

Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas
Professur für Prozessleittechnik & Arbeitsgruppe Systemverfahrenstechnik

1.2 Strukturierung und Hierarchie verfahrenstechnischer Systeme

1. Einführung in die Systemverfahrenstechnik

Lehrveranstaltung Systemverfahrenstechnik, 2020

Überblick

- 1.1 Aufgaben und Gegenstand der Disziplin
- 1.2 **Strukturierung und Hierarchie verfahrenstechnischer Systeme**
- 1.3 Grundlagen der systemverfahrenstechnischen Modellierung und Simulation
- 1.4 Modellarten, Modellierungsstrategien und Simulationswerkzeuge

Vom kybernetischen Systembegriff ...

Das verfahrenstechnische **System** ist der Gegenstand der Systemverfahrenstechnik.

Ein System im kybernetischen Sinne

$$S = (E, \Sigma)$$

mit

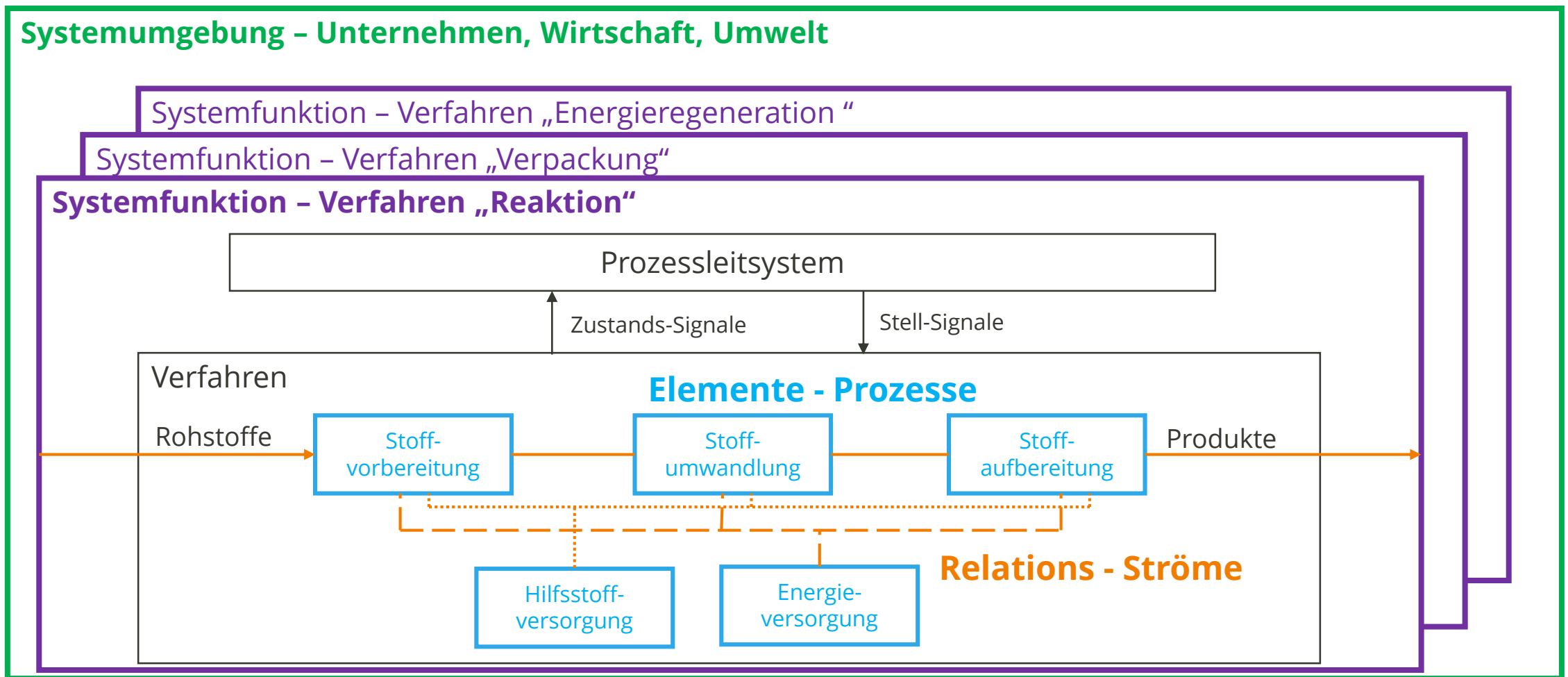
E - Menge der **Elemente** eines Systems

Σ - Menge der **Relationen** zwischen den Elementen (Struktur, Topologie, Mereologie)

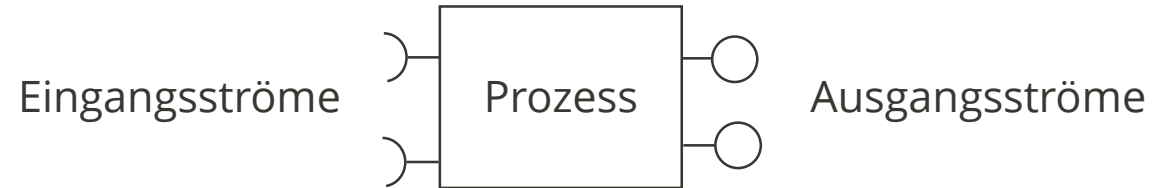
.. zur Spezifikation für verfahrenstechnische Systeme

| Kybernetischer Systembegriff | Verfahrenstechnisches System |
|--|--|
| Elemente | Prozesse - der Stoff- und Energiewandlung - des Stoff- und Energietransportes - der Stoff- und Energiespeicherung |
| Struktur (Relationen zwischen den Elementen) | Stoff-, Energie- und Informationsströme zwischen den Elementen |
| Systemfunktion | Realisierung komplexer industrieller Stoff- und Energiewandlungsprozesse |
| Systemumgebung | Im engeren Sinne: - das Unternehmen Im erweiterten Sinne: - die Wirtschaft - die Umwelt |

Verfahrenstechnische Systeme



Elemente = Prozesse



Eigenschaften:

- Schnittstellen: Anzahl und Art der Eingangs- und Ausgangsströme
 - Prozess- und Flowsheet-Simulation
 - Port-Modell
- Mathematisches Modell
- Verhalten: stationär oder instationär
- Prozesstechnische Funktion – Betrachtungsebene-bezogen!

Überblick über Standardformen mathematischer Modellgleichungen und -gleichungssysteme

| | | Ortsabhängigkeit der Zustandsgrößen | |
|-------------------------------------|-----------------------|--|---|
| | | Konzentriertes Verhalten (Keine Ortsabhängigkeit) | Verteiltes Verhalten (Ortsabhängige Größen) |
| Zeitabhängigkeit der Zustandsgrößen | Stationäres Verhalten | Algebraische Gleichungen und Gleichungssysteme | Gewöhnliche Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (Randwertprobleme (RWP)) |
| | | | Gewöhnliche Differential-Algebraische Gleichungssysteme (RWP) |
| | | | Partielle Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (RWP) |
| | | | Partielle Differential-Algebraische Gleichungssysteme (RWP) |
| Dynamisches Verhalten | | Gewöhnliche Differentialgleichungen und Differentialgleichungssystem (Anfangswertprobleme (AWP)) | Partielle Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (Anfangs- und Randwertprobleme (AWRWP)) |
| | | Gewöhnliche Differential-Algebraische Gleichungssysteme (AWP) | Partielle Differential-Algebraische Gleichungssysteme (AWRWP) |

Überblick über Standardformen mathematischer Modellgleichungen und -gleichungssysteme

| | | Ortsabhängigkeit der Zustandsgrößen | |
|-------------------------------------|--|--|--|
| | | Konzentriertes Verhalten (Keine Ortsabhängigkeit) | Verteiltes Verhalten (Ortsabhängige Größen) |
| Zeitabhängigkeit der Zustandsgrößen | Stationäres Verhalten | <p>Algebraische Gleichungen und Gleichungssysteme</p> <p style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">PAVP</p> | Gewöhnliche Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (Randwertprobleme (RWP)) |
| | | | Gewöhnliche Differential-Algebraische Gleichungssysteme (RWP) |
| | | | Partielle Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (RWP) |
| | | | Partielle Differential-Algebraische Gleichungssysteme (RWP) |
| Dynamisches Verhalten | Gewöhnliche Differentialgleichungen und Differentialgleichungssystem (Anfangswertprobleme (AWP)) | Partielle Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (Anfangs- und Randwertprobleme (AWRWP)) | |
| | Gewöhnliche Differential-Algebraische Gleichungssysteme (AWP) | Partielle Differential-Algebraische Gleichungssysteme (AWRWP) | |

Überblick über Standardformen mathematischer Modellgleichungen und -gleichungssysteme

| | | Ortsabhängigkeit der Zustandsgrößen | |
|-------------------------------------|-----------------------|--|---|
| | | Konzentriertes Verhalten (Keine Ortsabhängigkeit) | Verteiltes Verhalten (Ortsabhängige Größen) |
| Zeitabhängigkeit der Zustandsgrößen | Stationäres Verhalten | Algebraische Gleichungen und Gleichungssysteme SVT | Gewöhnliche Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (Randwertprobleme (RWP)) |
| | | | Gewöhnliche Differential-Algebraische Gleichungssysteme (RWP) |
| | | | Partielle Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (RWP) |
| | | | Partielle Differential-Algebraische Gleichungssysteme (RWP) |
| | Dynamisches Verhalten | Gewöhnliche Differentialgleichungen und Differentialgleichungssystem (Anfangswertprobleme (AWP)) | Partielle Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (Anfangs- und Randwertprobleme (AWRWP)) |
| | | Gewöhnliche Differential-Algebraische Gleichungssysteme (AWP) | Partielle Differential-Algebraische Gleichungssysteme (AWRWP) |

Überblick über Standardformen mathematischer Modellgleichungen und -gleichungssysteme

| | | Ortsabhängigkeit der Zustandsgrößen | |
|-------------------------------------|-----------------------|--|---|
| | | Konzentriertes Verhalten (Keine Ortsabhängigkeit) | Verteiltes Verhalten (Ortsabhängige Größen) |
| Zeitabhängigkeit der Zustandsgrößen | Stationäres Verhalten | Algebraische Gleichungen und Gleichungssysteme | Gewöhnliche Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (Randwertprobleme (RWP)) |
| | | | Gewöhnliche Differential-Algebraische Gleichungssysteme (RWP) |
| | | | Partielle Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (RWP) |
| | | | Partielle Differential-Algebraische Gleichungssysteme (RWP) |
| | Dynamisches Verhalten | Gewöhnliche Differentialgleichungen und Differentialgleichungssystem (Anfangswertprobleme (AWP)) | Partielle Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (Anfangs- und Randwertprobleme (AWRWP)) |
| | | Gewöhnliche Differential-Algebraische Gleichungssysteme (AWP) | Partielle Differential-Algebraische Gleichungssysteme (AWRWP) |

TPA

Überblick über Standardformen mathematischer Modellgleichungen und -gleichungssysteme

| | | Ortsabhängigkeit der Zustandsgrößen | |
|-------------------------------------|-----------------------|--|---|
| | | Konzentriertes Verhalten (Keine Ortsabhängigkeit) | Verteiltes Verhalten (Ortsabhängige Größen) |
| Zeitabhängigkeit der Zustandsgrößen | Stationäres Verhalten | Algebraische Gleichungen und Gleichungssysteme | Gewöhnliche Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (Randwertprobleme (RWP)) |
| | | | Gewöhnliche Differential-Algebraische Gleichungssysteme (RWP) |
| | | | Partielle Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (RWP) |
| | | | Partielle Differential-Algebraische Gleichungssysteme (RWP) |
| Dynamisches Verhalten | | Gewöhnliche Differentialgleichungen und Differentialgleichungssystem (Anfangswertprobleme (AWP)) | Partielle Differentialgleichungen und Differentialgleichungssysteme (Anfangs- und Randwertprobleme (AWRWP)) |
| | | Gewöhnliche Differential-Algebraische Gleichungssysteme (AWP) | Partielle Differential-Algebraische Gleichungssysteme (AWRWP) |

SimOpt

Elemente = Prozesse

Elemente des Systems sind Betrachtungsebene-bezogen und kann sein:

Prozesseinheit

- Grundprozess

Prozessgruppe

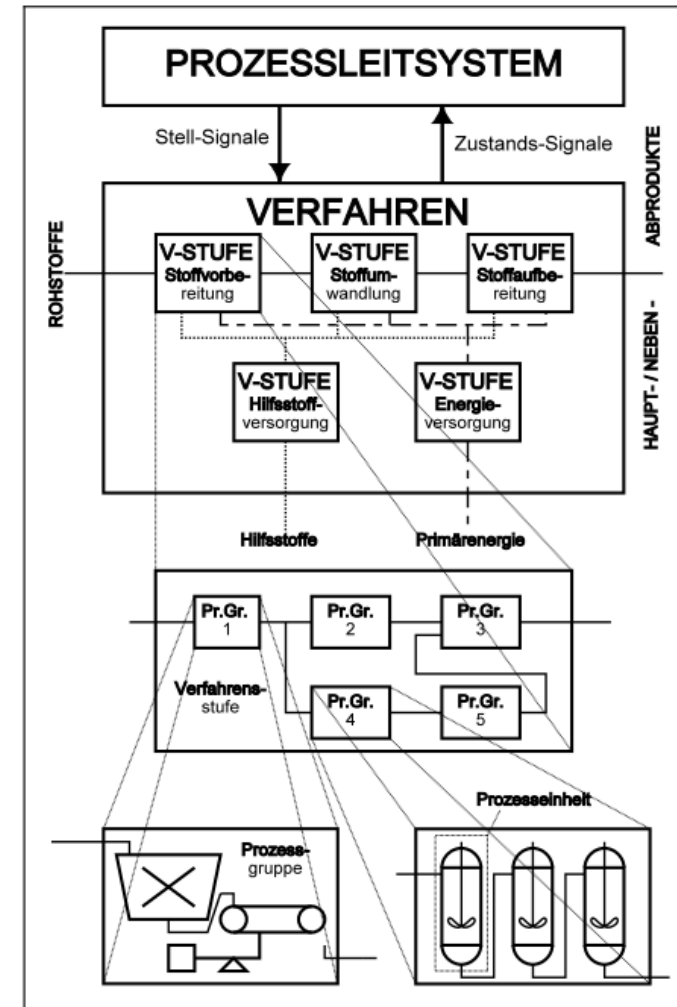
- Kopplung von Prozesseinheiten zur Erfüllung einer überschaubaren, abgegrenzten Funktion

Verfahrensstufe

- Komplexe Stoffwandlungseinheit (Vorbereitung, Wandlung, Aufbereitung)

Verfahren

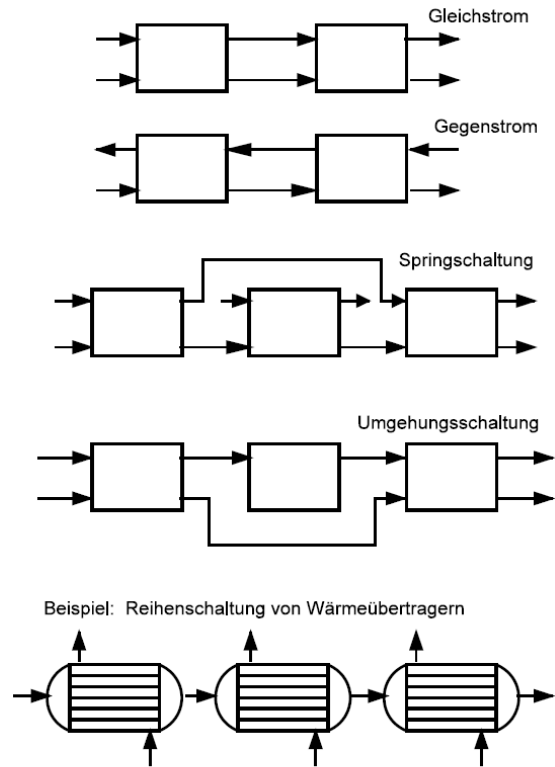
- Gesamtheit der Verfahrensstufen für die Erzeugung eines Produkts



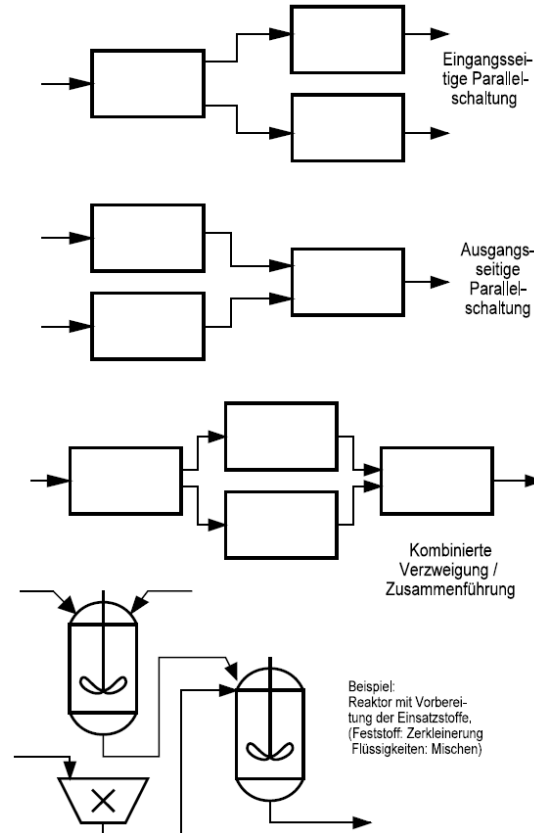
(Bildquelle: Klöden, 2008)

Relationen = Ströme

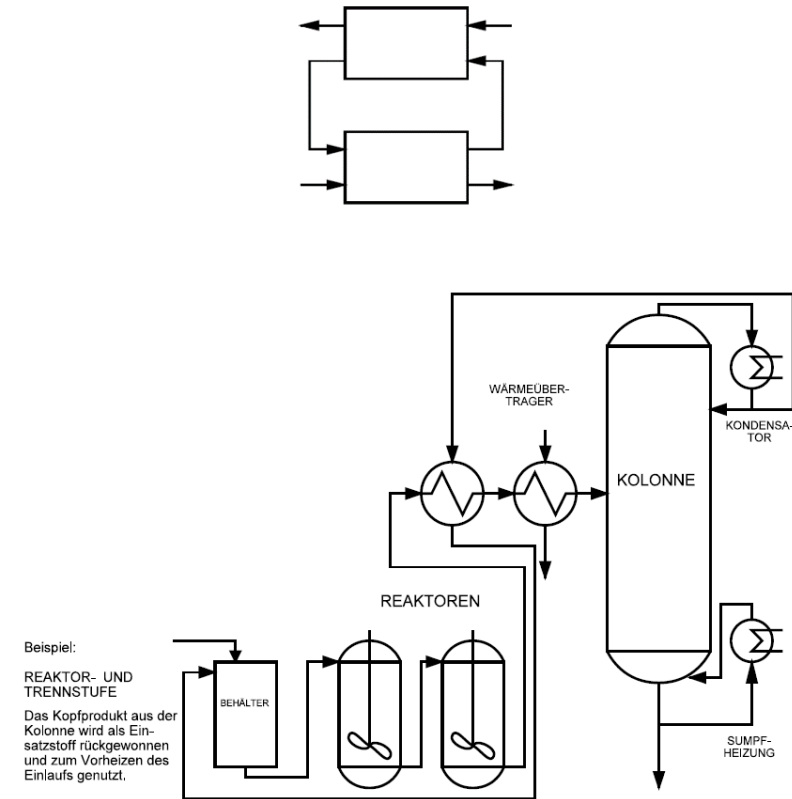
Grundsaltungen:



Reihenschaltung

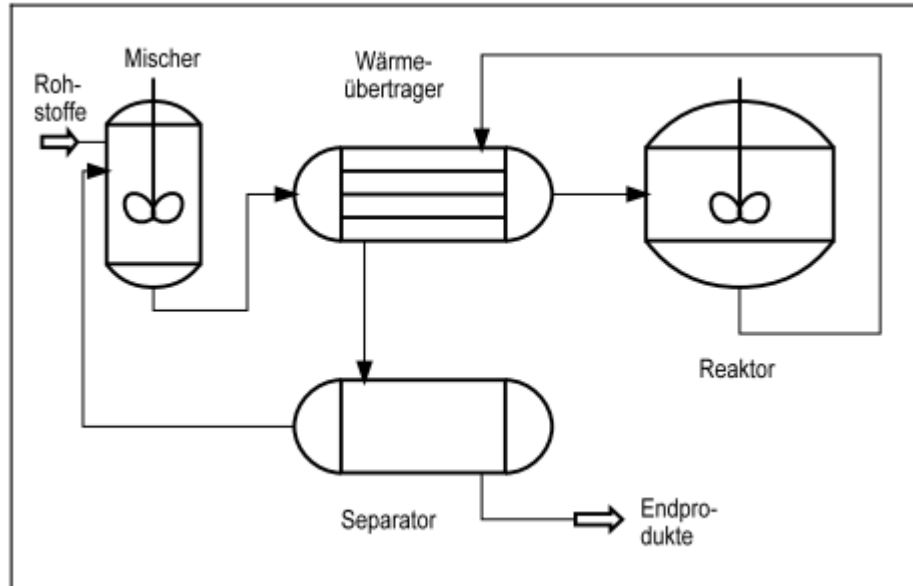


Parallelschaltung



Rückführungsschaltung

Abbildung der Kopplungsstruktur durch Kopplungsmatrix (Adjazenz, Laplace)



(Bildquelle: Klöden, 2008)

| | RS | M | WÜ | R | S | EP |
|----|----|---|----|---|---|----|
| RS | | 1 | | | | |
| M | | | 1 | | | |
| WÜ | | | | 1 | 1 | |
| R | | | 1 | | | |
| S | | 1 | | | | 1 |
| EP | | | | | | |

Eingangsknoten: leere Spalte

Endknoten: leere Zeile

Recycle: keine obere/untere Dreiecksmatrix herstellbar

Abbildung der Kopplungsstruktur durch Kopplungslisten

Eingangsseitig

M: RS, S

WÜ: M, R

R: WÜ

S: WÜ

EP: S

Ausgangsseitig

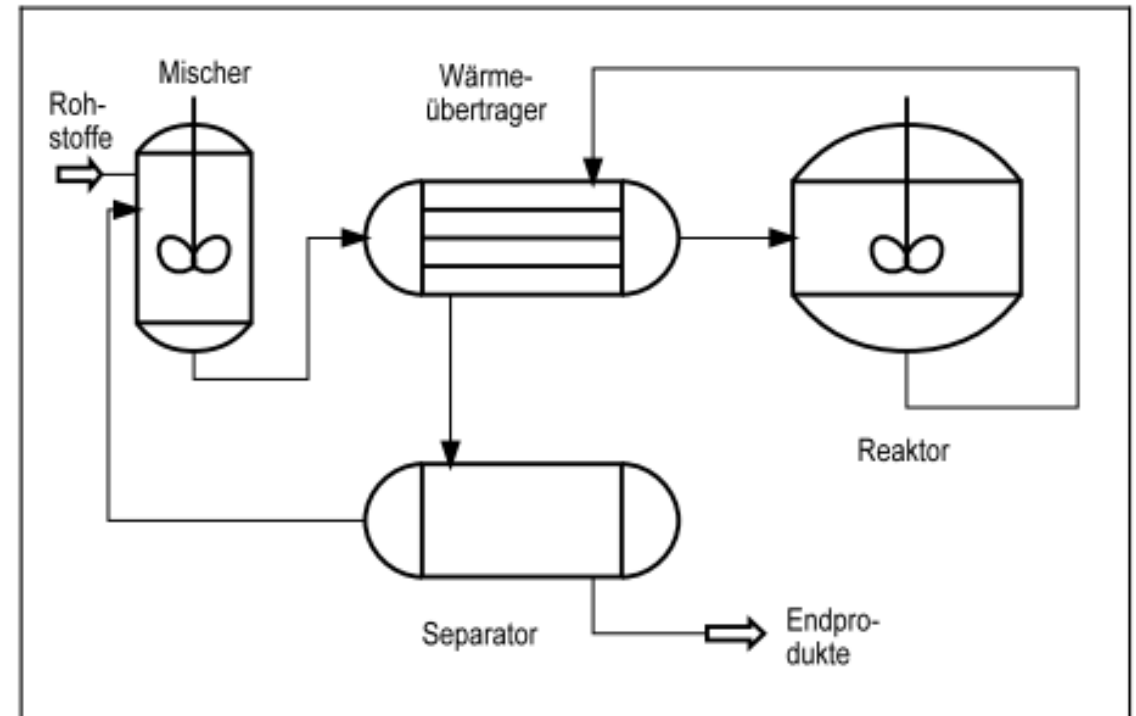
RS: M

M: WÜ

WÜ: R, S

R: WÜ

S: M, EP



(Bildquelle: Klöden, 2008)

Empfehlung für Selbststudium

Klöden, W. (2008). Skript Systemverfahrenstechnik. Technische Universität Dresden, S. 1-4 bis 1-11

Lorenz Biegler; Ignacio Grossmann; Arthur Westerberg. (1999). Systematic Methods of Chemical Process Design. Prentice Hall PTR., S. 25-51



PROCESS CONTROL SYSTEMS **PROCESS SYSTEMS ENGINEERING**

Prof. Dr.-Ing. habil. Leon Urbas
Email: leon.urbas@tu-dresden.de
Telefon: 0351 463 39614

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!