

Versuch 1: Durchflussregelung

1. Versuchsaufbau

1.1. Umfang des Versuches

Im Versuch werden folgende Themenkreise behandelt:

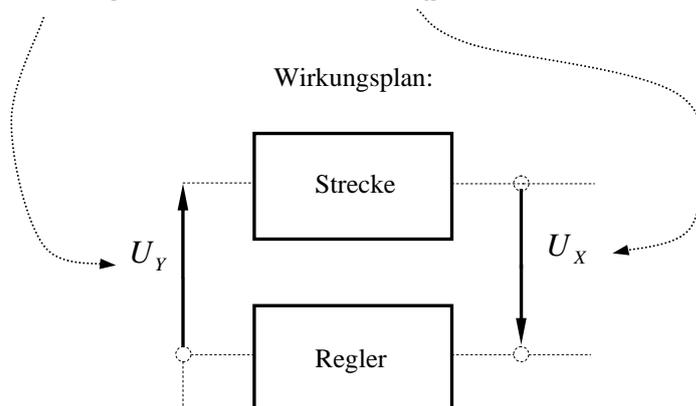
- Pumpe mit Drehzahlregelung
- Ermittlung der statischen Kennlinie
- Ermittlung Stabilitätsgrenze Ziegler/Nichols
- Optimierung Reglerparameter
- Sprungantworten Führungsgröße und Störgröße
- Vergleich Stellgröße Drehzahl / Stellventil

1.2. Versuchsaufbau

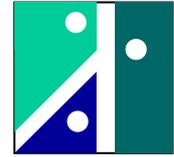
Eine Radialkreiselpumpe fördert Wasser im offenen Kreis. Der Antrieb der Kreiselpumpe erfolgt über einen Gleichstrommotor, dessen Drehzahl durch Vorgabe einer Leitspannung mittels eines Potentiometers oder einer externen Gleichspannung variiert werden kann. Das Antriebsmoment der Kreiselpumpe wird mit DMS und einem induktiven Messsystem gemessen. Die Volumenstrommessung erfolgt mit einem Schwebekörperprinzip, einem magnetisch-induktiven Durchflussmessverfahren und einer Differenzdruckmessung über einer Messblende. Neben der Motordrehzahl als Stellgröße kann der Volumenstrom auch über ein Stellventil beeinflusst werden. Der Hub des Ventils ist an einem Potentiometer oder durch Vorgabe einer externen Gleichspannung zu verändern. Vor und nach dem Stellventil befindet sich eine Druckmessstelle. Zur Eingabe einer Störgröße ist ein manuell bedienbares Absperrventil (Kugelhahn) in den Kreislauf integriert.

Ein Anlagenschema mit Messstellen und Signalverläufen ist auf der nächsten Seite abgebildet. Unabhängig vom Signalfluss innerhalb der Anlage werden an der Bedieneinheit für den Anwender alle Ein- und Ausgänge mit der Signalform 0-10 Volt übertragen.

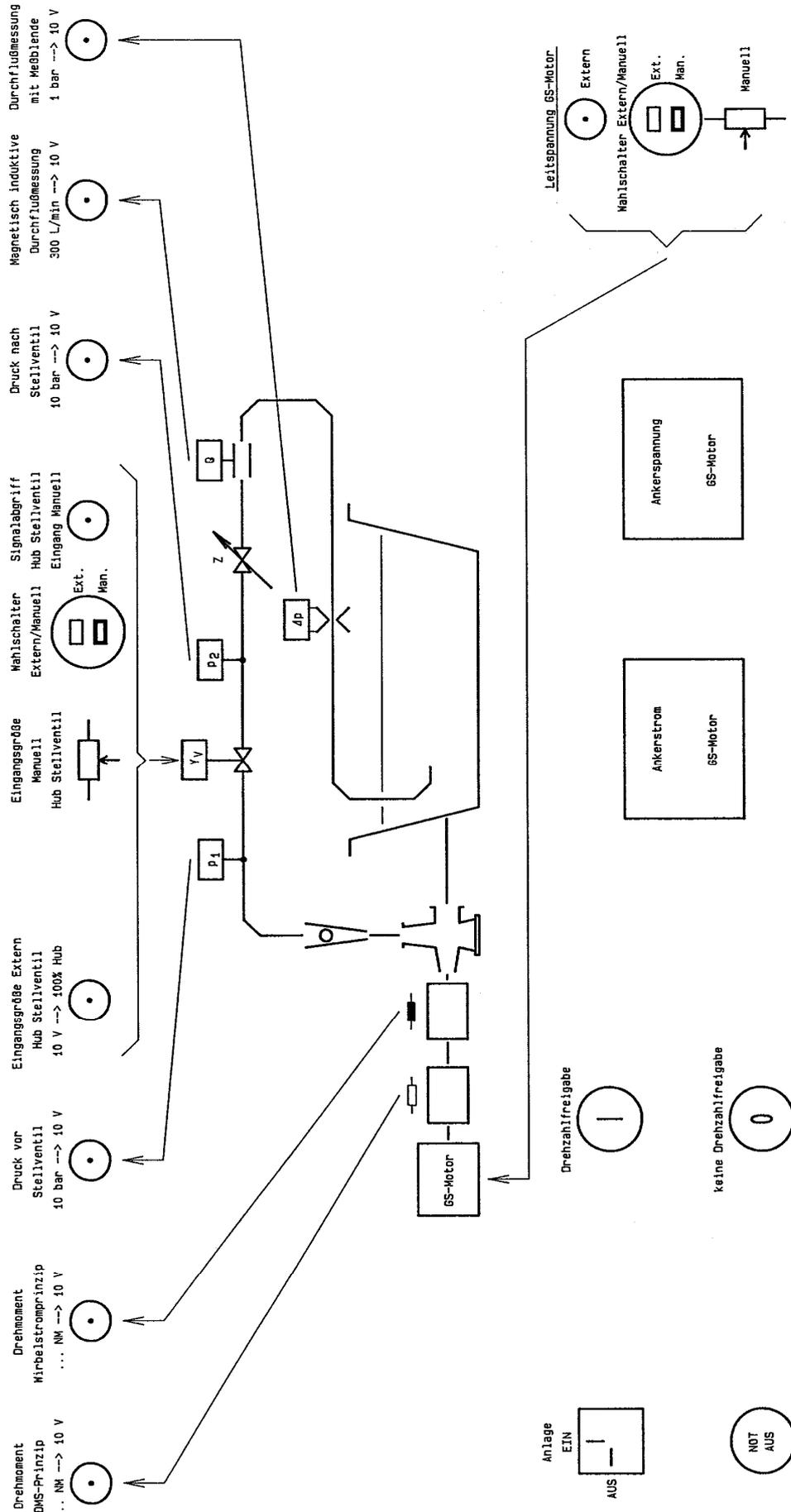
Zur Kopplung von Regelstrecke=Strecke (=Anlage) und Regler (=PC) sind lediglich zwei Kabel erforderlich (Stellgröße U_Y und Rückführgröße U_X).



Mit einer geeigneten Software übernimmt der PC über analoge Aus- und Eingabekanäle die Aufgabe des Reglers. Dabei kann die Anlage gesteuert oder geregelt betrieben werden. Bei geregelter Anlage können die Reglerparameter ON-LINE variiert werden. Führungsgröße, Stellgröße und Regelgröße werden als Messschrieb graphisch, sowie als Momentanwerte numerisch angezeigt.



Anlagenschema:





An einem zusätzlichen 19"-Einschub kann reproduzierbar zwischen 2 Sollwerten (Führungsgröße) hin- und hergeschaltet werden.

Zur Dokumentation und Auswertung werden Führungsgröße, Stellgröße und Regelgröße nach Bedarf auf einem Linienschreiber aufgezeichnet.

1.3. Vorbemerkungen

Zum Betrieb der Anlage muss am Wahlschalter "Anlage EIN" die Anlage eingeschaltet werden und durch einmaliges Betätigen der Taste "Drehzahlfreigabe" der Umformersatz zum Betrieb des Gleichstrommotors aktiviert werden. Es ist darauf zu achten, dass bei Drehung der Pumpe weder das Stellventil noch das Absperrventil zur Eingabe der Störgröße über längere Zeit geschlossen sind, da die Pumpe sonst heiß läuft und Folgeschäden entstehen können. Als "Strömungswächter" genügt ein Blick durch die Plexiglasabdeckung des Wasservorratsbehälters.

Die Kanalbelegung des Linienschreibers ist in allen Versuchsteilen gleich:

Kanal 1: Führungsgröße (grün)

Kanal 2: Stellgröße (blau)

Kanal 3: Regelgröße (rot)

Als Abbildungsmaßstab wird stets 0-10 Volt verwendet. Der Nullpunkt der Schreiberkanäle spielt eine besondere Rolle, da durch einen möglichen Stiftversatz eine "bleibende Regeldifferenz vorgetäuscht" werden kann. Die Zeitkompensation des Linienschreibers (POC = Pen offset compensation) ist stets aktiviert.

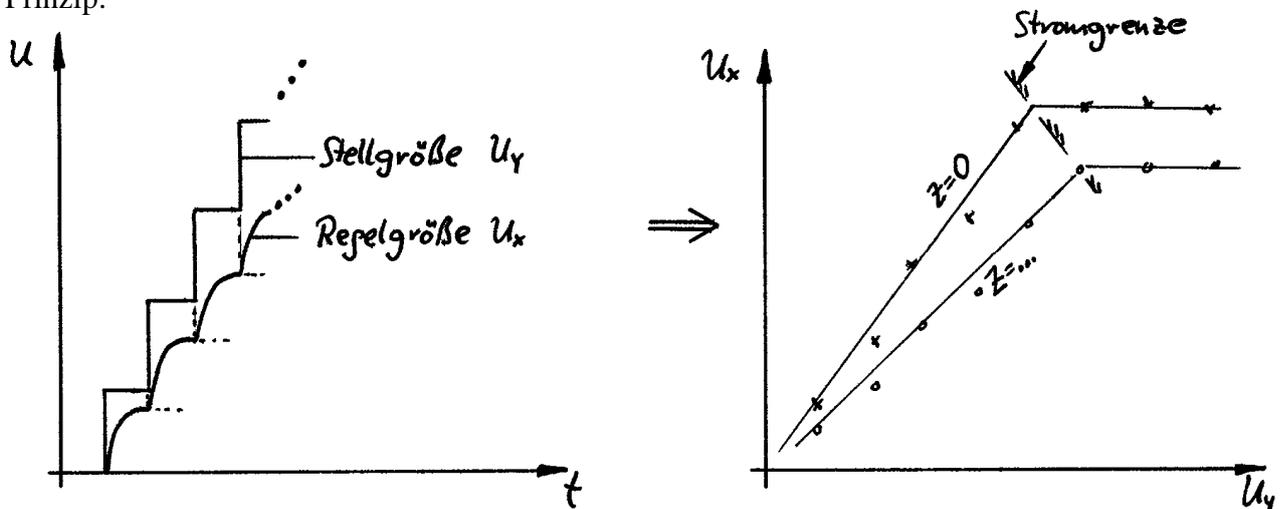
2. Aufgabenstellung und Versuchsdurchführung:

2.1. Ermittlung des statischen Verhaltens der Regelstrecke

Als Stellgröße wird zunächst die Drehzahl des Gleichstrommotors vom PC über den Hardware-Regler zum Prüfstand eingegeben. Das Stellventil ist 100% geöffnet, das Absperrventil zur Eingabe der Störgröße ist voll geöffnet. Als Regelgröße Volumenstrom wird in allen Versuchsteilen der Ausgang des magnetisch-induktiven Messsystems verwendet.

Als Vorschub am Linienschreiber wird 1,0 mm/Sekunde gewählt. Die Stellgröße wird in Stufen von 1 Volt schrittweise erhöht. Dabei werden Stellgröße und Regelgröße aufgezeichnet. Der Vorgang wird wiederholt bei halb geschlossenem "Absperrventil Störgröße".

Prinzip:

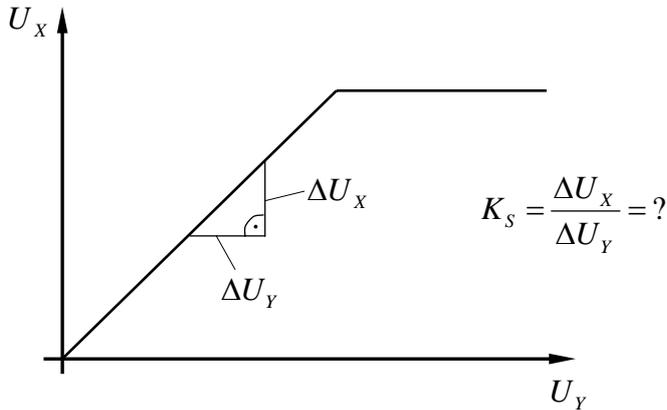


Ermitteln Sie aus dem Messschrieb (links dargestellt) das rechts skizzierte Kennfeld.

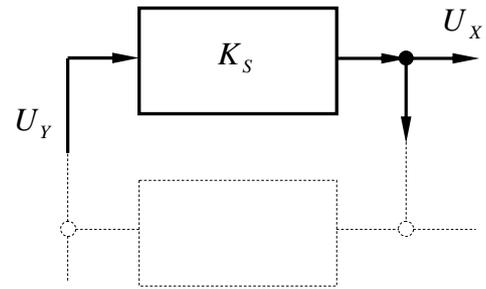


Unterhalb der Stromgrenze kann der Kurvenverlauf gut durch eine Gerade angenähert werden. Betrachtet wird hier (nur) der Fall $Z=0$. Die Steigung der Geraden ist die sogenannte Verstärkung K_S der Regelstrecke. Wie groß ist K_S ?

Hilfestellung:



Darstellung im Wirkungsplan
 (statische Betrachtung):

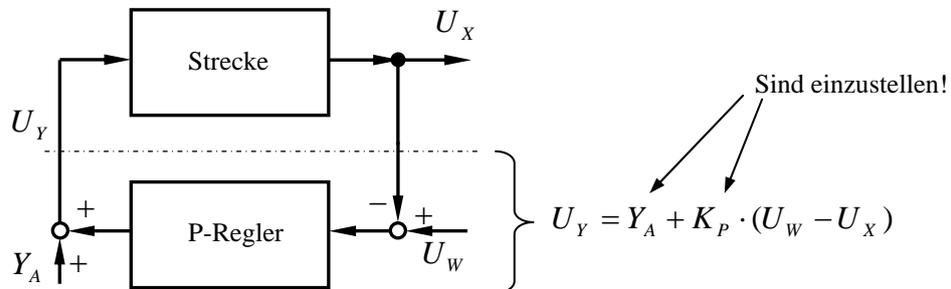


ergibt: $U_X = K_S \cdot U_Y$ (statische Betrachtung)

2.2. Regelbetrieb / Stellgröße Motordrehzahl / Stabilitätsgrenze nach Ziegler/Nichols

Als Sollwert wird ein Wert von z.B. $U_W=3$ Volt (entspricht 30%) eingestellt. Das Absperrventil für die Störgröße wird voll geöffnet ($Z=0$).

Darstellung im Wirkungsplan:



Nun wird die Anlage statisch mit Y_A auf einen Arbeitspunkt gefahren, so dass sich eine Regelgröße U_X ergibt, die etwa dem Sollwert U_W entspricht.

Bis zu diesem Zeitpunkt wird die Anlage gesteuert gefahren, da K_p noch auf Null voreingestellt ist. Nun wird K_p stufenweise erhöht, bis sich eine Schwingung an der Stabilitätsgrenze einstellt.

Bemerkung: Der dann eingestellte Wert für K_p wird mit $K_{p\text{ krit}}$ bezeichnet. Die Periodendauer der sich einstellenden Schwingung wird mit T_{krit} bezeichnet.

Bemerkung:

In der Regel wird sich bei einem bestimmten Einstellwert für K_p eine abklingende Schwingung einstellen, beim nächst höheren Einstellwert die Amplitude der Schwingung sich jedoch fortlaufend vergrößern. Aus diesen beiden Einstellwerten für K_p soll durch Abschätzung (ähnlich Interpolation) ein Wert für $K_{p\text{ krit}}$ angegeben werden.

Bei einem Papiervorschub/Linienschreiber von 1 mm/s soll ein Messschrieb mit einigen Schwingungen erzeugt werden. Aus dem Messschrieb soll die Periodendauer T_{krit} der Schwingung ermittelt werden.



Hinweis: Nach Ziegler/Nichols kann aus den Werten $K_{p \text{ krit}}$ und T_{krit} auf die Reglereinstellung geschlossen werden (wird hier nicht weiter verfolgt).

Regler	K_P	T_n	T_v
P	$0,5 \cdot K_{p \text{ krit}}$	-	-
PI	$0,45 \cdot K_{p \text{ krit}}$	$0,85 \cdot T_{\text{krit}}$	-
PID	$0,6 \cdot K_{p \text{ krit}}$	$0,5 \cdot T_{\text{krit}}$	$0,12 \cdot T_{\text{krit}}$

2.3. Regelbetrieb / Stellgröße Motordrehzahl / PID-Regler

Als unterer Sollwert wird ein Wert von z.B. $U_W=2$ Volt (entspricht 20%), als oberer Sollwert z.B. $U_W=4$ Volt (entspricht 40%) eingestellt. Das Absperrventil für die Störgröße wird voll geöffnet ($Z=0$).

Der folgende Ablauf wird von der Aufsicht vorgeführt.

Nun wird die Anlage statisch mit Y_A auf einen Arbeitspunkt gefahren, so dass sich eine Regelgröße ergibt, die etwa dem dem unteren Sollwert entspricht (unterer Sollwert ist aktiviert). Bei der Regloptimierung wird stets zwischen den beiden Sollwerten hin- und hergeschaltet.

Folgender Ablauf ist sinnvoll:

- Schrittweise Erhöhung von K_P (Hinweis: Eine Erhöhung von K_P bedeutet eine Erhöhung der P-Verstärkung.) so weit, bis dass die Regelgröße gerade noch keine Schwingneigung aufweist. Bemerkung: Wenn dies der Fall ist, dann ist der P-Anteil "nicht schlecht" eingestellt.
- Aktivierung des I-Anteils: T_n wird auf immer kleinere Werte eingestellt (Hinweis: Kleinere Werte für T_n bedeuten einen stärkeren I-Anteil, es wird in kleinerer Zeit nachgestellt.). Der I-Anteil wird so weit erhöht (d.h. T_n verringert), bis die Regelgröße bei einer sprungförmigen Sollwertvariation gerade noch nicht über den Endwert überschwingt.
- Aktivierung D-Anteil: Für den D-Anteil wird vereinfacht $T_v=T_n/5$ eingestellt.

Im Folgenden kann noch eine iterative Optimierung der Reglerparameter durchgeführt werden.

Bei geeignet erscheinender optimierter Einstellung soll die Regelung auch mit einem Störgrößensprung konfrontiert werden. Der Störgrößensprung wird durch eine sprungförmige Veränderung des Absperrventils erzeugt. Dazu den Absperrhebel (= Kugelhahn) um ca. 45° drehen (so gut es geht) und danach wieder zurück auf 0° .

2.4. Regelbetrieb / Stellgröße Ventilstellung / PID-Regler

Die Aufsicht konfiguriert den Prüfstand so, dass als Stellgröße die Ventilstellung des Stellventils verwendet wird. Die Drehzahl des Motors wird auf einen konstanten Wert eingestellt. Im Weiteren ist das Programm von 2.3. zu wiederholen.