

B Einführung

B.1 Was ist Prozessautomatisierung?

1 Prozessautomatisierung ist ...

jenes Teilgebiet der Informatik, das sich mit dem Einsatz von Rechensystemen für das Messen, Überwachen, Steuern, Regeln und auch Optimieren technischer Prozesse befasst.

2 Einsatzbeispiele

■ Steuerung einzelner Geräte und Maschinen

◆ Geräte des täglichen Bedarfs

- Mikrowellenherd, CD-Spieler, Kamera, Video-Recorder, Anti-Blockier-System

2 Einsatzbeispiele (2)

◆ Fertigungsmaschinen

- Werkzeugmaschine, Roboter

◆ Verkehrsmittel

- Aufzug, Magnetbahn, Flugzeug

◆ naturwissenschaftlich-medizinische Geräte

- Massenspektrometer, Tomograph

◆ militärische Geräte

- Panzer, Radarsystem, Rakete

■ Führung komplexer technischer Vorgänge

- ◆ Steuerung von Fertigungsanlagen, Walzwerken, etc.
- ◆ Kontrolle und Überwachung von Kraftwerksanlagen
- ◆ Umweltschutz-Warnanlagen
- ◆ Verkehrslenkung

3 Zielsetzungen des Einsatzes von Prozessrechensystemen

- Bewältigung notwendiger Verarbeitungs-, Steuerungs- und Überwachungsvorgänge, die
 - ◆ durch die Komplexität
 - ◆ durch die Schnelligkeitsanforderungen
 - ◆ durch die Genauigkeitsanforderungen technischer Prozesse
 von Menschen nicht leistbar sind
- Entlastung des Menschen von körperlich schwerer, gesundheitsschädigender sowie repetitiver Arbeit
- Wirtschaftlichkeitssteigerung durch Automation

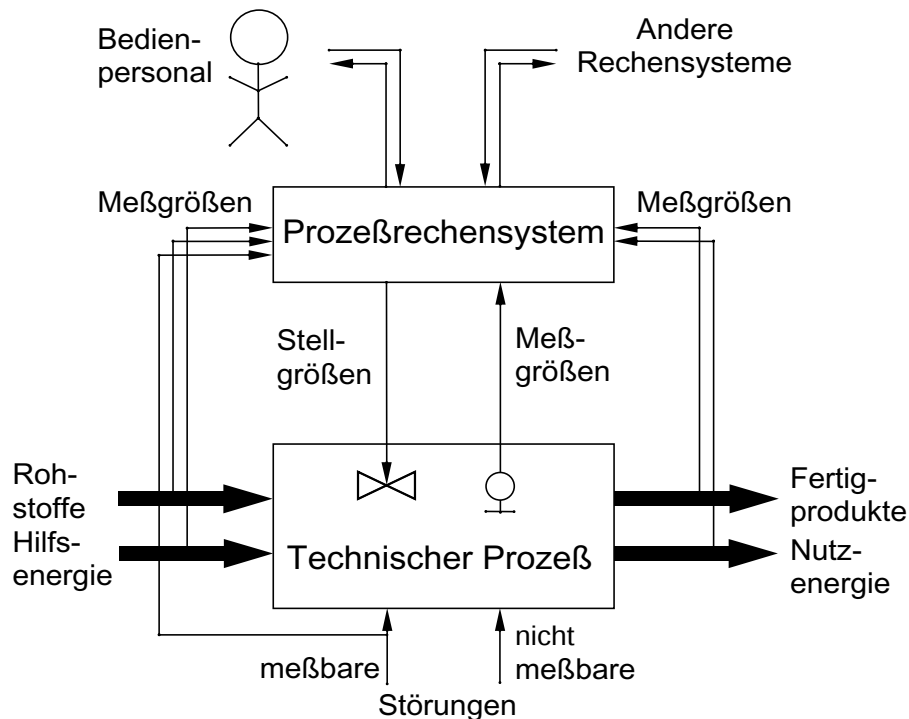
4 Gefahren des Einsatzes von Prozessrechensystemen

- Fehler im Prozessrechensystem können unmittelbar zu Schäden im oder durch den technischen Prozess führen
- Abhängigkeit vom Prozessrechensystem
 - ◆ "blindes Vertrauen"
 - ◆ mangelnde Überprüfbarkeit
 - ◆ Verwundbarkeit
- automationsbedingte Entlassungen

5 Begriffsbildung (DIN 66201)

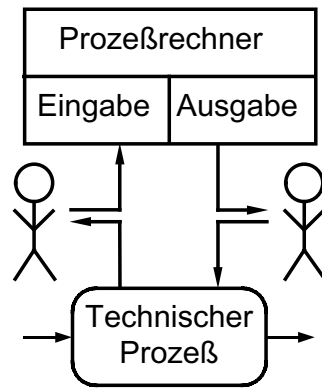
- **Prozess:**
Umformung, Speicherung oder auch Transport von Materie, Energie oder auch Information
- **Technischer Prozess:**
Prozeß, dessen Zustandsgrößen mit technischen Mitteln gemessen, gesteuert oder auch geregelt werden können
- **Prozessrechner, Prozessrechensystem, Embedded System:**
Datenverarbeitungsanlage, die direkt mit einem technischen Prozeß gekoppelt ist

5 Begriffsbildung (2)



6 Kopplungsarten

■ indirekte Prozeßkopplung (off line):

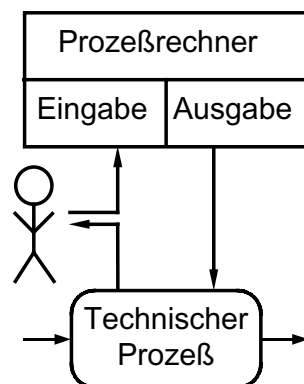


6 Kopplungsarten (2)

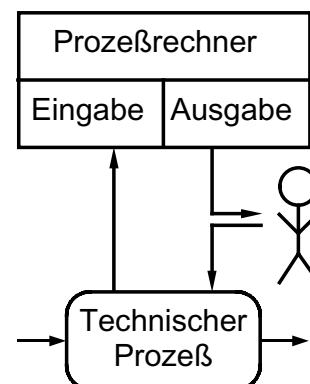
■ direkte Prozeßkopplung (on line)

◆ offene Prozeßkopplung (open loop)

am Rechnereingang

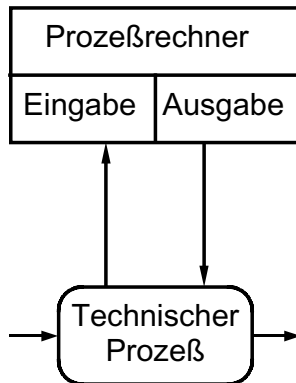


am Rechnerausgang



6 Kopplungsarten (3)

- ◆ geschlossene Prozeßkopplung (closed loop):



7 Charakteristika der Kopplung zwischen Prozessrechensystem und technischem Prozess

- **Echtzeitabhängigkeit:**
Rechensystem muß sich den Zeitbedingungen des technischen Prozesses unterwerfen
- **Prozessperipherie:**
Anschluß von prozeßseitigen Meß- und Stellgliedern erfordert spezielle gerätetechnische Einrichtungen

B.2 Technische Prozesse

1 Nutzen einer Klassifikation

- Artverwandte Prozesse lassen sich durch analoge Verfahren beschreiben.
- Oft führen Analogiebetrachtungen zu Modellen, die sich in Gleichungen und Algorithmen gleichen Aufbaus ausdrücken lassen.
- Artverwandte Prozesse lassen sich auf gleiche Weise automatisieren.

2 Mögliche Klassifikationskriterien

- konkret:
 - ◆ nach behandeltem **Medium**
 - Materie, Energie, Information
 - ◆ nach eingesetztem **Verfahren**
 - Umformung, Transport
- abstrakt:
 - ◆ nach **räumlicher** Verteilung des Mediums
 - homogen, diskret
 - ◆ nach **zeitlichem** Ablauf des Verfahrens
 - kontinuierlich, diskontinuierlich

3 Klassifikation nach behandeltem Medium:

■ Materialprozesse:

◆ Fertigungsprozesse:

Herstellung von Teilen exakt definierter geometrischer Form, Festigkeit und Oberfläche

- Maschinenbau, Feinmechanik, Optik

◆ Verarbeitungsprozesse:

Verarbeitung vorwiegend nichtmetallischer Werkstoffe

- Papierindustrie und Druckgewerbe, Textilindustrie, Holzindustrie

◆ Verfahrensprozesse:

Stoffänderungen und Stoffumwandlungen, wobei die geometrische Form keine Bedeutung hat

- chemische Industrie, Metallurgie

3 Klassifikation nach behandeltem Medium (2)

■ Energieprozesse:

Umwandlung und Weiterleitung aller Energieformen

- ◆ Wärmeerzeugung
- ◆ Übertragung elektrischer Energie
- ◆ Kraftwerke

■ Informationsprozesse:

Sammeln, Ordnen, Verdichten, Transport, Umformung und Verteilen von Informationen

- ◆ Meß- und Prüftechnik
- ◆ Nachrichtenwesen
- ◆ Funk und Fernsehen
- ◆ Rechensysteme

4 Klassifikation nach eingesetztem Verfahren:

■ Umformungsprozesse:

Zustandsänderungen physikalischer Größen wie Geometrie und Stoffzusammensetzung

- ◆ Gießen
- ◆ Drehen, Fräsen
- ◆ Destillieren
- ◆ Polymerisieren, Vulkanisieren

■ Transportprozesse:

räumliche und zeitliche Verteilung von Material, Energie und Information

- ◆ Werkstücktransport
- ◆ Pipeline-Beschickung
- ◆ Telefonvermittlung
- ◆ Lenkung von Hochregallagern
- ◆ Fahrplansteuerung von Verkehrsmitteln

5 Klassifikation nach räumlicher Verteilung des Mediums:

■ Mengenprozesse, Fließgutprozesse:

homogene Medien

Zuführung, Dosierung oder Bemessung eines stetigen Material- bzw. Stoffstroms von Feststoffen, Flüssigkeiten oder Gasen

- ◆ Drahtziehen, Bandwalzwerk
- ◆ Schüttgut-Transport per Förderband
- ◆ Bearbeiten von Textil-, Kunststoff- oder Papierbahnen

■ Stückgutprozesse:

diskrete Medien

Umformung oder Transport identifizierbarer Einzelstücke

- ◆ Brammenwalzwerk
- ◆ Montage, Verpackung
- ◆ Teilelagerung
- ◆ Luftverkehrslenkung

6 Klassifikation nach zeitlichem Ablauf

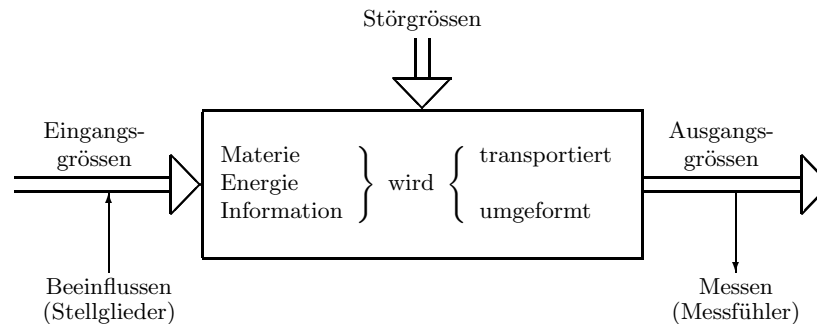
- **Kontinuierliche Prozesse, Fließprozesse:**
ständiger Zu- und Abfluß von Material, Energie oder Information
 - ◆ Kraftwerke
 - ◆ Verfahrenstechnik

- **Diskontinuierliche Prozesse:**
 - ◆ **Chargenprozesse:**
Einsatz von Material- oder Stoffmengen erfolgt zu unterschiedlichen, diskreten Zeitpunkten
Verarbeitung erfolgt kontinuierlich
(Anfahren, Betrieb, Abfahren)
 - Hochofen
 - Arzneimittelherstellung
 - Brauereiwesen

6 Klassifikation nach zeitlichem Ablauf (2)

- **Diskontinuierliche Prozesse ...**
 - ◆ **Folgeprozesse:**
Umformung oder Transport von Folgen identifizierbarer Einzelmengen zu unterschiedlichen, diskreten Zeitpunkten (Folge von Einzelereignissen)
 - Rangieren von Güterwagen
 - Ein- und Auslagern im Hochregallager
 - Aufzugsteuerung
 - Waschmaschine
 - An- und Abfahren von Pumpen und Turbinen

B.3 Beschreibung von technischen Prozessen



- Techn. Prozess wird durch seine **Zustandsgrößen** (Prozeßgrößen) charakterisiert, die **analog** oder **binär** sein können.
 - **Analoge** Zustandsgrößen: Temperatur, Druck, Drehzahl, Mischungsverhältnis, Wasserstand, Durchfluss, Geschwindigkeit, Leistung, ...
 - **Binäre** Zustandsgrößen: Ventil/Klappenstellung (auf/zu), Schalterstellung (ein/aus), Weichenstellung (links/rechts), ...

B.3 Beschreibung von technischen Prozessen

- Zur Automatisierung müssen die **Eingangsgrößen beeinflusst** (durch Stellglieder, Aktoren) und die **Ausgangsgrößen gemessen** (durch Messfühler, Sensoren) werden können.
- Gebräuchlichste **Einteilung** technischer Prozesse:
 - nach zeitlichem Ablauf (kontinuierlich, diskontinuierlich) und
 - nach räumlicher Verteilung des Mediums
- **Art der Automatisierung** orientiert sich an dieser Einteilung
- Um techn. Prozess möglichst gut **automatisieren** zu können muss man ihn möglichst gut kennen (**beschreiben** können)
 - d.h. der **Zusammenhang** zwischen **Eingangsgrößen** und **Ausgangsgrößen** muß möglichst gut beschrieben werden können
 - beste Art der **Beschreibung** ist das **mathematische Modell** des techn. Prozesses (math. Zusammenhang zwischen Eingangsgröße und Ausgangsgröße)

1 Beschreibungsmöglichkeiten für Techn. Prozesse:

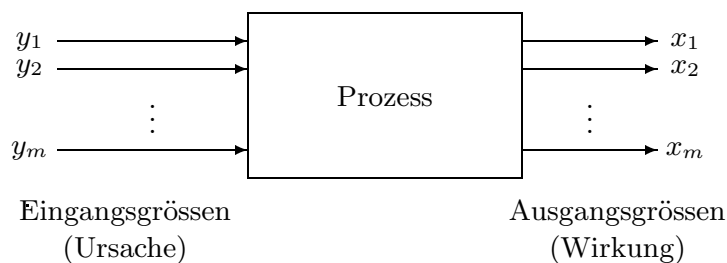
■ Kontinuierliche Prozesse (Fließprozesse):

- Differentialgleichungen
- Kontinuierliche Simulation
- Verbale Beschreibung

■ Diskontinuierliche oder diskrete Prozesse (Folgeprozesse):

- Bool'sche Gleichungen
- Ablaufpläne
- Diskrete Simulation
- Verbale Beschreibung

2 Beschreibung kontinuierlicher Prozesse durch Differentialgleichungen



◆ Mathematisches Modell (Verknüpfung der Eingangsgrößen mit den Ausgangsgrößen):

$$\underline{x}(t) = \underline{T}[\underline{y}(t)], \quad \underline{T} \text{ ist allgemeiner Operator}$$

◆ Statischer (zeitunabhängiger) Fall → Übergangsvorgänge sind abgeklungen:

$$\underline{x} = \underline{T}_1(\underline{y})$$

◆ **Linearer Zusammenhang:**

$$\underline{x} = \underline{T}_2 \cdot \underline{y}, \quad \underline{T}_2 \text{ Matrix}$$

- Der Vektor der Ausgangsgrößen $\underline{x}$ ergibt sich aus dem Vektor der Eingangsgrößen $\underline{y}$ durch **Multiplikation** mit der Matrix $\underline{T}_2$.
- Der **lineare** techn. Prozess ist durch die Matrix $\underline{T}_2$ (d.h. durch die **Matrizelemente** von $\underline{T}_2$) vollständig **beschrieben**.
- **Prozessidentifikation** (Prozessanalyse, Prozesserkennung):
Bestimmung der **Matrizelemente** von $\underline{T}_2$.

B.3 Beschreibung von technischen Prozessen

◆ **Beispiel: Techn. Prozess mit einem Eingang und einem Ausgang:**



- Linear, statisch:

$$x = c_0 + c_1 y$$

- Nichtlinear, statisch:

$$x = c_0 + c_1 y + c_2 y^2 + c_3 y^3$$

- Linear, dynamisch:

$$\begin{aligned} a_0 x(t) + a_1 \dot{x}(t) + a_2 \ddot{x}(t) + \dots + a_n x^{(n)}(t) \\ = b_0 y(t) + b_1 \dot{y}(t) + b_2 \ddot{y}(t) + \dots + b_m y^{(m)}(t) \end{aligned}$$

◆ Allgemein gilt:

- Das **dynamische** Verhalten eines techn. Prozesses lässt sich durch eine **Differentialgleichung** bzw. ein **System** von **Differentialgleichungen** beschreiben (→ math. Modell):

$$\sum_{i=0}^N a_{i_{kl}} x_k^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^M b_{j_{kl}} y_l^{(j)}(t) \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} k = 1, 2, \dots, n \\ l = 1, 2, \dots, m \\ M \leq N \end{array}$$

- Damit kann man bei einem gegebenem **Verlauf der Eingangsgröße** $y(t)$ den **Verlauf der Ausgangsgröße** $x(t)$ berechnen
- Ändern sich die Zustandsgrößen auch in Abhängigkeit vom **Ort** dann erhält man **partielle Differentialgleichungen**

3 Beschreibung kontinuierlicher Prozesse durch Übertragungsfunktionen

- ◆ Die Übertragungsfunktion eines techn. Prozesses erhält man, indem man auf die Differentialgleichung dieses Prozesses die **Laplacetransformation** anwendet
- ◆ Durch die Laplacetransformation:

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt$$

wird die *zeitabhängige* Funktion $f(t)$ aus ihrem *Originalbereich* (Zeitbereich) in die Funktion $F(s)$, die von der komplexen Frequenz $s = \alpha + j\omega$ abhängt, in den *Bildbereich* transformiert. Jeder Funktion $f(t)$ entspricht eine Funktion $F(s)$ und umgekehrt.

◆ Beispiele für Laplacetransformationen:

$f(t)$	$F(s)$
1	$1/s$
t	$1/s^2$
$e^{\alpha t}$	$1/(s - \alpha)$
$\sin \omega t$	$\omega/(s^2 + \omega^2)$

- ◆ Es gibt Tabellen bzw. Programme mit denen man für jede beliebige Funktion $f(t)$ die zugehörige Laplacetransformierte $F(s)$ ermitteln kann (und umgekehrt).

- ◆ Operationen auf die Originalfunktion $f(t)$ entsprechen Operationen auf die Bildfunktion $F(s)$, die in der Regel einfacher sind (z.B. geht eine Differentiation über in eine Multiplikation mit s).

Linearitätsregel	$\begin{cases} c f(t) \longleftrightarrow c F(s) \\ f_1(t) \pm f_2(t) \longleftrightarrow F_1(s) \pm F_2(s) \end{cases}$
Verschiebungsregel	$f(t - \tau) \longleftrightarrow e^{-\tau s} F(s)$
Differentiationsregel	$\dot{f}(t) \longleftrightarrow s F(s) - f(+0)$
Integrationsregel	$\int_0^t f(\tau) d\tau \longleftrightarrow \frac{1}{s} F(s)$
Faltungsregel	$\int_0^t f_1(t - \tau) f_2(\tau) d\tau = f_1(t) * f_2(t) \longleftrightarrow F_1(s) F_2(s)$

- ◆ Wendet man die Laplacetransformation auf die folgende DGL an:

$$\begin{aligned} a_0 x(t) + a_1 \dot{x}(t) + a_2 \ddot{x}(t) + \dots + a_n x^{(n)}(t) \\ = b_0 y(t) + b_1 \dot{y}(t) + b_2 \ddot{y}(t) + \dots + b_m y^{(m)}(t) \end{aligned}$$

so erhält man:

$$\begin{aligned} a_0 X(s) + a_1 s X(s) + a_2 s^2 X(s) + \dots + a_n s^n X(s) \\ = b_0 Y(s) + b_1 s Y(s) + \dots + b_m s^m Y(s) \end{aligned}$$

mit $X^{(i)}(+0) = Y^{(i)}(+0) = 0$ für alle i ,
wobei $X(s)$ *Laplacetransformierte* von $x(t)$ ist.

- ◆ Die Differentialgleichung geht über in ein Polynom, aus dem man unmittelbar die **Übertragungsfunktion** $G(s)$ erhält:

$$G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{b_0 + b_1 s + \dots + b_m s^m}{a_0 + a_1 s + \dots + a_n s^n}$$

mit $X(s) = G(s) Y(s)$

- ◆ Die Übertragungsfunktion ist das mathematische Modell des techn. Prozesses
- ◆ Der wesentliche Vorteil der Laplacetransformation und der Übertragungsfunktion liegt in diesem Zusammenhang darin, daß man im Bildbereich aus der Eingangsgröße $Y(s)$ durch einfache **Multiplikation** mit der Übertragungsfunktion $G(s)$ die Ausgangsgröße $X(s)$ erhält. Dadurch lässt sich **viel einfacher** aus dem gegebenen Verlauf der Eingangsgröße $y(t)$ der Verlauf der tatsächlichen Ausgangsgröße $x(t)$ berechnen als mit DGLn.

- ◆ **Beispiel:** Das Verhalten vieler techn. Prozesse (Motor, Pumpe, Anfahren eines Fahrzeugs, Heizung, ...) lässt sich näherungsweise durch folgende DGL beschreiben:

$$T \dot{x} + x = K y$$

mit K: **Verstärkungsfaktor:** Faktor mit der Eingangssignal verstärkt wird
T: **Zeitkonstante:** Gibt an wie schnell der Prozess auf eine Änderung des Eingangssignals reagiert

- ◆ Daraus ergibt sich die **Übertragungsfunktion** durch Laplacetransformation:

$$T s X(s) + X(s) = K \cdot Y(s)$$

$$G(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{K}{1+Ts}$$

- ◆ Berechnung der **Sprungantwort**, d.h. das Ausgangssignal für ein sprungförmiges Eingangssignal (Sprungsignal):

- Allgemein gilt:

$$X(s) = G(s) Y(s)$$

- Für die Laplacetransformierte des Eingangssignals (Sprung: $y(t) = 1; t \geq 0$) gilt (siehe Tabelle):

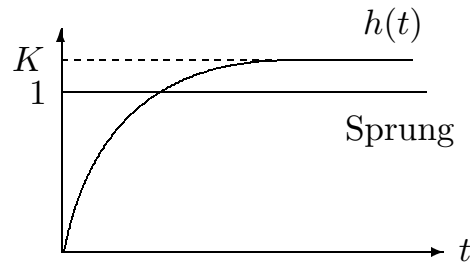
$$Y(s) = 1/s$$

- Laplacetransformierte des Ausgangssignals (Sprungantwort):

$$X(s) = G(s) \frac{1}{s} = \frac{K}{1+Ts} \frac{1}{s}$$

- Durch "Rücktransformation" mithilfe einer Tabelle erhält man daraus die Sprungantwort $h(t) = x(t)$:

$$h(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t < 0 \\ K(1 - e^{-t/T}) & \text{für } t \geq 0 \end{cases}$$



- ◆ Im allgemeinen Fall mit mehreren Ein- und Ausgängen erhält man eine Übertragungsmatrix $\underline{G}(s)$, deren Elemente einfache Übertragungsfunktionen sind, mit

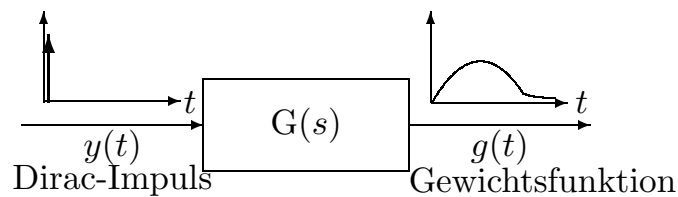
$$\underline{X}(s) = \underline{G}(s) \underline{Y}(s)$$

wobei $\underline{Y}(s)$ und $\underline{X}(s)$ hier die Vektoren der Laplacetransformierten der Eingangs- und Ausgangsgrößen sind.

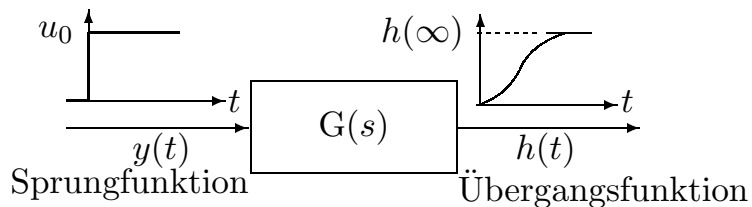
4 Beschreibung kontinuierlicher Prozesse durch Testsignale

- Das dynamische Verhalten eines Prozesses lässt sich auch mit seiner Antwort auf sogenannte **Testsignale** beschreiben. Die wichtigsten Testsignale sind dabei der **Dirac-Impuls** und die **Sprungfunktion**

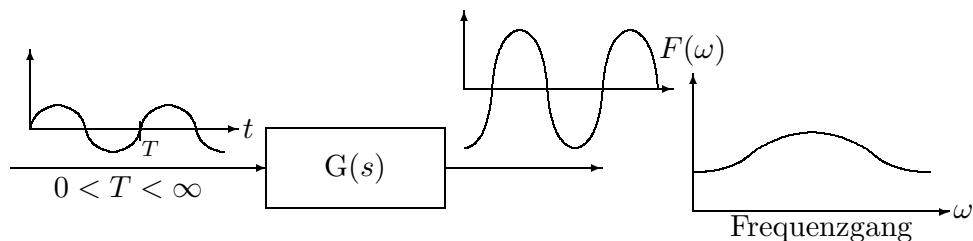
- **Dirac-Impuls:**



- **Sprungfunktion:**



- **Sinusschwingung** mit veränderlicher Frequenz:



B.4 Prozessidentifikation (Prozessanalyse)

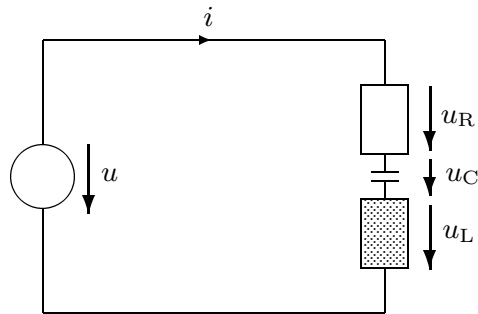
- Verfahren zur Bestimmung des **Mathematischen Modells** eines technischen Prozesses
- Man unterscheidet zwei Vorgehensweisen:
 - **theoretische Analyse**, bei der aufgrund der physikalischen oder auch chemischen Gegebenheiten des Prozesses das Modell ermittelt wird
 - **experimentelle Analyse**, bei der das Modell aufgrund von Messungen der Eingangs- und Ausgangsgrößen ermittelt wird.

B.4 Prozessidentifikation (Prozessanalyse)

- In der Realität verwendet man meist eine **Kombination** aus beiden Verfahren. D.h., daß man zunächst durch die **theoretische Analyse** die **Struktur** des Prozesses (Ordnung der Differentialgleichungen) und anschließend, mittels der **experimentellen Analyse**, die **Parameter** für den Prozess bestimmt.
- Die **theoretische Analyse** kann bereits während der **Planungsphase** durchgeführt werden, die **experimentelle Analyse** jedoch erst bei der **Inbetriebnahme** oder während des **laufenden Betriebes**, falls bekannt ist, dass der Prozess seine Parameter im Betrieb ändert.

1 Theoretische Analyse

■ Elektrischer Schwingkreis:



► Maschenregel:

$$u = u_R + u_C + u_L$$

B.4 Prozessidentifikation (Prozessanalyse)

► Ohm'sches Gesetz, Induktionsgesetz, Gesetz von Spannung am Kondensator:

$$u_R = R i(t), u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau, u_L = L \dot{i}(t) \text{ folgt:}$$

► DGL für elektrischen Schwingkreis:

$$u(t) = R i(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i(\tau) d\tau + L \dot{i}(t)$$

► Differentiation:

$$L C \ddot{i}(t) + R C \dot{i}(t) + i(t) = C \dot{u}(t)$$

- Laplacetransformation:

$$L C s^2 I(s) + R C s I(s) + I(s) = C s U(s)$$

$$I(s)(L C s^2 + R C s + 1) = C s U(s)$$

- Übertragungsfunktion:

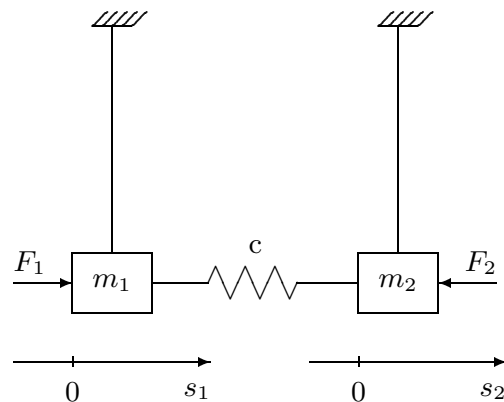
$$G(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{C s}{L C s^2 + R C s + 1}$$

- Berechnung des Stromverlaufs $i(t)$ aus dem Spannungsverlauf $u(t)$:

$$I(s) = G(s) \cdot U(s)$$

$I(s) \rightarrow i(t)$ aus Tabelle

- Gekoppelter Schwinger:

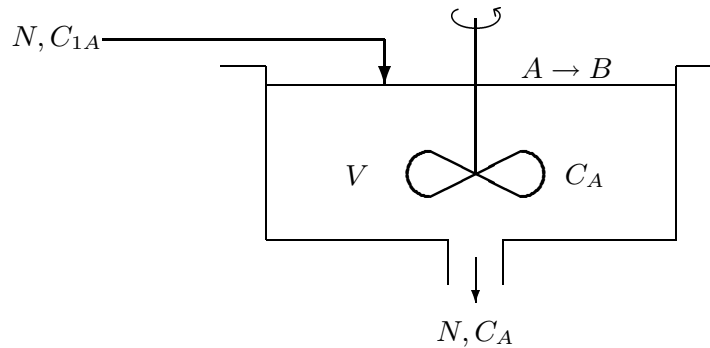


- Der Satz von d'Alembert besagt: Die Summe aller Kräfte, die an einem Körper angreifen, ist Null:

$$m_1 \ddot{s}_1 = -c(s_1 - s_2) - \varrho_1 \dot{s}_1 + F_1$$

$$m_2 \ddot{s}_2 = -c(s_2 - s_1) - \varrho_2 \dot{s}_2 + F_2$$

Durchflussrührkessel:



mit

V = Reaktionsvolumen, N = Volumenstrom (Volumen pro Zeiteinheit),

C_{1A} = Zuflusskonzentration,

C_A = Konzentration und

$R(C_A)$ = Reaktionsgeschwindigkeit des Stoffes A bezogen auf die Einheit des Reaktionsvolumens

B.4 Prozessidentifikation (Prozessanalyse)

- Betrachtet man die einfache Reaktion, dass Stoff A in Stoff B umgewandelt wird, $A \rightarrow B$ so gilt für den Stoff A im Rührkessel folgende Materialbilanz:

$$V \frac{dC_A(t)}{dt} = N C_{1A}(t) - N C_A(t) - V R(C_A(t))$$

$$V \frac{dC_A(t)}{dt} = \text{zeitliche Zunahme des Stoffes A}$$

$$N(t) C_{1A}(t) = \text{Zufluss des Stoffes A}$$

$$N(t) C_A(t) = \text{Abfluss des Stoffes A}$$

$$V R(C_A(t)) = \text{chemischer Verbrauch des Stoffes}$$

- Diese Gleichung erlaubt es C_A aus $N(t)$ oder C_{1A} , durch Lösen obiger Differentialgleichung, zu berechnen.

2 Experimentelle Analyse

- Es werden Eingangs- und Ausgangssignale des Prozesses gemessen und mittels eines Identifikationsverfahrens so ausgewertet, dass der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangssignal in einem mathematischen Modell ausgedrückt werden kann.
- **Einfache Verfahren:** Prozesse werden mit geeigneten **Testsignalen** angeregt, so dass sich ihre **mathematischen** Modelle aus den **Antwortfunktionen** auf diese Signale ergeben. Dabei wird meist von einer **bekannten Struktur** (d.h. die Art der Differentialgleichung bzw. der Übertragungsfunktion) ausgegangen, und es müssen nur noch die dazugehörigen Parameter über die experimentelle Analyse bestimmt werden.
Wie diese Verfahren prinzipiell arbeiten, wird an einigen typischen Beispielen gezeigt.

B.4 Prozessidentifikation (Prozessanalyse)

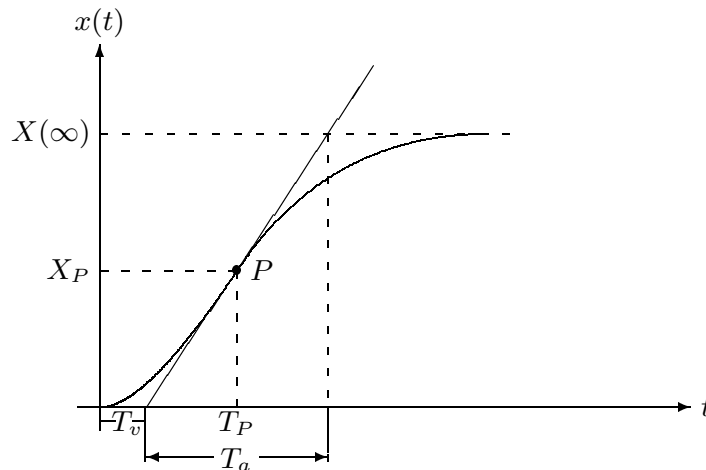
■ Wendetangentenverfahren:

- Viele technische Prozesse können durch ein einfaches **Verzögerungsglied 1.Ordnung** mit **Totzeit** mit der Übertragungsfunktion:

$$G(s) = \frac{K}{1 + T s} e^{-T_t s}$$

(T_t = **Totzeit** (Verschiebung um T_t), T = **Zeitkonstante**, K = **Verstärkungsfaktor**) exakt oder approximativ beschrieben werden. Zur Identifikation genügt es dann, die Parameter K , T_t und T zu bestimmen.

- Man bestimmt die gesuchten Parameter aus der **Übergangsfunktion** (Sprungantwort), die man durch Anregung des Prozesses mit einem sprungförmigen Testsignal erhält. In den **Wendepunkt** P der Übergangsfunktion legt man die **Wendetangente** und erhält aus dem Kurvenverlauf die eingezeichneten Kennwerte T_v = **Verzugszeit** und T_d = **Ausgleichszeit** sowie T_p , X_p und $X(\infty)$. Aus diesen lassen sich die Parameter obiger Übertragungsfunktion berechnen bzw. bestimmen.



- Für den hier angegebenen Fall gilt:

$T_t = T_v$, $T = T_a$ und $K = X(\infty) / u_0$ mit u_0 als Höhe der Sprungfunktion.

■ Momentenmethode:

- Exponentielle Momente der Gewichtsfunktion (Antwort auf den Dirac-Impuls) $g(t)$ bzw. die Übergangsfunktion $h(t)$ (Sprungantwort):

$$M_\nu = \int_0^\infty e^{-\frac{t}{\tau_\nu}} g(t) dt$$

- Unterschiedliche Momente erhält man durch unterschiedliche Messkonstanten τ_ν
- Aus den unterschiedlichen Momenten M_ν lassen sich die Parameter der Übertragungsfunktion:

$$G(s) = \frac{b_0 + b_1 s + \dots + b_m s^m}{a_0 + a_1 s + \dots + a_n s^n}$$

ermitteln.

- Bestimmungsgleichung für die Systemparameter:

$$\underline{A} \underline{x} = \underline{c}$$

- Parametervektor:

$$\underline{x}^T = (a_0, a_1, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_m),$$

- Konstantenvektor:

$$\underline{c}^T = (1, 1, \dots, 1)$$

- Momentenmatrix:

$$\underline{A} = \begin{pmatrix} \tau_0^{-1} & \dots & \tau_0^{-n} & -\frac{1}{M_0} & -\frac{\tau_0^{-1}}{M_0} & \dots & -\frac{\tau_0^{-m}}{M_0} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & & \vdots \\ \tau_{n+m}^{-1} & \dots & \tau_{n+m}^{-n} & -\frac{1}{M_{n+m}} & \dots & \dots & \frac{\tau_{n+m}^{-m}}{M_{n+m}} \end{pmatrix}$$

■ Weitere Verfahren:

- ◆ Direkte Laplacetransformation
- ◆ Entfaltung
- ◆ Regressionsanalyse (minimiert den Einfluss von Messfehlern, Störungen)
- ◆ Korrelationsanalyse (unterdrückt den Einfluss von "unkorrelierten" Störungen)

B.5 Aufgaben der Prozessautomatisierung

1 Hauptaufgabe:

Aus Kenntnis der Istwerte von Meßgrößen und vorgegebener Sollwerte soll auf Stellgeräte so eingewirkt werden und etwaiges Bedienpersonal so über Betriebszustände informiert werden, daß der technische Prozeß auf eine gewünschte Weise abläuft.

2 Teilaufgaben:

- Bestimmen der Meß-, Steuerungs- oder auch Regelungsaufgabe
- Auslegung des Prozeßrechensystems
- Anbinden der Prozeßperipherie
 - ◆ Bausteine und Schnittstellen
 - ◆ Signalübertragung
- Abbilden der Struktur des technischen Prozesses auf Programmstruktur
 - ◆ Modularisierung
 - ◆ nebenläufige und verteilte Algorithmen
 - ◆ Synchronisation und Kommunikation
- Garantieren des Einhaltens von Zeitbedingungen
- Garantieren eines fehlertoleranten Betriebs

3 Übergeordnete Aufgaben:

- Kosten/Nutzen-Analyse
- Folgenabschätzung

4 Einwirkungsmöglichkeiten auf den technischen Prozess

- **Steuern:** eine Stellgröße wird verändert
 - ◆ Auswirkung auf den technischen Prozeß wird nicht kontrolliert (offener Wirkungskreis)
 - ◆ Beispiele:
 - Ablaufsteuerung eines Prüfautomaten
 - Steuerung einer Jalousien-Anlage bei Lichteinfall
- **Regeln:** Abweichung von zuvor eingestelltem Sollwert wird kontrolliert
 - ◆ Eine Abweichung führt zur Beeinflussung des technischen Prozesses (geschlossener Wirkungsweg, Regelkreis).
 - ◆ Beispiele:
 - Regelung der Raumheizung anhand eines Innenraumthermostats
 - Regelung der Backofentemperatur
- Viele Aufgaben sind alternativ durch Steuerung oder Regelung lösbar

B.6 Beispiele

1 Pumpensteuerung

■ Aufgabe:

- ◆ Pumpenantrieb soll entlastet anfahren.
- ◆ Fehlersituationen sollen erkannt werden.

■ Vorgehen im Überblick:

- ◆ Ventil in der Druckleitung schließen, bevor der Pumpenmotor angeschaltet wird.
- ◆ Wenn sich nach dem Einschalten vor der Pumpe nicht ein bestimmter Druck aufbaut, liegt ein Fehler vor.
- ◆ Fehlergründe:
 - Pumpe nicht angelaufen(feststellbar durch Drehzahlwächter).
 - Ansaugleitung ohne Fördermedium.

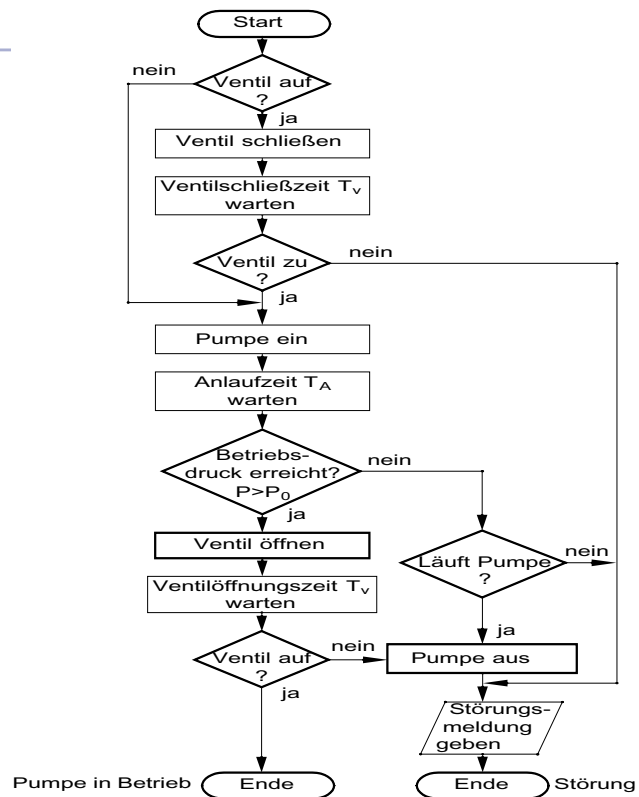
1 Pumpensteuerung (2)

■ Für Automatisierung wichtig:

- ◆ Echtzeitbedingungen im Prozeß
 - Ventilschließ- und -öffnungszeit
 - Pumpenanlaufzeit
- ◆ Prozeßperipherie
 - Was muß gemessen werden?
 - Was muß gestellt werden?

1 Pumpensteuerung

- Ablaufplan der Pumpensteuerung:



PA

Prozessautomatisierung

© Gunter Bolch • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2003

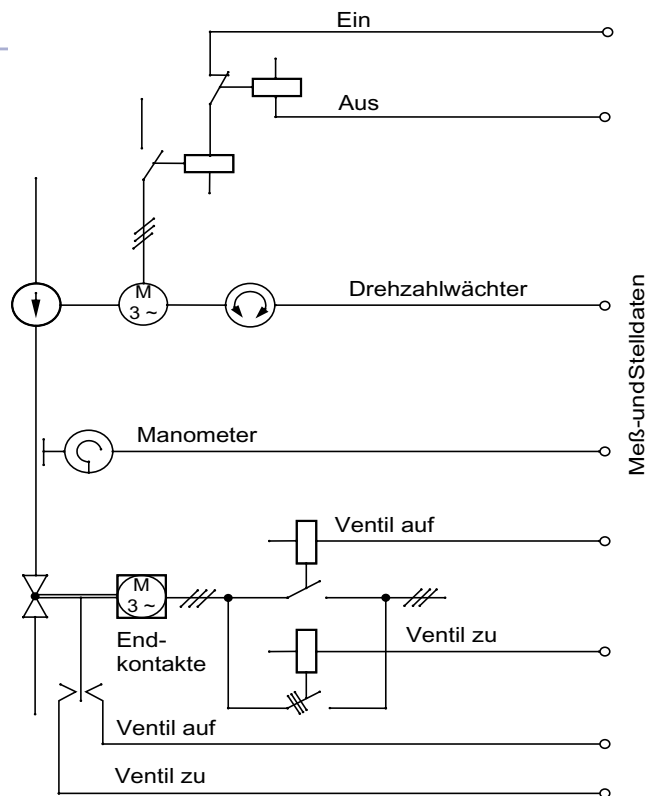
B-Einfuehrung.fm 2003-04-07 11.36

B.57

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Pumpensteuerung

- Mess- und Stellglieder der Pumpensteuerung:



PA

Prozessautomatisierung

© Gunter Bolch • Universität Erlangen-Nürnberg • Informatik 4, 2003

B-Einfuehrung.fm 2003-04-07 11.36

B.58

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Steuerung einer spanenden Werkstückbearbeitung durch Plandrehen

◆ Eingangsgrößen:

- Rohling
- Werkzeug
- mechanische Energie

◆ Ausgangsgrößen:

- bearbeitetes Werkstück in vorbestimmter Geometrieform mit Radius $r = f(\text{Länge } L)$

◆ Stellgrößen:

- Spindelgeschwindigkeit w
- Schnitttiefe a
- Vorschubgeschwindigkeit u

◆ Meßgrößen:

- Schnittgeschwindigkeit v_s ($v_s = w \cdot r$)
- Schnittkraft F_s

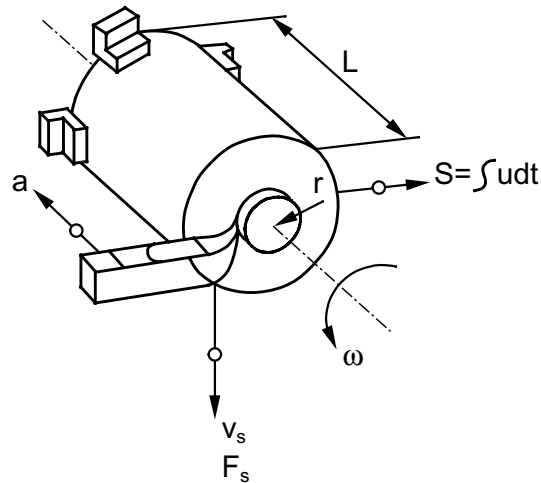
2 Steuerung einer spanenden Werkstückbearbeitung durch Plandrehen (2)

■ Randbedingungen der Steuerung:

- ◆ Mit abnehmendem Zapfenradius nimmt die Schnittgeschwindigkeit ab.
- ◆ Maschinen müssen voll ausgelastet werden, die Schnittgeschwindigkeit muß hoch sein.
- ◆ Schnittkräfte dürfen nicht so hoch werden, daß Werkzeug oder gar Werkzeugbett zerstört werden.

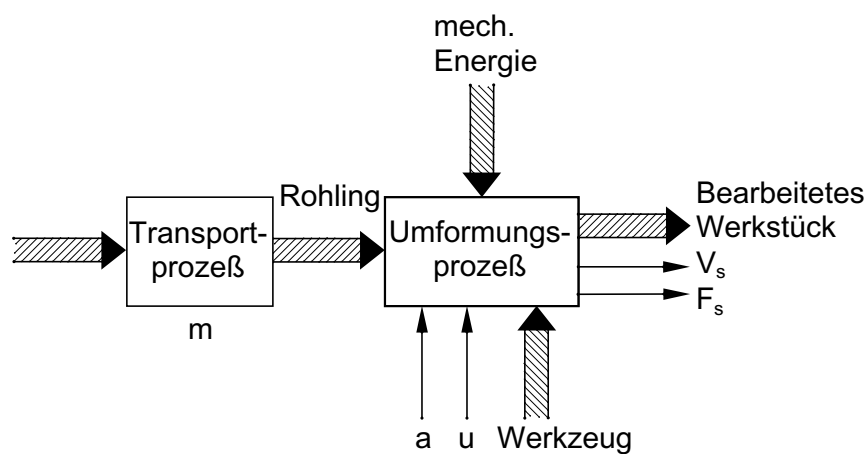
2 Steuerung einer spanenden Werkstückbearbeitung durch Plandrehen (3)

■ Werkstück:

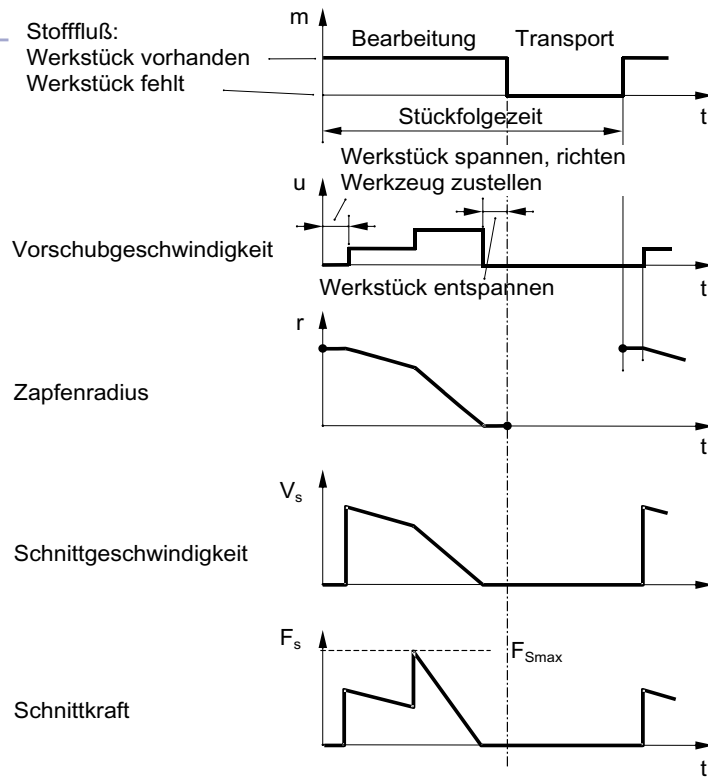


2 Steuerung einer spanenden Werkstückbearbeitung durch Plandrehen (4)

■ Technologisches Schema:

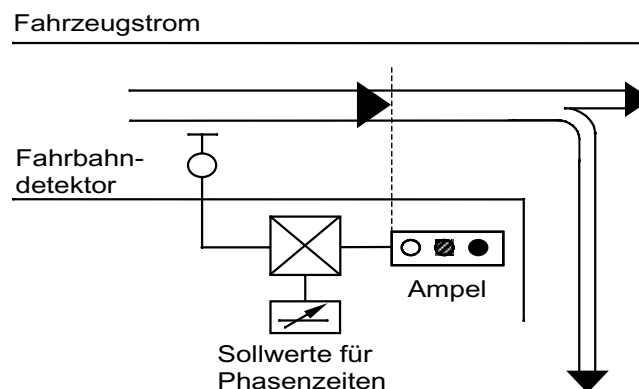


■ Ablauf des Bearbeitungsprozesses:



3 Ampelsteuerung

■ Schema:



■ Aufgabe:

- Bedarfsgerechte (= am Fahrzeugaufkommen orientierte) Schaltung der Rot/Grün-Phasen

3 Ampelsteuerung

■ Wirkung unterschiedlicher Steuerungsmethoden:

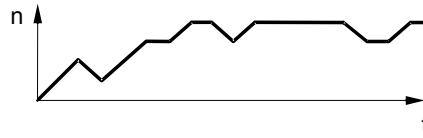
Fahrzeug

angenommen • • • • • • • • • •

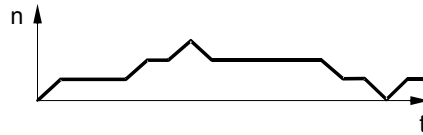
Signalbild



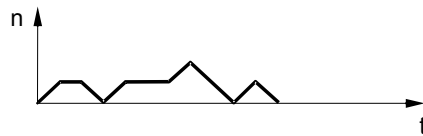
Rot/Grün=2:1



Rot/Grün=1:1



Rot/Grün=1:2



4 Regelung einer Dampferzeugung

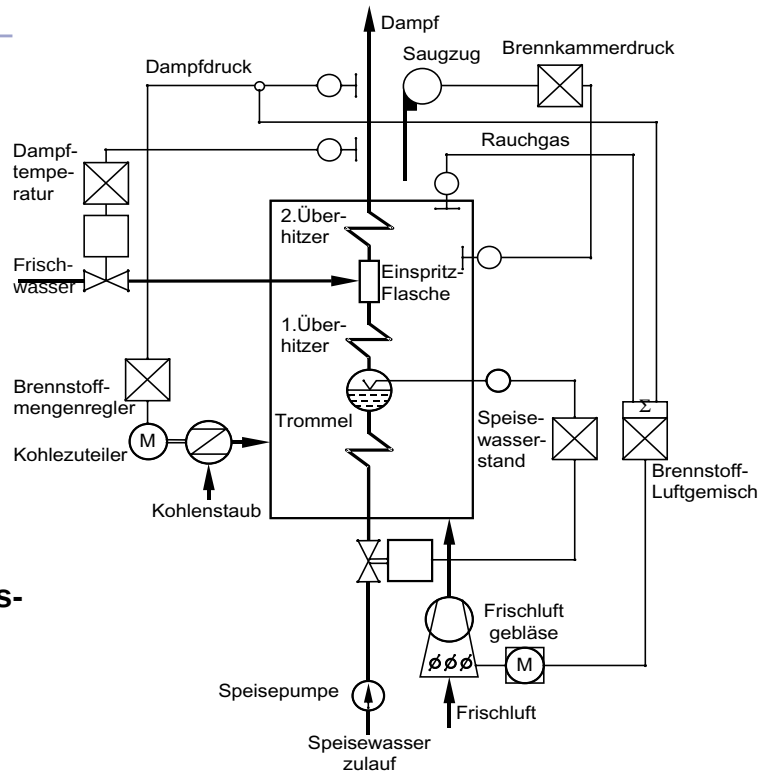
■ Anwendung:

Turbinenantrieb durch Dampf mit bestimmtem **Druck** und bestimmter **Temperatur** in einer bedarfsgemäßen **Menge**

■ Regelaufgabe:

Zuführung von **Brennstoff** (Kohlenstaub), **Luft** und **Wasser**, so daß der Dampfzustand den Vorgaben entspricht.

■ Schema des Dampferzeugungs-Prozesses:



4 Regelung einer Dampferzeugung (3)

■ Regelkreise:

◆ Brennstoffmenge:

- Kessel wird optimal gefahren, wenn Feuerungsleistung und Dampfabgabe im Gleichgewicht sind.
- Bei Lastwechseln ändert sich der Dampfdruck.
- Zum Ausgleich der Schwankungen wird der Dampfdruck über die Brennstoffmenge geregelt.

◆ Brennstoff-Luft-Gemisch:

- Wirtschaftliche Verbrennung erfordert Luftüberschuß.
- Rauchgasanalyse ergibt CO- und CO₂-Gehalt.

4 Regelung einer Dampferzeugung (4)

■ ... Regelkreise:

◆ Brennkammerdruck:

- Rauchgas darf nicht durch Undichtheiten entweichen.
- Brennkammer muß geringen Unterdruck aufweisen.

◆ Speisewasserstand:

- Bei plötzlicher Dampfentnahme fällt der Druck im Kessel, wodurch mehr Wasser in die Trommel gelangt.

◆ Dampftemperatur:

- Senken durch Einspritzen von Frischwasser