

## 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:

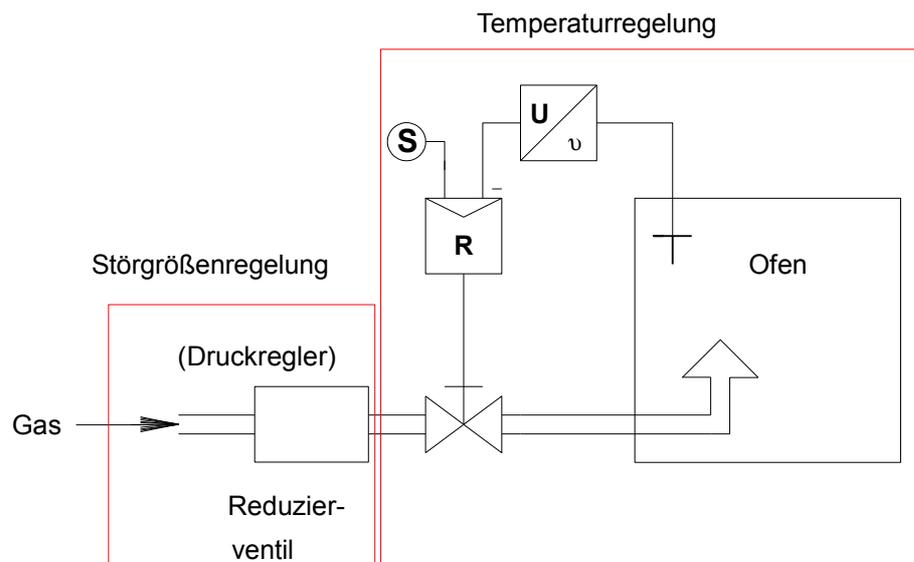
Die Hauptstörgröße wird erfasst und ungefähr konstant gehalten.  
Hierzu genügt meist ein einfacher P-Regler.

#### 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:

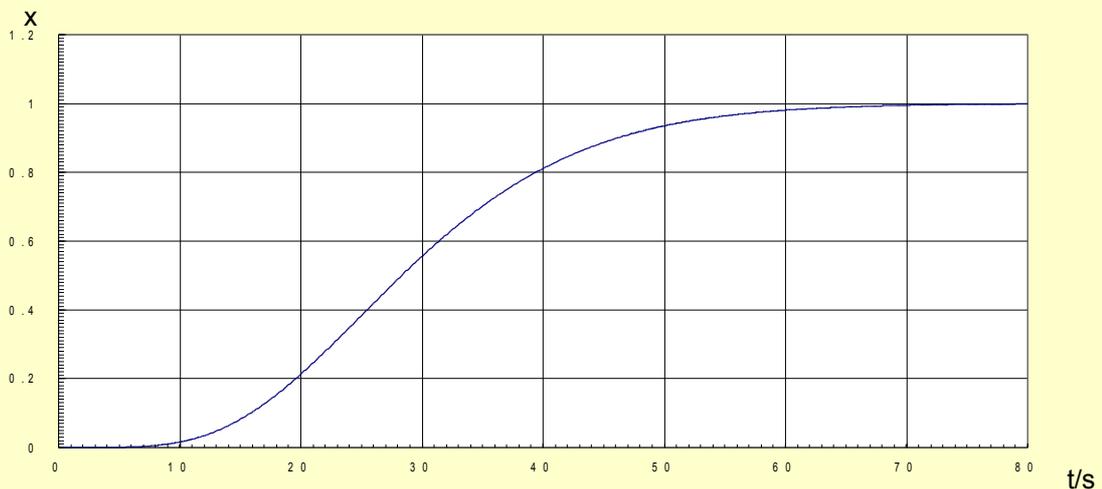
Unabhängig vom Regler gibt es eine **unvermeidbare vorübergehende Regelabweichung** gegen die der beste Regler machtlos ist. (siehe T2EE)

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:

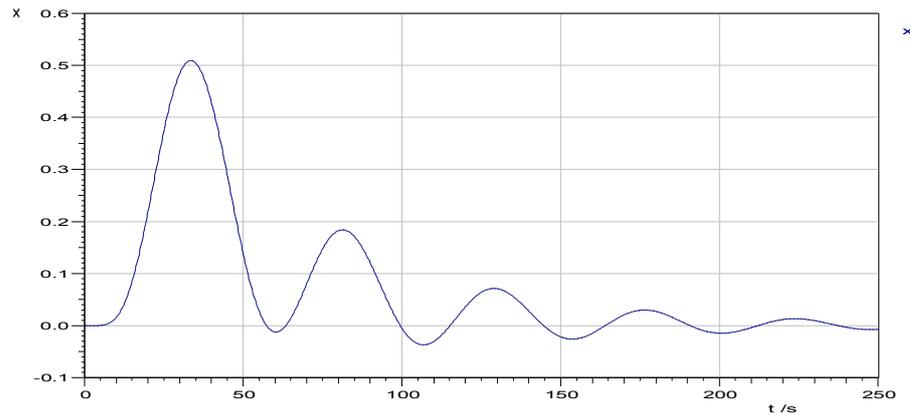
### Aufgabe MR 1



Die Sprungantwort wurde für einen Stellgrößensprung von 100% aufgenommen.

- Optimierte 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)

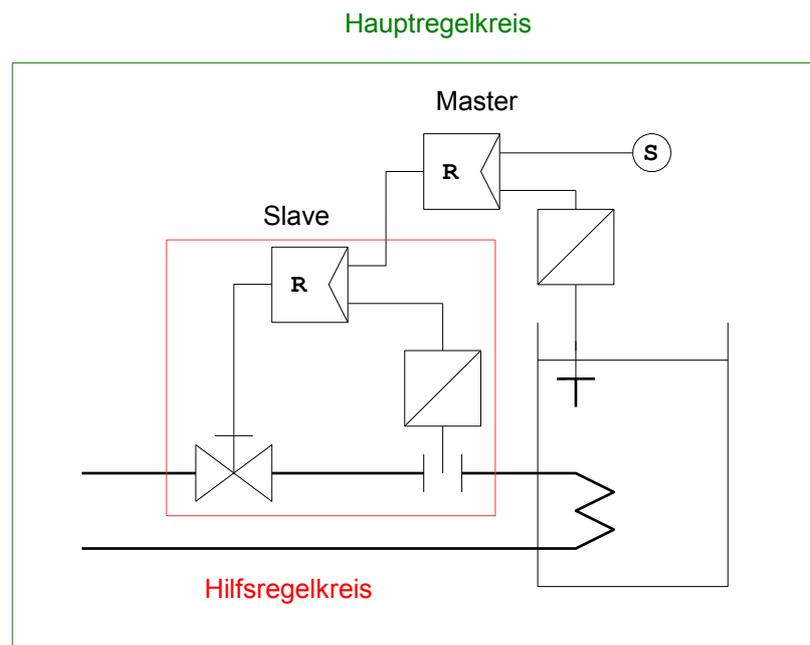
Diese Ergebnisse sind sehr unbefriedigend.

### 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 ausgegletzt.

### 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:

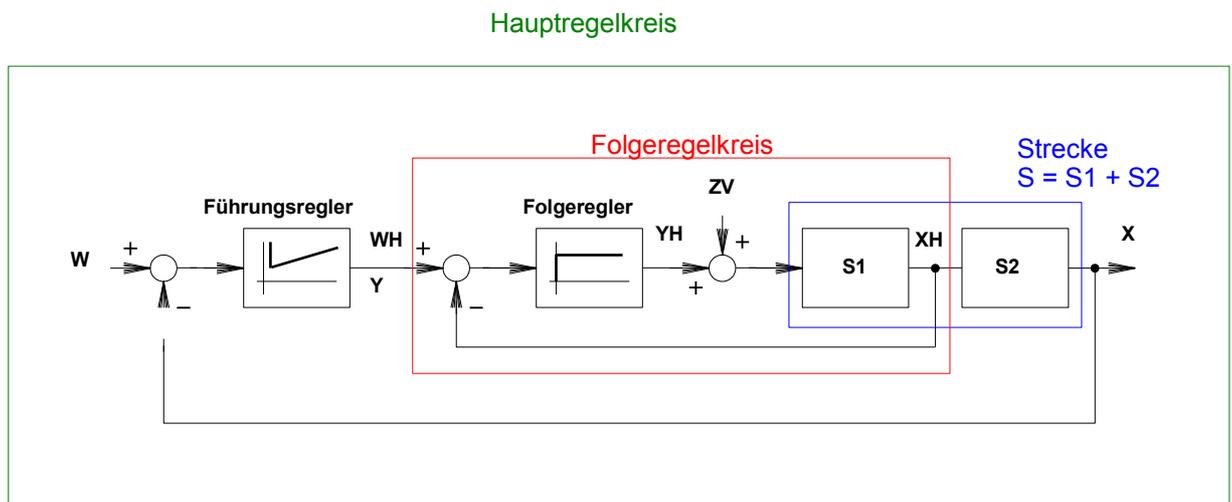
- den Master = Hauptregler = Führungsregler
- den Slave = Folgeregler = Hilfsregler

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:

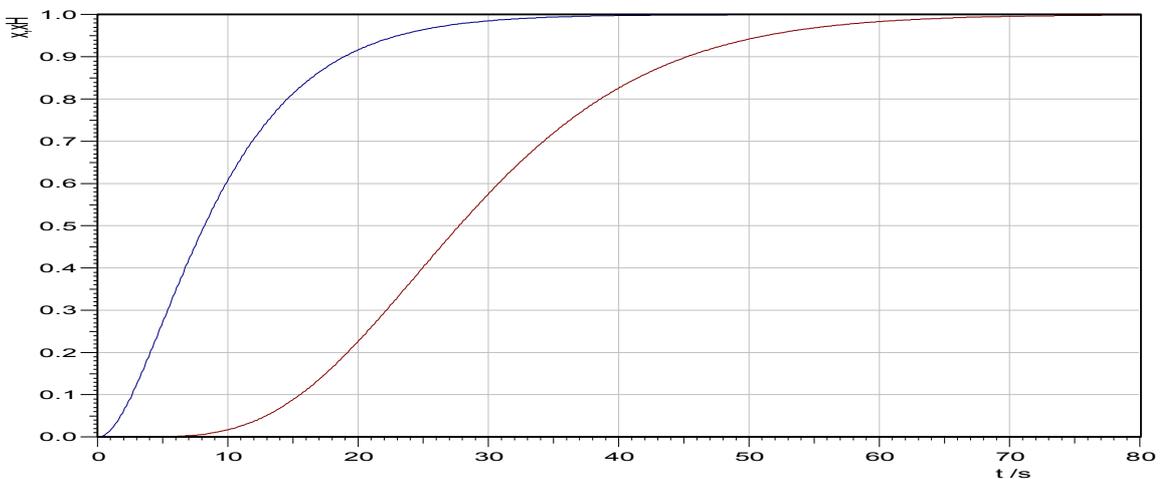
1. Optimierung des inneren Regelkreises (Folgeregelkreis)
2. Optimierung des äußeren Regelkreises (Führungsregelkreis)

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.

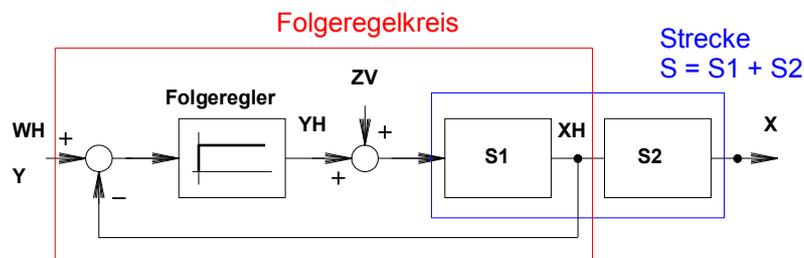
Die Sprungantworten  $x$  und  $x_H$  wurden aufgenommen:



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**

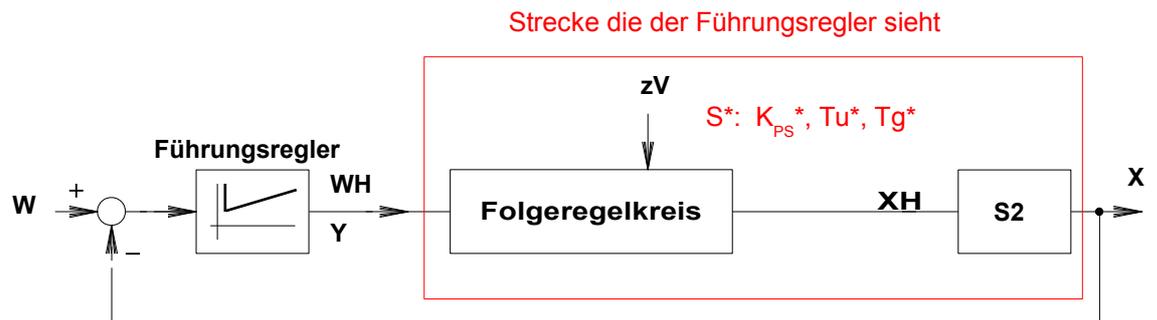
Optimiere den Folgeregler (als P-Regler) für unser Beispiel nach CHR aperiodisch für bestes Störverhalten.

Ergebnis:

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

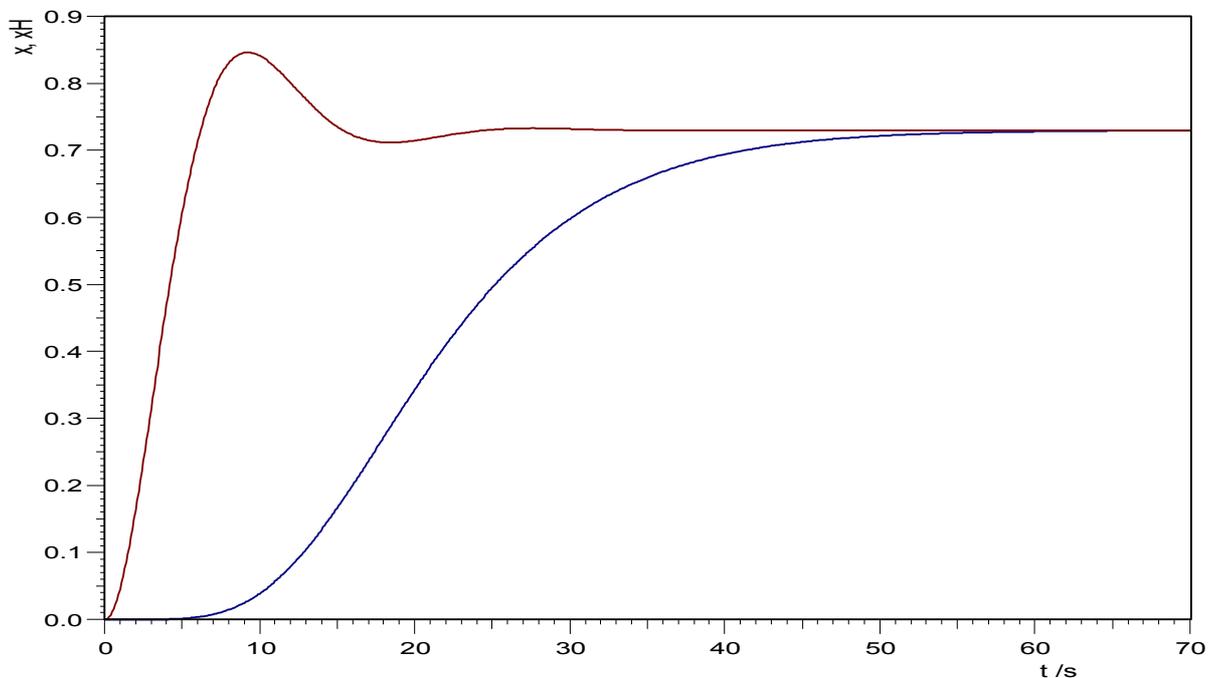
Der nächste Schritt ist die **Optimierung des Führungsreglers**.

Hierbei ist zu beachten dass die Strecke  $S^*$  die dieser « sieht », aus dem Folgeregelkreis und der Teilstrecke  $S_2$  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.

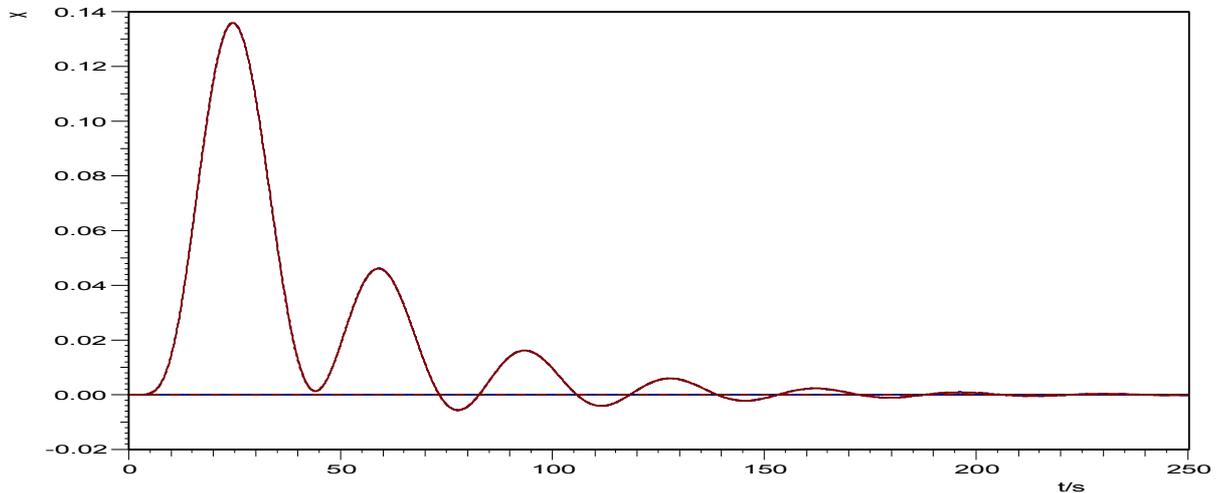
**Aufgabe MR 4**

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

Ergebnisse:

$$\begin{array}{ll} K_{PS}^* = 0,73 & K_{PRI} = 2,65 \\ T_u^* = 10,4s & T_{NI} = 25s \\ T_g^* = 21.2s & T_{VI} = 4,4s \end{array}$$

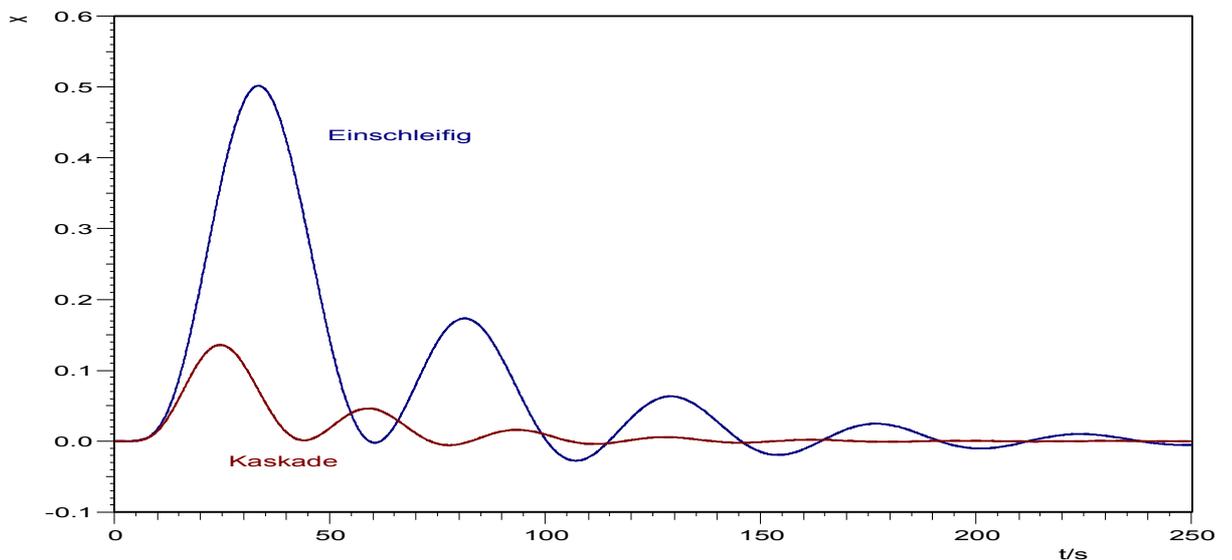
In BORIS simuliert ergibt sich folgende Störantwort:



### Aufgabe MR 5

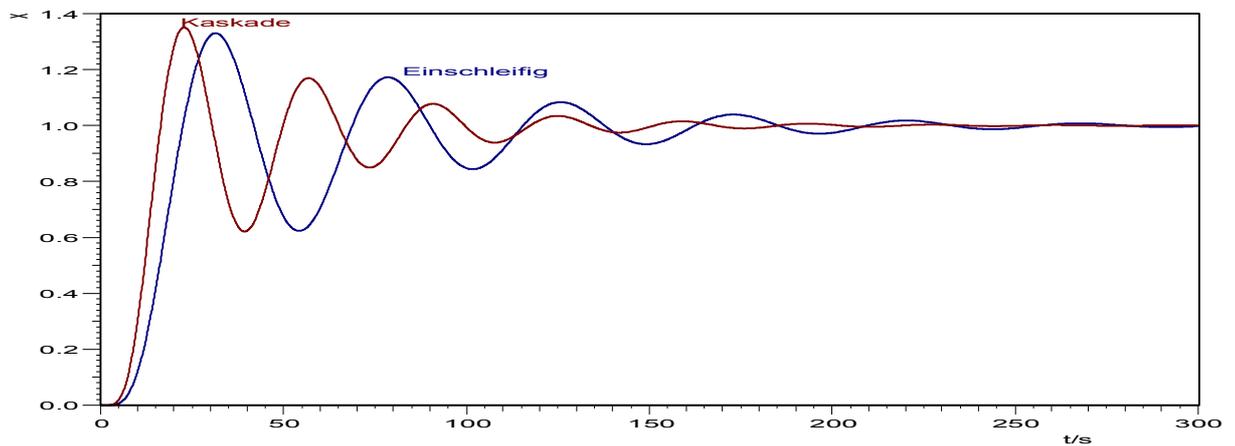
Bestimme die Überschwingweite und die Ausregelzeit bei einem Toleranzband von  $\pm 5\%$ .  
Vergleiche mit den Ergebnissen des einschleifigen Regelkreises.

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 ausgegelt wird.

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



In unserem Beispiel ergibt sich etwas mehr und etwas längeres 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.

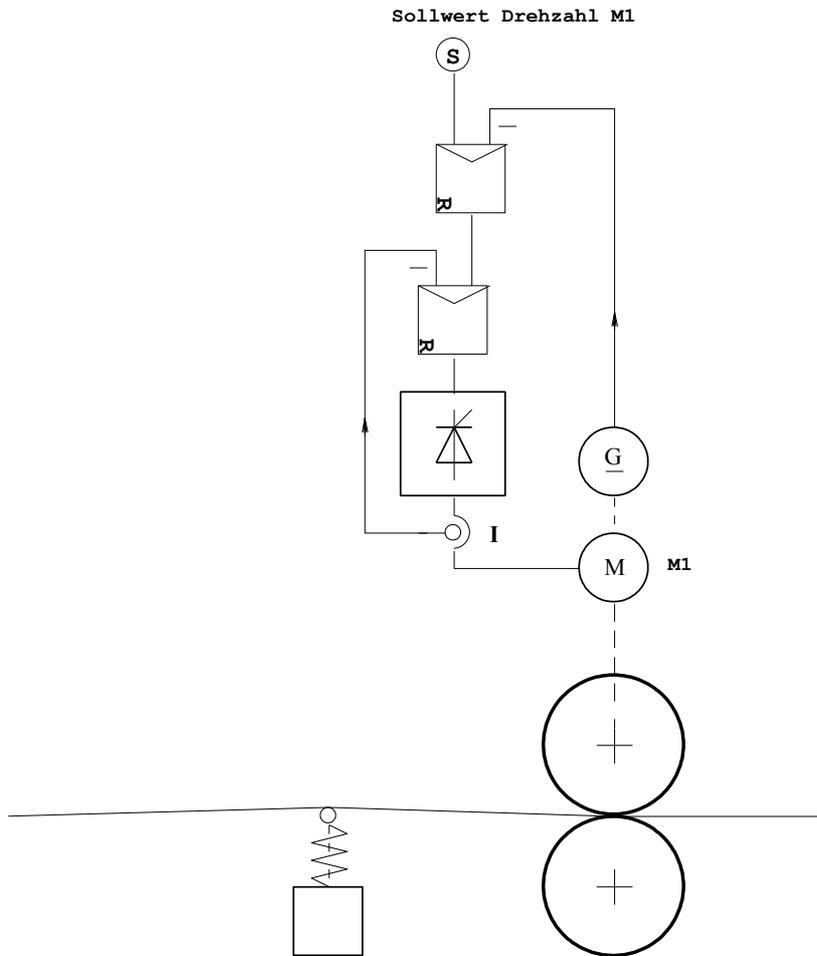
Es gibt im wesentlichen 2 Zeitkonstanten: eine elektrische durch die Induktivität der Ankerwicklung und eine mechanische durch die Massenträgheit.

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 ( $M = c \times I_A \times \Phi_E$ ), 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.

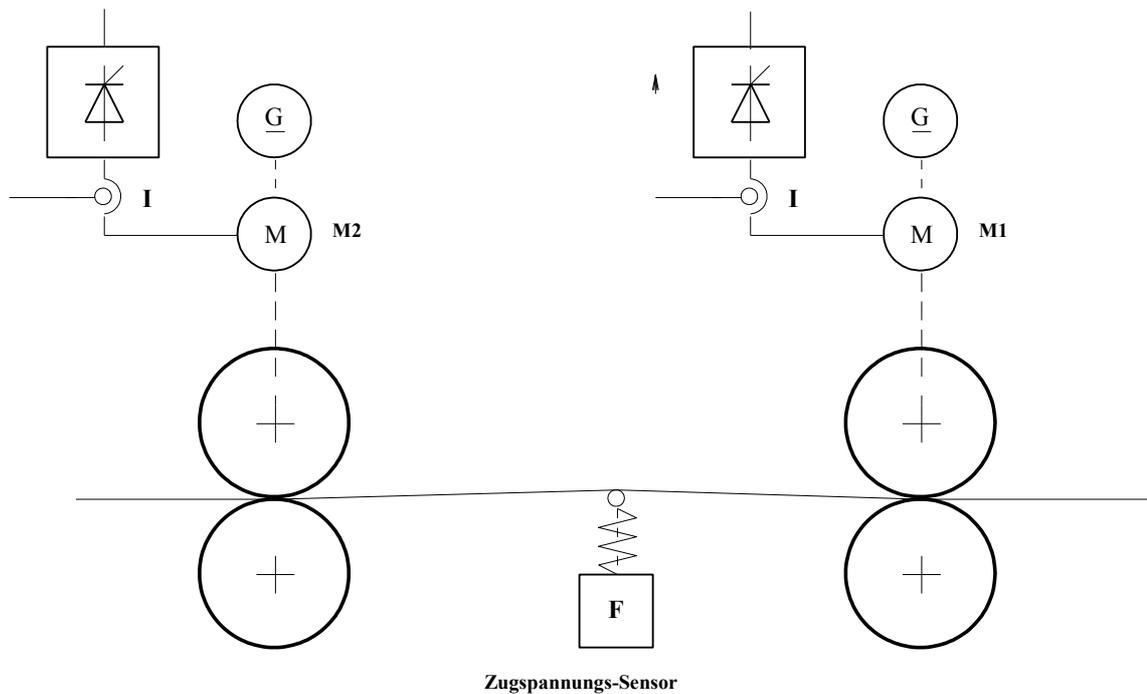
### i) Beispiel aus der Antriebstechnik: Bandzugregelung

#### 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.

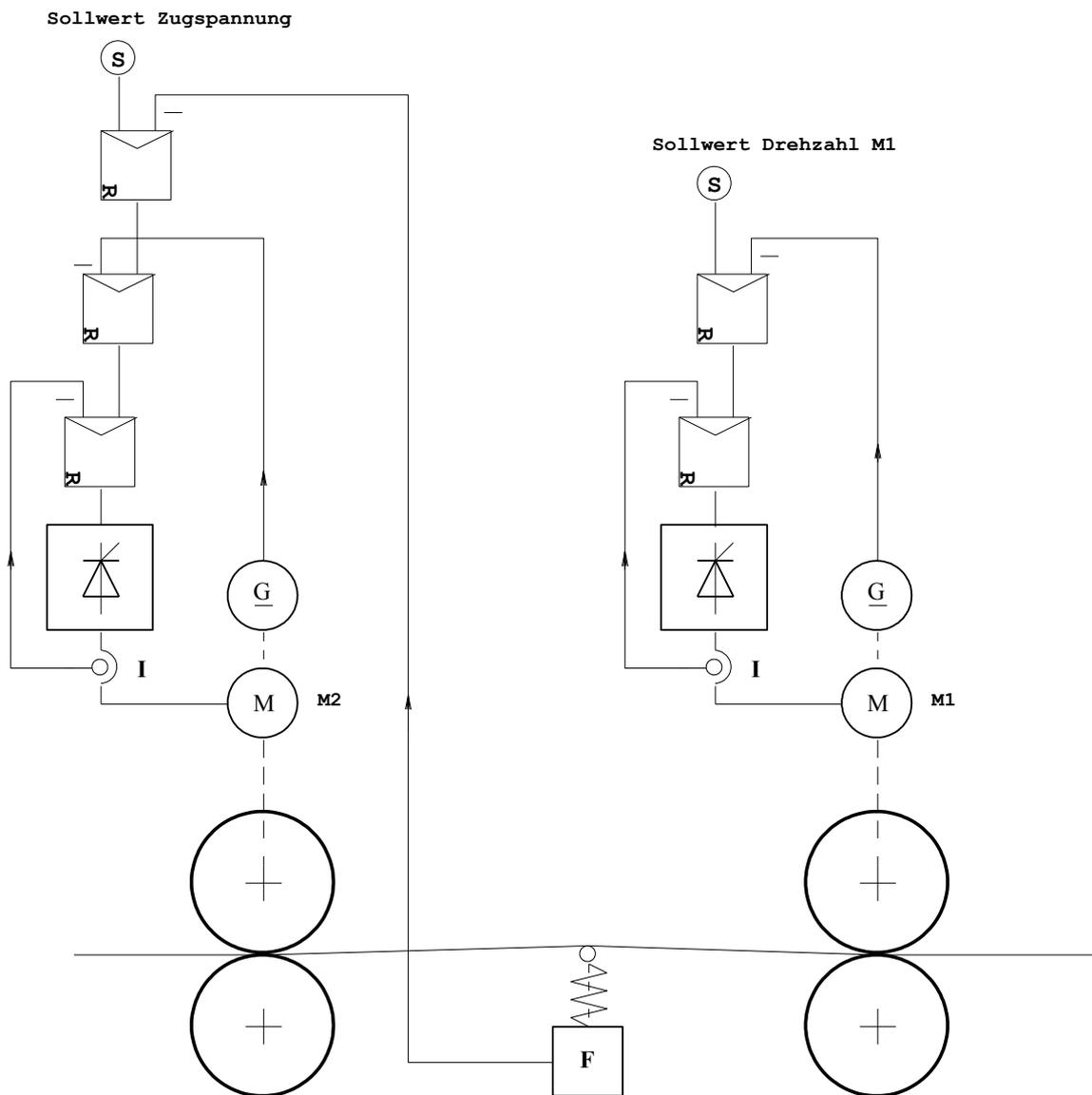
Die Hauptregelgröße ist die Zugkraft, die von einem Andrucksensor erfasst wird.

Die erste Hilfsregelgröße ist die Drehzahl, wobei diese Regelung mit unterlagertem Stromregler 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



### 3) Verhältnisregelung

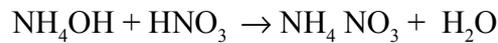
Bei vielen industriellen Prozessen müssen 2 Regelgrößen in einem festen Verhältnis zueinander stehen.

#### Beispiele:

- Gas- Luft - Gemischregelung bei Verbrennungsvorgängen (Kraftwerke, Heizung...)
- Chemische Reaktionen z.B. Neutralisierung bei Säure/Lauge- Reaktionen
- Herstellung von Legierungen (z.B. Lötzinn)
- Drehzahlverhältnisse in Walzstraßen

#### Beispiel 1:

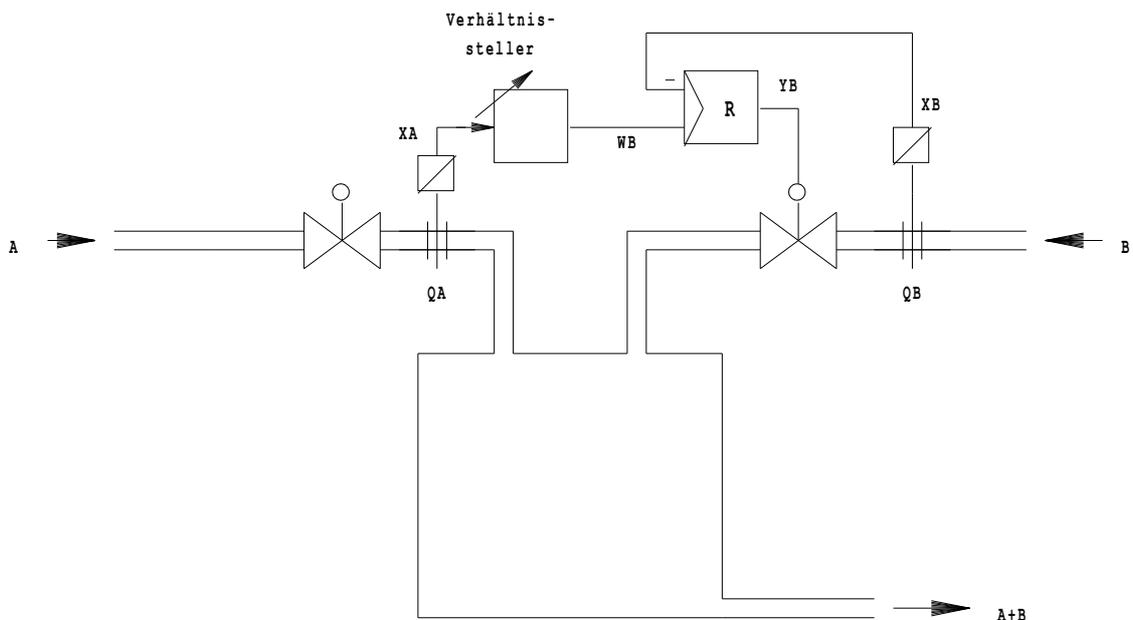
Herstellung von  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (Ammoniumnitrat) aus  $\text{NH}_4\text{OH}$  (Ammoniaklösung) und  $\text{HNO}_3$  (Salpetersäure)



Damit kein unverbrauchtes Reaktionsprodukt übrig bleibt, müssen Laugen - und Säuremenge genau im richtigen Verhältnis zugeführt werden (dieses ist natürlich noch abhängig von der Konzentration der zugeführten Produkte).

Allgemeiner: die Zutaten A und B müssen im richtigen Verhältnis gemischt werden. Die Menge von B soll so geregelt werden, dass ihr Zufluss in einem festen, einstellbaren Verhältnis zum Zufluss von A steht:

$$W_B = \alpha \cdot X_A$$



#### Aufgabe MR8

Welche Schaltung könnte man als Verhältnissteller verwenden

- wenn  $\alpha < 1$
- wenn  $\alpha > 1$  ist ?

## 4) Mehrfachregelungen

### Beispiel 1:

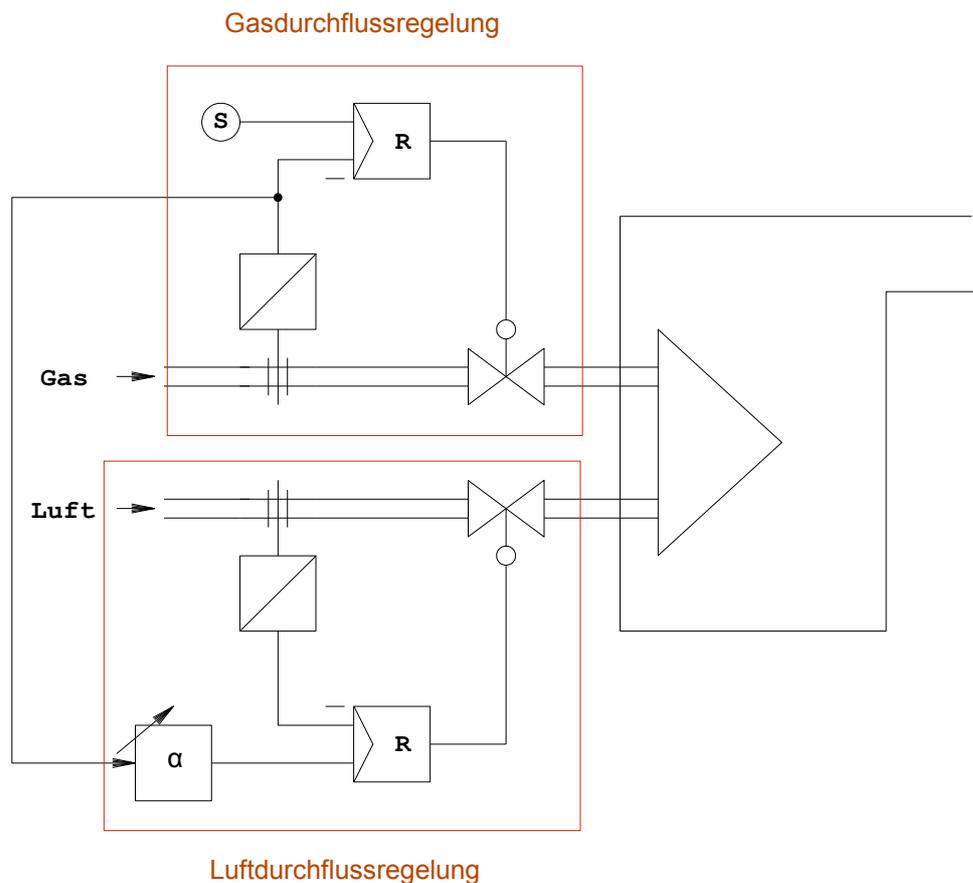
#### Gasbeheizter Industrieofen mit Gas-Luft-Verhältnisregelung

Bei einem Industrieofen soll der Gasdurchfluss einstellbar und geregelt sein, damit sich eine konstante Brennerleistung ergibt.

Damit die Verbrennung optimal ist, soll die Luftzufuhr in einem festen Verhältnis zur Gaszufuhr stehen.

2 Regelungen:

- Gasdurchflussregelung → konstante Brennerleistung
- Luftzufuhr → optimale Verbrennung



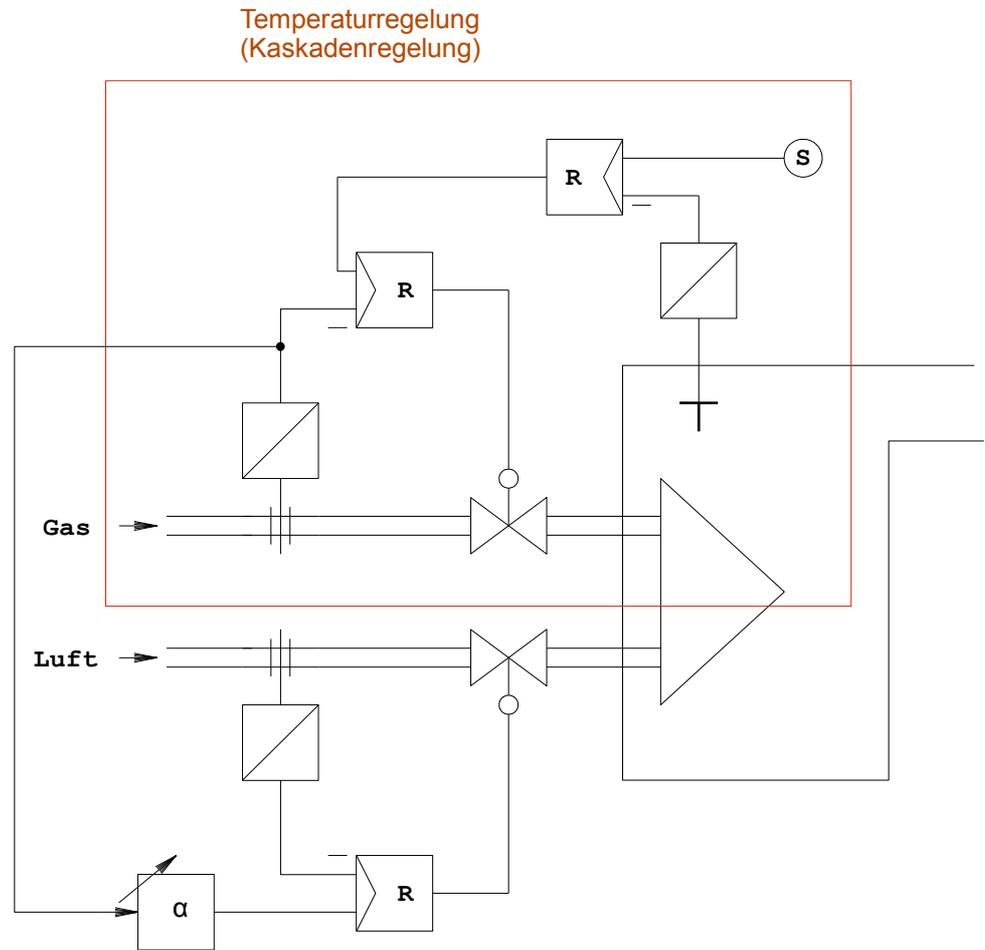
Nachteil dieser Regelung:

Die Temperatur ist nicht geregelt, der Sollwert des Gasdurchflusses wird manuell eingestellt.

Erweiterung:

Erfassung und Regelung der Temperatur

**Beispiel 2:**  
**Gasbeheizter Industrieofen mit Gas-Luft-Verhältnisregelung und Temperaturregelung**

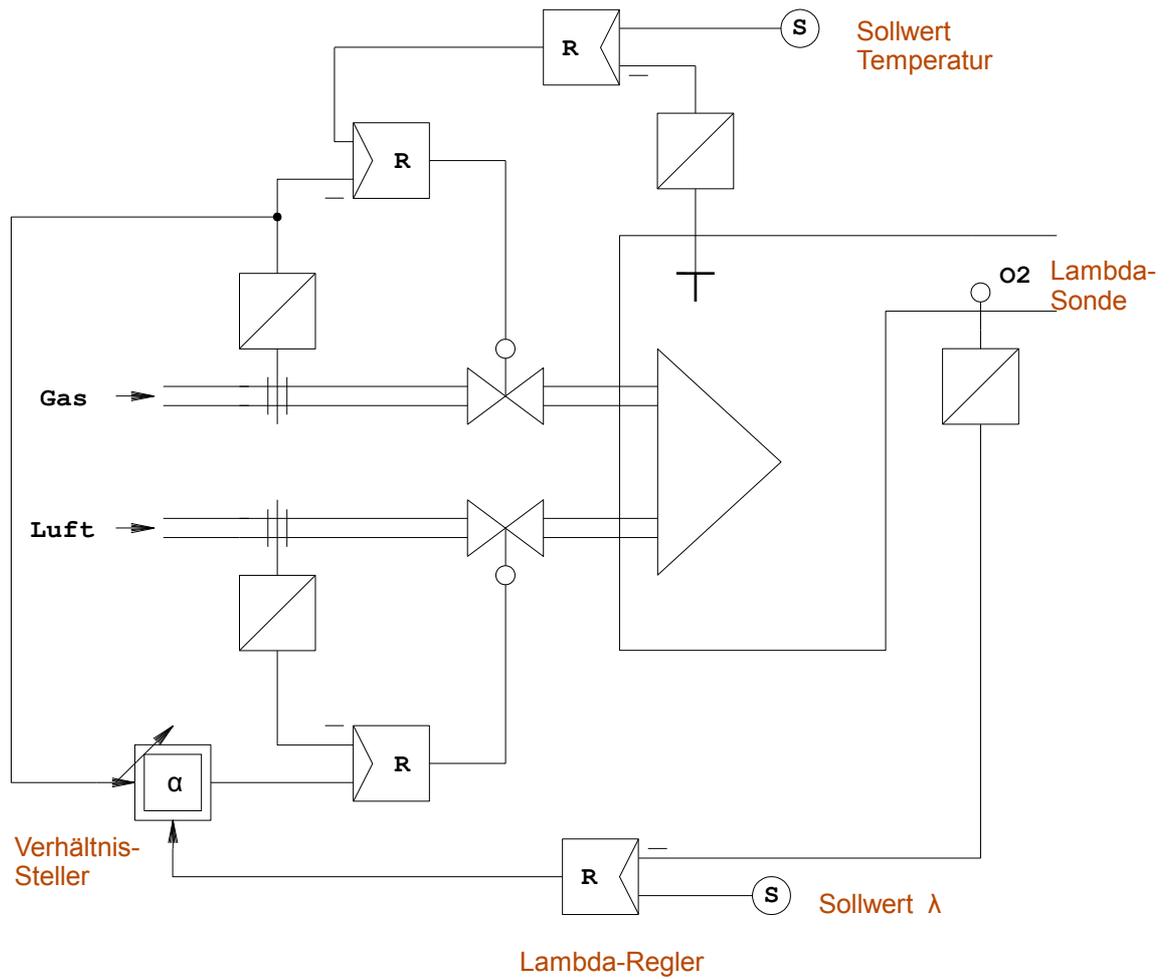


Der Temperaturregler gibt dem Gasdurchflussregler den Sollwert vor (Kaskadenregelung).

**Beispiel 3:**  
**Temperaturregelter Industrieofen mit Gas-Luft-Verhältnisregelung und Regelung des Gasluftverhältnisses**

In den Beispielen 1 und 2 wird das Gas-Luft-Verhältnis zwar geregelt, aber immer auf einen festen Wert  $\alpha$ . Wenn aber die Zusammensetzung des Gases schwankt, dann muss dieser Wert angepasst werden, damit die Verbrennung optimal ist und möglichst wenig schädliche Abgase entstehen.

Hierzu wird der Restsauerstoffgehalt im Abgas mit einer  $\lambda$ -Sonde erfasst und das Gas-Luftverhältnis entsprechend geregelt.



Das Verhältnis  $\alpha$  des Verhältnsstellers wird hier durch die Stellgröße des Abgasreglers eingestellt.

Der Verhältnssteller ist ein elektronischer Multiplizierer.

### **Hilfreiche Fragen beim Entwurf von Mehrfachregelungen**

Für die gesamte Regelung:

- Welche Hauptregelgröße gibt es?
- Welche anderen Regelgrößen gibt es?

Für einen Teil-Regelkreis:

- Was soll geregelt werden? Wo muß der Sensor hin? Welcher Sensor wird benutzt?  
Der Sensor liefert (über einen Messwandler) das Signal für den invertierenden Eingang des Reglers.
- Wo kommt der Sollwert  $W$  her? Ist er manuell einstellbar oder wird er von einem anderen Regler oder Verhältnissteller geliefert?  
Dies ist das Signal für den nichtinvertierenden Eingang des Reglers.
- Wie kann die Regelgröße beeinflusst werden?  
Aus dieser Frage ergibt sich das Stellglied.  
Dieses muss die Stellgröße  $Y$  (eventuell über einen Verstärker und / oder Messwandler) vom Reglerausgang erhalten.

## 5) Störgrößenaufschaltung

### a) Allgemeines

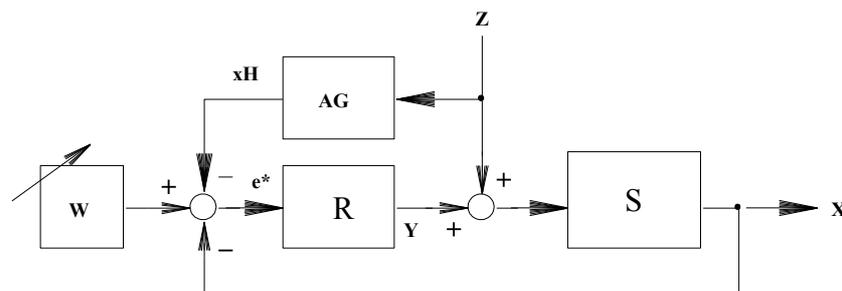
Die Störgrößenaufschaltung ist eine Kombination aus Steuerung und Regelung.

#### Zur Erinnerung: Nachteil der einfachen Regelung:

Der Regler kann immer erst eingreifen wenn eine Regelabweichung vorliegt, d.h. nach Ablauf der Verzugs- bzw. Totzeit der Strecke. Bei Versorgungsstörungen kommt es dadurch nach ca.  $2 T_u$  zu einer unvermeidbaren, vorübergehenden Regelabweichung.

#### Prinzip der Störgrößenaufschaltung:

Die Regelgüte wird verbessert, wenn man nicht erst die Auswirkung der Störung auf die Regelgröße abwartet, sondern die Störgröße mit einem Messfühler erfasst und sie auf den Reglereingang führt (Zweikomponentenregelung). So kann der Regler schon während der Verzugszeit der Störung entgegen wirken.



AG = Aufschaltglied (proportional oder nachgebend, d.h. P- oder D-Glied)

#### Anwendung:

- wenn es eine **Hauptstörgröße** gibt, die **genau lokalisierbar und messbar, aber nicht beeinflussbar** ist (sonst würde man Störgrößenkonstanthaltung anwenden).  
Beispiel: Schwankungen der Außentemperatur, bei Gebäudeheizungen.
- besonders bei Strecken **mit großen Tot- bzw. Verzugszeiten**, da hier der Regler mit Störgrößenaufschaltung frühzeitig eingreifen kann (im Gegensatz zu einem einfachen Regler).
- nur sinnvoll bei **Störungen im vorderen Teil der Strecke**, also bei Versorgungsstörungen

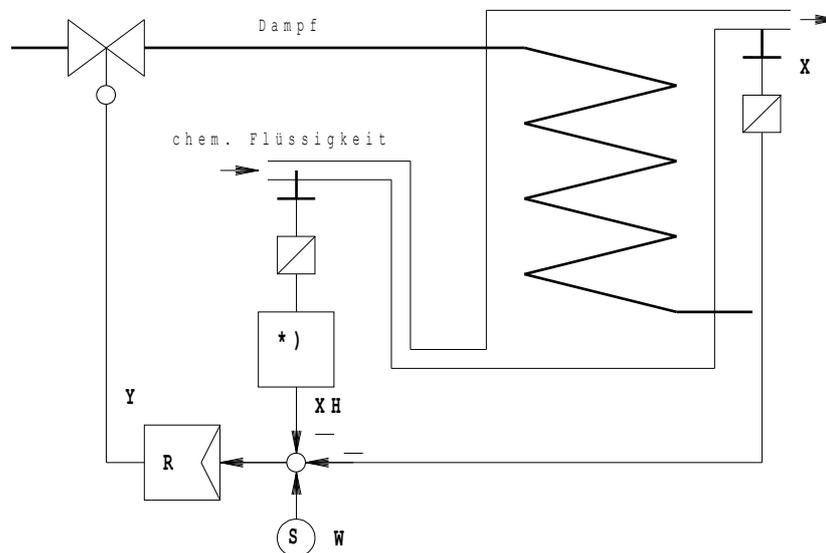
### Vorteile gegenüber der Kaskadenregelung:

- Die **Stabilität** des Regelkreises wird nicht beeinflusst, da es keine zusätzliche Rückkopplung gibt (es gibt keinen Signalweg von einem Ausgang zum Eingang des Reglers, siehe Signalflussplan).

Aus dem gleichen Grund bleibt auch das **Führungsverhalten** unverändert gegenüber dem einfachen Regelkreis.

### Anwendungsbeispiel: Durchlauferhitzer

In einem dampfbeheizten Durchlauferhitzer soll die Austrittstemperatur  $v_A$  einer aufzuheizenden Flüssigkeit konstant gehalten werden. Eine einfache Regelung ergibt unbefriedigende Ergebnisse, wenn die Eintrittstemperatur  $v_E$  der Flüssigkeit stark schwankt.



\*) P-Glied bei proportionaler Aufschaltung

DT1-Glied bei Störtendenzaufschaltung

Wenn die Eintrittstemperatur  $v_E$  (dies ist die Störgröße) verwendet wird, um eine Hilfsregelgröße  $x_H$  zu erzeugen, die auf den Reglereingang geschaltet wird, reagiert der Regler sofort statt erst nach  $2 T_u$ .

Fällt beispielsweise die Eintrittstemperatur  $v_E$ , so reagiert der Regler **sofort**:  $y$  wird wegen der negativen Wirkung von  $x_H$  größer und das Ventil wird weiter geöffnet. Es strömt mehr Dampf ein und die Flüssigkeit wird stärker aufgeheizt.

Die Störung wird schon zum größten Teil ausgeglet bevor sie sich in der Austrittstemperatur bemerkbar macht.

Das Aufschaltglied wird je nach Regler als P- oder DT1-Glied ausgeführt.

## **b) Proportionale oder nachgebende Aufschaltung ?**

### **Aufgabe MR9**

- Stelle die Gleichung für die bleibende Regelabweichung auf (Störverhalten).
- Benutze die Gleichung um den optimalen Proportionalbeiwert  $K_{PZ}$  des Aufschaltgliedes zu bestimmen (optimal heißt natürlich: keine bleibende Regelabweichung).
- Welcher optimale Proportionalbeiwert  $K_{PZ}$  ergibt sich für  $t \rightarrow \infty$  wenn der Regler einen I-Anteil hat? Welches Verhalten des Aufschaltgliedes muss also für diese Art Regler gewählt werden?

### **Aufgabe MR10**

Was geschieht für  $t \rightarrow \infty$  mit dem Signal  $e^*$  am Reglereingang, wenn ein I-Anteil vorhanden ist? Welche Konsequenz hat das für die bleibende Regelabweichung bei proportionaler Störgrößenaufschaltung?

## **c) Proportionale Störgrößenaufschaltung**

Anwendung: bei Reglern **ohne I-Anteil**.

Mit der Bemessung  $K_{PZ} = \frac{1}{K_{PR}}$  kann die bleibende Regelabweichung zu null gemacht werden. (siehe Ergebnis der Aufgaben).

In der Praxis wird diese Methode vor allem bei Temperaturstrecken angewendet, die wegen der großen Trägheit bei hohem Regler-Proportionalbeiwert schwingen würden.

## **d) Störtendenz aufschaltung (DT1-Aufschaltung)**

Anwendung: bei Reglern **mit I-Anteil**.

Wie aus der Lösung der Aufgaben STA1...STA3 hervorgeht, muss die Störgrößenaufschaltung bei Reglern mit I-Anteil **nachgebend** sein, d.h. für  $t \rightarrow \infty$  verschwinden.

Mit Hilfe eines DT1-Gliedes wird die Störtendenz  $\frac{dz}{dt}$  auf den Reglereingang geschaltet.

### **Untersuchung des Störverhaltens:**

$$e^* = w - x - K_{DZ}^* \cdot z \quad \text{mit } w = 0$$

und  $K_{DZ}^*$  = Pseudoproportionalbeiwert des DT1-Gliedes

$$K_{DZ}^* = V_D = 0 \text{ für } t=0 \text{ und } K_{DZ}^* = 0 \text{ für } t \rightarrow \infty$$

Für  $t \rightarrow \infty$ :

Durch den I-Anteil des Reglers wird  $e^* = 0$

$$\rightarrow x_b = -K_{DZ}^* \cdot z = 0$$

Die bleibende Regelabweichung wird also null (im Gegensatz zur proportionalen Aufschaltung).

## 6) Hilfsregelgrößenaufschaltung

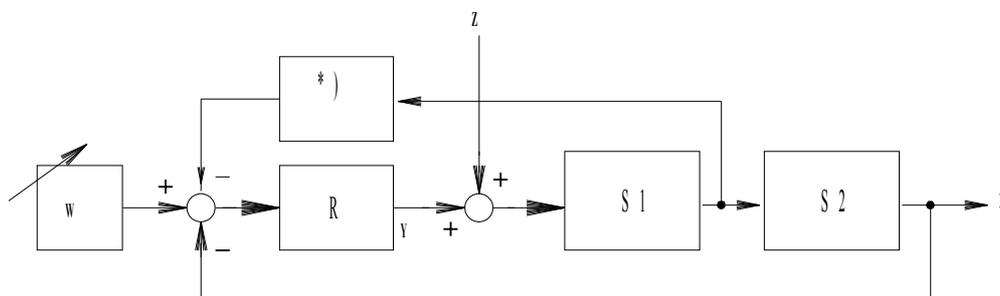
### Nachteil der Störgrößenaufschaltung:

Viele Störgrößen können nicht oder nur mit großem technischen Aufwand erfasst werden. Außerdem wirken oft mehrere Störgrößen auf den vorderen Teil der Strecke, man bräuchte also für eine Störgrößenaufschaltung viele Sensoren.

### Prinzip der Hilfsgrößenaufschaltung:

Es wird statt der Störgröße eine Hilfsgröße  $x_H$  im vorderen Teil der Strecke erfasst und auf den Reglereingang aufgeschaltet. Dadurch werden die Auswirkungen der Störung mit viel kleinerer Totzeit erfasst als an der Mess-Stelle für die Hauptregelgröße  $x$ .

Man spricht von einer **Zweikomponentenregelung** (Zweigrößenregelung)



- \*) P-Glied bei proportionaler Aufschaltung
- D-Glied bei nachgebender Aufschaltung

Wie bei der Kaskadenregelung wird die Strecke aufgeteilt, der Unterschied liegt aber darin, dass nur ein Regler verwendet wird.

Der **Vorteil** gegenüber der Störgrößenaufschaltung ist, dass **alle Störgrößen vor der xH-Mess-Stelle** erfasst werden.

Ein **Nachteil** ist, dass die **zusätzliche Rückkopplung** die Dynamik des Regelkreises beeinflusst, bei ungünstiger Reglereinstellung kann der Regelkreis instabil werden. Eine Kaskadenregelung hat demgegenüber den Vorteil, dass sie sich in leichter optimierbare Teilregelungen aufteilen lässt.

***Aufgabe MR11***

*Untersuche durch Untersuchung des Signals  $e^*$  am Reglereingang ob die Störung ganz ausgeregelt wird, wenn der Regler einen I-Anteil hat und eine proportionale Aufschaltung verwendet wird.*

Ergebnis:

**Bei der proportionalen Hilfsregelgrößenaufschaltung mit I / PI / PID - Reglern wird eine Störung vollständig ausgeregelt .**

Im Gegensatz zur Störgrößenaufschaltung kann also auch bei einem PID-Regler eine proportionale Aufschaltung verwendet werden.

***Aufgabe MR12***

*Gilt die obige Aussage auch für eine nachgebende Aufschaltung?*

## 7) Vergleich von Kaskadenregelung, Störgrößenaufschaltung und Hilfsgrößenaufschaltung

Diese drei unterschiedlichen Methoden haben ein gemeinsames Ziel: es dem Regler zu ermöglichen, auf eine Versorgungsstörung zu reagieren, bevor sie sich (nach ca.  $2 T_u$ ) am Ausgang der Regelstrecke bemerkbar gemacht hat.

	Kaskadenregelung	Störgrößenaufschaltung	Hilfsgrößenaufschaltung
Anzahl der Regler	2 (Master + Slave)	1 (mit Eingang für $x_H$ )	1 (mit Eingang für $x_H$ )
Anzahl der Rückkopplungen im Regelkreis	2	1	2
Stabilität verändert gegenüber einschleifigem Regelkreis?	Ja	Nein	Ja
Aufschaltung $x_H$	Direkt auf den Folgeregler	Bei einem I/ PI/ PID-Regler: nur über DT1 (sonst bleibende Regelabweichung)  Bei einem P/ PD-Regler: P oder DT1	über P oder DT1
Bemerkungen zur Anwendung	Es kann mehrere Störgrößen geben die auf die Teilstrecke S1 wirken.  Sinnvoll wenn ein Teil der Strecke geregelt werden soll, um ihn zu linearisieren / schneller zu machen / die Stellgröße für den zweiten Teil der Strecke zu begrenzen.	Es muss eine Haupt-Störgröße geben. Diese muss messbar sein	Es kann mehrere Störgrößen geben die auf die Teilstrecke S1 wirken.