

# Einführung in die Verfahrenstechnik

## *Vorlesung 3*

### Thermische Verfahrenstechnik

WS 2024 / 2025

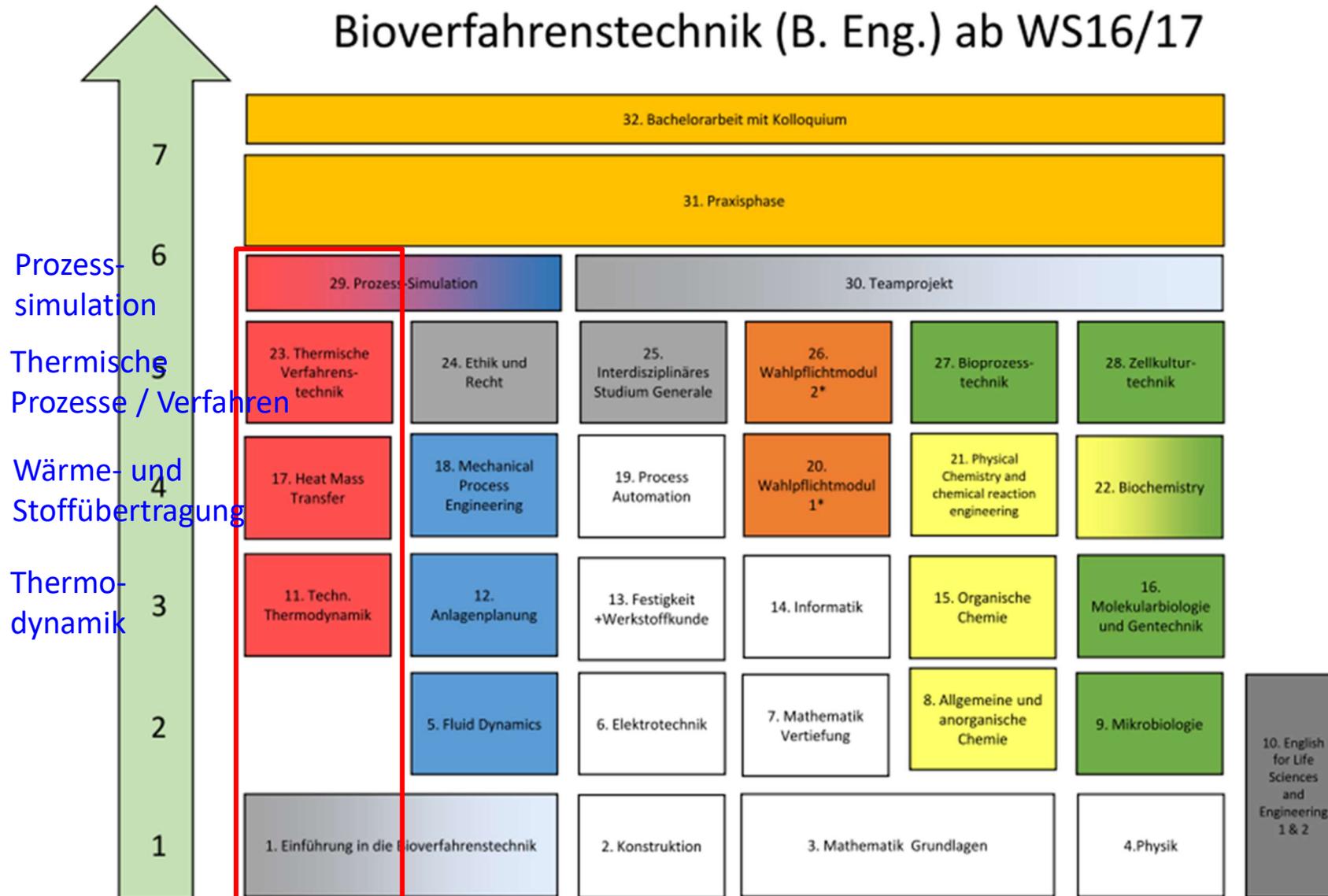
*Claus Fleischer*

## Übersicht Vorlesung Einführung in die Verfahrenstechnik

- Thema 1      Was ist Verfahrenstechnik?  
Einordnung des Studiums
- Thema 2      Bilanzierung – Die wichtigste Methode zur  
Berechnung von verfahrenstechnischen Prozessen
- Thema 3      Was ist „Thermische Verfahrenstechnik“

# Modultafel

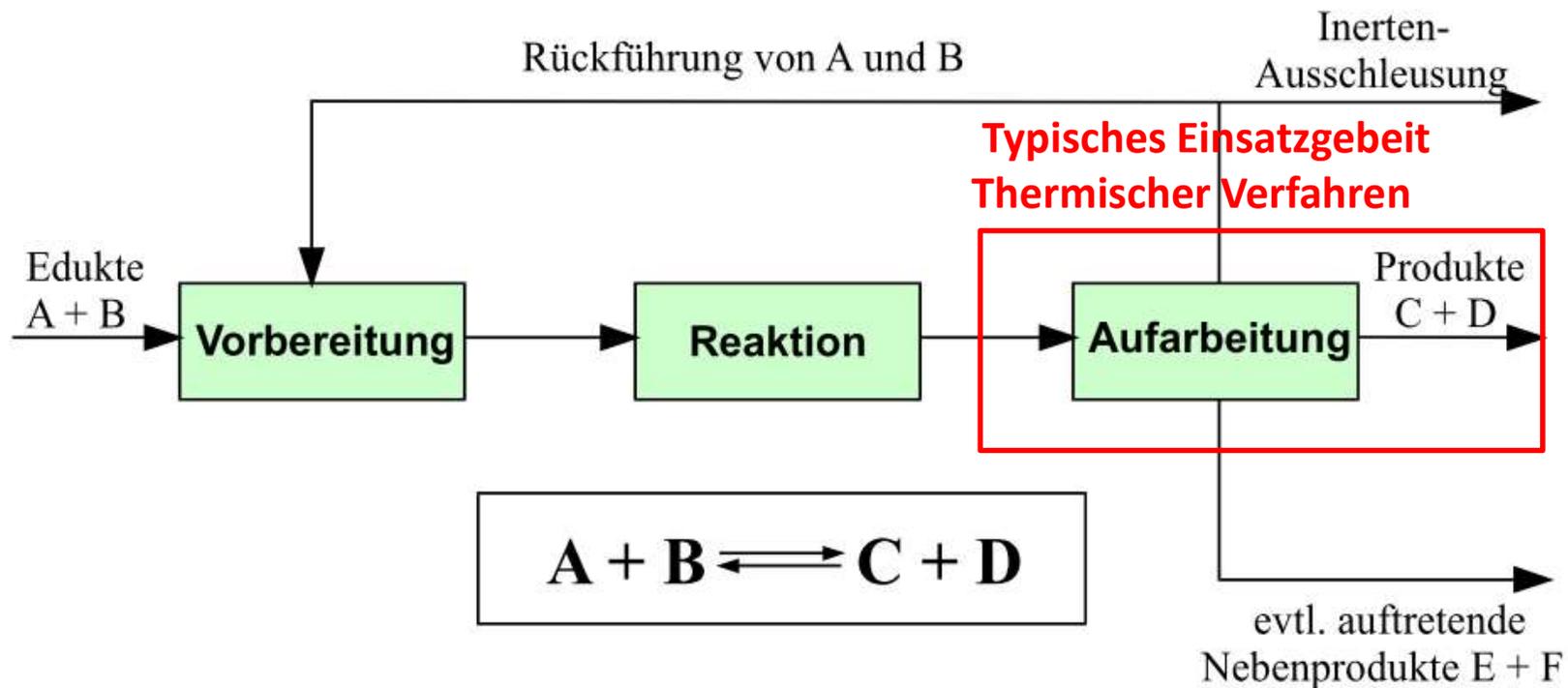
## Bioverfahrenstechnik (B. Eng.) ab WS16/17



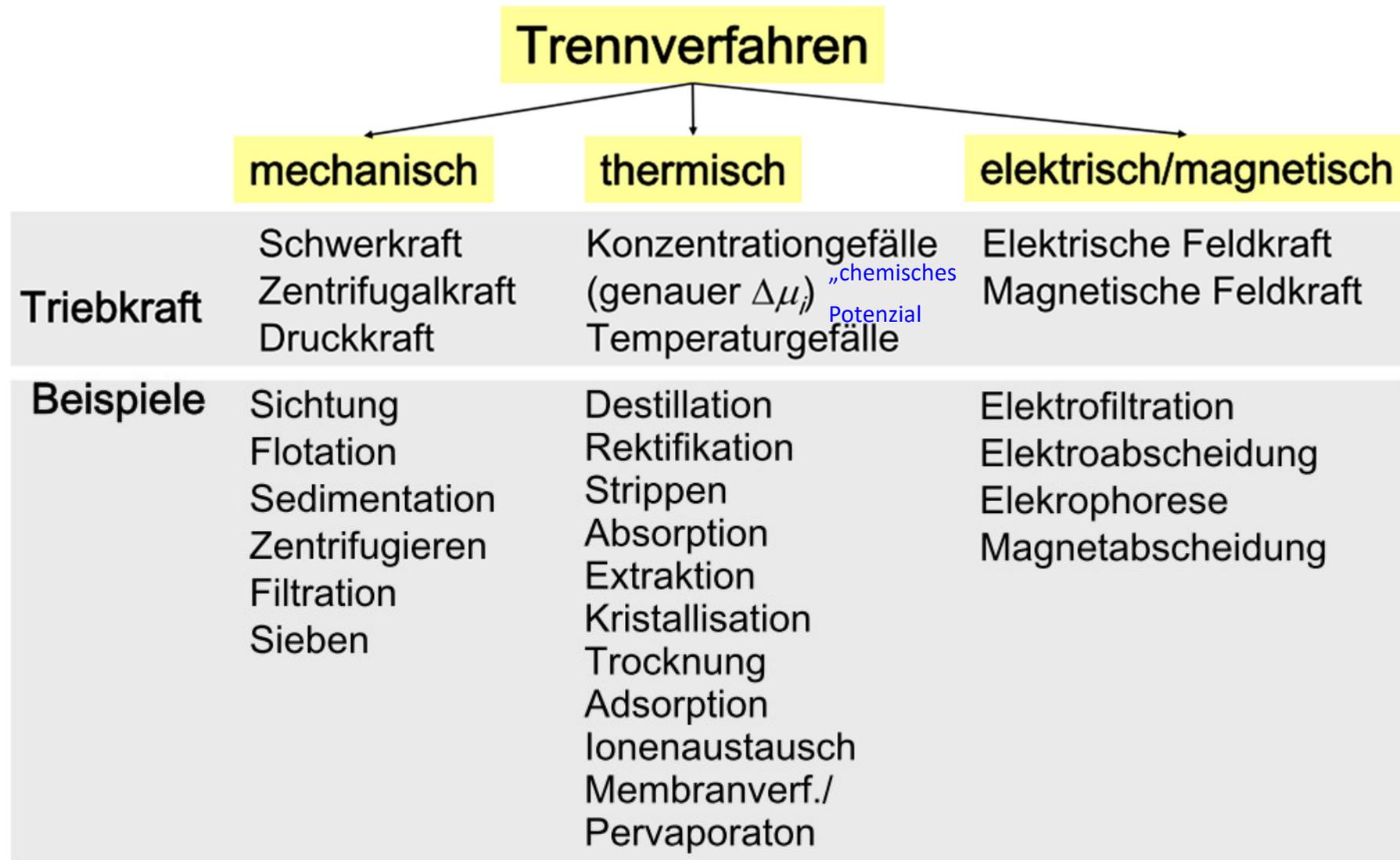
\*Die für den Studiengang vorgesehenen WP-Module werden jedes Semester aus einem bestehenden Modulpool im Fachbereichsrat beschlossen.



## Thermische Verfahren: Einordnung



## Thermische Verfahren: Einordnung und Teilgebiete



## Übersicht Thermischer Verfahren: Prinzip

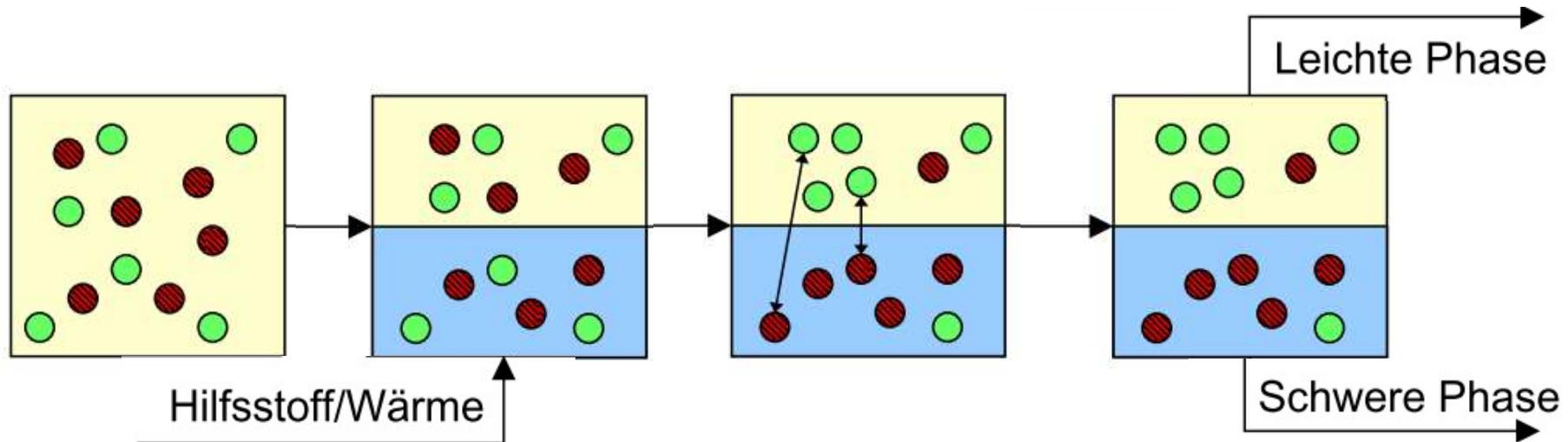
Damit Gemisch getrennt werden kann, müssen eine oder mehrere Komponenten die Phase verlassen, d.h. in eine andere Phase übergehen!

Ausgangs-  
situation:  
Einphasiges  
Gemisch

Erzeugung  
eines  
Zweiphasen-  
systems

Wärme- und  
Stoffaustausch

Phasentrennung  
→  
Gemischtrennung



Phänomene: **Phasengleichgewichte**, **Wärme-** und **Stoffaustausch**, **Fluiddynamik**, Grenzflächenvorgänge, Bilanzen

## Thermische Verfahren: Definition

### Einfache Definition

Trennung fluider Stoffgemische durch Einsatz von **thermischer Energie** oder einem **Hilfsstoff** (zur Erzeugung von **Phasen** und **Konzentrationsgradienten**)

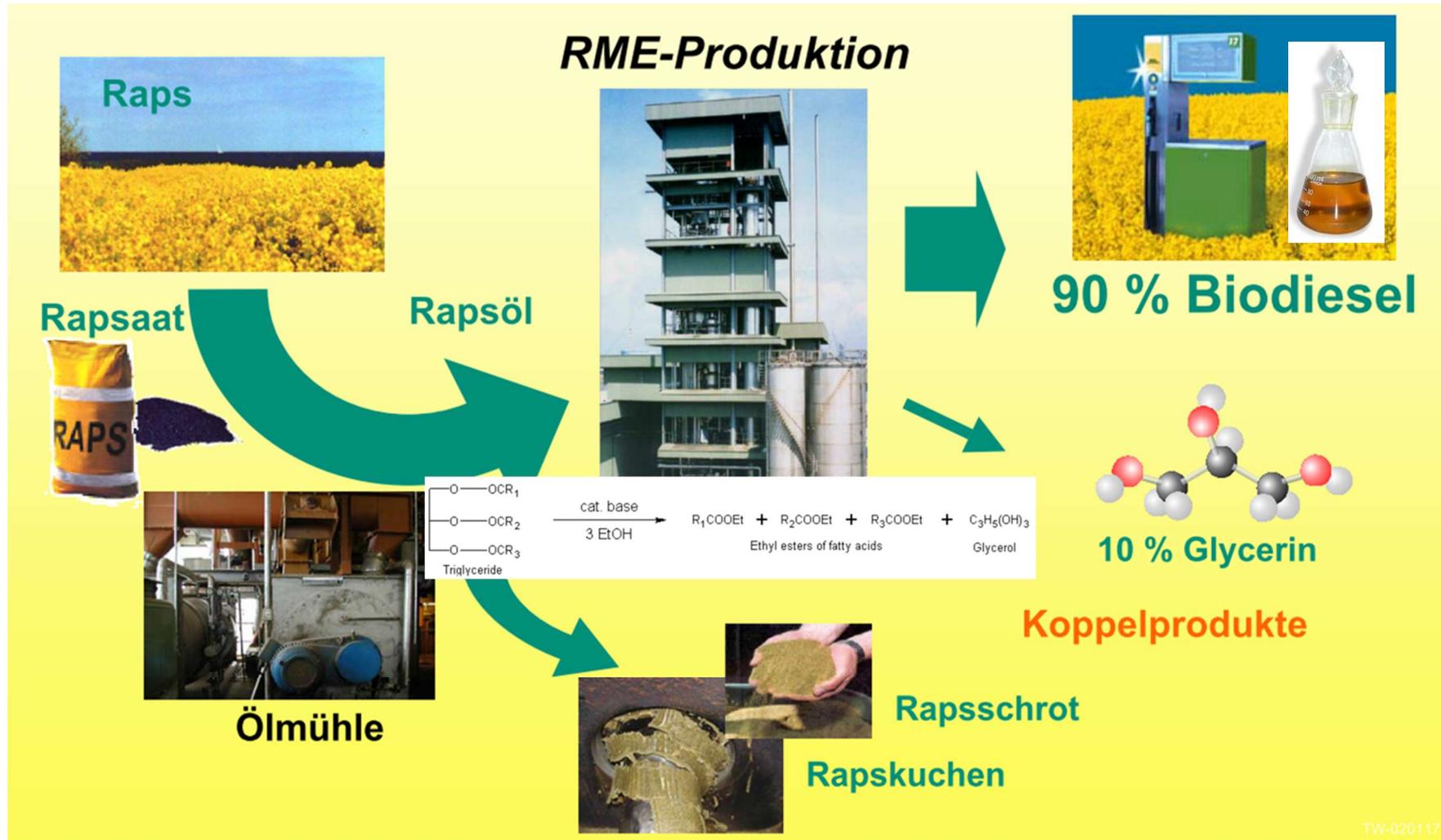
### Detaillierte Definition

Verfahren zu Trennung von Stoffgemischen auf molekularer Ebene durch Erzeugung eines Phasenzufalls in **koexistierende Phasen unterschiedlicher Zusammensetzung**. Meist ist dies mit einer Änderung des Aggregatzustands eines Teils des Gemisches verbunden.

## Thermische Verfahren: Beispiele aus dem täglichen Leben

- Kaffeekochen = Extraktion → Bsp Espresso
- Alkohol-Destillation
- Honig – Kristallisation (Technik: 1 Stoff aus Gemisch)
- Zuckerherstellung – Kristallisation aus Zuckerlösung
- Butterkühler (Verdunstungskühlung im nassen Tongefäß)
- Biofuel

## Beispiel Bio-Diesel

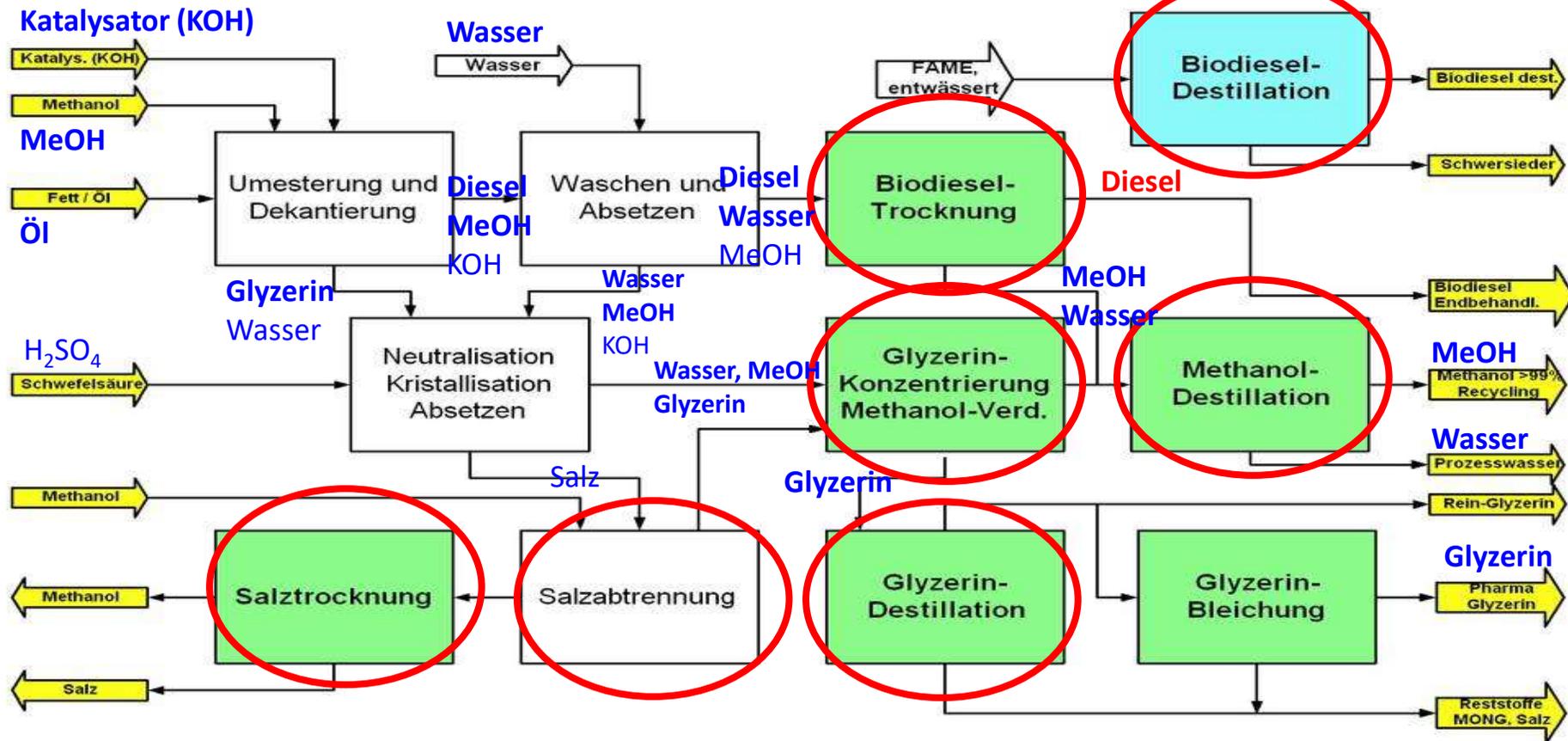


RME = Rapsmethylester

# Beispiel Bio-Diesel - Stoffflussdiagramm / Grundfließbild



## Thermische Verfahren



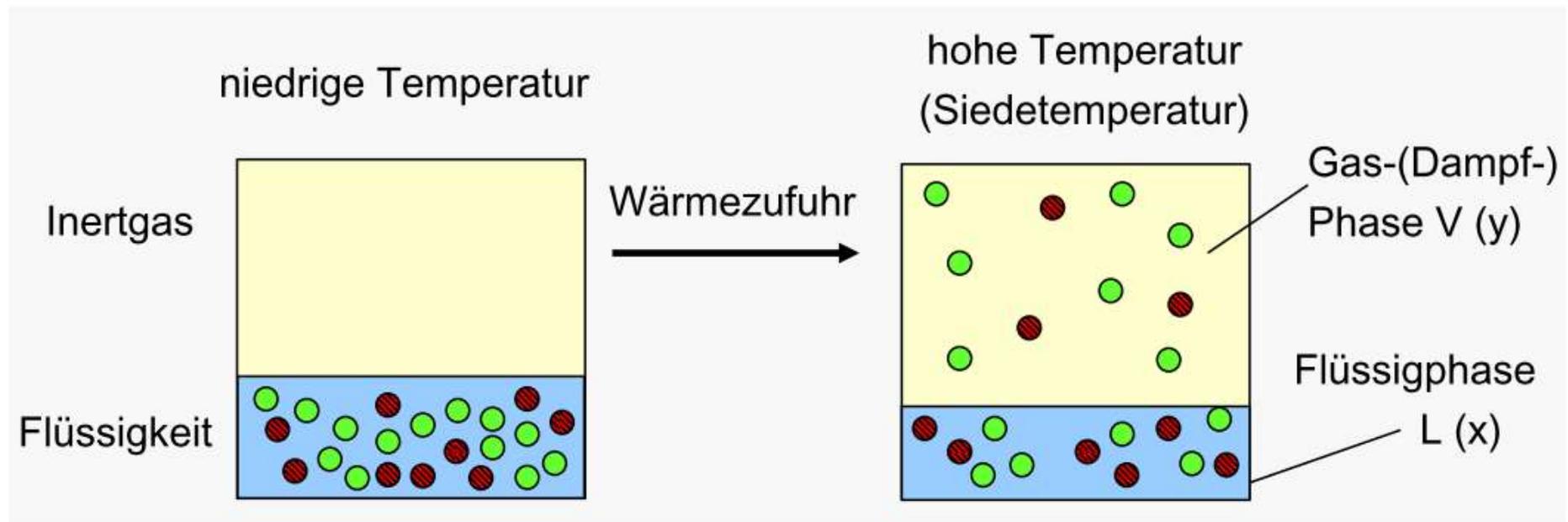
Quelle: Fa. Buss SMS

## Beispiel Bio-Diesel - Grundfließbild (2)

- Das gezeigte Grundfließbild ist „eine“ mögliche Lösung zur Herstellung von Biodiesel
- Es gibt viele Alternativen
- Die Entwicklung solcher Verfahren ist Bestandteil der Teildisziplin „**Verfahrensentwicklung**“
- Aufgabe der Verfahrensentwicklung ist es, eine
  - **technisch** machbare
  - **wirtschaftlich** sinnvolle
  - **ökologisch** vertretbareAlternative zu finden
- Verfahrenstechnik ist eine sehr kreativer Beruf

## Destillation - Grundprinzip

- Moleküle leichter-flüchtige Substanz 1
- Moleküle schwerer-flüchtige Substanz 2



- Flüssigkeitsgemisch wird zum **Sieden** gebracht, leichter-flüchtige Substanz geht bevorzugt in Dampfphase
- Einstufig: KEINE vollständige Trennung der Komponenten möglich

## Destillation - Fachbegriffe

### Bezeichnungen der Apparatur

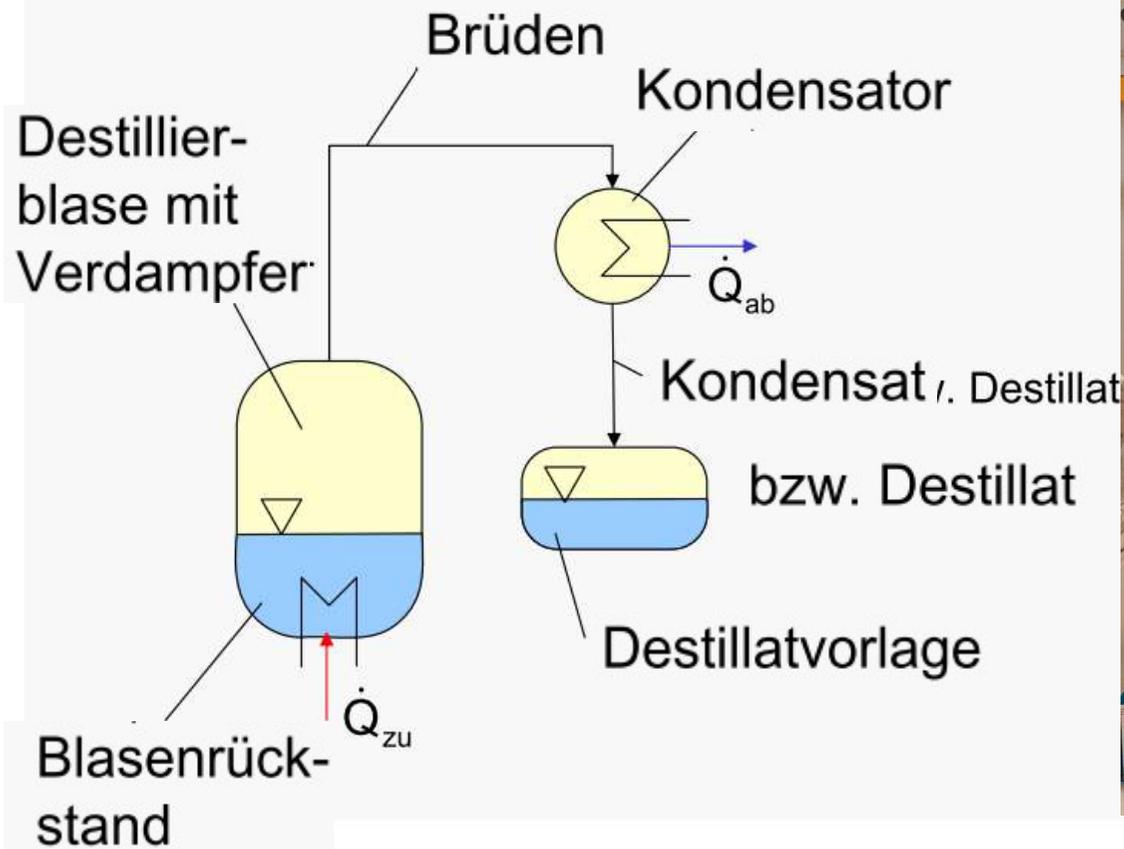
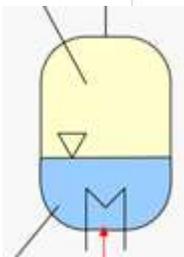


Bild-Quelle: [www.frederikm.de](http://www.frederikm.de)

## Analyse von Dampf- und Flüssigzusammensetzung siedender Gemische (MeOH/IPA) im Labor

Gleichgewichtsdaten aus ASPEN Plus

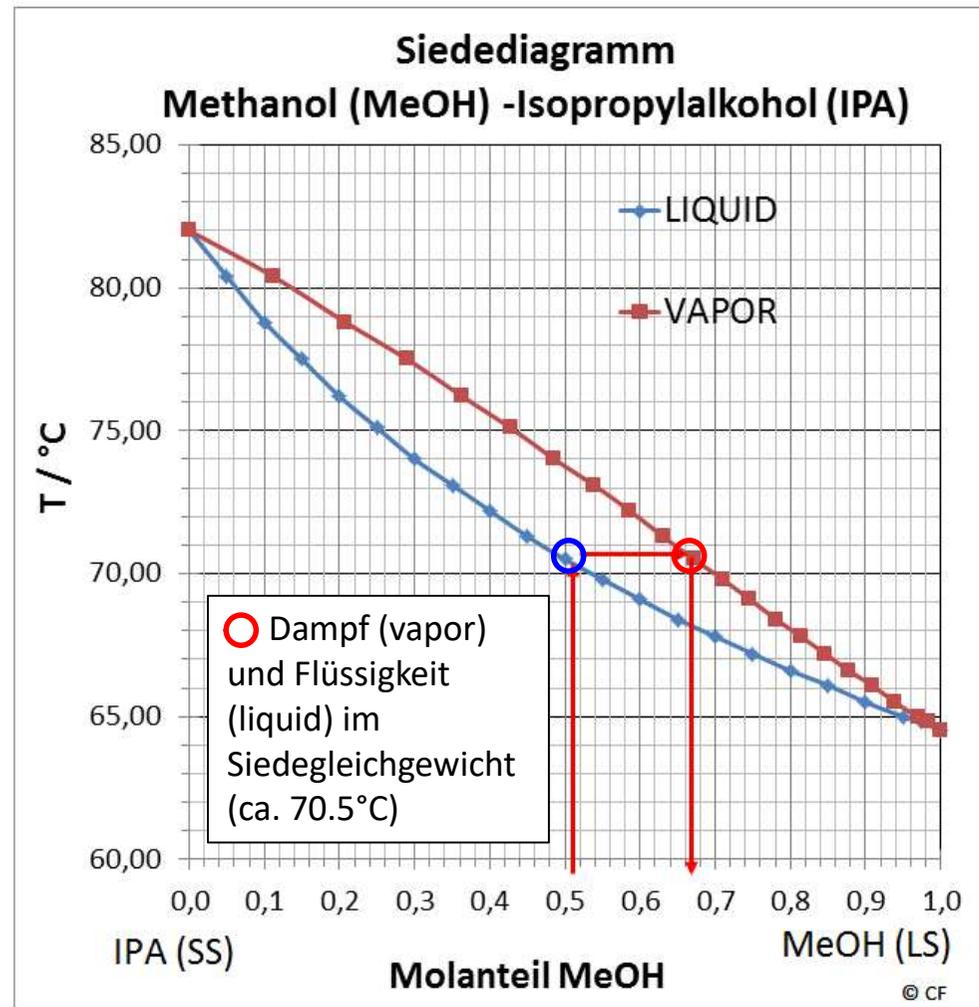
	MOLEFRAC I-Methanol (LS)		MOLEFRAC i-Propanol (SS)		T in °C
	LIQUID	VAPOR	LIQUID	VAPOR	
IPA	0,00	0,00	1,00	1,00	82,00
	0,05	0,11	0,95	0,89	80,40
	0,10	0,21	0,90	0,79	78,80
	0,15	0,29	0,85	0,71	77,50
	0,20	0,36	0,80	0,64	76,20
	0,25	0,43	0,75	0,57	75,10
	0,30	0,49	0,70	0,51	74,00
	0,35	0,54	0,65	0,46	73,10
	0,40	0,59	0,60	0,41	72,20
	0,45	0,63	0,55	0,37	71,30
	<b>0,50</b>	<b>0,67</b>	<b>0,50</b>	<b>0,33</b>	70,50
	0,55	0,71	0,45	0,29	69,80
	0,60	0,75	0,40	0,25	69,10
	0,65	0,78	0,35	0,22	68,40



MeOH = Methanol, IPA = Isopropylalkohol, LS = Leichtsiederkomponente, SS = Schwersiederkomp., Vapor = Dampf, Liquid = Flüssigkeit, T = Temperatur

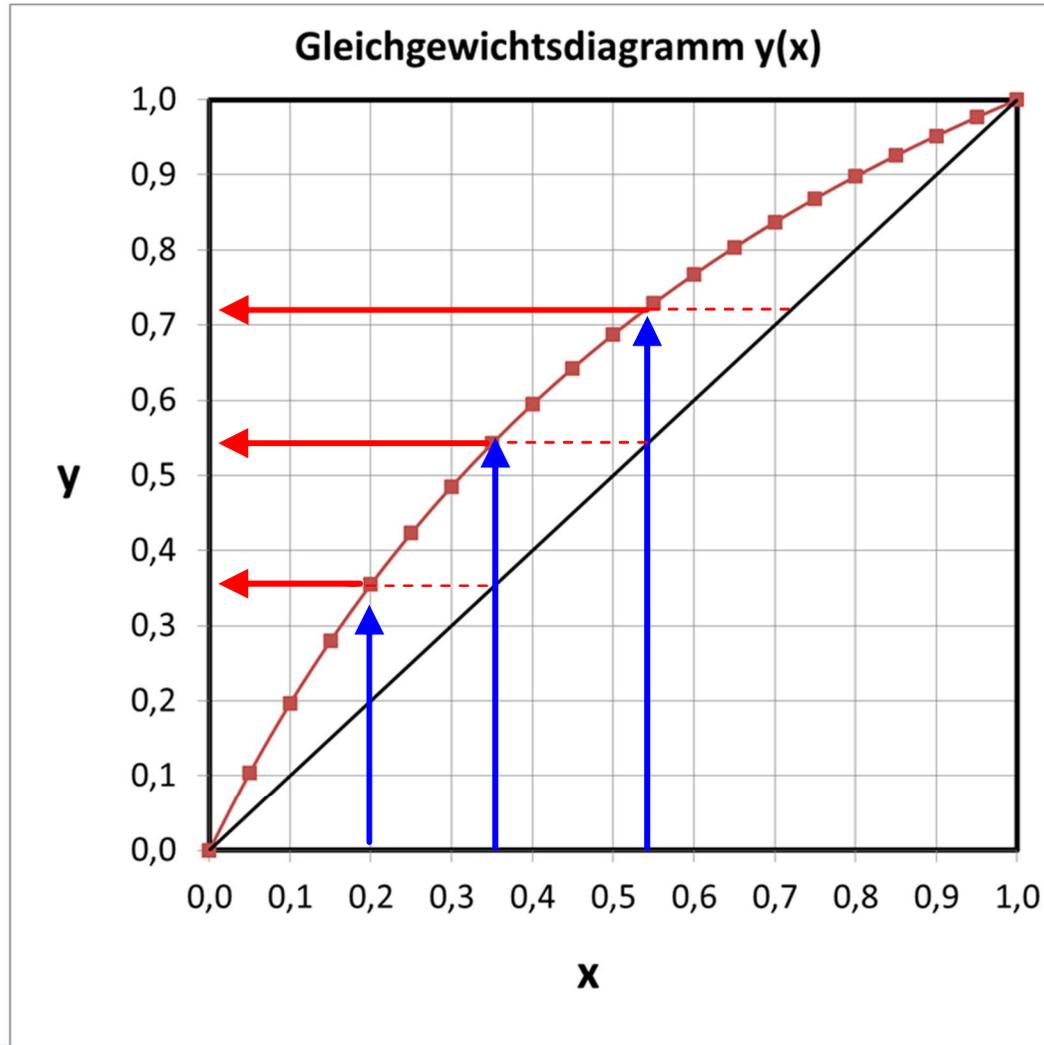
	0,95	0,97	0,05	0,03	65,00
	0,98	0,98	0,03	0,02	64,80
MeOH	1,00	1,00	0,00	0,00	64,50

Gleichgewichtsdiagramm



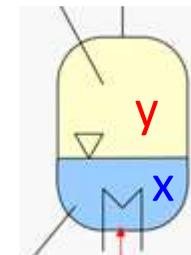
# Gleichgewichtsdiagramm (x-y-Diagramm)

Trennfaktor	
$\alpha$	2,20
x1	y1
0,00	0,00
0,05	0,10
0,10	0,20
0,15	0,28
0,20	0,35
0,25	0,42
0,30	0,49
0,35	0,54
0,40	0,59
0,45	0,64
0,50	0,69
0,55	0,73
0,60	0,77
0,65	0,80
0,70	0,84
0,75	0,87
0,80	0,90
0,85	0,93
0,90	0,95
0,95	0,98
1,00	1,00



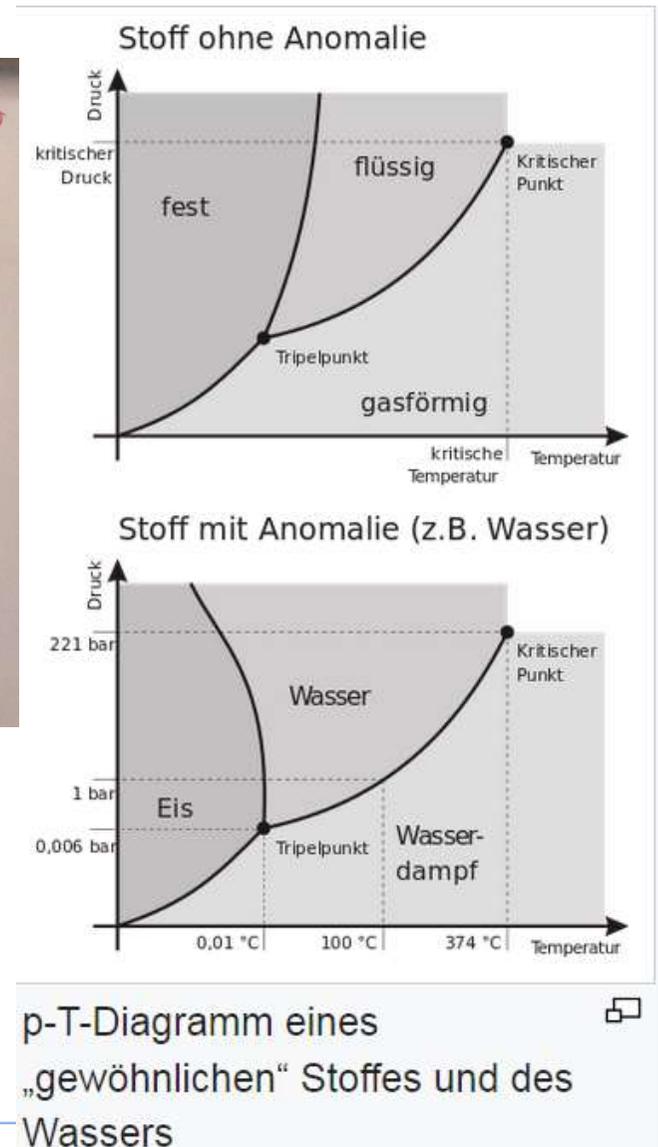
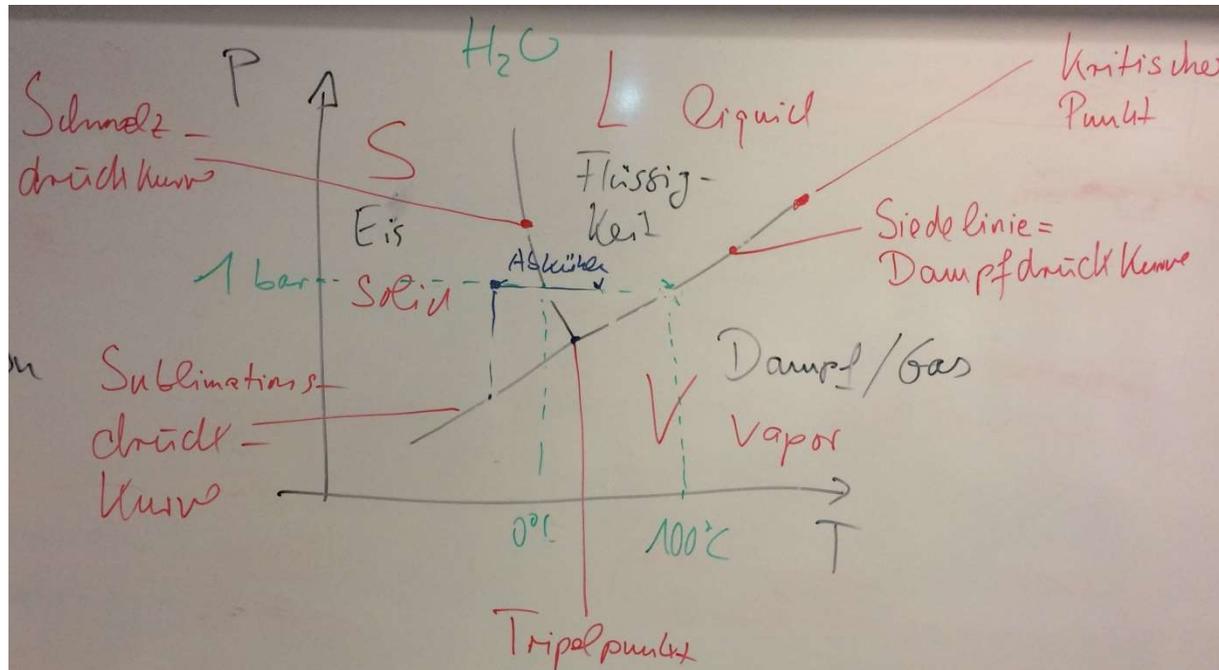
$x$  = Konzentration der Leichtsiederkomp. in der Flüssigkeit

$y$  = Konzentration der Leichtsiederkomp. im Dampf



## Phasendiagramm (p-T-Diagramm)

Quelle: Wikipedia



- Druck  $p$
- Temperatur  $T$
- L = liquid / Flüssigkeit
- S = solid / Feststoff
- V = vapor / Dampf

## Destillation – Typische Fragen

- Wann ist eine Destillation überhaupt geeignet?
- Wie rein kann man bei einstufiger Destillation werden?
- Wie beschreibt man das Dampf-Flüssigkeits-Gleichgew.??
- Wie groß ist die Verdampfungswärme in Abhängigkeit der Gemischzusammensetzung?
- Wie groß sind Wärme- und Kühlbedarf?
- Welchen Einfluß haben die Betriebsbedingungen ( $p$ ,  $T$ ) auf die Trennleistung?
- Wo findet man die notwendigen Stoffdaten?
- *und viele mehr ...*

## Thermische Verfahren: Erster Einblick

- Destillation
- **Rektifikation**
- Absorption
- Extraktion
- Trocknung

## Rektifikation- Grundprinzip

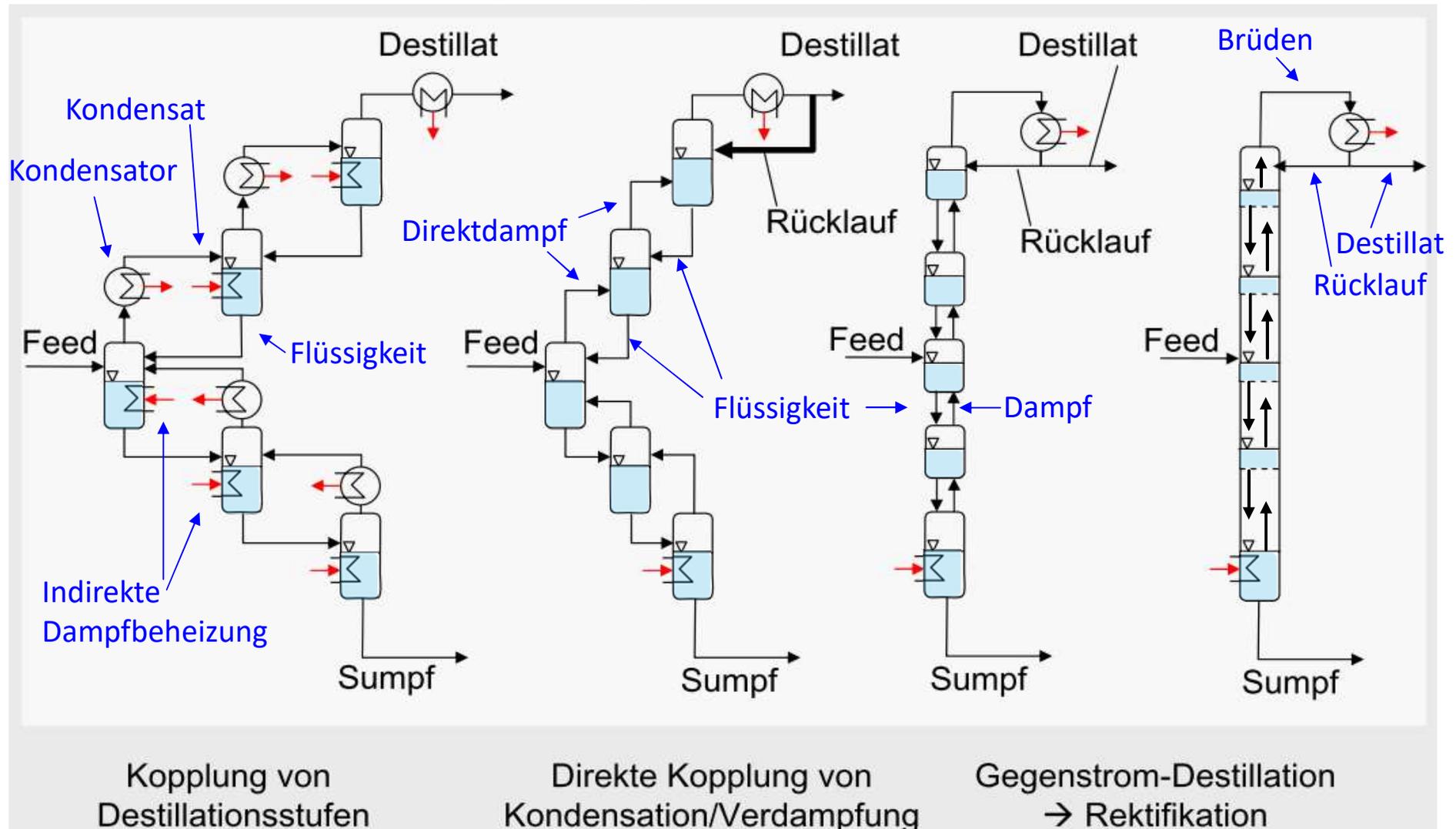
Problem Destillation:

- **Einstufiges** Trennverfahren
- Wegen **Verteilungsgleichgewicht** von **Leichtsieder** und **Schwersieder** zwischen Dampf- und Flüssigphase **keine** Gewinnung der **reinen Komponenten** möglich

Lösungsansatz:

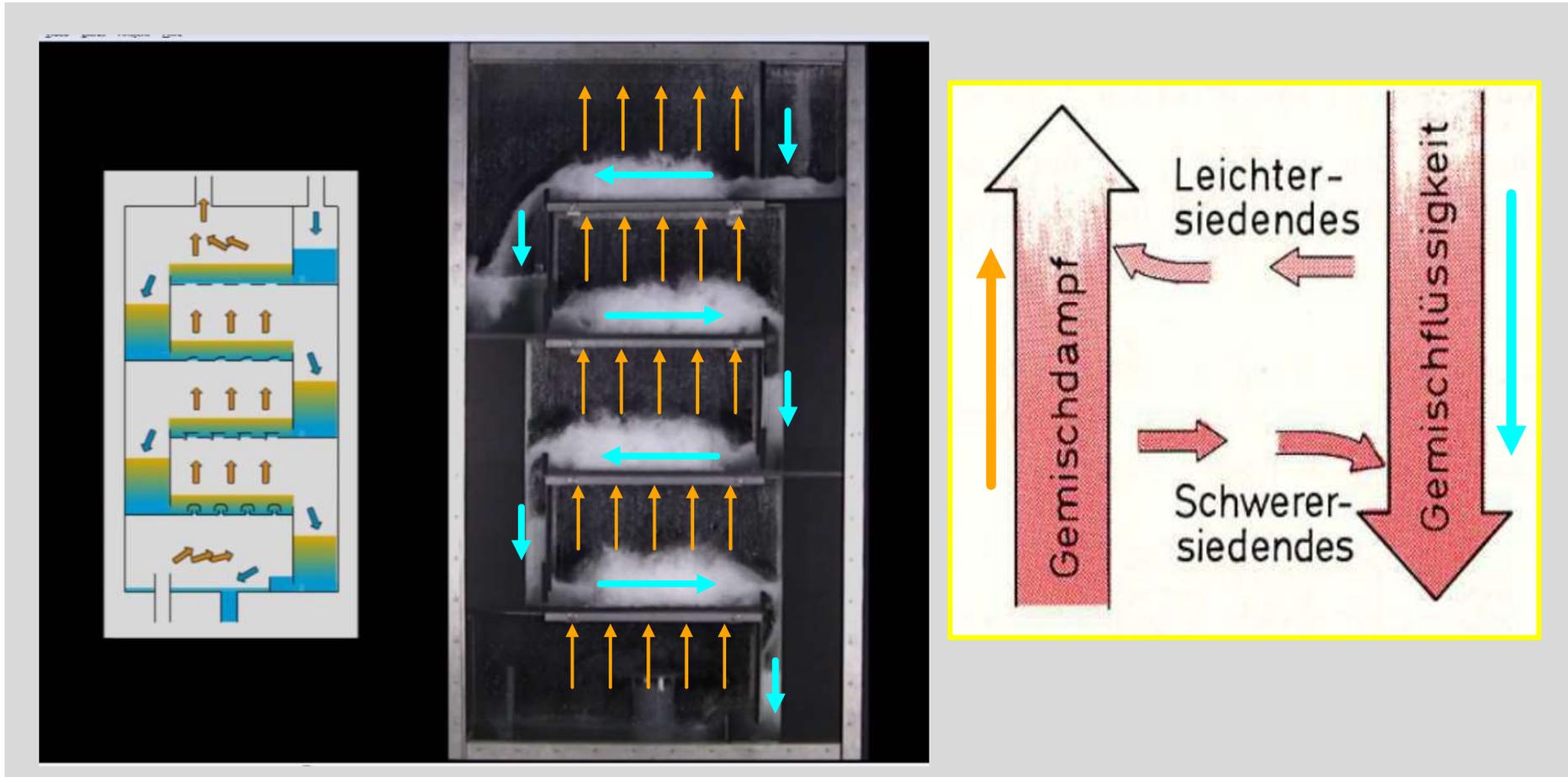
- **Mehrstufige kontinuierliche Destillation = Rektifikation**
- **Beliebige Reinheitsgrade** möglich

## Rektifikation- Grundlagen Gegenstrom-Destillation



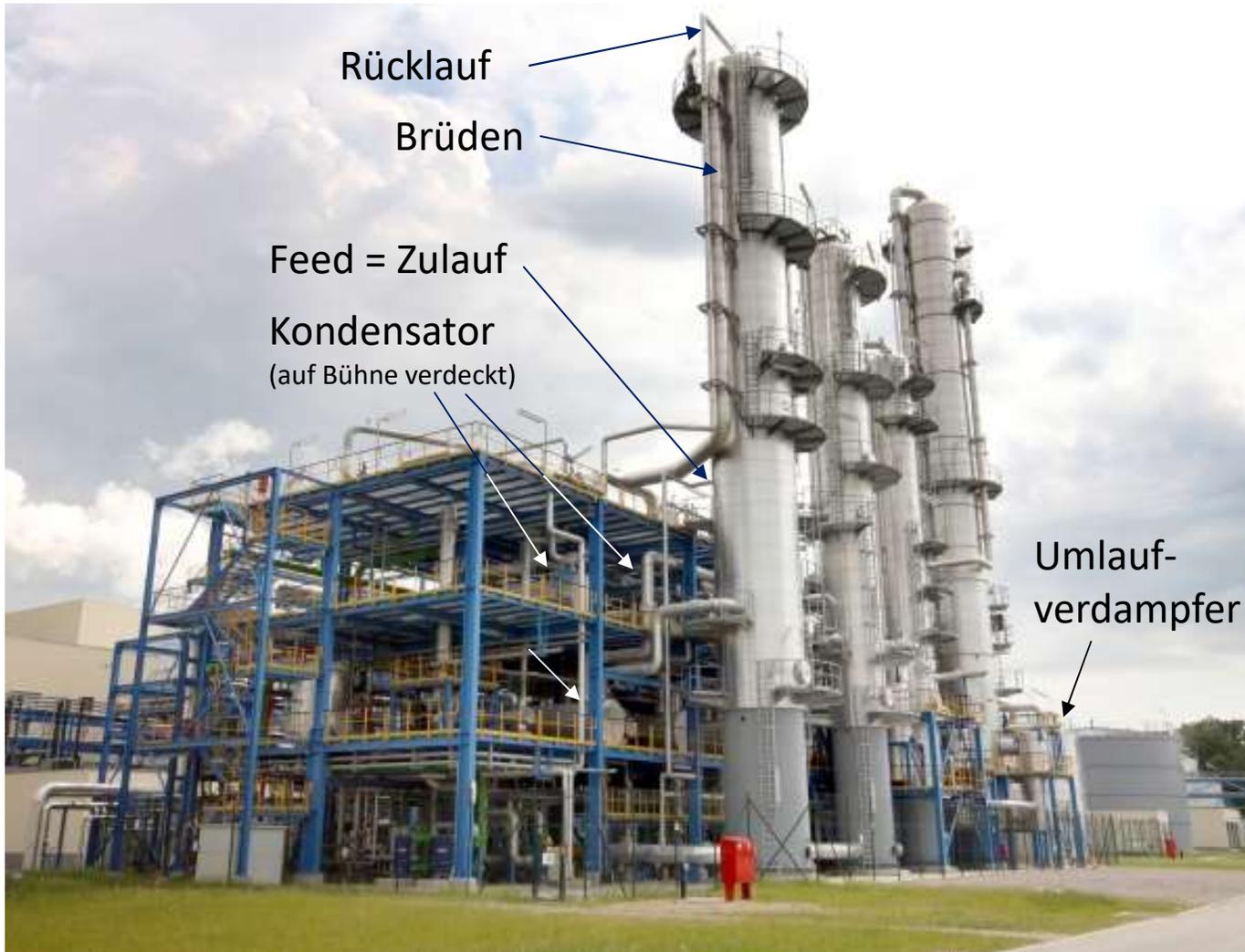
### Mehrstufige kontinuierliche Destillation

## Rektifikation – Funktionsweise Bodenkolonne



[Bodenkolonne im Betrieb](#) [Youtube]

## Rektifikation – Bio-Ethanol-Anlage



- Pischelsdorf (Ö.)
- 190.000 t/Jahr Bioethanol
- 180.000 t/Jahr Futtermittel (Nebenprodukt)

[VIDEO](#)  
[Distillation](#)  
[Tower](#)

Rektifikation Bio-Ethanolanlage von Agrana

[www.agrana.at](http://www.agrana.at)

## BD – Block-Diagramm – Grundfließbild

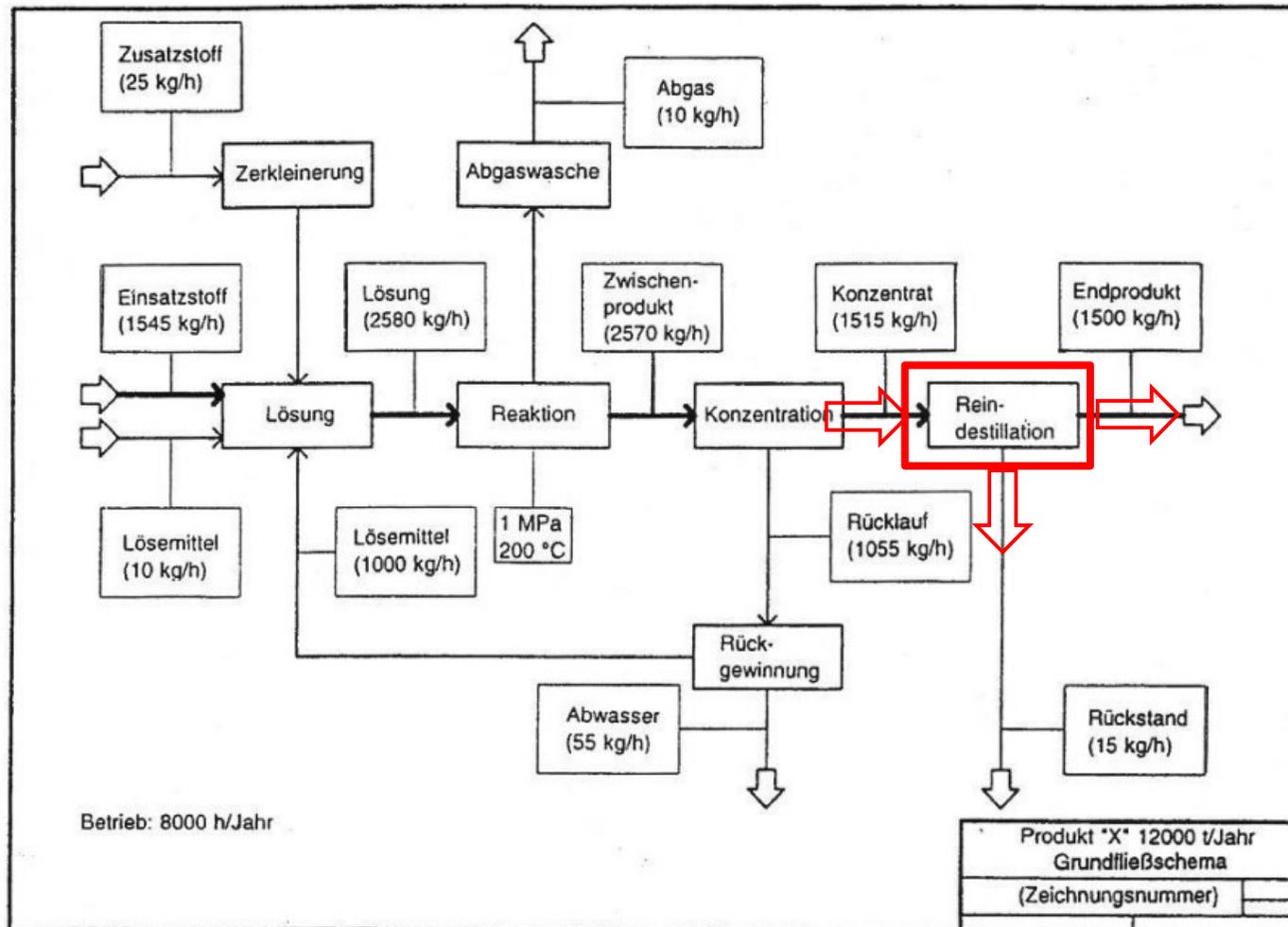
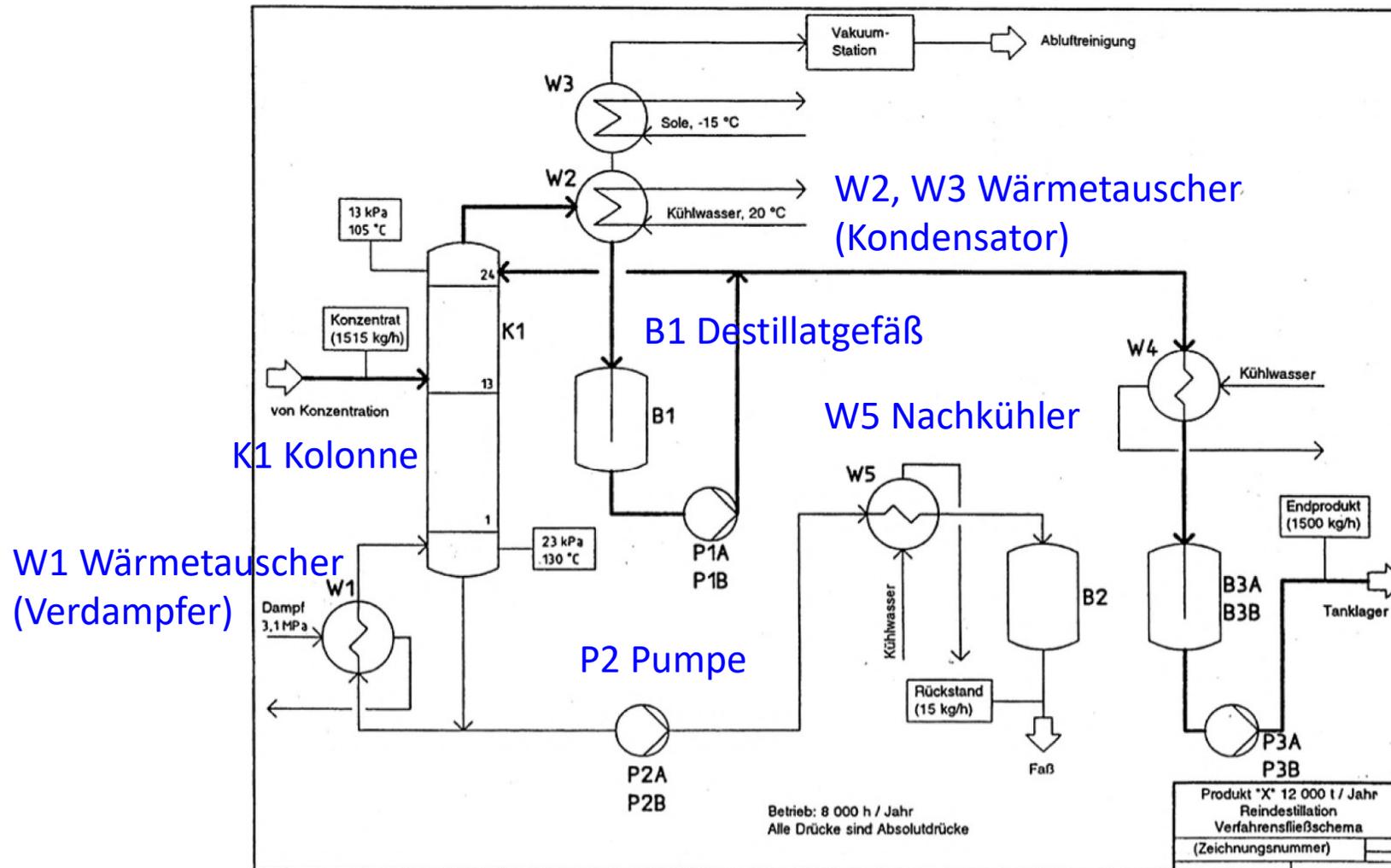


Abb. 3.2 Grundfließschema mit Grund- und Zusatzinformationen [7]

- Weber: Engineering verfahrenstechnischer Anlagen, Springer, 2016.

# PFD – Process Flow Diagram – Verfahrensfliessbild

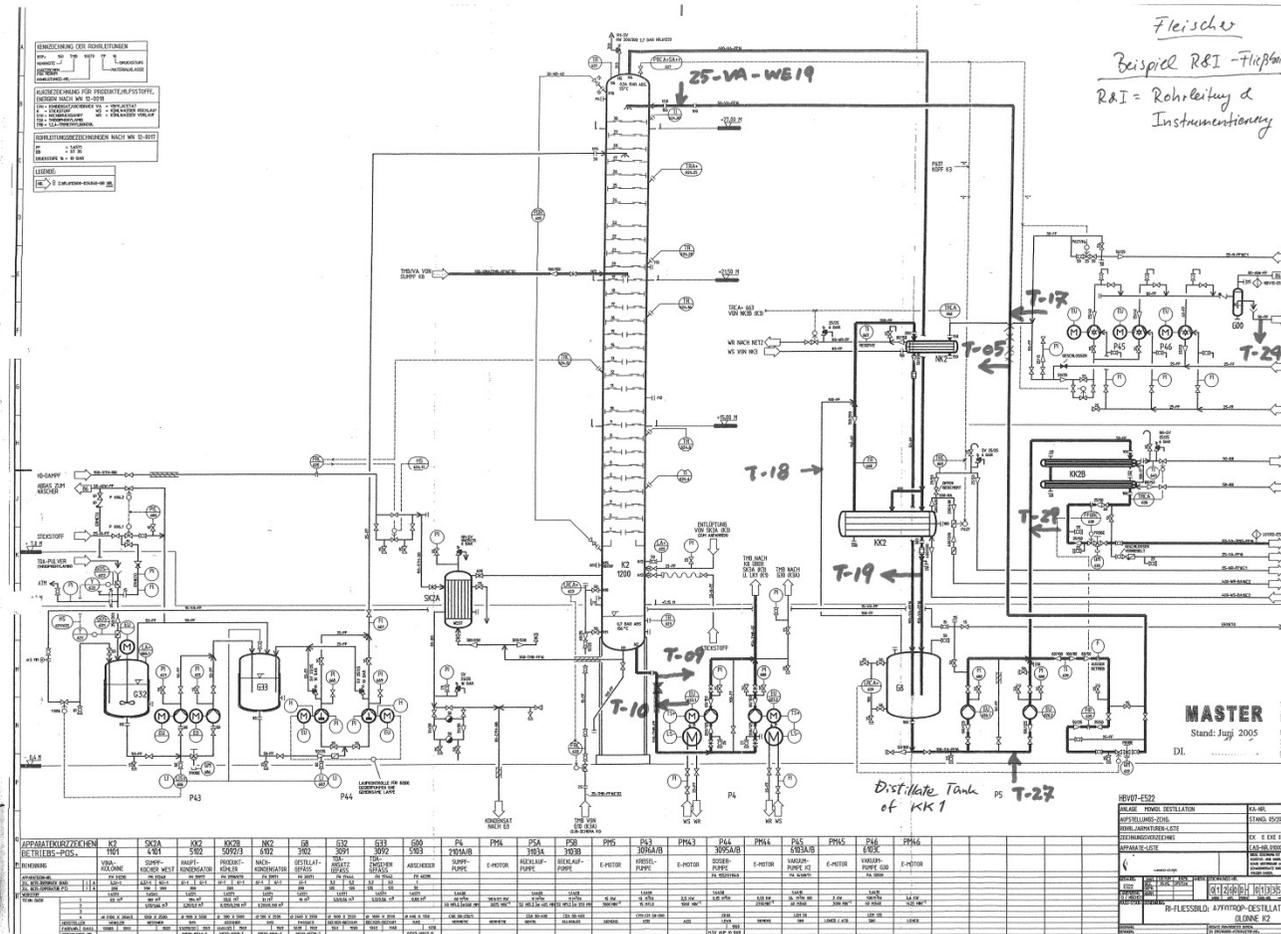


**Abb. 3.5** Einfaches Verfahrensfliessschema mit Grundinformationen [7]

- Weber: Engineering verfahrenstechnischer Anlagen, Springer, 2016.



# PID – Process Instrumentation Diagram R&I Rohrleitungs- und Instrumentierungsdiagramm



Details siehe nächste Seite



## Pipe Layout - Rohrleitungsverlaufsplanung

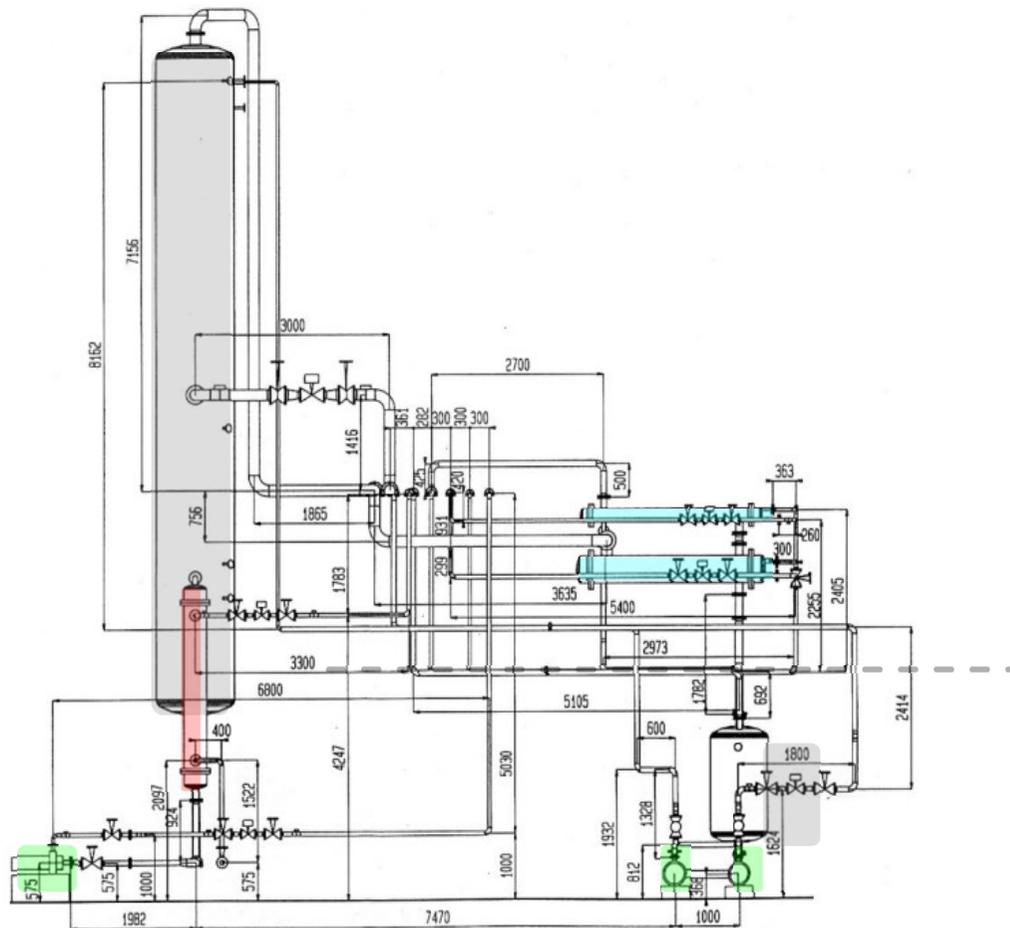


Abb. 7.24 Rohrleitungsplan (Ansicht) einer Destillationsanlage

- Weber: Engineering verfahrenstechnischer Anlagen, Springer, 2016.

## 3D-CAD-Anlagenmodell



**Abb. 7.8** 3D-CAD-Anlagenmodell einer Chemieanlage (Praxisbeispiel)  
Weber: Engineering verfahrenstechnischer Anlagen, Springer, 2016.

## Apparatetechnik: Kolonnenkörper



## Video Rektifikation

### Video



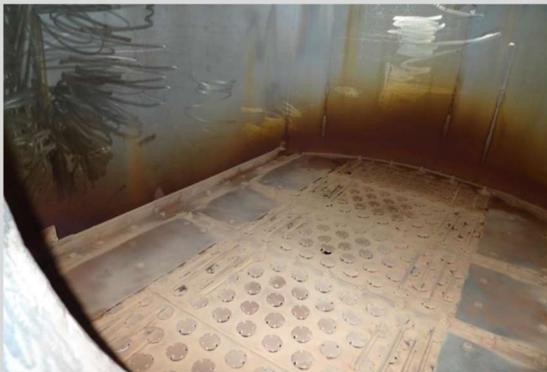
# Rektifikation – Aufbau einer Bodenkolonne

- Trennböden
- Traggerüste für Böden
- Zulauf- und Überlaufwehr
- Ablaufschacht
- Zu- und Abläufe für Edukte und Produkte
- Kolonnenzarge

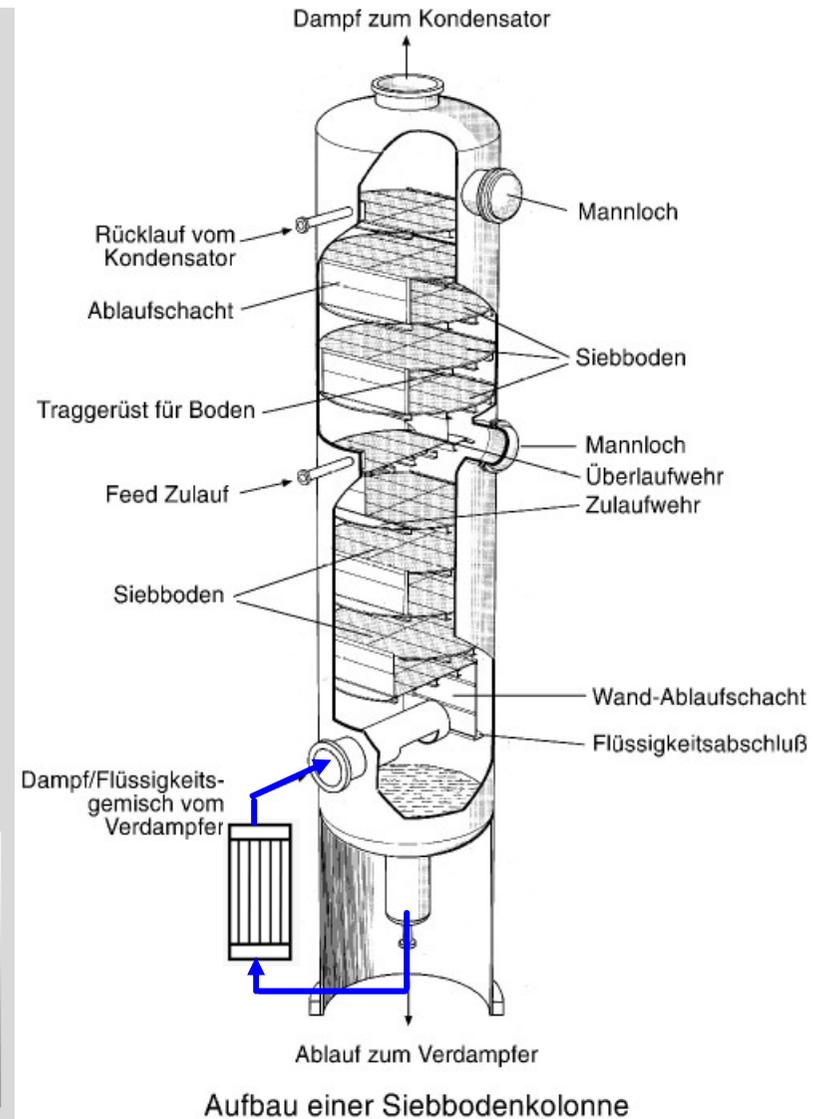
Siebböden



Ventilböden (T-Ventile, teilweise abgedeckt) und Ablaufschacht.



Glockenböden und Ablaufschächte.



# Rektifikation – Aufbau einer Packungskolonnen

Unstrukturierte Packung  
(Füllkörper-Kolonnen)



Extraktions- und Füllkörper-Rektifikationskolonne, © De Dietrich Process Systems GmbH.

Füllkörper



Raschig-Ring,  
Werkstoff:  
Steinzeug, Stahl  
15×15 bis 100×100



Pallring,  
Werkstoff:  
Steinzeug, Metall, Kunststoff  
15×15 bis 50×50



Berl-Sattel  
Werkstoff:  
Steinzeug 15, 25, 50



## Rektifikation – Typische Fragen

- Wie überträgt man die Kenntnisse aus einstufiger Verdampfung auf die Rektifikation?
- Wie rein können Kopf- und Sumpfprodukt werden?
- Wieviele Trennstufen benötigt man für eine geforderte Reinheit?...
- Wieviel Energie wird für die Trennung benötigt?
- Wie dimensioniert man die Kolonne?
- Welche Einbauten gibt es? Wie wählt man aus?
- Was kann schief gehen
- *... und viele mehr ...*