

Methoden der Regelungstechnik

In der Industrie wird selten ein Regler allein angewendet.

Die Anlagen sind meist so komplex, dass mehrere Regelgrößen geregelt werden müssen, die oft noch in einem bestimmten Verhältnis zueinander stehen sollen.

Außerdem gibt es Tricks um die unvermeidbare Regelabweichung möglichst klein zu halten.

1) Störgrößenregelung (Störgrößenkonstanthaltung)

Prinzip:

Die Hauptstörgröße wird erfasst und ungefähr konstant gehalten.

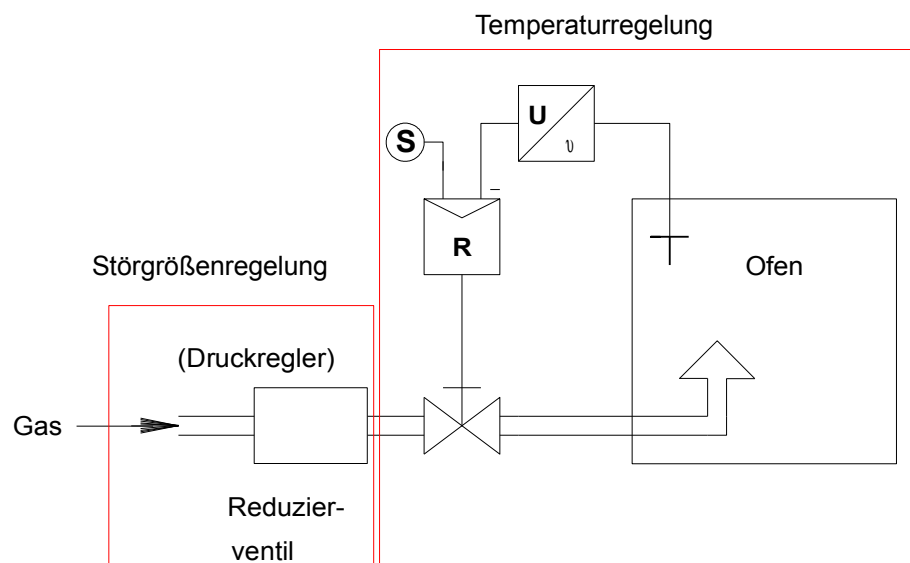
Hierzu genügt meist ein einfacher P-Regler.

Beispiel:

Temperaturregelung eines Gasofens

Hauptstörgröße: Gasdruckschwankungen

Diese Schwankungen werden mit einem Druckregler ausgeregelt.



Voraussetzung:

Die Hauptstörgröße muss **messbar und beeinflussbar** sein.

Dies ist z.B. nicht erfüllt für Laststörungen eines Motors (diese sind zwar messbar, aber nicht beeinflussbar da sie durch den normalen Betrieb vorgegeben sind).

Andere Beispiele:

- Kesseltemperaturregelung bei einer Heizungsanlage.
Die Temperatur des Wassers das zum Mischventil gelangt wird mit einem Zweipunktregler mehr oder weniger konstant gehalten.
- Konstant halten des Versorgungsdruckes für pneumatische Regelanlagen (1.4bar).

2) Kaskadenregelung

(Mehrgrößenregelung, zwei- oder mehrschleifige Regelkreise)

a) Nachteil des einschleifigen Regelkreises:

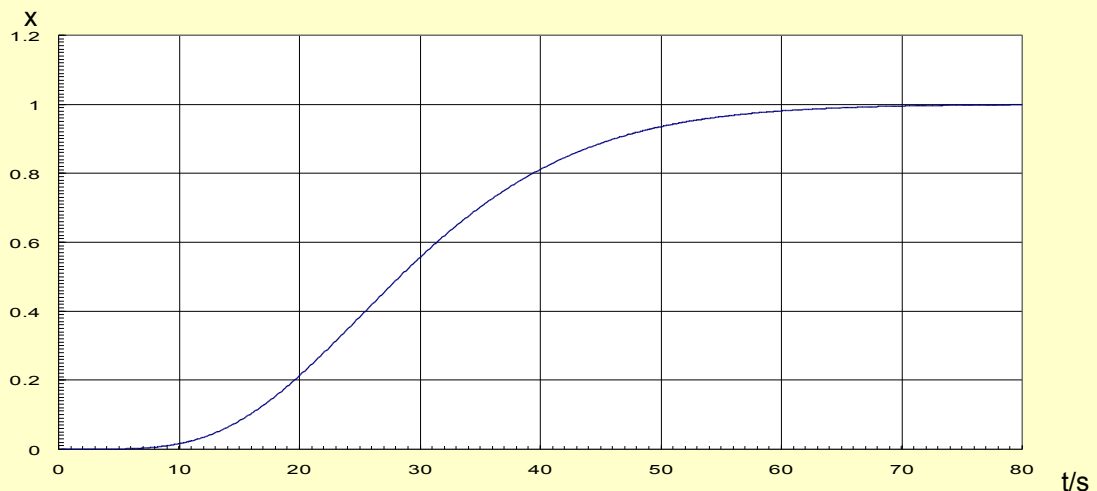
Unabhängig vom Regler gibt es eine **unvermeidbare vorübergehende Regelabweichung** gegen die der beste Regler machtlos ist. (siehe T2EE)

Eine Versorgungsstörung durchläuft zuerst die Strecke ($1 \times T_u$), dann reagiert der Regler und es dauert noch einmal $1 T_u$ bis sich diese Reaktion am Ausgang der Strecke bemerkbar macht. Das Problem stellt sich vor allem bei Strecken mit großen Verzugszeiten.

Die Folge sind große Überschwingweiten und lange Ausregelzeiten.

Um das Problem zu veranschaulichen, soll ein einschleifiger Regelkreis mit einer Ptn-Strecke untersucht werden:

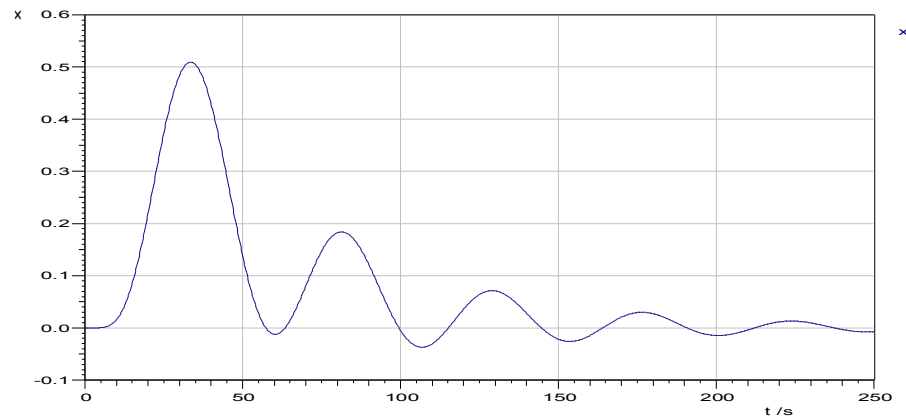
Aufgabe MR 1



Die Sprungantwort wurde für einen Stellgrößensprung von 100% aufgenommen.

- *Optimiere den Regelkreis für bestes Störverhalten mit möglichst wenig Überschwingen.*
- *Simuliere in BORIS und bestimme die Überschwingweite.
Hinweis: Benutze die Tabelle aus dem Kapitel Optimierung zur Bestimmung von Ordnung und Zeitkonstante der PTn-Strecke.*
- *Wie groß ist die unvermeidbare Regelabweichung? Wie lange dauerte es bis der Regler etwas ausrichten kann? Wie lang ist die Ausregelzeit bei einem Toleranzband von $\pm 5\%$?*

Ergebnisse:



$x_m \approx 51\%$ (Überschwingweite)

$x_u \approx 44\%$ (unvermeidbare Regelabweichung)

$2T_u \approx 28\text{s}$ (Zeit während der der Regler nichts ausrichten kann)

$T_{\text{aus}} \approx 135\text{s}$ (Ausregelzeit = Zeit bis die Störung auf weniger als 5% herunter geregelt ist)

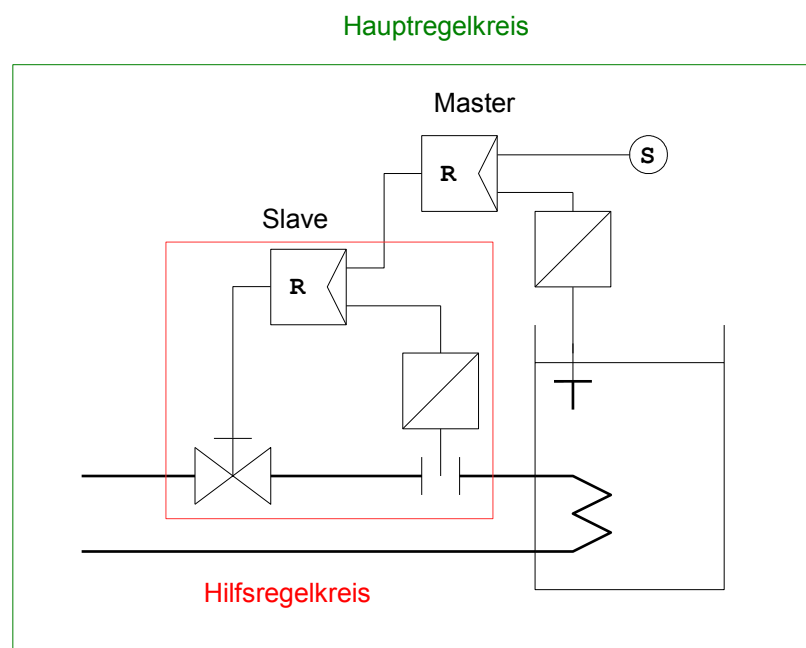
Diese Ergebnisse sind sehr unbefriedigend.

b) Prinzip der Kaskadenregelung:

Es wird nicht gewartet bis sich eine Versorgungsstörung auf die (Haupt-)Regelgröße auswirkt. Eine Zwischengröße (Hilfsregelgröße) am Anfangsteil der Strecke wird erfasst und ihre Schwankungen durch den Hilfsregelkreis weitgehend ausgeregelt.

c) Beispiel:

Temperaturregelung eines Behälters der mit Heißdampf erhitzt wird.



Störgröße: Dampfdruckschwankungen
 Hauptregelgröße: Temperatur
 Hilfsregelgröße: Durchfluss des Heißdampfs

Die Kaskadenregelung besteht aus einem übergeordneten, langsamen Regelkreis (Hauptregelkreis, Führungsregelkreis) und einem untergeordneten, schnellen Regelkreis (Hilfsregelkreis, Folgeregelkreis).

Es gibt zwei Regler:

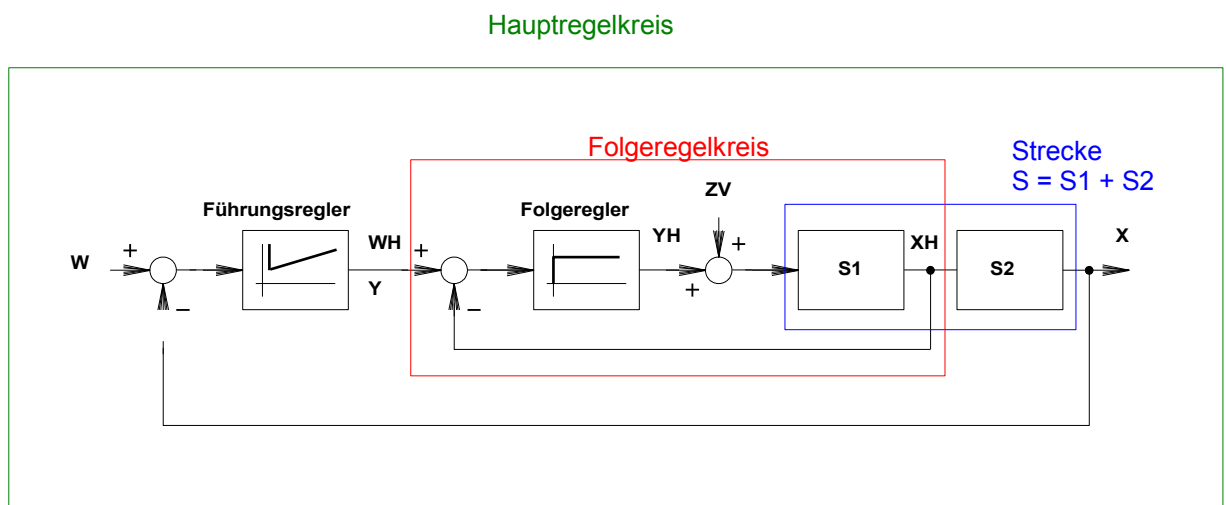
- den Master = Hauptregler = Führungsregler
- den Slave = Folgeregler = Hilfsregler

Im Beispiel regelt der Folgeregelkreis schon die Dampfdruckschwankungen aus, bevor sie sich als Temperaturschwankungen bemerkbar machen.

Vom Standpunkt des Führungsreglers ist der Folgeregelkreis ein schnelles Stellglied.

Vom Standpunkt des Folgeregelkreises ist der Führungsregler ein Sollwertgeber, dessen Sollwert sich nur langsam ändert.

d) Signalflussplan



e) Anwendungsbereich:

Da Störungen hinter dem Messort der Hilfsgröße nicht erfasst werden, ist die Kaskadenregelung nur sinnvoll bei Störungen im Anfangsbereich der Strecke (Versorgungsstörungen).

Außerdem muss sich die Strecke in zwei oder mehrere Teilstrecken aufspalten lassen, deren Ausgangsgrößen messbar sind.

Die Regelgröße und die Hilfsregelgröße sind oft physikalisch unterschiedliche Größen. Ein schönes Beispiel dafür ist auch die schwebende Kugel im Magnetfeld:

<http://staff.ltam.lu/feljc/school/asser/SchwebendeKugel1.pdf>

Hier regelt der Hauptregelkreis die Position, der Hilfsregelkreis regelt den Strom durch die Magnetspule.

f) Optimierung einer Kaskadenregelung

Die Optimierung erfolgt in 2 Schritten:

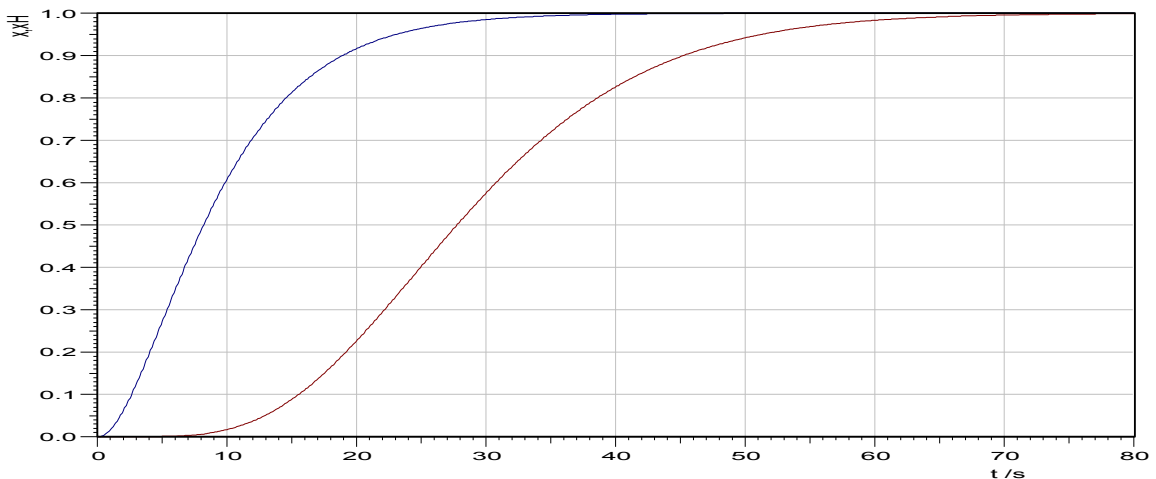
1. Optimierung des inneren Regelkreises (Folgeregelkreis)
2. Optimierung des äußeren Regelkreises (Führungsregelkreis)

Zu beachten ist dass sich der Folgeregelkreis wie eine schnellere Strecke benimmt, allerdings mit einem veränderten Proportionalbeiwert (und natürlich veränderter Verzugs- und Ausgleichzeit)

Beispiel:

Nehmen wir an, wir haben Glück und unsere Strecke aus Aufgabe MR1 bietet die Möglichkeit, eine Hilfsregelgröße abzugreifen.

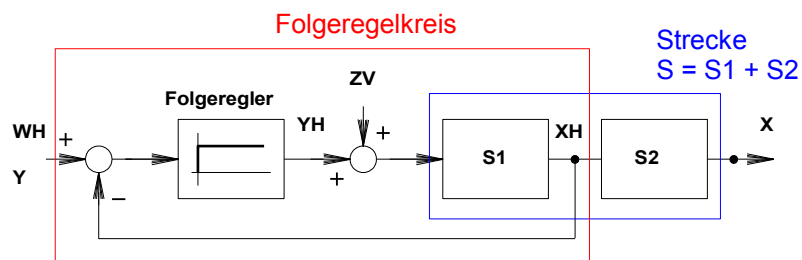
Die Sprungantworten x und x_H wurden aufgenommen:



Wir verwenden folgende Bezeichnungen:

- T_{U1}, T_{g1}, K_{PS1} für Teilstrecke S1
- T_{U2}, T_{g2}, K_{PS2} für Teilstrecke S2
- K_{PR2} für den Folgeregler (nur P) (Slave)
- K_{PR1}, T_{N1}, T_{V1} für den Führungsregler (Master)

Zuerst wird der Folgeregelkreis optimiert:



- Bestimmung der Parameter K_{PS1}, T_{U1} und T_{g1} von Teilstrecke S1
- Optimierung des Folgereglers: Bestimmung von K_{PR1} .
(Meistens wird der Folgeregler nur als P-Regler ausgeführt.)

Nun sind beim Folgeregelkreis alle Parameter festgelegt.

Aufgabe MR 2

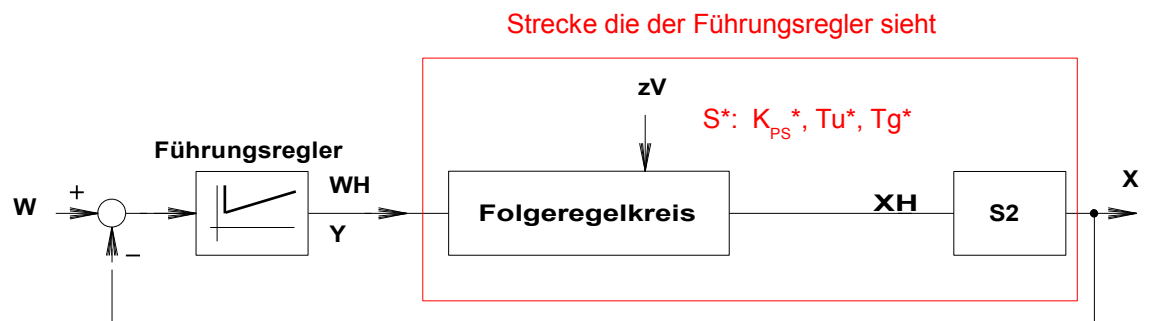
Optimiere den Folgeregler (als P-Regler) für unser Beispiel nach CHR aperiodisch für bestes Störverhalten.

Ergebnis:

$$K_{PR2} = 2,7$$

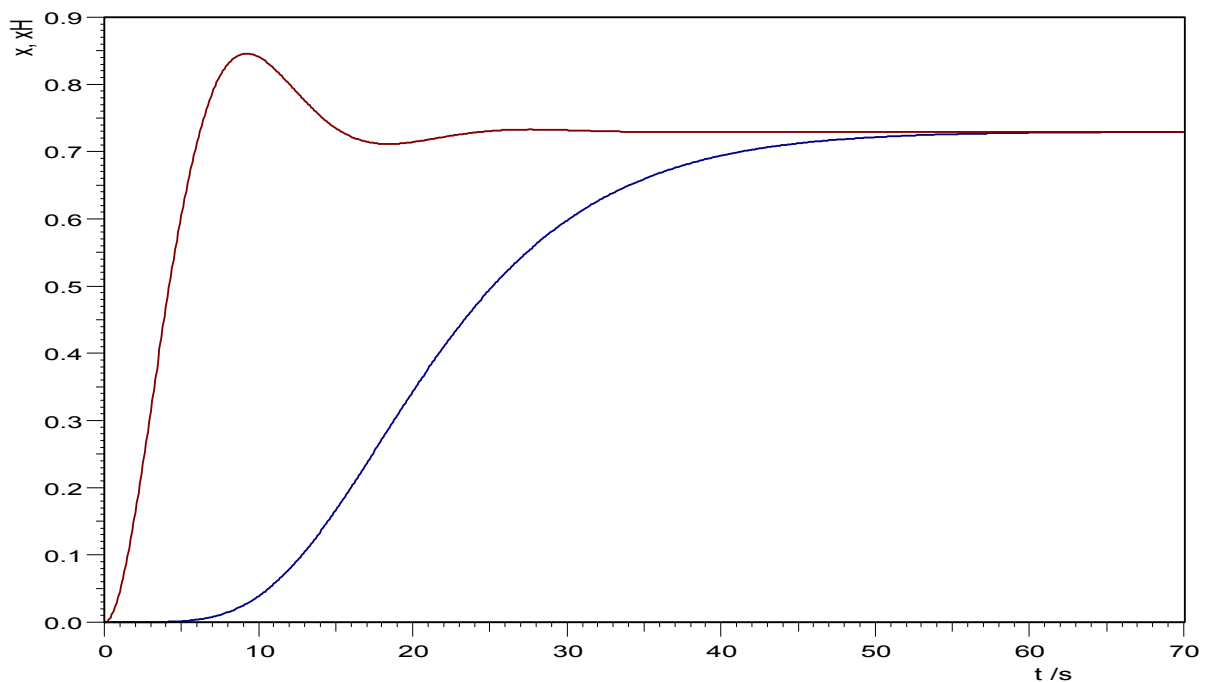
Der nächste Schritt ist die **Optimierung des Führungsreglers**.

Hierbei ist zu beachten dass die Strecke S^* die dieser « sieht », aus dem Folgeregelkreis und der Teilstrecke S2 besteht:



Achtung: diese Strecke hat durch die Regelung einen veränderten Proportionalbeiwert K_{PS}^* !

Mit BORIS simuliert ergibt sich die folgende Sprungantwort:



Aufgabe MR 3

Berechne den Wert von K_{PS}^* und vergleiche mit dem Wert der aufgenommenen Sprungantwort.

Aufgabe MR 4

Optimiere den Führungsregler (als PID-Regler) nach CHR aperiodisch für bestes Störverhalten.

Ergebnisse:

$$K_{PS}^* = 0,73$$

$$T_u^* = 10,4s$$

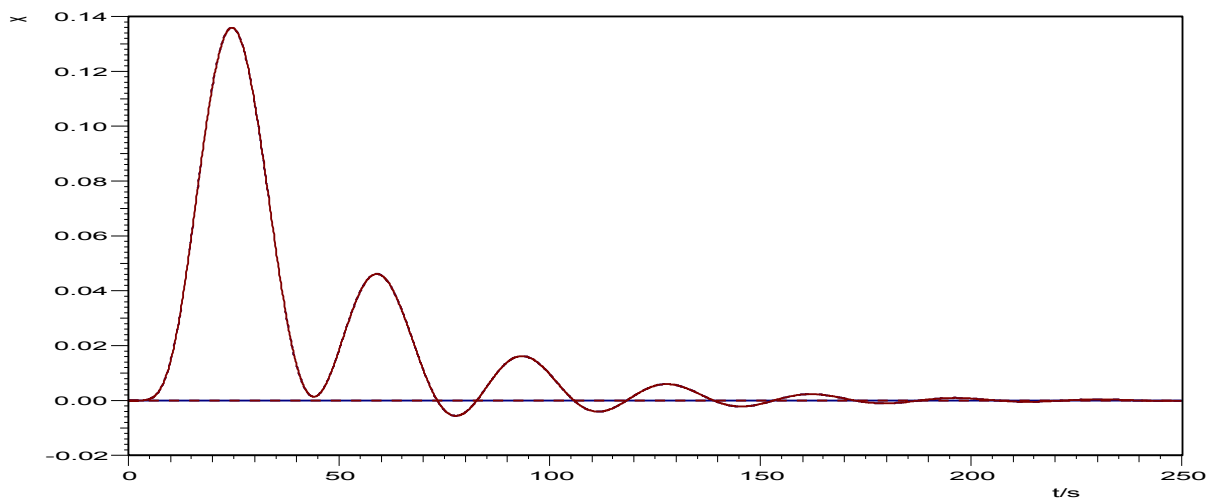
$$T_g^* = 21.2s$$

$$K_{PRI} = 2,65$$

$$T_{NI} = 25s$$

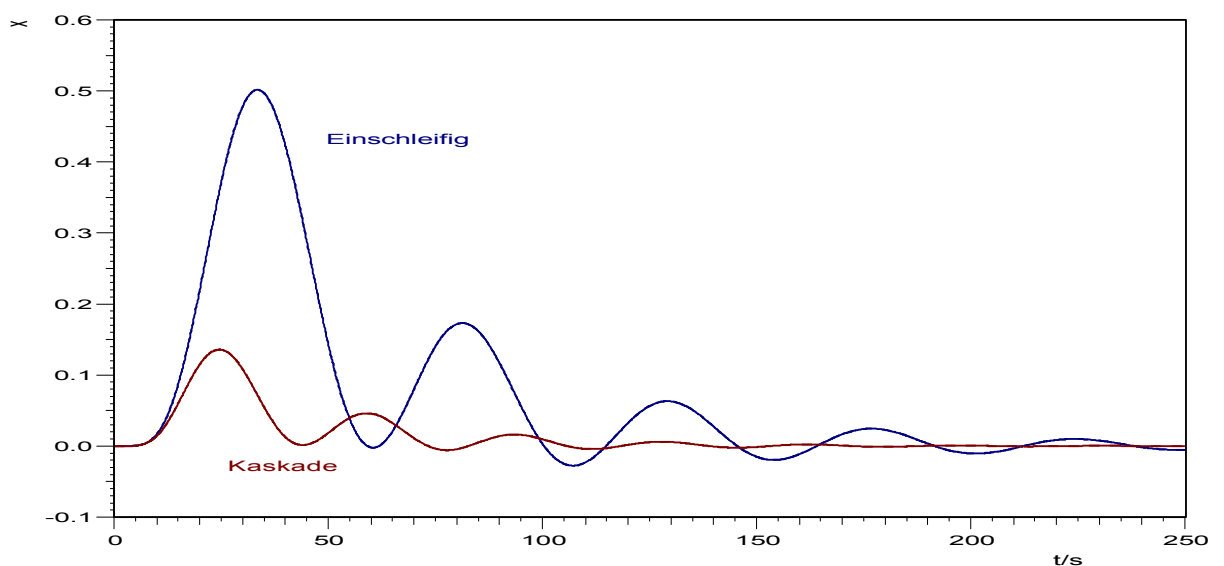
$$T_{VI} = 4,4s$$

In BORIS simuliert ergibt sich folgende Störantwort:

**Aufgabe MR 5**

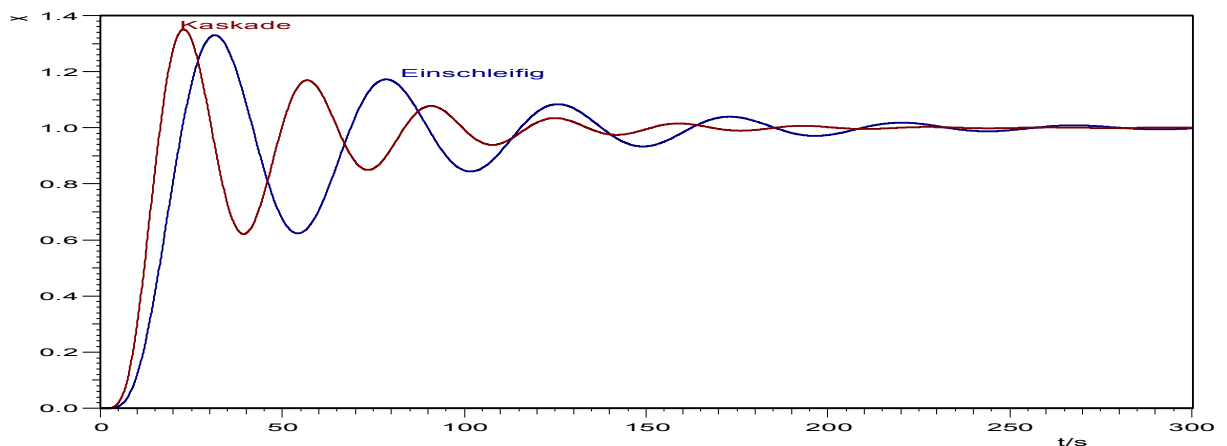
Bestimme die Überschwingweite und die Ausregelzeit bei einem Toleranzband von $\pm 5\%$.
Vergleiche mit den Ergebnissen des einschleifigen Regelkreises.

Hier noch einmal ein Vergleich der Ergebnisse des einschleifigen Regelkreises mit der Kaskadenregelung (Störverhalten):



Es ist deutlich zu sehen dass die Störung besser und schneller ausgeglet wird.

Die Kaskadenregelung hat allerdings nicht nur Vorteile.
Ein Nachteil offenbart sich beim Vergleich der Führungsantworten:



In unserem Beispiel ergibt sich etwas mehr Überschwingen im Führungsverhalten.

g) Vor- und Nachteile der Kaskadenregelung

Vorteile:

- Versorgungsstörungen werden schon im inneren Regelkreis ausgeglichen, bevor sie auf den Rest der Strecke wirken können
- Ein Teil der Strecke wird schneller gemacht
- Ein nichtlineares Stellglied wird durch den inneren Regelkreis linearisiert.
- Eine innere Prozessgröße kann durch den Stellhub des Führungsreglers begrenzt werden.
- Beim Anfahren kann eine Anlage in einzelnen Abschnitten nacheinander in Betrieb genommen werden.

Nachteile:

- Jeder Regelkreis braucht seine eigenen Sensoren, Messwandler, Regler
- Das Führungsverhalten kann schlechter als das eines einfachen Regelkreises sein.

h) Beispiel aus der Antriebstechnik: Drehzahlregelung

In einem Walzwerk soll das Walzgut mit einstellbarer und geregelter Geschwindigkeit bewegt werden. Der Motor wird durch eine Thyristorbrücke gesteuert, die Drehzahl über einen Tachogenerator erfasst.

Eine wichtige Störgröße ist die Netzspannung.

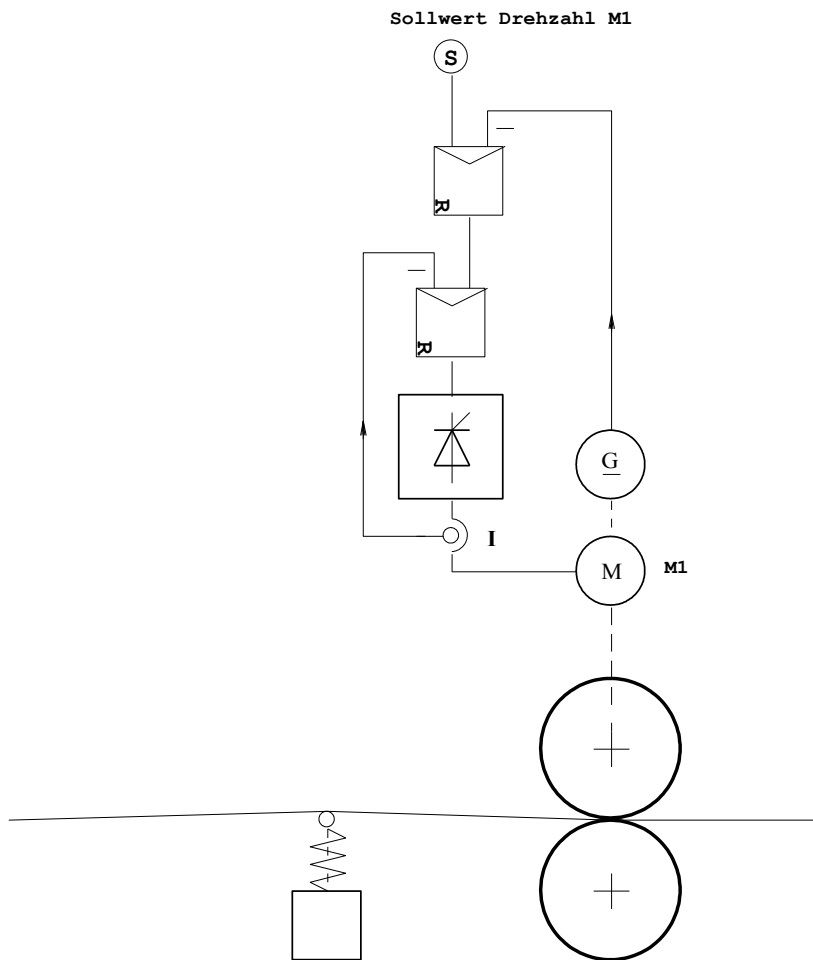
Es gibt im wesentlichen 2 Zeitkonstanten: eine elektrische durch die Induktivität der Ankerwicklung und eine mechanische durch die Massenträgheit.

Hinzu kommt eine Totzeit von 20ms, da der Zündzeitpunkt der Thyristoren nur 1x pro Periode geändert werden kann.

Netzspannungsschwankungen machen sich zuerst als Ankerstromschwankungen bemerkbar, d.h. als Drehmomentänderungen ($M = c \cdot I_A \cdot \Phi_E$), und dann erst als Drehzahländerungen.

Die unterlagerte Stromregelung regelt die Versorgungsstörungen zum größten Teil aus, bevor sie sich als Drehzahländerungen bemerkbar machen.

Durch Ankerstrombegrenzung (Begrenzung des Sollwertes für den Strom, d.h. Begrenzung der Stellgröße des Drehzahlreglers) ergibt sich ein Schutz der Thyristoren gegen Überlast.



Aufgabe MR 6

Markiere im Schema: Master, Slave, Hauptregelgröße, Hilfsregelgröße, Hauptregelkreis, Folgeregelkreis.

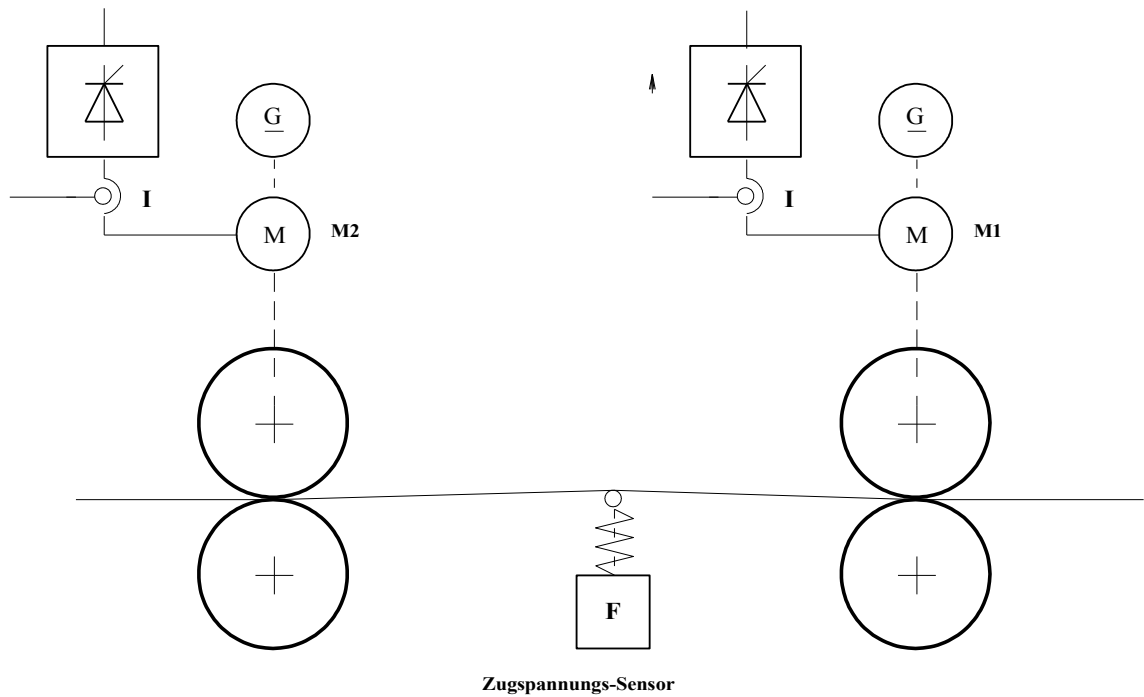
i) Beispiel aus der Antriebstechnik: Bandzugregelung

Aufgabe MR 7

Die Anlage aus dem vorigen Beispiel soll so erweitert werden, dass ein zweiter Motor in der Drehzahl geregelt wird, mit dem Ziel eines konstanten Bandzuges.

Die Hauptregelgröße ist die Zugkraft, die von einem Andrucksensor erfasst wird.

Die erste Hilfsregelgröße ist die Drehzahl, wobei diese Regelung mit unterlagerter Stromregelung funktionieren soll.



Lösung:

Führungsregler:	Sollwert Zugkraft F Istwert von Andruckrolle (Zugmessung)
Folgeregler 1:	Sollwert vom Führungsregler = Solldrehzahl Istwert von Tachogenerator
Folgeregler 2:	Sollwert vom Drehzahlregler = Sollwert des Ankerstromes (→Drehmoment) Istwert von Shuntwiderstand

