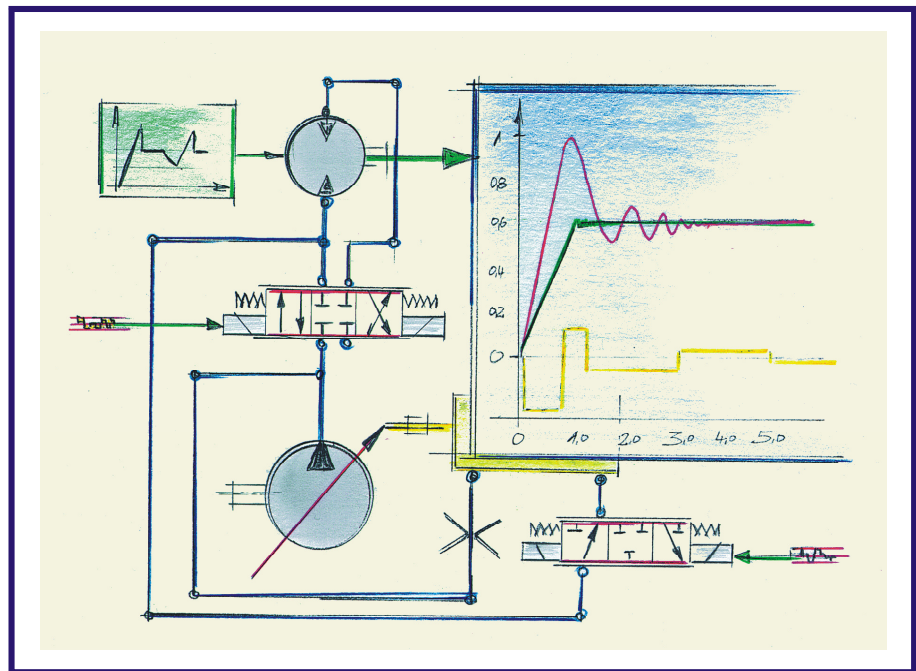


# Bauteilhandbuch

## Lenkungscomponenten



**DSH**<sup>plus</sup>

Copyright © 1995-2008 by  
FLUIDON® Gesellschaft für Fluidtechnik mbH  
Jülicher Straße 336  
52070 Aachen  
Germany

Tel. +49 (0) 241 - 9 60 92 60  
Fax +49 (0) 241 - 9 60 92 62

[www.fluidon.com](http://www.fluidon.com)  
e-mail [info@fluidon.com](mailto:info@fluidon.com)

Kein Teil der Handbücher darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie etc.) ohne Genehmigung der FLUIDON GmbH reproduziert, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die in diesem Handbuch erwähnten Soft- und Hardwarebezeichnungen sind in den meisten Fällen auch eingetragene Warenzeichen und unterliegen als solche den gesetzlichen Bestimmungen.

Im Zuge der Weiterentwicklung der Software können Teile dieses Handbuchs ihre Gültigkeit verlieren.

## **Einleitung**

Die Bauteilhandbücher beschreiben die DSH*plus*-eigenen Bauteile der Bibliothek. Entsprechend den Bauteilkategorien in der Bibliothek untergliedern sie sich in sieben verschiedene Teile:

- Bauteilhandbuch Hydraulik
- Bauteilhandbuch Pneumatik
- Bauteilhandbuch Regelungstechnik
- Bauteilhandbuch Mechanik
- Bauteilhandbuch Thermohydraulik
- Bauteilhandbuch Module
- Bauteilhandbuch Sonstiges

Der HYDRAULIK-Teil umfasst alle hydraulischen Bauteile der Bibliothek. Dazu zählen Pumpen und Motoren, Strom-, Druck-, Sperr- und Wegeventile, sowie Speicher und Leitungen.

Analog zum Hydraulik-Teil sind im PNEUMATIK-Teil alle pneumatischen Bauteile der Bibliothek beschrieben. Hierzu zählen Motoren, Ventile und verschiedenste Widerstände.

Im Handbuchteil MECHANIK werden die mechanischen Bauteile beschrieben. Dies sind die Massen und die Feder-Dämpfer-Bauteile sowie sonstige mechanische Bauteile.

Die Bauteilbibliothek von DSH*plus* verfügt über analoge, digitale und logische regelungstechnische Bauteile, die im Teil REGELUNGSTECHNIK erläutert werden.

Der Teil SONSTIGES enthält sonstige Bauteile, z. B. Koppелеlemente für Schnittstellen, Sonderbauteile.

Im Handbuch Thermohydraulik werden die thermodynamischen Bauteile erläutert, die sich neben den Standardbauteilen Pumpen, Motoren, Zylindern und Ventilen auch aus speziell für die Thermodynamik entworfenen Komponenten zusammensetzt.

Die Module beinhalten die DSH*plus*-STC-Bausteine und Komponenten, die zur Erzeugung von Baugruppen benötigt werden.

Das Bauteilhandbuch soll helfen, das jeweils passende Bauteil für ein Modell auszuwählen, in das Modell einzubauen und zu parametrieren. Darüber hinaus gibt es Auskunft über die Art und Weise der Modellbildung der Bauteile, zum Beispiel ob sie entsprechend den physikalischen Eigenschaften der Realbauteile modelliert wurden oder ob lediglich ihre Kennlinie nachgebildet wurde.

Alle Bauteile sind nach dem gleichen Schema beschrieben. Auf der folgenden Seite ist ein Beispielbauteil zu finden, mit dessen Hilfe das Schema erläutert wird.

**Bauteilname***Bauteilsymbol***Symbol**

---

**Skizze***Bauteilskizze***Anschlüsse und Variablen**

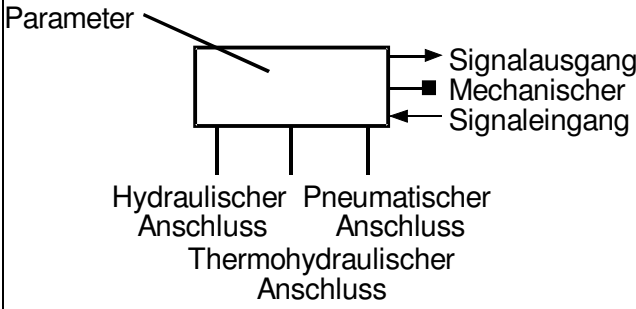
| Bezeichnung                                 | Typ          | Einheit        | Beschreibung              |
|---------------------------------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| <i>Hydraulischer Anschluss</i>              | <i>Hydr</i>  | <i>Einheit</i> | <i>kurze Beschreibung</i> |
| <i>Volumenloser hydraulischer Anschluss</i> | <i>Hvol</i>  | <i>Einheit</i> | <i>kurze Beschreibung</i> |
| <i>Thermohydraulischer Anschluss</i>        | <i>THydr</i> | <i>Einheit</i> | <i>Kurze Beschreibung</i> |
| <i>Pneumatischer Anschluss</i>              | <i>Pneu</i>  | <i>Einheit</i> | <i>kurze Beschreibung</i> |
| <i>Signaleingang</i>                        | <i>Ein</i>   | -              | <i>kurze Beschreibung</i> |
| <i>Signalausgang</i>                        | <i>Aus</i>   | -              | <i>kurze Beschreibung</i> |
| <i>Mechanischer Anschluss</i>               | <i>Mech</i>  | -              | <i>kurze Beschreibung</i> |
| <i>Interne Variable</i>                     | <i>V</i>     | -              | <i>kurze Beschreibung</i> |

**Parameter**

| Bezeichnung   | Wert | Einheit | Beschreibung       |
|---------------|------|---------|--------------------|
| Parametername | Wert | Einheit | kurze Beschreibung |

**Bemerkungen***Bemerkungen zu Funktion und Anwendung.*

## Erläuterungen zum Beispielbauteil:

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------------|------|----------------|------|----------------|-------|------------------------|----|-------------------|
|       | Das Bauteilsymbol ist das Symbol, mit dem ein Bauteil in der Bibliothek und im Modell erscheint.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
|       | <p>In der Bauteilskizze ist das Bauteil mit seinen Parametern und Anschlüssen entsprechend dem folgenden Bild dargestellt:</p>  <p>Die Pfeile an den Bauteilen geben an, ob es sich um einen Eingang, Ausgang oder um einen mechanischen Anschluss handelt. Die Richtung der Zustandsgrößen wird durch ein Koordinatensystem definiert.</p>                                                                                                                                                                                                                                  |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
|       | In der Tabelle <b>Anschlüsse und Variablen</b> sind alle Anschlüsse und Variablen eines Bauteils aufgelistet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
|       | <p>Die Anschlüsse und Variablen eines Bauteils lassen sich in verschiedene Typen unterteilen und sind in der Spalte <b>Typ</b> entsprechend gekennzeichnet:</p> <table> <tbody> <tr> <td>Hydr:</td><td>Hydraulische Anschlüsse</td></tr> <tr> <td>Hvol:</td><td>Volumenlose hydraulische Anschlüsse</td></tr> <tr> <td>Pneu:</td><td>Pneumatische Anschlüsse</td></tr> <tr> <td>THydr</td><td>Thermohydraulische Anschlüsse</td></tr> <tr> <td>Ein:</td><td>Signaleingänge</td></tr> <tr> <td>Aus:</td><td>Signalausgänge</td></tr> <tr> <td>Mech:</td><td>Mechanische Anschlüsse</td></tr> <tr> <td>V:</td><td>Interne Variablen</td></tr> </tbody> </table> | Hydr: | Hydraulische Anschlüsse | Hvol: | Volumenlose hydraulische Anschlüsse | Pneu: | Pneumatische Anschlüsse | THydr | Thermohydraulische Anschlüsse | Ein: | Signaleingänge | Aus: | Signalausgänge | Mech: | Mechanische Anschlüsse | V: | Interne Variablen |
| Hydr: | Hydraulische Anschlüsse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
| Hvol: | Volumenlose hydraulische Anschlüsse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
| Pneu: | Pneumatische Anschlüsse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
| THydr | Thermohydraulische Anschlüsse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
| Ein:  | Signaleingänge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
| Aus:  | Signalausgänge                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
| Mech: | Mechanische Anschlüsse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
| V:    | Interne Variablen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
|       | Den Variablen wurden Einheiten (Spalte <b>Einheit</b> ) zugewiesen. Insofern die Einheiten nicht vom Anwender geändert werden, erfolgt die grafische oder numerische Ausgabe der Variablen mit diesen Einheiten. Die Einheiten für die Werte der anderen Anschlüsse sind nur zum besseren Verständnis aufgeführt, werden aber nicht verwendet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
|       | In der Parameterliste sind alle <b>Parameter</b> mit ihren <b>Werten</b> und <b>Einheiten</b> aufgeführt, mit denen ein Bauteil beschrieben wird.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
|       | Unter den <b>Bemerkungen</b> sind weitere Hinweise zum Bauteil zu finden.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |
|       | <p>Es wird folgende Schreibweise verwendet:</p> <p>BAUTEILNAME</p> <p><i>Parameter, Anschlüsse und Variablen</i></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |       |                         |       |                                     |       |                         |       |                               |      |                |      |                |       |                        |    |                   |



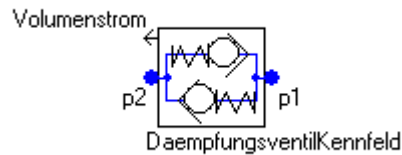
**Inhaltsverzeichnis**

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| DaempfungsentilKennfeld        | 3  |
| Drehstab                       | 5  |
| Lenkventil                     | 7  |
| LenkventilMp                   | 9  |
| Lenkzylinder                   | 14 |
| LenkzylinderVariableVerzahnung | 17 |
| PumpeDrehzahlKennfeld_n_p      | 21 |
| PumpeQRegel                    | 23 |



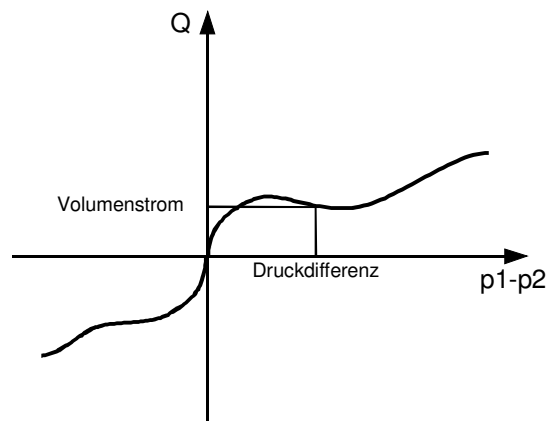
## Lenkungscomponenten

### DaempfungsventilKennfeld



### Symbol

### Skizze



### Anschlüsse und Variablen

| Bezeichnung  | Typ  | Einheit | Beschreibung                   |
|--------------|------|---------|--------------------------------|
| p1           | Hydr | bar     | Druck auf Seite 1              |
| p2           | Hydr | bar     | Druck auf Seite 2              |
| Volumenstrom | Aus  | l/min   | Volumenstrom durch das Bauteil |

### Parameter

| Bezeichnung | Wert | Einheit | Beschreibung                                                   |
|-------------|------|---------|----------------------------------------------------------------|
| pQKennfeld  | -1.  | -       | Kennfeld für die Volumenstrom-Druck-Funktion                   |
| Faktor      | 1.   | -       | Streck- bzw. Stauchfaktor für die Ausgangswerte des Kennfeldes |

### Bemerkungen

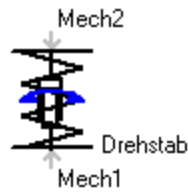
Mit dem Bauteil DaempfungsventilKennfeld können beliebige Zusammenhänge zwischen der Abhängigkeit von der am Bauteil anliegenden Druckdifferenz  $p_1-p_2$  und dem Volumenstrom beschrieben werden. Die Volumenstromwerte müssen über der Bandbreite der Druckdifferenz in dem eindimensionalen Kennfeld pQKennfeld aufgetragen werden.

Das Bauteil DaempfangsventilKennfeld ermöglicht es z. B. eine am Prüfstand vermessene Druck-Volumenstrom-Kurve in die Simulation zu integrieren.

Über den Parameter Faktor können die Volumenstromwerte des Kennfeldes gestreckt oder gestaucht werden.

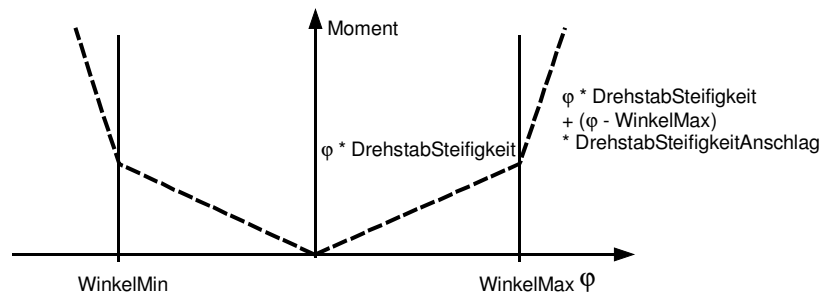
Überschreitet die am Bauteil anliegende Druckdifferenz den Maximal- bzw. Minimalwert, der im Kennfelds berücksichtigt ist, wird der für den Randpunkt des Kennfelds definierte Volumenstromwert konstant ausgegeben. Es erfolgt keine Extrapolation.

## Drehstab



## Symbol

## Skizze



## Anschlüsse und Variablen

| Bezeichnung | Typ  | Einheit | Beschreibung            |
|-------------|------|---------|-------------------------|
| Mech1       | Mech | -       | mechanischer Anschluss  |
| Mech1phi    | Ein  | °       | Winkel 1                |
| Mech1omega  | Ein  | °/s     | Winkelgeschwindigkeit 1 |
| Mech1M      | Aus  | Nm      | Moment 1                |
| Mech2       | Mech | -       | mechanischer Anschluss  |
| Mech2phi    | Ein  | °       | Winkel 2                |
| Mech2omega  | Ein  | °/s     | Winkelgeschwindigkeit 2 |
| Mech2M      | Aus  | Nm      | Moment 2                |

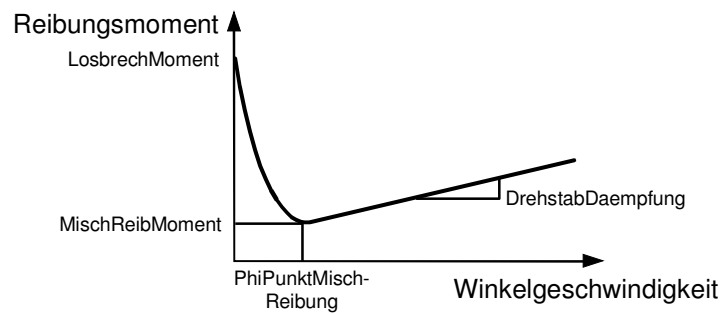
## Parameter

| Bezeichnung                 | Wert | Einheit | Beschreibung                           |
|-----------------------------|------|---------|----------------------------------------|
| DrehstabSteifigkeit         | 2    | Nm/°    | Steifigkeit des Drehstabes             |
| DrehstabDaempfung           | 1    | Nms/°   | Dämpfung des Drehstabes                |
| DrehstabSteifigkeitAnschlag | 200  | Nm/°    | Steifigkeit des Drehstabes im Anschlag |
| DrehstabDaempfungAnschlag   | 1    | Nms/°   | Dämpfung des Drehstabes im Anschlag    |
| VorspannWinkel              | 0    | °       | Vorspannwinkel des Drehstabes          |
| LosbrechMoment              | 0.05 | Nm      | Kennwert für Stribeck-Kurve            |

| Bezeichnung          | Wert | Einheit | Beschreibung                |
|----------------------|------|---------|-----------------------------|
| MischReibMoment      | 0.01 | Nm      | Kennwert für Stribeck-Kurve |
| PhiPunktMischreibung | 1    | °/s     | Kennwert für Stribeck-Kurve |
| WinkelMax            | 5    | °       | maximaler Verdrehwinkel     |
| WinkelMin            | -5   | °       | minimaler Verdrehwinkel     |

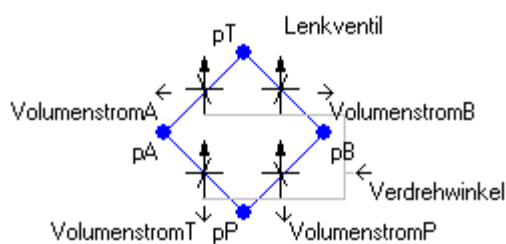
### Bemerkungen

Das Bauteil DREHSTAB ist modelliert mit einer geschwindigkeitsabhängigen Dämpfung nach der Stribeck-Kurve. Die Kennwerte *LosbrechMoment*, *MischReibMoment*, *PhiPunktMischreibung* und *DrehstabDaempfung* beschreiben die Punkte der Reibungskurve im dargestellten Diagramm



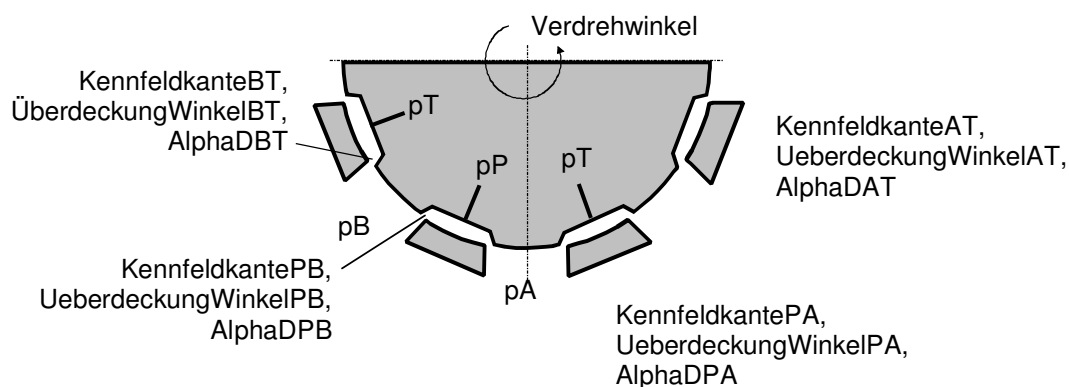
Die Eingänge *Mech1phi* und *Mech2phi*, die Eingänge *Mech1omega* und *Mech2omega* sowie die Momentausgänge *Mech1M* und *Mech2M* sind in den mechanischen Anschlüssen *Mech1* und *Mech2* zusammengefasst.

## Lenkventil



## Symbol

## Skizze



## Anschlüsse und Variablen

| Bezeichnung   | Typ  | Einheit | Beschreibung             |
|---------------|------|---------|--------------------------|
| $p_P$         | Hydr | bar     | Versorgungsdruck         |
| $p_T$         | Hydr | bar     | Tankdruck                |
| $p_A$         | Hydr | bar     | Arbeitsdruck Anschluss A |
| $p_B$         | Hydr | bar     | Arbeitsdruck Anschluss B |
| Verdrehwinkel | Ein  | °       | Eingangssignal           |
| VolumenstromP | Aus  | l/min   | Volumenstrom P           |
| VolumenstromT | Aus  | l/min   | Volumenstrom T           |
| VolumenstromA | Aus  | l/min   | Volumenstrom A           |
| VolumenstromB | Aus  | l/min   | Volumenstrom B           |

## Parameter

| Bezeichnung | Wert | Einheit | Beschreibung                                       |
|-------------|------|---------|----------------------------------------------------|
| AlphaDPA    | 0.6  | -       | Durchflusskoeffizient für die Steuerkante P nach A |
| AlphaDAT    | 0.6  | -       | Durchflusskoeffizient für die Steuerkante A nach T |

| Bezeichnung               | Wert | Einheit                      | Beschreibung                                                     |
|---------------------------|------|------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| AlphaDPB                  | 0.6  | -                            | Durchflusskoeffizient für die Steuerkante P nach B               |
| AlphaDBT                  | 0.6  | -                            | Durchflusskoeffizient für die Steuerkante B to T                 |
| UeberdeckungWinkelPA      | 0    | °                            | Überdeckungswinkel der Steuerkante von P nach A                  |
| Ueberdeckung-<br>WinkelAT | 0    | °                            | Überdeckungswinkel der Steuerkante von A nach T                  |
| UeberdeckungWinkelPB      | 0    | °                            | Überdeckungswinkel der Steuerkante von P nach B                  |
| UeberdeckungWinkelBT      | 0    | °                            | Überdeckungswinkel der Steuerkante von B nach T                  |
| KennfeldkantePA           | -    | Fläche<br>über dem<br>Winkel | Steuerkantengeometrie P nach A                                   |
| KennfeldkanteAT           | -    | Fläche<br>über dem<br>Winkel | Steuerkantengeometrie A nach T                                   |
| KennfeldkantePB           | -    | Fläche<br>über dem<br>Winkel | Steuerkantengeometrie P nach B                                   |
| KennfeldkanteBT           | -    | Fläche<br>über dem<br>Winkel | Steuerkantengeometrie B nach T                                   |
| TDifferenz                | 0    | K                            | Temperaturdifferenz zur Umgebungstemperatur in den Fluidoptionen |

### Bemerkungen

Der Verdrehwinkel des Ventilschiebers ist proportional zum VERDREHWINKEL Signal.

Kennfelder, deren Ausgangsgrößen vom VERDREHWINKEL abhängig sind, beschreiben die Öffnungsquerschnitte des Ventils. Unabhängig von der Öffnungsrichtung wird für jedes Kennfeld angenommen, das ein positiver Winkel den Querschnitt öffnet.

Der UEBERDECKUNGWINKEL erlaubt eine Verschiebung der Kennfelder, um den Startpunkt zu variieren. Die UEBERDECKUNGWINKEL der vier Steuerkanten können verschiedene Werte besitzen.

Für die UeberdeckungWinkel gilt:

UEBERDECKUNGWINKEL < 0: Steuerkante geöffnet in neutraler Position

UEBERDECKUNGWINKEL = 0: Steuerkante gerade geschlossen in neutraler Position

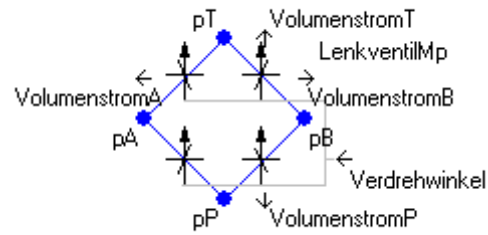
UEBERDECKUNGWINKEL > 0: Steuerkante geschlossen in neutraler Position

Der Volumenstrom durch das Ventil errechnet sich zu

$$Q = \alpha_D \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{\Delta p}$$

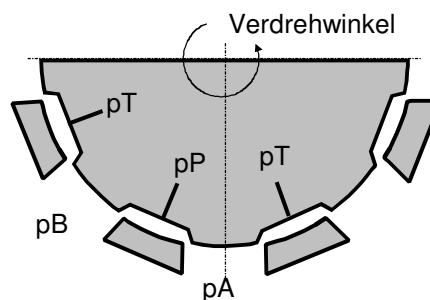
Die Querschnittsfläche A ist mit den Kennfeldern *KennfeldkantePa – BT* vorgegeben.

## LenkventilMp



### Symbol

### Skizze



### Anschlüsse und Variablen

| Bezeichnung   | Typ  | Einheit | Beschreibung             |
|---------------|------|---------|--------------------------|
| pP            | Hydr | bar     | Versorgungsdruck         |
| pT            | Hydr | bar     | Tankdruck                |
| pA            | Hydr | bar     | Arbeitsdruck Anschluss A |
| pB            | Hydr | bar     | Arbeitsdruck Anschluss B |
| Verdrehwinkel | Ein  | °       | Eingangssignal           |
| VolumenstromP | Aus  | l/min   | Volumenstrom P           |
| VolumenstromT | Aus  | l/min   | Volumenstrom T           |
| VolumenstromA | Aus  | l/min   | Volumenstrom A           |
| VolumenstromB | Aus  | l/min   | Volumenstrom B           |

### Parameter

| Bezeichnung | Wert | Einheit | Beschreibung                              |
|-------------|------|---------|-------------------------------------------|
| Q Ventil    | 6    | l/min   | Stationärer Volumenstrom durch das Ventil |
| p max       | 100  | bar     | Maximaldruck                              |
| p Sys0      | 0.5  | bar     | Systemdruck in Ventilmittelstellung       |
| Q Leckage   | 0.05 | l/min   | Leckagevolumenstrom bei Maximaldruck      |

| Bezeichnung        | Wert | Einheit | Beschreibung                                                     |
|--------------------|------|---------|------------------------------------------------------------------|
| c Drehstab         | 1.7  | Nm/°    | Drehstabsteifigkeit                                              |
| Alpha D            | 0.6  |         | Durchflusskoeffizient                                            |
| PhiMax             | 6    | °       | Maximaler Verdrehwinkel des Ventils                              |
| Tdifferenz         | 0    | K       | Temperaturdifferenz zur Umgebungstemperatur in den Fluidoptionen |
| M-Dp-Spezifikation |      |         | Kennfeld Lenkmoment über dem Differenzdruck                      |

### Bemerkungen

Dialog LenkventilMp

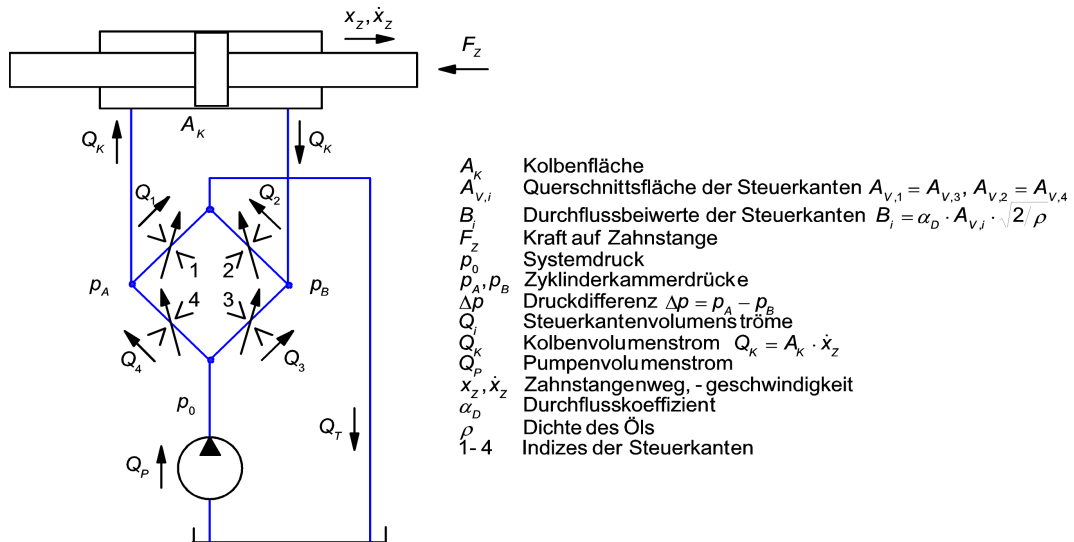
Die Steuerkanten eines Lenkventils können als turbulente hydraulische Widerstände angesehen werden. Der Volumenstrom  $Q_i$  über die Steuerkanten mit dem Querschnitt  $A_{V,i}$  kann mit der Gleichung

$$Q_i = \alpha_D \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot A_{V,i} \cdot \sqrt{\Delta p_i}$$

berechnet werden, wobei vereinfachend angenommen wird, dass der Durchflusskoeffizient  $\alpha_D$  konstant sei. Die Druckdifferenz an der Steuerkante ist  $\Delta p_i$ . Alle Steuerkanten sind in einer hydraulischen Vollbrücke miteinander verschaltet.

Die Steuerkantenfläche ist eine Funktion des Verdrehwinkels des Ventils und ist im Allgemeinen nicht bekannt. Man kann aber unter bestimmten Annahmen aus der Verstärkungskurve des Ventils, der so genannten Ventilkurve oder Boost-Curve, auf die Öffnungsfläche schließen. Diese Vorgehensweise soll hier erläutert werden.

Die Ventilkurve drückt den Zusammenhang zwischen erreichbarer Druckdifferenz und damit hydraulischer Unterstützung durch das Ventil und dem Moment zum Betätigen des Ventils aus. Dabei ist das Moment wegen der Drehfeder direkt proportional zu dem Verdrehwinkel des Ventils.



Hydraulische Brückenschaltung

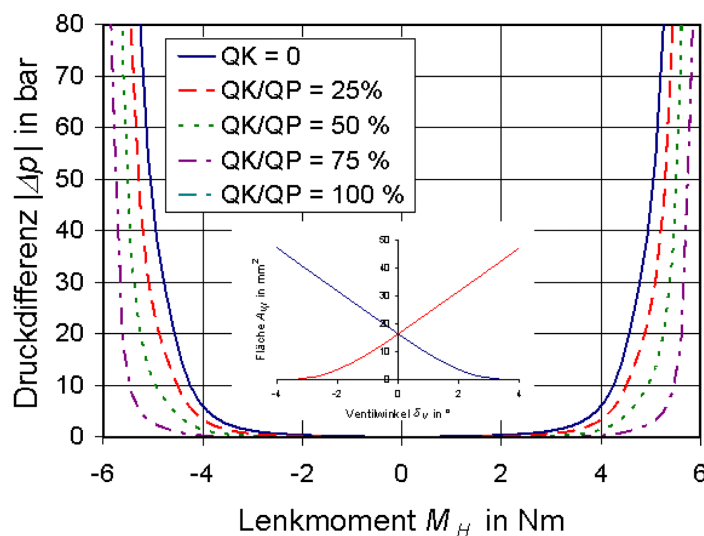
Sind die Öffnungsquerschnitte des Ventils bekannt, kann die Ventilkurve aus den Volumenstrombilanzen und den Durchflussgleichungen berechnet werden. Für ein symmetrisches Ventil, bei dem in der Brücke gegenüber liegende Steuerkanten gleichsinnig sind und nebeneinander liegende Steuerkanten gegensinnig, spiegelsymmetrisch sind, lautet die Berechnungsgleichung:

$$\Delta p = \frac{F_Z}{A_K} = \frac{1}{4} \cdot \left[ \frac{(Q_P - Q_K)^2}{B_1^2} - \frac{(Q_P + Q_K)^2}{B_2^2} \right]$$

Für den Fall, dass die Lenkgeschwindigkeit Null ist, also  $Q_K = 0$  ist, ergibt sich die Druckdifferenz  $\Delta p$  nach folgender Gleichung:

$$\Delta p|_{Q_K=0} = \frac{1}{4} \cdot Q_P^2 \cdot \left[ \frac{1}{B_1^2} - \frac{1}{B_2^2} \right]$$

Die sich hierbei ergebende Kurve wird üblicherweise als "die" Ventilkurve bezeichnet, hier soll der Begriff "Ruheventilkurve" verwendet werden.



Berechnete Ventilkurven bei bekannter Steuerkantengeometrie

Die Gleichungen und Darstellungen zeigen, dass mit zunehmender Lenkgeschwindigkeit, also mit zunehmendem Kolbenvolumenstrom, die hydraulische Unterstützung abnimmt. Oder anders herum formuliert, dass bei zunehmender Lenkgeschwindigkeit und vorgegebener Last ein höheres Lenkmoment erforderlich ist. Das spiegelt auch die eigene Erfahrung wieder. Je schneller man bei gleicher Last lenkt, umso höher ist das aufzubringende Moment. Lenkt man im Extremfall so schnell, dass der Kolbenvolumenstrom größer oder gleich dem Pumpenvolumenstrom ist, steht keine Servounterstützung mehr zur Verfügung und das Handmoment steigt schlagartig an.

Die Gleichungen zeigen auch, dass nicht eindeutig von der Druckdifferenz auf die Öffnungsquerschnitte zu schließen ist. Obwohl  $B_1$  und  $B_2$ , bzw. die zugehörigen Flächen vom Verlauf her spiegelsymmetrisch sind, ist für die Druckdifferenz nur deren Verhältnis entscheidend und nicht die absoluten Werte. Es kann also mit beliebig vielen Steuerkantengeometrien, die das gleich Verhältnis von  $B_1$  und  $B_2$  aufweisen immer ein und dieselbe Ruheventilcurve erzeugen.

Deshalb ist eine Parametrierung der Steuerkanten über die Ruheventilcurve nicht direkt möglich. Es muss stattdessen ein Näherungsverfahren angewendet werden, das auf folgenden Annahmen basiert, die für die heute zumeist in Serie eingesetzten Ventile zutreffen:

- Das Ventil ist symmetrisch aufgebaut.
- Der Verlauf der Öffnungsfläche über den Winkel ist streng monoton.

Unter Verwendung der von einem Lenkgetriebe zugänglichen Daten

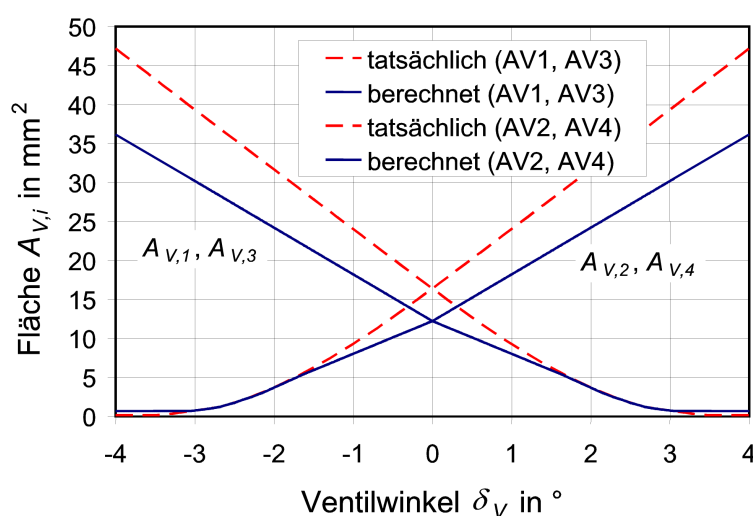
- Ventilkurvenspezifikation
- Pumpenvolumenstrom
- Drehstabsteifigkeit
- Umlaufdruck
- Leckage

kann man dann mit einem Iterationsverfahren, das die Zielgrößen Steigung und/oder Krümmung optimiert, den Verlauf der Steuerkantengeometrie annähern.

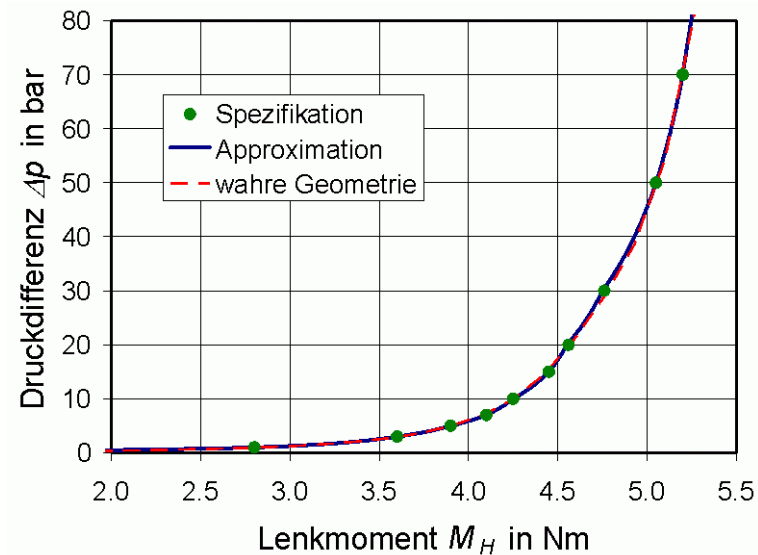
Die Ergebnisse dieses Berechnungsverfahrens sind nachfolgend dargestellt.

Die nachfolgende Grafik zeigt einmal den tatsächlichen Verlauf der Steuerkantenfläche eines Ventils. Mit dieser Geometrie wurde die Ruheventilcurve berechnet und daraus typische Spezifikationspunkte ermittelt, die in der darauffolgenden Grafik wieder zu finden sind.

Auf Basis der Spezifikation und der weiteren Randbedingungen wurde dann rückwärts die Steuerkantengeometrie als Näherung berechnet. Dieser Verlauf ist im Vergleich zur tatsächlichen Geometrie gestrichelt gezeigt. Beim Schließen der Steuerkanten, dem wichtigen Bereich für die Funktion des Ventils, sind Berechnung und wahrer Verlauf deckungsgleich. Beim Öffnen der Kanten ergeben sich Unterschiede, die aber für die Arbeitsweise des Ventils weniger relevant sind.



Vergleich der Steuerkantengeometrien



*Vergleich der Ruheventilcurven*

Die Ruheventilcurven sind nahezu identisch. Gerade zwischen den Spezifikationspunkten ergeben sich minimale Unterschiede.

Mit dem Verfahren ist es also möglich, die Steuerkantengeometrien aus verfügbaren Daten und Messungen zu berechnen. Es stellt somit damit ein geeignetes Hilfsmittel zur Parametrierung von Lenkventilbauteilen für die Simulation von hydraulischen Lenksystemen dar.

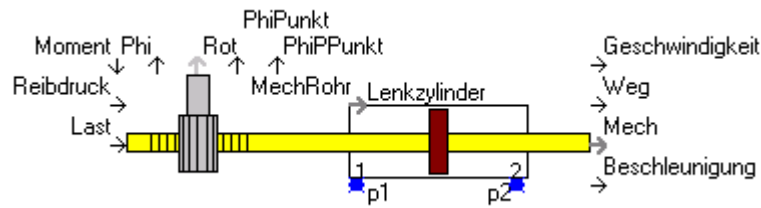
Für weitere Information siehe:

Prof. Dr.-Ing. H. Ulrich, Dr.-Ing. H. Baum

„Digitale Simulation bei der Entwicklung fluidtechnischer Fahrzeugsystem“

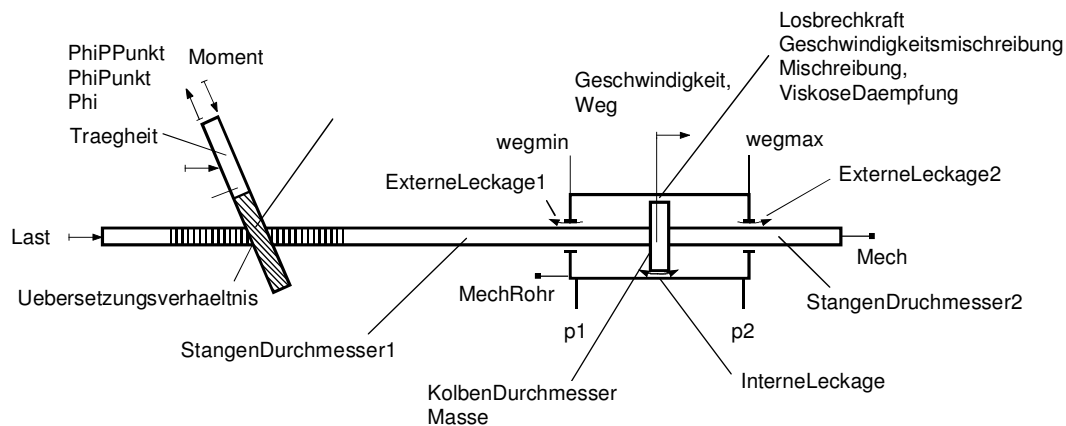
Tagung „Hydraulik im Kraftfahrzeug – Systeme und Komponente; Haus der Technik e.V.; 11.2003

## Lenkzylinder



## Symbol

## Skizze



## Anschlüsse und Variablen

| Bezeichnung | Typ  | Einheit | Beschreibung                             |
|-------------|------|---------|------------------------------------------|
| p1          | Hydr | bar     | Druck in Kammer 1                        |
| p2          | Hydr | bar     | Druck in Kammer 2                        |
| Last        | Ein  | N       | am Kolben angreifende Kraft              |
| Mech        | Mech | -       | mechanischer Anschluss                   |
| MechF       | Ein  | N       | am Kolben angreifende Kraft              |
| Mechx       | Aus  | mm      | Weg des Kolbens                          |
| Mechv       | Aus  | m/s     | Geschwindigkeit des Kolbens              |
| MechRohr    | Mech | -       | mechanischer Anschluss                   |
| MechF       | Aus  | N       | an Zylinderrohr angreifende innere Kraft |
| Mechx       | Ein  | mm      | Weg des Zylinderrohrs                    |
| Mechv       | Ein  | m/s     | Geschwindigkeit des Zylinderrohrs        |

| Bezeichnung     | Typ   | Einheit            | Beschreibung                                      |
|-----------------|-------|--------------------|---------------------------------------------------|
| Rot             | Mech  | -                  | mechanischer Anschluss                            |
| RotM            | Ein   | Nm                 | auf das Ritzel<br>wirkendes Moment<br>auf Seite 1 |
| rotphi          | Aus   | rad                | Rotationswinkel                                   |
| rotomega        | Aus   | rad/s              | Winkelgeschwindigkeit                             |
| Phi             | Aus   | rad                | Rotationswinkel                                   |
| PhiPunkt        | Aus   | rad/s              | Winkelgeschwindigkeit                             |
| PhiPPunkt       | Aus   | rad/s <sup>2</sup> | Winkelbeschleunigung                              |
| Beschleunigung  | Aus   | m/s <sup>2</sup>   | Beschleunigung des Kolbens                        |
| Geschwindigkeit | V-Aus | m/s                | Geschwindigkeit des Kolbens                       |
| Weg             | V-Aus | mm                 | Weg des Kolbens                                   |

### Parameter

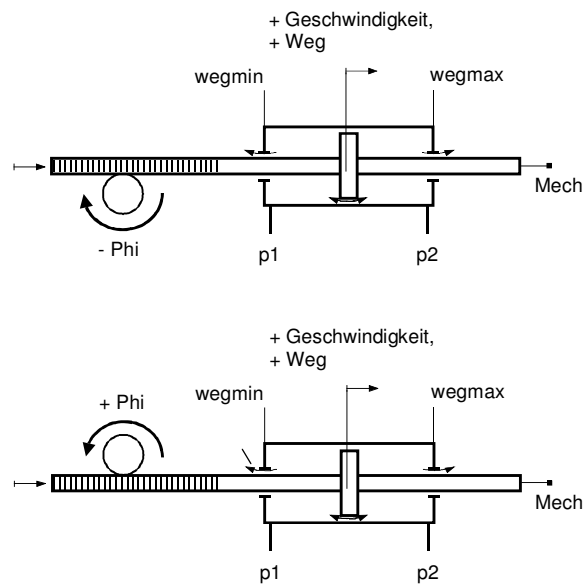
| Bezeichnung                  | Wert  | Einheit          | Beschreibung                                                                  |
|------------------------------|-------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| KolbenDurchmesser            | 60    | mm               | Durchmesser des Kolbens                                                       |
| StangenDurchmesser1          | 40    | mm               | Durchmesser der Stange 1                                                      |
| StangenDurchmesser2          | 40    | mm               | Durchmesser der Stange 2                                                      |
| wegmax                       | 100   | mm               | maximaler Kolbenweg in<br>positiver Richtung                                  |
| wegmin                       | -100  | mm               | maximaler Kolbenweg in<br>negativer Richtung                                  |
| Losbrechkraft                | 100   | N                | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                   |
| Geschwindigkeitsmischreibung | 0.1   | m/s              | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                   |
| Mischreibkraft               | 10    | N                | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                   |
| ViskoseDaempfung             | 10    | Ns/m             | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                   |
| ExterneLeckage1              | 0     | l/min/bar        | aus dem Zylinder an der<br>Kolbenstange 1 austretende<br>Hydraulikflüssigkeit |
| ExterneLeckage2              | 0     | l/min/bar        | aus dem Zylinder an der<br>Kolbenstange 2 austretende<br>Hydraulikflüssigkeit |
| InterneLeckage               | 0.001 | l/min/bar        | interne Leckage                                                               |
| Masse                        | 10    | kg               | Masse von Kolben und<br>Kolbenstange                                          |
| Traegheit                    | 0.05  | kgm <sup>2</sup> | Massenträgheitsmoment der<br>Ritzelwelle                                      |

| Bezeichnung              | Wert | Einheit | Beschreibung                                               |
|--------------------------|------|---------|------------------------------------------------------------|
| Uebersetzungsverhaeltnis | 50.  | mm/rev  | Übersetzungsverhältnis zwischen Zahnstange und Ritzelwelle |

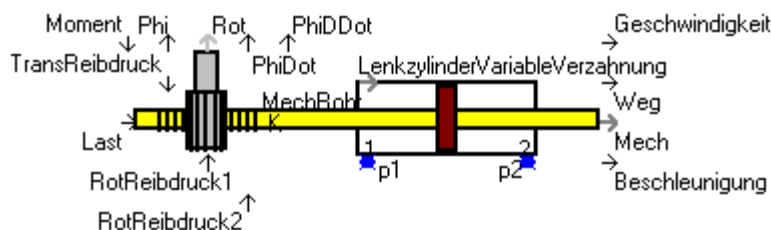
## Bemerkungen

Die Addition der Zylinderkraft ( $A_1 * p_1 - A_2 * p_2$ ) und der externen Last ist  $F_{\text{Aussen}}$ . Wenn die Reibkraft größer ist als  $F_{\text{Aussen}}$ , wird  $F_{\text{Aussen}}$  mit der Reibkraft gleichgesetzt. Hierdurch wird die Beschleunigung des Kolbens zu Null.

Mit dem mechanischen Anschluss MechRohr kann der Zylinder gegen Umgebung abgestützt werden. Da das Zylinderrohr im Modell masselos ist, muss eine externe Masse angeschlossen werden, die wiederum z. B. mit einer Feder gegen Umgebung nachgebend abgestützt werden kann.

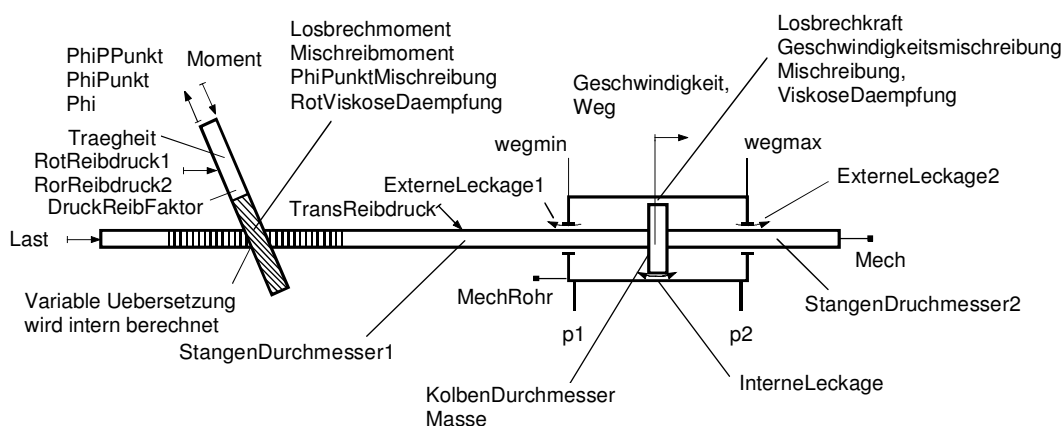


## LenkzylinderVariableVerzahnung



### Symbol

### Skizze



### Anschlüsse und Variablen

| Bezeichnung | Typ  | Einheit | Beschreibung                             |
|-------------|------|---------|------------------------------------------|
| p1          | Hydr | bar     | Druck in Kammer 1                        |
| p2          | Hydr | bar     | Druck in Kammer 2                        |
| Last        | Ein  | N       | am Kolben angreifende Kraft              |
| Mech        | Mech | -       | mechanischer Anschluss                   |
| MechF       | Ein  | N       | am Kolben angreifende Kraft              |
| Mechx       | Aus  | mm      | Weg des Kolbens                          |
| Mechv       | Aus  | m/s     | Geschwindigkeit des Kolbens              |
| MechRohr    | Mech | -       | mechanischer Anschluss                   |
| MechF       | Aus  | N       | an Zylinderrohr angreifende innere Kraft |
| Mechx       | Ein  | mm      | Weg des Zylinderrohrs                    |
| Mechv       | Ein  | m/s     | Geschwindigkeit des Zylinderrohrs        |

| Bezeichnung     | Typ   | Einheit            | Beschreibung                                      |
|-----------------|-------|--------------------|---------------------------------------------------|
| Rot             | Mech  | -                  | mechanischer Anschluss                            |
| RotM            | Ein   | Nm                 | auf das Ritzel<br>wirkendes Moment<br>auf Seite 1 |
| rotphi          | Aus   | rad                | Rotationswinkel                                   |
| rotomega        | Aus   | rad/s              | Winkelgeschwindigkeit                             |
| Phi             | Aus   | rad                | Rotationswinkel                                   |
| PhiPunkt        | Aus   | rad/s              | Winkelgeschwindigkeit                             |
| PhiPPunkt       | Aus   | rad/s <sup>2</sup> | Winkelbeschleunigung                              |
| Beschleunigung  | Aus   | m/s <sup>2</sup>   | Beschleunigung des Kolbens                        |
| Geschwindigkeit | V-Aus | m/s                | Geschwindigkeit des Kolbens                       |
| Weg             | V-Aus | mm                 | Weg des Kolbens                                   |
| RotReibdruck1   | Ein   | bar                | Reibdruck am Ritzel                               |
| RotReibdruck1   | Ein   | bar                | Reibdruck am Ritzel                               |
| TransReibDruck  | Ein   | bar                | Reibdruck auf die Stange                          |

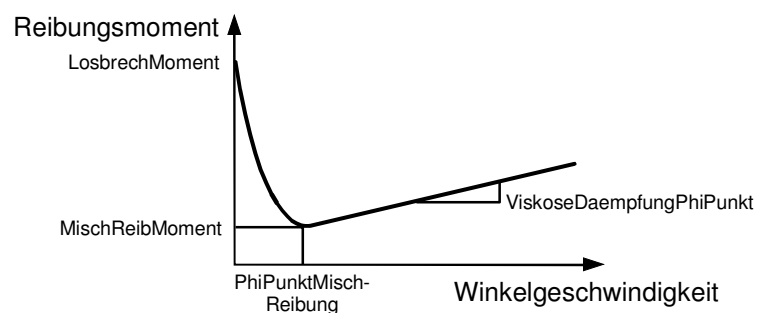
### Parameter

| Bezeichnung                  | Wert  | Einheit          | Beschreibung                                                                  |
|------------------------------|-------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| KolbenDurchmesser            | 60    | mm               | Durchmesser des Kolbens                                                       |
| StangenDurchmesser1          | 40    | mm               | Durchmesser der Stange 1                                                      |
| StangenDurchmesser2          | 40    | mm               | Durchmesser der Stange 2                                                      |
| wegmax                       | 100   | mm               | maximaler Kolbenweg in<br>positiver Richtung                                  |
| wegmin                       | -100  | mm               | maximaler Kolbenweg in<br>negativer Richtung                                  |
| Losbrechkraft                | 100   | N                | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                   |
| Geschwindigkeitsmischreibung | 0.1   | m/s              | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                   |
| Mischreibkraft               | 10    | N                | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                   |
| ViskoseDaempfung             | 10    | Ns/m             | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                   |
| ExterneLeckage1              | 0     | l/min/bar        | aus dem Zylinder an der<br>Kolbenstange 1 austretende<br>Hydraulikflüssigkeit |
| ExterneLeckage2              | 0     | l/min/bar        | aus dem Zylinder an der<br>Kolbenstange 2 austretende<br>Hydraulikflüssigkeit |
| InterneLeckage               | 0.001 | l/min/bar        | interne Leckage                                                               |
| Masse                        | 10    | kg               | Masse von Kolben und<br>Kolbenstange                                          |
| Traegheit                    | 0.05  | kgm <sup>2</sup> | Massenträgheitsmoment der<br>Ritzelwelle                                      |

| Bezeichnung           | Wert | Einheit | Beschreibung                                                               |
|-----------------------|------|---------|----------------------------------------------------------------------------|
| RotViskoseDaempfung   | 1    | Nms/°   | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                |
| Losbrechmoment        | 0    | Nm      | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                |
| Mischreibmoment       | 0    | Nm      | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                |
| PhiPunktMischreibung  | 1    | °/s     | Kennwert für Stribeck-Kurve                                                |
| RotDruckReibFaktor    | 0.   | Nm/bar  | Faktor für die druckabhängige rotatorische Reibung                         |
| TransDruckReibFaktor  | 0.   | N/bar   | Faktor für die druckabhängige translatorische Reibung                      |
| UebersetzungsKennfeld | -1   |         | Kennfeld des Übersetzungsverhältnisses zwischen Zahnstange und Ritzelwelle |

### Bemerkungen

Der rotatorische Anteil der Reibung ist gemäß der Stribeck-Kurve mit winkelgeschwindigkeitsabhängiger Reibung modelliert. Die Parameter *Losbrechmoment*, *Mischreibmoment*, *PhiPunktMischreibung* und *RotViskoseDaempfung* beschreiben die im Bild dargestellten Punkte der Reibkurve bzw. ihre Steigung im Bereich der reinen Flüssigkeitsreibung.



Die lineare Reibung ist gleichartig modelliert.

Druckabhängige Reibung ist sowohl für den rotatorischen als auch für den translatorischen Teil des Lenkzylinders modelliert. Das rotatorische Reibmoment wird mit Hilfe des Übersetzungsverhältnisses in eine translatorische Reibkraft umgerechnet. Es gilt:

$$\text{Druck Reibmoment} = \text{Rot ReibFaktor} \cdot \text{abs}(\text{Reibdruck1} - \text{Reibdruck2})$$

$$\text{Druck ReibKraft} = \text{iTrans ReibFaktor} \cdot \text{Trans ReibDruck}$$

Die Kombination der linearen, rotatorischen und druckabhängigen Reibung wird wie folgt berechnet:

$$F_F = F(\dot{\varphi}) + F(\dot{x}) + F(p)$$

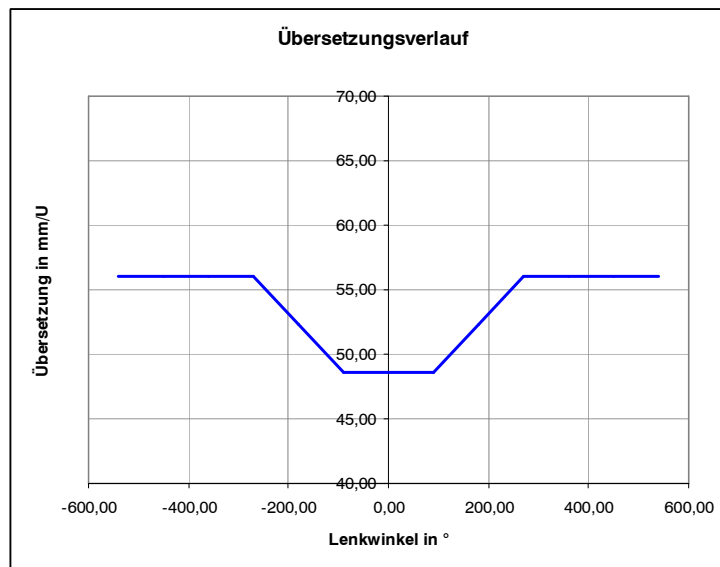
$$\text{if}(F_F > F_{\text{Aussen}})$$

$$F_F = F_{\text{Aussen}}$$

Die Addition der Zylinderkraft ( $A_1 \cdot p_1 - A_2 \cdot p_2$ ) und der externen Last ist  $F_{\text{Aussen}}$ . Wenn die Reibkraft größer ist als  $F_{\text{Aussen}}$ , wird  $F_{\text{Aussen}}$  mit der Reibkraft gleichgesetzt. Hierdurch wird die Beschleunigung des Kolbens zu Null.

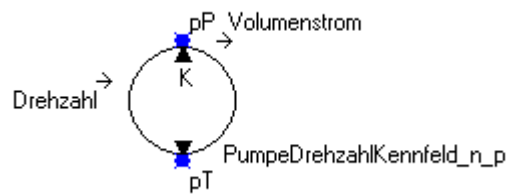
Mit dem mechanischen Anschluss *MechRohr* kann der Zylinder gegen Umgebung abgestützt werden. Da das Zylinderrohr im Modell masselos ist, muss eine externe Masse angeschlossen werden, die wiederum z. B. mit einer Feder gegen Umgebung nachgebend abgestützt werden kann.

Die variable Verzahnung wird über ein Kennfeld parametrisiert, das wie in nachfolgender Grafik dargestellt, aufzubauen ist.



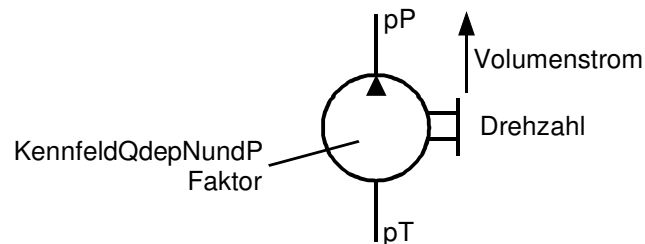
Der Lenkwinkel in der Einheit  $^{\circ}$  bildet die x-Achse und die Übersetzung in der Einheit mm/Umdrehung beschreibt die y-Achse.

## PumpeDrehzahlKennfeld\_n\_p



### Symbol

### Skizze



### Anschlüsse und Variablen

| Bezeichnung  | Typ  | Einheit | Beschreibung                                                                       |
|--------------|------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|
| pP           | Hydr | bar     | Arbeitsdruck                                                                       |
| pT           | Hydr | bar     | Tankdruck                                                                          |
| Drehzahl     | Ein  | 1/min   | Drehzahl der Pumpe                                                                 |
| Volumenstrom | Aus  | l/min   | Volumenstrom den die Pumpe in Abhängigkeit von Drehzahl und Differenzdruck fördert |

### Parameter

| Bezeichnung              | Wert | Einheit | Beschreibung                                                                                            |
|--------------------------|------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KennfeldQdepNundP        | -    | -       | Kennfeld, das die Abhängigkeit der Fördermenge von der Druckdifferenz und der Pumpendrehzahl beschreibt |
| Uebersetzungsverhaeltnis | 1    | -       | Übersetzung der Motordrehzahl auf die Pumpendrehzahl (> 1: Übersetzung ins Schnelle)                    |

### Bemerkungen

Das Bauteil PUMPEDREHZAHLKENNFELD\_N\_P ist das Modell einer Volumenstromquelle, bei der der geförderte Volumenstrom über das Kennfeld *KennfeldQdepNundP* definiert wird. Dieses Kennfeld gibt den Volumenstrom in Abhängigkeit der Motordrehzahl *Drehzahl* und der Druckdifferenz  $pP - pT$  wider.

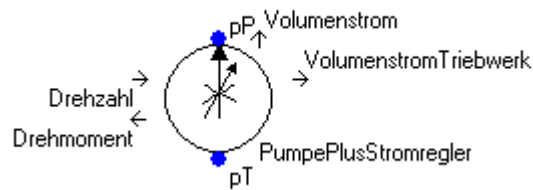
$$\text{Volumenstrom} = f_{\text{KennfeldQdepNundP}}(pP - pT, \text{Drehzahl})$$

Im Kennfeldeditor muss für das Bauteil ein zweidimensionales Kennfeld erstellt werden. Der Eingangskanal 1 repräsentiert die Druckdifferenz, der Eingangskanal 2 beinhaltet die Drehzahl. Die Einheiten der Kanäle müssen den Einheiten der Pumpe entsprechen.

Im Fall das die Drehzahl oder die Druckdifferenz die Grenzen des Kennfelds überschreitet, wird der entsprechende Randwert konstant gehalten. Das Kennfeld wird nicht extrapoliert!.

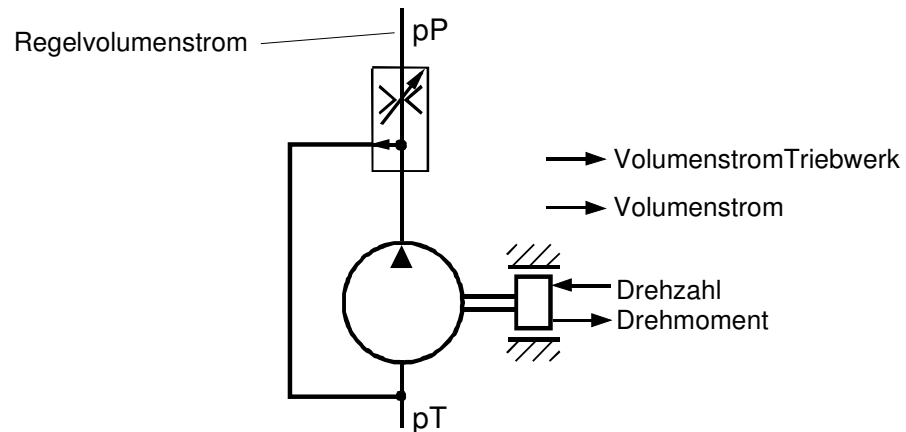
Der Volumenstrom bezieht sich immer auf den Anschluss pP.

## PumpeQRegel



## Symbol

## Skizze



## Anschlüsse und Variablen

| Bezeichnung           | Typ  | Einheit | Beschreibung                                              |
|-----------------------|------|---------|-----------------------------------------------------------|
| pP                    | Hydr | bar     | Arbeitsdruck                                              |
| pT                    | Hydr | bar     | Tankdruck                                                 |
| Drehzahl              | Ein  | 1/min   | vorgegebene Drehzahl                                      |
| Drehmoment            | Aus  | Nm      | Drehmomentaufnahme des Antriebs bei vorgegebener Drehzahl |
| Volumenstrom          | Aus  | l/min   | Fördervolumenstrom                                        |
| VolumenstromTriebwerk | Aus  | l/min   | Triebwerksvolumenstrom                                    |
| DrehzahlPT1           | V    | -       | Interne Hilfsgröße zur Bestimmung des Momentes            |

## Parameter

| Bezeichnung       | Wert | Einheit         | Beschreibung                                             |
|-------------------|------|-----------------|----------------------------------------------------------|
| Schluckvolumen    | 32   | cm <sup>3</sup> | Fördervolumen bei einer Umdrehung der Pumpe ohne Leckage |
| Regelvolumenstrom | 30   | l/min           | Volumenstrom, der die Pumpe am Anschluss pP verlässt     |

| Bezeichnung      | Wert | Einheit          | Beschreibung                                   |
|------------------|------|------------------|------------------------------------------------|
| Traegheitsmoment | 0.05 | kgm <sup>2</sup> | Trägheitsmoment der rotierenden Pumpenteile    |
| DifferenzierZeit | 1    | ms               | Interne Hilfsgröße zur Bestimmung des Momentes |
| VorzeichenMoment | -1   | -                | Vorzeichen für die Ausgabe des Moments         |
| Kavitationsdruck | -0.5 | bar              | Kavitation setzt ein                           |

### **Bemerkungen**

Das Bauteil PUMPEQREGEL ist ein Modell einer Pumpe, bei dem die *Drehzahl* vorgegeben und das dafür notwendige *Drehmoment* des Antriebs berechnet wird. Trägheits- und Reibmomente werden berücksichtigt.

Das *Drehmoment* wird aus der Drallgleichung differenziert. Dafür wird der Parameter *DifferenzierZeit* benötigt.

Mit dem Parameter *VorzeichenMoment* kann das Vorzeichen des *Drehmoments* so angepasst werden, wie es für den Anschluss an weitere Bauteile notwendig ist.

Mit dem Parameter *Regelvolumenstrom* wird der maximale Fördervolumenstrom eingestellt, der ins System fließen soll. Ist der Triebwerksvolumenstrom, der sich aus der Drehzahl und dem Fördervolumen ergibt, größer als der *Regelvolumenstrom*, wird der Differenzvolumenstrom auf die Saugseite der Pumpe abgedrosselt; ist der Triebwerksvolumenstrom kleiner bzw. gleich dem *Regelvolumenstrom*, gelangt der Triebwerksvolumenstrom ins System.

Die PUMPEQREGEL fördert nur von *pT* nach *pP*. Der *Volumenstrom* bezieht sich (unabhängig von der Förderrichtung) grundsätzlich auf den Anschluss *pP*.