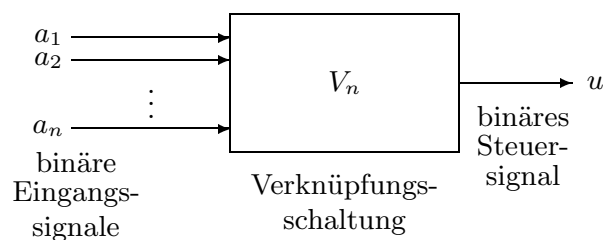


D.4 Steuerung

1 Definition

- ◆ Umgangssprachlich wird der Begriff der **Steuerung** in der Prozessautomatisierung als **Oberbegriff** für viele Aufgabenbereiche, insbesondere für jede Form des **korrigierenden Eingreifens**, verwendet, wie z.B.
 - Regelung
 - Führung
 - Optimierung
- ◆ Im folgenden steht Steuerung jedoch für eine **klar umrissene Aufgabe**:
 - Die Steuerung verknüpft binäre Prozeßsignale und greift anschließend über das Senden binärer Signale in das Prozessgeschehen ein.
- ◆ Werden bei diesem Vorgehen **Zeitkriterien** berücksichtigt, so spricht man von **Ablaufsteuerung**.

- ◆ **Schematische Darstellung einer Steuerung:**



◆ **Beispiele für binäre Eingangssignale sind:**

- Signale von **Schaltern** und **Stellgliedern** (z.B. Ventile)
- Signale von **Grenzwertmeldern** (z.B. Druck-, Niveau-, Drehzahlwächtern)
- die vom **Rechner** aufgrund der Überwachung erzeugten binären Signale bei **Grenzwertüberschreitung** von analogen Messgrößen
- **Zeitkriterien**
- Signale aus einer **logischen Vorverarbeitung**
- Signale über die **Weichenstellung** bei Transportsystemen.
- Signale von **Lichtschranken**

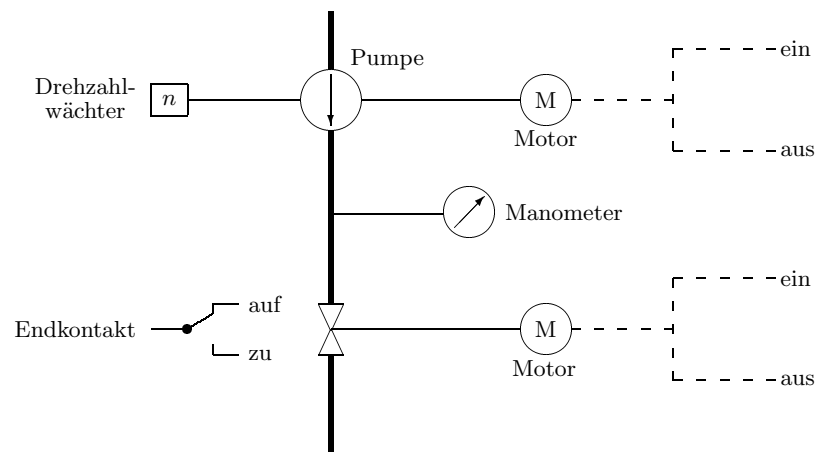
◆ **Beispiele für eine Steuerung**

- Ein- und Ausschalten des Brenners des **Heizkessels** einer Zentralheizung in Abhängigkeit von der Uhrzeit, der Zimmertemperatur, der Wassertemperatur, dem Wasserstand in den Heizkörpern und dem Ölstand im Tank.
- **Waschmaschinensteuerung**
- Zünden einer **Rakete** (Es sind sehr viele Signale zu vektüpfen)

- ◆ Realisierung der Verknüpfungsschaltung auch durch **Relais** und **elektronische Bauelemente** möglich
- ◆ **Die Vorteile eines Rechnereinsatzes:**
 - Steuerprogramme können **leichter verändert** werden.
 - Rechner bei vielfältigen Steuerungsaufgaben **billiger**
 - Rechner in der Lage, zusätzliche **andere Aufgaben**, wie Überwachung und Optimierung, durchzuführen.

2 Anfahrvorgang einer Pumpe

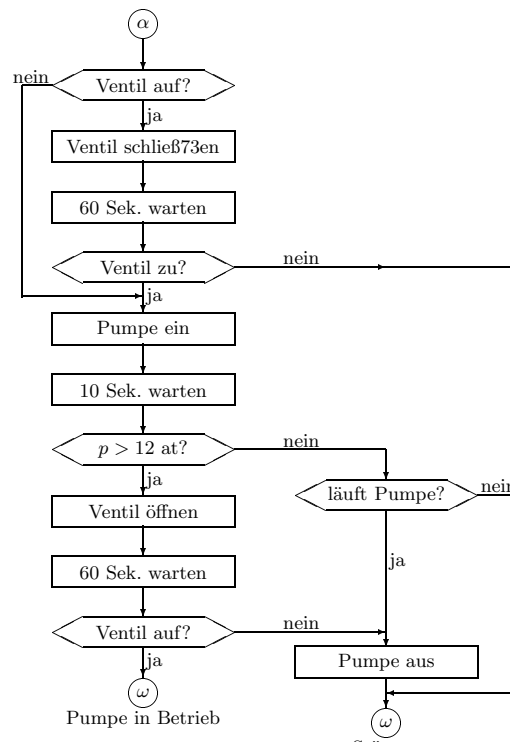
- Schema einer Pumpe mit zugehörigem Druckventil:



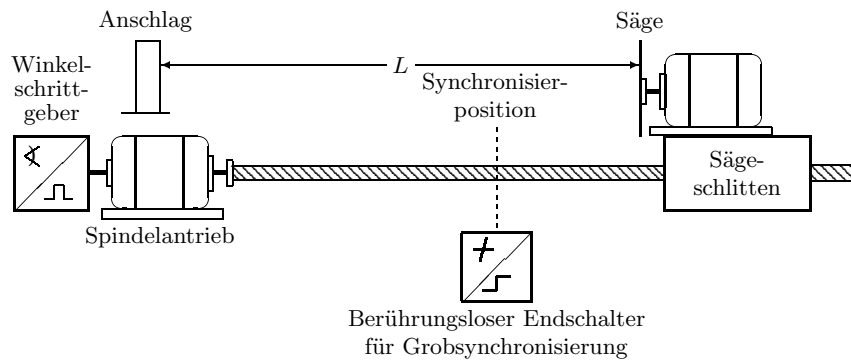
■ Beschreibung des Ablaufs des Anfahrvorgangs:

- ◆ Vor dem Einschalten des Pumpenmotors muss das **Ventil** in der Druckleitung **geschlossen** sein, was durch eine Abfrage überprüft wird (Endkontakt).
- ◆ Wurde der Motor eingeschaltet, so wird anschließend mittels eines Manometers überprüft, ob ein bestimmter **Druck** in der Leitung erreicht wurde.
- ◆ Erst wenn auch das der Fall ist, kann das **Ventil** wieder **geöffnet** werden.
- ◆ Bleibt dieser Druck aus, so deutet das auf einen **Fehler** hin.
- ◆ Dieser Fehler kann zwei **Ursachen** haben:
 - Entweder ist die Pumpe **nicht richtig angelaufen** oder
 - es ist **keine Flüssigkeit** in der Ansaugleitung.
- ◆ Die Abfrage eines **Drehzahlwächters**, der an der Pumpe angeschlossen ist, gibt darüber Auskunft

Ablaufplan für den Anfahrvorgang einer Pumpe



3 Positionierung einer Säge



- ◆ Mittels einer Säge werden **Holzplatten** maßgerecht **zugeschnitten**, indem sie (einseitig an einem Anschlag anliegend) durch die Säge hindurch geschoben werden.
- ◆ **Ohne Automatisierung** wird das Sägeblatt **handgesteuert** unter Zuhilfenahme eines in Drehzahl und Drehrichtung umschaltbaren Antriebsmotors für die **Verstellspindel** des Sägeschlittens.

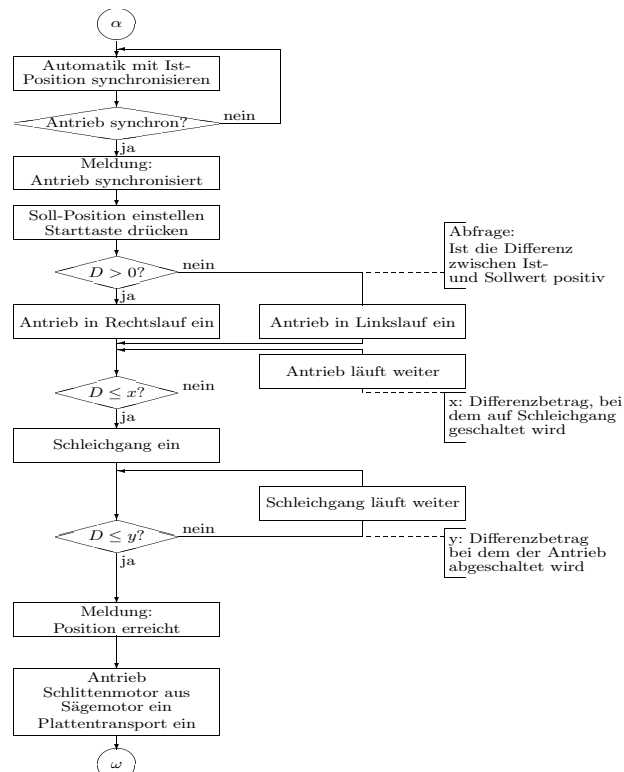
■ Steuerung zur automatischen Positionierung der Säge

- Der **Sollwert** L der zu schneidenden Holzlänge, wird am Bedienpult eingegeben.
- Vom Bedienpult aus erfolgt nach Sollwertvorgabe der **Start** der Automatik
- Nach der Rückmeldung: "**Position erreicht**" wird
 - der **Spindeltrieb gestoppt** und
 - der Motor der **Säge eingeschaltet** und
 - der **Transport** der Platten **eingeschaltet** .
- Der **Winkelschrittgeber** liefert Drehwinkel- und damit **wegproportionale Impulse**. Jeder Impuls entspricht einer bestimmten vom Schlitten zurückgelegte Wegeinheit (Impulsmaßstab).
- Der **berührungslose Endschalter** dient der **Synchronisation** der Weg-Istwert-Erfassung. Vor der Einstellung des Sollwertes L wird der Sägeschlitten auf die Position dieses Endschalters gebracht.

Programmablaufplan

beschreibt den zeitlichen Verlauf der Vorgänge innerhalb der Steuerung

D ist die Differenz zwischen dem Sollwert L und dem Istwert P (die Position des Sägeschlittens).



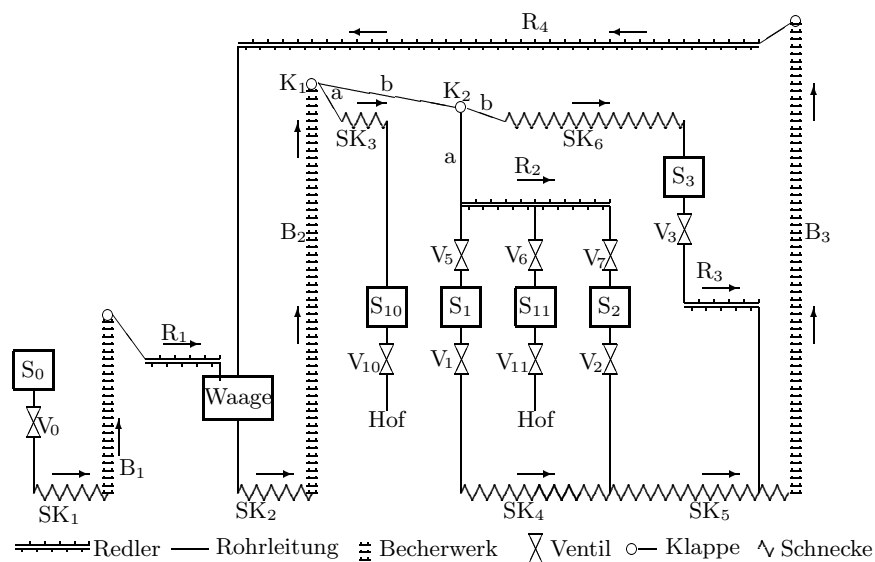
4 Steuerung einer Malztransportanlage

■ Malzherstellung und Mischung

- ◆ Das **Zielprodukt** einer Mälzerei ist der zur Bierherstellung wichtigste Grundstoff, das **Malz**.
- ◆ Dieses wird in einem mehrere Tage dauernden Prozess aus **Gerste** oder **Weizen** gewonnen.
- ◆ Das angelieferte Korn wird in der Mälzerei gereinigt, eingeweicht, zur Keimung gebracht und anschließend wieder getrocknet.
- ◆ Das so gewonnene Endprodukt Malz bleibt in seiner äußeren Form unverändert, unterliegt jedoch starken Qualitätsschwankungen, die von der Güte des angelieferten Kornes abhängen.
- ◆ Durch das **Mischen**, des in verschiedenen Silos untergebrachten Malzes, lassen sich definierte **Qualitäten** bzw. **Spezialmalzsorten** erzielen, wie z.B. dunkles Malz, Rauchmalz, Sauermalz oder Brühmalz.

- ◆ Zum **Mischen** wird eine flexible Handhabung der Transportanlage benötigt, die man mit einem **Steuerungsalgorithmus** automatisieren kann, da nur Ventile und Klappen zu öffnen bzw. zu schließen sowie Motoren für die einzelnen Transportwege ein- bzw. auszuschalten sind.
- ◆ Eine einfache Transportanlage ist in der folgende Abbildung dargestellt.
- ◆ Eine weitaus komplexere Ausführung ist in einer Erlanger Mälzerei realisiert. Sie enthält:
 - 17 Silos,
 - 4 Becherwerke,
 - 18 Schnecken,
 - 7 Klappen,
 - 5 Redler (Horizontalförderer) und
 - 20 Ventile.

- ◆ Vereinfachte **Malztransportanlage** zur Lagerung und Mischung verschiedener Malzsorten. Zur **Zwischenlagerung** dienen die Silos 1, 2, 3. Die **Abfüllung** an die Brauereien erfolgt entweder über Silo 10 oder Silo 11

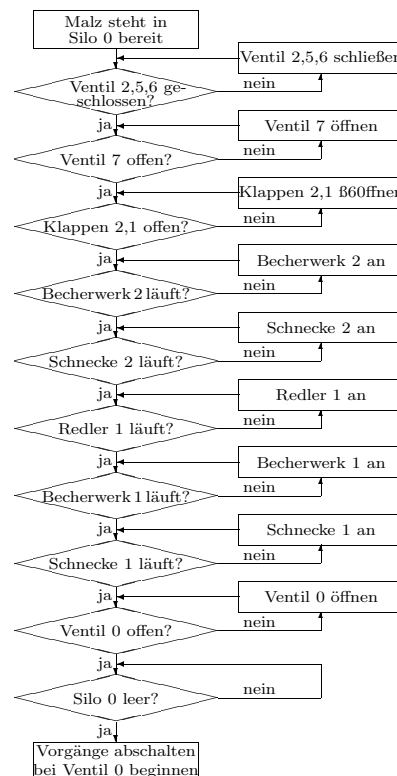


■ Steuerung und Automatisierung

- ◆ **Ziel** der Automatisierung einer solchen Förderanlage ist es, durch Angabe des Startsilos, des Zielsilos und der gewünschten Zielmenge
 - die entsprechenden **Fördererelemente** richtig zu stellen,
 - bzw. in der **richtigen Reihenfolge** (insbesondere der Becherwerke, Schnecken und Redler) zu starten
 - und die **elektronische Waage** mit dem richtigen **Sollwert** zu versorgen.
- ◆ **Unzulässige Zustände** werden angezeigt und ein entsprechendes **Fehlerprotokoll** mit Angabe der Fehlerstelle ausgegeben (Überwachung).
- ◆ Eine **Bestandsliste** über die aktuelle Silobelegung ist zu jeder Zeit abrufbar.
- ◆ Als Grundlage der Automatisierung diene das System **Braumat PA 5400** der Siemens AG, das neben der Steuerung der Fördererelemente die Kommunikation mit der Waage und die Bedienung des Prozesses ermöglicht

Ablaufplan für den Lager- und Mischvorgang

Malz wird gewogen und transportiert, bis Silo 0 leer ist. Der Abschaltvorgang beginnt umgekehrt bei Ventil 0.



■ Beschreibung des Lagervorgangs

- ◆ Das fertige Malz, das aus einer Kornart (Gerste oder Weizen) und einem Keimvorgang gewonnen wurde, kommt in Silo 0.
- ◆ Von dort zur wird es zur Zwischenlagerung in eines der Silos 1 bis 3 transportiert
- ◆ Wird z.B. Silo 2 zur Lagerung gewählt, so muss die Steuerung die Transportanlage vom Ziel aus in Betrieb setzen:
 - Ventile 2, 5 und 6 schliessen,
 - Ventil 7 öffnen,
 - Redler 2 anfahren
 - Klappen 2 und 1 öffnen
 - Becherwerk 2 und Schnecke 2 anfahren
 - Redler 1 und Becherwerk 1 anfahren
 - und erst zuletzt die Schnecke 1 und das Ventil 0 öffnen bzw. anfahren. .

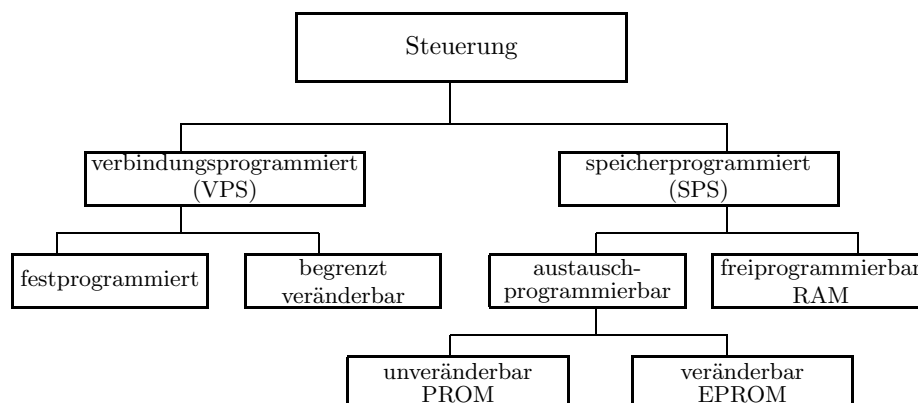
- ◆ Die Gesamtmenge, die an Silo 2 übergeben wurde, wird von der Waage registriert und entsprechend gespeichert.
- ◆ Das Beenden des Transportes nach Silo 2 erfolgt zeitverzögert in umgekehrter Reihenfolge, damit alle Transportwege leergefahren werden

■ Beschreibung eines Mischvorganges:

- ◆ Von einer Brauerei wird ein bestimmtes Mischungsverhältnis aus den in Silo 1 und Silo 3 gelagerten Malzsorten gewünscht und die Abfüllung erfolgt unter Silo 10.
- ◆ Die Steuerung dazu sieht folgendermaßen aus:
 - Es werden die Mengenangaben für das Malz aus Silo 1 und 3 in das Steuerungssystem eingegeben
 - Silo 10 wird mit der ersten Malzsortenmenge gefüllt. Der Weg führt über Ventil 1, die Schnecken 4 und 5, Becherwerk 3, den Redler 4, die Schnecke 2, Becherwerk 2 und Schnecke 3.
 - Währenddessen ist Ventil 10 noch geschlossen.
 - Danach erfolgt der Transport der entsprechende Mengen des Malzes aus Silo 3.
 - Nachdem Silo 10 die gewünschte Gesamtmenge der Mischung enthält, wird der Transport in umgekehrter Reihenfolge gestoppt.
 - Anschließend kann das Malzgemisch über das Ventil 10 in die entsprechenden Wagen abgelassen bzw. abgesackt werden.

5 Programmierbare Steuerungen

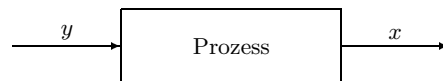
- ◆ Verbindungsprogrammierbare Steuerungen → **VPS**
- ◆ Speicherprogrammierbare Steuerungen → **SPS**



D.5 Regelung

1 Definition

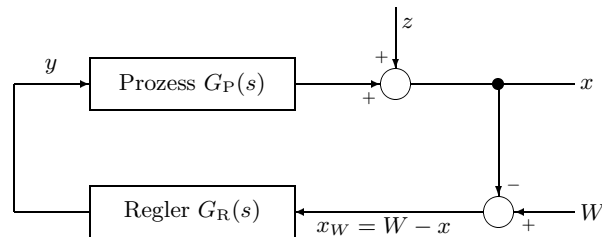
- ◆ Durch die Automatisierung will man vor allem erreichen, dass bestimmte Prozessgrößen (Ausgangsgrößen) auf vorgegebene Werte gebracht und auf diesen auch gehalten werden.
- ◆ Diese Prozessausgangsgrößen lassen sich jedoch nur in den seltensten Fällen direkt beeinflussen.



- ◆ Es muss eine Eingangsgröße verändert werden, damit eine Ausgangsgröße ihren vorgegebenen Wert erreicht
 - ein Widerstand muss verändert werden um den Strom zu beeinflussen
 - ein Ventil muss verstellt werden, um den Durchfluss zu ändern.

- ◆ Oft sind es sogar **mehrere Eingangsgrößen**, die verändert werden müssen, damit die Ausgangsgröße ihren vorgegebenen Wert erreicht.
- ◆ Um den Wert der Eingangsgröße (Stellgröße) so zu bestimmen, dass die Ausgangsgröße ihren Sollwert erreicht, müsste der **mathematische Zusammenhang** (das mathematische Modell) **exakt bekannt** sein, um bei gegebener Ausgangsgröße x die dazugehörige Eingangsgröße (Stellgröße) y berechnen zu können.
- ◆ In den meisten Fällen lässt sich dieses **Modell** jedoch nicht oder **nicht exakt** angeben.
- ◆ Daher wendet man die **Regelung** an, die bei **Abweichung** der Ausgangsgröße x vom **Sollwert** W die **Stellgröße** y so verändert, dass die Differenz zwischen x und W , die **Regelabweichung** x_W , **verschwindet** bzw. möglichst klein wird.

◆ **Blockschaltbild der Regelung**



- ◆ Die **Störgrößen** z müssen noch berücksichtigt werden
- ◆ Sie vergrößern die Regelabweichung.
- ◆ Durch Regelung lässt sich auch diese Abweichung kompensieren.

- ◆ Regler können entweder als
 - elektronische Bauelemente oder als
 - Programm auf einem Rechner (DDC = **D**irect **D**igital **C**ontrol) realisiert sein.
- ◆ Die Aufgaben eines Reglers sind:
 - der Vergleich zwischen dem Istwert x und dem Sollwert W einer Prozessgröße und Ermittlung der aufgetretenen Differenz (Regelabweichung) $x_W = W - x$ nach Betrag und Richtung.
 - das Ermitteln der Stellgröße y aus der Regelabweichung x_W mit Hilfe der im Regler implementierten Funktionen (Regelalgorithmen).

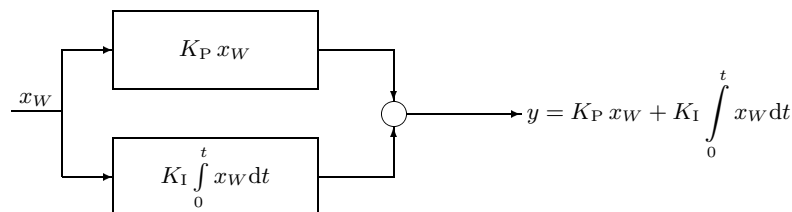
2 Reglertypen

◆ P-Regler:



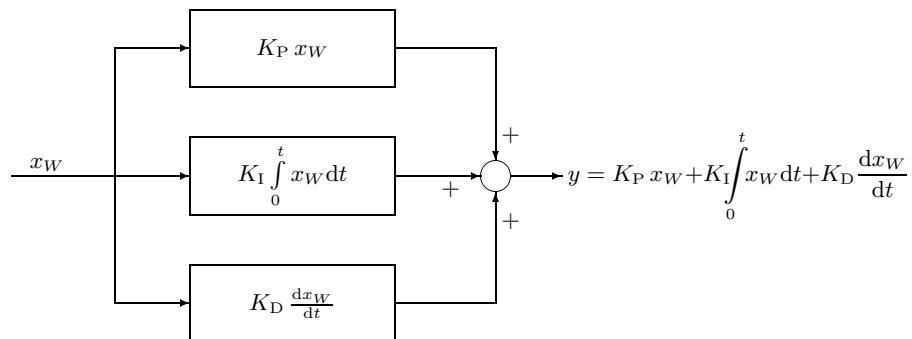
- einfachster Reglertyp
- enthält ein Proportionalglied mit dem Parameter K_P
- K_P bewirkt, dass der Regler sein Stellsignal proportional zur Regelabweichung x_W ändert.
- Die **Regelabweichung** x_W wird dadurch **verkleinert**, jedoch nur in speziellen Fällen Null.
- Je größer K_P , desto kleiner wird die Regelabweichung x_W .
- Bei zu **großem** K_P wird der Regelkreis **instabil** und gerät ins Schwingen

◆ PI-Regler



- Der Integralteil antwortet auf die Regelabweichung durch **Integration**, d.h. der Berechnung der Fläche unterhalb der Reglerkurve
- Die **Regelabweichung** wird dadurch zu **Null**.
- Die **Schwingungsneigung** des Reglers durch den I-Anteil **vermindert**.
- Reiner **I-Regler** ist aber zu **langsam**
- **P-Anteil** wird **parallel** geschaltet, dadurch wird die **Regelabweichung schneller verkleinert**.

◆ PID-Regler



- Durch das Differentialglied erreicht man **schnelles** Reagieren auf Änderungen
- Das D-Glied wird verwendet, wenn **schnelles Ausregeln** gefordert ist.
- Allerdings ergeben sich durch den D-Anteil im Regler zusätzliche **Stabilitätsprobleme**.

3 Reglerentwurf

- ◆ Beim **Reglerentwurf** (Bestimmung optimaler Werte für die Parameter K_P , K_I und K_D) sind folgende **Forderungen** zu erfüllen:
 - Der Regelkreis muss **stabil** sein (Mindestanforderung)
 - **Schnelles Ausregeln** von **Störungen** und **gutes Führungsverhalten**, d.h. die Ausgangsgröße soll möglichst gut dem Führungswert (Sollwert) folgen.
 - Möglichst hohe "**Regelgüte**" angestrebt
- ◆ **Regelungstechnik** stellt **Entwurfsverfahren** zur Verfügung, mit deren Hilfe man aufgrund des **Prozessmodells**, optimale Werte für die Reglerparameter bestimmen kann

◆ Forderungen an die Regelgüte

- Die **Regelfläche**, die Fläche zwischen Führungswert W und Istwert x ,

$$\int_0^{\infty} |x_W(t)| dt \rightarrow \min$$

soll **minimal** sein.

- Die **quadratische Regelfläche**

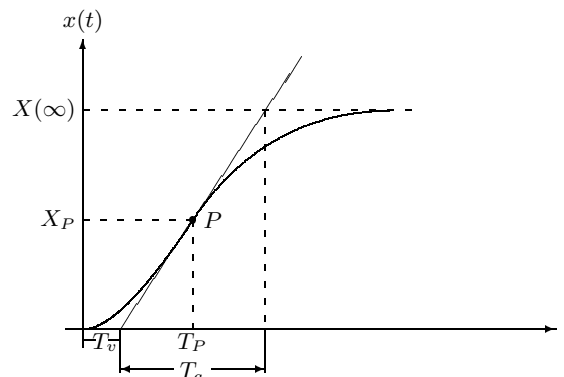
$$\int_0^{\infty} x_W^2(t) dt$$

soll **minimal** sein, diese Forderung verhindert zu großes **Überschwingen**.

- **dead beat response**, d.h. die Ausgangsgröße soll bei sprungförmigen Änderungen der Führungsgröße möglichst schnell ohne Überschwingen auf den neuen Wert gebracht werden.

◆ Entwurfsverfahren von Ziegler/Nichols I:

- Erzeugen der Übergangsfunktion (**Sprungantwort**) des zu regelnden Prozesses.
- Bestimmen der **Wendetangente**
- Bestimmen der **Kennwerte** T_v (Verzugszeit), T_a (Ausgleichzeit) und $K = x(\infty)/u_0$:



- Bestimmung der **Reglerparameter** mithilfe der **Kennwerte** und der Tabelle:

	K_P	K_I	K_D
P	$\frac{1}{K} \cdot \frac{T_a}{T_v}$	-	-
PI	$\frac{0.9}{K} \cdot \frac{T_a}{T_v}$	$\frac{K_P}{3.33 \cdot T_v}$	-
PID	$\frac{1.2}{K} \cdot \frac{T_a}{T_v}$	$\frac{K_P}{2T_v}$	$0.5 \cdot T_v \cdot K_P$

◆ **Entwurfsverfahren von Ziegler/Nichols II:**

- **Regelkreis** mit einem **P-Regler geschlossen**
- K solange erhöht, bis sich eine **Dauerschwingung** mit konstanter Amplitude einstellt.
- Aus der **Schwingungsdauer** T_{krit} und dem dazugehörigen Wert von K_{krit} werden die Reglerparameter aus Tabelle bestimmt:

	K_P	K_I	K_D
P	$0.5 \cdot K_{P_{\text{krit}}}$	-	-
PI	$0.4 \cdot K_{P_{\text{krit}}}$	$\frac{K_P}{0.85 \cdot T_{\text{krit}}}$	-
PID	$0.6 \cdot K_{P_{\text{krit}}}$	$\frac{K_P}{0.5 \cdot T_{\text{krit}}}$	$0.12 \cdot T_{\text{krit}} \cdot K_P$

- ◆ Mit beiden Verfahren **ausreichende Regelgüte**
- ◆ **Bessere Regelgüte** mit genaueren Verfahren möglich

4 Realisierung eines PID-Reglers auf dem Rechner

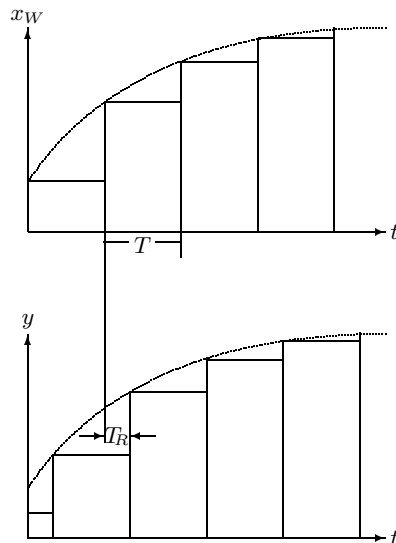
- ◆ Regelalgorithmus des **analogen** PID-Reglers

$$y(t) = K_P x_W(t) + K_I \int_0^t x_W(t) dt + K_D \frac{dx_W(t)}{dt}$$

- ◆ Regelalgorithmus des **digitalen** (auf dem Rechner realisierten) PID-Reglers

- Die Regelabweichung $x_W(t)$ wird in **festen Zeitabständen** T eingelesen und die neue Stellgröße $y(t)$ berechnet.
- $x_W(t)$ und $y(t)$ werden als **Treppenkurven** mit den Stützwerten $0, T, 2T, \dots$ approximiert

$$y(t) = K_P x_W(t) + K_I \sum_{i=0}^n x_W(t - iT) T + K_D \frac{x_W(t) - x_W(t - T)}{T}$$



Durchflussregelung: 1 sec

Druck und Behälterstand: 5 sec

Temperaturen: 10 bis 200sec

- Die Ausgabe von y erfolgt verschoben um die **Berechnungszeit** T_R .
- Die **Abtastperiode** T muss klein gehalten werden, um den analogen Regler genügend genau zu approximieren.

- Da immer in festen Zeitabständen berechnet wird, kann die Zeit auch durch einen **Index** angegeben werden:

$$y_n = K_P x_{W_n} + K_I T \sum_{i=1}^n x_{W_i} + K_D \frac{x_{W_n} - x_{W_{n-1}}}{T}$$

- Wird jeweils nur die Änderung $\Delta y = y_n - y_{n-1}$ des Wertes y berechnet, so erspart man sich die **aufwendige Summation**:

$$\begin{aligned} \Delta y = y_n - y_{n-1} &= K_P(x_{W_n} - x_{W_{n-1}}) \\ &+ K_I T \left(\sum_{i=1}^n x_{W_i} - \sum_{i=1}^{n-1} x_{W_i} \right) \\ &+ K_D \frac{1}{T}(x_{W_n} - x_{W_{n-1}} - x_{W_{n-1}} + x_{W_{n-2}}) \end{aligned}$$

$$\Delta y = K_P(x_{W_n} - x_{W_{n-1}}) + K_I T x_{W_n} + \frac{K_D}{T} (x_{W_n} - 2x_{W_{n-1}} + x_{W_{n-2}})$$

5 Abtastregelung

- ◆ Beim Abtastregler berücksichtigt man schon beim Entwurf des Reglers, dass die **Abtastung der Signale** und damit der Regelabweichung in **festen Zeitabständen** erfolgt.
- ◆ **Regelalgorithmus** für die Abtastregelung:

$$\begin{aligned} y(t) &= c_0 x_W(t) + c_1 x_W(t - T) + \dots + c_n x_W(t - nT) \\ &+ d_1 y(t - T) + \dots + d_n y(t - nT) \end{aligned}$$

- ◆ Der Wert der Stellgröße $y(t)$ zum Zeitpunkt t berechnet sich aus dem neuen Wert der Regelabweichung $x_W(t)$ und den Regelabweichungen $x_W(t-iT)$ sowie den Werten der Stellgröße $y(t-iT)$ zu den vorhergehenden Abtastzeitpunkten.

- ◆ Die **Parameter** c_i und d_j werden so gewählt werden, dass bestimmte **Forderungen** bzgl. des Regelverhaltens erfüllt werden:
 - Eine einfache und sinnvolle Forderung ist z.B., bei einer sprungförmigen Änderung des Sollwertes die Regelgröße möglichst schnell auf den neuen Wert zu bringen → **dead-beat-response**.
 - Aus der Theorie ergibt sich, dass bei einem System n-ter Ordnung (das dazugehörige mathematische Modell wird durch eine DGL n-ter Ordnung beschrieben), n+1-Abtastschritte erforderlich sind.
 - Eine weitere mögliche Forderung an die Regelung ist, dass die **quadratische Abweichung** zwischen der Regelgröße und der Führungsgröße **minimal** wird.
- ◆ Die **Theorie der Abtastregelung** stellt verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Reglerparameter zur Verfügung.

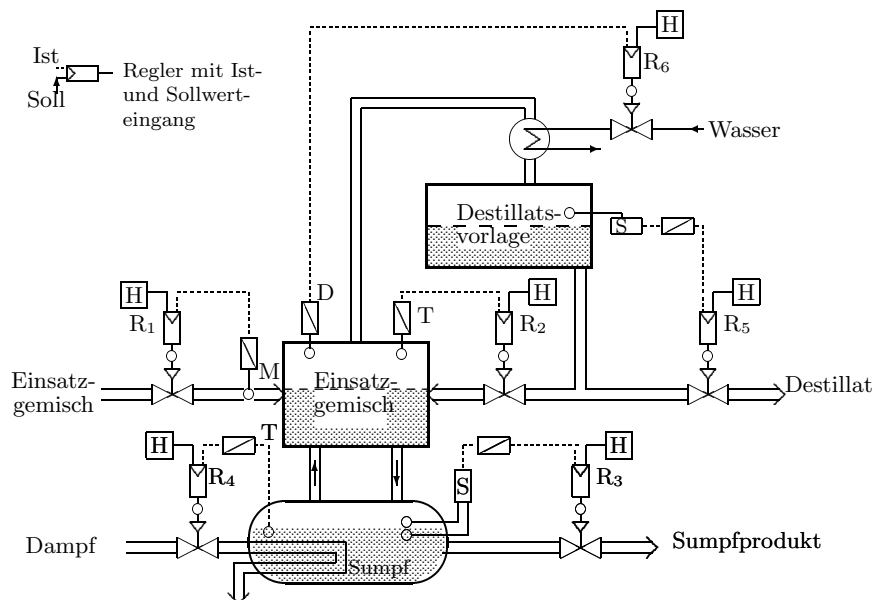
6 Adaptive Regelung

- ◆ Die **optimalen Reglerparameter** lassen sich aus den **Parametern** des zu regelnden **Prozesses** bestimmen.
- ◆ Oft **ändern** sich die **Prozessparameter** in nichtvorhersehbarer Weise.
- ◆ Bei der **adaptiven** Regelung werden die Reglerparameter bei sich **ändernden** Prozessparametern so verändert, dass das **gewünschte Prozessverhalten** wieder erreicht wird.
- ◆ Die Prozessparameter ändern sich durch **Abnutzung, Änderung des Gewichtes** (Treibstoffverbrauch) oder der **Geschwindigkeit**.

◆ **Beispiele:**

- **Aufzug:** Gewicht ändert sich
- **Flugregelung:** Geschwindigkeit und Höhe ändern sich
- **Triebwerksregelungen:** Luftdruck und Fluggeschwindigkeit ändern sich
- **Raketenflugbahn:** Treibstoffgewicht ändert sich

7 Regelung einer Destillationskolonne



8 Fuzzy Regelung

■ Fuzzy Logik:

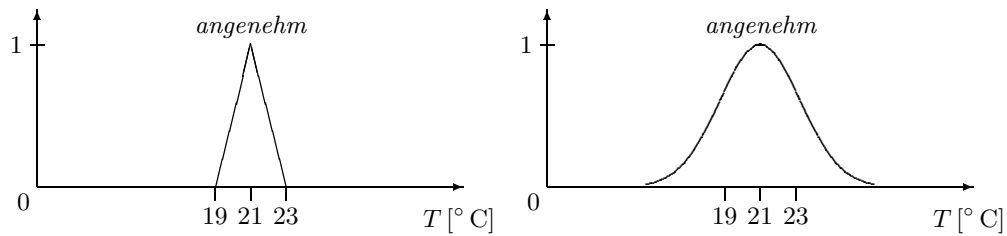
◆ Unschärfe (fuzziness, Vagheit)

- ▶ Beispiel: schnell, nahe, weit, alt, warm
 - werden von jedem Menschen anders verstanden
 - lassen sich nicht in der zweiwertigen Logik eindeutig beschreiben
- ▶ Typische Fragen:
 - Was ist ein schnelles Auto?
 - Wie alt ist eine junge Frau?

◆ Fuzzy Menge:

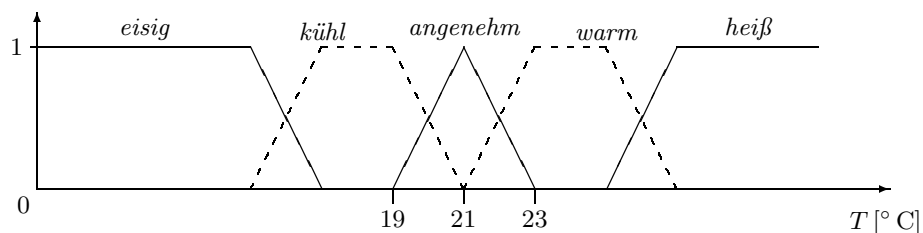
- ▶ Gewöhnliche, **zweiwertige** Menge:
 - zwei Möglichkeiten:
ein Element gehört entweder zur Menge
oder es gehört nicht zur Menge.
- ▶ **Fuzzy** Menge:
 - **Zugehörigkeitsgrad** eines Elements zu einer Menge wird
entweder explizit angegeben
 - oder durch eine **Zugehörigkeitsfunktion** (membership function)
beschrieben.
- ▶ Beispiel: Menge der ganzen Zahlen, die nahe bei 5 sind:
 - Gewöhnliche, zweiwertige Logik: $M_{\text{nahebei } 5} = \{3, 4, 5, 6, 7\}$
 - Fuzzy Logik: $M_{\text{nahebei } 5} = \{(3, 0.2), (4, 0.6), (5, 1), (6, 0.6), (7, 0.2)\}$

- Beispiel: Fuzzy Menge der angenehmen Raumtemperatur
 - wird beschrieben durch die **Zugehörigkeitsfunktion** für den Term angenehm:



- Temperatur (in Grad Celsius): **Basisvariable**
- Raumtemperatur: **Linguistische Variable**
 - besteht aus den Termen:
 - eisig, kühl, angenehm, warm, heiß

- Zugehörigkeitsfunktionen für die Terme:
 - eisig, kühl, angenehm, warm, heiß



- Als Zugehörigkeitsfunktionen werden häufig
 - **Dreiecke** oder
 - **Trapeze** verwendet

■ Fuzzy Regelung

- ◆ **Kein** exaktes mathematisches **Modell** des technischen Prozesses **notwendig**
- ◆ Häufig wird versucht, die Vorgehensweise eines **menschlichen** Bedieners nachzuahmen und in **Regeln** zu fassen.
- ◆ In eine solche Regel gehen meist die **Regelabweichung** x_W und die zeitliche **Änderung** der Regelabweichung ein.
 - Beispiel: Raumtemperatur RT

Wenn $RT = \text{kühl}$ UND $dRT/dt = \text{fallend}$ DANN Klimanlage = *heizen*

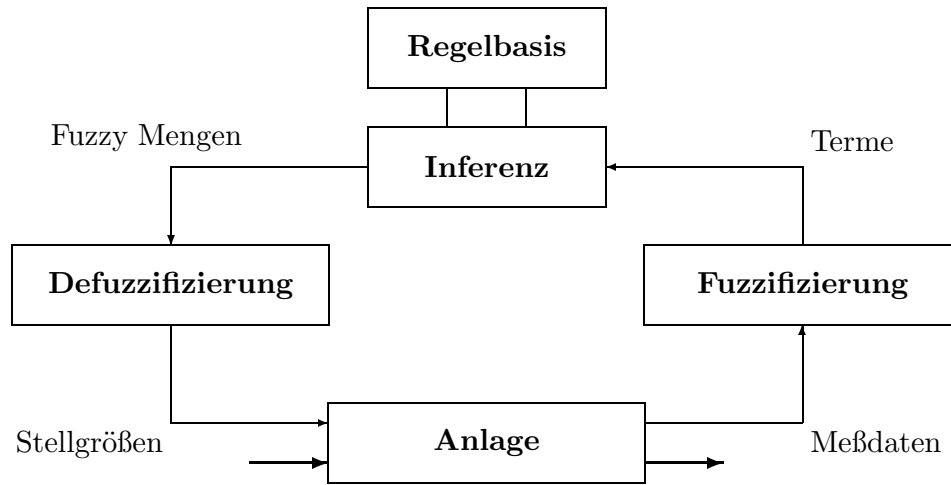
Wenn $RT = \text{eisig}$ UND $dRT/dt = \text{null}$ DANN Klimanlage = *heizen*

- ◆ **Regelbasis:** Zusammenfassung aller Regeln:

Raumtemperatur

dRT/dt	eisig	kühl	angenehm	warm	heiß
fallend	stark heizen	heizen	heizen	ok	kühlen
null	heizen	heizen	ok	kühlen	kühlen
steigend	heizen	ok	kühlen	kühlen	stark kühlen

◆ Einzelne Schritte der **Fuzzy Regelung**:



► **Fuzzifizierung:**

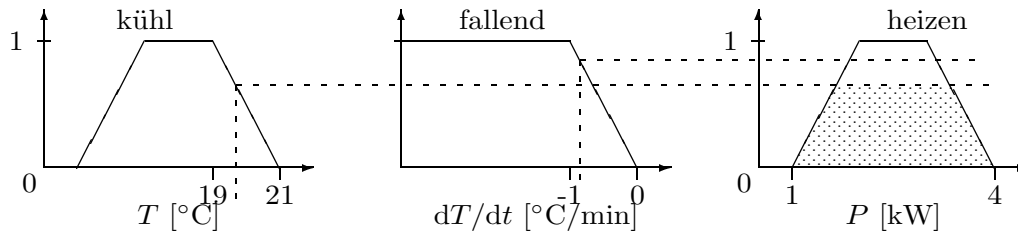
Aus den von der technischen Anlage gelieferten Meßdaten werden die **Zugehörigkeitsgrade** der einzelnen **Terme** bestimmt

► **Inferenzkomponente:**

Unscharfes Schließen aller Regeln:

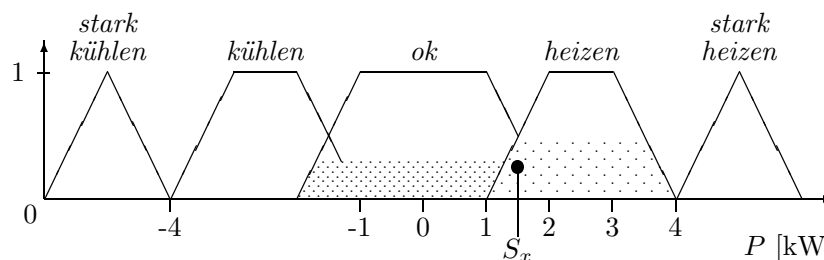
- das **Minimum** der Zugehörigkeitsgrade der **Eingangsvariablen** ergibt den **Zugehörigkeitsgrad** der **Ausgangsvariablen**.

- ◆ Beispiel für unscharfes Schließen (Inferenz):
 - gemessene Raumtemperatur $19.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (**kühl**, angenehm)
 - Raumtemperatur fällt mit $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (**fallend**)
 - Aus Regelbasis folgt: **heizen**
 - Inferenz, unscharfes Schließen (Minimum des Zugehörigkeitsgrades):



- Zugehörigkeitsgrad 0.55 für **heizen** (Minimum!)

- Auswertung (Inferenz) aller Regeln für die linguistische Variable Klimaanlage (siehe Regelbasis):



- ◆ **Defuzzifizierung:** Rückübersetzung der Linguistischen Variablen in eine technische Größe:
 - Häufig durch die x -Koordinate des Flächenschwerpunktes S_x .
 - Im Beispiel: $1.6\text{ kW} \rightarrow$ Heizleistung der Klimaanlage

■ Allgemeine Gesichtspunkte:

- ◆ Regelung in **kurzen** Abständen
 - Möglichst einfache Zugehörigkeitsfunktionen
 - Möglichst wenige Regeln
 - Ungenauigkeiten durch schnelles Nachregeln ausgeglichen

- ◆ **Problem** der Fuzzy Regelung:
 - Ermitteln der Zugehörigkeitsfunktionen
 - Aufstellen der Regelbasis
 - Anwendung von Neuronalen Netzen

◆ **Vorteile** der Fuzzy Regelung:

- Anwendbar auch wenn **math. Modell** des Prozesses **nicht bekannt**
- Anwendbar auch wenn **klassische Regler versagen**
- **Robustheit** und **Stabilität**
- **Expertenwissen** lässt sich in Form von "Daumenregeln" im Rechner **speichern**
- Aber: **Kein Ersatz** für klassische Regler