

Kapitel 10.09: Gärungen



Tipp: Bei Interesse mal Kapitel „04.02: Niedere Pilze“ lesen. Dort sind viele Informationen zu Hefen, zum Weinbau und zur Bierherstellung zu finden.

Freies Lehrbuch der Biologie von H. Hoffmeister und C. Ziegler
(unter GNU Free Documentation License, Version 1.2 (GPL)).

Die jeweils aktuellste Fassung finden Sie unter: <https://hoffmeister.it/index.php/biologiebuch>

Inhalt

Kapitel 10.09: Gärungen.....	1
Inhalt.....	2
Italienische Pizza.....	3
Weißbrot.....	3
Anaerober Abbau von Glucose = Gärung.....	4
Verschiedene Arten der Gärung:.....	4
Bierherstellung durch Hefegärung.....	5
Weinherstellung durch Hefegärung.....	6
Weinanbau in Fulda am Frauenberg.....	6
Anaerober Abbau von Glucose = Gärung.....	7
a) Alkoholische Gärung.....	7
b) Milchsäuregärung.....	8
Gärungen und die NAD ⁺ -Regeneration.....	9
Grundprinzip und Übersicht.....	9
a) Alkoholische Gärung.....	9
b) Milchsäure-Gärung:.....	10
Muskeltypen und Milchsäuregärung.....	10
Vergleich der aeroben und anaeroben Abbauwege.....	11
Anwendung von Gärungsprozessen I – Brot & Hefegebäck.....	12
Anwendung von Gärungsprozessen II – Milchprodukte.....	13
Joghurtherstellung.....	14
Typen von Milchsäurebakterien.....	15
Die Vielfalt der Milchprodukte.....	16
Übersicht: Milchprodukte.....	17

Italienische Pizza

Damit die Gärung mal einen praktischen Bezug bekommt - hier ein richtig einfaches Rezept:

Zutaten:

- 400g Mehl
- 1 TL Zucker
- 1TL Salz
- 1 Päckchen Hefe (Trockenhefe oder Frischhefe)
- 8 EL Öl
- 250 ml heißes Wasser
- 1 Dose Tomatenmark
- 1 Packet Mozzarella (notfalls Gouda)

Nach Geschmack: Champignons, Salami, Schinken, Thunfisch, Artischocken...

1. Zubereitung Teig:

In einen Messbecher 8 EL Öl geben und mit heißem Wasser auf 250ml auffüllen.

Alles zum Mehl hinzugeben und gut vermischen (mit den Händen kneten)

Damit der Teig möglichst schnell „geht“, also die Hefen ihre Arbeit verrichten können, stellen wir ihn 10 min. bei 40-45°C in den Backofen.

Den aufgegangenen Teig nochmals kneten und erneut für 10min. in den Backofen stellen.

2. Zubereitung Soße:

Das Tomatenmark aus der Dose wird mit Salz, Pfeffer, Oregano und nach Geschmack mit anderen Gewürzen abgeschmeckt.

3. Belegen der Pizza:

Den Teig ausrollen, sodass er nicht zu dick ist und auf das Ofenblech passt. Er wird mit der Tomatensoße bestrichen und mit Wurst, Fisch oder Gemüse belegt. Anschließend wird der Käse darauf verteilt.

Die Pizza kommt nun bei 225°C für ca. 20 Minuten in den Backofen.

Wenn man den Ofen heißer macht und entsprechend kürzer backt, wird die Pizza meist besser. Der Pizzaofen in der Pizzeria hat oft über 300°C.

Weißbrot



Nimmt man das gleiche Rezept, dann kann man den Teig auch prima in einer Kuchenform zum Weißbrot backen. Durch Hinzufügen von Körnern (und evtl. Verwendung von Vollkornmehl) entsteht daraus ein Vollkornbrot. Gibt man Milch anstelle des Wassers hinzu und Rosinen, so hat man ein Rosinenbrot (Stuten). Natürlich kann man auch mit allem Brötchen formen :-)

Anaerober Abbau von Glucose = Gärung

- 2 Teilschritte:**
- Glycolyse
 - eigentliche Gärung

Die Glycolyse kennst Du aus Kapitel 10.8. Sie endet mit Brenztraubensäure (bzw. mit deren Säurerest/ Anion dem Pyruvat). Die Brenztraubensäure wird nun bei Sauerstoffmangel in einen weiteren Stoff umgewandelt. Je nach Lebewesen (Tier, Bakterium oder Pilz) entstehen nun Milchsäure oder Ethanol. Dabei gewinnt das Lebewesen nur etwas Energie, denn die Produkte selbst enthalten noch recht viel der inneren Energie der Glucose, aber die entstandene (geringe) Menge Energie reicht zum Überleben aus.

Verschiedene Arten der Gärung:

Die häufigsten Gärungen sind:

- die Milchsäuregärung: Sie findet z.B. in unseren Muskeln bei Sauerstoffmangel statt. Dies kann beim Sprinten der Fall sein, weil so schnell nicht genügend Sauerstoff von der Lunge in die Muskeln gelangt. Dabei entsteht Milchsäure, die später wieder abgebaut wird.

Auch Milchsäurebakterien können Traubenzucker (Glucose) oder auch Milchzucker (Lactose) in Milchsäure verwandelt werden. Dies macht man sich bei der Herstellung von Joghurt, Sauerkraut oder Silage zunutze.

Milchsäurebakterien sind auch Teil unseres Immunsystems. Sie leben bei jedem Säugetier auf der Haut und produzieren Milchsäure, die so zum Beispiel die Haut zu sauer für Pilze macht. An unseren Füßen kann bei langer Zeit ohne Sauerstoff, z.B. durch luftundurchlässige Schuhe sehr viel Milchsäure entstehen. Das riecht man dann!

- die alkoholische Gärung: Diese Art der Gärung findet man vor allem bei Hefepilzen. Sie stellen Trinkalkohol (Ethanol) und Kohlenstoffdioxid her. Die Menschen verwenden dies seit vielen Tausend Jahren zur Herstellung von Brot und Hefengebäck (durch das Kohlenstoffdioxid, welches den Teig aufgehen lässt und ihn „Fluffig“ macht) und alkoholischen Getränken.
- weitere Arten von Gärungen:
 - die Propionsäuregärung (z. B. bei der Herstellung von Emmentaler Käse)
 - die malolaktische Gärung (Umwandlung von Äpfelsäure in Milchsäure)
 - die Methangärung

Als Gärung bezeichnet man den energieliefernden, organisches Material zersetzenden, Stoffwechsel, welcher ohne Einfluss von freiem Sauerstoff (anaerob) stattfindet.

Die Gärung ist somit der Energiegewinn (ATP-Bildung) ausschließlich durch Substratkettenphosphorylierung, ohne dass eine Elektronentransportkette benutzt wird!

Meist läuft Gärung durch anaerobe oder fakultativ anaerobe Mikroorganismen (Bakterien oder Pilze) ab. Sie kann aber auch z.B. in unseren Muskeln ablaufen.

Die gärenden Mikroorganismen werden zum Teil zur Nahrungsherstellung und Veredelung von Lebensmitteln verwendet.

Zusatzinformationen:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Gärung>

Bierherstellung durch Hefegärung

Zum Bierbrauen muss man nicht besonders viel Aufwand betreiben. Der Bierbrauer röstet angekeimte Gerste (=Malz) und löst diese in Wasser auf. Nach mehreren Reinigungs- und Reifungsprozessen kommt noch Hopfen als Bitterstoff hinzu. So wird Bier schon seit vielen Jahrhunderten gebraut.

Erste Erwähnung findet Bier im Reinheitsgebot von 1516:

Zur Bierherstellung werden nur Hopfen, Malz und Wasser verwendet.

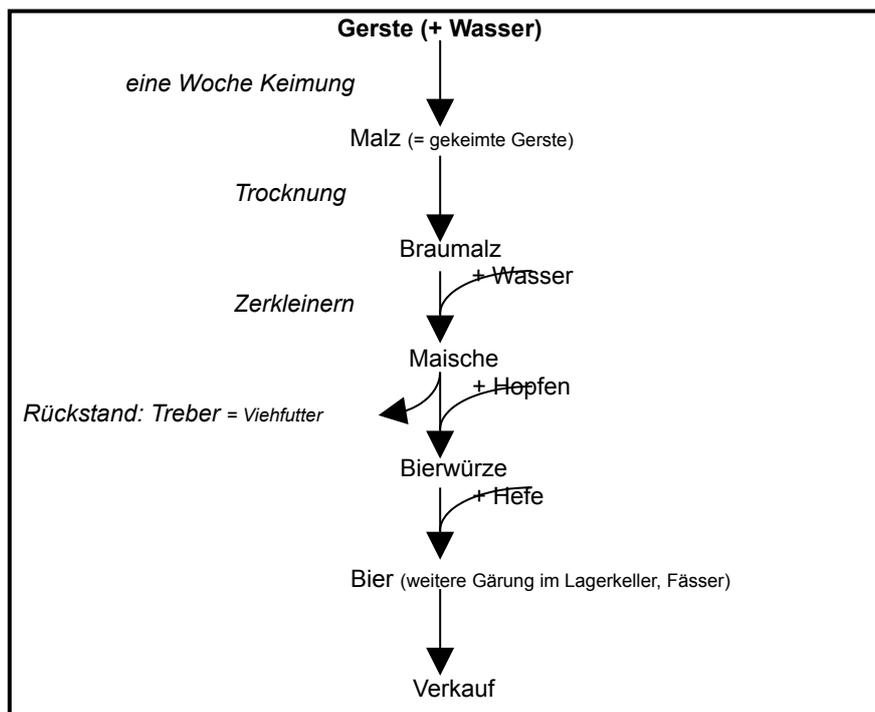
(Die Hefe war damals noch unbekannt, sie war aber auf der Gerste und dem Hopfen vorhanden).

Die Hefe bildet aus dem bei der Keimung entstehendem Malzzucker Alkohol. Hopfen dient dem Geschmack.

Malzzucker ---> Kohlenstoffdioxid + Alkohol



Tank zum Reifen des Biers



Zusatzinformationen:

- <http://de.wikipedia.org/wiki/Bierbrauen>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kategorie:Bier>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Bier>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Portal:Bier> (hier findet ihr alles zum Thema ;-)

Weinherstellung durch Hefegärung

Fruchtzucker aus Trauben dient als Basis für die Weinherstellung. Diesen findet man in roten und weißen Trauben. Je mehr Zucker in den Trauben enthalten ist, desto länger können die Hefen Alkohol daraus herstellen. Folglich sind Weine aus Südeuropa süßer, was etwas alkoholreichere Weine zur Folge hat (bis zu 13%). Die Weinernte ist im Herbst. Je später sie ist, desto süßer sind dann die Trauben. Beim Eiswein wart man sogar den ersten Frost ab.

Zuerst werden die Trauben zu einem Brei vermischt. Diesen Brei nennt man vergleichbar der Bierherstellung auch Maische. Für Weißwein wird die Maische ausgepresst (und abfiltriert) und so entsteht der Traubenmost. Aus 100kg Trauben erhält man immerhin ca. 70l Most. Um den Most keimfrei zu bekommen, wird er erhitzt oder geschwefelt (begast mit Schwefeldioxid). In großen Weinkesseln beginnt nun die Hefegärung.

Meistens geben Winzer heute spezielle Hefen hinzu - dies war früher nicht so. Die Winzer vertrauten darauf, dass die richtigen Sporen auf den Trauben (durch den Wind) schon vorhanden waren. Die erste Gärung dauert bei ca. 5°C je nach Wein bis zu 3 Monaten. Dann folgt die Zeit der Reifung in großen Holzfässern. Dabei nimmt der Wein ein wenig des Geschmacks des Holzes auf. Dies kann einen guten Wein durchaus veredeln.

Bei der Rotweinherstellung wird übrigens die Maische direkt vergoren. Dabei bleiben die Farbstoffe und Aromastoffe der roten Trauben erhalten und geben so dem Rotwein den besonderen Geschmack.

Für Sekt lässt man den Wein nicht zuende Gären, so bleibt ein wenig Kohlenstoffdioxid im Wein erhalten. Das Nichtmetalloxid bildet mit dem Wasser die gewünschte Kohlensäure.

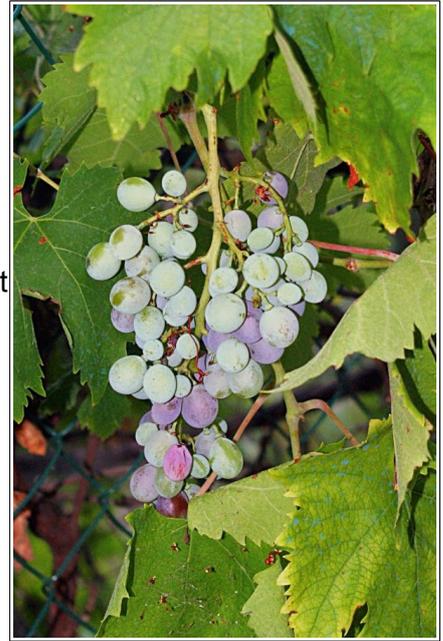
Zusatzinformationen:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wein>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Weinherstellung>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Winzer>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Portal:Wein> (hier gibt es alles, was Du schon immer wissen wolltest)



Weinanbau in Fulda am Frauenberg

Anaerober Abbau von Glucose = Gärung

Die Zellatmung ist der aerobe Abbau von Glucose. Falls kein Sauerstoff vorliegt, so wie bei kurzzeitiger Sauerstoffnot beim Sprinten (100m Lauf) oder z.B. bei Walen, wenn sie teilweise bis zu einer Stunde unter Wasser tauchen, so muss Energie ohne Sauerstoff bereitgestellt werden!

Warum ist Sauerstoff eigentlich notwendig?

Bei der Zellatmung entstehen Reduktionsäquivalente in Form von NADH/H⁺ und FADH₂. Und genau das ist das Problem. Die Reduktionsäquivalente NADH/H⁺ müssen wieder zu NAD⁺ oxidiert werden, damit der Vorgang der Glycolyse und der Citratzyklus weitergehen kann.

Für diese Regeneration ist normalerweise Sauerstoff als Oxidationsmittel vorhanden.

Ohne Sauerstoff muss irgendein anderes Oxidationsmittel verwendet werden, und das ist bei den verschiedenen Gärungen einfach die Brenztraubensäure selbst. Bei ihrer Reduktion entstehen dann die Abfallprodukte der Gärung, wie z.B. Ethanol, Propionsäure oder Milchsäure.

Je nach Produkt werden die verschiedenen Gärungen benannt, also z.B. „Alkoholische Gärung“ (z.B. bei der Bierhefe), „Propionsäuregärung“ (z.B. bei verschiedenen Käsesorten) oder „Milchsäuregärung“ (bei Joghurt, Sauermilch etc.).

a) Alkoholische Gärung

Brenztraubensäure (in vielen Büchern wird auch Pyrovat, das Anion der Brenztraubensäure genannt) wird anaerob reduziert und decarboxyliert. Es entstehen CO₂ und NAD⁺.

Dieses kann nun wieder in der Glycolyse verwendet werden.



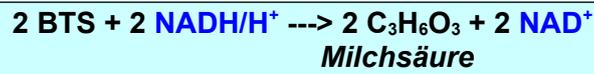
Ablauf: im Cytoplasma

Bilanz von Glycolyse und alkoholischer Gärung:



b) Milchsäuregärung

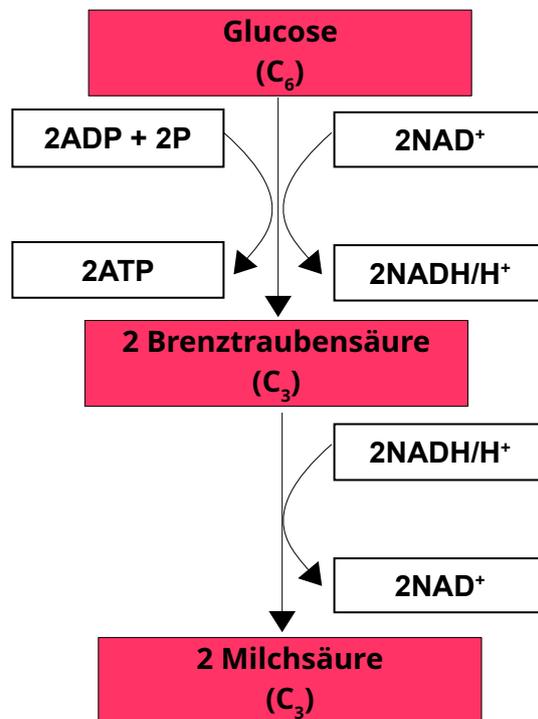
Viele Milchprodukte erhalten durch Vergären mit Hilfe von Milchsäurebakterien erst ihren Geschmack. In Joghurt werden dazu z.B. Bakterien vom Typ Lactobacillus bulgaricus oder Lactobacillus acidophilus verwendet, für Quark Leuconostoc cremoris, um nur einige Beispiele zu nennen.



Bilanz von Glycolyse und Milchsäuregärung:



Ablauf: im Cytoplasma



Zusatzinformationen:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Milchsäuregärung>

Gärungen und die NAD⁺-Regeneration

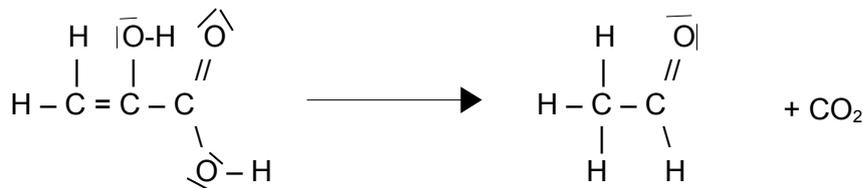
Grundprinzip und Übersicht

Der Säurerest Pyruvat (bzw. Brenztraubensäure) liegt am Ende der Glycolyse als Produkt vor. Die Oxidation von Pyruvat liefert genug Energie für das Überleben von vielen Lebewesen. In Anwesenheit von Sauerstoff findet dabei eine Oxidation zu Kohlenstoffdioxid statt (Zellatmung). Es wird sehr viel Energie in Form von ATP frei. Dadurch wird NAD⁺ wieder regeneriert.

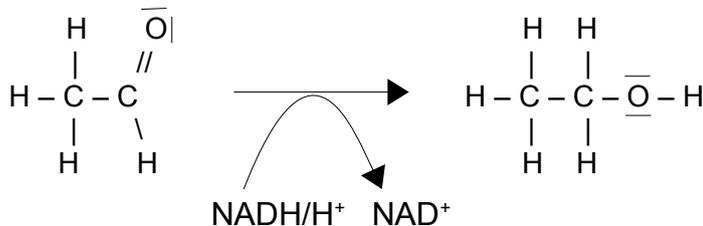
In Abwesenheit von Sauerstoff kann dieser Stoffwechselweg nicht ablaufen. Durch anaeroben Stoffwechsel entstehen nur 2 mol ATP pro mol Zucker. Im anaeroben Stoffwechsel muss auch irgendwie NAD⁺ regeneriert werden. Es muss also ein Mechanismus für die Regeneration des NAD⁺ sorgen. Zwei mögliche Regenerationswege sind die beiden Gärungsarten Milchsäuregärung und alkoholische Gärung.

a) Alkoholische Gärung

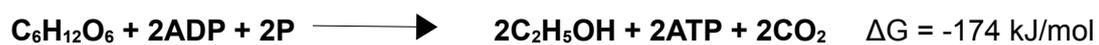
Pyruvat reagiert durch Pyruvat-Decarboxylase zuerst zu Acetaldehyd und Kohlendioxid:



Im folgenden Schritt wird der Acetaldehyd zu Ethanol reduziert. Gleichzeitig wird das Reduktionsmittel NADH/H⁺ zu NAD⁺ oxidiert:



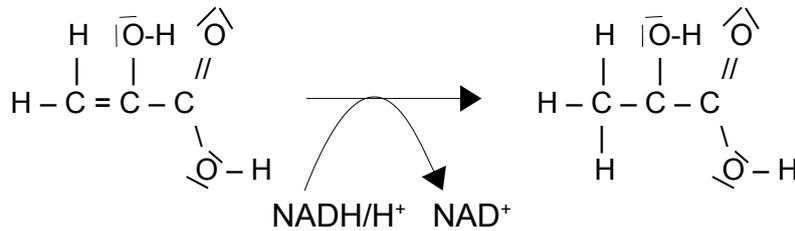
Gesamtreaktionsgleichung der alkoholischen Gärung:



Damit die Lebewesen überhaupt mit der doch recht bescheidenen Ausbeute von 2ATP auskommen, müssen sie logischerweise sehr viel Substrat (z.B. Glucose) umsetzen.

b) Milchsäure-Gärung:

Pyruvat reagiert unter Verbrauch von NADH/H^+ zu Milchsäure und NAD^+ .



Milchsäuregärung findet man v.a. bei Bakterien, z.B. den Bakterien auf unserer Haut und bei einigen Algen sowie in den Muskeln von Säugetieren.

Gesamtbilanz:



Das an dieser Reaktion beteiligte Enzym heißt Lactat-Dehydrogenase.

Muskeltypen und Milchsäuregärung

In Menschen findet man hauptsächlich die Skelettmuskulatur. Sie ist kräftig und schnell, aber nicht besonders ausdauernd, wenn es um Daueranspannung geht. Sie enthält vor allem Muskelfasern vom IIb. Unsere Eingeweidemuskelatur hingegen ist oft viele Stunden angespannt (so wie beispielsweise unsere Schließmuskeln). Diese Muskulatur ermüdet kaum. Sie enthält Muskelfasern vom Typ I und IIa.

Doch wie unterscheiden sich diese Fasertypen?

- Fasern des Typs I und IIa enthalten in ihren Zellen sehr viele Mitochondrien. Hier findet vor allem die Zellatmung zur Energiegewinnung statt. Dabei laufen nacheinander Glycolyse, oxidative Decarboxylierung, Citratzyklus und Endoxidation statt. Hier kann viel ATP produziert werden, was diese Muskeln auch benötigen.
- Muskelzellen des Typs IIb enthalten dagegen deutlich weniger Mitochondrien. ATP wird hier vor allem durch Milchsäuregärung hergestellt.

Vergleich der aeroben und anaeroben Abbauwege

Direkte Verbrennung von Traubenzucker:

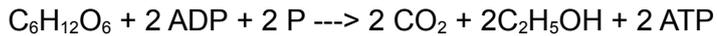


$$\Delta G = - 2880 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta G = - 29 \text{ kJ/mol}$$

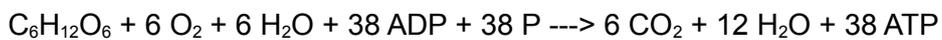
Anaerober Abbau durch Glycolyse und Alkoholische Gärung:



$$\Delta G = - 58 \text{ kJ/mol}$$

Wirkungsgrad ~ 2 %

Aerober Abbau durch Glycolyse, Decarboxylierung, Citratcyklus und Endoxidation:



$$\Delta G = - 1140 \text{ kJ/mol}$$

Wirkungsgrad: 38 % (der Rest wird als Wärme frei)

Zum Vergleich:

Wirkungsgrad Verbrennungsmotor: ca. 18 %

Wirkungsgrad Dampfmaschine: ca. 10 %

Anwendung von Gärungsprozessen I – Brot & Hefengebäck

Eine der ältesten Kulturtechniken ist das Brotbacken. Hefepilze sind einzellige Pilze, die lange Zeit in Sporen überdauern können. Der Bäcker gibt eine solche Hefekultur zum Teig und erhält so nach einiger Zeit eine gute Hefegärung, bei der die Hefepilze einen kleinen Teil der Stärke aus dem Mehl in Glucose umwandeln und dann eine alkoholische Gärung durchführen. Dabei ist aber nicht der Alkohol das Produkt (er verdampft im Ofen beim Backen), sondern das Kohlenstoffdioxid, welches den Teig aufgehen lässt und ihn so leicht und „fluffig“ macht.

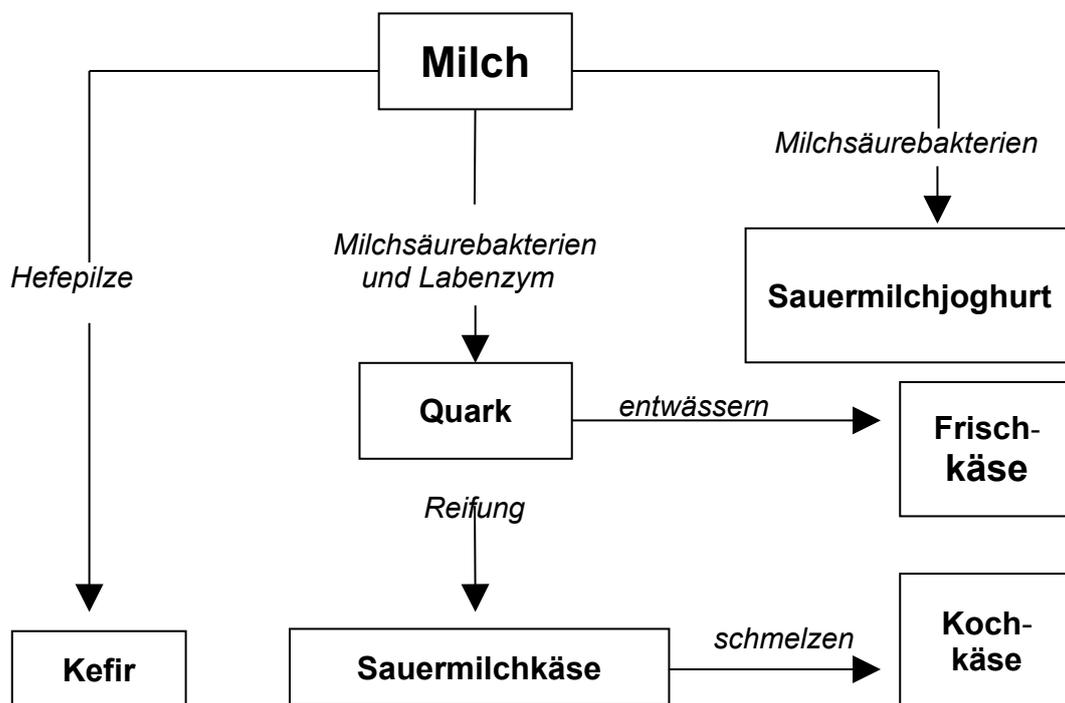
Probiert es mal selbst, das Rezept steht weiter vorne. Es ist sehr leicht und es macht sehr viel Spaß (und riecht soooo gut).



Anwendung von Gärungsprozessen II – Milchprodukte

Käse: Gibt man zu Milch Milchsäurebakterien (diese sind oft schon am Euter der Kuh auf der Kuhhaut vorhanden - und gelangen so in die Milch!), so fällt durch die gebildete Säure Casein (=Milcheiweiß) aus - dünnflüssige Molke und eiweißreicher Quark trennen sich voneinander. Der Quark kann dann weiter zu Käse verarbeitet werden. Dazu werden dem ausgeflockten Casein z.B. Kochsalz, Molke und Fett zugegeben. Am Ende wird das Produkt entwässert. Die Reifung bei unterschiedlichen Temperatur schließt sich an.

Die einzelnen Käsesorten unterscheiden sich durch die Art der verwendeten Bakterienkultur, die Dauer der Reifung und dem Zusatz von weiteren Stoffen (z.B. bei Hartkäsen fügt man Lab¹ zu (z.B. beim Emmentaler). Bei einigen Käsen entsteht Kohlenstoffdioxid, so dass die fertigen Käse Löcher enthalten. Bei Schimmelkäsen findet die Reifung z.B. in Höhlen statt, welche besondere Schimmelpilze an den Wänden enthalten, welche auf den Käse übergehen und ihn so veredeln.



Kefir: Zugabe von Kefirkörnern (Körnchen aus geronnenem Eiweiß, welche einen Hefpilz enthalten). Es findet also gleichzeitig eine Milchsäuregärung und eine alkoholische Gärung statt. Kefir enthält also auch Alkohol.

Sauermilch: Milch, der Kulturen von Milchsäurebakterien zugefügt wurden. Durch Entwässerung kann daraus **Dickmilch** hergestellt werden.

Joghurt: Zu Milch wird eine Mischkultur aus Milchsäurebakterien zugefügt und dann lässt man alles bei ca. bei ca. 42°C zwei bis drei Stunden wachsen.

1 Lab wird aus Kälbermägen gewonnen (Wirkstoff Rennin)

Joghurtherstellung

Vorarbeiten: Gläser und Löffel mit heißem Wasser sterilisiert werden.

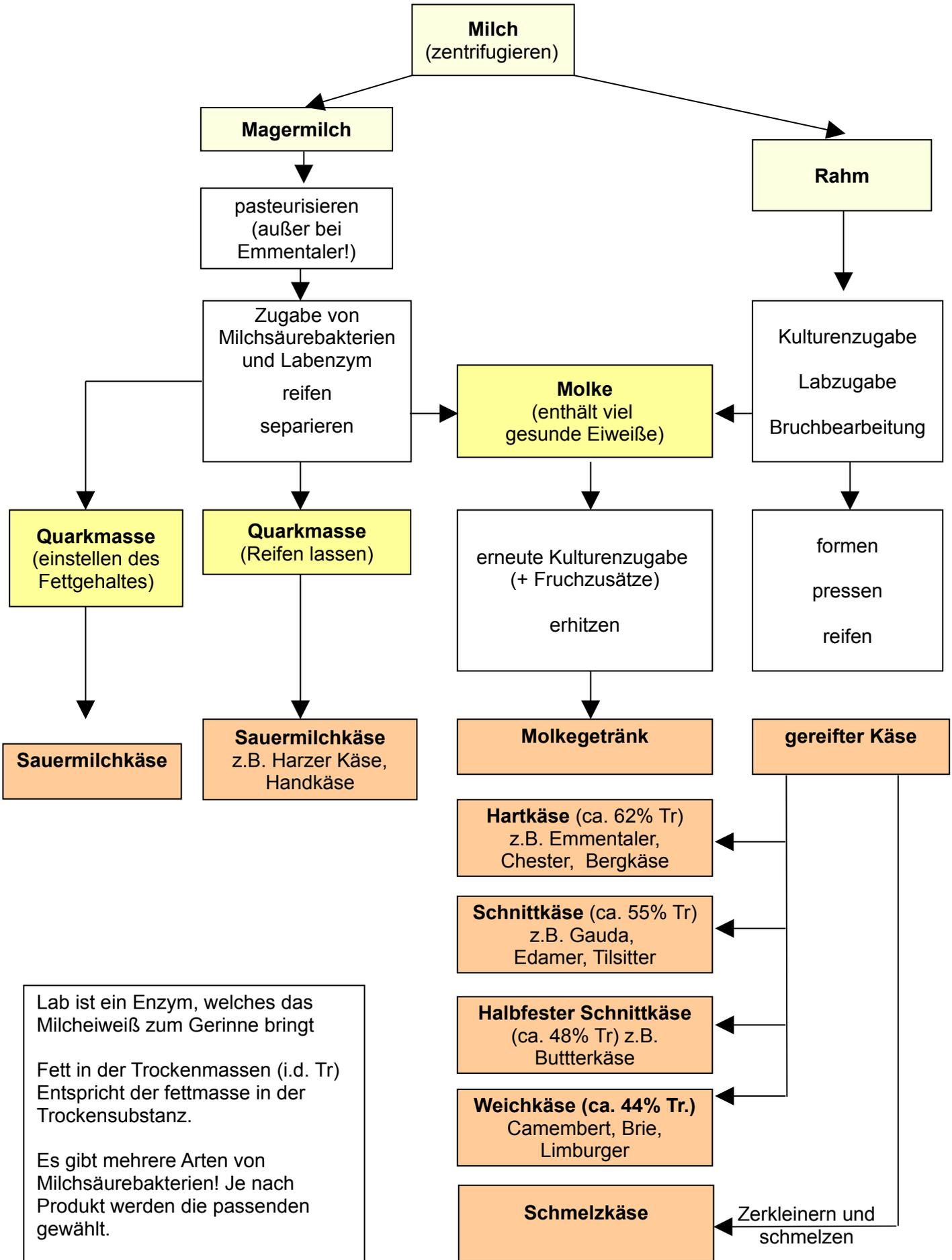
Milch auf ca. 40°C erwärmen, auf die Gläser verteilen und dann einen Teelöffel Joghurt hinzugeben und verrühren. Die Gläser mit Folie verschließen und 7-8 Stunden an einem warmen Ort stellen.

Der fertige Joghurt sollte im Kühlschrank gelagert werden. Zum Essen können natürlich Früchte oder Fruchtmarmelade zugefügt werden.

Typen von Milchsäurebakterien

- Homofermentative Milchsäurebakterien (bilden Milchsäure als einziges Produkt): Streptococcus, Enterococcus, Lactococcus und Pediococcus sowie einige Arten der Gattung Lactobacillus.
- Heterofermentative Milchsäurebakterien (bilden neben Milchsäure auch Kohlenstoffdioxid sowie Ethanol oder Essigsäure - Grund ist der Mangel an Aldolase, dem Schlüsselenzym der Glykolyse): Leuconostoc und einige Arten der Gattung Lactobacillus (z.B. Lactobacillus buchneri).

Die Vielfalt der Milchprodukte

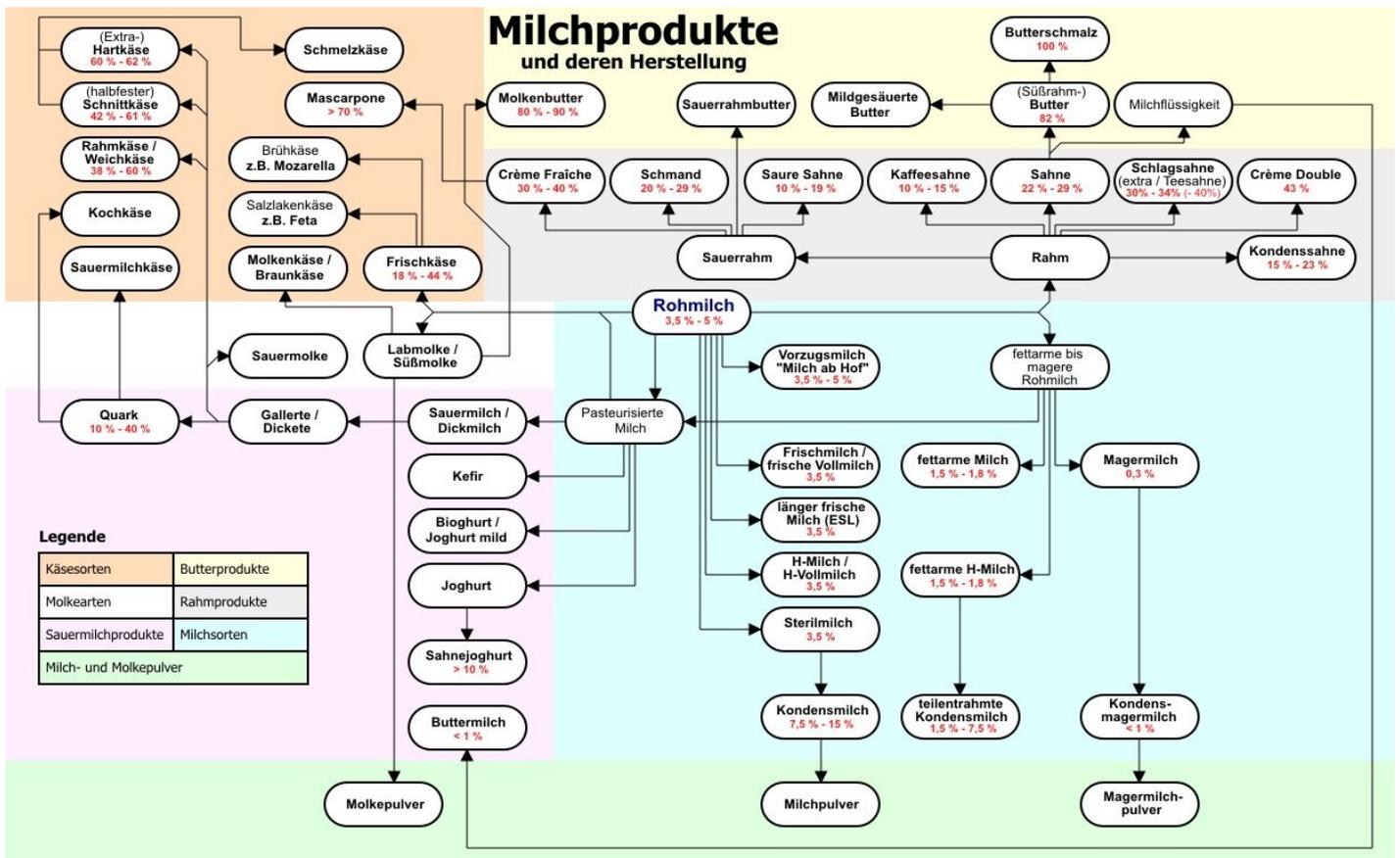


Lab ist ein Enzym, welches das Milcheiweiß zum Gerinne bringt

Fett in der Trockenmassen (i.d. Tr) Entspricht der fettmasse in der Trockensubstanz.

Es gibt mehrere Arten von Milchsäurebakterien! Je nach Produkt werden die passenden gewählt.

Übersicht: Milchprodukte



Quelle Bild: GNU-Lizenz für freie Dokumentation by Wikicommonsuser WikiNight - Thank you;
<http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Milch.svg>; <http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen>