



## Regelung als Kern der Automatisierung verfahrenstechnischer Prozesse

Jürgen Wehling, Walter E. Theuerkauf, Klaus Kronberger

## Gliederung der Präsentation

WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



- Einführung
- Prozessorientierung zentraler Ausgangspunkt transdisziplinärer Inhalte
- Merkmale der Regelungstechnik
- Stabilität und Optimierung von Regelungen
- Versuchsvorführung
- Curriculare Einordnung
- Zusammenfassung

# Kläranlage- Regelungen bei biotechnischen Prozessen

WOCATE



TU Braunschweig

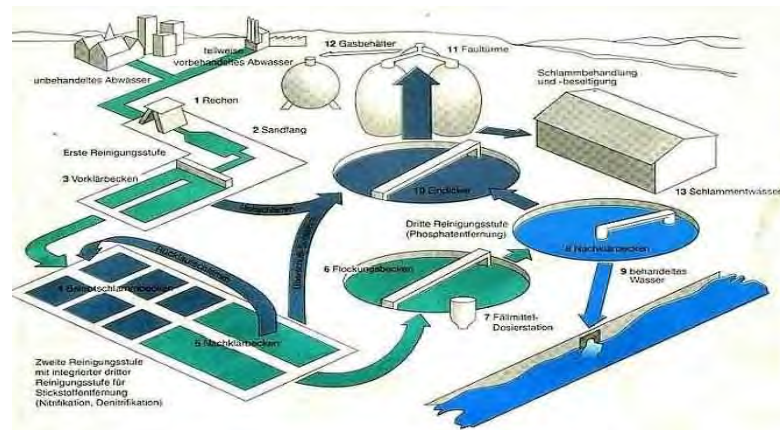


FESTO



© Copyright TBI

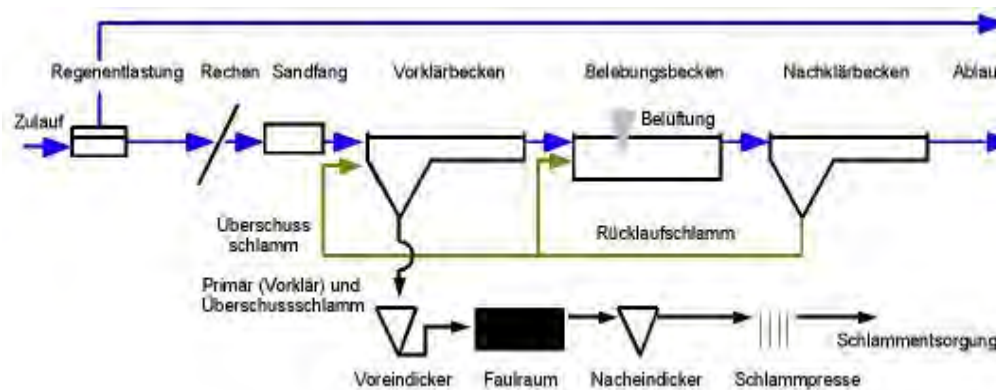
Struktur der Anlage



Anlagenteil



Funktionsschema

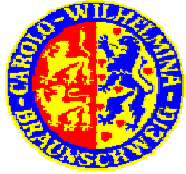


Theuerkauf/Wehling/Kronberger

Quelle. Wikipedia

**General Model of a Process - adapted from Hubka (1973)**

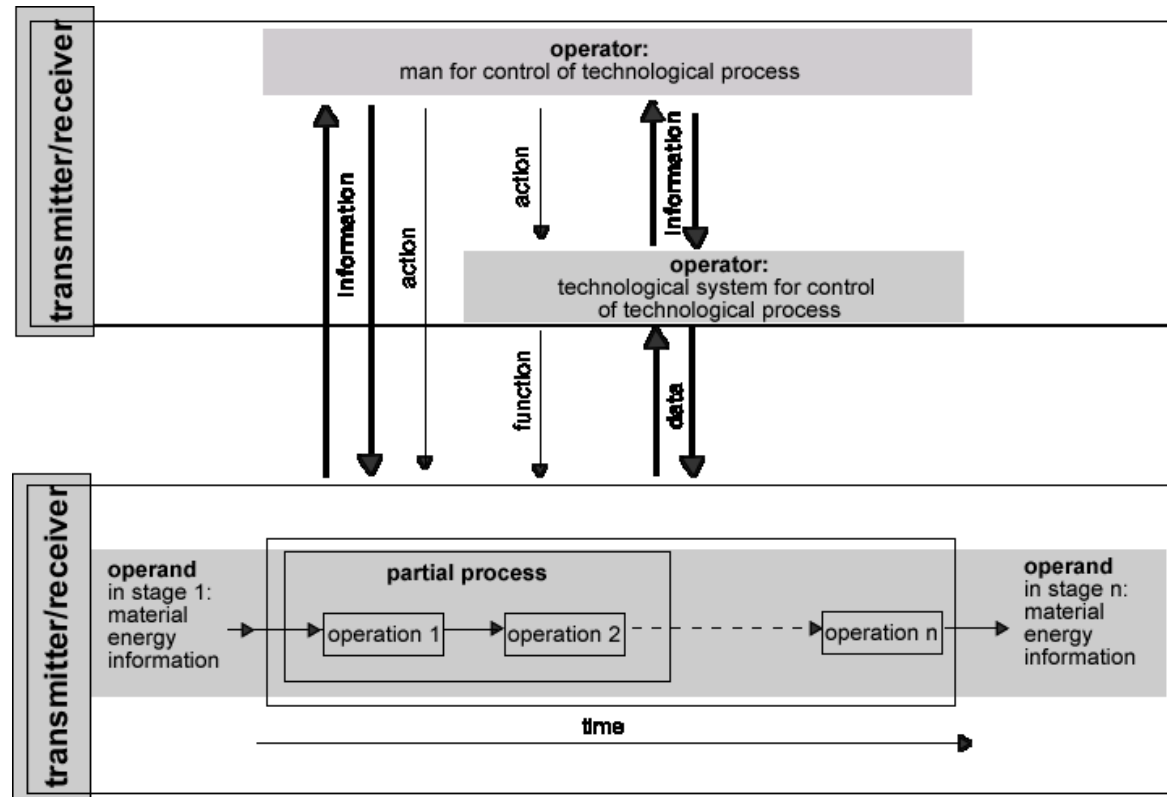
WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



## Structure of closed loop Control for one operation

WOCATE



TU Braunschweig



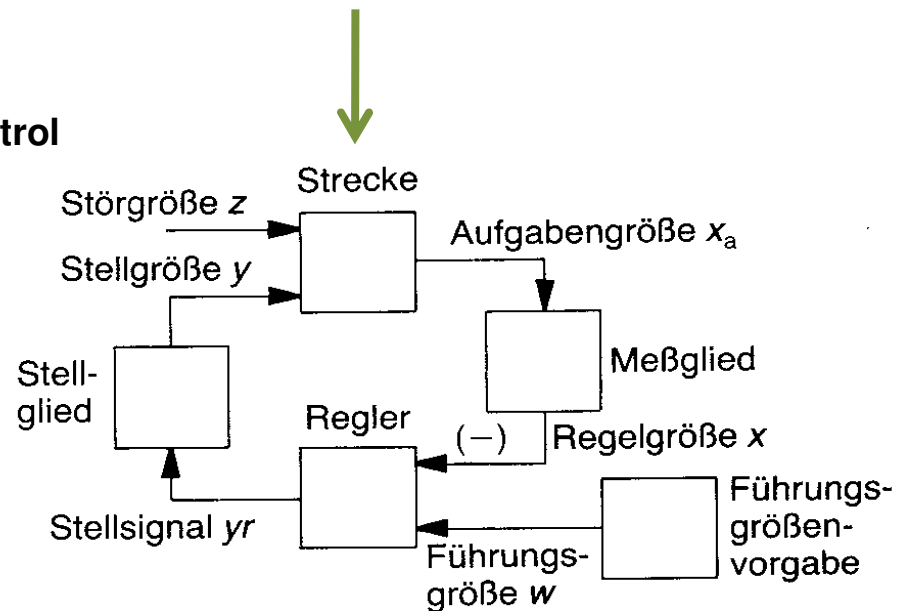
FESTO



Process chaine

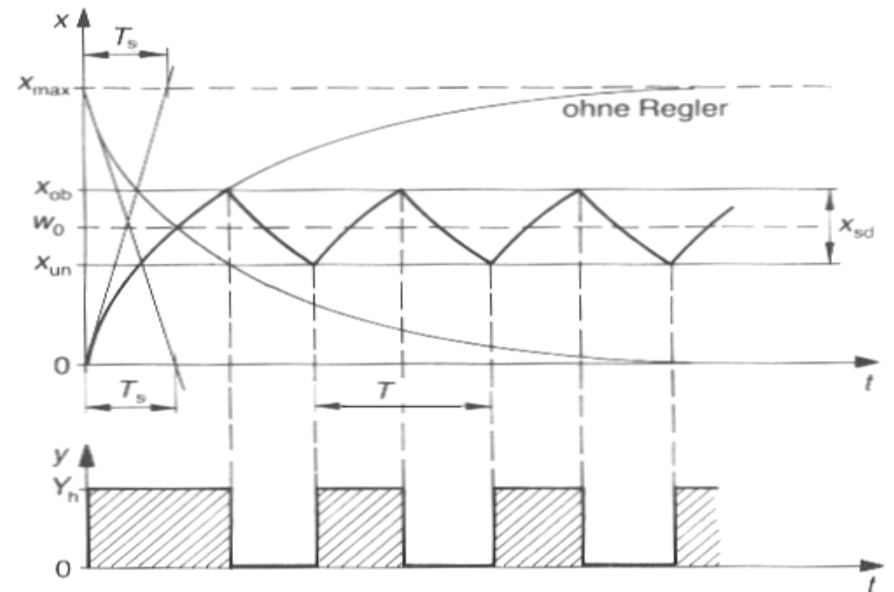
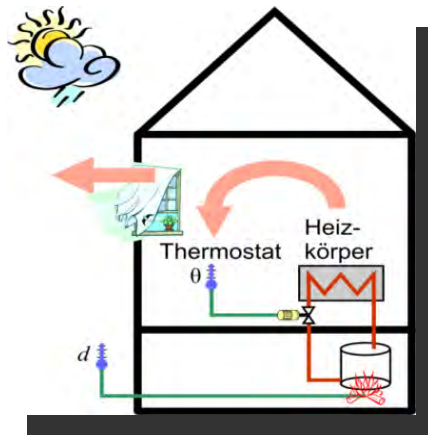
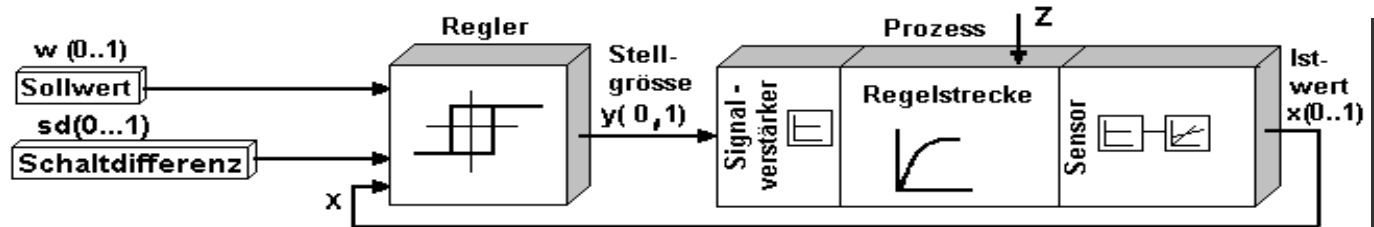


Closed loop Control

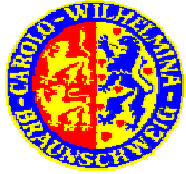


## Regelung von Prozessgrößen

### Unstetige Regelung (Zweipunktregelung)



$$T = 4 \frac{x_{sd} T_s}{x_{max}}$$

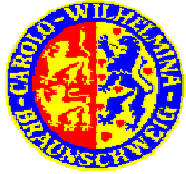
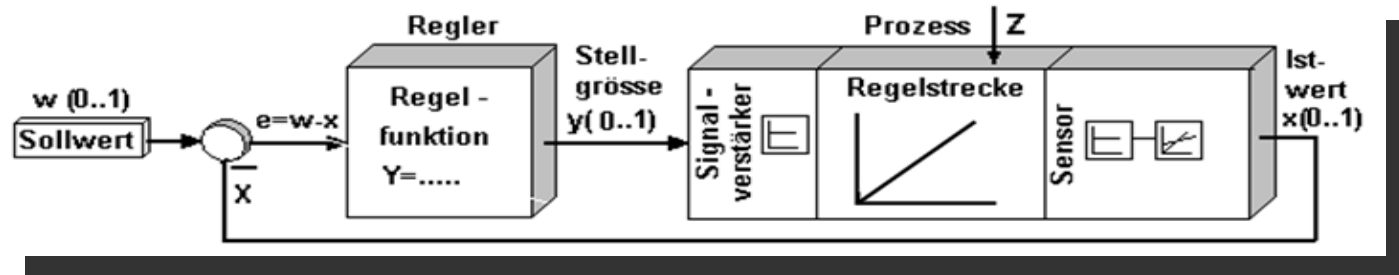


TU Braunschweig

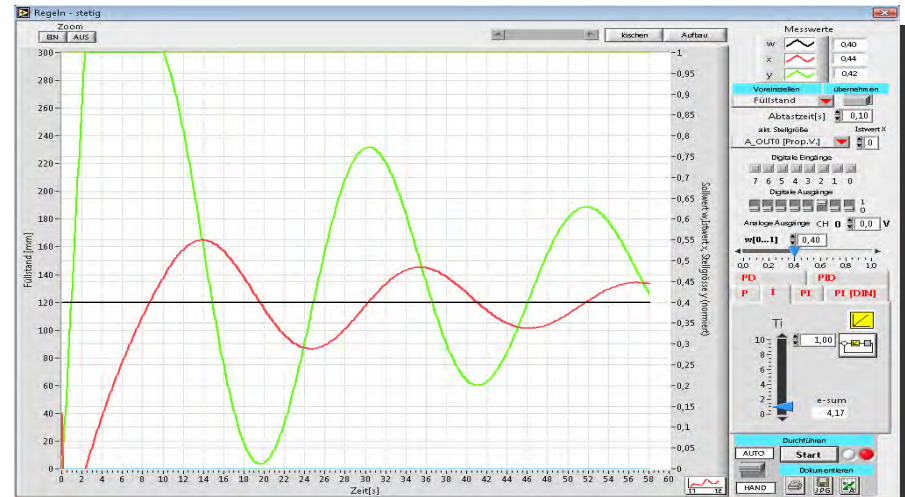
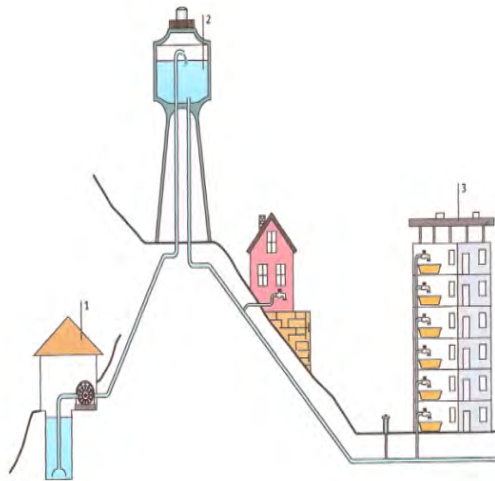


# Regelung von Prozessgrößen

## Stetige Regelung



TU Braunschweig



## Lineare Regelstrecken

WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



Strecken  
mit Ausgleich:  
P-Verhalten

Strecken  
ohne Ausgleich:  
I-Verhalten

Instabile  
Strecken

P  
PT<sub>1</sub>  
PT<sub>2</sub> (D ≥ 1)  
PT<sub>2</sub> (0 < D < 1)

I  
| T<sub>n</sub>

z.B.  
2 x I (Reihe)

Zustandsgröße



TU Braunschweig



P-Verhalten

Übertragungsbeiwert  $K_{PS}$   
 Zeitkonstanten  $T_1, T_2$   
 Verzugszeit  $T_u$   
 Ausgleichszeit  $T_g$   
 Dämpfung  $D$

$$T_2^2 \ddot{x} + T_1 \dot{x} + x = k_{PS} y$$

P-Strecke:  $k_{PS} = \frac{\Delta x}{\Delta y}$

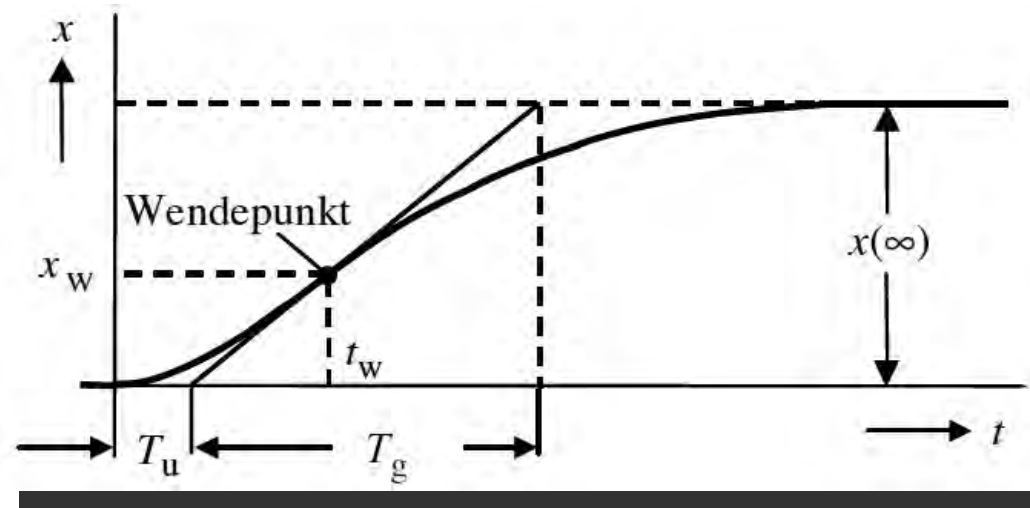
I-Verhalten

Integrierbeiwert  $K_{IS}$   
 Zeitkonstante  $T_1$   
 Verzugszeit  $T_u$

$$T_1 \ddot{x} + \dot{x} = k_{IS} y$$

I-Strecke:  $k_{IS} = \frac{\Delta \dot{x}}{\Delta y}$

## Regelbarkeit P-Verhalten



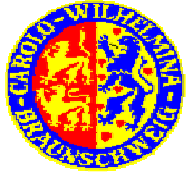
Sprungantwort einer  $PT_2$ -Strecke mit einer Dämpfung von  $D > 1$

$$\frac{T_u}{T_g} < \frac{1}{10} \text{ gut regelbar}$$

$$\frac{T_u}{T_g} \text{ um } \frac{1}{6} \text{ noch regelbar}$$

$$\frac{T_u}{T_g} > \frac{1}{3} \text{ schwer regelbar}$$

WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



## I-Strecke: Füllstandsregelung

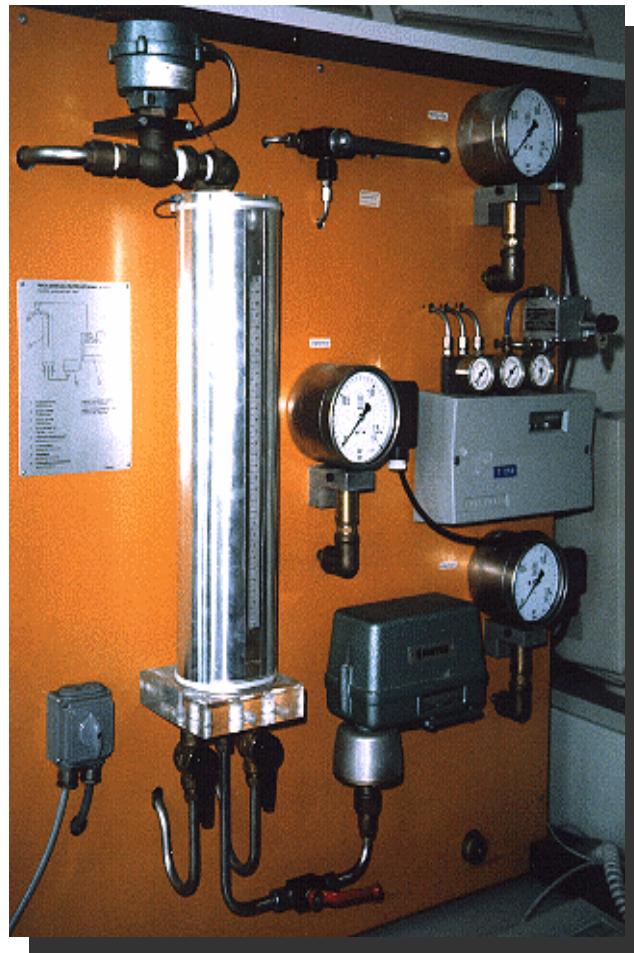
WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



# Instabilität des Regelkreises durch fehlende Dämpfung

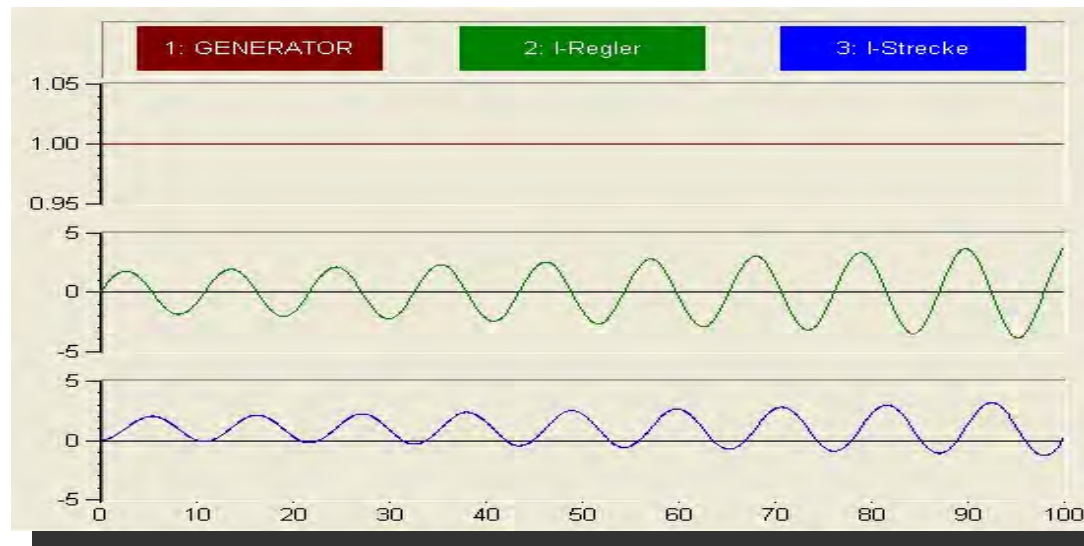
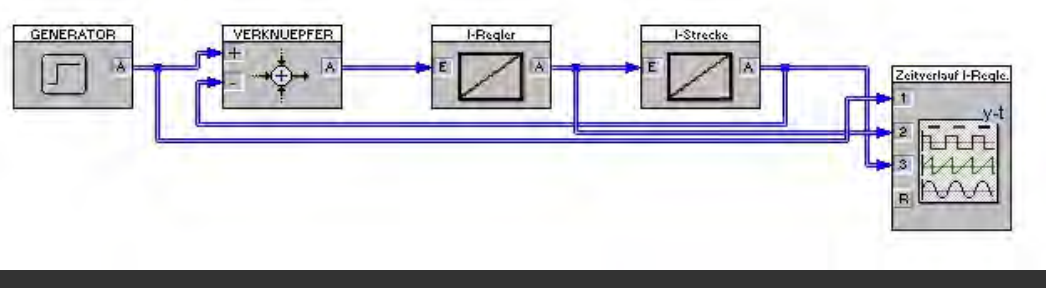
WOCATE



TU Braunschweig

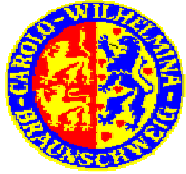


FESTO



## Optimierung: I-Strecke mit PI-Regler

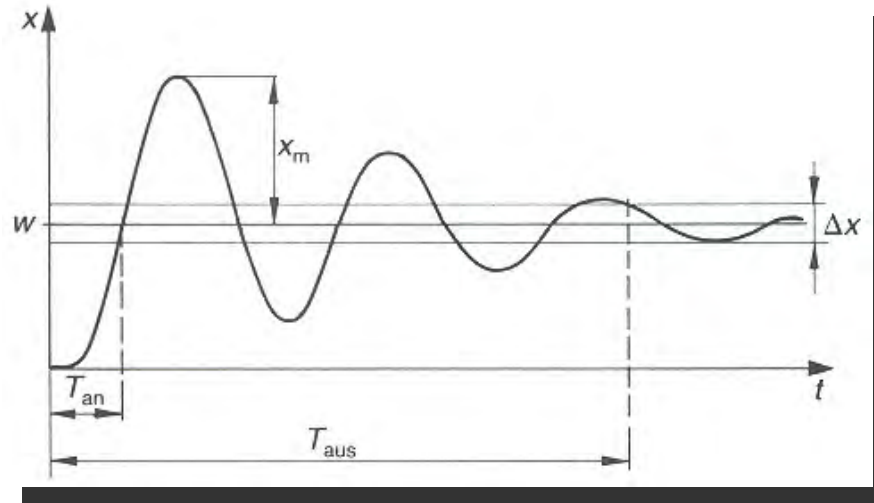
WOCATE



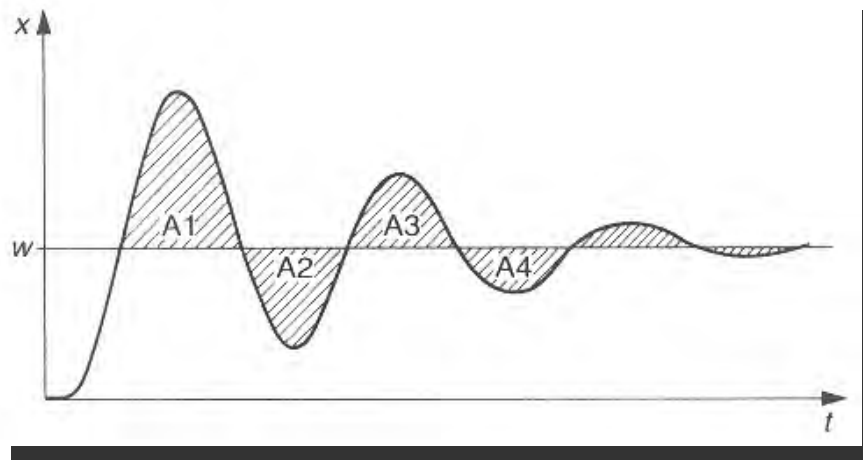
TU Braunschweig



FESTO



$T_{an}$ : Anregelzeit  
 $T_{aus}$ : Ausregelzeit  
 $x_m$ : Überschwingweite  
 $w$ : Führungsgröße  
 $\Delta x$ : Schwankungsbreite



Minimaler Betrag der Flächen  $A_n$  mit  $D=0,7$

## Optimierung: I-Strecke mit PI-Regler

WOCATE



Führungsverhalten

Störverhalten

TU Braunschweig



Stabilität

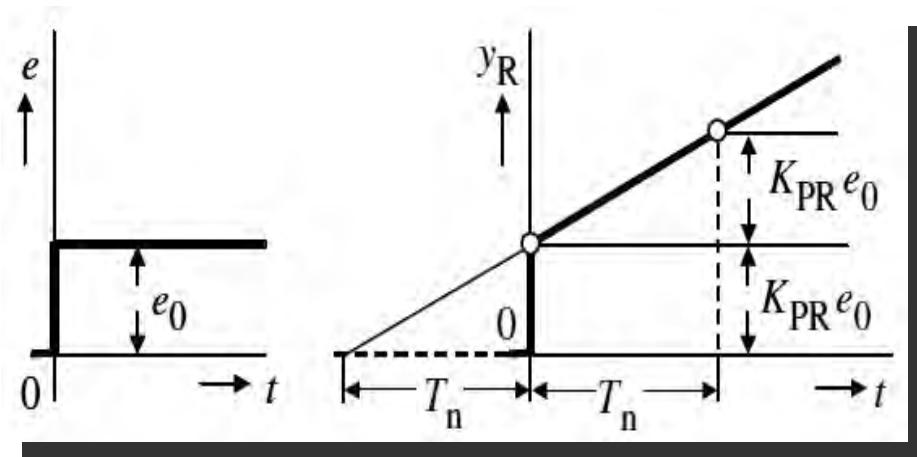
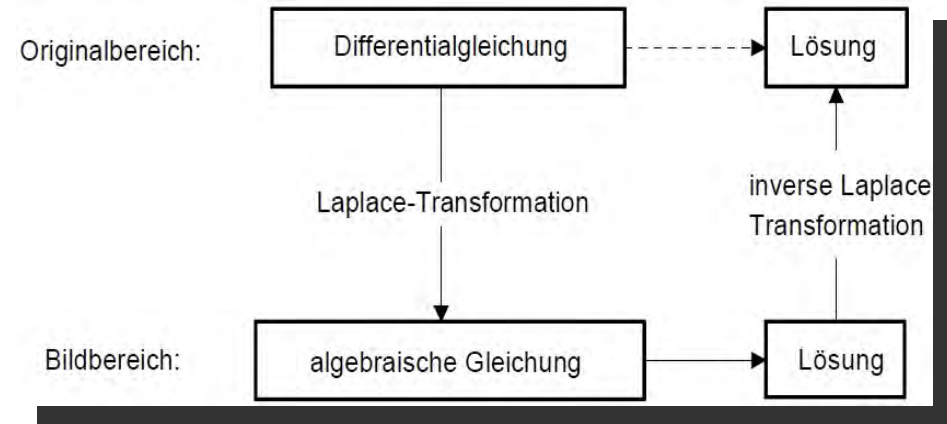
Gütefunktionale Kriterien

Ortskurve

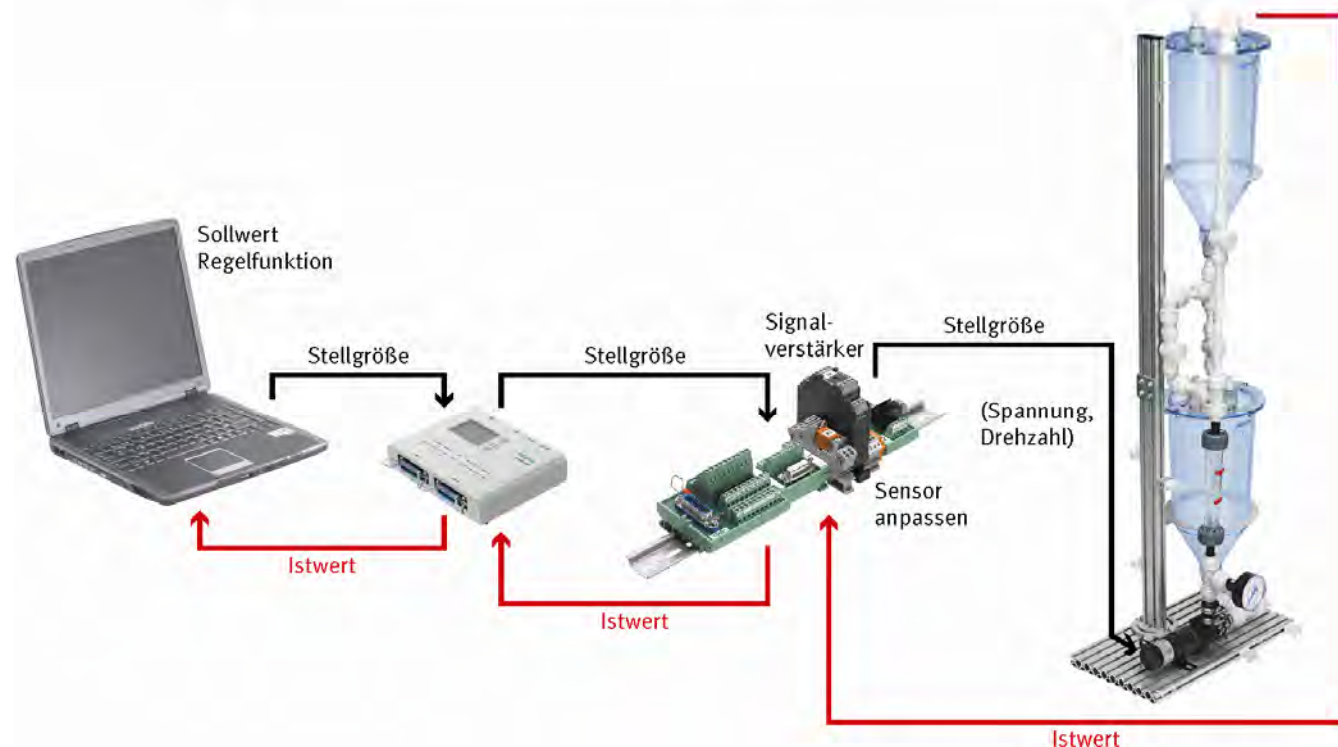
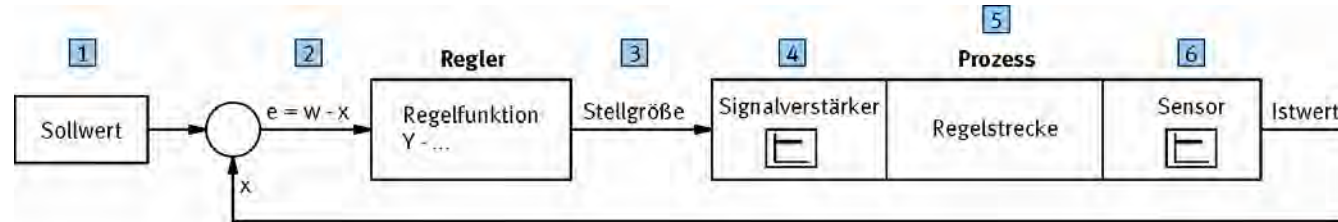
Phasengang

Experiment / Simulation

FESTO



## Aufbau der Versuchsanlage - Wasserversorgung



WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



## Auswertung einer Füllstandsregelung

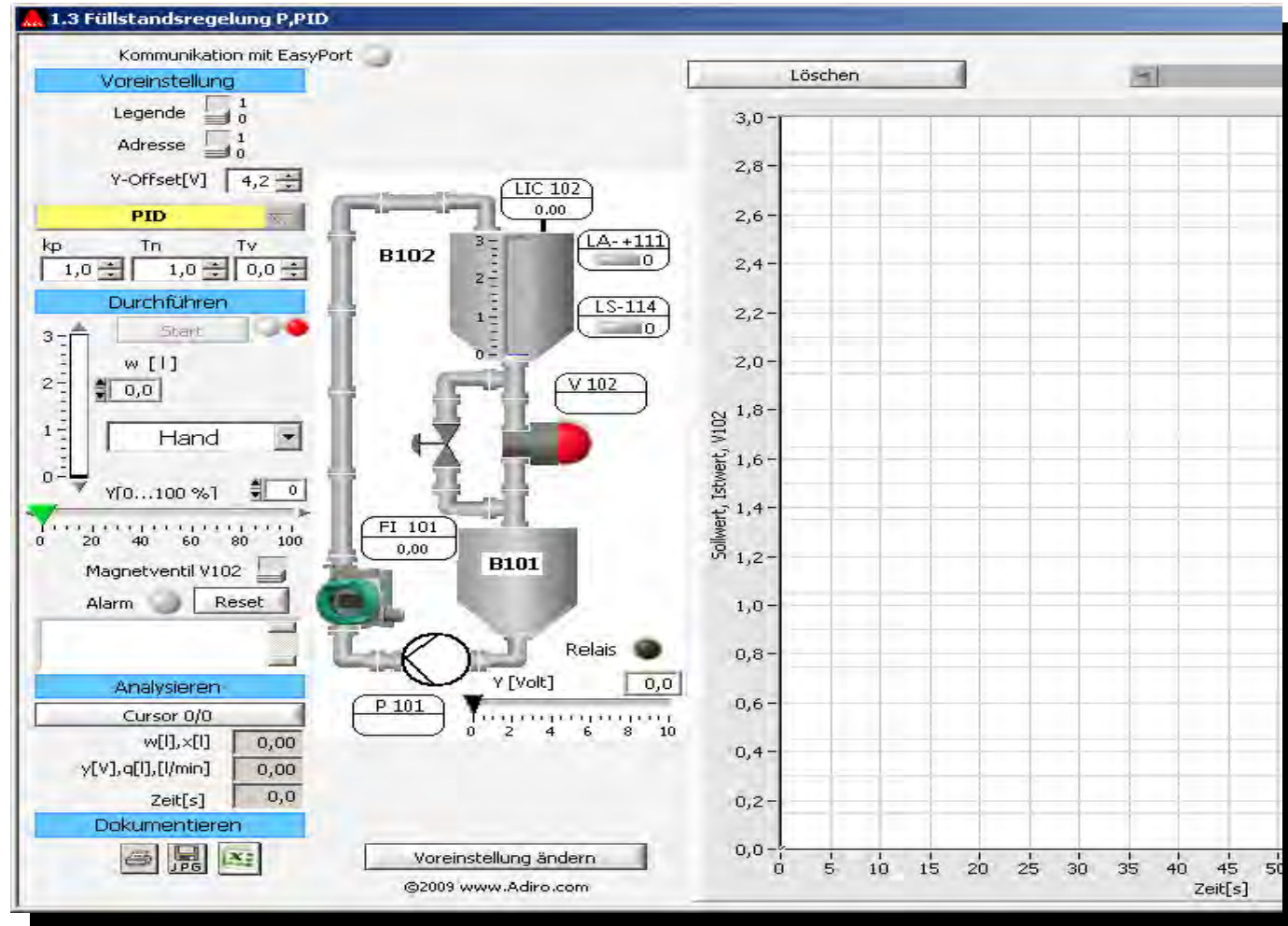
WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



## Struktur biotechnologische Prozesse

WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



Products = Processes

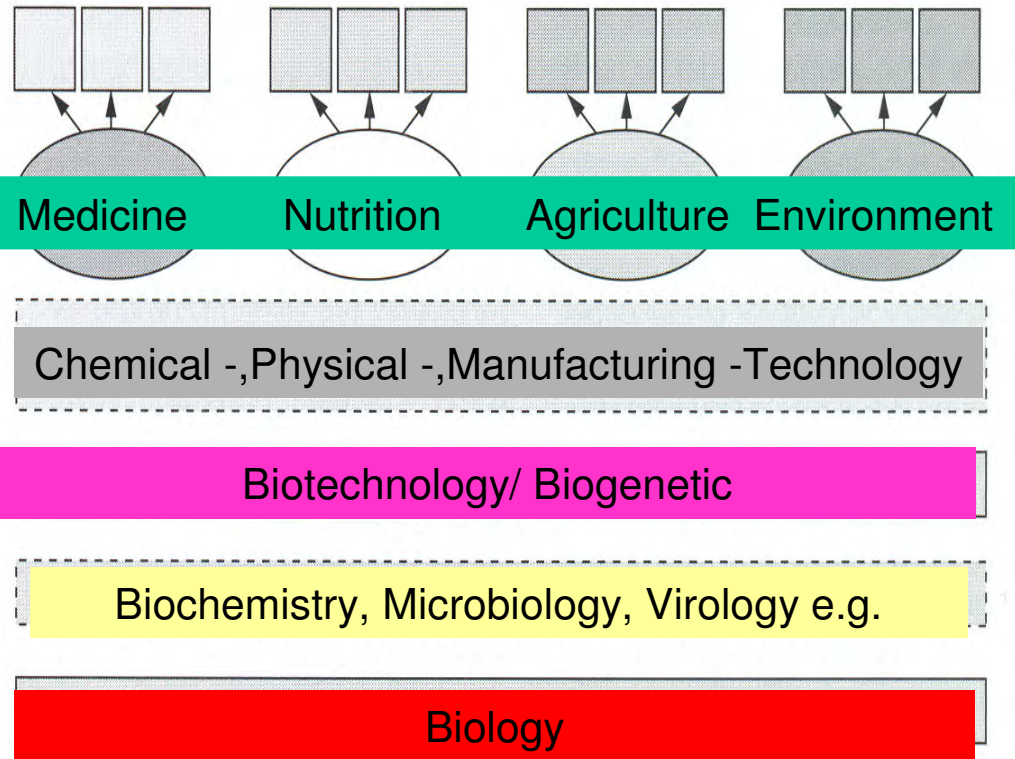
Application fields

Engineering

Cross Section  
Technology

Life Science Disciplines

Discipline



## Kontexte Technischer Bildung

WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



Schlüsselbereiche	PISA	Individuell/ Haushalt	Sozial/ Infrastruktur	Global/ Unternehmen
Industrialisierung	-----	Intelligentes Haus	Veränderung von Berufsstrukturen	Vernetzte Arbeitsstrukturen
Automatisierung	-----	Intelligente und vernetzte Geräte	Führung von Verkehr	Verteilte Fertigungen
Lebensumwelt Wohnen	-----	Wohnung/Einfamilienhaus	Straßen- und Verkehrswege	Internationale Kommunikation bzw. Datenaustausch
Nahrungsmittel	Ernährung	Optimierte Nahrungszubereitung	Versorgungsstrukturen	Nahrungsmittelherstellung
Ressourcen von Energie und Grundstoffen	Natürliche Ressourcen	Sparsamer Umgang mit Ressourcen	Energietransport	Ernergieerschließung
Erhaltung der Umwelt.	Umwelt	Umweltfreundliches Verhalten	Reduzierung des CO <sub>2</sub> Gehaltes	Klimaveränderungen
Krankenversorgung	Gesundheit	Medizinische Geräte	Krankenhaus-technik	Vermeidung von Epidemien

## Delphi Study – Context in Technology Education (NSF USA)

WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



Nr.	Context	Description
1	Energy in society	Includes generation, use, and storage of energy.
2	Biotechnology	<a href="#">Technology</a> based on <a href="#">biology</a> , especially when used in <a href="#">agriculture</a> , <a href="#">food science</a> , and <a href="#">medicine</a> .
3	Sustainable Technology	Sustainable use of resources, environmental stewardship, and recycling.
4	Transportation Mobility	Includes all forms of traveling by people, and the transportation of goods. Concerns both the vehicles and the infrastructure.
5	Medical technologies	Includes going to the doctor or hospital, medical diagnostics, receiving medicine, undergoing an operation, technologies for disabled etc.
6	Food	Includes production, processing and preservation of food and includes global food issues.
7	Industrial Production	Includes working in an industrial company, commerce, marketing, and manufacturing.
8	Water resource Management	Includes water harvesting, storage, distribution, quality, use and conservation.

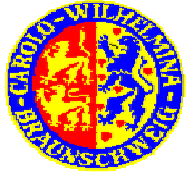
**Educational Concept - Button Up or Top Down**



WOCATE

*Anwendung Brotherstellung*

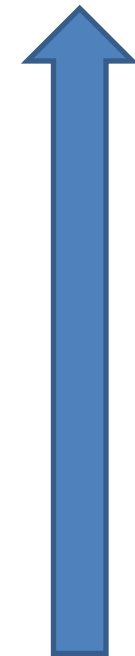
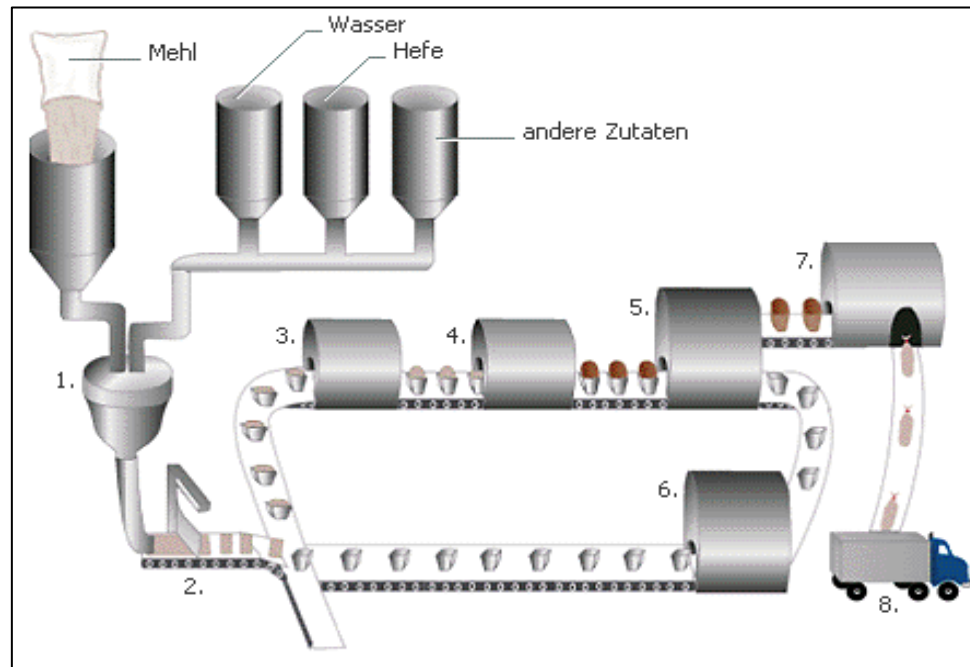
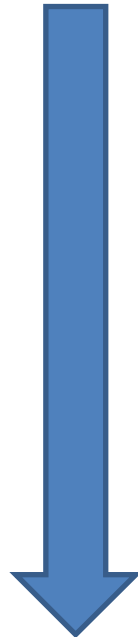
*Grundprinzip: Vom Ganzen zum Detail. ( Danzer et al 2002)*



TU Braunschweig



FESTO



*Grundprinzip: Variation der naturwissenschaftlichen Phänomäne*

## Anschlussfähiges Wissen (KMK 2004)

WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



Schularten und Berufe nach Lernfeldern	Planung, Fertigung,	Inbetriebnahme, Wartung	Steuerungstechnik	Regelungstechnik
Hauptschule, 10. Klasse	LP 2	LP 2		
Realschule, 9. Klasse	LP 2, 4	LP 2, 4	LP 2, 4	LP 4
Realschule, 10. Klasse	LP 1	LP 1	LP 2	LP 2
Gymnasium 11,12, 13 Klasse				Themen
Berufsausbildung:				
Anlagenmechaniker	LF 7	LF 8, 9	LF 10, 11	LF 10, 11
Anlagenmech. für Sanitär, Heiz. ....	LF 5, 6	LF 7	LF 10	LF 10
Chemielaborant			LF 12	LF 12

WOCATE



TU Braunschweig



FESTO



## Zusammenfassung

- Der Prozess ist die Grundlage für die Beschreibung transdisziplinärer Prozessketten
- Regelungen bestimmen natürliche und künstliche Prozesse (Prinzip der Invarianz)
- Die besondere Bedeutung verfahrenstechnischer Prozesse in der Lebenswirklichkeit und der Alltagsrealität
- Die Erfassung der Regelgrößen und das Verhalten der Regelstrecken erfordert transdisziplinäres Expertenwissen
- Vermittlung eines anschlussfähigem Wissen verbunden mit berufsorientierenden Aspekten (KMK 2004)
- Das vorgeführte Beispiel ist erweiterbar und wird gestützt durch ein Medienpaket, das u. a. neben Simulationen konkrete unterrichtliche Aufgaben enthält.





**Wir bedanken uns für Ihr Interesse**