

# Experimentalvortrag Chemie



**„Die schokoladigsten Versuche  
seit es Chemie gibt“**

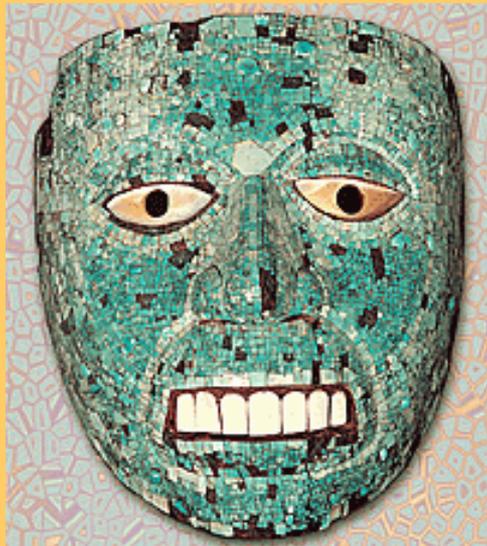
# Inhalt

- Wissenswertes über den Kakaobaum
- Wissenswertes über den Kakao
- Herstellung von Schokolade
- Inhaltsstoffe von Schokolade
- Macht Schokolade high, süchtig und glücklich?
- Schulrelevanz



# 1. Eine Legende über den Kakaobaum

- Samen entstammt aus göttlicher Hand (Quetzalcoati = Gott des Windes und Mondes)
- Waldameisen trugen erste Kakaobohnen aus den Tempeln der Götter und legten sie in Erde
- Ameisen erklärten Indios Verarbeitung der Samen



Maske aus Türkismosaik:

Quetzalcoati - Gott des Windes und Mondes

## 2. Wissenswertes über den Kakaobaum

- Bis zu 15 m hoch
- Wissenschaftlicher Name: *Theobroma cacao* (griech.: „Speise der Götter“)
- Carl von Linné
- Malvenartiges Gewächs



Der Kakaobaum



Kakaofrüchte



Offene Kakaofrüchte

## 2. Wissenswertes über den Kakaobaum

- Winzig, am Stamm gebildete Blüten = Stammblütigkeit
- Gelblich-weiß oder rötliche Blüten
- Nur 20-50 Früchte im Jahr
- Früchte: rotbraun, 15-20 cm, 4-5 Monate bis zur Reife



Blüte eines Kakaobaums



Frucht eines Kakaobaums

# 3. Geschichte des Kakaos

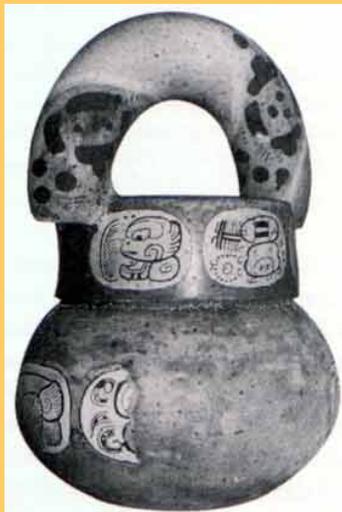
- 1500 v. Chr. Olmeken



Beginn mit dem Anbau von Kakaopflanzen in Mittelamerika



- 300 n. Chr. Mayas



Rösten und Stampfen von Kakaobohnen; Gefäße für Kakao



### 3. Geschichte des Kakaos

- **1100 n. Chr. Tolteken** Verehrung; Bohnen = Genuss- und Zahlungsmittel
- **1200 n. Chr. Azteken** Unterwerfung der Tolteken und Übernahme der Kakaokultur
- **1492 n. Chr. Christoph Kolumbus** Entdeckung Amerikas



Christoph Kolumbus



Darstellung eines Kakaobaums aus altmexikanischer Bilderhandschrift „Codex Fajérvary-Maya“ (14. Jh.)

### 3. Geschichte des Kakaos

- **1492 n. Chr. Hernán Cortes**

Eroberung und Besiedelung der „neuen Welt“, Erkennen des Wertes der Kakaobohnen

- **Seit 1500 n. Chr. Europäer**

heiße, gesüßte Trinkschokolade (Spanien → Europa); Getränk der Privilegierten



Zubereitung des „Xocolatl“

Ländermonographie „Die neue Welt“ von Olfert Dapper



Hernán Cortes



Schokoladenhaus

### 3. Geschichte des Kakaos

- **1800 bis 1900**

Schokogetränke zu erschwinglichen Preisen; erste industrielle Schokoladengetränke,

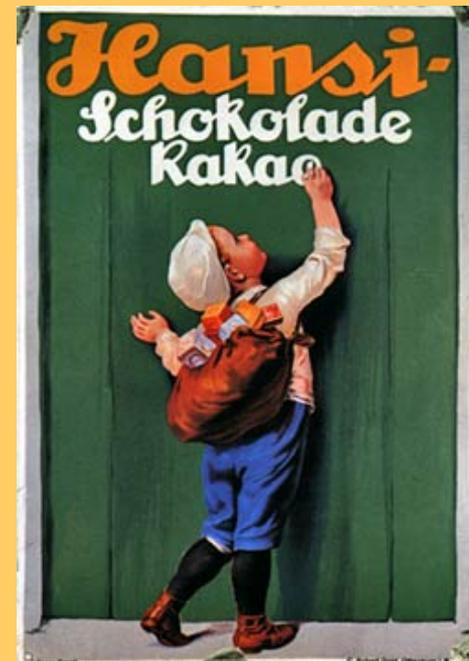
neu auf Markt: Schokoladentafeln

- **Ab 1900 bis heute**

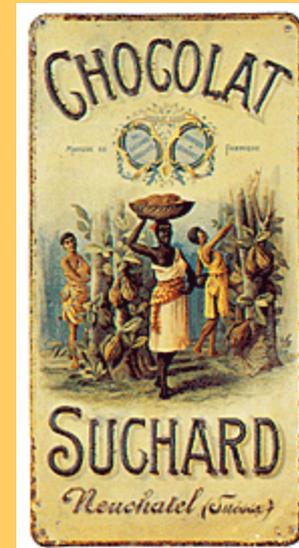
Vereinfachung der Herstellung → Massenware



1879 Conche von Lindt

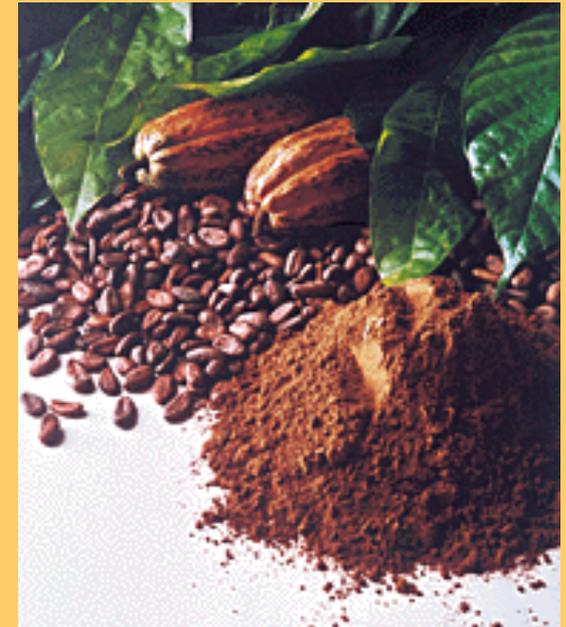


# Industrielle Schokoladenherstellung

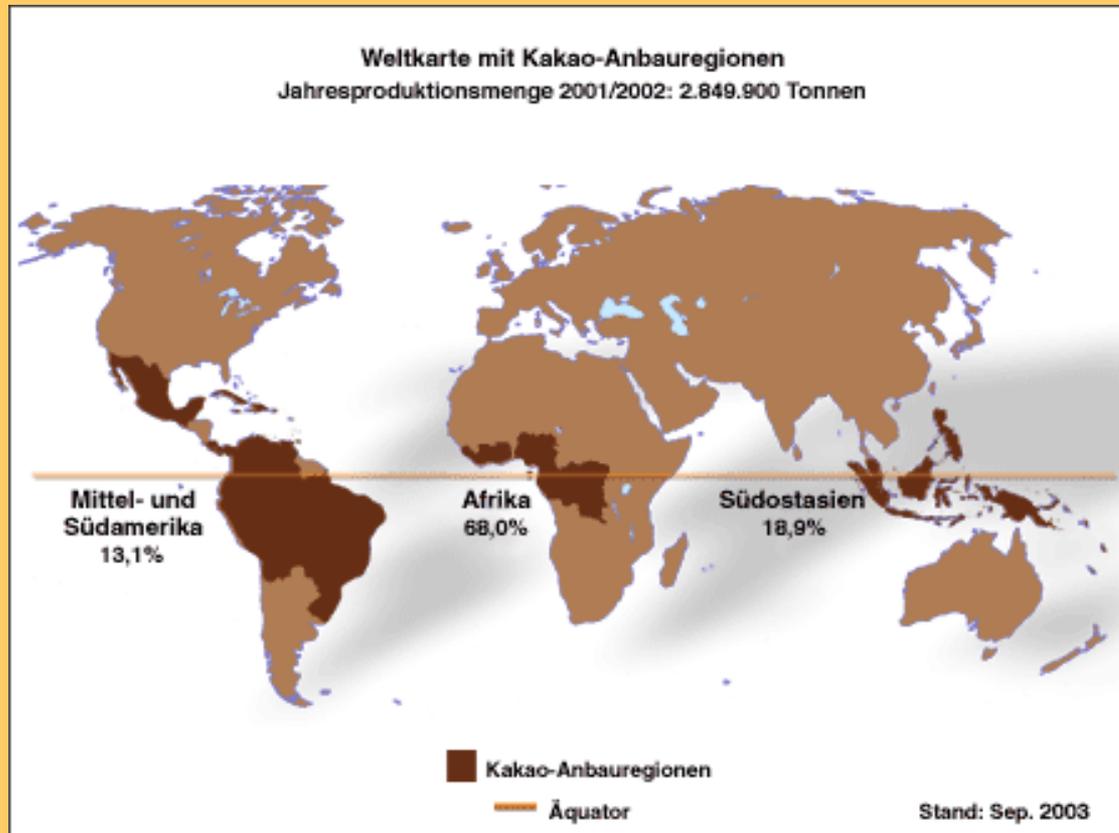


# 4. Kakaosorten

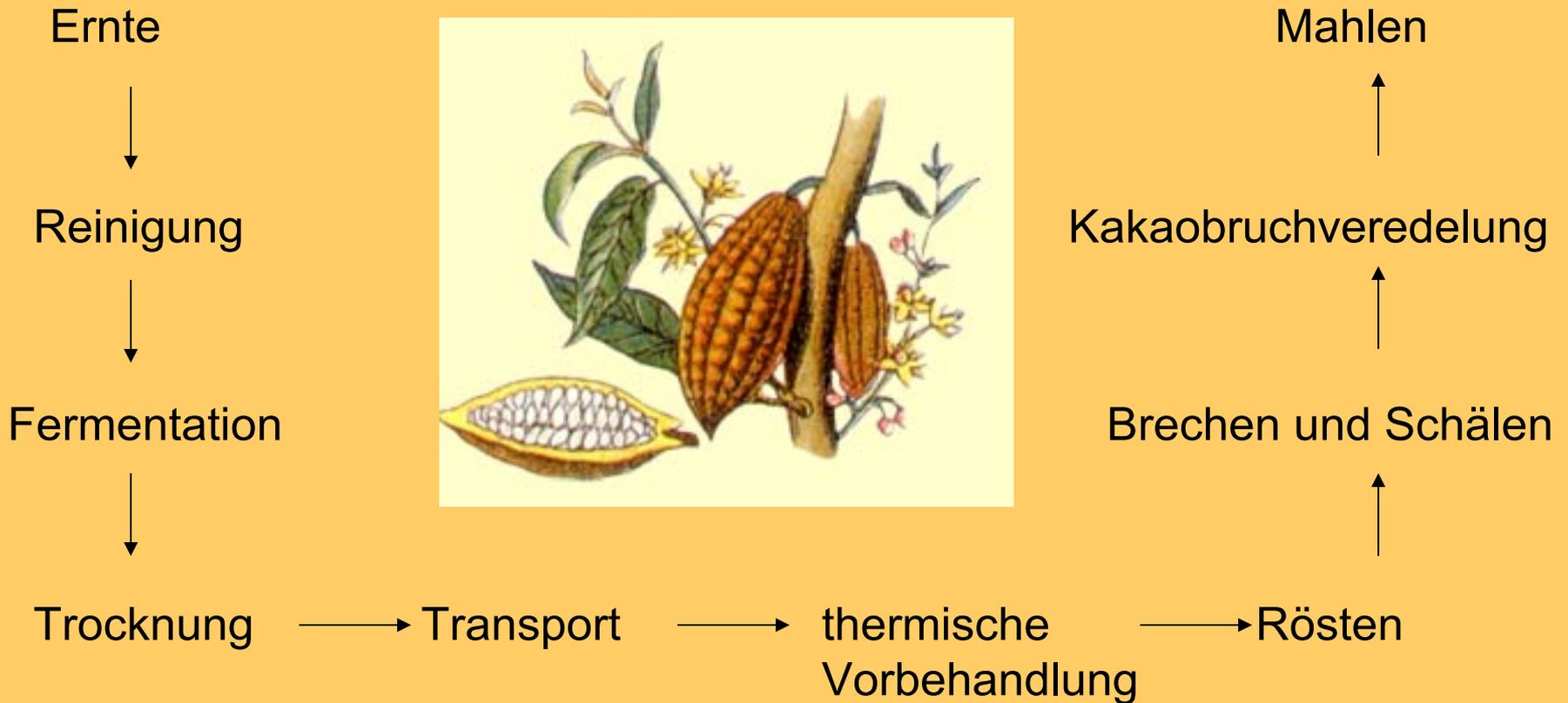
- **Criollo** - Edelsorte aus Equador und Venezuela
  - Weltproduktion ca.5-10%
  - zartes Aroma
- **Forastero** - „Konsumkakao“ aus Westafrika
  - Weltproduktion ca.70%
  - herbes Aroma
- **Trinitaro** - Kreuzung Criollo/Forastero
  - Weltproduktion ca.20%



# 5. Kakaoanbau



# 6. Verarbeitung der Kakaofrucht



# 1. Ernte



## 2.Reinigung



Öffnung der Früchte

Herauslösung der Samen mit  
Fruchtmus

Samen von weißlicher Masse  
(*Pulpa*) umgeben



weiß bis violettgefärbte  
Samen mit Keimwurzeln

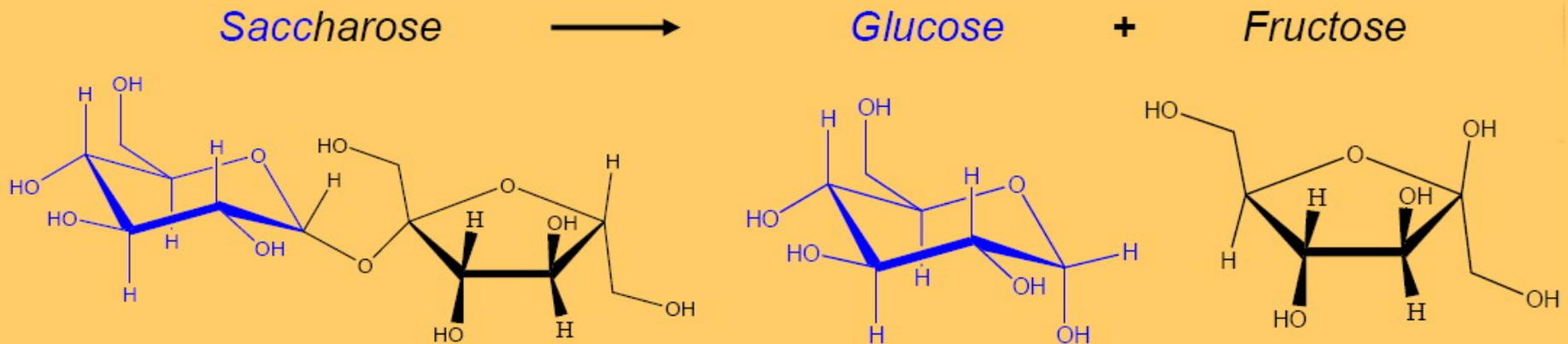
# 3. Vorbereitung für die Fermentation



# 4. Fermentation

Die drei Phasen der Fermentation – Was passiert chemisch?

1.) anaerobe Phase: Abbau höhermolekularer Kohlenhydrate, z.B



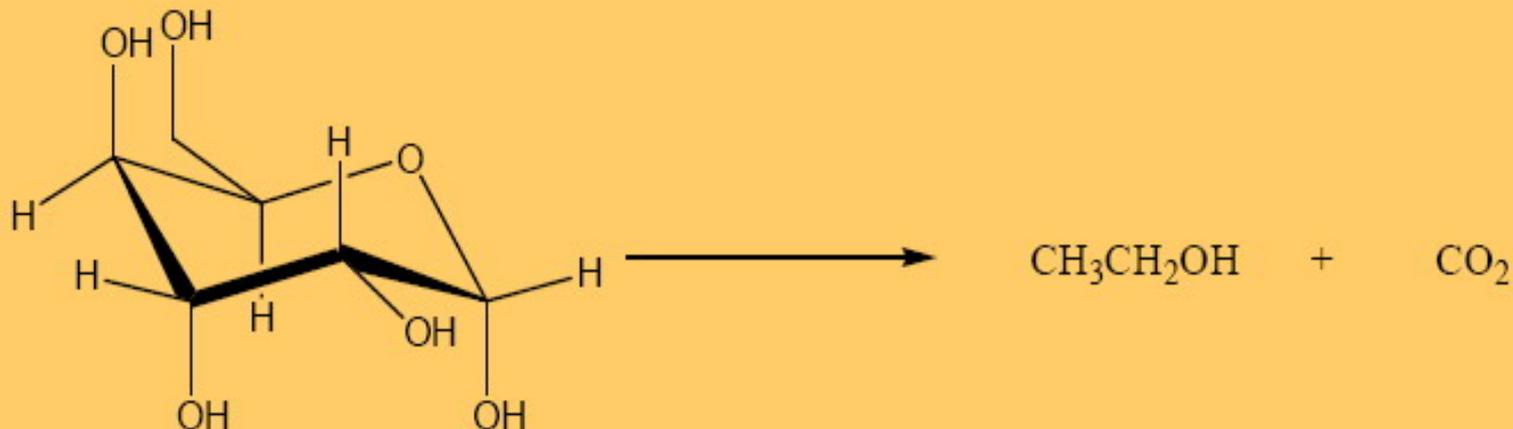
## 6. Verarbeitung der Kakaofrucht - Fermentation

### teilweise alkoholische Gärung:

Fruchtmus: tiefer pH-Wert, hoher Feuchtigkeits- und Zuckergehalt

→ schneller Befall von Bakterien und Insekten

Entwicklung von Hefezellen → Umwandlung von Zucker in Alkohol und Kohlendioxid



### 2.) Aerobe Phase:

Das Fruchtmus wird flüssig und läuft ab.

→ es kann vermehrt Luft eindringen

Durch Fruchtefliegen Befall mit Essigsäurebakterien

Essigsäurebakterien oxidieren den Alkohol zu Essigsäure:

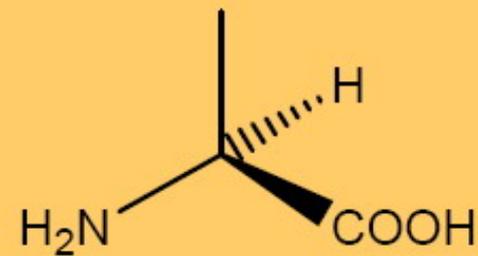


### 3.) Postmortale Phase (im abgetöteten Samen)

Durch hohe Temperatur und Essigsäure Absterben der Kakaosamen → Umwandlung zu Kakaobohnen



Beispiel für eine Aminosäure:



*Alanin*

# Zusammenfassung der Fermentation:

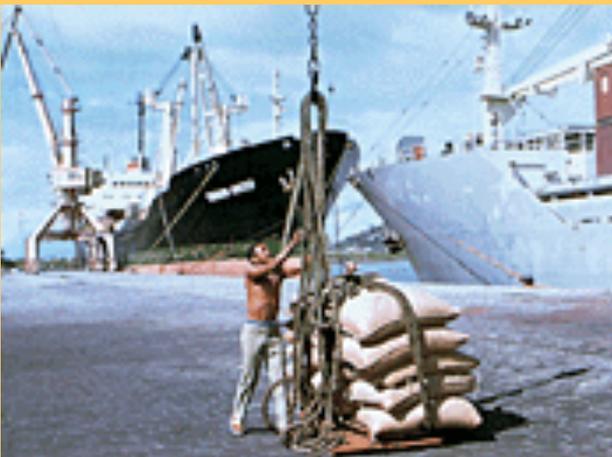
- 1.) Kakaobohnen werden vom Fruchtfleisch gesäubert
- 2.) Keimfähigkeit der Samen wird abgetötet → bessere Lagerfähigkeit
- 3.) Weißliche Bohnen färben sich braun
- 4.) Bildung der für den Schokoladengeschmack verantwortlichen Aromastoffe (bzw. deren Vorstufen)



# 5. Trocknen



- Trocknen der Rohkakaobohnen in der Sonne
- Gewichtsreduktion auf Hälfte
- Entstehung der ersten Aromastoffe
- Verpackung und Verschiffung zur Weiterverarbeitung



# 6. Rösten

Röstung der Rohkakaobohnen bei 90-125°C (10-35 Minuten)

- Entwicklung des eigentlichen Kakaoaromas
- Verstärkung der rötlichen Farbe der Bohnen; Entstehung des Schokoladenbraun

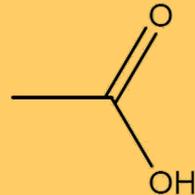


# Was passiert beim Rösten?

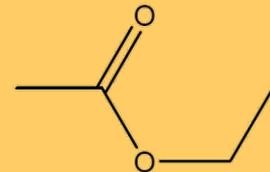
- Senkung des Wassergehalt auf 2%

- Entfernung von

Essigsäure



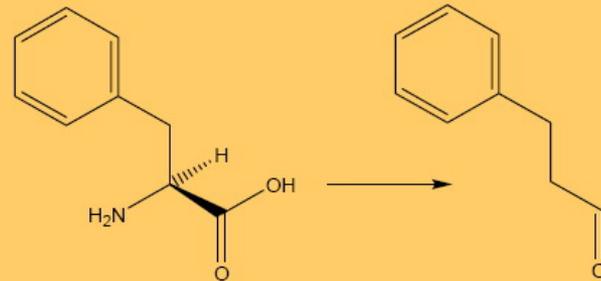
und Essigsäureethylester



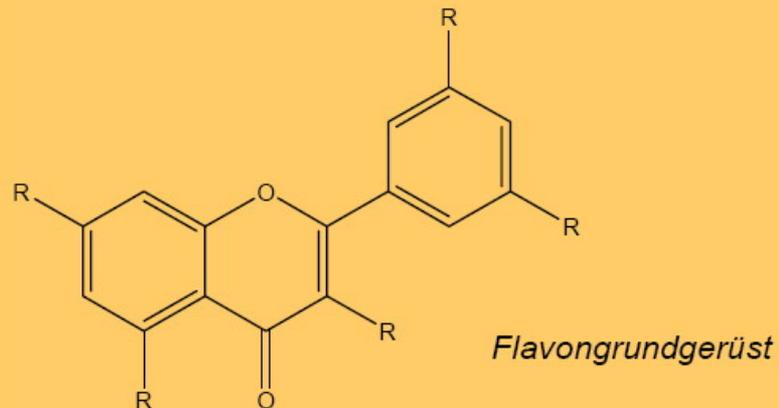
- Verringerung der mikrobiellen Belastung
- Auslösung Thermischer und oxidativer Aroma-, Geschmacks-, und Farbstoffbildung

## 6. Verarbeitung der Kakaofrucht - Rösten

AMINOSÄUREN wie z.B. Phenylalanin werden oxidativ zu Carbonylverbindungen abgebaut (*Strecker-Abbau*)



Bildung von Flavonen und Flavonoiden; es entstehen unter anderem Polyhydroxyphenole (→ Gerb- und Farbstoffe)



# Experiment 1:

**Nachweis von Gerb-& Farbstoffen  
mit Eisen(III)chlorid**

## 6. Verarbeitung der Kakaofrucht - Rösten

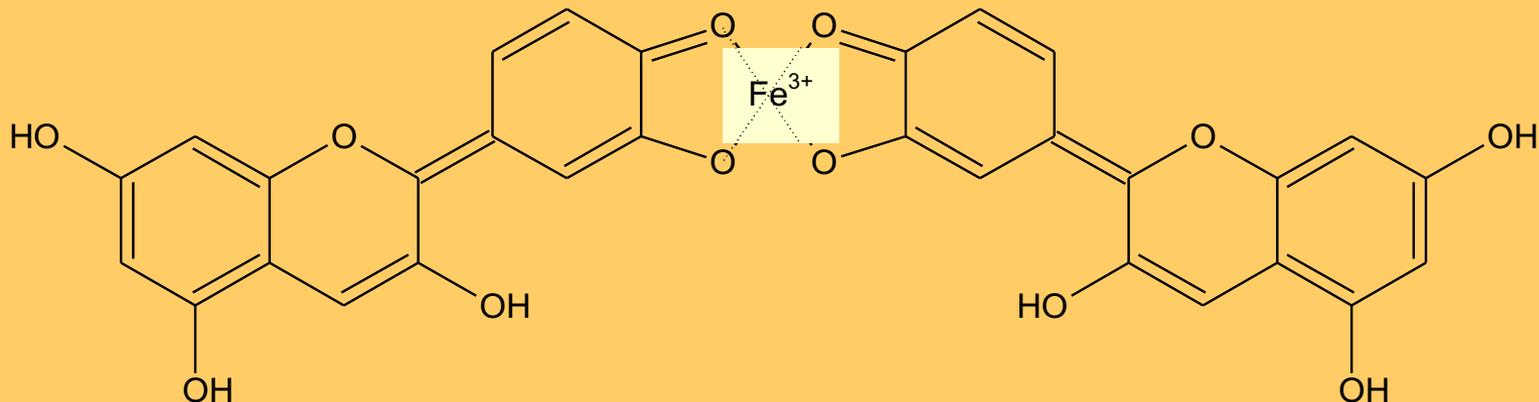
**Beobachtung:**

Grün- bis Braunfärbung der  
Kakaolösung

**Auswertung:**

Eisen(III)chloridlösung → Nachweis  
von Gerb- und Farbstoffen

Phenolische Stoffe ( z.B. im Kakao: Gerb- und Farbstoffe) bilden mit Eisen(III)-Ionen farbige Chelatkomplexe

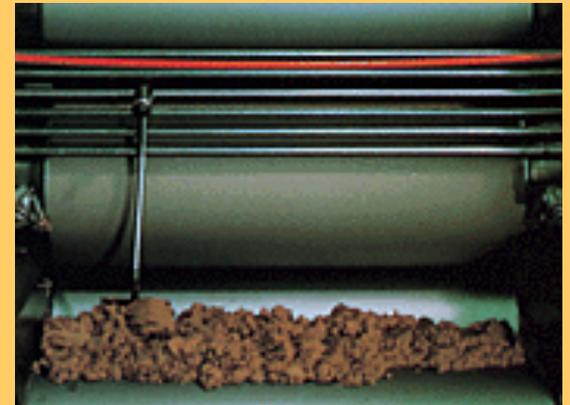


## 7. Brechen und Schälen

Kakaobohnen werden in Walzen gebrochen („Kakaokernbruch“);  
Entfernung der Schale

## 8. Mahlen

Kakaokernbruch wird in Walzen gemahlen



# 7. Von der Kakaomasse zum Schokogenuss



## Verarbeitung der Kakaomasse

### Schokolade

- 1.) Vermischen der Zutaten
- 2.) Raffinieren/Feinwalzen
- 3.) Conchieren
- 4.) Temperieren
- 5.) Abfüllen und Kühlen



### Kakaopulver/ Kakaobutter

- 1.) Alkalisieren (Duching)
- 2.) Pressen
- 3.) Instantisieren
- 4.) Pulverisieren

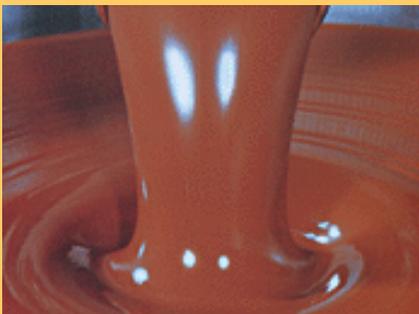
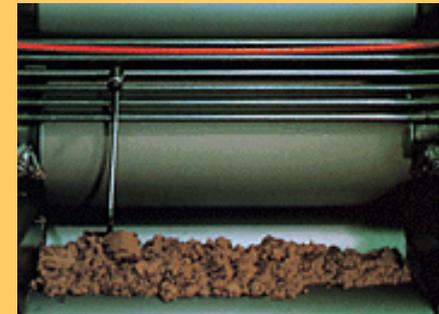
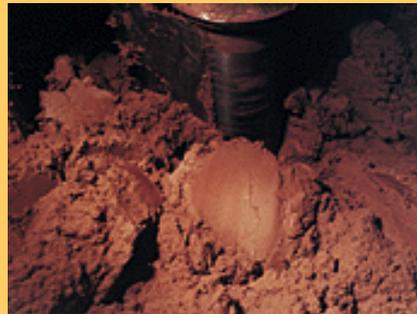
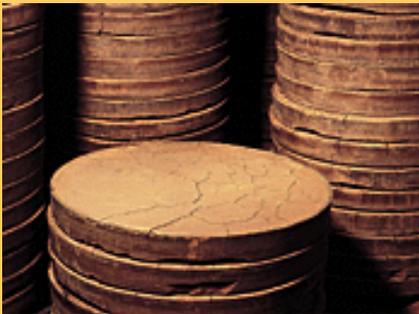


### Schokoladenprodukte:

- Kakaopulver → Soßen, Gebäck, Eis, Mousse, Pudding,...
- Kakaobutter → Lotionen, Cremes,...

## 7. Von der Kakaomasse zum Schokogenuss

# Bildersammlung – Industrielle Herstellung



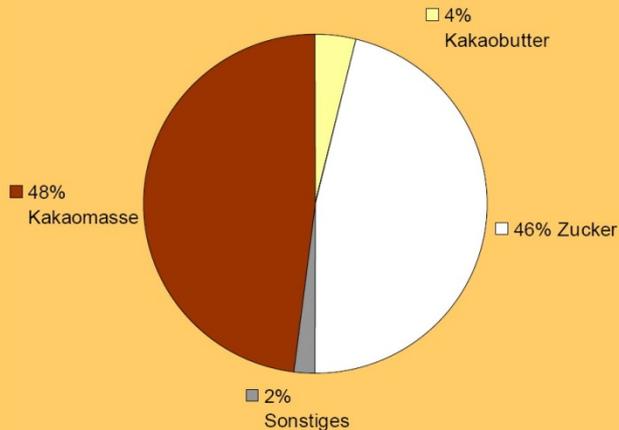
# 8. Zusammensetzung von Schokolade

## Halbbitter („Zartbitter“)

48% Kakaomasse

4% Kakaobutter

46% Zucker

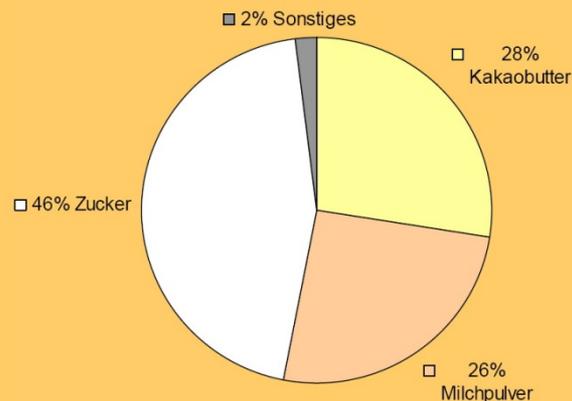


## Weißer

28% Kakaobutter

26% Milchpulver

46% Zucker



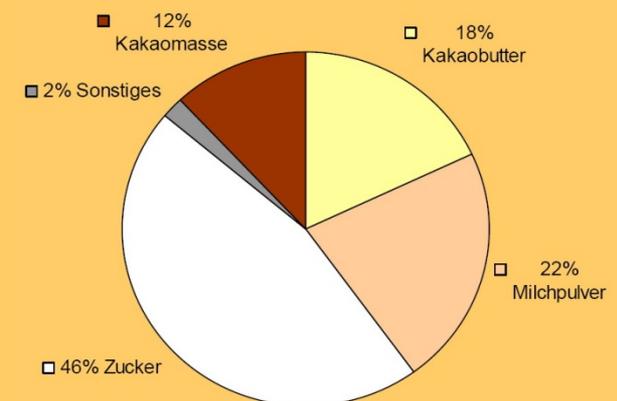
## Vollmilch

12% Kakaomasse

18% Kakaobutter

22% Milchpulver

46% Zucker



# 9. Inhaltsstoffe von Schokolade



**Was ist in Schokolade  
enthalten?**

**? ? ?**

# 1. Zucker

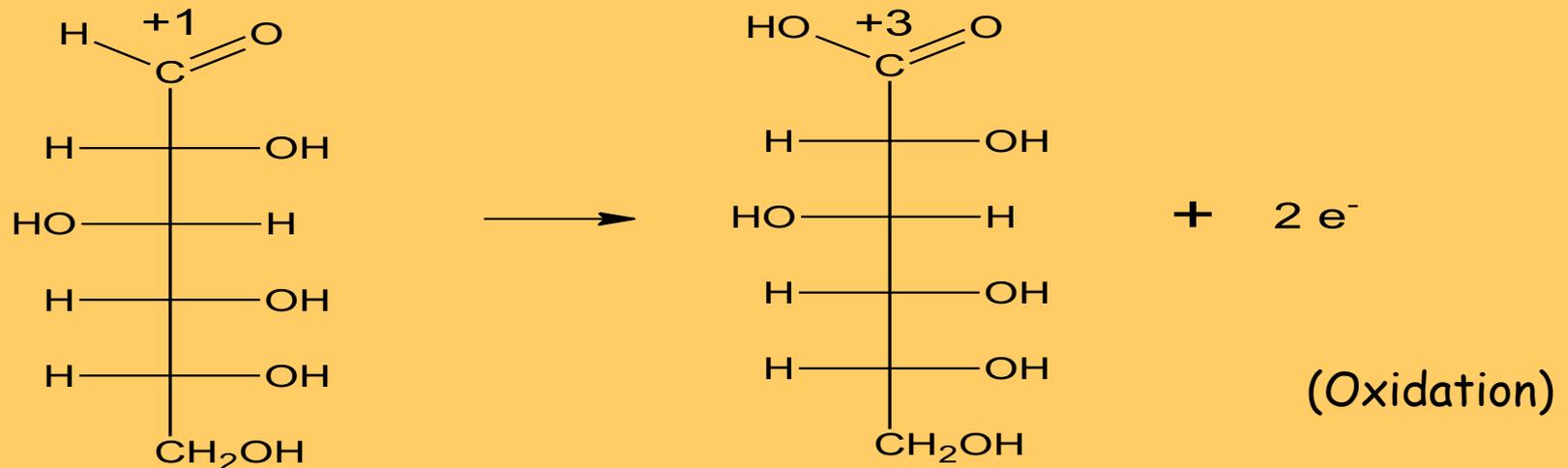
## Experiment 2:

# Zuckernachweis mit Tollens-Reagenz

**-Zucker:**

Tollens-Reagenz: Oxidationsmittel

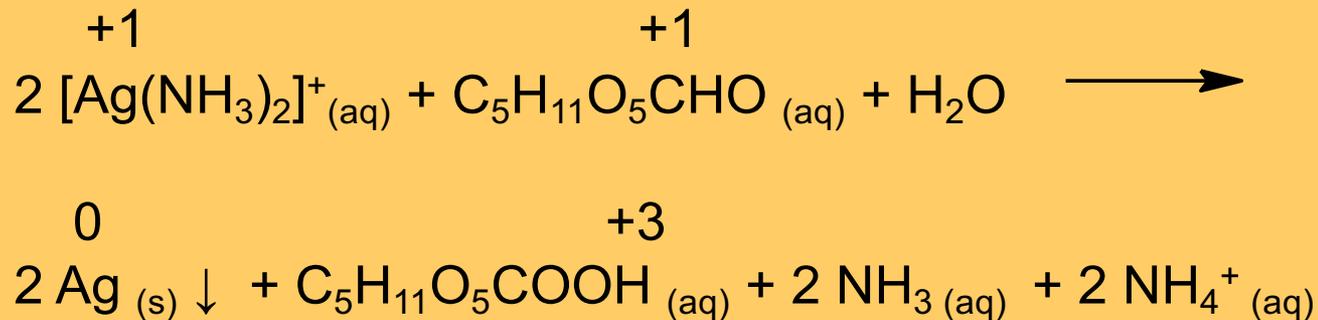
Hier: Glucose wird zu Gluconsäure oxidiert



Reduktion von Silber(I)-ionen zu elementarem Silber



**Redoxreaktion:**



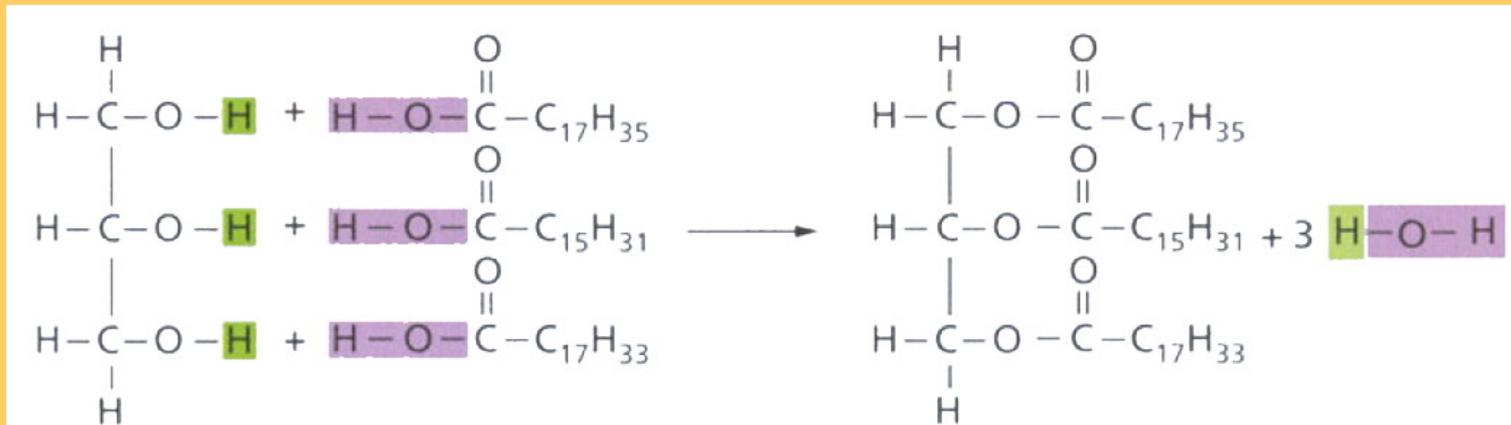


## 2. Fette



### Bildung eines Fettes – Chemische Betrachtung

Entstehung durch Veresterung von Glycerin; Bindung von drei Fettsäuren pro Glycerinmolekül



Glycerin

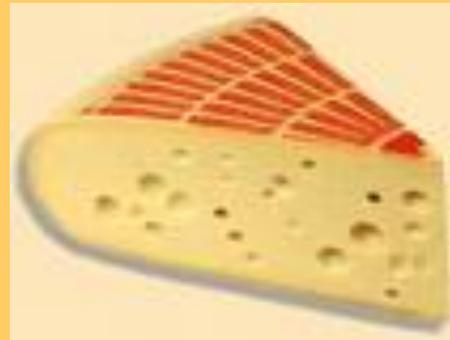
Fettsäuren

Fett

Wasser

### Fette sind....

- Energielieferanten
- wichtig für die Aufnahme von fettlöslichen Vitaminen (A, D, E, K)
- in der Lage Aroma- und Geschmacksstoffe zu binden



# Demonstration 1: „Aromatisierte Schokolade“



**Wonach riecht die  
Schokolade?**

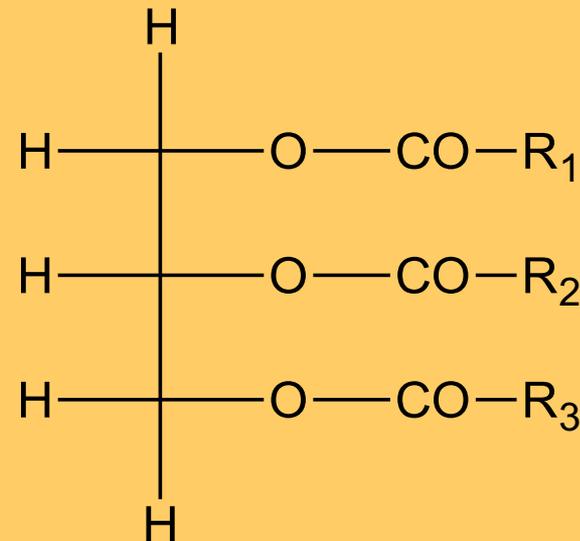
**? ? ?**

# Experiment 3:

## Fettnachweis durch Fettfleckprobe

Kakaobohne besteht zu 50% aus  
Kakaobutter

Kakaobutter setzt sich zu 97% aus  
Triglyceriden („Fett“) zusammen



## Welche Fette kommen in Schokolade vor?

Kakaobutter ist ein Gemisch aus....

- Palminsäure



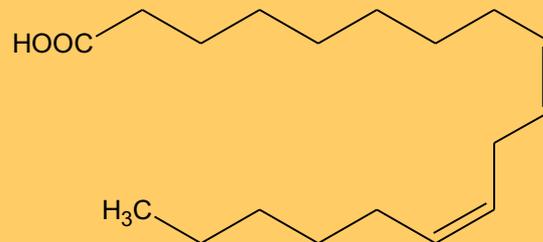
- Stearinsäure



- Ölsäure



- Linolsäure



# 3. Emulgatoren

## Was ist eine Emulsion?

→ Feinverteilung von nichtmischbaren Flüssigkeiten

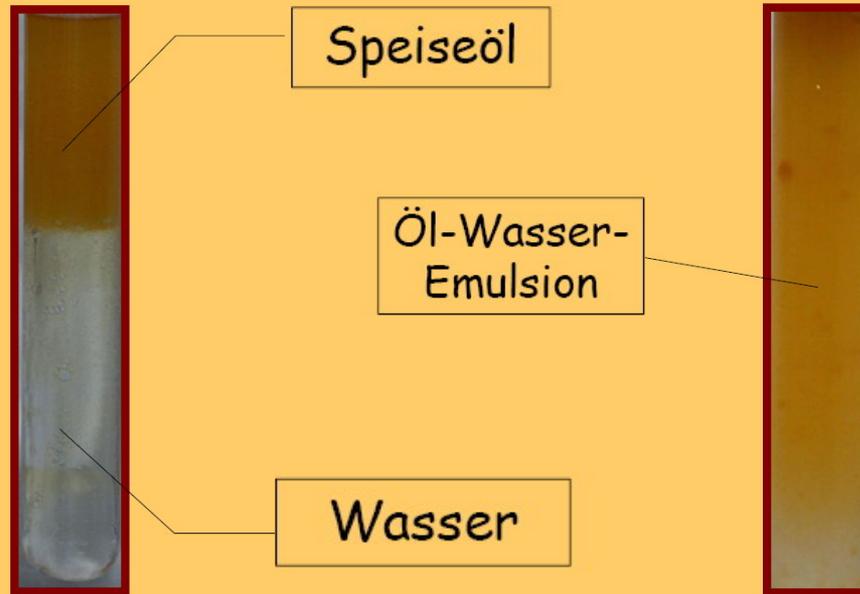
Bsp. Im Alltag: Wasser und Speiseöl in Salatsoße

Frage: Gibt es eine Möglichkeit, Öl und Wasser miteinander zu vermischen?

# Experiment 4

## Wirkungsweise eines Emulgators

## 9. Inhaltsstoffe - Emulgatoren



### Beobachtung:

2-Phasen-Bildung  
(oben Öl und unten  
wässrige Phase)

### Beobachtung:

Phasen vermischen sich

### Erklärung:

Fettliebende (lipophile) Stoffe und  
wasserliebende (hydrophile) Stoffe sind  
nicht mischbar

„Gleiches löst sich in Gleichem“

### Erklärung:

Emulgator = „Vermittlungsstoff“ zwischen  
Wasser und Fett

Besitzt lipophilen und wasserliebenden Teil

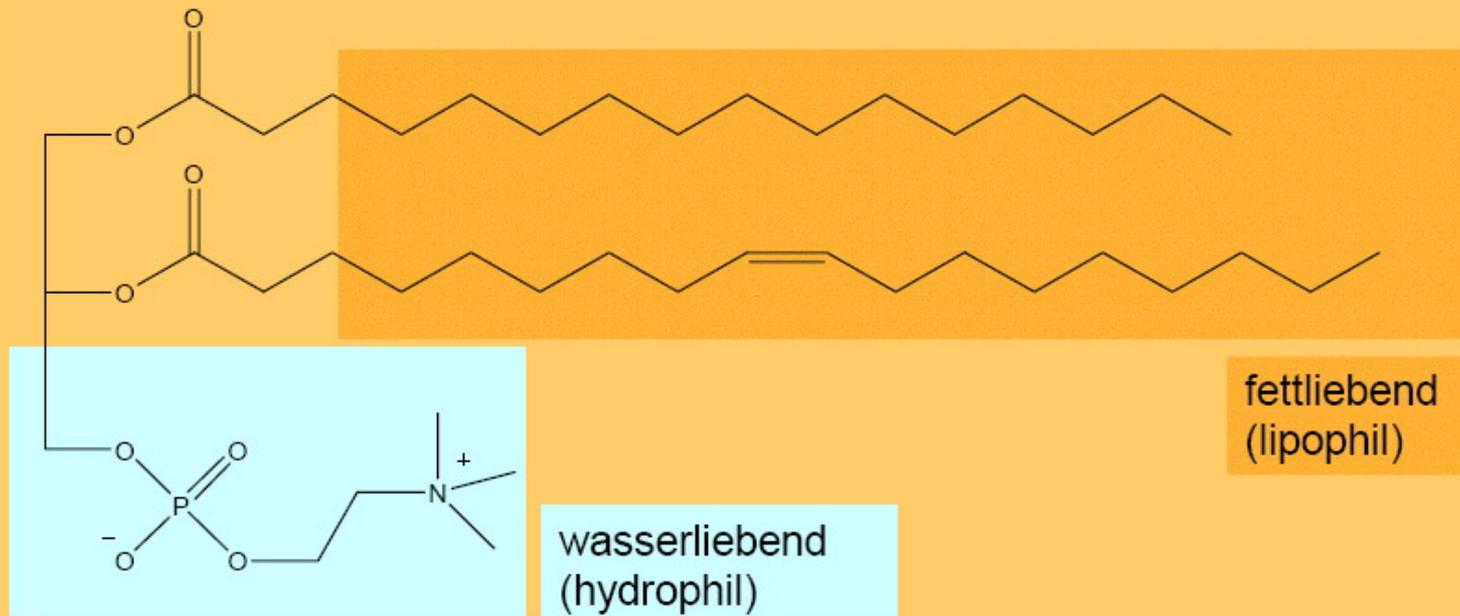
Kann nur an Grenzflächen aktiv sein

# Lecithin

Lecithin wird bei der Herstellung von Pflanzenölen gewonnen

- lipophile Kohlenwasserstoffkette
- hydrophile Phosphorsäureester-Gruppe

→ Lecithin = Vermittler (Emulgator) zwischen Wasser und Fett



# Lecithin bei der Schokoherstellung

- Zucker und Kakao von lipophiler Schicht umschlossen  
→ gleichmäßige Verteilung in Kakaobutter
- Bildung homogener Masse → flüssige Schokolade kann besser in ihre Form gegossen werden
- Fehlen des Emulgators, Zerstörung des Emulgators durch Hitze  
→ Ausfall von Zucker- und Fettkristallen (= „Fett- bzw Zuckerreif“)

# Demonstration 2: Fett- und Zuckerreif

**Beobachtung:** Bildung von Fettkristallen, die sich über ganzen Kolben ausbreiten → Kristallisation

**Auswertung:** helle Flecken:  
Fettkristalle (Fettreif)

dunkle Flecken:  
herausgelöste Zuckerkristalle (Zuckerreif)



Zuckerreif (dunkel)



Fettreif (hell)

### **Erklärung:**

*Fettreif:* Emulgator (Lecithin) nicht hitzebeständig → Zerstörung  
→ Fett fällt aus

*Zuckerreif:* Zucker besser wasser- als fettlöslich → Herauslösung von  
Zucker durch Kondenswasser → Ablagerung als Kristalle

### **Wie wird Fettreif in Herstellung Verhindert?**

→ Impfung der Masse mit Musterkristallen vor Erkalten → Fett baut an  
vorgegebene Strukturen an und kristallisiert in gewünschter Form aus

# 4. Proteine und Aminosäuren

## Experiment 5:

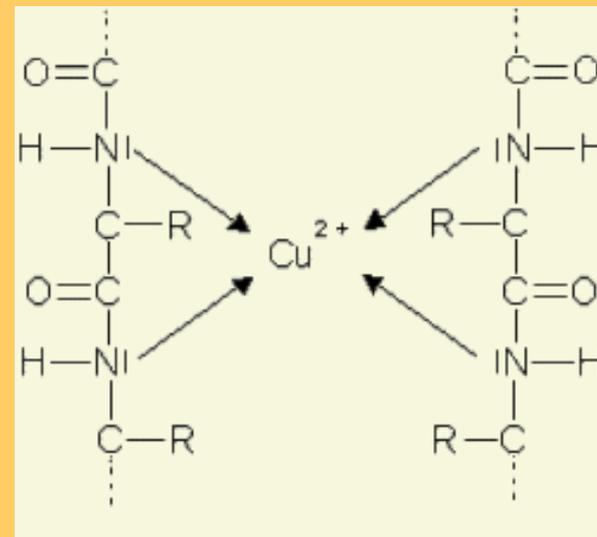
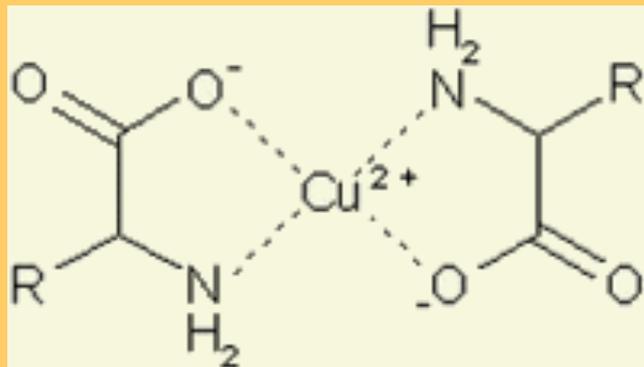
## Biuret-Reaktion

**Beobachtung:** 1. Biuretreaktion ist hellblau

2. Schokolösung → dunkelblau bis violett

**Auswertung:** im alkalischen Milieu

- Aminosäuren: Bildung eines dunkelblauen Komplex mit Kupferionen
- Peptide und Proteine: Bildung eines blauvioletten Komplexes mit Kupferionen



# 5. Farbstoffe

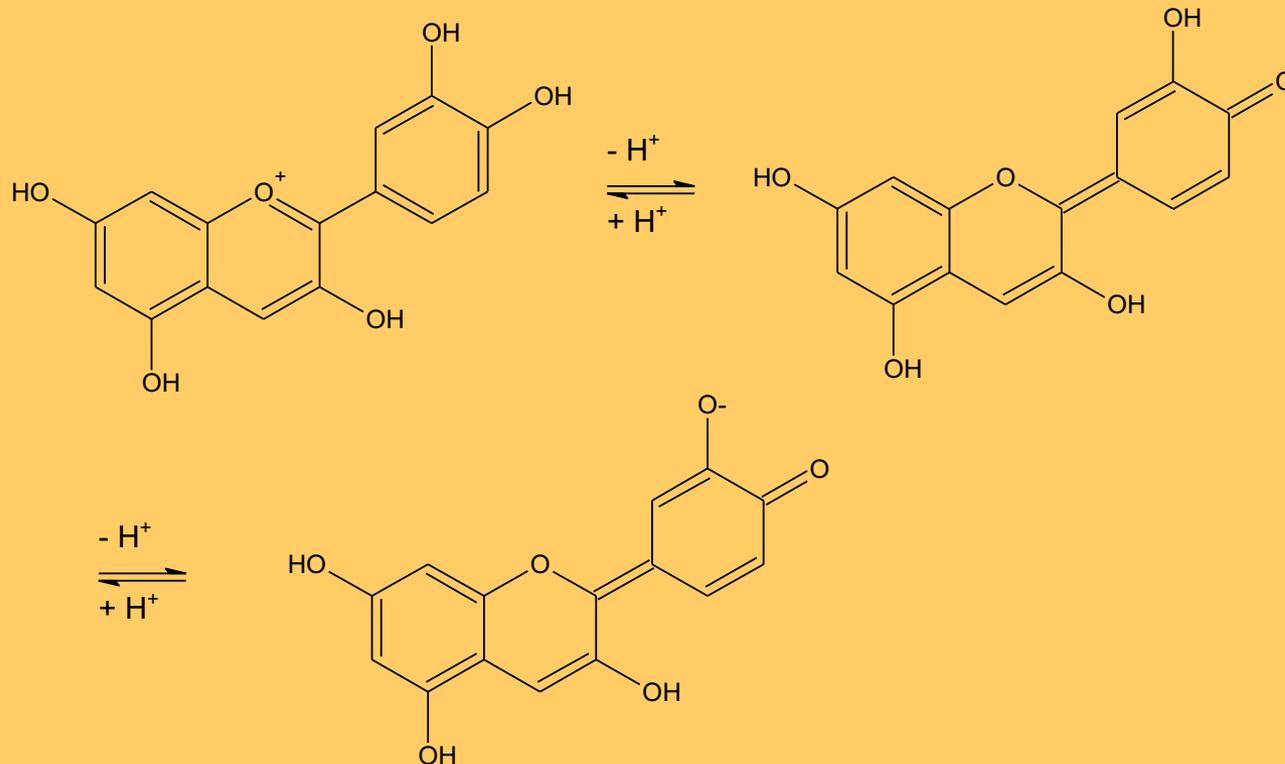
## Experiment 6:

### Farbvertiefung mit Soda

**Beobachtung:** 2. Reagenzglas: dunklere Farbe

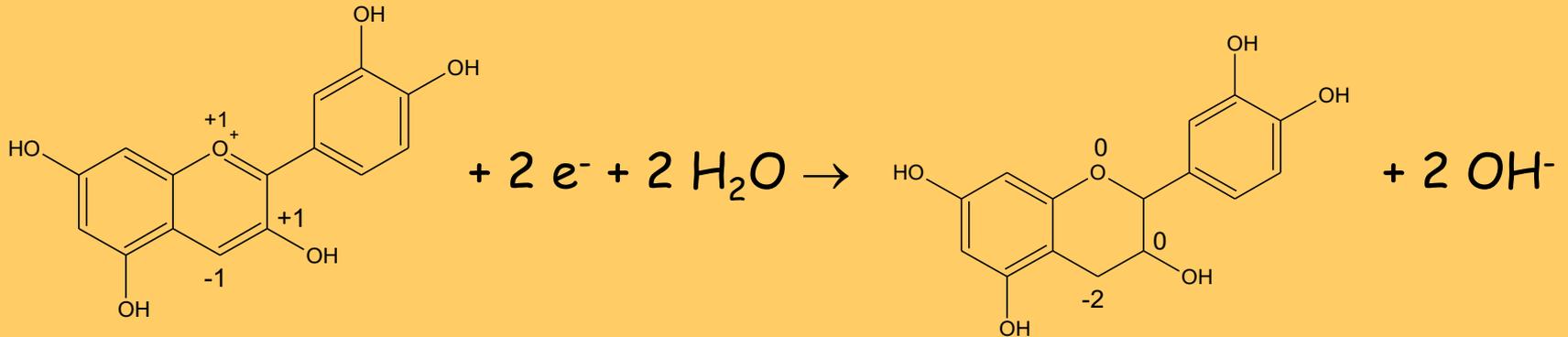
3. Reagenzglas: keine Veränderung

**Auswertung:** Farbvertiefung mit Soda beruht auf Dissoziation phenolischer Stoffe (z.B. Cyanidin)

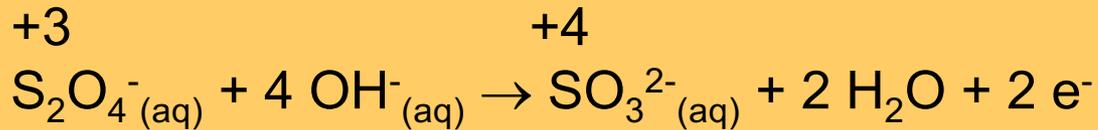


**Entfärbersalz:** Dithionit reduziert die Farbstoffe zum Teil und verhindert so eine Farbänderung.

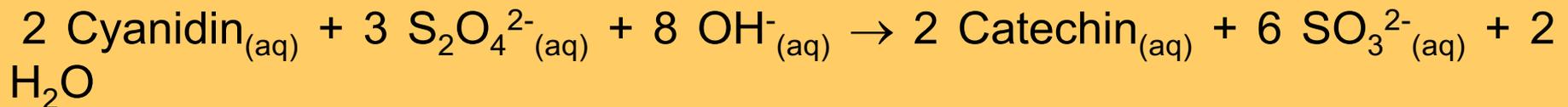
*Reduktion:*



*Oxidation:*

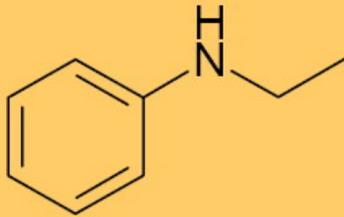


*Redox:*



# 10. Macht Schokolade „high“, süchtig und glücklich?

- **Phenylethylamin (PEA)**



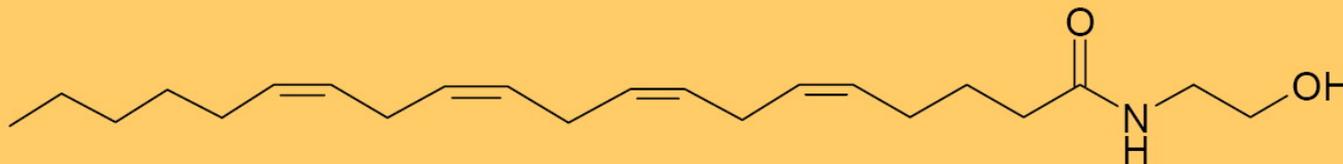
→ bewirkt Anstieg des Blutzuckerspiegels

→ „Verliebtheitseffekt“

- **Anandamid**

→ berauscher Effekt

→ beflügeltes Gefühl, Glücksgefühl



## 10. Macht Schokolade „high“, süchtig und glücklich?

- **Serotonin** → hilft dem Gehirn, Glücksgefühle erleben zu können
- ohne Serotonin im Körper wird man depressiv
- Bildung von Serotonin durch Essen von Süßem (z.B. Schokolade)

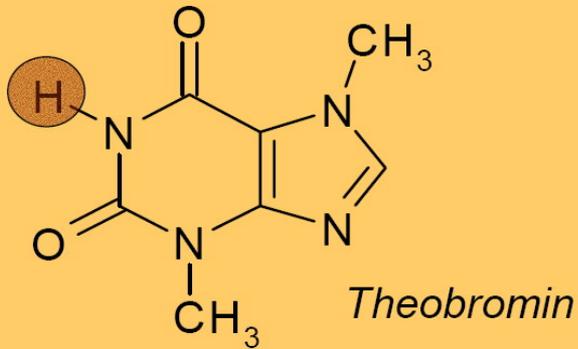


## 10. Macht Schokolade „high“, süchtig und glücklich?

- **Theobromin und Koffein**

→ Theobromin macht wach und munter

→ Koffein steigert Leistungsfähigkeit



- **Fett und Zucker**

→ gute psychologische Wirkung

→ guter Energielieferant

# Experiment 7:

## Brennwert von Schokolade

## 10. Macht Schokolade „high“, süchtig und glücklich?

### **Auswertung:**

Fette und Zucker sind die Stoffe, die beim Verbrennen am meisten Energie freisetzen (→in Schokolade reichlich enthalten)

Brennwert Schokolade: 2300 kJ/100g

### **Anmerkung:**

Mit einer Tafel Schokolade kann sogar ein Liter Wasser zum Kochen gebracht werden

# 11. Schulbezug

- Fächerübergreifend (Biologie, Chemie, Geschichte)
- Chemie: JS 8 – Stoffe und ihre Eigenschaften (Prüfen von Stoffen aus dem Alltag), Trennverfahren von Stoffgemischen, Chromatographie  
JS 11/12 – Kohlenstoffchemie (technisch und biologisch wichtige Kohlenstoffverbindungen)  
JS 13: Komplexchemie
- Alltagsbezug → Schülermotivation
- Behandlung der Nahrungsbausteine (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße)
- Darstellung der Komplexität von Nahrungsmitteln
- in der Regel großer Schokoladenkonsum unter den Schülern  
→ wichtig, Thema anzusprechen
- wichtige, essentielle Inhaltsstoffe und chemische Vorgänge

*„ In einer gelungenen Füllung kommt jeder der großen Schokoladensorten zur Geltung, aus denen sie sich zusammensetzt. Jede besitzt eine eigenes Aroma, eine Persönlichkeit, die ihr ebenso eindeutig zuzuordnen ist wie der Klang einem Instrument oder die Stimme einem Opernsänger “*

Robert Linxe - Chocolatier

**Danke für eure  
Aufmerksamkeit !!!**