

Entwicklung einer BioEthanol-Fabrik

Studenten:

Hendrik Beckert, Michael Bornschein, Marion Böing,
Anette Hettwer, Alex Kotlovski, Sebastian Hönes,
Miriam Krusch, Benjamin Sperlich

1

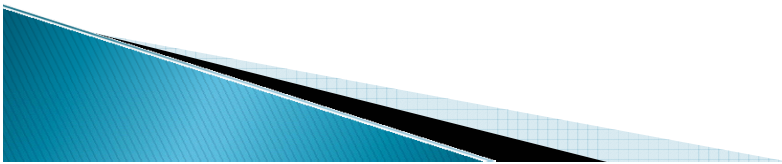
Inhaltsverzeichnis

- ▶ Zielsetzung/Motivation
- ▶ Gruppe1 Materialvorbereitung (Prozess)
- ▶ Gruppe2 Fermentation (Prozess)
(unter Verwendung einer Abgasanalytik zur Steuerung)
- ▶ Gruppe3 Downstream-Processing Aufarbeitung

2

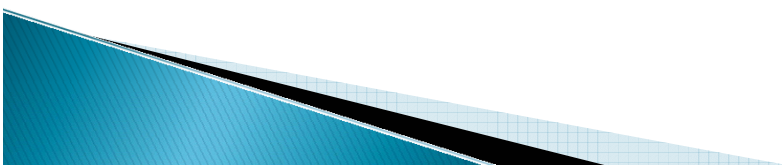
Zielsetzung

- ▶ Profitabilität der BioEtOH-Fabrik
- ▶ Innovativer Fermentationsprozess
- ▶ Produktionsvolumen von 7.920 t/a
- ▶ Ökoeffizienter Prozess (Stoffkreisläufe)



3

Materialvorbereitung



4

Ausgangsmaterial

Zuckerrohr



Getreide



ZUCKERRÜBE



5

Die Zuckerrübe

Zuckergehalt: ca. 18,5%

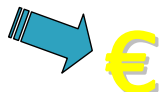
Preis: ~ 26 €/t

Saison: ab September ca. 3-4 Monate

Vorteile:

Schnitzel nach Extraktion + Vinasse nach Fermentation

→ Futtermittel + Düngemittel



Nachteile:

Saisonzeit



6

Zuckerrübenverwaltung

- ▶ Nach Absprache mit Fermentation:
 - ➡ 12 t Zucker täglich benötigt.
 - ➡ 365 Tage = 4400 t/a
 - ➡ 24000 t Zuckerrüben nötig („Saison“)
- Jährlich Kosten für Zuckerrüben:
 - ➡ 624.000 €

7

Größe: 400ha -> ■



8

Anlieferung

Soll: 200 Tonnen pro Tag

→ 5 Lkw-Lieferungen à 40t pro Tag

→ Entfernung wichtig (bei 30km
→ ca.120€ pro Lieferung)

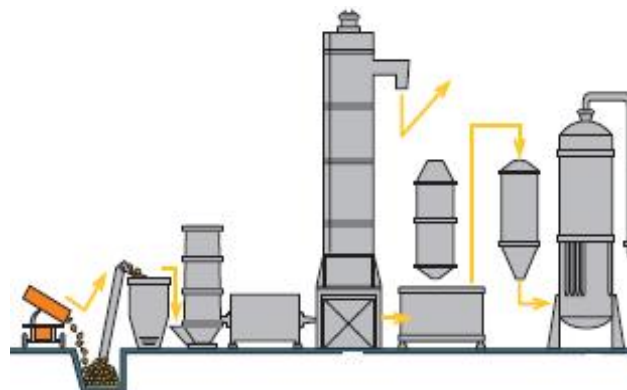
➡ 72.000€/Saison



9

Der Aufbereitungsprozess

- Reinigung der Rüben
- Zerschneiden/Zerhäckseln
- Zuckerextraktion
- Reinigung des Rohsaftes
- Eindicken



10

Die Reinigung

Mechanische Reinigung:

z.B. durch Trockenschmutzabscheider

Wäsche der Rüben in **Waschtrommel!**

NICHT wie rechts im BILD!

Waschtrommel reduziert den Wasserverbrauch!



Herkömmliches Waschverfahren mit enormen Wasserverbrauch!!!!

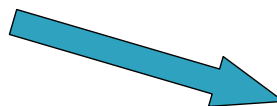
11

Zerkleiern / Zerhäckseln

Trommelschneidmaschine



Sehr leistungsstark → bis zu 10.000 t/d!



Zerkleinerte Rübenschnitzel auf einem Förderband

12

Extraktion

Erhitzen der Masse im **Jet Cooker** auf bis zu 70°C.

Nach leichtem Abkühlen, Hinzugabe der Enzyme zum weiteren Aufschluss im **Extraktionsturm**.



Schnitzelmasse im Extraktionsturm



Die Energie bzw. der benötigte Wasserdampf für den Jet Cooker wird aus einem späteren Prozess zurückgewonnen!

13

Reinigung des Rohsaftes

Reinigung durch Calciumhydroxid

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ kann mit CO_2 aus der Fermentation gefällt werden → Calciumcarbonat

(Verwendung des Fermentationsabgases!)

Filtrieren des Schlammes → Düngemittel



14

Evaporation

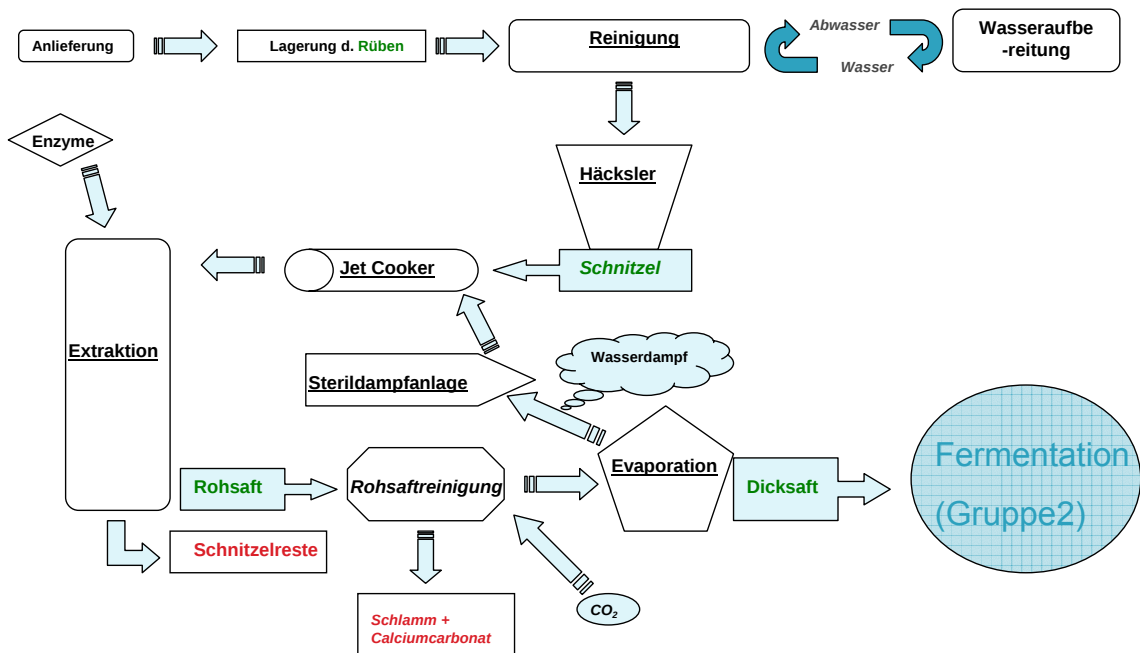
Evaporation des Rohsaftes

- Zuckergehalt wird auf den für die Weiterverarbeitung im nächsten Prozessschritt optimal eingestellt
- Der zurückgewonnene Wasserdampf wird dem Cookingprozess (Jet Cooker) zugefügt



15

Fließschema Materialvorbereitung



16

Energiebilanzen zum Fließschema „Stromverbrauch“

- ▶ Die Anlieferung und die Lagerung der Rüben sind Stromfrei.
- ▶ Eine Vorreinigung erfolgt schon während der Ernte.



17

Energiebilanzen zum Fließschema „Stromverbrauch“

- ▶ Das Rübenwaschhaus
- ▶ → 0,115 kWh/100kg Rüben
- ▶ Wasserverbrauch sehr gering, da Verwendung von Brunnenwasser



18

Energiebilanzen zum Fließschema „Stromverbrauch“

- ▶ Trommelschneidemaschine
- ▶ → 5,4 kWh/200t Rüben
- ▶ Ausgelegt für 10.000t/d



19

Energiebilanzen zum Fließschema „Stromverbrauch“

- ▶ Extraktionsturm
- ▶ → 0,25 kWh/100kg Rüben



20

Energiebilanzen zum Fließschema „Stromverbrauch“

- ▶ Saftreinigung/Verdampfungstrocknung (Evaporation)

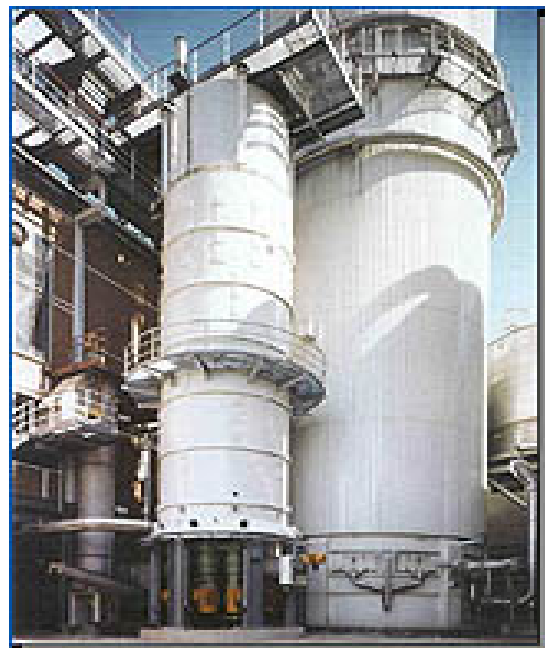
→ 270 kWh/t Rüben



21

Energiebilanzen zum Fließschema „Stromverbrauch“

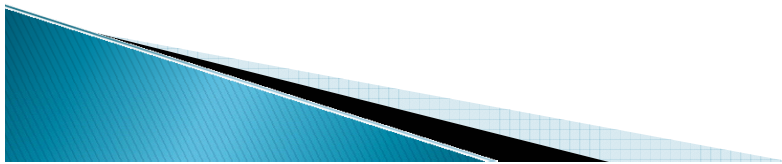
- ▶ Schnitzelpressen
- ▶ → 0,15kWh/100kg Rüben



22

Energiebilanzen zum Fließschema „Wasserverbrauch“

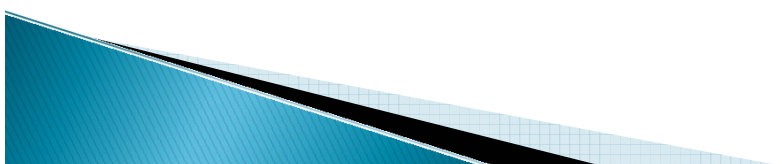
- ▶ Heutzutage wird die Zuckergewinnung ohne den Verbrauch von Frischwasser durchgeführt → Nutzung der Ressourcen.
- ▶ Trinkwasserverbrauch 25,4L/t Rüben



23

Energiebilanzen zum Fließschema „Wasserverbrauch“

- ▶ Abwasser Entstehung ca. 530 Liter/t , welches über eine Abwasserreinigungsanlage gereinigt wird → es fallen ca. 110 m³ pro Tag an
- ▶ Stromverbrauch der Anlage ca. 1 kWh/Kubikmeter



24

Gesamtverbrauch

Anlagen	Strom in kWh	Wasser / Abwasser	Kosten in €
Rübenwaschhaus	0,115 kWh / 100kg	↓	3.900 €
Trommelschneidemaschine	5,4 kWh / Tag		90 €
Extraktionsturm	0,25 kWh / 100kg		8.400 €
Evaporation	270 kWh / t		907.200 €
Schnitzelpressen	0,15 kWh / 100kg		5.040 €
Abwasserreinigungsanlage	1,0 kWh / m ³	110 m ³ / Tag	1.850 €
Sanitäranlagen		25,4 L / t	915 €
Gesamt:	6.617.448 kWh		927.395 €

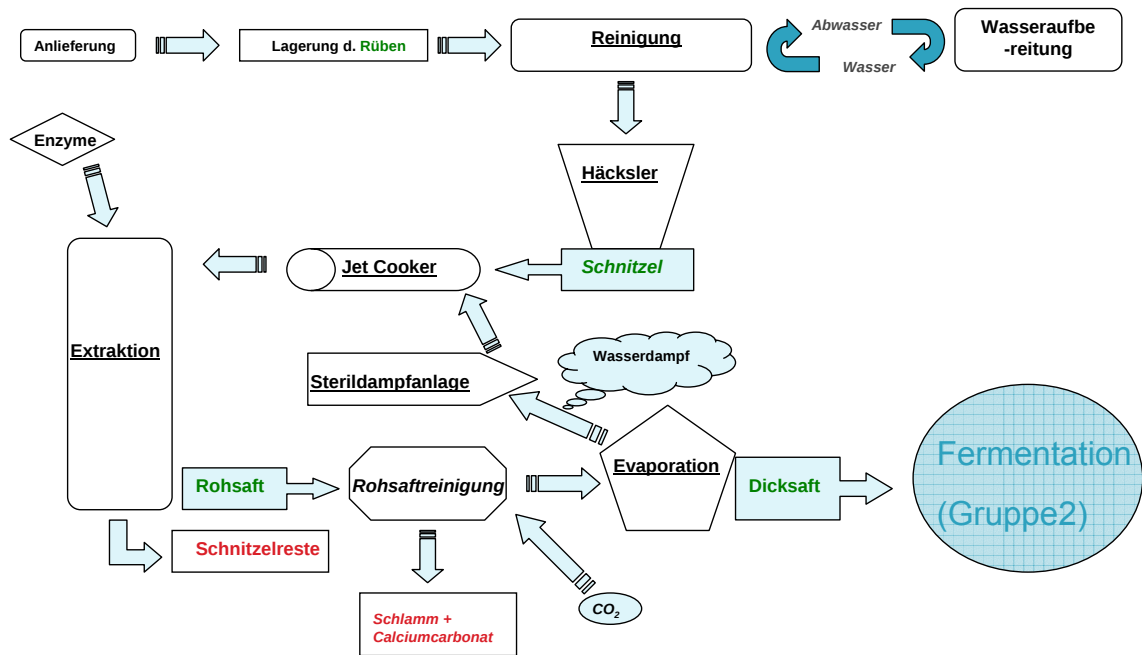
25

Gesamtverbrauch

- ▶ Alle Werte beziehen sich auf:
- ▶ 120 Tage Produktion
- ▶ 200 Tonnen Rüben pro Tag
- ▶ Strompreis von 0,14 € pro kWh
- ▶ Wasserpreis von 1,5 € pro Kubikmeter

26

Fließschema Materialvorbereitung



27

Der Fermentationsprozess

28

Fermentationsprozess – Gliederung

Block 1: Organismus, Stoffwechsel und weitere Grundlagen

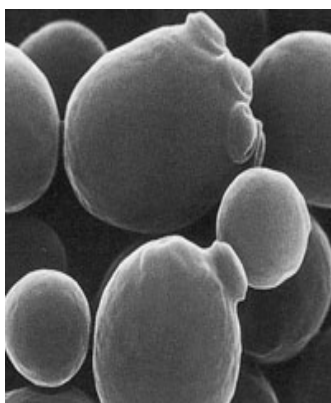
Block 2: Anlage, Fahrweise und CO₂-Regelung

Block 3: Kosten, Ausbeute und Energieströme

29

Biologische Komponenten – Mikroorganismus

Molekularbiologisch selektierter Stamm

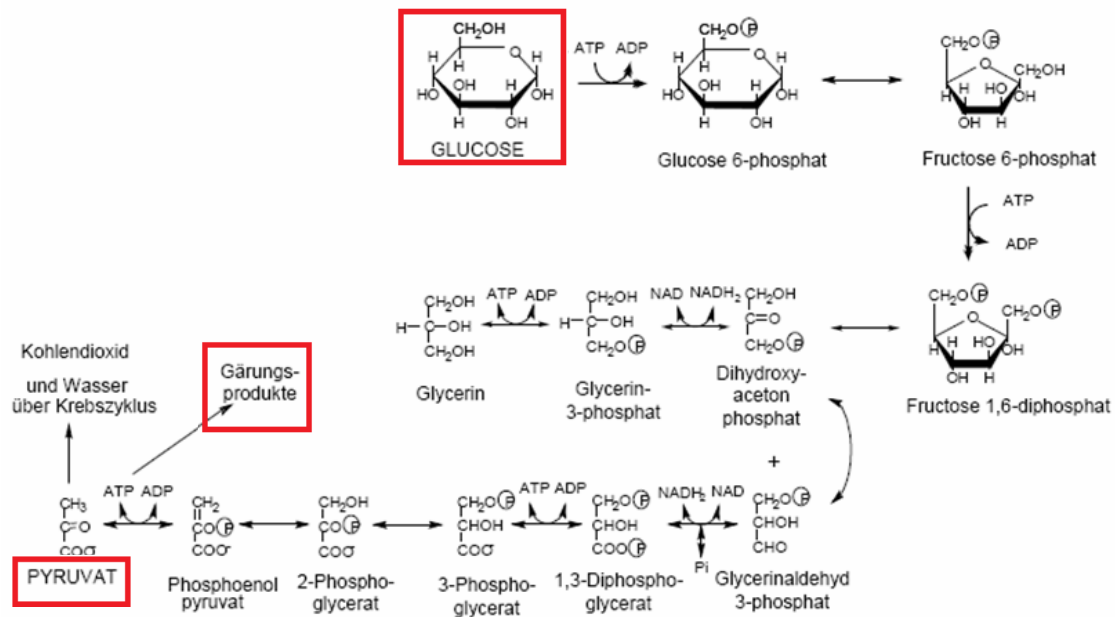


- ▶ fakultativ anaerob
- ▶ wichtigstes Substrat für die Gärung ist Zucker
- ▶ Beachtung des Crabtree-Effekts
- ▶ Wachstumstemp. 28°C
- ▶ Gärungstemp. 32°C

30

GLYCOLYSE

EMBDEN-MEYERHOF-PARNAS-WEG



31

Medium

BATCH

- ▶ Glucose (2%)
- ▶ Hefeextrakt
- ▶ Malzextrakt
- ▶ Ammoniumsulfat
- ▶ Natriumglutamat
- ▶ Ammoniumdi-hydrogenphosphat
- ▶ Kaliumchlorid
- ▶ Magnesiumsulfat
- ▶ Calciumchlorid

FEED

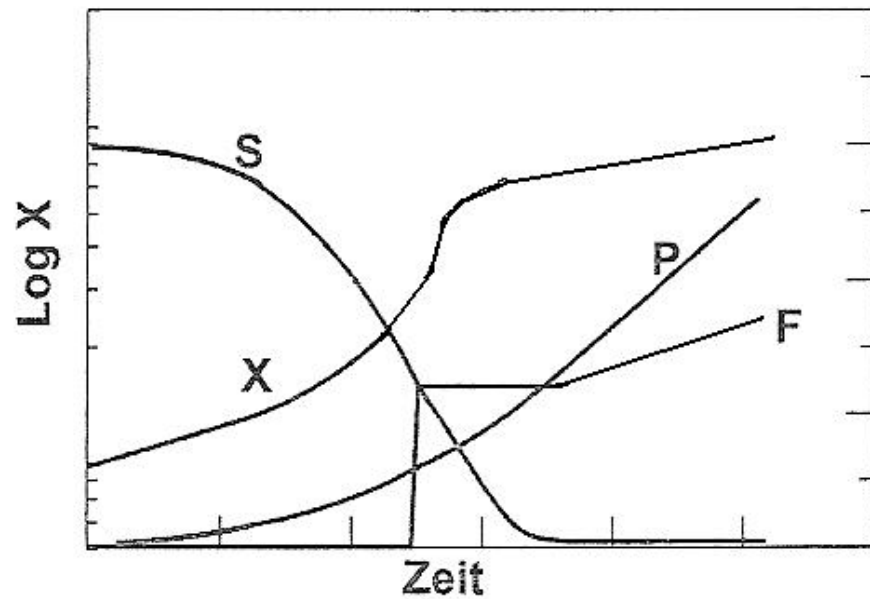
- ▶ Glucose (10%)
- ▶ Kein Kaliumchlorid
- ▶ Kein Calciumchlorid



32

Fed-Batch (anaerob)

- ▶ Zugabe des Feeds nach Abnahme des Substrats



33

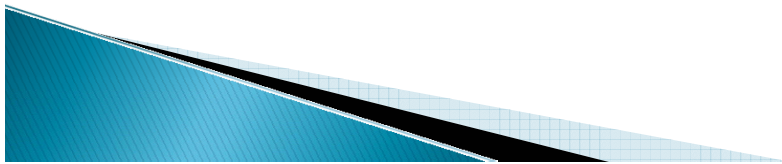
Mögliche Probleme

- ▶ Ethanoltoleranz
- ▶ Verstoffwechselung EtOH (Death-Phase)!!!
- ▶ Durchmischung
- ▶ Scherkräfte (Stress)
- ▶ Crabtree-Effekt

34

Crabtree-Effekt

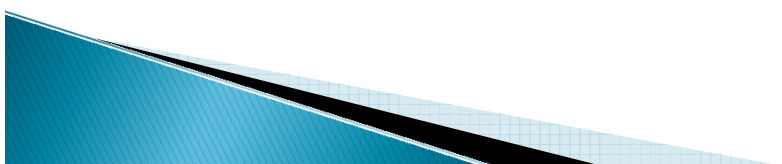
- ▶ Grenzwert: 100mg/l Glucose
- ▶ Hemmung des Wachstums durch Inhibition respiratorische Gene im MiO
- ▶ Ethanol wird aerob synthetisiert
- ▶ Für anaerobe Gärung nicht relevant



35

Anlagenkonstruktion

- ▶ Volumen: 5 Fermenter mit je 300m³
- ▶ Befüllung: 200 m³ pro Fermenter
- ▶ pH, Feed, Antischaum, OD;
- ▶ CO₂- Messung mit BlueSense Messgerät zur Bestimmung des EtOH- Gehaltes



36

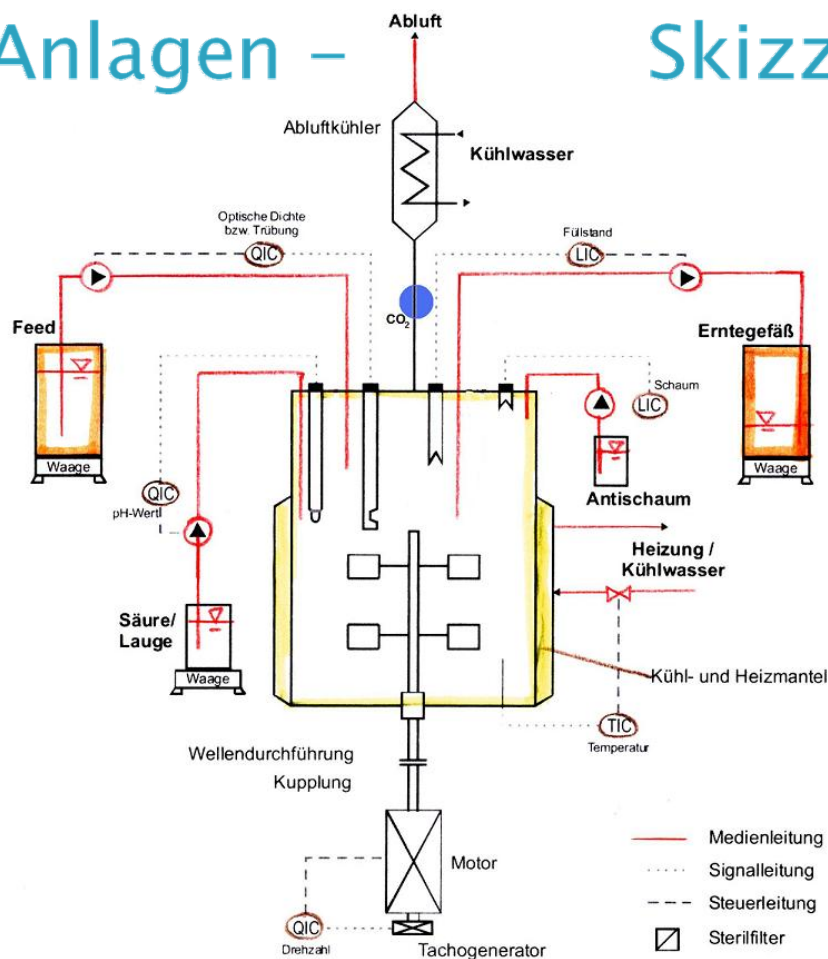
Gesamtablauf der Fermenterkette

- ▶ 5 Fermenter gleicher Bauart
- ▶ Alternierender Fermentationsstart ermöglicht dauerhafte Produktion
- ▶ Nachteil: Reinigung und Wartung an Wochenenden und Feiertagen teurer

	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag	Montag	Dienstag	Mittwoch
1										
2										
3										
4										
5										

37

Anlagen – Skizze



38

Scale-Up

Probleme bei der Maßstabsvergrößerung:

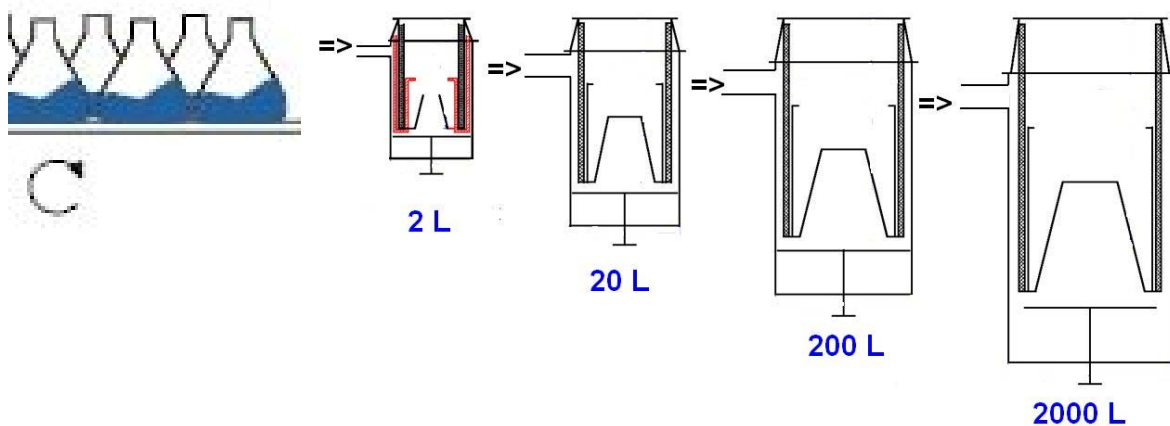
- ▶ Verlangsamte Wärmezufuhr- & Abführung
- ▶ Schlechtere Durchmischung
- ▶ Veränderte Misch- & Dosierzeiten
- ▶ andere Chemikalienqualitäten

Berechnungen im Vorfeld:

- ▶ Verfügbarkeit und Preise der Chemikalienqualitäten
- ▶ Alternative Prozessschritte, besonders bei der Aufarbeitung
- ▶ Thermische Sicherheit der Reaktionen

39

Einmaliger Scale-Up



40

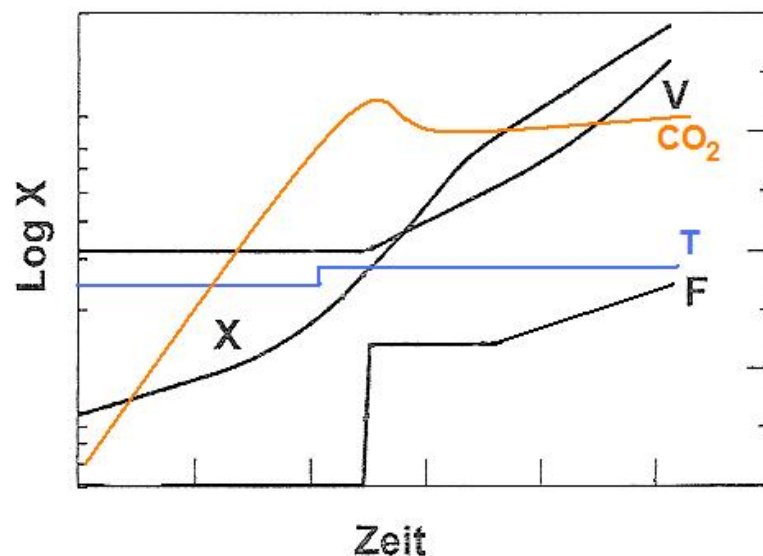
Starter-Kultur

- ▶ Animpfung aus Starter-Kultur mit 200 Litern (1:1000 Maßstab)
- ▶ Züchtung der Starter-Kultur aus 200ml Schüttelkolben
- ▶ Inokkulum Aufbewahrung bei -18°C

41

CO₂- Regelung

- ▶ Blue-Sens-Gerät (größere Auslegung)
- ▶ Feed-Steuerung über CO₂-Konzentration



42

Ausbeute (Pro Fermentation)

Volumen der Fermentationsbrühe

- ▶ 200.200L (Durch Starter-Kultur, Batch und Feed)

Ethanol

- ▶ Umsatz: max. 15% → 30.000 L EtOH

Hefeextrakt

- ▶ Ca. 15 % Trockenmasse → 30.000 kg

43

Medium-Kosten am Tag

Stoff	Batch	Feed	Starter-Kultur	Gesamt-masse in kg	Kosten pro kg	Kosten
Glucose	2.000	10.000	0,20	12.000		
Hefeextrakt	300	300	0,60	601	Eigenproduktion	
Malzextrakt	300	300	0,60	601	6,30	3.784
Ammoniumsulfat	500	700	1,00	1.201	3,00	3.603
Natriumglutamat	500	500	1,00	1.001	5,00	5.005
Ammoniumdihydrogenphosphat	320	190	0,64	511	7,00	3.574
Kaliumchlorid	150		0,30	150	7,00	1.052
Magnesiumsulfat	75	100	0,15	175	6,50	1.138
Calciumchlorid	10		0,02	10	3,50	35

Gesamtkosten: 18.192€

44

Kosten pro Tag

Parameter	Preis pro m ³ / kWh	Kosten
Medium	90,50€	18.192€
Wasser (Fermentersterilisation, Sanitäre Anlagen, Reinigung, Labor)	1,50€	600€
Strom (Heizung, Fermenter, Kühlkreislauf)	0,14€	100€
GESAMTKOSTEN		<u>19.492€</u>

45

Sonstige Kosten

- ▶ Unterhalt eines Labors
- ▶ QM
- ▶ PR
- ▶ Personal
 - Labormitarbeiter
 - Lageristen
 - Management
 - Wartung- und Instandhaltung



46

Nebenprodukte

- Diacetyl
 - α -Acetylmilchsäure
 - α -Acetohydroxybuttersäure
 - Pentandion
 - Acetoin
- n-Propanol
Isobutylalkohol
Isoamylalkohol
Optisch aktiver Amylalkohol
Phenylethanol

47

Downstream-Processing

48

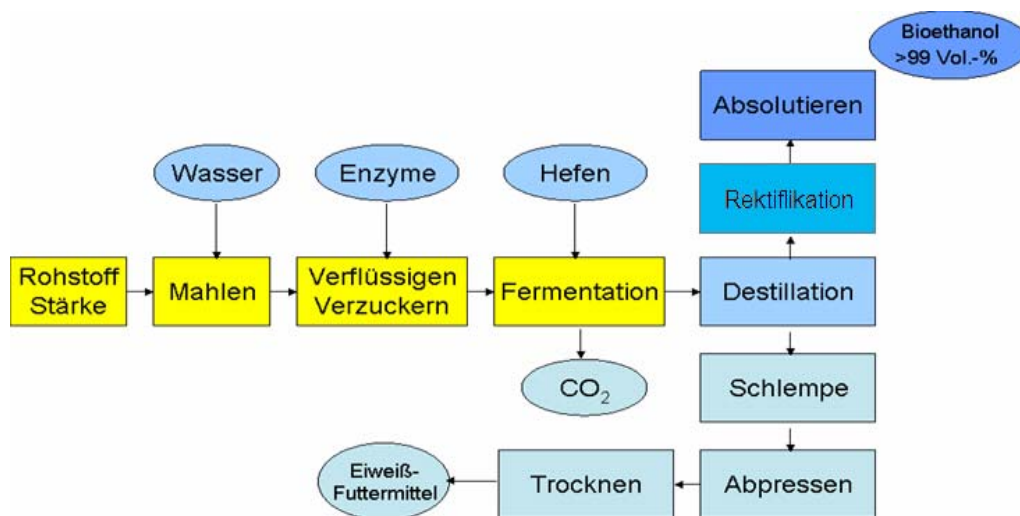
► Inhaltsverzeichnis:

1. Anlage und Komponenten:

- Destillation
- Rektifikation/Absolutieren
- Weiterverarbeitung der Nebenprodukte

2. Stoff und Energieströme

49

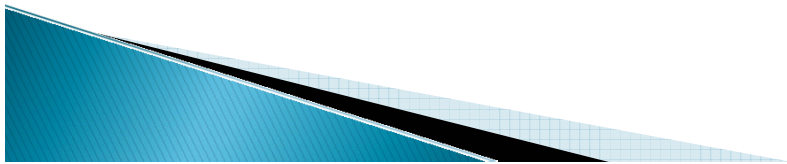


© TLL, TZNR

50

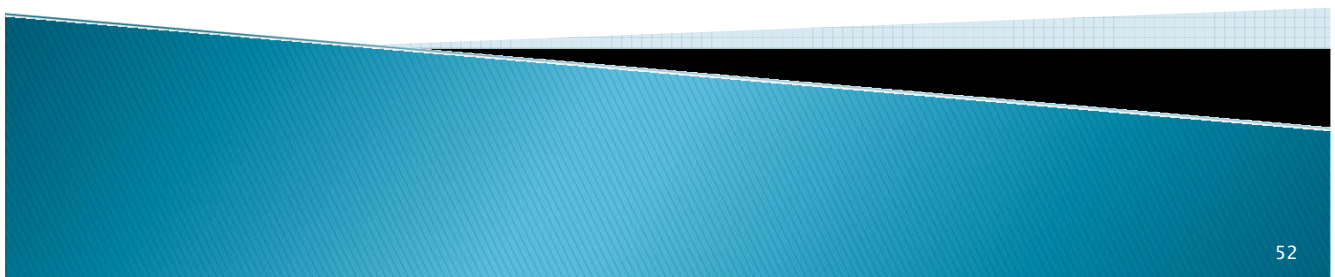
► Ziel: 99,9 Gew.-% Bioethanol

1. Fermentation: 12–18 Gew.-% EtOH
2. Destillation: 40–45 Gew.-% EtOH
3. Rektifikation: 90 Gew.-% EtOH
4. Azeotrope Rektifikation: 96 Gew.-% EtOH
5. Absolutieren: 99,9 Gew.-% EtOH



51

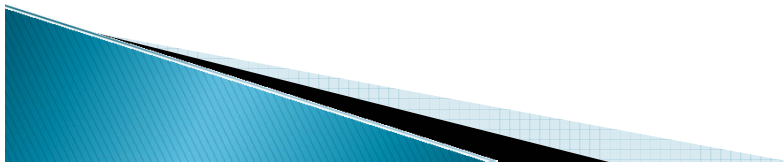
Destillation



52

► Destillation:

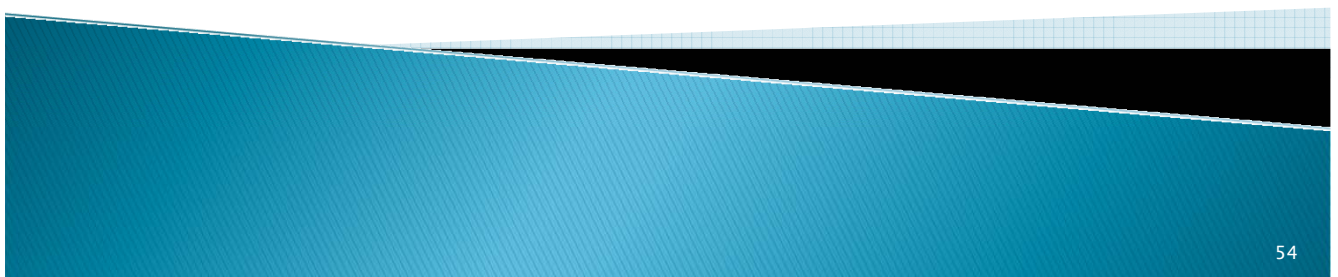
ist ein thermisches Trennverfahren, um ein flüssiges Gemisch verschiedener, ineinander löslicher Stoffe zu trennen.



53

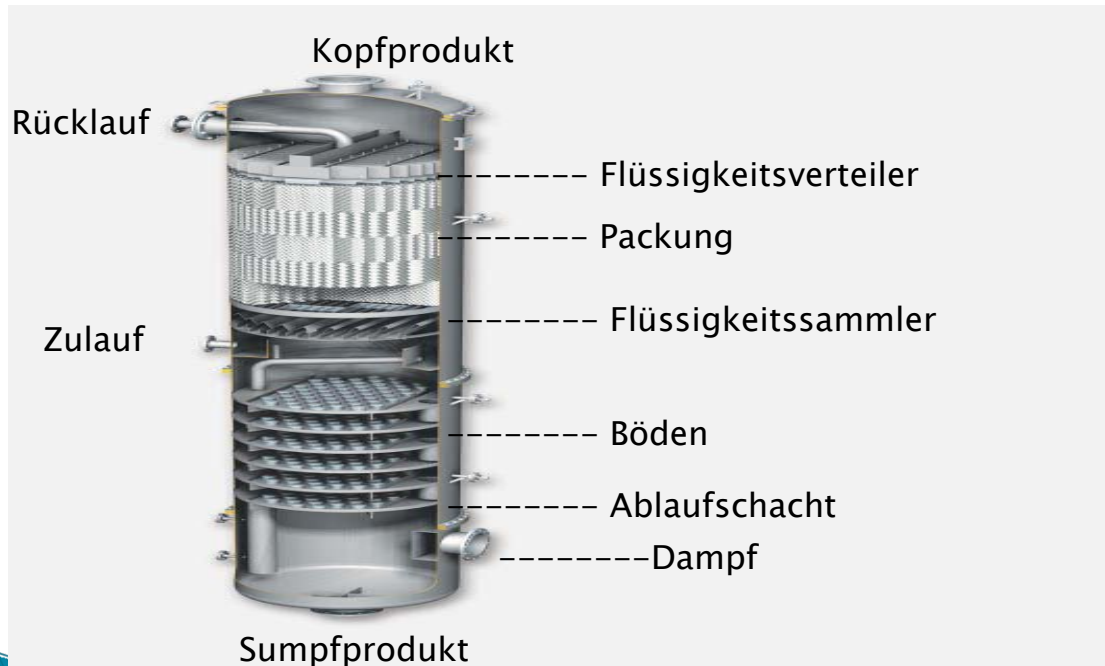
Anlagekomponenten

Destillation



54

Destillationskolonne



Glockenboden



Strukturierte Packung

Destillationskolonne



Rektifikation Absolutieren

Aufarbeitungsschritte

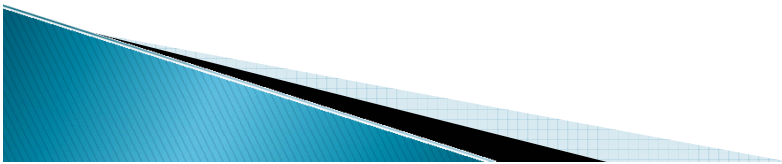
- ▶ Rektifikation (Gegenstromdestillation)

→ Azeotrope Rektifikation

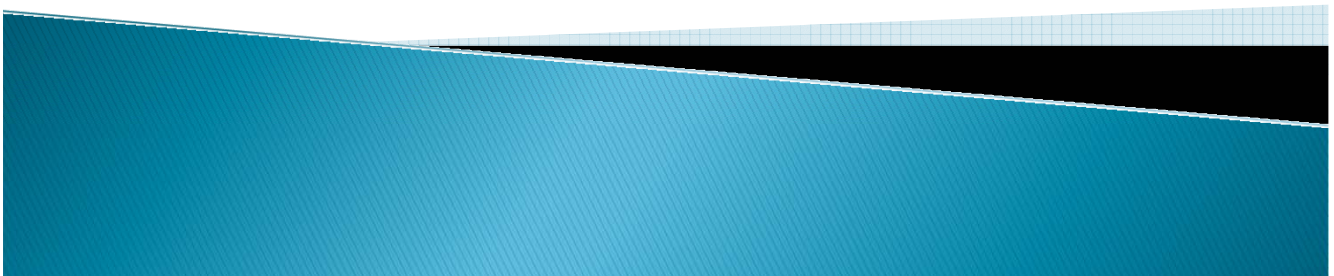
- ▶ Entwässerung des Ethanol/Wasser Stoffsystems auf die azeotrope Konzentration von 96 Gew.-% bei Normaldruck

- ▶ Absolutieren

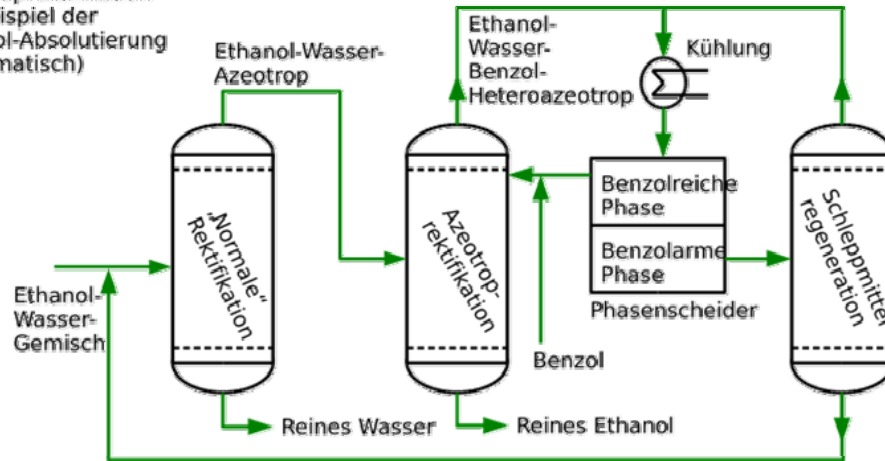
- ▶ Steigerung des Reinheitsgehalts → über 99 Gew.-%



Anlagekomponenten Rektifikation



Azeotroprektifikation
am Beispiel der
Ethanol-Absolutierung
(Schematisch)



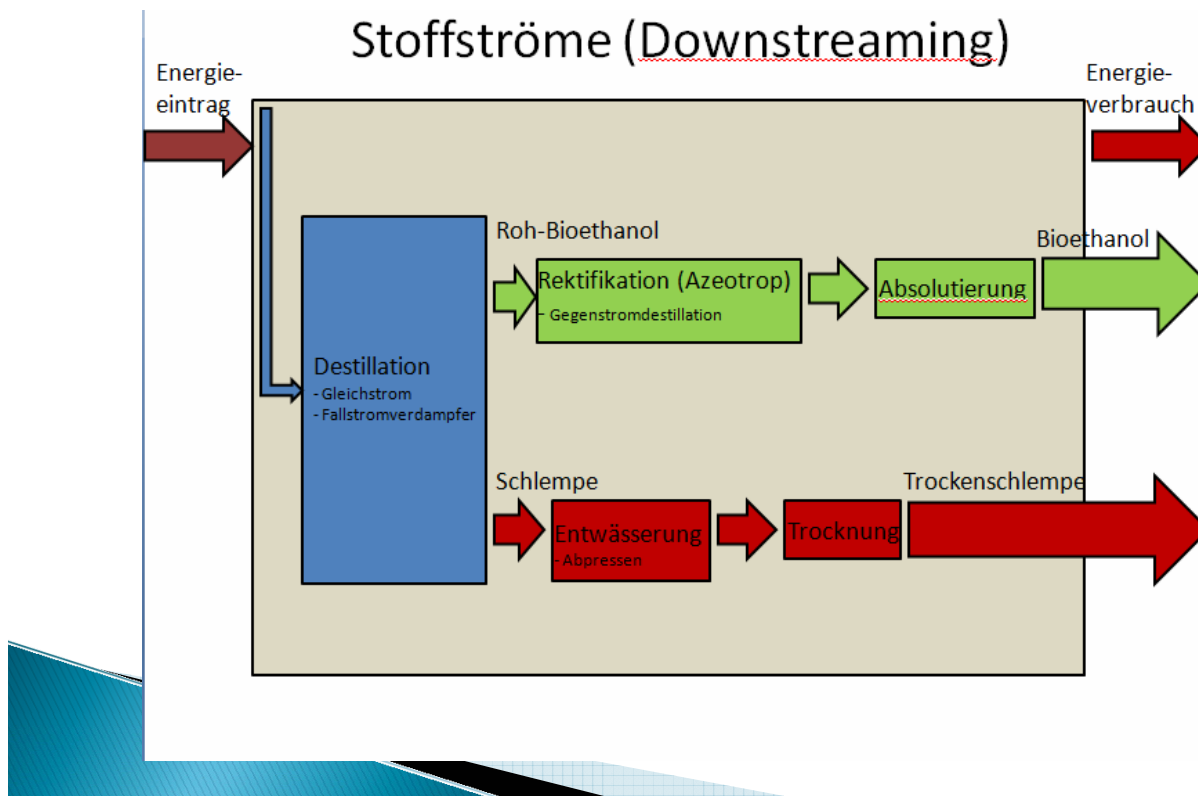
Weiterverarbeitung der Nebenprodukte

- ▶ Weiterverarbeitung der Nebenprodukte
- ▶ Abpressen der Schlempe
- ▶ Trocknen → Eiweiß Futtermittel

Schaufeltrockner



Stoffströme – Downstreaming



65

Stoffströme – Annahme

- ▶ Edukt/Produkt-Verhältnisse:
 - **Bioethanol**: 33% → $24.000\text{t} * 0,33 = 7920\text{ t}$
 - **Schlempe**: 37% → $24.000\text{t} * 0,37 = 8800\text{ t}$
 - **CO₂**: 30 % → $24.000\text{ t} * 0,30 = 7200\text{ t}$
- ▶ Stromverbrauch Downstreaming:
 - 1/3 der Gesamtstromkosten
 - Gesamtstrom: 13.764.292 kwh/Jahr

66

Vinasse

- ▶ **Vinasse** gilt als hochwertiges Düngemittel oder kann, mit Rübenschnitzeln vermischt, als Futtermittel verwendet werden.

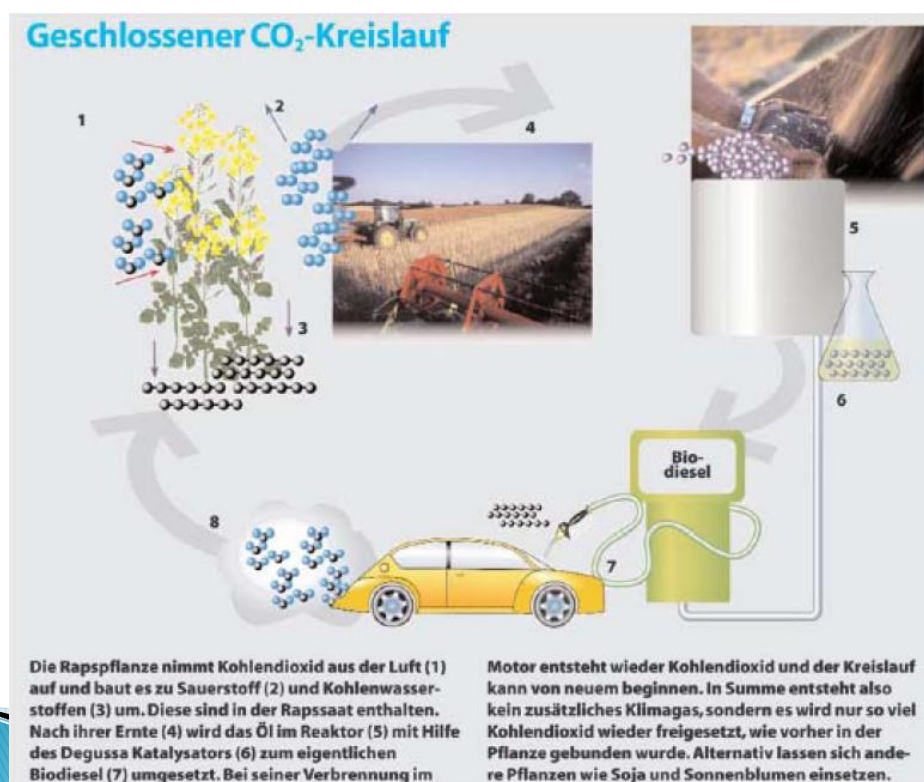
Pro Tonne Zuckerrüben fallen ca. 370 kg Vinasse an!

⇒ Preis: ~125 € pro t

⇒ 24.000t ZR/a = ca. 1.110.000 € Erlös

67

Stoffströme – CO₂



68

Stoffströme – Kosten Downstreaming

	m ³ /d	m ³ /Jahr	Einheit	Preis [€]	Preis/Jahr [€]
Wasser (Downstreaming)	13	4.693	m ³	1,50	7.039
	kwh/t	kwh/Jahr	Einheit	Preis[€]	Preis/Jahr [€]
Strom (Downstreaming)	12.570	4.588.097	kWh	0,14	642.334

► Kosten Downstreaming: **649.373 €**

69

Stoffströme – Inputkosten

Kosten Gruppe 1 [€]:					1.623.395
Kosten Gruppe 2 [€]:					7.114.580
Kosten Gruppe 3 [€]:					649.373
SUMME [€]					9.387.348

Herstellungskosten [€] = Inputkosten/Volumen = 9.387.348 € / 7.920.000 L
= 1,19 € pro L

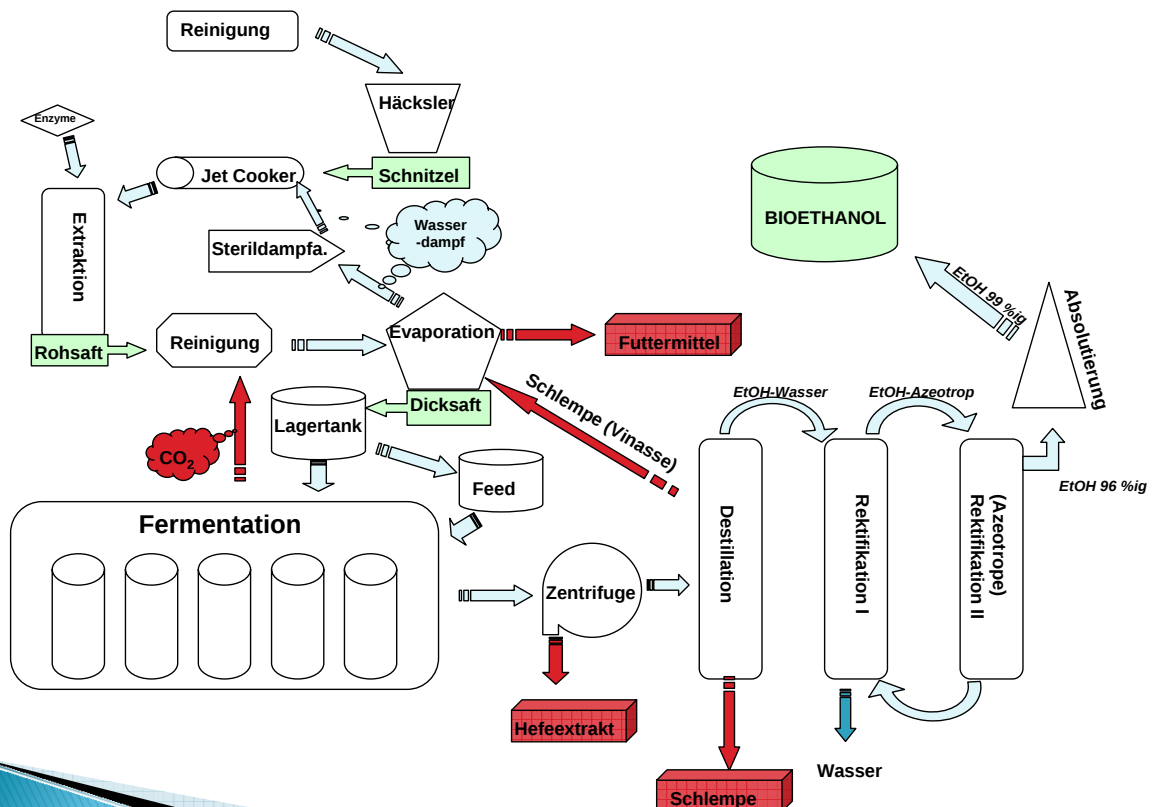
70

Stoffströme – Output

Output				Erlös	
				Preis [€]	Preis/Jahr [€]
	t/d	t/Jahr	Einheit		
Ethanol	21,70	7.920	t	2000	15.840.000
Tierfutter	24,33	8.880	t	125	1.110.000
CO ₂ (Abgas)	19,73	7.200	t		
Umsatz [€]					16.950.000

Gewinn [€] = Umsatz – Inputkosten = 16.950.000 € - 9.387.348 €
= 7.562.652 €

Fließschema der Stoffströme



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

