

Großtechnische Herstellung von Joghurtprodukten

Carola Schlumbohm
RWTH Aachen, 16.09.2005

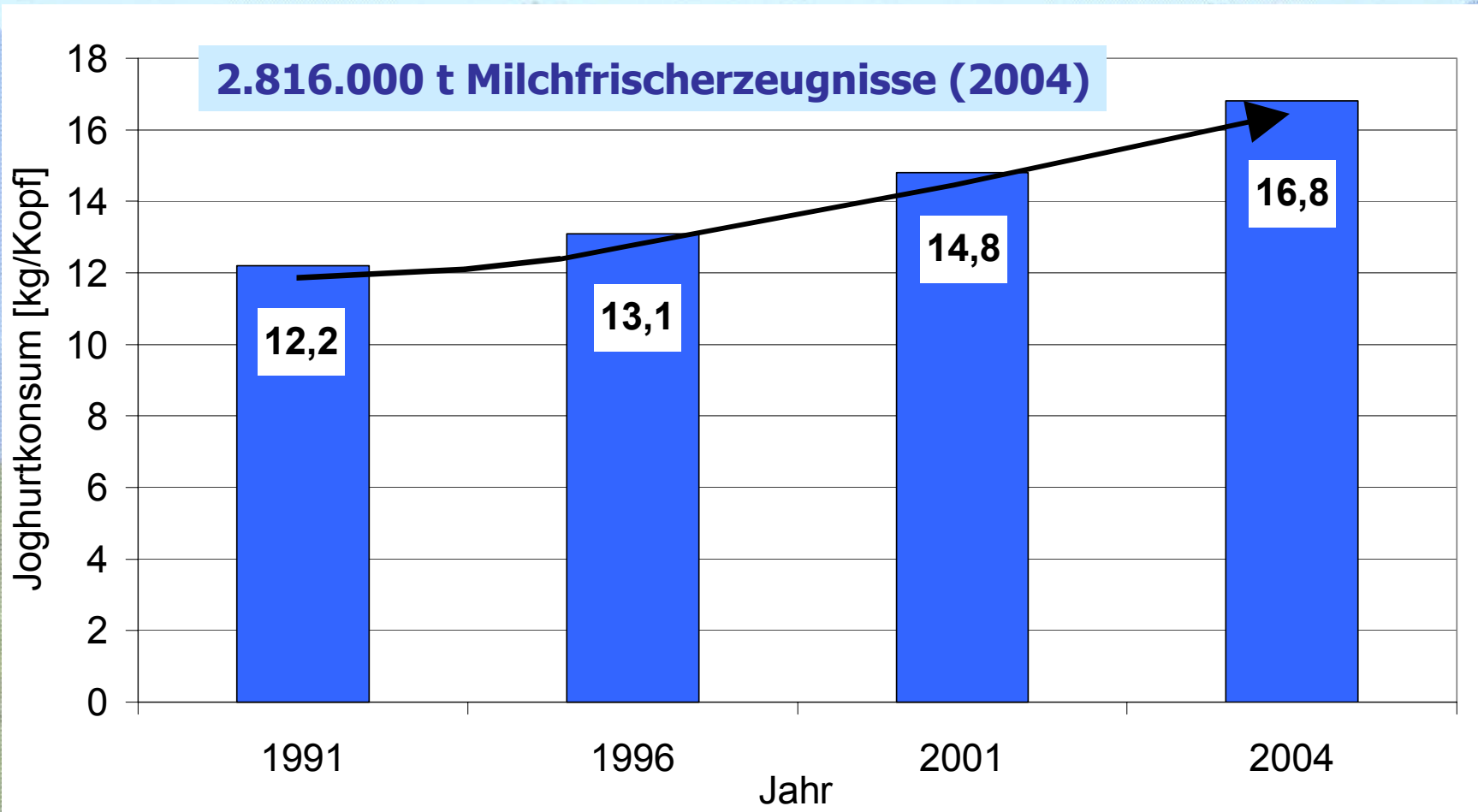


Motivation

- Verfahrenstechnische Handhabung eines Naturproduktes
- Analogien zu den Dispersionen der Brennstoffzelle
- Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion innerhalb der erweiterten EU



Wirtschaftliche Bedeutung des Joghurts

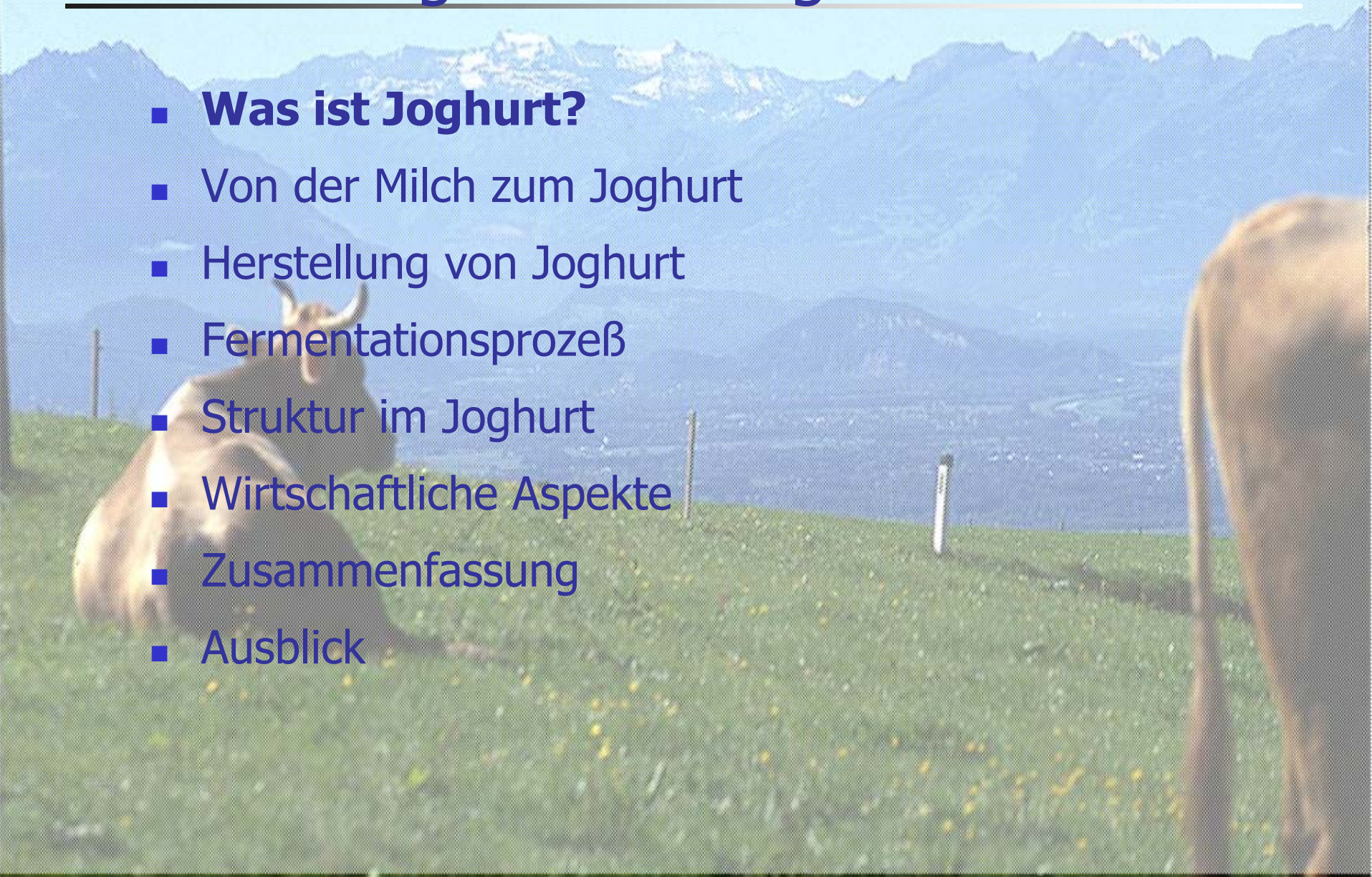


→ steigende wirtschaftliche Bedeutung des Joghurts

Quelle: Milchindustrieverband (<http://www.milch-markt.de>)

Gliederung des Vortrags

- **Was ist Joghurt?**
- Von der Milch zum Joghurt
- Herstellung von Joghurt
- Fermentationsprozeß
- Struktur im Joghurt
- Wirtschaftliche Aspekte
- Zusammenfassung
- Ausblick



Was ist Joghurt ?

Joghurt = Milch + Milchsäure und Bakterien

	Milch [wt%]	Joghurt [wt%]
Wasser	87 – 90	77 - 85
Protein	3,2 - 3,4	3,6 - 4,5
Fett	1,5 - 4,0	3 - 3,6
Laktose	4,6 - 4,7	3,4 - 4,2
Milchsäure	-	0,7 - 0,98
Milchsalze:	0,75	> 0,8
Kalzium	0,120 - 0,126	0,119 – 0,138
Kalium	0,155 - 0,164	0,126 – 0,196
Vitamine (A, E, B2)	0,251 - 0,335	0,241 - 0,316



Was ist Joghurt ?

Milchsäurebakterien

- einzellige Mikroorganismen
- hemmen das Wachstum schädigender Bakterienarten
- synthetisieren protektive Substanzen
- natürliches Vorkommen in der Muttermilch

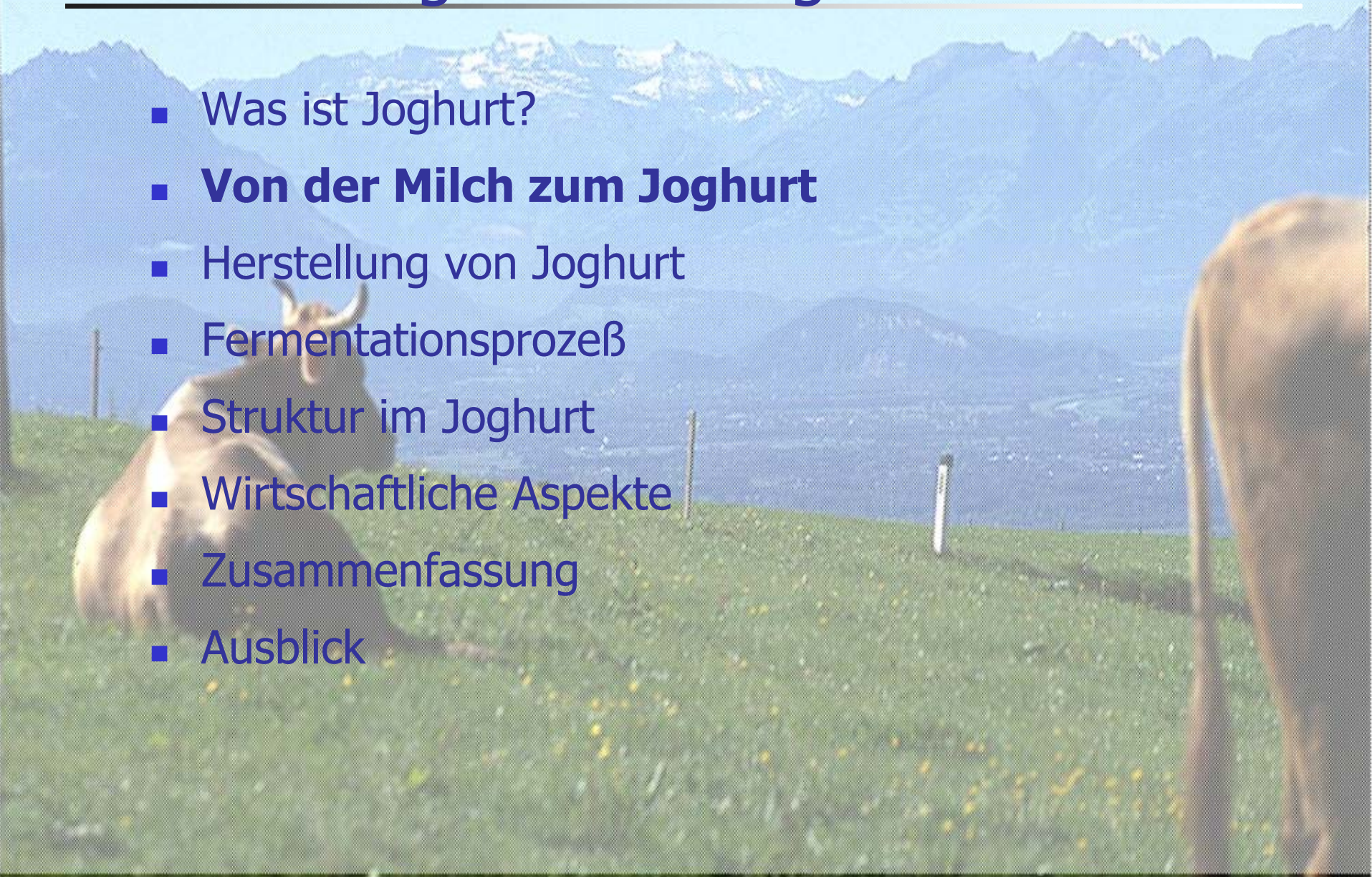
Milchsäure

- natürliches Konservierungsmittel
- Milchsäure ist ein natürliches Stoffwechselprodukt (Blut, Muskel)

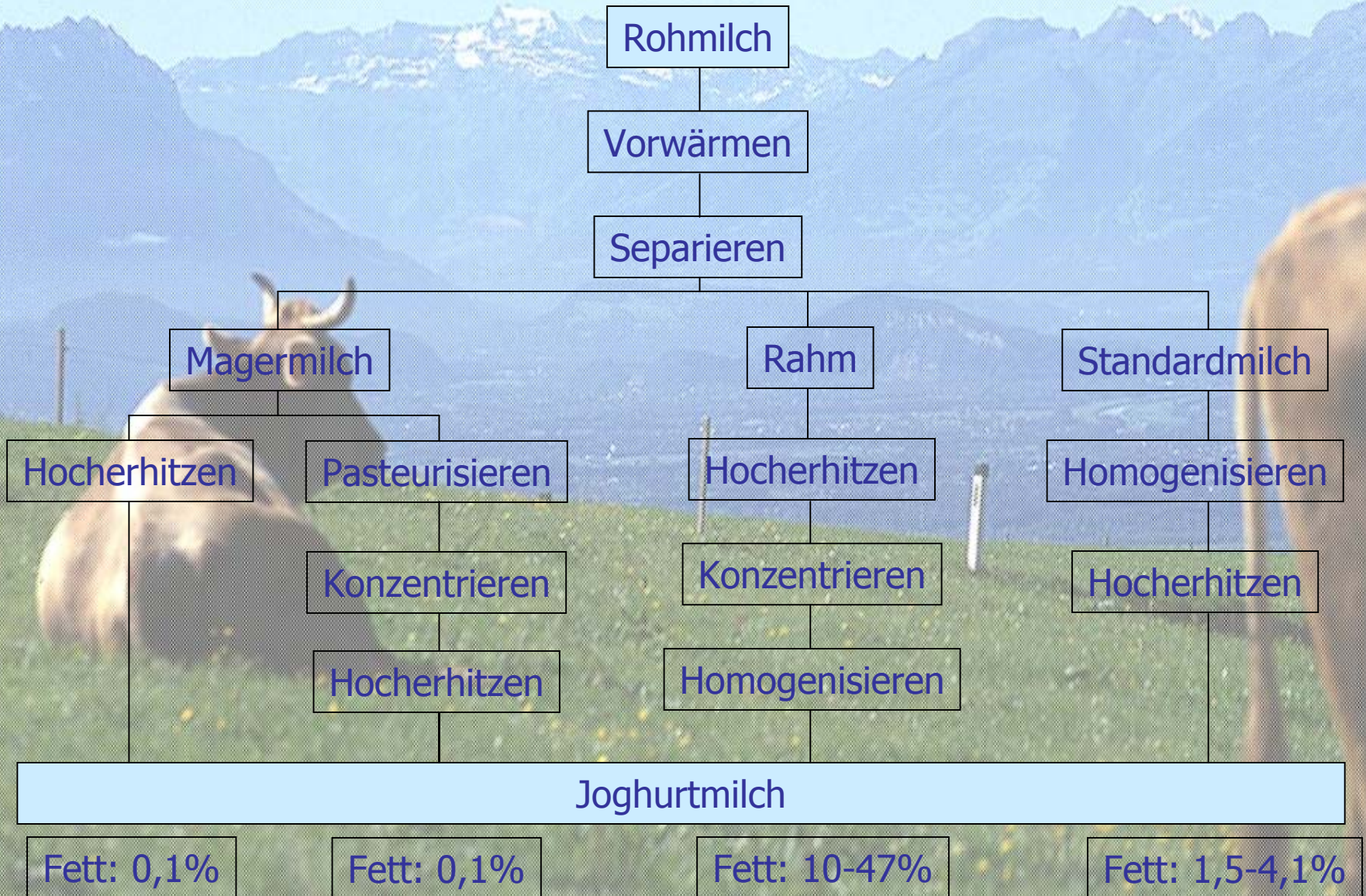


Gliederung des Vortrags

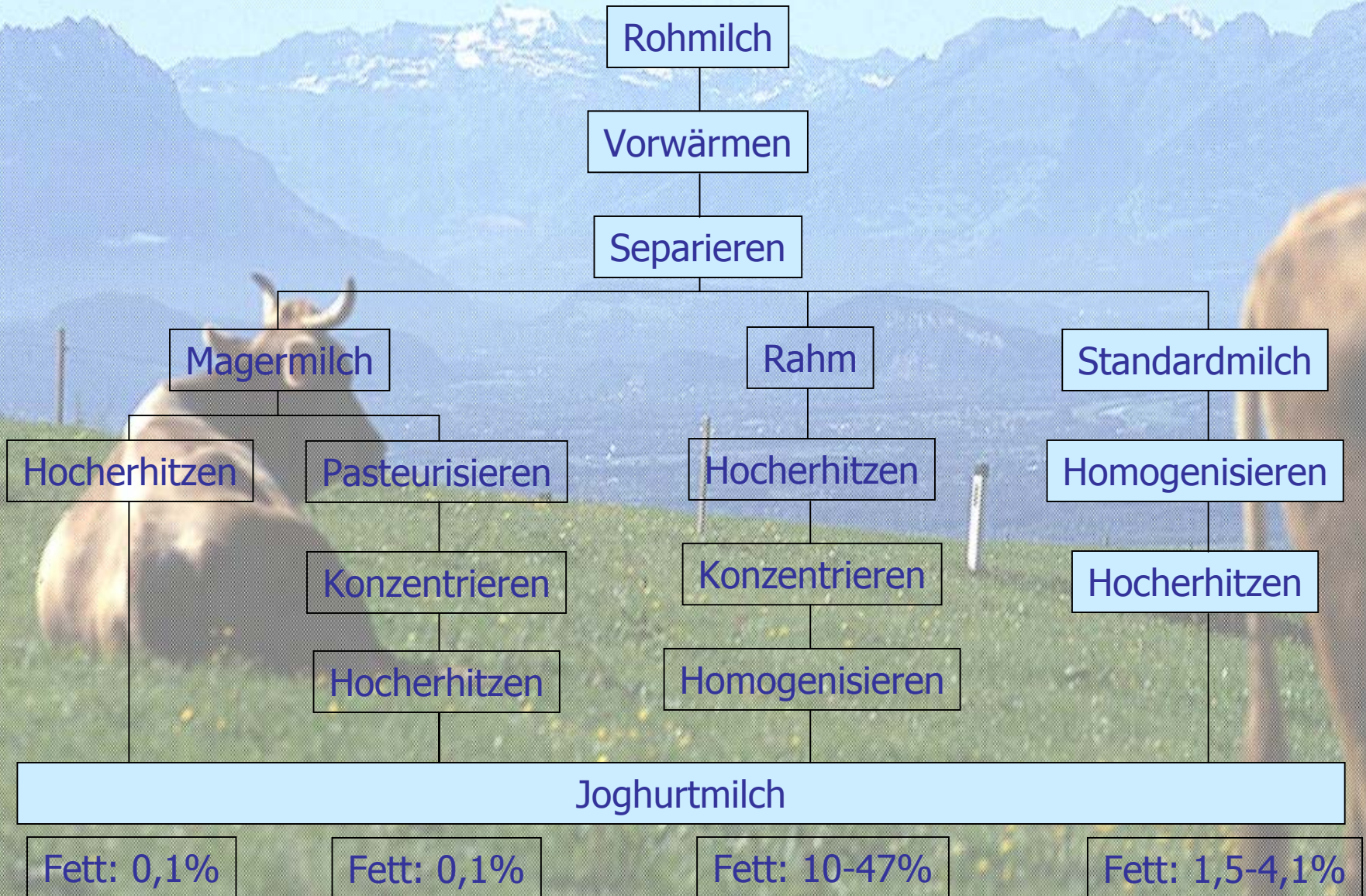
- Was ist Joghurt?
- **Von der Milch zum Joghurt**
- Herstellung von Joghurt
- Fermentationsprozeß
- Struktur im Joghurt
- Wirtschaftliche Aspekte
- Zusammenfassung
- Ausblick



Von der Milch zum Joghurt

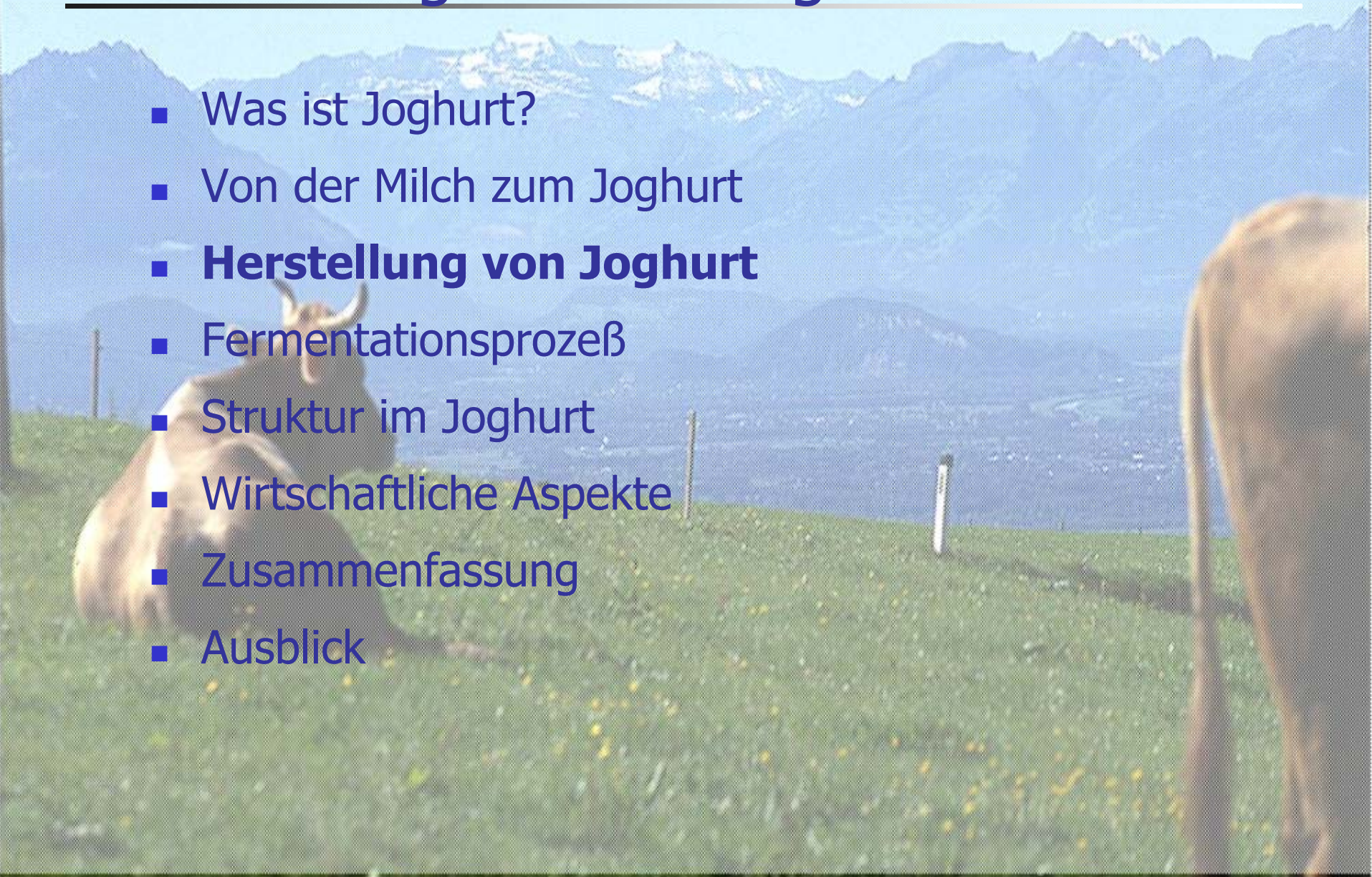


Von der Milch zum Joghurt



Gliederung des Vortrags

- Was ist Joghurt?
- Von der Milch zum Joghurt
- **Herstellung von Joghurt**
- Fermentationsprozeß
- Struktur im Joghurt
- Wirtschaftliche Aspekte
- Zusammenfassung
- Ausblick



Herstellung von Joghurt

Joghurtmilch

Konzentrieren

Homogenisieren

Erhitzen

Gerührter Joghurt

Fermentieren

Kühlen

Fruchtzusatz

Abfüllen



Stichfester Joghurt

Kühlen

Kulturenzusatz

Fruchtzusatz

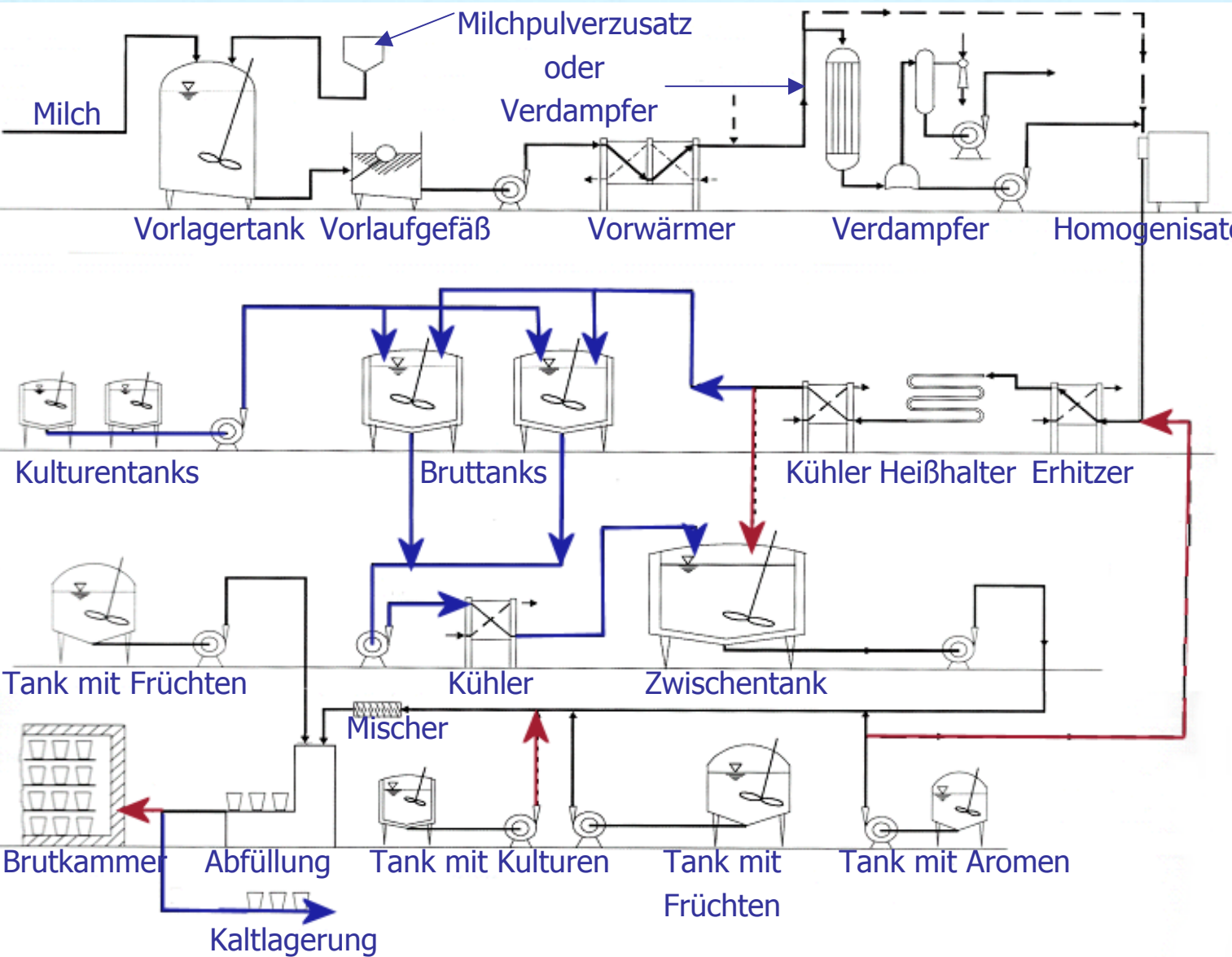
Abfüllen

Fermentieren



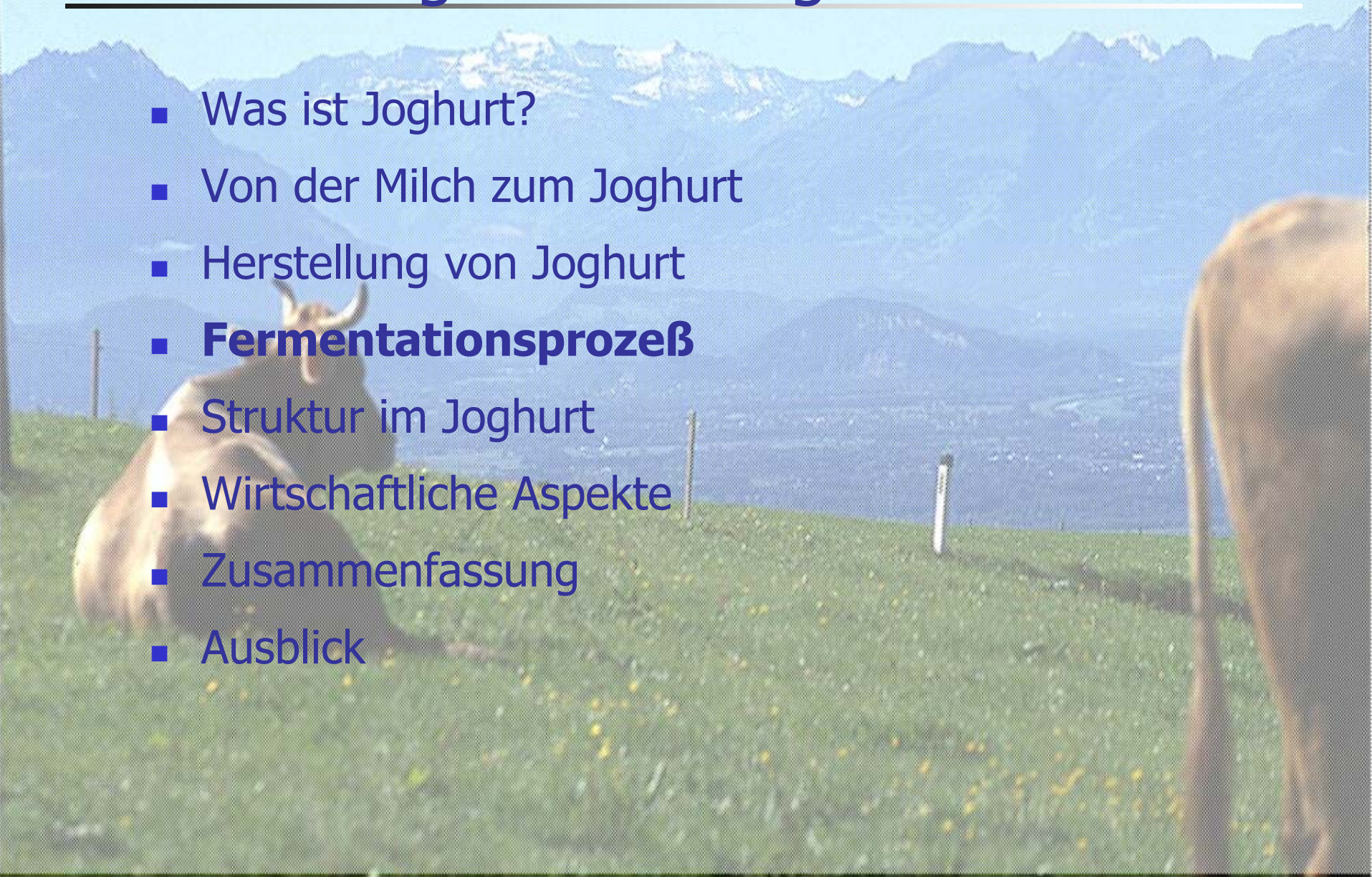
Herstellung von Joghurt - stichfest

Milch



Gliederung des Vortrags

- Was ist Joghurt?
- Von der Milch zum Joghurt
- Herstellung von Joghurt
- **Fermentationsprozeß**
- Struktur im Joghurt
- Wirtschaftliche Aspekte
- Zusammenfassung
- Ausblick



Fermentationsprozeß

- Fermentation als Wertschöpfungsprozeß

Fermentation

Umsetzung von biologischen Rohstoffen mit Bakterienkulturen oder Enzymen



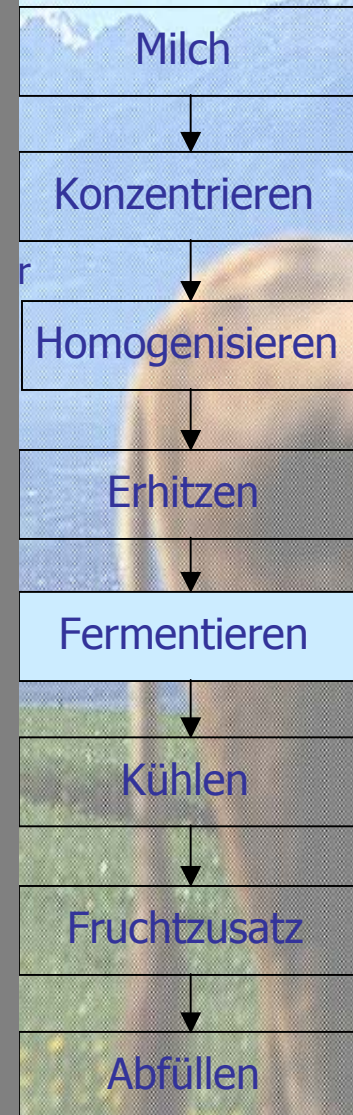
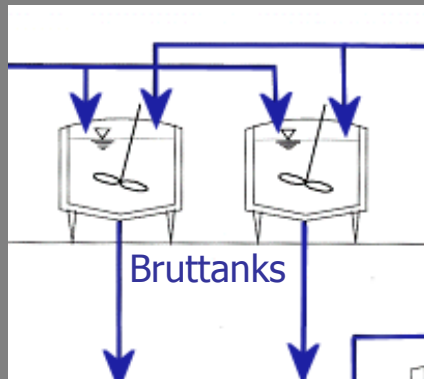
Milch
Milchsäurebakterien



Joghurt



Fermentationsprozeß

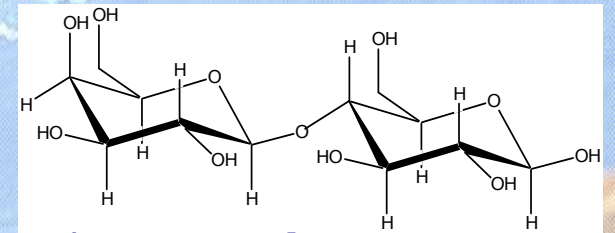
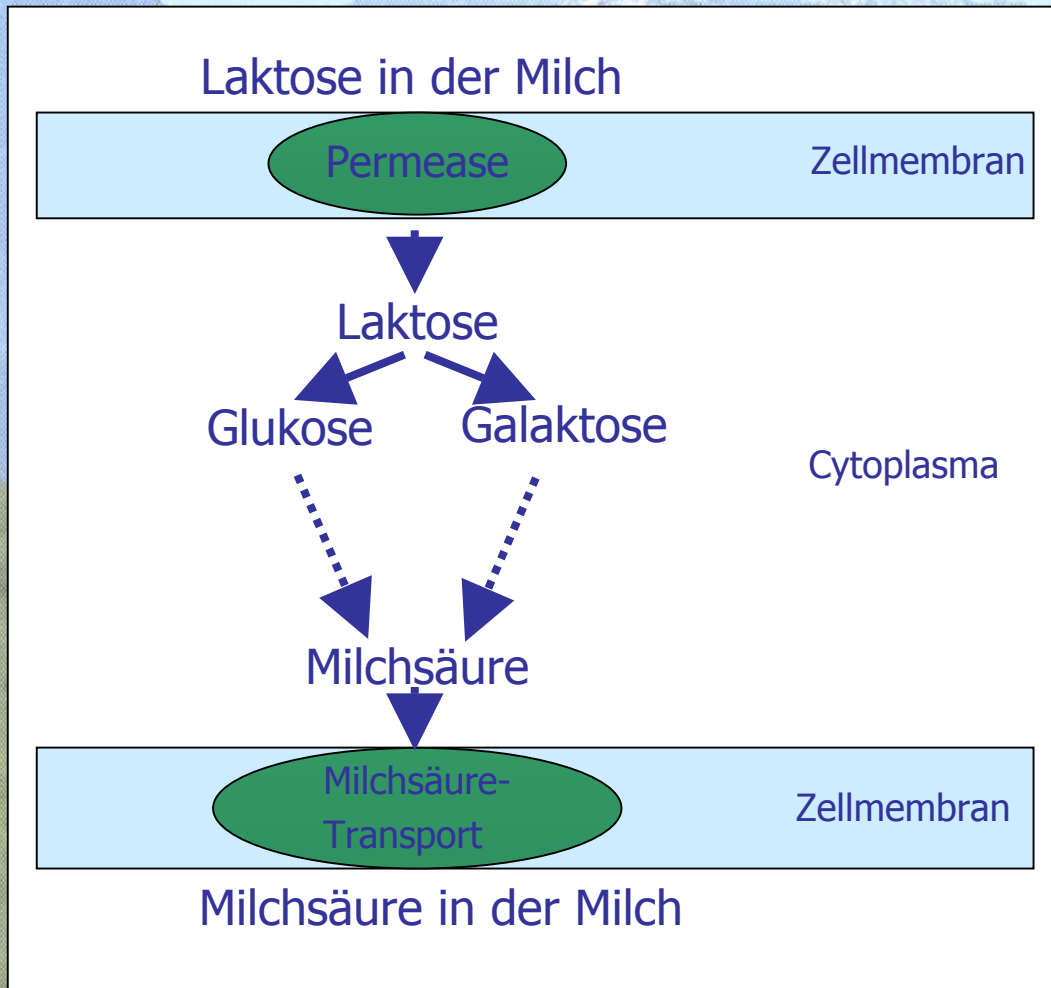


Fermentationsprozeß

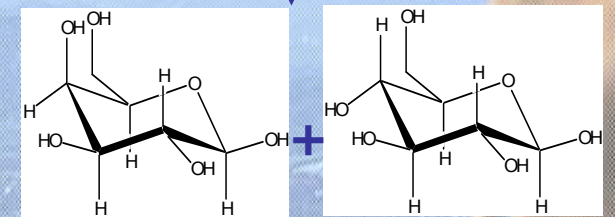
- Typische Kulturen: Homofermenter (Lactobacillus) und Heterofermenter (Bifidobakterien)

	Homofermenter	Heterofermenter
Substrate	Laktose, Glukose	Laktose, Glukose, Galaktose, Fruktose
Produkte	Milchsäure	Milchsäure, Essigsäure, Aromastoffe
Bakterienstämme	Lactobacillus acidophilus	Bifidobakterien
Einsatz	Starterkulturen	„milder“ Joghurt Milchsäure < 0,8%

Fermentationsprozeß

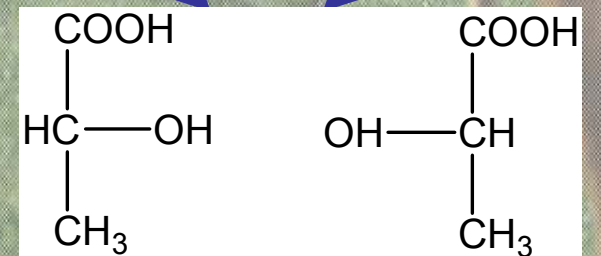


Laktose



Galaktose

Glukose



D(-) - Milchsäure

L(+) - Milchsäure

Prozeß der Fermentation

Reaktionsgleichung für Homofermenter:



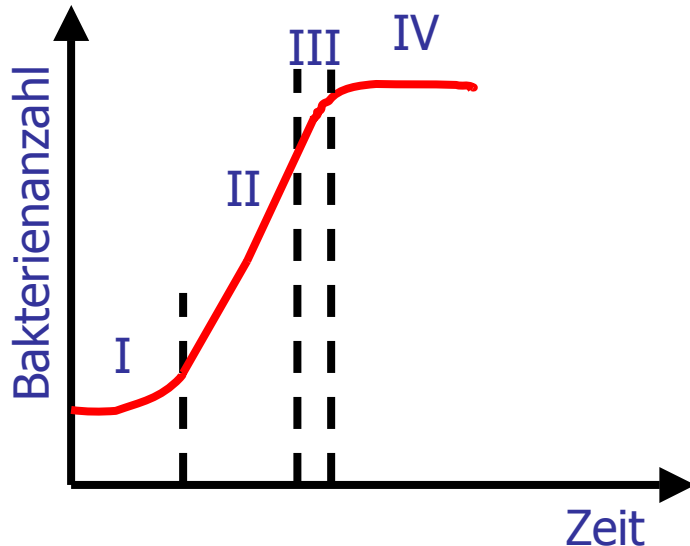
Reaktionskinetischer Ansatz:

$$r_C = \frac{k \cdot C_A \cdot C_C}{C_A + C_M} \text{ mol/l*s}$$

C_M : Monod-Konstante

k : Geschwindigkeitskonstante

r_C : Reaktionsgeschwindigkeit



I: Anlaufphase

II: Wachstumsphase

III: Übergangsphase

IV: Stationäre Phase

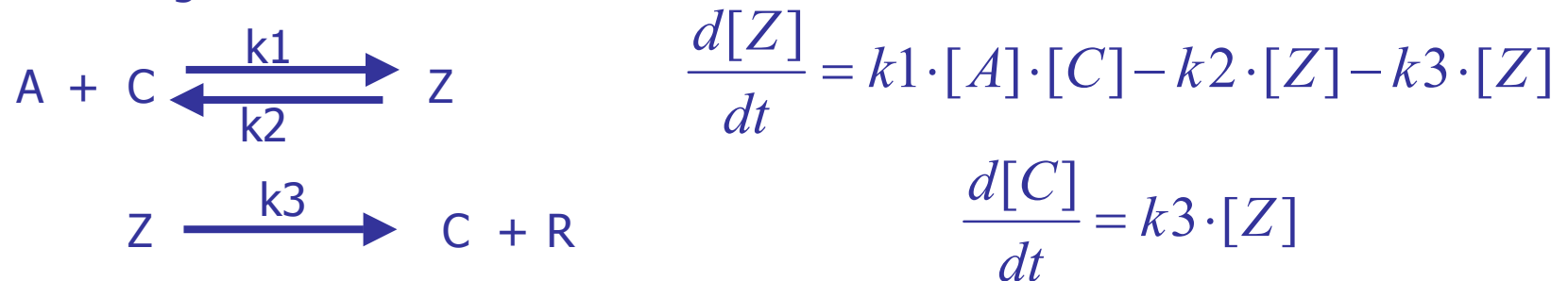
Prozeß der Fermentation

- Durchführung einer exemplarischen Modellierung

1) Aufstellung der Reaktionsgleichung



2) Änderung der Produktkonzentration aus den Elementarreaktionen



3) Anwendung des Quasistationaritätsprinzips

Konstante Konzentration des Zwischenprodukt Z

$$\frac{d[Z]}{dt} \approx 0$$

Prozeß der Fermentation

4) Einsetzen und Auflösen liefert Konzentration vom Zwischenprodukt Z

$$[Z] = \frac{k_1 \cdot [A] \cdot [C_0]}{k_1[A] + k_2 + k_3} \quad \text{mit} \quad [C] = [C_0] - [Z] \quad \text{bzw.} \quad \frac{d[C_0]}{dt} = \frac{d[C]}{dt}$$

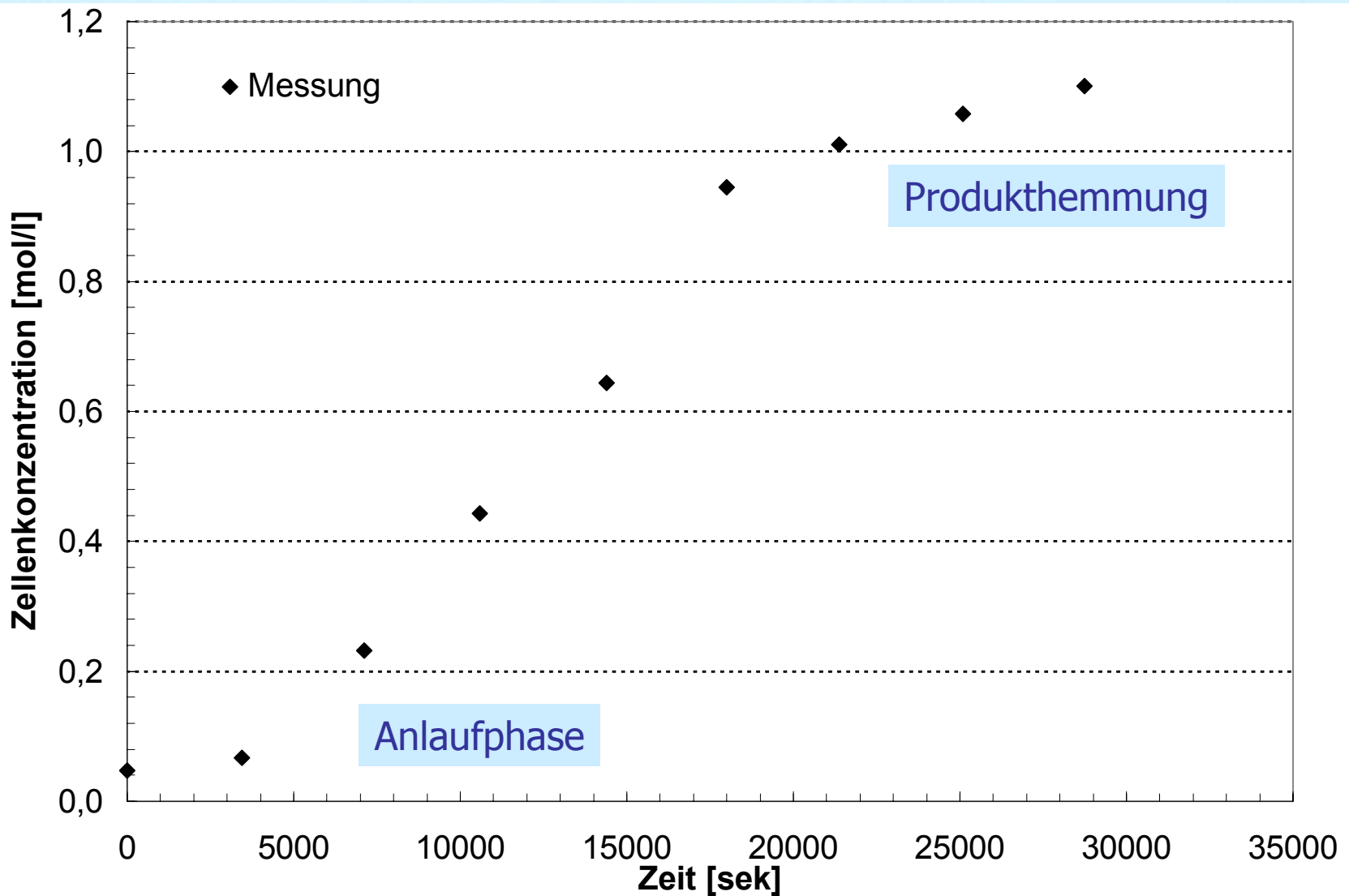
5) Berechnung der Reaktionsgeschwindigkeit

$$\frac{d[C]}{dt} = \frac{k_3 \cdot [A] \cdot [C_0]}{[A] + M} \quad \text{mit} \quad \frac{d[C]}{dt} = k_3 \cdot [Z] \quad M = \frac{k_2 + k_3}{k_1}$$

6) Fall: Substratkonzentration A im Überschuß $\rightarrow [A] \gg M$

$$\frac{d[C_0]}{dt} = k_3 \cdot [C_0] \quad \text{mit} \quad C_0(t=0) = C_{\text{Start}}$$

Prozeß der Fermentation



Prozeß der Fermentation

7) Aufstellung einer Fit-Funktion mit der Monod-Kinetik bei Substratüberschuß und Produkthemmung mit dem Exponenten n

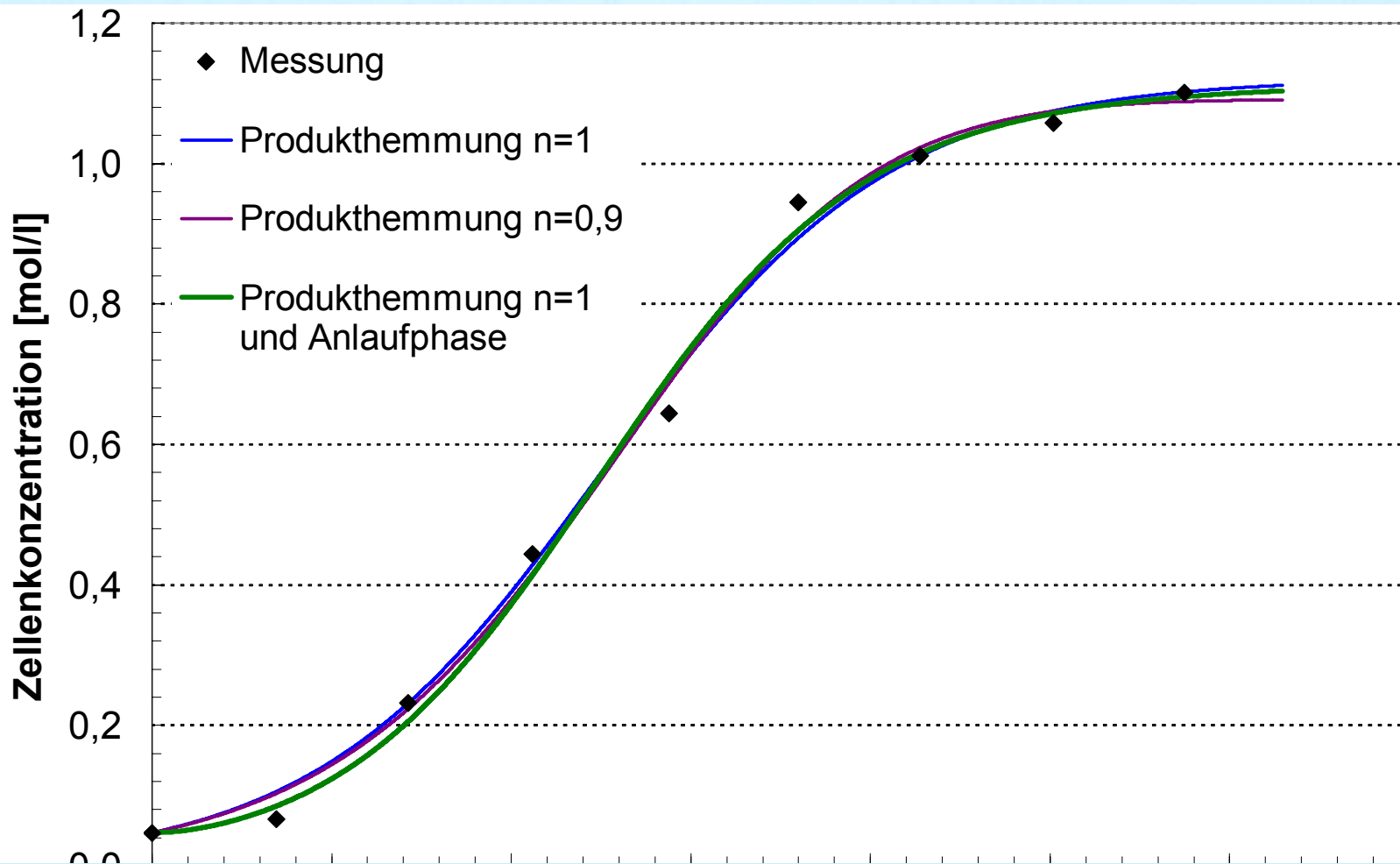
$$\frac{d[C0]}{dt} = k \cdot [C0] \cdot \left[1 - \frac{[R]}{[R \text{ max}]} \right]^n$$

[R] Milchsäure
[C] Bakterien

8) Anlaufphase der Mikroorganismen berücksichtigt

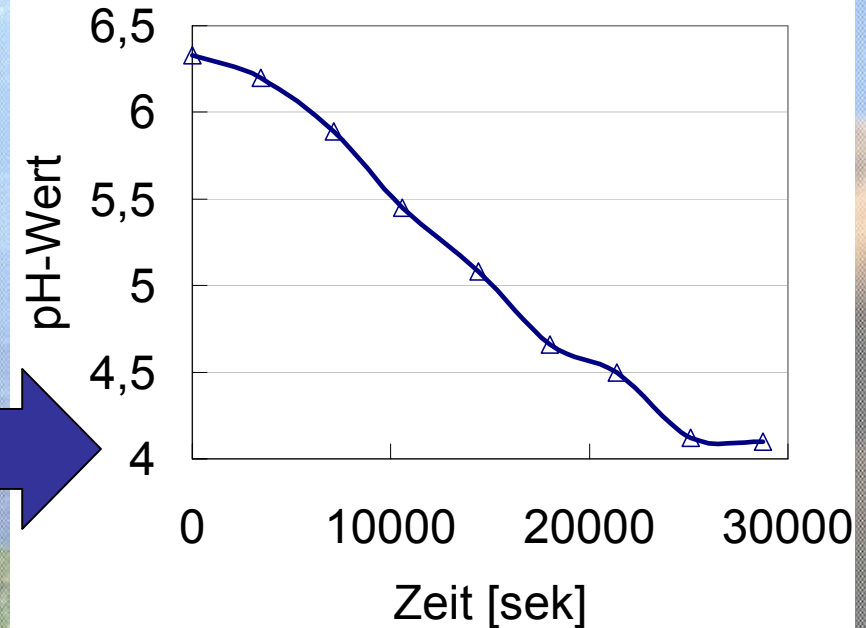
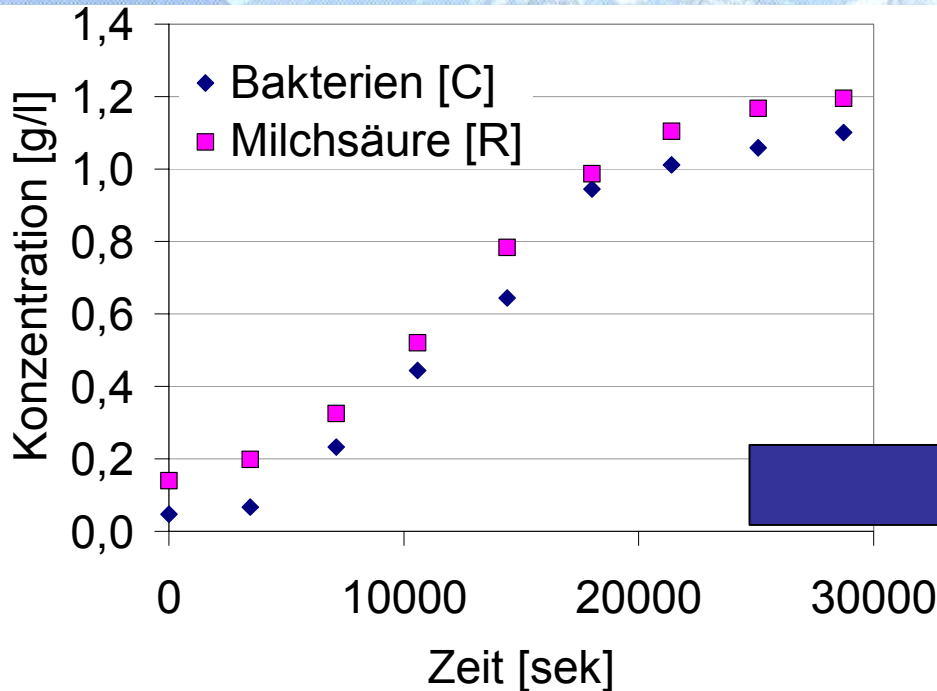
$$\frac{d[C0]}{dt} = k \cdot [C0] \cdot \left[1 - \frac{[R]}{[R \text{ max}]} \right]^n \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{t - \text{Anlauf}}} \right)$$

Prozeß der Fermentation



- Modell ist geeignet das Wachstum der Bakterien *S.thermophilus* und *L. bulgaricus* zu beschreiben
- Ansatz für Optimierungen

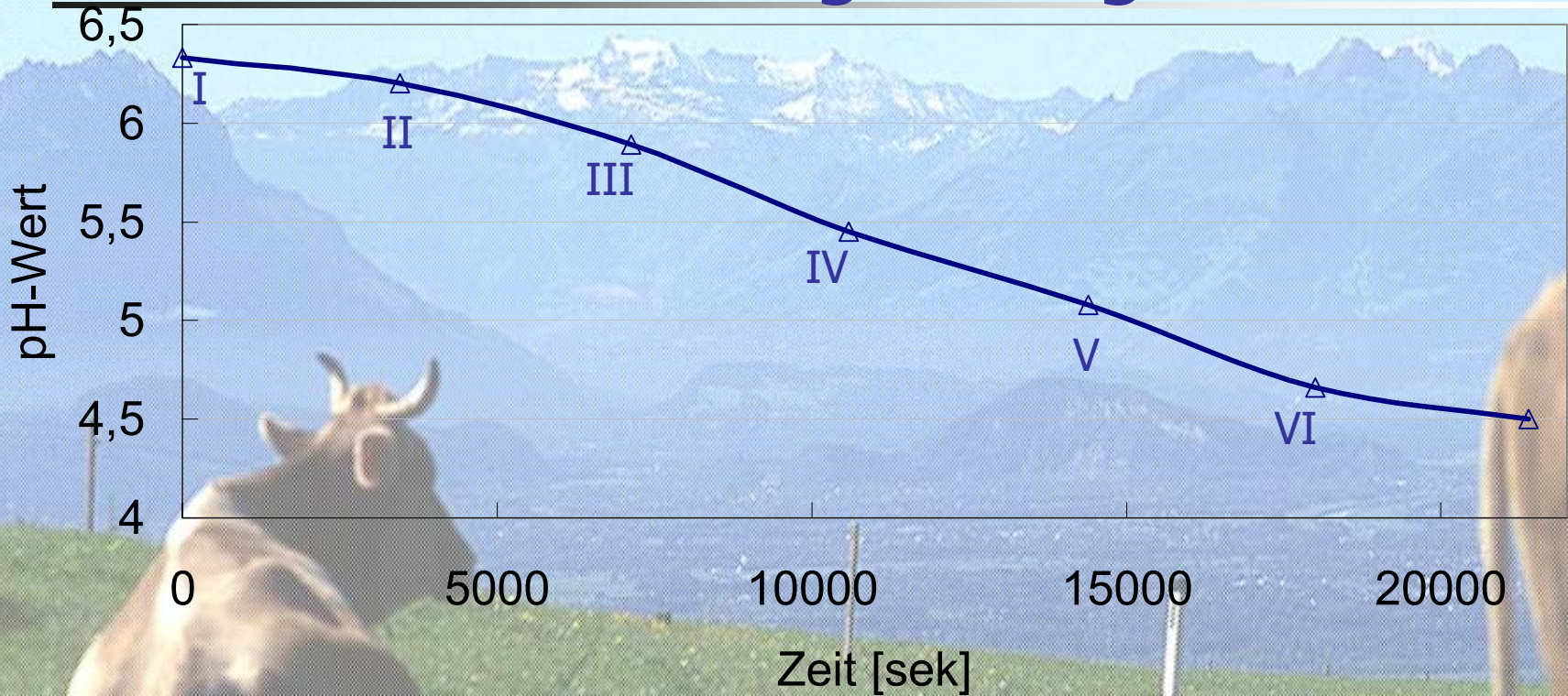
Strukturausbildung im Joghurt



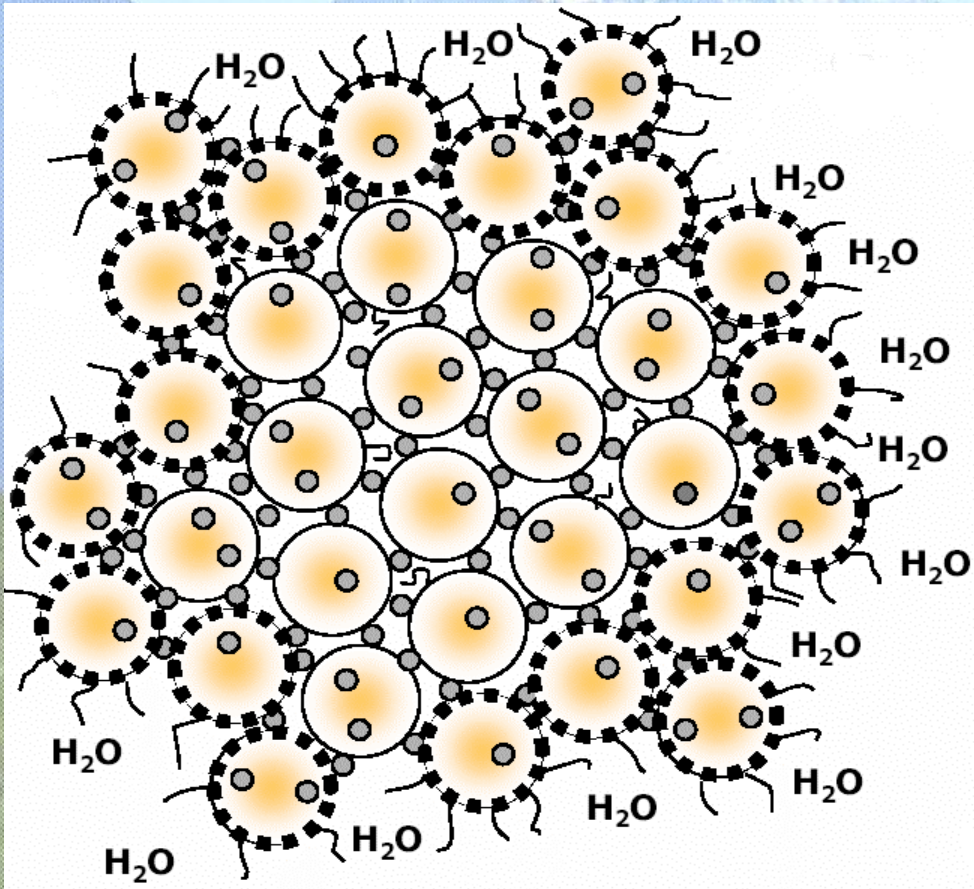
Milchsäureentwicklung führt zu:

- Strukturveränderungen
- Rheologie
- Proteindegradation

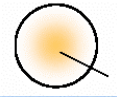
Strukturausbildung im Joghurt




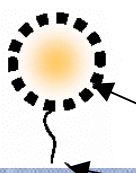
Strukturausbildung im Joghurt

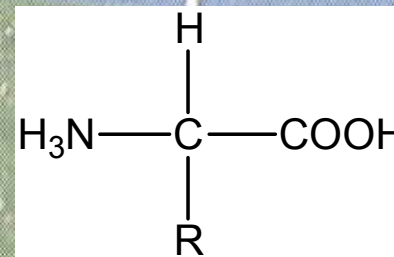


Kaseinmizelle (d: 100-300nm)

 Kasein-Submizelle (d:10-20nm)
Hydrophobe Hülle aus β -Kasein

 Calcium-Phosphate

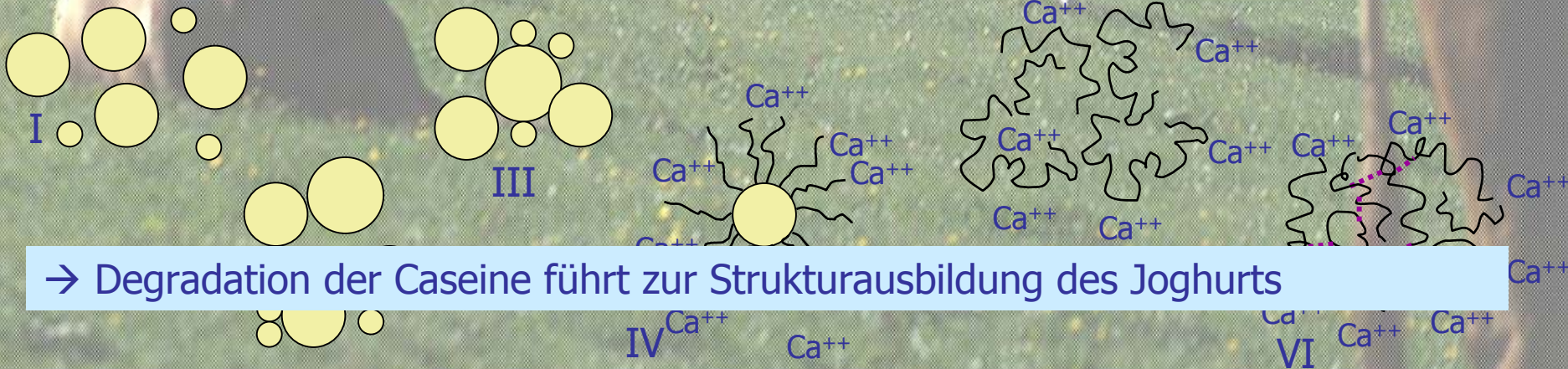
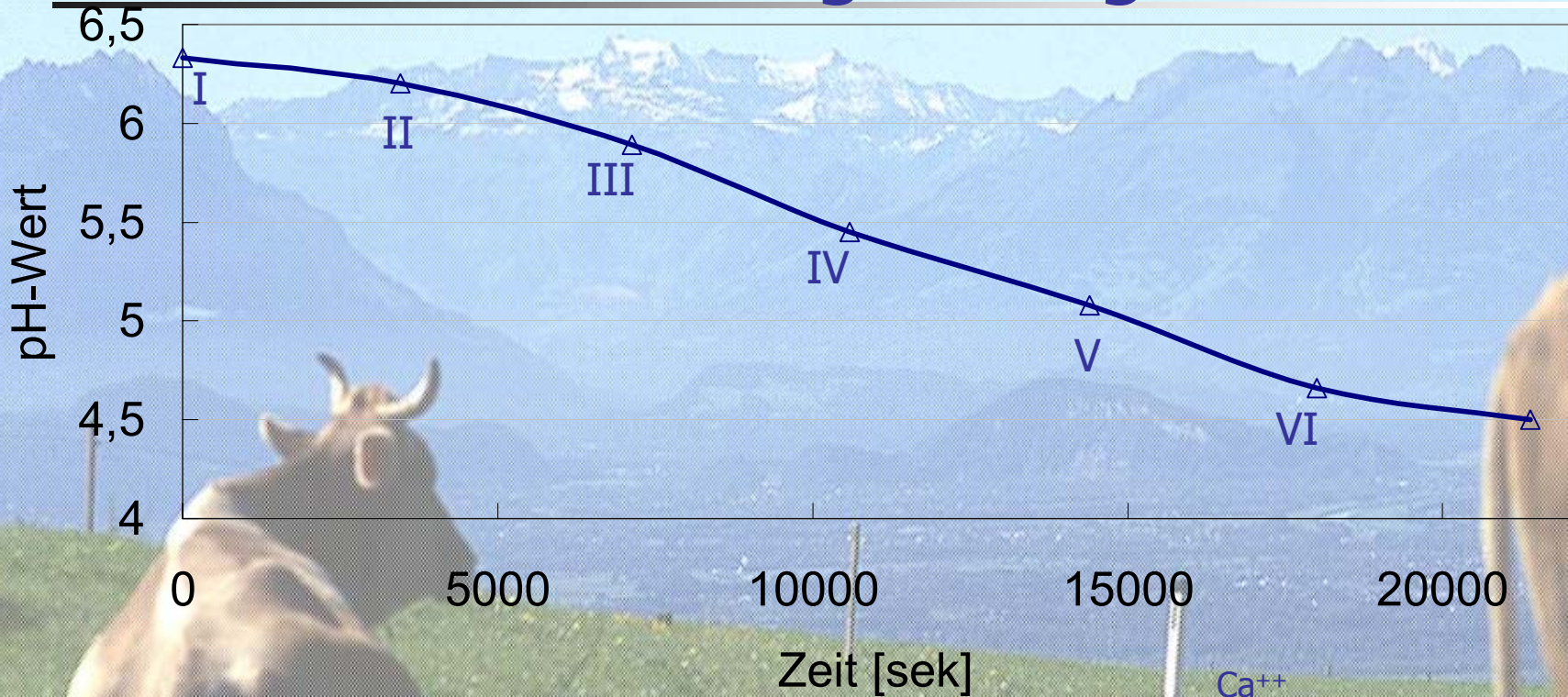
 Kasein-Submizelle mit hydrophilem κ -Kasein-Ring
Glykoprotein



Aminosäure

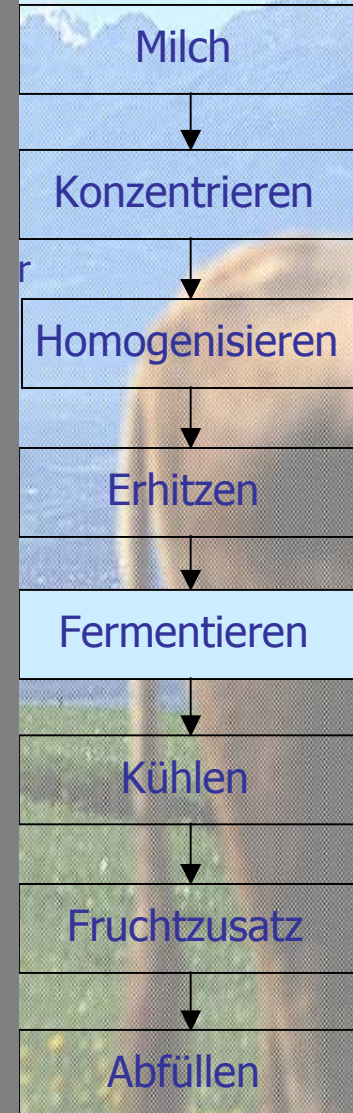
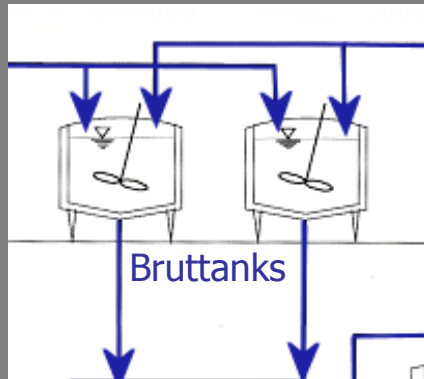
→ Emulgatorwirkung und damit stabilisierende Wirkung des Glykoproteins

Strukturausbildung im Joghurt

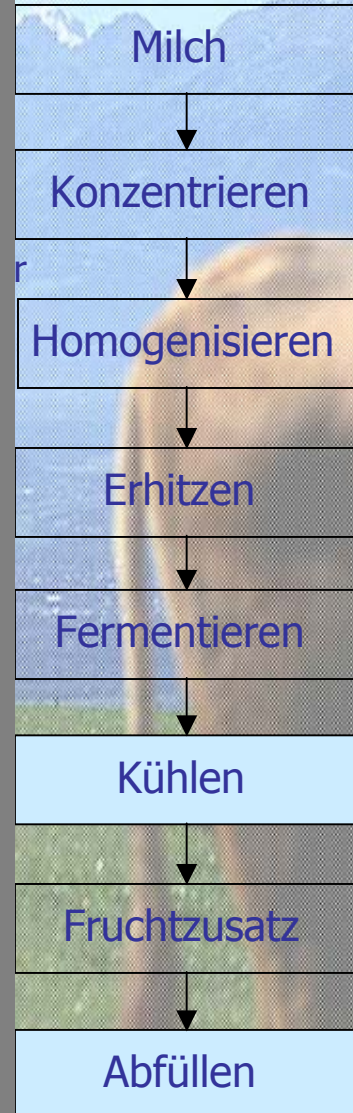
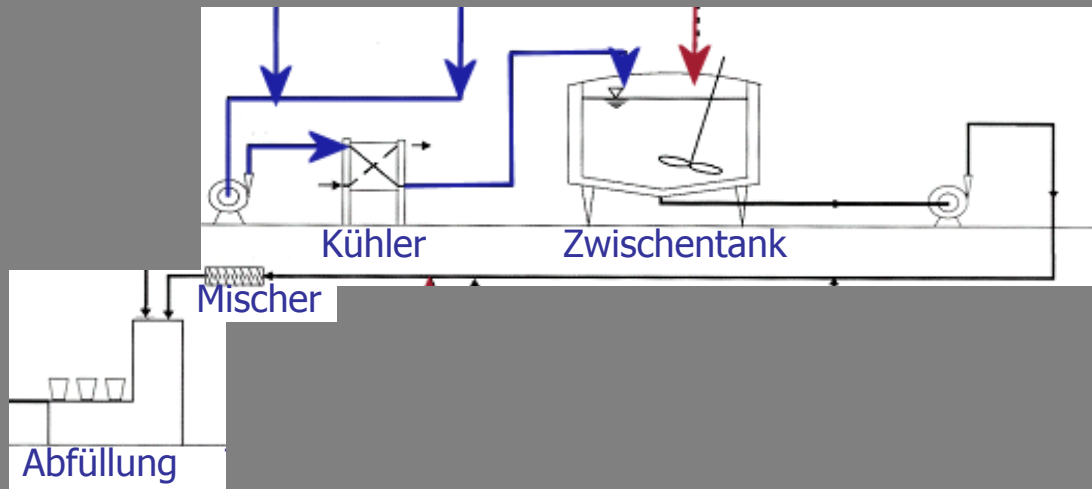


→ Degradation der Caseine führt zur Strukturausbildung des Joghurts

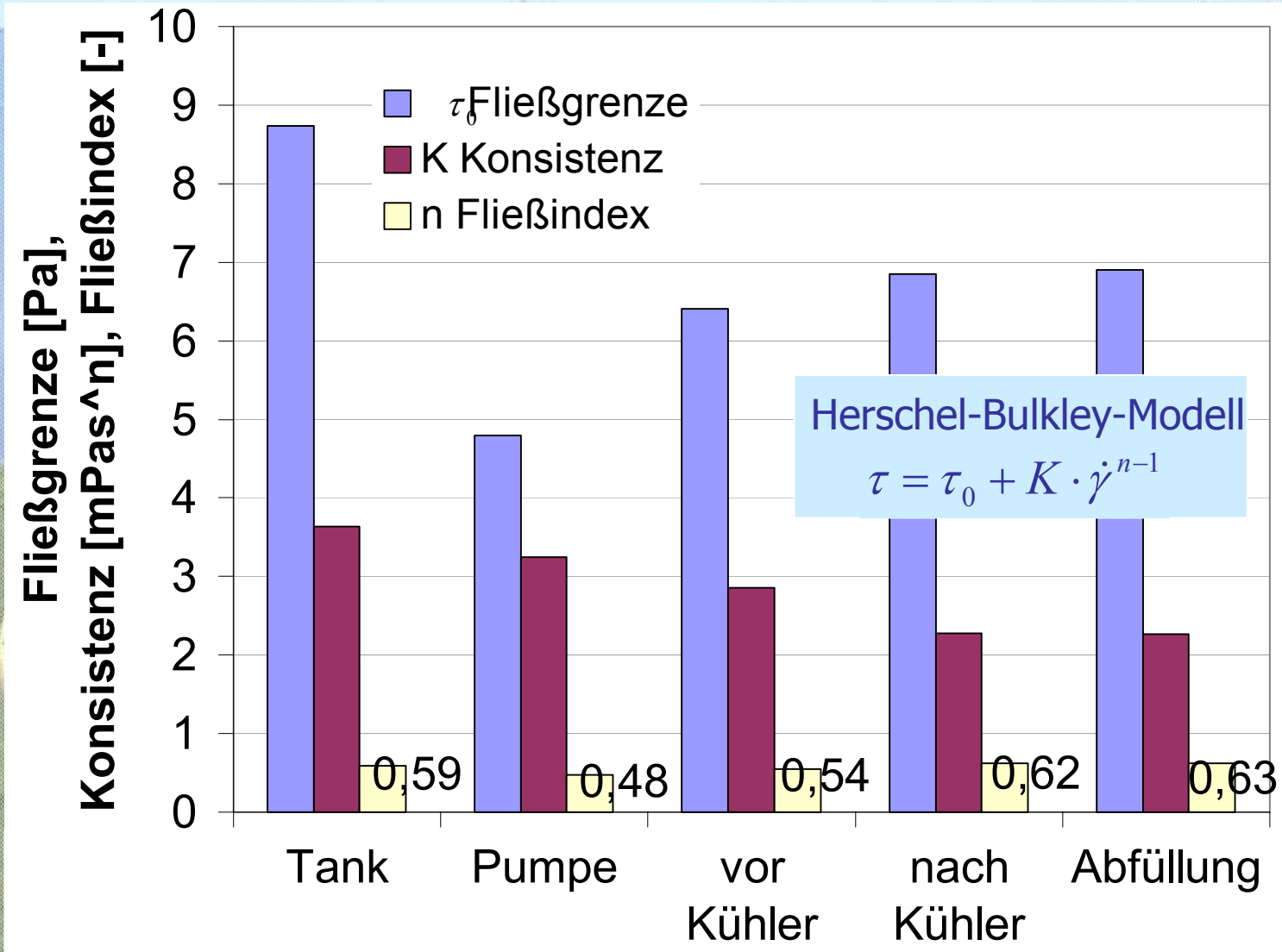
Strukturausbildung im Joghurt



Strukturveränderungen bei Transport & Abfüllung

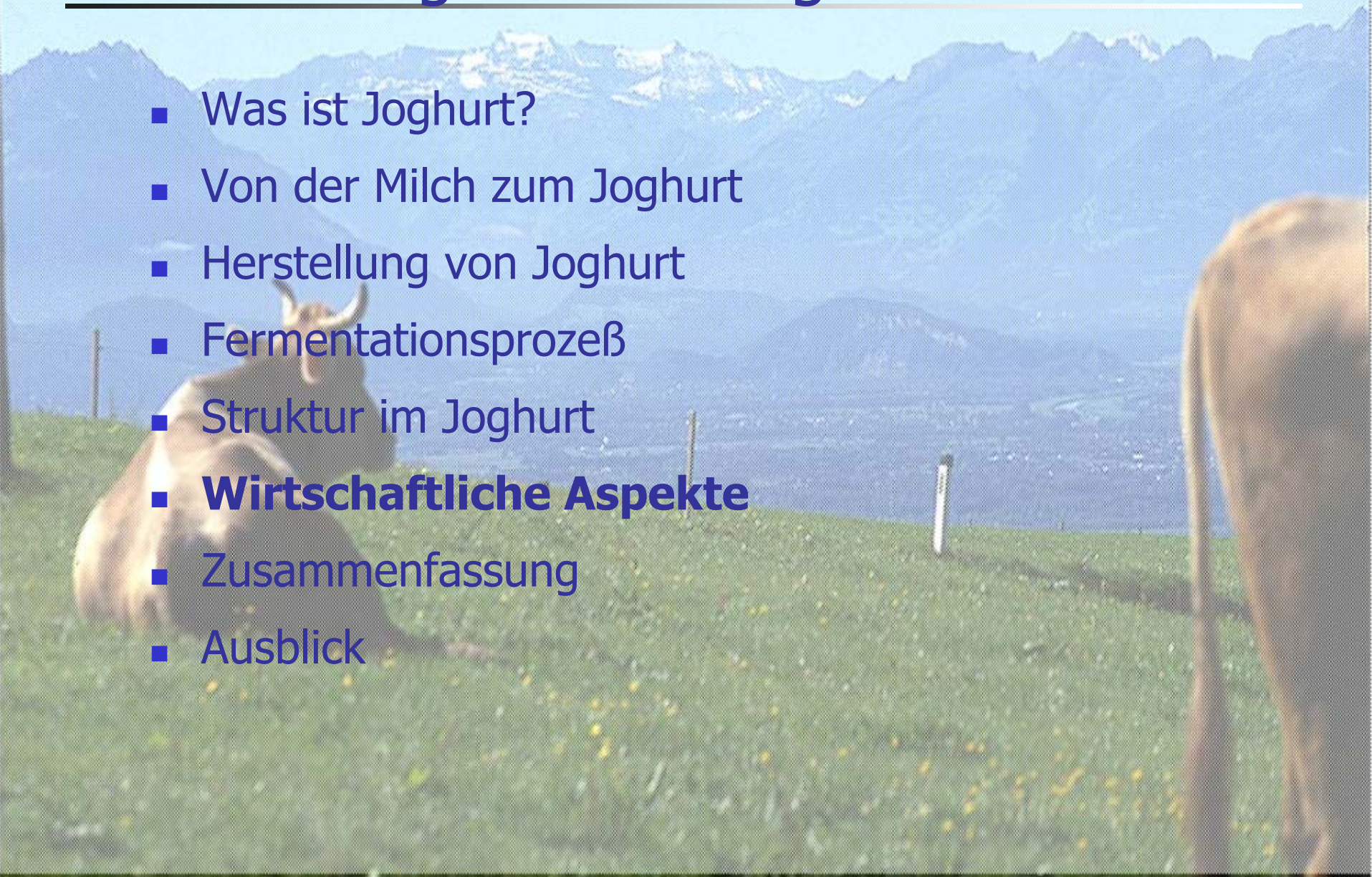


Strukturveränderungen bei Transport & Abfüllung



Gliederung des Vortrags

- Was ist Joghurt?
- Von der Milch zum Joghurt
- Herstellung von Joghurt
- Fermentationsprozeß
- Struktur im Joghurt
- **Wirtschaftliche Aspekte**
- Zusammenfassung
- Ausblick



Wirtschaftliche Aspekte

- 1) Fermentation und Kühlung im Tank
- 2) Fermentation im Tank mit nachgeschaltetem Wärmetauscher

1) Fermentation und Kühlung im Tank von 40°C auf 10°C mit Eiswasser

a) Kleiner Tank ca. 3000 kg; D=1,6m; H=1,5m

Kühlzeit ca. 3 Std.

T(Joghurt)=40°C

T(Joghurt, Ausgang)=10°C

b) Großer Tank ca. 10000 kg; D=2,5m; H=2m

Kühlzeit ca. 6 Std.

T(Eiswasser)=0°C (konst.)

c_p (Joghurt)=1800 J/(kg*K)

$k \approx 150$ W/m²K

$$t_{\text{Kühlzeit}} := \frac{m \cdot c}{A \cdot k} \cdot \ln \left(\frac{T_{\text{Joghurt}} - T_{\text{Kw}}}{T_{\text{Aus}} - T_{\text{Kw}}} \right) \cdot \frac{1}{3600}$$

→ Nachsäuerung des Joghurts bei großen Behältern

Wirtschaftliche Aspekte

- 1) Fermentation und Kühlung im Tank
- 2) Fermentation im Tank mit nachgeschaltetem Wärmetauscher

2) Fermentation im Tank mit nachgeschaltetem Wärmetauscher

a) Kleiner Tank ca. 3000 kg; $D=1,6\text{m}$; $H=1,5\text{m}$

Soll: Kühlzeit 1 Std.

Wärmetauscherfläche: ca. 30 m^2

b) Großer Tank ca. 10000 kg; $D=2,5\text{m}$; $H=2\text{m}$

Soll: Kühlzeit 1 Std.

Wärmetauscherfläche: ca. 97 m^2

→ Platten- oder Rohrbündelwärmetauschern für kurze Kühlzeiten
→ reduziert Betriebskosten bei vergleichbaren Investitionskosten

Zukunftsperspektiven

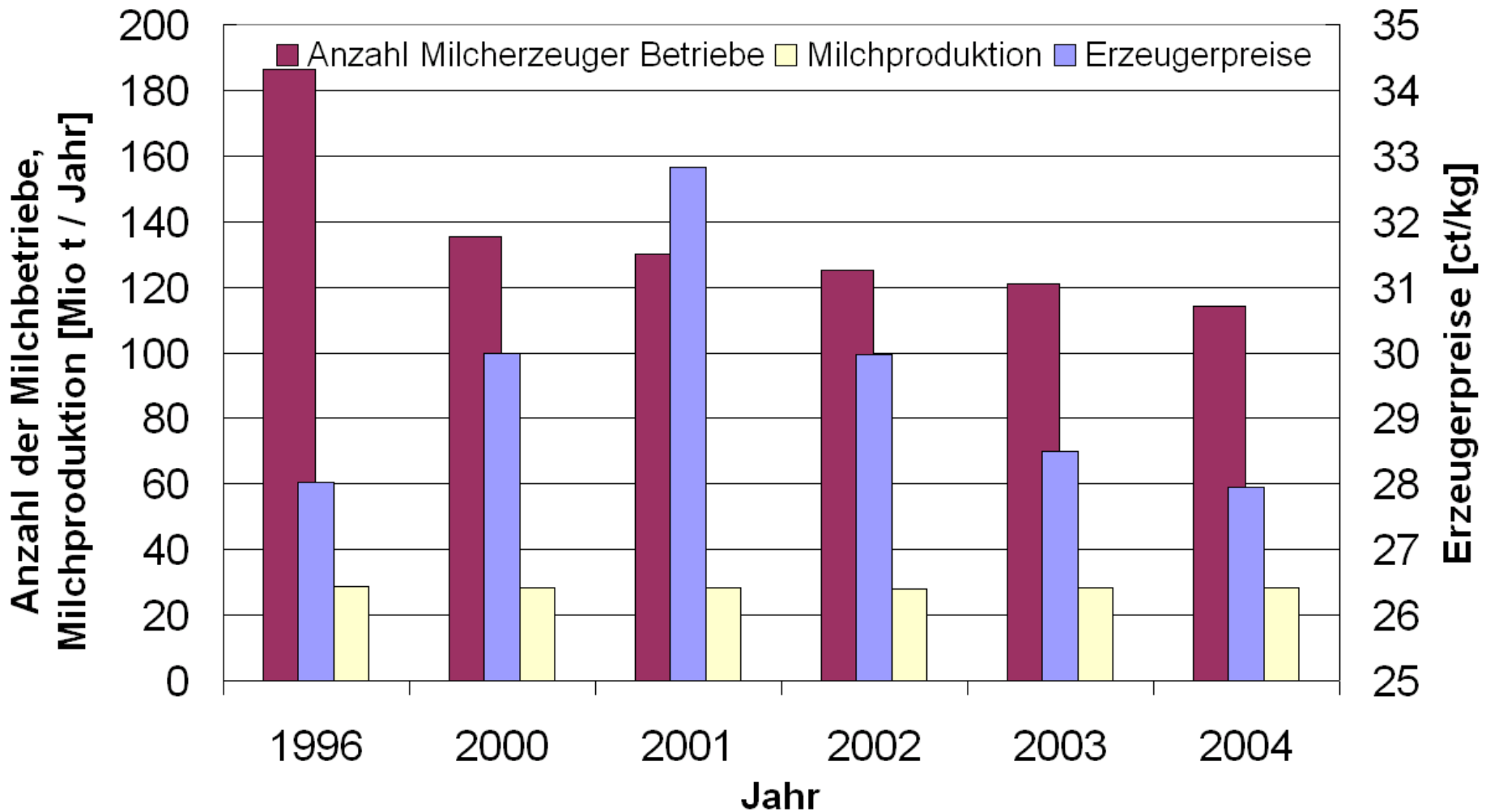
Status heute:

- bereits heute kaum wirtschaftliche Milchproduktion in Deutschland
 - EU-Erweiterung führt zu sinkenden Milchpreisen
 - Ablösung der Interventionspreise durch Flächenprämien in der EU
- kaum Chancen einen höheren Preis am Markt durchzusetzen

Strategien für die Zukunft:

- Konzentration (Kostenführerschaft)
- Produktinnovationen (Alleinstellungsmerkmal)
- Nischenstrategie (Bio-produkte)

Kostenentwicklung Milch



→ Tendenz zur Konzentration hat bei den Bauern bereits eingesetzt

Produktinnovation

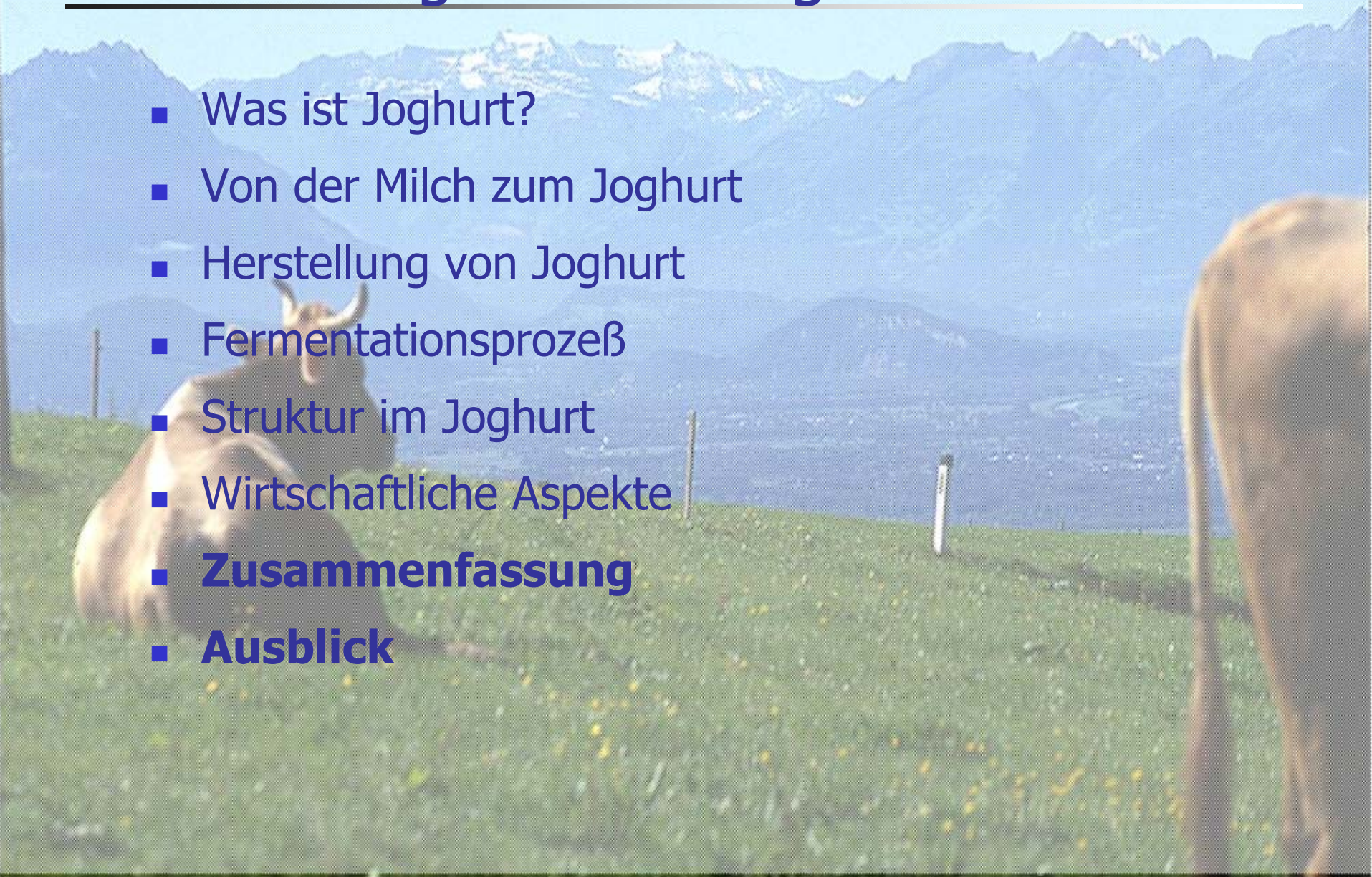
Preise	Milch (3,5% Fett)	Joghurt mit Frucht (3,5%)	Probiotischer Joghurt
Kosten für Molkerei [ct/kg]	49	105	105
Gewinn / Zwischenhandel [ct/kg]	6	45	245 - 285
Verkaufspreis [ct/kg]	55	150	350 – 390

- Verwendung spezifischer Rohstoffe (Biomilch)
- Einsatz spezieller Reifungskulturen (L.casei,...)
- spezielle Fertigungsprozesse
- präbiotische Joghurts (Oligosaccharid-Zusatz,...)
- aufmerksamkeitsstarke Verpackungen / Marketing

→ Innovative höherpreisige Produkte und Steigerung des Absatzes

Gliederung des Vortrags

- Was ist Joghurt?
- Von der Milch zum Joghurt
- Herstellung von Joghurt
- Fermentationsprozeß
- Struktur im Joghurt
- Wirtschaftliche Aspekte
- **Zusammenfassung**
- **Ausblick**



Zusammenfassung

- Joghurt enthält zusätzlich zur Milch Bakterien und Milchsäure
- Joghurt ist ein Fermentationsprodukt der Milch
- verschiedene Joghurtprodukte lassen sich mit einer Produktionslinie herstellen
- Bakterienwachstum ist über eine Monod Kinetik für mikrobiologische Fermentationen modellierbar
- ein erweitertes Modell nach Monod zeigt gute Übereinstimmung mit Meßdaten einer *S.thermophilus* und *L. bulgarius* Mischkultur
- kontrollierte pH-Einstellung führt über die Eiweißdegradation zur definierten Strukturausbildung im Joghurt
- Transport und Abfüllung des Joghurts vermindern die Struktur und damit die vom Kunden gewünschte Produktqualität

Ausblick

Zukunftsperspektiven für die Milchproduktion und -verarbeitung in Deutschland liegen in der:

- 1) Produktionnovationen in hochwertigen Marktsegmenten, da der Kunde hier bereit ist einen entsprechenden höheren Preis zu zahlen
- 2) Konzentration der Milcherzeugung beim Bauern und der anschließenden Milchverarbeitung in den Molkereien zur Realisierung eines Kostensenkungspotentials

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

