelementes möglich.
- Die Reihenfolge der Abarbeitung von Kraftelement-Routinen bei der Zeitschrittintegration kann durch die Zuordnung zu Kraftelementklassen festgelegt werden.
- Die Übergabe von berechneten Daten zwischen nacheinander aufgerufenen Kraftelement-Routinen kann über ein globales Feld (AFEL-Vektor) vorgenommen werden.
- Von jedem Kraftelement ist der Zugriff auf die Zustandsgrößen aller Kraftelemente mit Eigendynamik möglich.



Unter Berücksichtigung der von der SIMPACK-Programmierschnittstelle zur Verfügung stehenden Möglichkeiten und der Forderung nach Modularisierung wurde entschieden, eigene Kraftelemente für "Ventil" sowie für "Zylinder" zu programmieren. Die Gleichungen (1)-(4) werden dabei der Baugruppe "Ventil" zugeordnet, die Gleichungen (5)-(10) werden im Element "Zylinder" berechnet. Damit sind alle zur Berechnung notwendigen Zustandsgrößen der Baugruppe "Ventil" zugeordnet. Für ein System mit einem Ventil und zwei Zylindern ergibt sich die in dem großen Bild dargestellte Anordnung, wobei nur die wichtigsten Ein- und Ausgabedaten der Blöcke dargestellt sind.

Der Aufruf der Kraftelement-Routinen erfolgt in SIMPACK zwischen den Integrationsschritten. Die integrierten Zustandsgrößen stehen somit den Kraftelement-Routinen zur Verfügung. Über den Zugriff auf die Zustandsgrößen des Kraftelementes "Ventil" ( $p_A$  und  $p_B$ ) und die Relativkoordinaten der Koppelpunkte des Kraftelementes können in den "Zylindern" die Zylinderkräfte berechnet werden. Weiterhin sind die von den Bewegungsgrößen abhängigen Volumina  $V_{ZA}(x)$  und  $V_{ZB}(x)$  und die Volumenströme  $Q_{ZA}(\dot{x})$  und  $Q_Z(\dot{x})$ , die sich durch die Bewegung des Kolbens im Zylinder ergeben, Voraussetzung für die Berechnung der rechten Seiten der Differentialgleichungen des Druckaufbaus. Sie müssen somit vorher in der Baugruppe "Zylinder" berechnet und an die Baugruppe "Ventil" übergeben werden. Im Kraftelement "Ventil" werden danach alle Zustände neu

berechnet und zur Integration an das Hauptprogramm zurückgegeben.

Die Realisierung hydraulischer Elemente mit dem hier vorgestellten Ansatz ermöglicht den Aufbau einer relativ flexiblen Kraftelementbibliothek. Auch die Forderung, daß mehrere Zylinder von einem Ventil angesteuert werden können, ist realisiert worden. Auf diese Art sind am ITGF der TU Dresden sowohl ventilsteuerte Hydraulikantriebe als auch hydropneumatische Federsysteme in SIMPACK eingebunden worden.

#### Kontakt

Dipl.-Ing. Sven Dronka  
email: dronka@rcs.urz.tu-dresden

#### Literatur

- [1] Backé, Grundlagen der Ölhydraulik. Umdruck zur Vorlesung, Institut für hydraulische und pneumatische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen, 1992
- [2] DLR, Oberpfaffenhofen: SIMPACK User's Manual, Part 3, 1994.
- [3] Föllinger, Regelungstechnik. Hüthig Buch Verlag Heidelberg, 8. Auflage, 1994