

## Versuch 4: Hydraulische Positionsregelung

### 1. Versuchsaufbau

#### 1.1. Umfang des Versuches

Im Versuch werden folgende Themenkreise behandelt:

- Aufbau eines Prüfstandes zur Regelung eines Hydraulikzylinders mit einem Regelventil
- Positionsregelung mit einem P-Regler
- Messtechnische Ermittlung aller Parameter des Regelkreises
- Messwerterfassung mit Digitaloszilloskop

#### 1.2. Beschreibung des Prüfstandes

Den Kern der Anlage bildet die Kombination eines Regelventils mit einem Hydraulikzylinder. Die Position des Zylinders wird mit einem induktiven Wegaufnehmer und dem dazugehörigen Trägerfrequenzmessverstärker gemessen. Durch Umschalten zwischen zwei unterschiedlichen Sollwerten können reproduzierbare Sprungfunktionen realisiert werden. Die Stellgröße des Reglers geht als Eingangsgröße auf die Verstärkerplatine des Regelventils.

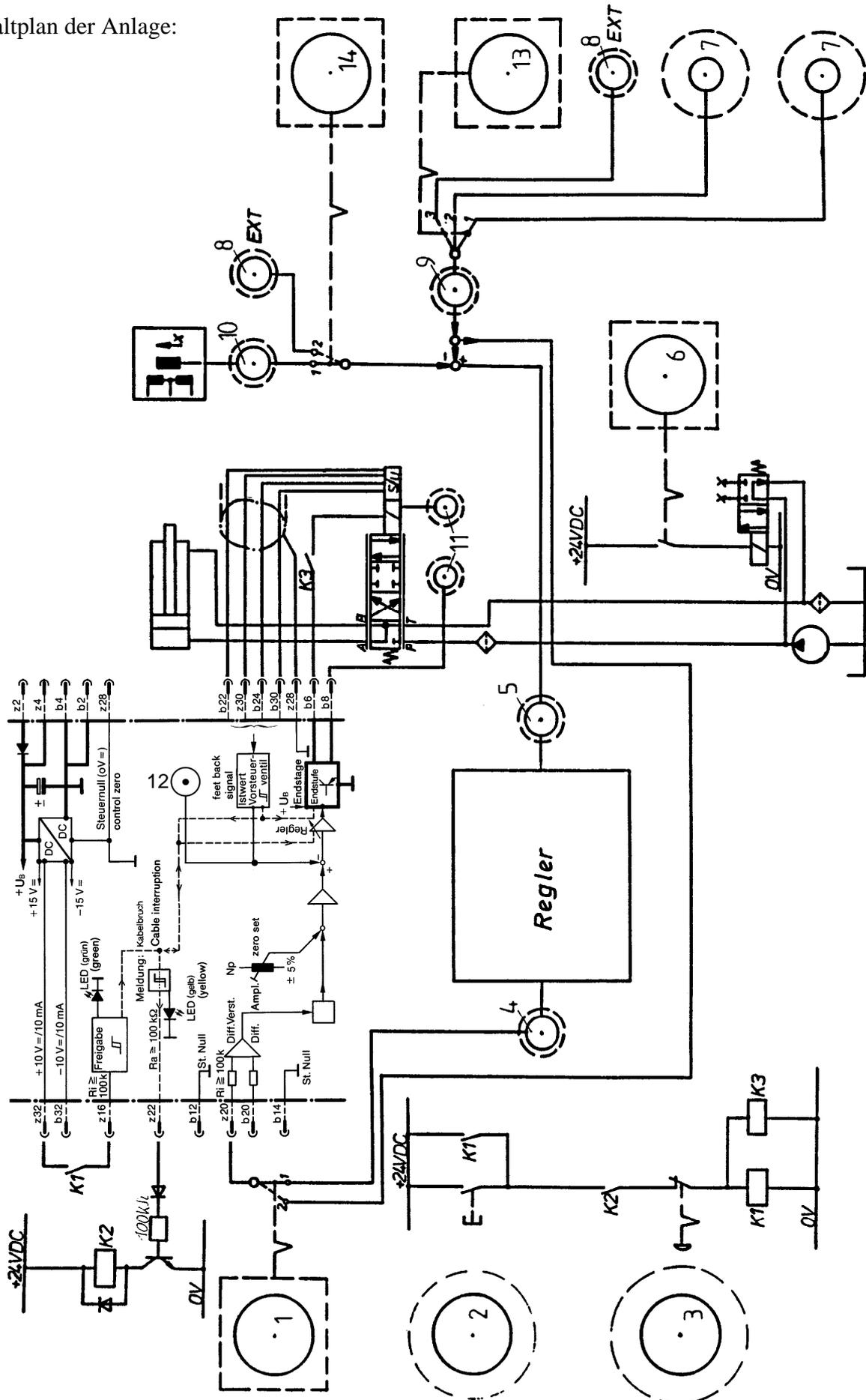
Durch entsprechende Umschaltung ist es möglich die Regelstrecke gesteuert zu fahren.

Beschreibung der einzelnen Bedienelemente zur Abbildung auf der nächsten Seite:

- (1) Umschaltung Steuern/Regeln
- (2) Aktivierung der NOT-AUS Selbsthaltefunktion, muss u.a. beim Einschalten der Anlage einmal betätigt werden
- (3) NOT-AUS Taster: bei Betätigung können die Relais K1 und K3 nicht anziehen, dadurch keine Reglerfreigabe und keine Bestromung des Regelventils möglich
- (4) BNC-Buchse: Messung der Ausgangsgröße  $U_y$  des Reglers
- (5) BNC-Buchse: Messung der Regeldifferenz des Reglers
- (6) Umschaltung für drucklosen Umlauf der Pumpe
- (7) Zwei Potentiometer für Vorgabe von 2 unterschiedlichen Sollwerten
- (8) BNC-Buchse: zur Vorgabe eines externen Sollwertes, z.B. von einem Funktionsgenerator
- (9) BNC-Buchse: Messung Sollwert/Führungsgröße  $U_w$
- (10) BNC-Buchse: Messung Regelgröße (Wegsignal)  $U_x$
- (11) 2 Buchsen, dienen zur Messung des Stroms durch das Regelventil
- (12) BNC-Buchse: Messung der Stellung des Ventilschiebers
- (13) Wahlschalter zum Umschalten zwischen den Sollwerten
- (14) Wahlschalter zum Umschalten auf eine externe Regelgröße z.B. Druckregelung

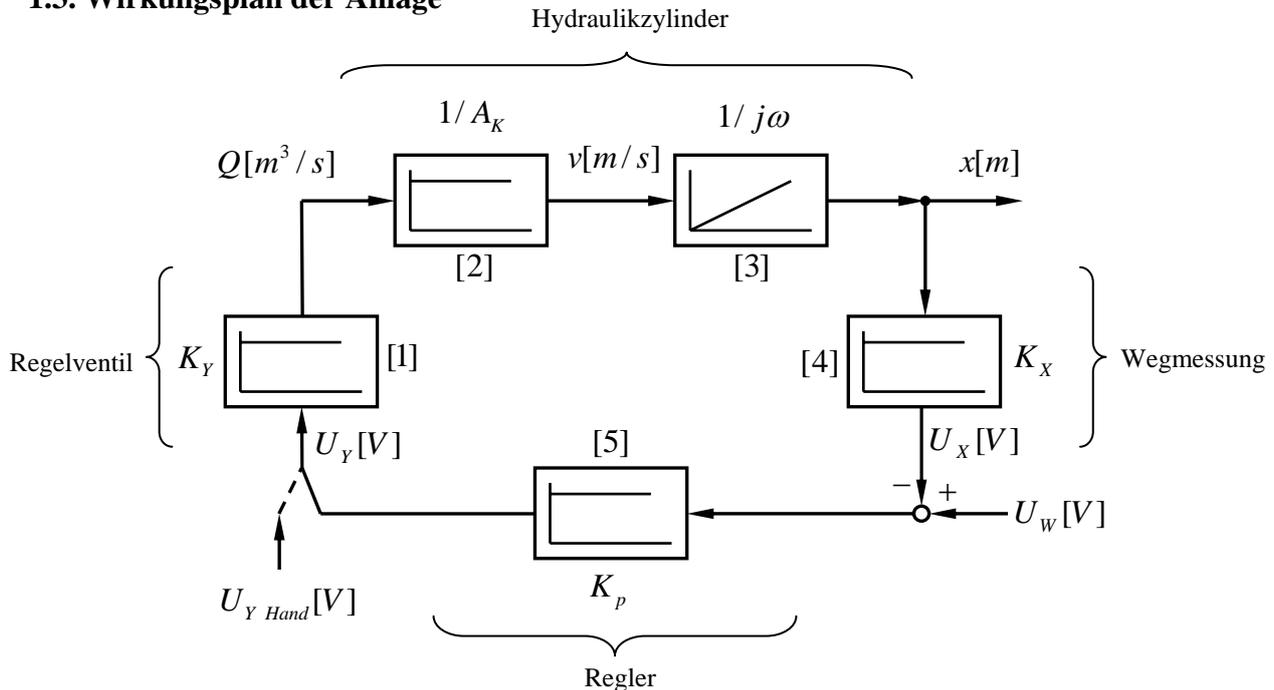


Schaltplan der Anlage:





### 1.3. Wirkungsplan der Anlage



Im gesamten Versuch soll nur der Ausfahrvorgang untersucht werden.

Im Wirkungsplan werden die Dynamik des Regelventils und das PT<sub>2</sub>-Verhalten des Systems Ölsäule/Zylindermasse vernachlässigt. Es ergibt sich somit ein Gesamtsystem vom Typ PT<sub>1</sub> (strukturstabil). Die zur Beschreibung des Gesamtverhaltens erforderlichen 5 Übertragungsblöcke sind:

- [1]:  $K_Y$ , beschreibt das statische Verhalten des Regelventils mit Verstärkerplatine; gibt an, wie sich der Volumenstrom durch das Regelventil je Änderung der Eingangsspannung ändert, beinhaltet die Größe des Regelventils, physikalisch: Volumenstrom je Volt

$$\text{formelmäßig: } K_Y = \frac{\Delta \text{Ausgangsgröße}}{\Delta \text{Eingangsgröße}} = \frac{\Delta Q}{\Delta U_Y} = \frac{Q}{U_Y} \quad \text{wegen } Q \sim U_Y$$

- [2]: proportionaler Zusammenhang zwischen dem Volumenstrom durch das Wegeventil und der Ausfahr Geschwindigkeit des Zylinders

$$\text{formelmäßig: } K = \frac{\Delta \text{Ausgangsgröße}}{\Delta \text{Eingangsgröße}} = \frac{\Delta v}{\Delta Q} = \frac{v}{Q} = \frac{1}{A_K} \quad \text{wegen } Q = A_K \cdot v$$

- [3]: formale Integration der Geschwindigkeit zum Weg

$$\text{formelmäßig: } G = \frac{\text{Ausgangszeiger}}{\text{Eingangszeiger}} = \frac{x}{v} = \frac{1}{j\omega} \quad \text{wegen } v = \dot{x} = (j\omega) \cdot x$$

- [4]:  $K_X$ , Messumformer für Wegmessung, physikalisch: Volt je Meter

$$\text{formelmäßig: } K_X = \frac{\Delta \text{Ausgangsgröße}}{\Delta \text{Eingangsgröße}} = \frac{\Delta U_X}{\Delta x} = \frac{U_X}{x} \quad \text{wegen } U_X \sim x$$

- [5]:  $K_p$ , Verstärkungsfaktor des P-Reglers

$$\text{formelmäßig: } U_Y = K_p \cdot (U_W - U_X)$$



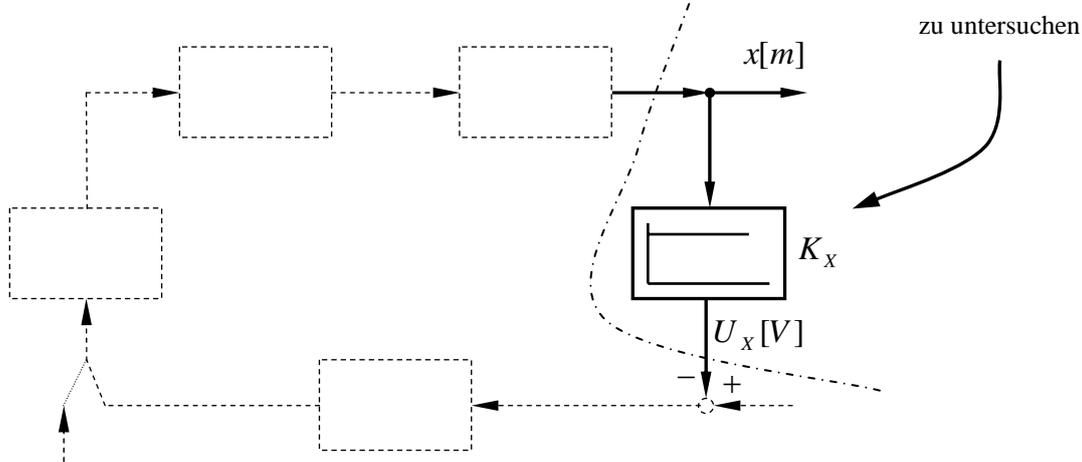
## 2. Aufgabenstellung und Versuchsdurchführung:

### 2.1. Ermittlung des Übertragungsfaktors $K_X$ des Wegmesssystems

Zunächst soll der Übertragungsfaktor  $K_X$  des Wegmesssystems bestimmt werden. Dazu ist wie folgt vorzugehen:

- Digitalvoltmeter an BNC-Buchse (10) zur Wegmessung  $U_X$  anschließen
- Wahlschalter (1) auf Stellung 1 (geregeltes System)
- Wahlschalter (13) zwischen Stellung 1 und Stellung 2 hin- und herschalten (entsprechende Sollwerte sind an den Potentiometern einzustellen)
- Spannung  $U_X$  messen bzw.  $\Delta U_X$ , sowie den zurückgelegten Weg  $\Delta x$  des Kolbens (Stahlbandmaß)

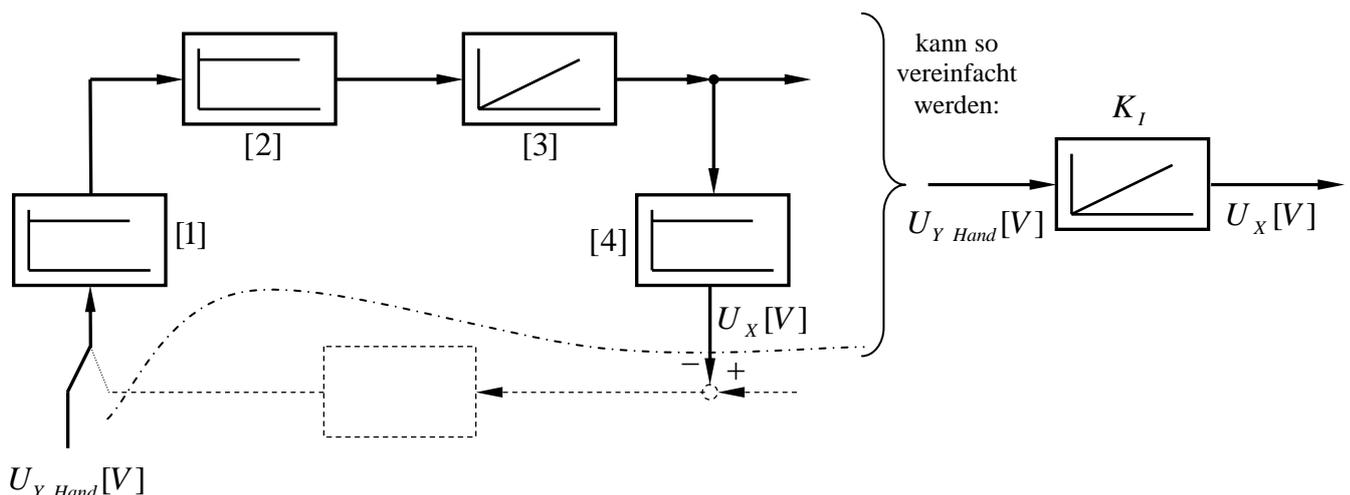
$$K_X = \frac{\Delta \text{Ausgangsgröße}}{\Delta \text{Eingangsgröße}} = \frac{\Delta U_X}{\Delta X} = \frac{U_X}{x}$$



### 2.2. Ermittlung des Integrierbeiwertes $K_I$ der Regelstrecke

Auf die Verstärkerplatine des Regelventils wird ein Signal eingespeist (= Stellgröße  $U_Y$ ). Dieses Signal wird mit dem Multimeter gemessen. Gleichzeitig wird der Verlauf des Wegsignals (Wegsignal = Position Kolben = Regelgröße  $U_X$ ) mit dem Oszilloskop gemessen (Aufsicht muss Einweisung geben).

Durch diese Messanordnung werden im Wirkungsplan alle Übertragungselemente [1] bis [4] zusammengefasst (also Regelventil, Zylinder und Messumformer). Dies stellt im Sinne der Regelungstechnik eine Regelstrecke ohne Ausgleich dar.





Zur Beschreibung dieses Verhaltens kann angesetzt werden:

$$U_x = K_I \cdot \int U_Y \cdot dt \quad \text{oder hier besser:} \quad \frac{\Delta U_x}{\Delta t} = K_I \cdot U_Y \quad (\text{weil } \dot{U}_x \sim U_Y)$$

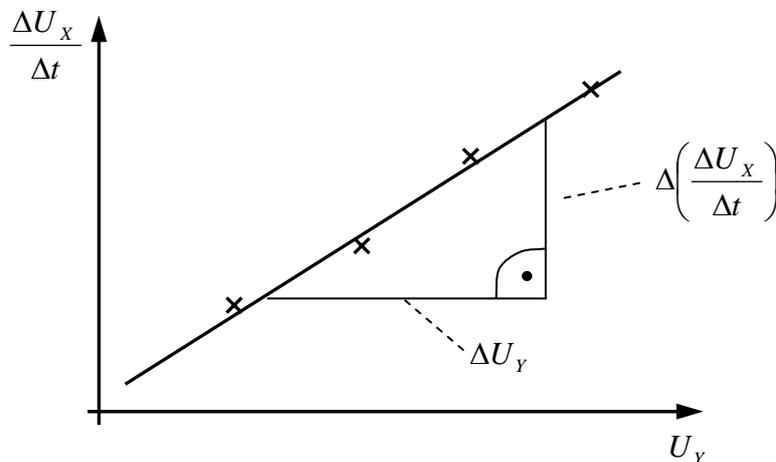
Hierbei muss allerdings noch geprüft werden, ob eine lineare Beziehung zwischen der eingespeisten Stellgröße  $U_Y$  und der zeitlichen Ableitung von  $U_x$  besteht (obige Gleichung geht von einer linearen Beziehung aus). Dazu sollen vier verschiedene Arbeitspunkte angefahren werden.

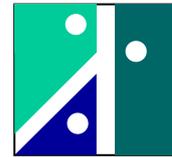
- Wahlschalter (1) auf Stellung 2 (gesteuertes System)
- Wahlschalter (13) auf Stellung 1 (unteres Potentiometer dient als Sollwertgeber, in diesem Fall ist es die Stellgröße  $U_Y$ )
- Durch späteres Umschalten des Wahlschalters (13) auf Potentiometer 2 kann durch einen negativen Einstellwert der Kolben wieder in eine untere (Ausgangs-)Stellung gefahren werden
- Digitalvoltmeter an BNC-Buchse (9) zur Messung der Stellgröße  $U_Y$  anschließen
- Wegsignal (BNC-Buchse 10) auf Kanal 1 des Oszilloskops geben

Fahren Sie 4 Arbeitspunkte an und zwar  $U_Y = 2,5V; 5V; 7,5V$  und  $10V$  (bzw. ca.  $10V$ ) und tragen Sie die Ergebnisse in die untenstehende Tabelle ein.

$U_Y$	$\Delta U_x$	$\Delta t$	$\Delta U_x / \Delta t$
[V]	[V]	[s]	[V/s]

Die 4 Messpunkte sollen in einer Graphik dargestellt werden. Die Steigung einer gedachten Ausgleichsgerade (Methode scharfes Hinsehen) liefert den gesuchten Wert für  $K_I$  in [ 1/s ].





### 2.3. Bestimmung des Übertragungsfaktors $K_Y$ des Regelventils

Durch die Reihenschaltung der Übertragungsglieder [1] bis [4] erhält man in Frequenzgangschreibweise folgende Gleichung:

$$G = \frac{\underline{U}_X}{\underline{U}_Y} = K_Y \cdot \frac{1}{A_K} \cdot \frac{1}{j\omega} \cdot K_X$$

Andererseits kann ein/das I-Glied beschrieben werden durch:

$$G = \frac{\underline{U}_X}{\underline{U}_Y} = \frac{K_I}{j\omega}$$

Durch Koeffizientenvergleich erhält man:

$$K_I = \frac{K_Y \cdot K_X}{A_K}$$

Daraus kann  $K_Y$  bestimmt werden, da alle anderen Größen bekannt sind (wobei  $d_{\text{Kolben}} = 25 \text{ mm}$ ). Bestimmen Sie  $K_Y$  in [ $\text{m}^3/\text{s}$  je Volt] und in [L/min je (10Volt)] !

Anmerkung: Die Umrechnung [ $\text{m}^3/\text{s}$  je Volt] in [L/min je Volt] erhält man durch Multiplikation mit dem Faktor 60 000. Multipliziert man mit dem Faktor 600 000, so erhält man den Volumenstrom bei voll geöffnetem Ventil ( $U_Y = 10\text{V}$ ). Dieser Wert (bei einer bestimmten Druckdifferenz) wird von den Ventilherstellern im Datenblatt angegeben.

### 2.4. Positionsregelung mit einem P-Regler

Hierbei muss der Regelkreis geschlossen werden. Der Sollwertgeber dient dazu, zwischen 2 verschiedenen Sollwerten (reproduzierbar) hin- und her zu schalten.

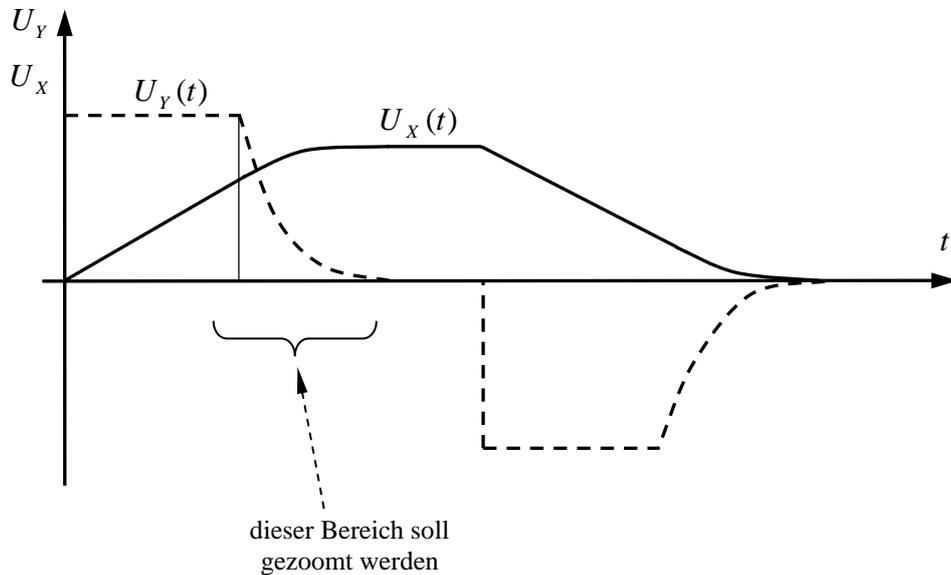
Dazu ist wie folgt vorzugehen:

- Wahlschalter (1) auf Stellung 1 (geregeltes System)
- Digitalvoltmeter an BNC-Buchse (9) zur Sollwertmessung anschließen
- Wahlschalter (13) zunächst auf Stellung 1 (unteres Potentiometer dient als Sollwertgeber)
- Auf Stellung 1 einen Wert von z.B. -3 Volt einstellen (ergibt eine Position im unteren Bereich)
- Auf Stellung 2 einen Wert von z.B. +3 Volt einstellen (ergibt eine Position im oberen Bereich)
- BNC-Buchse (10) auf Kanal 1 Oszilloskop (Regelgröße  $U_X$ )
- BNC-Buchse (4) auf Kanal 4 Oszilloskop (Stellgröße  $U_Y$ )

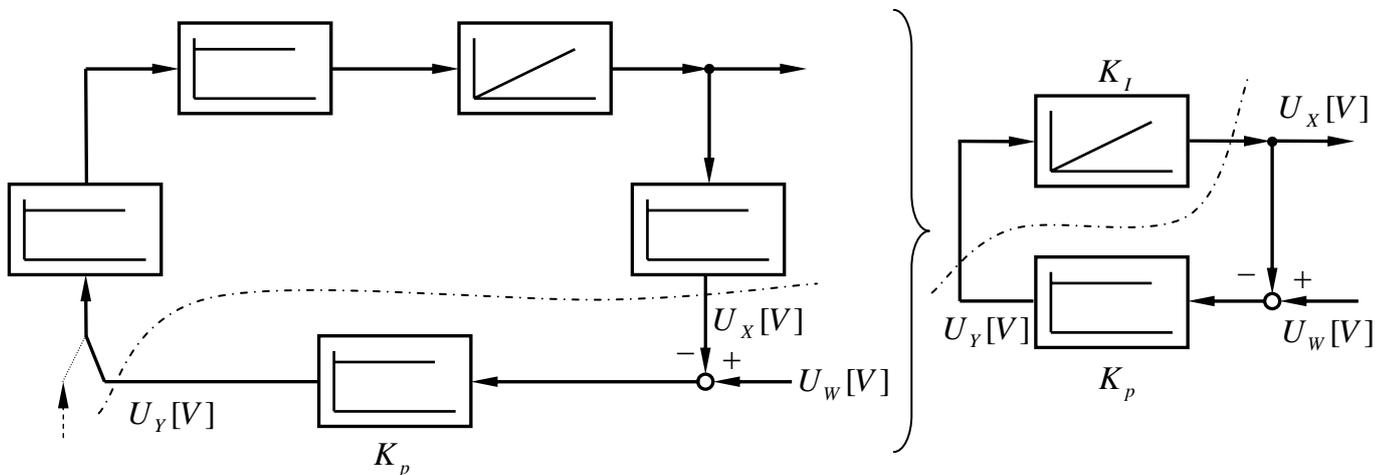
Mit dem Oszilloskop (Aufsicht hilft) wird nun ein vollständiger Aus- und Einfahrvorgang gemessen. An den Signalverläufen der Stellgröße und Regelgröße ist die Funktion der Regelung gut zu erkennen.



Prinzipiell ergibt sich folgender Verlauf:



In dem Zeitbereich, wo das Ventil wieder in seine Nulllage zurückfährt, ist der Regler nicht mehr übersteuert. Dann ist das Gesamtverhalten des Regelkreises vom Typ  $PT_1$ .



Der Führungsfrequenzgang dieses Systems lautet:

$$G_w = \frac{U_X}{U_W} = \frac{G_R \cdot G_S}{1 + G_R \cdot G_S} = \frac{K_P \cdot \frac{K_I}{j\omega}}{1 + K_P \cdot \frac{K_I}{j\omega}} = \dots = \frac{1}{1 + j\omega \cdot \frac{1}{K_P \cdot K_I}} = \frac{1}{1 + j\omega \cdot T}$$

Für die Zeitkonstante des  $PT_1$ -Gliedes ergibt sich somit:

$$T = \frac{1}{K_P \cdot K_I}$$

Nach dem Ausdruck des Bildschirminhaltes auf dem bereitgestellten Drucker (Hardcopy) wird graphisch die Zeitkonstante  $T$  bestimmt. Dann kann aus der obigen Gleichung unter Verwendung des Ergebnisses für  $K_I$  der Verstärkungsfaktor  $K_P$  des P-Reglers ermittelt werden.