

## Abbau (2) Gärungen

### Aufgaben:

#### 1 Brenztraubensäure als Elektronen-Akzeptor

Damit die Glykolyse ablaufen kann, muss genügend  $\text{NAD}^+$  zur Verfügung stehen. Um  $\text{NAD}^+$  aus  $\text{NADH}$  zu regenerieren, wird ein Elektronen-Akzeptor benötigt, der zwei Elektronen von  $\text{NADH}$  aufnimmt.

Begründen Sie, dass sich Brenztraubensäure – u. a. aufgrund der stöchiometrischen Verhältnisse – dafür besonders gut eignet.

#### 2 Milchsäure-Synthese

2.1 Erstellen Sie aus B1 anhand der Informationen von M1 eine Blackbox-Darstellung zur Synthese von Milchsäure aus Brenztraubensäure, wobei  $\text{NAD}^+$  aus  $\text{NADH}$  regeneriert wird (Stoffumwandlung des Energiespeichers von oben nach unten eintragen). Markieren Sie alle energiereichen Stoffe mit Rot. Überprüfen Sie die Koeffizienten.

2.2 Entwickeln Sie aus der Blackbox-Darstellung von 2.1 die Summengleichung der Milchsäure-Synthese aus Brenztraubensäure.

#### 3 Milchsäure-Gärung

3.1 Ergänzen Sie B2 anhand der Blackbox-Darstellungen der Glykolyse sowie der Milchsäure-Synthese zu einer Doppel-Blackbox-Darstellung der Milchsäure-Gärung. Daraus soll ersichtlich werden, welche Stoffe aus der Glykolyse in die Milchsäure-Synthese einfließen und welche den umgekehrten Weg nehmen. Markieren Sie alle energiereichen Stoffe mit Rot. Überprüfen Sie die Koeffizienten.

3.2 Entwickeln Sie aus der Blackbox-Darstellung der (kompletten) Milchsäure-Gärung eine Summengleichung dieses Stoffwechselwegs.

#### 4 Alkohol-Synthese

4.1 Entwickeln Sie anhand der Informationen von M2 analog zu B1 eine Blackbox-Darstellung zur Synthese von Ethanol („Trinkalkohol“) aus Brenztraubensäure, wobei  $\text{NAD}^+$  aus  $\text{NADH}$  regeneriert wird. Markieren Sie alle energiereichen Stoffe mit Rot. Überprüfen Sie die Koeffizienten.

4.2 Entwickeln Sie aus der Blackbox-Darstellung von 4.1 die Summengleichung der Alkohol-Synthese aus Brenztraubensäure.

#### 5 Alkoholische Gärung

5.1 Entwickeln Sie analog zu 3.1 eine Doppel-Blackbox-Darstellung der alkoholischen Gärung. Markieren Sie alle energiereichen Stoffe mit Rot. Überprüfen Sie die Koeffizienten.

5.2 Entwickeln Sie aus der Blackbox-Darstellung der (kompletten) alkoholischen Gärung eine Summengleichung dieses Stoffwechselwegs.

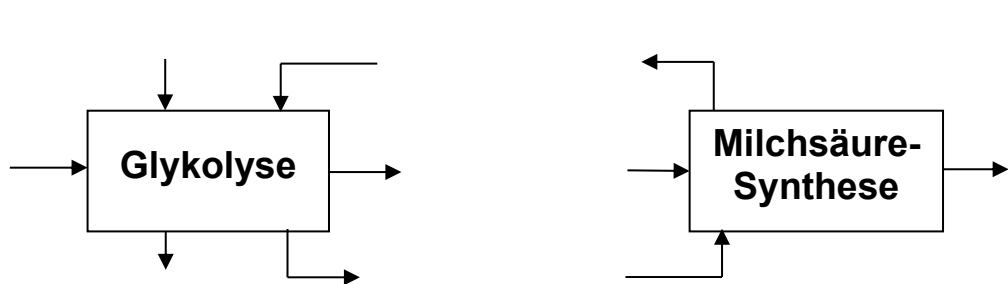
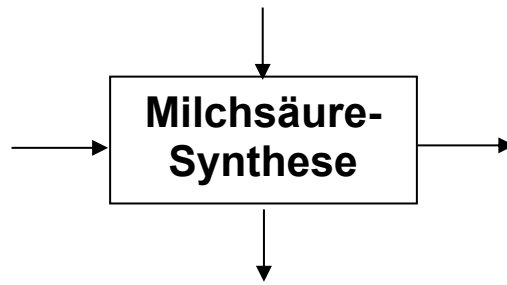
#### 6 Bedeutung im Alltag

Recherchieren Sie je drei Konsumartikel, die durch Milchsäure- bzw. alkoholische Gärung entstehen und listen Sie diese auf.

## Materialien:

### M1 Milchsäure-Synthese und Milchsäure-Gärung

Bei der Milchsäure-Synthese innerhalb der sogenannten Milchsäure-Gärung, die bei Sauerstoffmangel in unseren Muskeln abläuft, wird die Brenztraubensäure, die bei der Glykolyse entstanden ist, durch NADH reduziert, wobei Milchsäure ( $C_3H_6O_3$ ; ihr Anion  $C_3H_5O_3^-$  heißt Lactat) entsteht. In der Milchsäure steckt die Energie der Brenztraubensäure und zusätzlich die von NADH abgegebene Energie.



### M2 Alkohol-Synthese und alkoholische Gärung

Hefezellen regenerieren bei Sauerstoffmangel ihr  $NAD^+$  mit Hilfe der alkoholischen Gärung. Dabei wird Brenztraubensäure in gleiche Anteile Kohlenstoffdioxid und Ethanol umgewandelt. Ethanol enthält viel Energie, was man daran erkennen kann, dass es mit bläulicher Flamme verbrennt, was beim Flambieren von Speisen genutzt wird.

## Hinweise für die Lehrkraft:

Oft wird mit Milchsäuregärung nur die Umwandlung von Brenztraubensäure zu Milchsäure bezeichnet (analog bei der alkoholischen Gärung). Ich nenne diesen Schritt allerdings Milchsäure-Synthese und bezeichne als Milchsäuregärung die gesamte Umwandlung von Glukose zu Milchsäure. Das ist ein didaktischer Trick, um alkoholische und Milchsäuregärung der Zellatmung gegenüberstellen zu können.

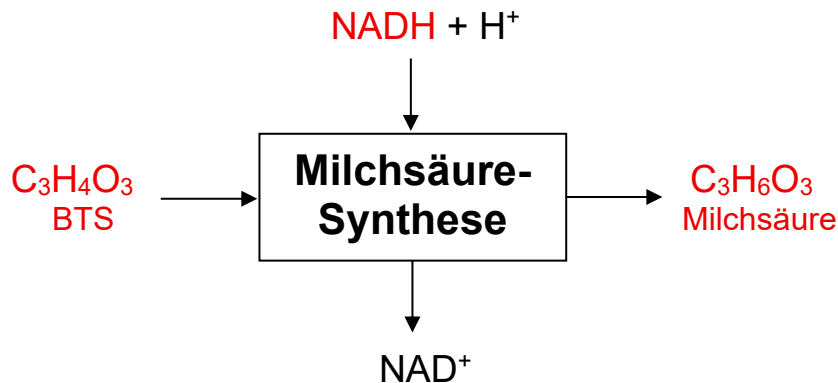
### 1 BTS

BTS entsteht bei der Glykolyse in genau gleichen Mengen wie NADH. Es stellt in erster Linie ein Abfallprodukt dar, das ohnehin sonst keine Verwendung mehr fände.

(Ggf. auch: Die Carboxygruppe bzw. die Ketogruppe der Brenztraubensäure lassen sich zur Aldehydgruppe bzw. zur Hydroxygruppe reduzieren.)

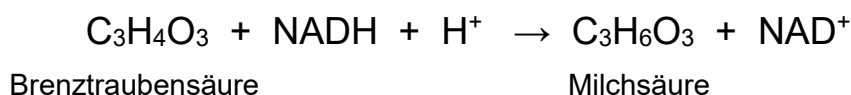
### 2 Milchsäure-Synthese

#### 2.1



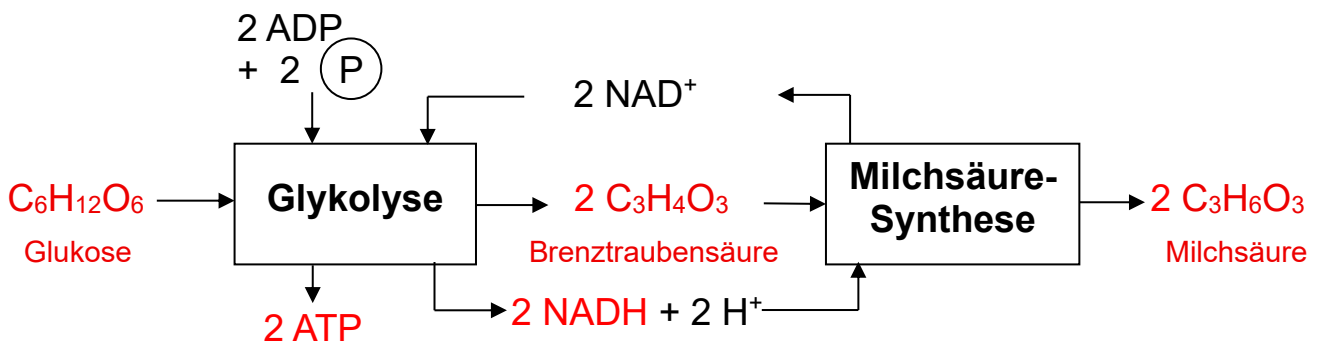
*Hinweis:* Wie bereits bei der Glykolyse am Beispiel der Brenztraubensäure erläutert, ist es sinnvoll, im Unterricht die protonierten Formen der organischen Säuren zu verwenden.

#### 2.2



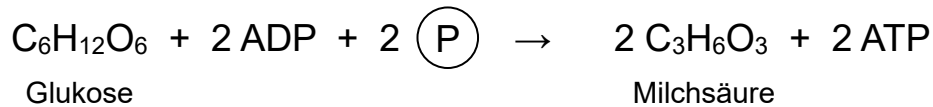
### 3 Milchsäure-Gärung

3.1 Doppel-Blackbox: Nicht ganz einfach zu erstellen, ggf. sind Einhilfen nötig.



### 3.2 Summgleichung:

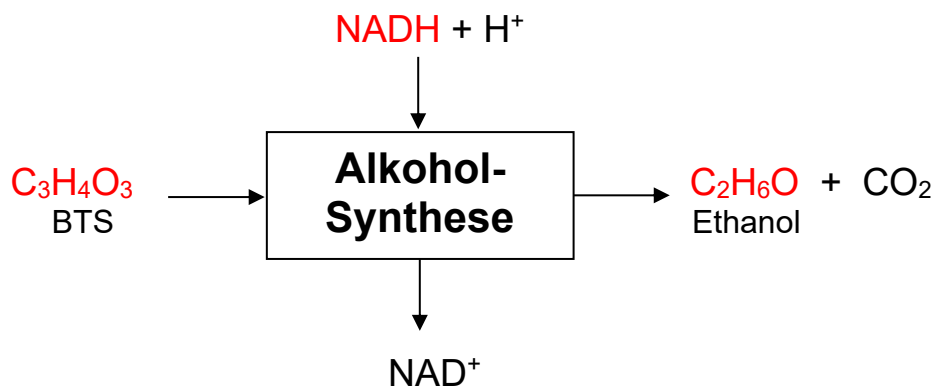
Das  $\text{NAD}^+/\text{NADH}$ -System steckt in einem inneren Kreislauf und fällt deshalb ebenso heraus wie das Zwischenprodukt Brenztraubensäure:



*Die Kursteilnehmer sollten diese Summgleichung unbedingt selbständig aus dem Doppel-Blackbox-Schema erarbeiten, denn dabei wird deutlich klar, dass auch hier die Stoffe innerhalb des Kreislaufs nur Hilfsaufgaben übernehmen und weder als Edukte noch als Produkte auftreten (wie z. B. beim Calvin-Zyklus).*

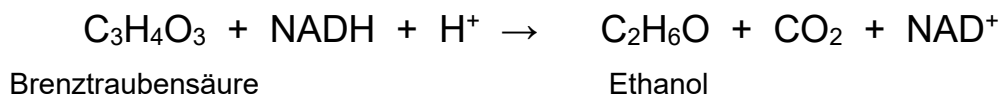
## 4 Alkohol-Synthese

### 4.1 Blackbox der Alkohol-Synthese:



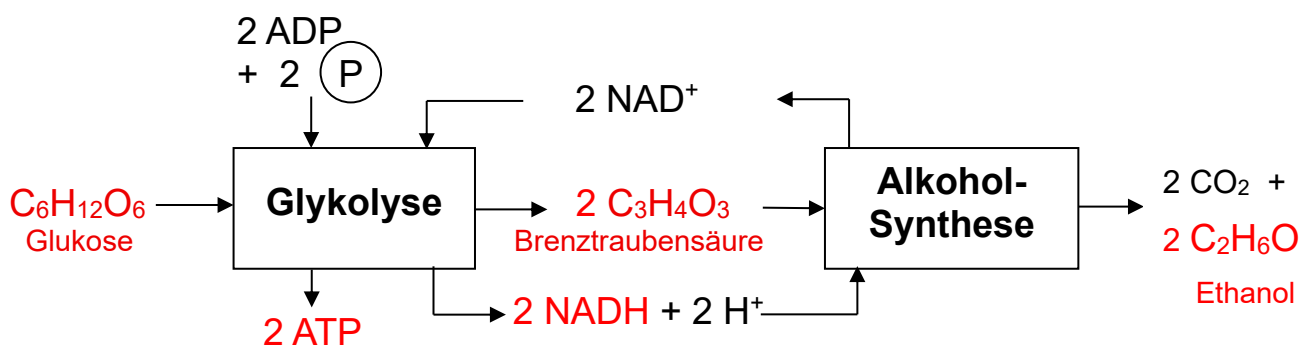
*Auf die Vorgänge innerhalb der Blackbox wird nicht eingegangen, auch nicht auf die Frage, ob die Reduktion vor oder nach der Molekülsplaltung erfolgt.*

### 4.2 Summgleichung der Alkoholsynthese:

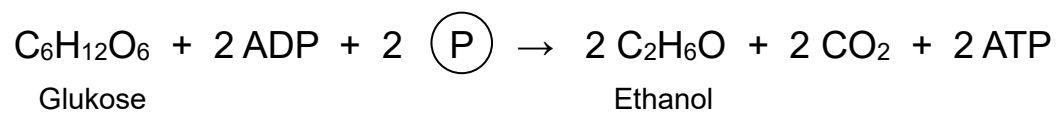


## 5 Alkoholische Gärung

### 5.1 Doppel-Blackbox:



5.2 Summengleichung:



**6 Bedeutung im Alltag, z. B.:**

Milchsäure-Gärung: Sauermilch, Jogurt, Sauerrahm, Sauerkraut

alkoholische Gärung: Bier, Wein, Sekt, Prosecco

Thomas Nickl, August 2024