

Seminar

**Grundlagen
der
Regelungstechnik**

Inhaltsverzeichnis

- **Teil I: Grundbegriffe**

- 1.1 Grundprinzipien von Steuerung und Regelung
- 1.2 Komponenten eines Regelkreises
- 1.3 Anwendungen für Regelungen
- 1.4 Arten von Regelungen

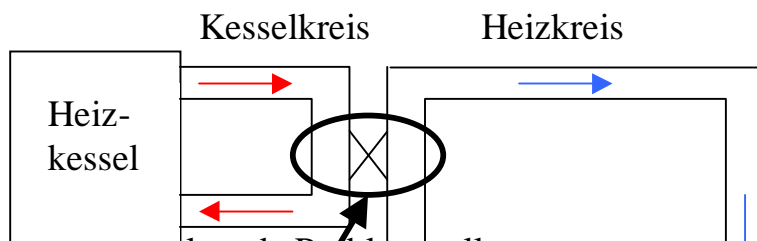
- **Teil II: Reglertypen**

- 2.1 Zweipunktregler
- 2.2 Dreipunktregler
- 2.3 Grundtypen stetiger Regler
 - 2.3.1 Proportionalregler (P – Regler)
 - 2.3.2 Integralregler (I – Regler)
 - 2.3.3 Differentialregler (D – Regler)
 - 2.3.4 PID – Regler
- 2.4 Digitale Regler

Teil I Grundbegriffe

1.1 Grundprinzipien von Steuerung und Regelung

Zunächst betrachten wir zur Einführung das Beispiel einer Heizungsanlage:



Es ergibt sich die folgende Problemstellung:

Ziel ist es, eine vorher gewählte Temperatur im Wohnraum durch richtig dosierte Wärmezufuhr entgegen diverser Störeinflüsse möglichst konstant zu halten. Diese Störeinflüsse bestehen hier hauptsächlich aus der (gewöhnlich niedrigeren) Außentemperatur, die je nach ihrer Höhe im Innenraum verursacht. In diesem Heizungssystem aus, bei dem die Wärme über den Mischer zu regulieren, der das heiße Kesselwasser in veränderbarem Verhältnis mit dem kühleren Wasser des Heizkreises mischt.

Es gibt nun mehrere Möglichkeiten, dieses Problem zu lösen. 1. Eine naheliegende Methode ist es, die Außentemperatur fortlaufend zu messen und aufgrund des

Seminar Grundlagen der Regelungstechnik

Ergebnisses den Mischer einzustellen. Je kälter es draußen ist, desto mehr heißes Kesselwasser lässt man in den Heizkreis fließen.

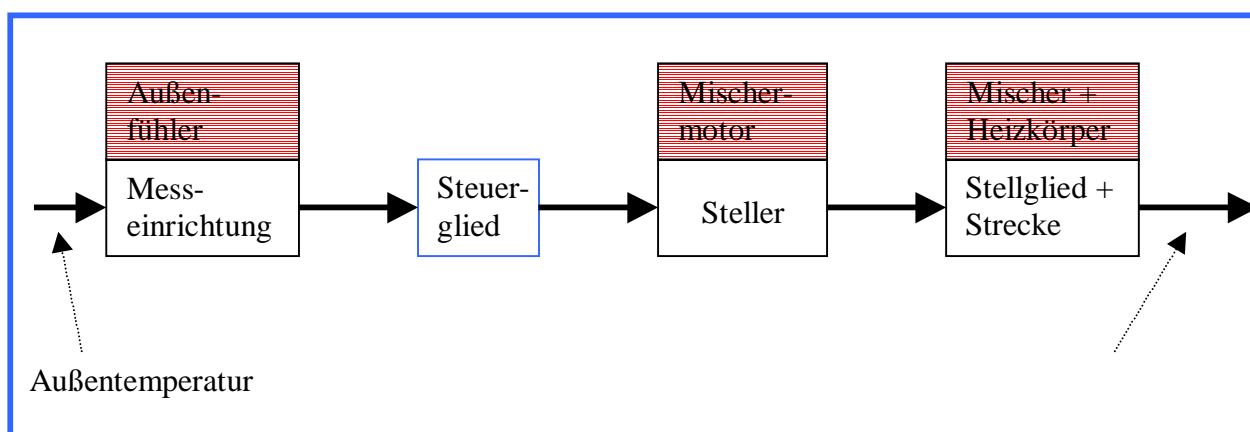
In diesem Fall beeinflusst man also die einzustellende Größe (hier die Stellung des Mischer-motors) in Abhängigkeit einer anderen Größe, die nicht von derjenigen abhängt, die zu beeinflussen Ziel des Vorganges ist (hier also die Inneraumtemperatur). Diese Unabhängigkeit ist das Hauptmerkmal einer **Steuerung**.

Definition „Steuerung“ nach DIN 19226:

„Das Steuern, die Steuerung, ist ein Vorgang in einem System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen. Kennzeichen für das Steuern ist der offene Wirkungsweg.“

Wir betrachten das Prinzip einer Steuerung anhand eines Diagramms:

Schema einer Steuerung



Deutlich zu erkennen ist die Tatsache, dass der Informationsfluss nur in einer Richtung stattfindet. Das sogenannte „**Steuerglied**“, das Herzstück der Steuerung, das die Messwerte der Eingangsgröße auswertet und in deren Abhängigkeit auf den Steller (siehe unten) einwirkt, erhält also keinerlei „Kenntnis“ davon, ob sein

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

Versuch, die Zielgröße auf einen bestimmten Wert zu bringen bzw. dort konstant zu halten, erfolgreich ist oder nicht. Auch wenn dies in manchen Fällen akzeptabel oder gar erwünscht ist, gibt es zahlreiche Anwendungen, bei denen dieses mangelnde Feedback zu Problemen führt. Das hier betrachtete Heizungssystem ist nur dann in der Lage die Raumtemperatur auf dem eingestellten Wert konstant zu halten, wenn die Abhängigkeit der Raum- von der Außentemperatur hinreichend genau den beim Entwurf und der Einstellung der Steuerung angenommenen Gesetzmäßigkeiten folgt. Längerfristige Größen wie etwa die Isolation des Hauses oder Vergleichbares können bei der Einstellung der Steuerung berücksichtigt werden, wird aber beispielsweise ein Fenster geöffnet oder die Temperatur auf andere Weise unvorhersehbar beeinflusst, so entfernt sich die Raumtemperatur vom eingestellten Wert und nähert sich diesem vor allem auch erst dann wieder an, wenn die nicht einkalkulierte Störung beseitigt ist.

Daher ist es sinnvoll, auch (oder sogar nur) die Zielgröße zu messen und das Verhalten der Anlage von diesen Messwerten abhängig zu machen. Dies führt zur

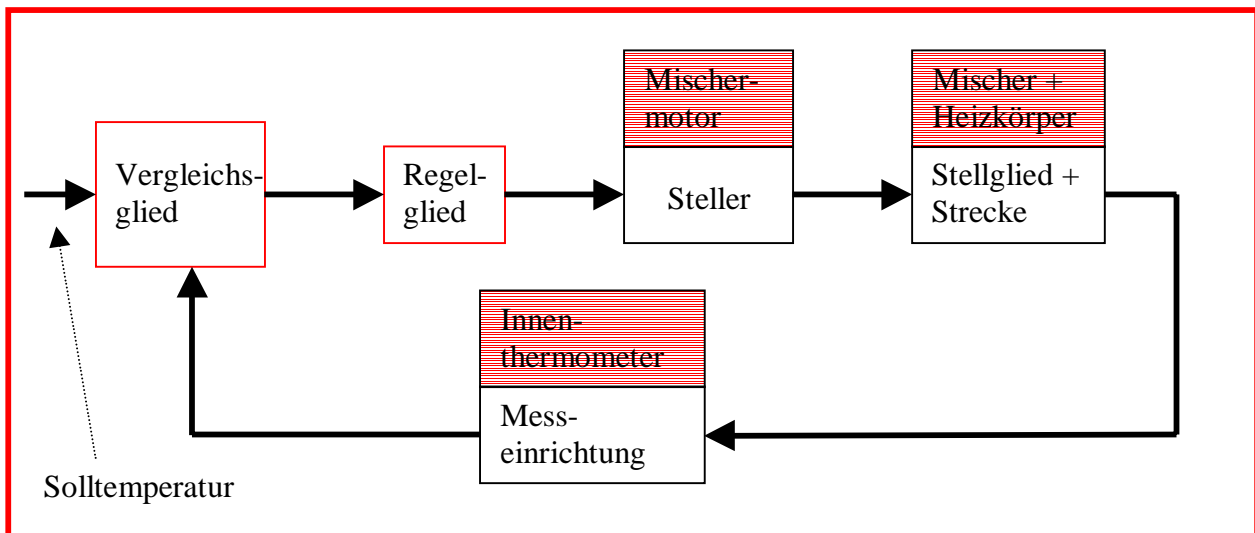
Definition „Regelung“ nach DIN 19226:

„Das Regeln, die Regelung, ist ein Vorgang, bei dem eine Größe, die zu regelnde Größe (Regelgröße), fortlaufend erfasst, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und abhängig vom Ergebnis dieses Vergleichs im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Kennzeichen für das Regeln ist der geschlossene Wirkungskreislauf, bei dem die Regelgröße im Wirkungsweg des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst.“

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

Das Prinzip einer Regelung ist im folgenden Diagramm dargestellt:

Schema einer Regelung



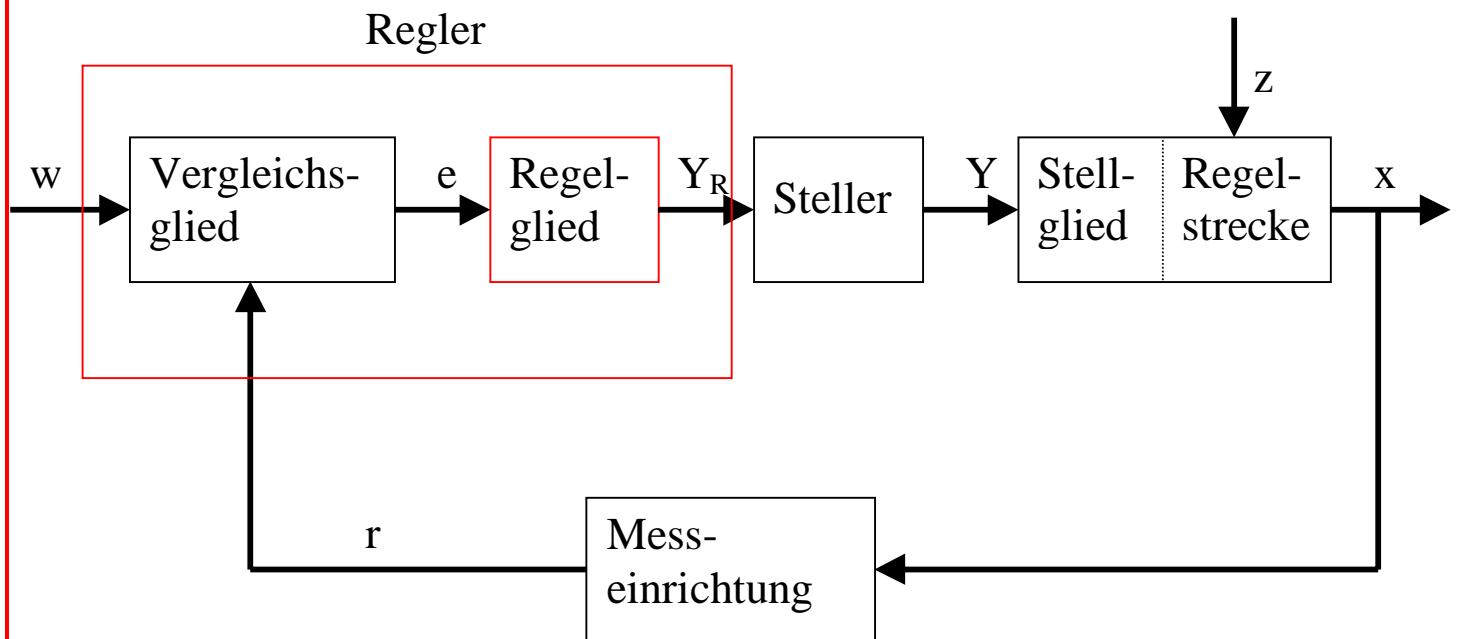
Wie man sieht, ergibt sich hier durch die Rückwirkung der zu regelnden Größe auf die sie beeinflussende Einrichtung eine Art Kreislauf, weshalb man auch von einem „**Regelkreis**“ spricht. Dieser hat den Nachteil, dass es unter bestimmten Bedingungen zu Schwingungen kommen kann (dieses Problem wird später näher betrachtet), aber auch den (entscheidenden) Vorteil, dass sich die Regelung nicht darauf verlassen muss, dass die Regelgröße ein bestimmtes Verhalten zeigt, sondern auch auf unvorhergesehene Änderungen reagieren kann.

In unserem Beispiel bedeutet eine solche Rückführung, dass nicht die Außen- sondern die (von der Heizung ja selbst beeinflusste) Innentemperatur gemessen und die Mischerstellung von deren Höhe abhängig gemacht wird. Öffnet man nun ein Fenster und sinkt dadurch die Raumtemperatur ab, so wird dies von der Regelung über den Temperaturfühler erkannt und mehr heißes Wasser in den Heizkreis geleitet.

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik****1.2 Komponenten eines Regelkreises**

Es sind nun schon häufiger Begriffe wie „Führungsgröße“ oder „Regelgröße“ gefallen. Im Folgenden werden die grundlegendsten Begriffe der Regelungstechnik im Einzelnen erklärt.

Hier zunächst eine Übersicht anhand eines Schemas:

**1. Die Regelgröße x**

Sie ist das eigentliche „Ziel“ der Regelung, nämlich die Größe, die zu beeinflussen bzw. konstant zuhalten Zweck des gesamten Systems ist. In unserem Beispiel wäre dies die Raumtemperatur. Der zu einem bestimmten Zeitpunkt bestehende Momentanwert der Regelgröße heißt „**Istwert**“ zu diesem Zeitpunkt.

2. Die Rückführgröße r

In einem Regelkreis wird die Regelgröße ständig überprüft, um auf ungewollte Änderungen reagieren zu können. Die der Regelgröße proportionale Messgröße heißt **Rückführgröße**. Sie entspräche im Beispiel „Heizung“ der Messspannung des Innenthermometers.

3. Die Führungsgröße w

Dies ist diejenige Größe, die die Regelgröße „führen“, d.h. zu der sich die Regelgröße äquivalent entwickeln soll. Sie ist konstant, wenn es nur Ziel ist, die Regelgröße ihrerseits konstant zu halten („**Festwertregelung**“), kann sich jedoch auch ständig ändern. Aufgabe des dann auch „**Folgewertregelung**“ genannten

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

Systems ist es, die Regelgröße so zu beeinflussen, dass sie möglichst präzise den Änderungen der Führungsgröße „folgt“.

Achtung: Die Führungsgröße hat nicht dieselbe Dimension wie die Regelgröße, sondern ist eine Messgröße! Im betrachteten Beispiel wäre die Führungsgröße also nicht die gewünschte Raumtemperatur, sondern vielmehr die Messspannung, die das Innenthermometer bei gewünschter Raumtemperatur liefern würde. Der Momentanwert der Führungsgröße zu einem bestimmten Zeitpunkt ist also der dem zu diesem Zeitpunkt aktuellen Sollwert äquivalente Messwert.

4. Die Störgröße z

Die Störgröße ist diejenige Größe, die die Regelgröße ungewollt beeinflusst und vom aktuellen Sollwert entfernt. Im Falle einer Festwertregelung wird diese durch die Existenz der Störgröße überhaupt erst notwendig. Im betrachteten Heizungssystem wäre dies beispielsweise die Außentemperatur oder aber auch jede andere Größe, durch die sich die Raumtemperatur von ihrem Idealwert entfernt.

5. Der Sollwert

Der Sollwert zu einem Zeitpunkt ist der Wert, den die Regelgröße zu diesem Zeitpunkt idealerweise annehmen sollte. Zu beachten ist, dass sich der Sollwert bei einer Folgewertregelung unter Umständen ständig ändern kann. Der Messwert, der von der verwendeten Messeinrichtung ermittelt würde, wenn die Regelgröße exakt den Sollwert hätte, ist der Momentanwert der Führungsgröße. Im Beispiel wäre der Sollwert die zur Zeit gewünschte Raumtemperatur.

6. Das Vergleichsglied

Dies ist der Punkt, an dem der aktuelle Messwert der Regelgröße und der Momentanwert der Führungsgröße miteinander verglichen werden. In den meisten Fällen handelt es sich bei beiden Größen um Messspannungen. Die Differenz beider Größen ist die **„Regeldifferenz“** e . Diese wird an das Regelglied weitergegeben und dort ausgewertet (s.u.).

7. Das Regelglied

Das Regelglied ist das eigentliche Herzstück einer Regelung. Es wertet die Regeldifferenz, also die Information darüber, ob, wie und wie weit die Regelgröße vom aktuellen Sollwert abweicht, als Eingangsgröße aus und leitet aus dieser die **„Reglerausgangsgröße“** Y_R ab, durch die in letzter Konsequenz die Regelgröße beeinflusst wird. Die Reglerausgangsgröße wäre im Beispiel des Heizungssystems die Spannung für den Mischermotor.

Die Art und Weise wie das Regelglied aus der Regeldifferenz die Reglerausgangsgröße bestimmt, ist das hauptsächliche Kriterium der Regelung. Teil II beschäftigt sich näher mit diesem Thema.

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

8. Der Steller

Der Steller ist sozusagen das „ausführende Organ“ der Regelung. Er erhält vom Regelglied in Form der Reglerausgangsgröße Information darüber, wie die Regelgröße beeinflusst werden soll, und setzt diese in eine Änderung der „**Stellgröße**“ um. In unserem Beispiel wäre der Steller der Mischermotor. Je nach der vom Regelglied gelieferten Spannung (also der Reglerausgangsgröße), beeinflusst er die Stellung des Mischers (die hier die Stellgröße repräsentiert).

9. Das Stellglied

Dieses ist das Glied des Regelkreises, das in Abhängigkeit der Stellgröße die Regelgröße (mehr oder weniger direkt) beeinflusst. Im Beispiel wäre dies die Kombination aus Mischer, Heizungsleitungen und Heizkörper. Die Einstellung des Mischers (die Stellgröße) wird durch den Mischermotor (Steller) vorgenommen und beeinflusst über die Wassertemperatur die Raumtemperatur.

10. Die Regelstrecke

Die Regelstrecke ist das System, in dem sich die zu regelnde Größe befindet, im Beispiel der Heizung also der Wohnraum.

11. Die Totzeit

Unter der Totzeit versteht man die Zeit, die von einer Änderung der Reglerausgangsgröße bis zu einer messbaren Reaktion der Regelstrecke vergeht. Im Beispiel wäre dies also die Zeit zwischen einer Änderung der Spannung für den Mischermotor und einer hierdurch bedingten messbaren Änderung der Raumtemperatur.

Überblick

Folgen wir noch einmal dem Informationsfluss im Regelkreis:

Die Regelgröße wird fortlaufend (oder auch in bestimmten Zeitintervallen) von einer Messeinrichtung gemessen. Die so gewonnene Rückführgröße wird im Vergleichsglied mit der Führungsgröße verglichen und daraus die Regeldifferenz gewonnen. Aus dieser bestimmt das Regelglied auf unterschiedliche Weise (s.u.) die Reglerausgangsgröße, die über Steller, Stellgröße und Stellglied auf die Regelstrecke übertragen wird und sich so auf die Regelgröße auswirkt.

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

1.3 Anwendungen für Regelungen

Eine Regelung ist immer dann erforderlich, wenn eine Größe entgegen dem Einfluss einer Störgröße auf einen bestimmten Wert zu bringen bzw. dort zu halten ist. Wir betrachten einige Beispiele:

- Das Beispiel einer Heizungsanlage wurde bereits ausführlich vorgestellt.
- Ein beliebiger Motor, unabhängig davon, ob es sich um einen Elektro- oder Verbrennungsmotor handelt, bei dem eine möglichst konstante Drehzahl unter unterschiedlichen Belastungen sichergestellt sein muss, benötigt eine Regelung. Die Regelgröße ist hier also die Drehzahl, die Störgröße die Drehmomentbelastung der Motorwelle. Als Messeinrichtung dient hier ein Drehzahlmesser. Die Stellgröße ist die Versorgungsspannung bzw. die Treibstoffzufuhr des Motors.
- Ein alltägliches einfaches Beispiel einer Regelung ist ein Toilettenspülkasten. Hier ist es das Ziel, den Wasserstand innerhalb des Kastens auf einem bestimmten Wert zu halten. Ist er zu hoch, läuft der Spülkasten über, ist er zu niedrig, so steht nicht genügend Wasser für den nächsten Spülvorgang zur Verfügung. Der Wasserstand ist hier also die Regelgröße. Störgrößen sind der Wasserzulauf, ständiger Wasserablauf durch eventuelle Undichtigkeiten und natürlich der Spülvorgang selbst, der den Wasserstand kurzzeitig auf Null bringt. Messeinrichtung, Vergleichs- und Regelglied sowie der Steller sind hier in einer mechanischen Vorrichtung aus einem Schwimmer und einem Hebelwerk kombiniert. Die Stellgröße ist die mechanische Kraft auf das Einlassventil, welches das Stellglied repräsentiert.

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

1.4 Arten von Regelungen

Man unterscheidet, je nachdem wie die einzelnen Größen des Regelkreises übertragen werden, folgende Grundarten von Regelungen:

- Hydraulische Regelung
- Pneumatische Regelung
- Mechanische Regelung
- Elektrische Regelung

Auch in Hinblick auf das Gesamtthema beschränken wir uns hier auf elektrische Regelungen. Es sei aber erwähnt, dass es auch diverse Anwendungen für die übrigen Typen gibt. Beispielsweise werden pneumatische und hydraulische Regelungen oftmals in extrem feuergefährlichen Anlagen eingesetzt, bei denen eine elektrische Regelung aufgrund der Gefahr des Funkenschlages ein zu hohes Risiko darstellen würde.

Die oben bereits beschriebene Wasserstandsregelung für Toilettenspülkästen ist ein typisches Beispiel für eine mechanische Regelung. Erwähnenswert ist hierbei, dass diese Regelung ihre gesamte Energie direkt aus der Regelstrecke bezieht (hier aus dem Wasserdruck der Leitung), also keine eigene Energieversorgung benötigt. Diese Möglichkeit besteht nur bei mechanischen Regelungen und stellt einen ihrer wesentlichen Vorteile dar.

Teil II Reglertypen

2.1 Zweipunktregler

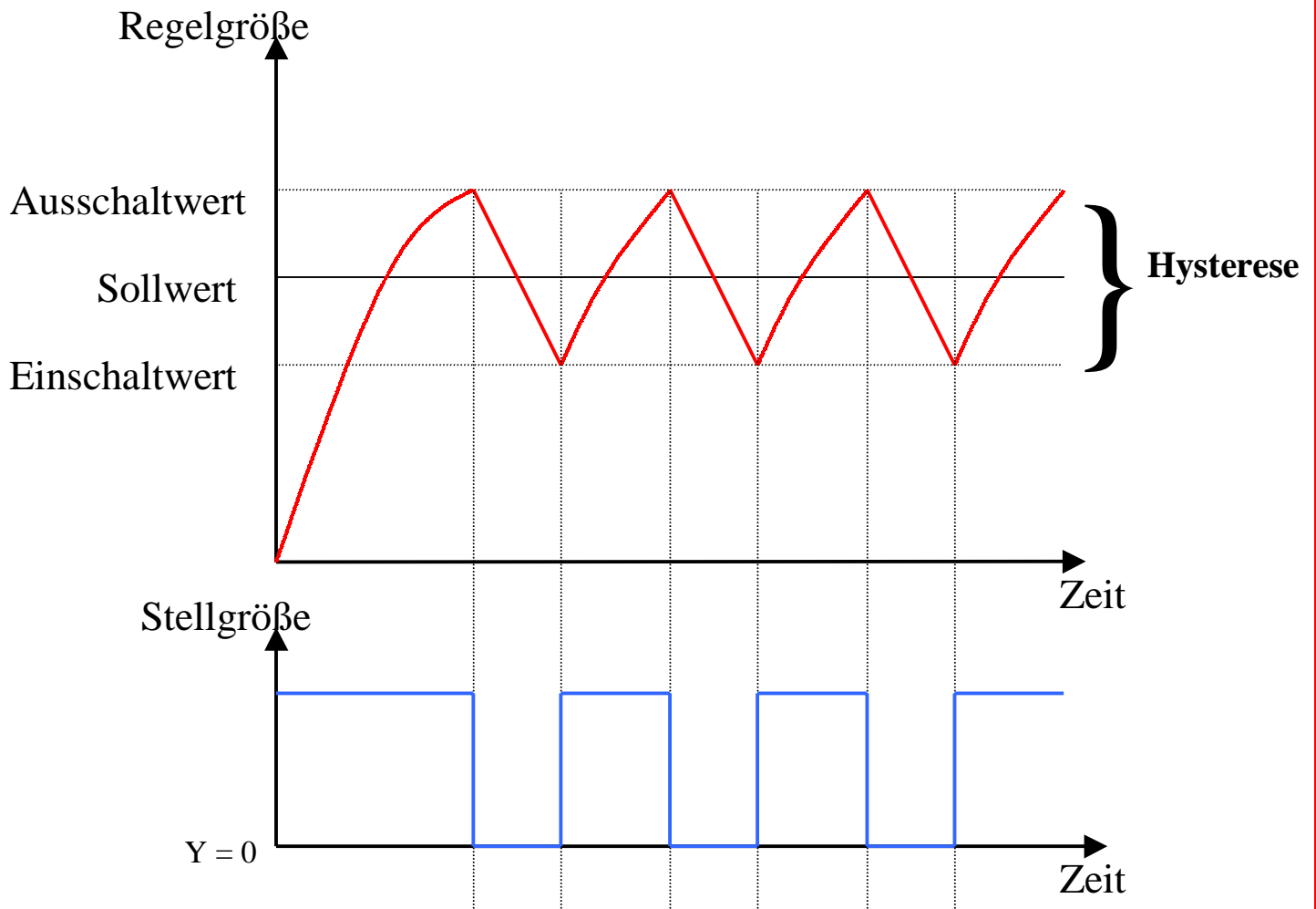
Die wesentliche Eigenschaft von Zweipunktreglern besteht darin, dass sie nur zwei Zustände kennen: „An“ und „Aus“. Sie dürften damit den einfachsten Reglertyp bilden. Zweipunktregler werden vor allem dann benutzt, wenn es weniger um eine absolut präzise Einhaltung des Sollwertes geht als darum, die Regelung möglichst einfach zu halten, oder auch, wenn der Steller bzw. das Stellglied keine stetige Regelung zulässt. Bei der schon häufig bemühten Heizungsanlage handelt es sich beim Regelkreis mit Raumthermometer und Mischer um eine stetige Regelung. Um die Wassertemperatur im Kesselkreis konstant zu halten, setzt man aber typischerweise eine Zweipunktregelung ein, da diese einerseits durchaus um einige Grad schwanken darf und es andererseits deutlich einfacher ist den Brenner nur ein- und wieder auszuschalten als eine genaue Dosierung der Brennstoffzufuhr zu vorzunehmen.

Da man um den Sollwert exakt einzuhalten theoretisch unendlich schnell hintereinander ein- und ausschalten müsste, besitzt der Zweipunktregler eine sogenannte **„Hysterese“**. Diese stellt eine Art „Umgebung“ um den Sollwert dar, innerhalb der der Istwert schwanken darf. Das heißt man legt einen Minimalwert fest, der geringer als der Sollwert ist, und einen Maximalwert, der etwas höher liegt als er Sollwert. Erst wenn der Istwert den Maximalwert über- oder den Minimalwert unterschreitet, reagiert die Regelung. In den meisten Fällen sind Minimal- und Maximalwert gleich weit vom Sollwert entfernt, die Hysterese bildet also eine symmetrische Umgebung um den Sollwert.

Im Falle der Kesselwassertemperatur würde beispielsweise der Brenner eingeschaltet, wenn die Wassertemperatur den festgelegten Sollwert um mehr als einen bestimmten Wert unterschreitet. Der Brenner läuft dann solange weiter, bis ein bestimmter Wert, der über dem Sollwert liegt, überschritten wird. Erst dann wird der Brenner abgeschaltet. Ein weiteres typisches Beispiel ist eine Kühlung. Das Kühlaggregat unterstützt für gewöhnlich ebenfalls keine stetige Regelung, sondern kennt nur die Zustände „An“ und „Aus“. Es wird also eingeschaltet, wenn die Ist - Temperatur die Solltemperatur bereits um einige Grad übersteigt, und wieder ausgeschaltet, wenn die Ist - Temperatur um einige Grad zu niedrig ist. Typisch für den Zweipunktregler ist also ein periodisches Schwanken um den Sollwert, dessen Amplitude in etwa gleich der Hysterese ist. Die Wahl der Hysterese hängt davon ab, wie genau der Sollwert eingehalten werden muss. Wählt man eine große Hysterese, so kann der Istwert stärker vom Sollwert abweichen. Wählt man eine kleinere, so wird der Sollwert genauer eingehalten, aber es muss häufiger geschaltet werden, was wiederum Nachteile hat, wie beispielsweise einen

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

höheren Verschleiß der Schaltvorrichtungen und des Stellers bzw. Stellglieds. Wir betrachten nun den Zweipunktregler im Diagramm:



Deutlich erkennbar ist die Tatsache, dass die Stellgröße Y nur zwei Zustände annimmt, es sich also um eine **„diskrete Regelung“** handelt.

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

2.2 Dreipunktregler

Die Dreipunktregler stellen die zweite wichtige Klasse der diskreten Regler dar. Der Unterschied zu den Zweipunktreglern besteht darin, dass die Stellgröße drei verschiedene Werte annehmen kann: positive Beeinflussung, keine Beeinflussung und negative Beeinflussung der Regelgröße.

Ein Beispiel ist die Regelung mittels eines elektrisch verstellbaren Ventils, das jedoch seinerseits nur ganz geöffnet oder ganz geschlossen sein kann. Handelt es sich beispielsweise um eine Wasserstandsregelung, so würde, sobald der Wasserstand einen Maximalwert überschreitet, der Ventilmotor mit positiver Drehrichtung angesteuert und das Ventil geöffnet werden. Die Regelung bleibt dann solange untätig, d.h. der Motor in Ruhe, bis der Wasserstand einen Minimalwert unterschreitet. Ist dies der Fall, so wird der Motor in negativer Drehrichtung angesteuert und das Ventil geschlossen. Somit kennt der Steller drei Zustände: drehender Ventilmotor mit positiver Drehrichtung, stehender Motor und drehender Motor mit negativer Drehrichtung.

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

2.3 Grundtypen stetiger Regler

Die eben diskutierten diskreten Regler haben, wie bereits erwähnt, den Vorteil ihrer Einfachheit. Sowohl der Regler selbst als auch Steller und Stellglied sind von einfacherer Natur und somit billiger als bei stetigen Reglern. Allerdings haben diskrete Regler auch eine Reihe von Nachteilen. Zum einen kann es, wenn große Lasten wie zum Beispiel große Elektromotoren oder Kühlaggregate zu schalten sind, beim Einschalten zu hohen Lastspitzen kommen, die beispielsweise die Stromversorgung überlasten können. Aus diesem Grund schaltet man oftmals nicht zwischen „Aus“ und „Ein“ um, sondern zwischen voller („Volllast“) und deutlich geringerer Leistung des Stellers bzw. Stellgliedes („Grundlast“). Doch auch mit dieser Verbesserung ist eine stetige Regelung für zahlreiche Anwendungen ungeeignet. Man stelle sich einen Automotor vor, dessen Drehzahl diskret geregelt wird. Es gäbe dann nichts zwischen Leerlauf und Vollgas. Abgesehen davon, dass es wohl unmöglich wäre, die Kräfte bei plötzlichem Vollgas jeweils angemessen über die Reifen auf die Straße zu übertragen, wäre ein solcher Wagen für den Straßenverkehr wohl denkbar ungeeignet. Für derartige Anwendungen verwendet man daher stetige Regler. Hierbei sind dem mathematischen Zusammenhang, den das Regelglied zwischen Regeldifferenz und Reglerausgangsgröße herstellt, theoretisch kaum Grenzen gesetzt. In der Praxis unterscheidet man aber drei klassische Grundtypen, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

2.3.1 Der Proportionalregler (P – Regler)

Hierbei ist die Reglerausgangsgröße proportional zur Regeldifferenz.

Ist nun D die momentane Regeldifferenz und U die Reglerausgangsgröße, so legt man einen Startwert U_0 für U sowie einen Proportionalitätsfaktor V_P fest. Für die Reglerausgangsgröße gilt dann:

$$U = -V_P * D + U_0$$

Der Proportionalitätsfaktor geht hier negativ in die Gleichung ein, da ja der Abweichung vom Sollwert entgegengewirkt werden soll. Durch Äquivalenzumformung erhält man, dass für die Regelabweichung gilt:

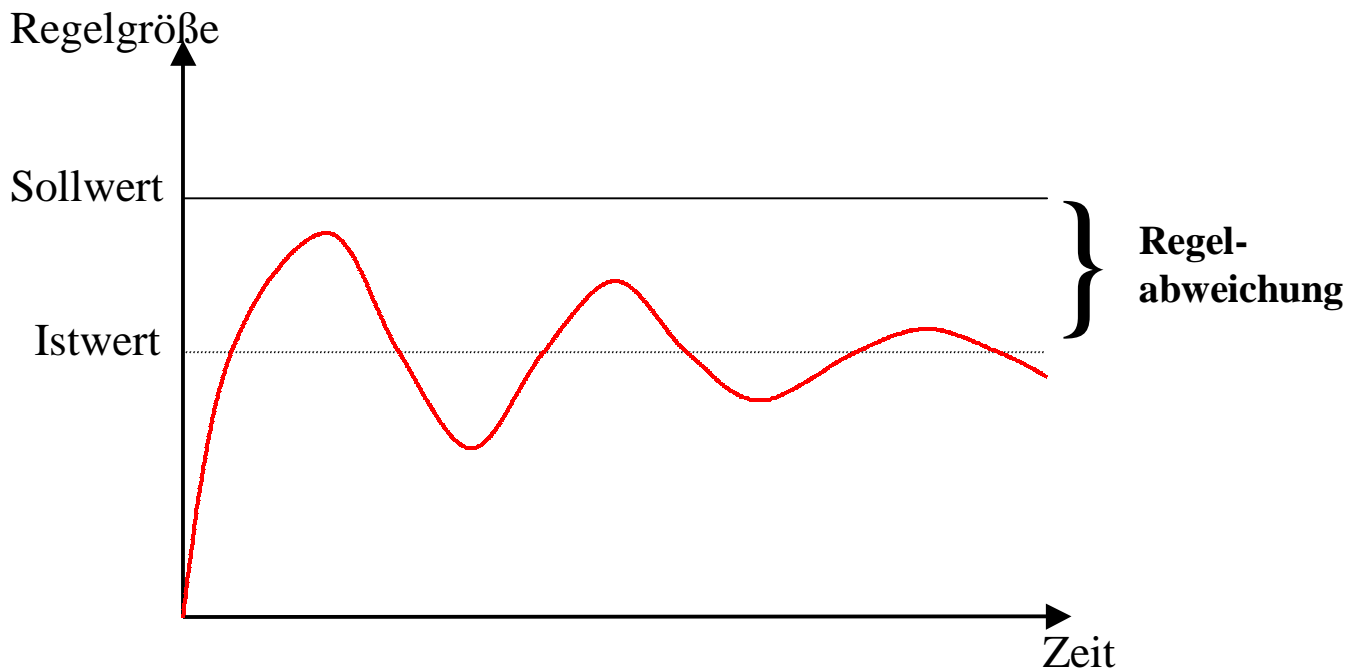
$$D = (U - U_0) / (-V_P)$$

Um die Regelabweichung klein zu halten, muss also ein möglichst großer Proportionalitätsfaktor gewählt werden. Eine Vergrößerung des Faktors bewirkt

Seminar Grundlagen der Regelungstechnik

eine schnellere Reaktion des Reglers, allerdings birgt ein zu hoher Wert auch die Gefahr des Überschwingens und großer Schwingneigung des Reglers.

Hier sieht man das Verhalten des P- Reglers im Diagramm:



Die Vorteile dieses Reglertyps liegen einmal in seiner Einfachheit (die elektronische Realisierung kann im einfachsten Fall aus einem bloßen Widerstand bestehen) und zum anderen in seiner im Vergleich zu anderen Reglertypen recht prompten Reaktion. Der Hauptnachteil des P – Reglers besteht in der dauerhaften Regelabweichung, der Sollwert wird auch langfristig nie ganz erreicht. Dieser Nachteil sowie die noch nicht ideale Reaktionsgeschwindigkeit lassen sich durch einen größeren Proportionalitätsfaktor nur unzureichend minimieren, da es sonst zum Überschwingen des Reglers, das heißt quasi zu einer Überreaktion kommt. Im ungünstigsten Fall gerät der Regler dann in eine dauerhafte Schwingung, wodurch die Regelgröße anstatt durch die Störgröße durch den Regler selbst periodisch vom Sollwert entfernt wird.

Das Problem der dauerhaften Regelabweichung wird am besten durch den Integralregler gelöst.

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

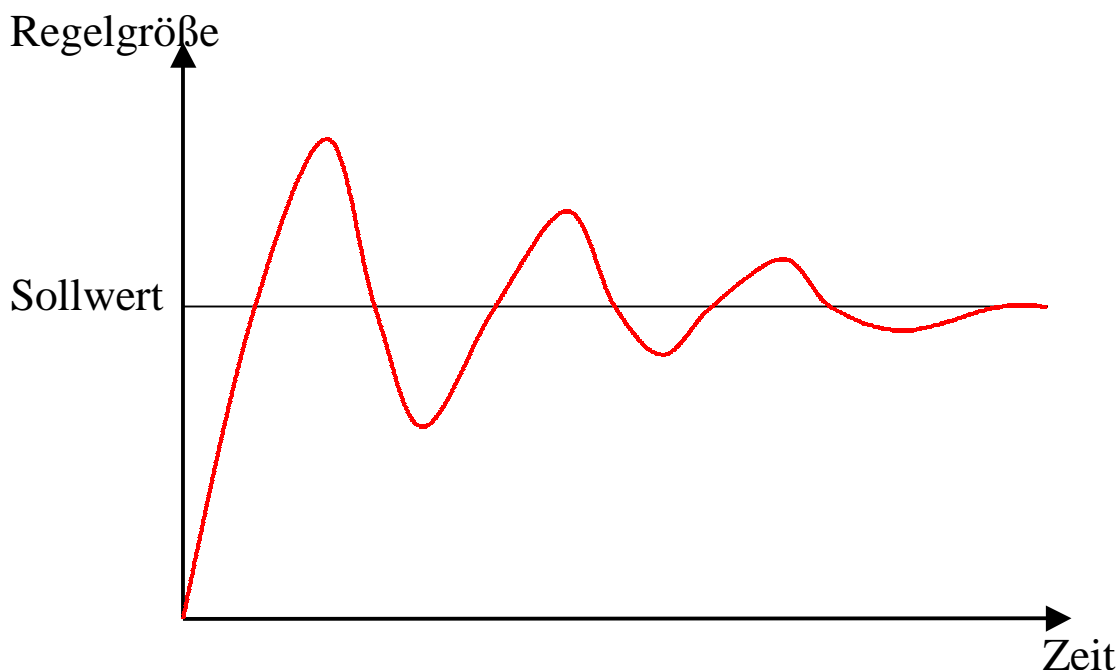
2.3.2 Der Integralregler (I- Regler)

Hier legt man wieder einen Vorfaktor V_i fest und definiert die Reglerausgangsgröße als

$$U = -V_i * \int D * dt$$

Es wird also die Regelabweichung (für gewöhnlich über einen bestimmten kurzen Zeitraum von $(t - \Delta t)$ bis t) integriert und daraus die Reglerausgangsgröße bestimmt. Anschaulich gesprochen „merkt“ sich der Regler die Abweichung vom Sollwert während der letzten Zeit und reagiert entsprechend. Klar ist, dass damit eine dauerhafte Regelabweichung ausgeschlossen ist, da sich eine bleibende Abweichung bald im Integral bemerkbar macht und so zu einer Anpassung der Regelgröße führt.

Wir betrachten auch den Integralregler anhand eines Diagramms:



Durch den Prozess des Integrierens über eine gewisse zwar recht kurze Zeit wird der Regler extrem schwerfällig. Dies hat einerseits den positiven Effekt, dass es kaum zum Überschwingen oder gar zu dauerhaften Schwingungen kommen kann, andererseits ergibt sich eine sehr schlechte Reaktionsgeschwindigkeit für diesen Reglertyp. Als Extrembeispiel kann man sich die Regelung eines Atomreaktors vorstellen. Hierbei soll auf einen erhöhten Neutronenausstoß des Reaktors durch ein weiteres Einfahren der Steuerstäbe reagiert werden. Steigt die Intensität der

Seminar Grundlagen der Regelungstechnik

Kernreaktion nun schlagartig an, sieht man schnell ein, dass eine alleinige Verwendung eines Integralreglers durch die schlechte Reaktionszeit zur Katastrophe führen kann. Zwar ist dann recht präzise kalkuliert wie weit die Steuerstäbe aufgrund der bisherigen Entwicklung in den Reaktor eingefahren werden müssten, jedoch ist im ungünstigsten Fall dieser Reaktor bis dahin in dieser Form gar nicht mehr existent.

Oftmals wird deshalb ein Integral mit einem Proportionalregler zu einem PI – Regler kombiniert. Die eigentliche Reaktion auf die Abweichung leistet dann hauptsächlich der Proportionalregler, während der Integralregler quasi den Startwert U_0 des P – Reglers ständig dynamisch anpasst und so eine dauerhafte Regelabweichung korrigiert.

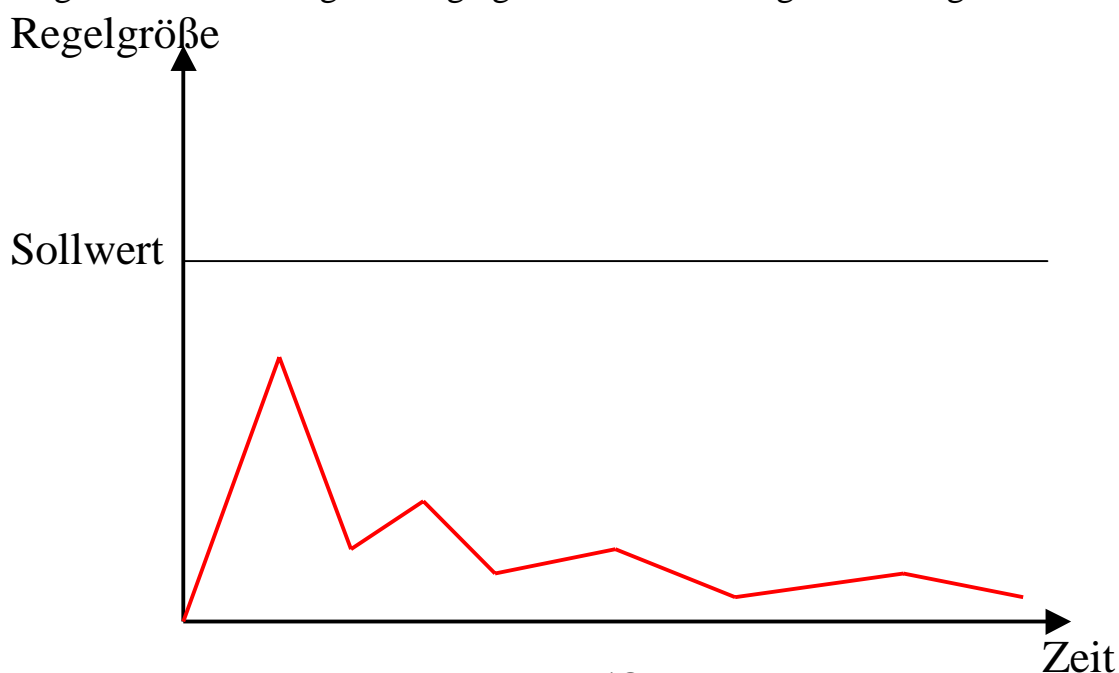
2.3.3 Der Differentialregler (D – Regler)

Oftmals ist auch die durch Kombination mit einem P - Regler verbesserte Reaktionsgeschwindigkeit des Reglers noch nicht ausreichend. Im obigen Beispiel eines Reaktors braucht man einen Regler, der unabhängig vom absoluten Wert der Regelabweichung möglichst schnell auf eine plötzliche Änderung derselben reagiert. Hierfür bietet es sich an, die Ableitung der Regeldifferenz zu bilden und zunächst auf diese zu reagieren.

Für einen passend festgelegten Vorfaktor V_D legt man also beim Differentialregler die Reglerausgangsgröße fest als

$$U = -V_D * dD / dt$$

Es folgt die Entwicklung der Regelgröße beim D – Regler im Diagramm:



Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

Die kantige Struktur der Kurve erklärt sich durch die verzögerte Reaktion der Regelstrecke. Die (im Diagramm zum Zeitpunkt Null angenommene) plötzliche Abweichung der Regelgröße vom Sollwert bewirkt eine große Ableitung der Regeldifferenz und damit eine starke Reaktion des D – Reglers. Diese macht sich durch eine relative schnelle Annäherung an den Sollwert bemerkbar, was, nachdem die Änderung sich auf der Regelstrecke bemerkbar gemacht hat und dem Regler zurückgemeldet worden ist, wiederum zu einer großen Ableitung der Regeldifferenz führt, diesmal jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen, da ja diesmal eine Änderung zum Sollwert hin erfolgt ist. Aufgrund des negativen Vorfaktors entfernt der D – Regler nun die Regelgröße vom Sollwert usw. Klar erkennbar ist, dass der D – Regler sehr schnell auf eine plötzliche Änderung der Regelgröße reagiert, auf eine konstante Abweichung vom Sollwert (deren Ableitung ja Null ist) allerdings überhaupt nicht. Als eigenständiger Regler ist der D – Regler daher unbrauchbar, er eignet sich aber gut, um einen P- oder PI – Regler zu ergänzen.

2.3.4 Der PID – Regler

Da die besprochenen drei Grundtypen von Reglern im Endeffekt zu unterschiedlichen Zeiten nach Eintritt der Regelabweichung wirken, lassen sie sich zu einem einzigen Regler kombinieren ohne sich gegenseitig deutlich zu behindern. Mathematisch gesprochen addiert man einfach die jeweiligen Gleichungen für U auf. Man erhält:

$$U = (-V_P * D) + (-V_i * \int D * dt) + (-V_D * dD / dt)$$

wobei die Größen V_P , V_i und V_D geeignet zu wählen sind. Wie dies genau geschieht, soll hier nicht erläutert werden. Es ist jedoch entscheidend diese Größen richtig zu dimensionieren. Bei zu kleinen Faktoren reagiert der Regler zu langsam, bei zu großen besteht die Gefahr des Überschwingens, sodass sich der Regler erst nach längerer Einschwingzeit oder im ungünstigsten Fall gar nicht wieder beruhigt.

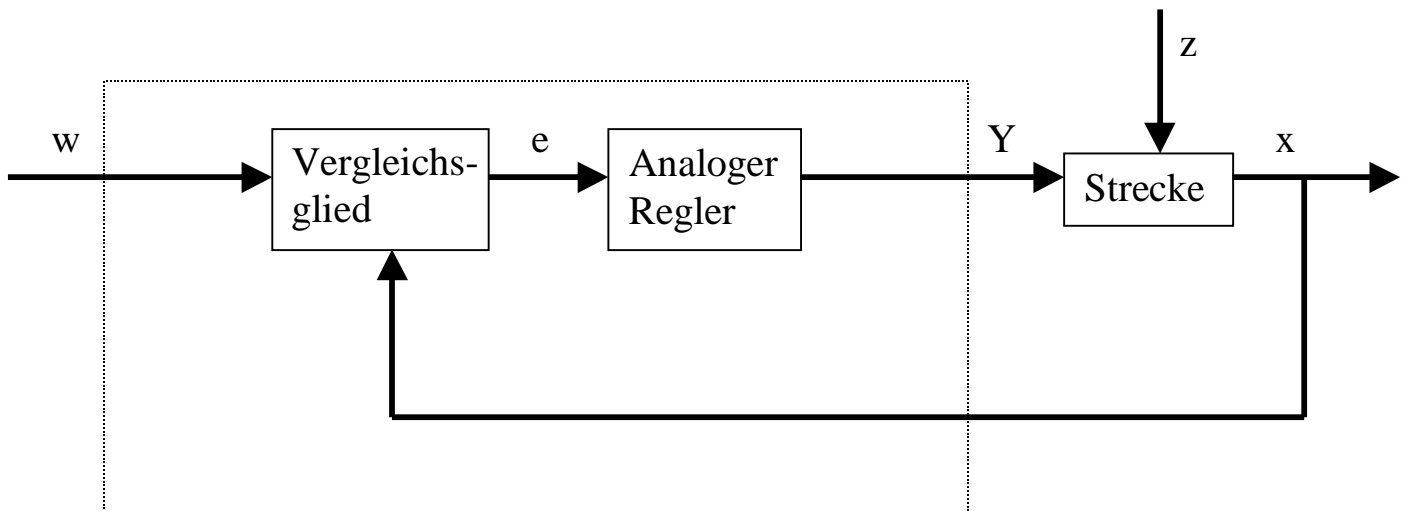
Hat man die Faktoren geeignet gewählt, so kombiniert der PID – Regler die Vorteile seiner Einzelkomponenten. Zunächst reagiert der D – Anteil schnell auf eine Abweichung vom Sollwert und zwar desto heftiger, je schneller die Änderung erfolgt. Eine plötzliche Abweichung wird so schnell abgefangen. Anschließend gleicht der Proportionalanteil die meist dennoch entstandene Abweichung innerhalb relativ kurzer Zeit weitgehend aus. Die durch die Ungenauigkeit des P – Reglers noch verbliebene Abweichung wird dann

Seminar Grundlagen der Regelungstechnik

vergleichsweise langsam durch den Integralteil korrigiert. Durch die Kombination der Regler wird auch die Schwingneigung des Systems bei gut gewählten Vorfaktoren deutlich reduziert, da der jeweils später wirkende Regleranteil eine Überreaktion des vorherigen in gewissem Maße abfangen kann.

2.4 Digitale Regler

Bisher wurden hauptsächlich analoge Regler betrachtet, das heißt solche, die aus der als analoger Wert vorliegenden Regeldifferenz auf ebenfalls analoge Weise die Reglerausgangsgröße ableiten. Das Schema eines solchen Regelkreises ist mittlerweile bekannt:

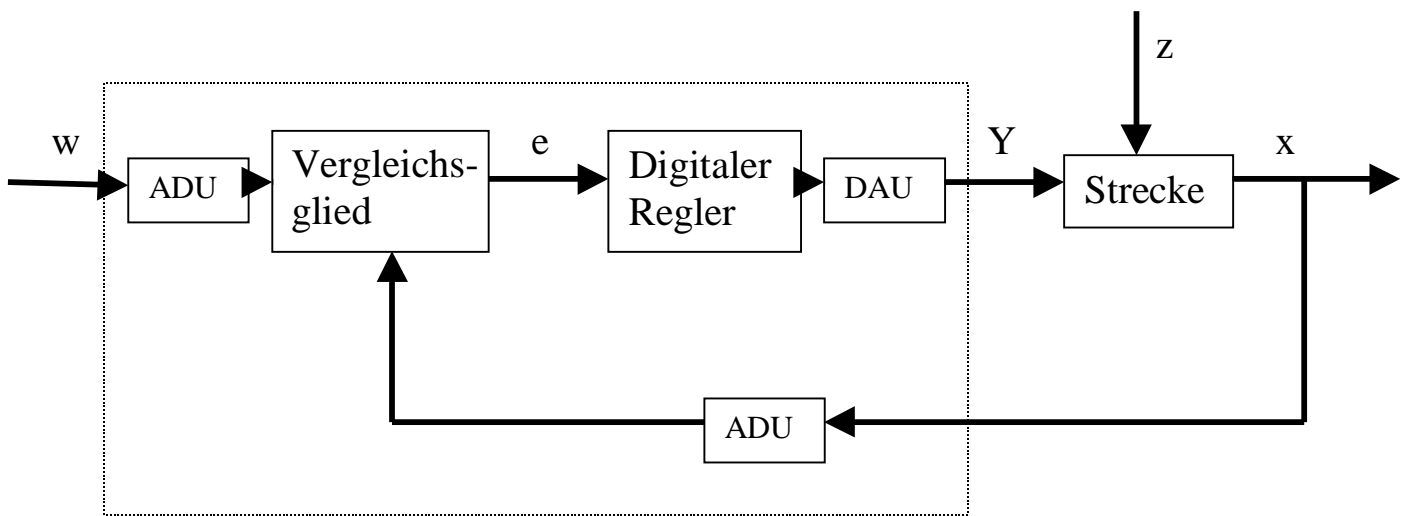


Oftmals hat es aber Vorteile die eigentliche Auswertung der Regeldifferenz digital zu vollziehen. Zum einen ist der Zusammenhang zwischen Regeldifferenz und Reglerausgangsgröße sehr viel flexibler festzulegen, wenn er durch einen Algorithmus oder eine Formel definiert wird, mit denen jeweils ein Rechner programmiert werden kann, als wenn man ihn in Form einer analogen Schaltung implementieren muss. Zum anderen ist in der Digitaltechnik eine deutlich höhere Integration der Schaltungen möglich, sodass mehrere Regler auf kleinstem Raum untergebracht werden können. Und schließlich ist es durch Aufteilung der Rechenzeit bei ausreichend großer Rechenkapazität sogar möglich, einen einzigen Rechner als Regelglieder mehrerer Regelkreise einzusetzen.

Um eine digitale Verarbeitung der Größen zu ermöglichen, werden sowohl Führungs- als auch die Rückführgröße zunächst in einem Analog – Digital – Umsetzer (ADU) in digitale Größen umgewandelt. Diese werden dann von einem digitalen Vergleichsglied voneinander subtrahiert und die Differenz an das digitale Regelglied übergeben. Dessen Reglerausgangsgröße wird anschließend in einem Digital – Analog – Umsetzer (DAU) wieder in eine analoge Größe verwandelt. Die Einheit aus Wandlern, Vergleichsglied und Regelglied erscheint nach außen also wie ein analoger Regler.

Seminar **Grundlagen der Regelungstechnik**

Wir betrachten den Aufbau eines Digitalreglers anhand eines Diagramms:



Neben den Vorteilen, die die digitale Umsetzung der Reglers hat, bringt sie auch diverse Probleme mit sich. Es sind daher einige Größen in Bezug auf den digitalen Regler ausreichend groß zu wählen damit die Genauigkeit der Regelung unter der Digitalisierung nicht zu sehr leidet. Gütekriterien für digitale Rechner sind:

- Die Quantisierungsauflösung der Digital – Analog – Wandler.
Sie gibt an, wie fein der stetige Wertebereich digital gerastert wird. Die Auflösung muss so groß gewählt werden, dass keine für die Regelung wichtigen Feinheiten verloren gehen.
- Die Abtastrate der Analog – Digital – Wandler.
Das ist die Frequenz, mit der die am Wandler anliegenden analogen Werte gemessen und digitalisiert werden. Diese muss so hoch sein, dass der Regler auch auf plötzliche Änderungen der Regelgröße noch rechtzeitig reagieren kann.
- Die Zykluszeit.
Jeder digitale Rechner arbeitet anders als ein analoger Regler in Taktzyklen. Die Geschwindigkeit des verwendeten Rechners muss so hoch sein, dass während eines Taktzyklus (in dem der Ausgangswert berechnet und kein Eingangswert abgefragt wird) keine signifikante Änderung der Regelgröße erfolgen kann.

Die Güte des Digitalreglers muss so hoch sein, dass er nach außen hin vergleichbar prompt und präzise reagiert wie ein analoger Regler.

Literatur

- „Einführung in die Regelungstechnik“ (Heinz Mann; Horst Schiffelgen; Rainer Froriep); ISBN 3-446-21516-6
- „Einführung in die Steuerungs- und Regelungstechnik“ (Peter Kopacek; Werner Washietl); ISBN S 245.00
- „Grundlagen der Regelungstechnik“ (Frank Doerrscheidt und Wolfgang Latzel); ISBN 3-519-06421-9
- Praktikum „Messen, Steuern und Regeln mit dem PC“; Versuch Nr. 10; Uni Gießen; URL: <http://www.strz.uni-giessen.de/pcprak/versuch10.html>