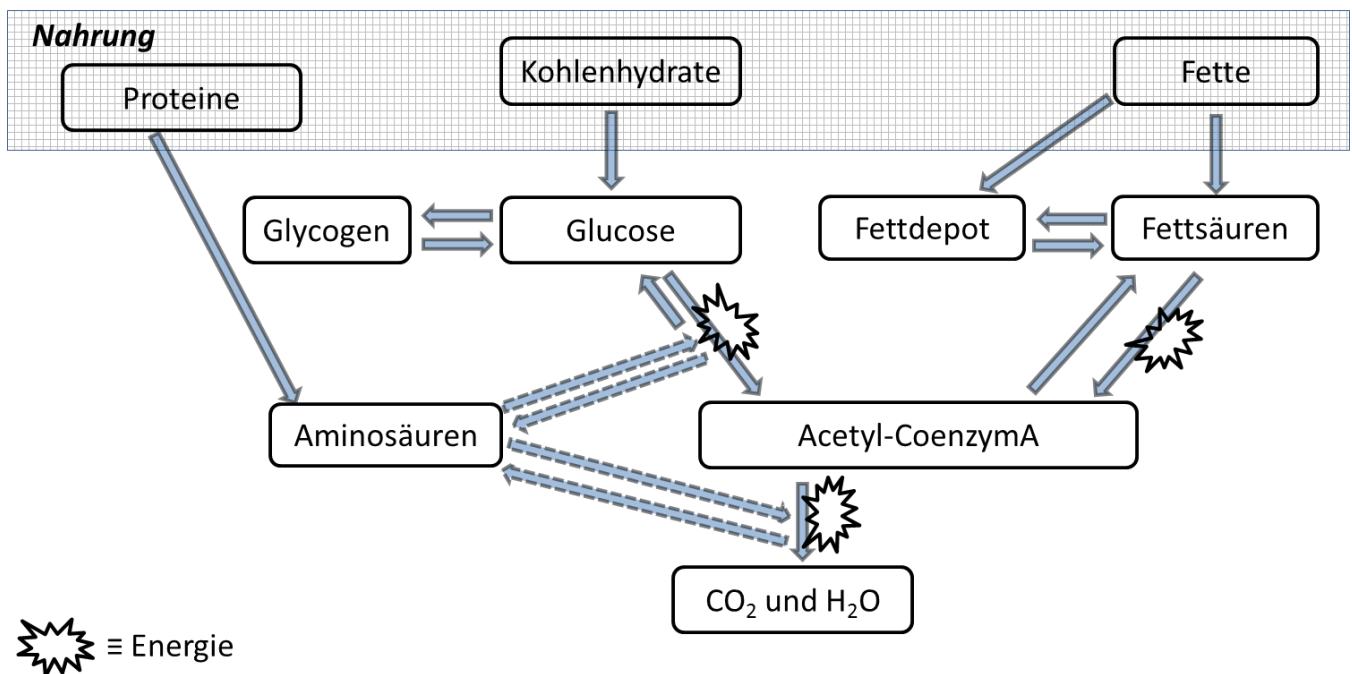
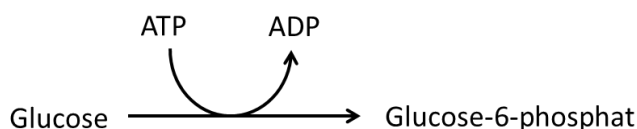


**GRUNDLAGEN DER BIOCHEMIE – STOFFWECHSELWEGE****1) DIE WICHTIGSTEN STOFFWECHSELWEGE:**

- **Fette** und **Kohlenhydrate** aus der Nahrung nutzt der Körper hauptsächlich zur **Energiegewinnung**.
- **Proteine** aus der Nahrung werden zur **Energiegewinnung** und als **Bausteine** verwendet.

**2) ÜBERSICHT ÜBER DEN ENERGIESTOFFWECHSEL****3) WICHTIGE BIOCHEMISCHE MOLEKÜLE****3.1. ATP: ADENOSINTRIPHOSPHAT**

Wird auf ein Molekül ein **Phosphatrest** übertragen, bedeutet das eine **Erhöhung der Energie** dieses Moleküls. **ATP überträgt Phosphatreste** auf andere Moleküle und ist somit ein zentraler Energielieferant im Stoffwechsel. Wir atmen Sauerstoff ein um hauptsächlich ATP zu erzeugen.

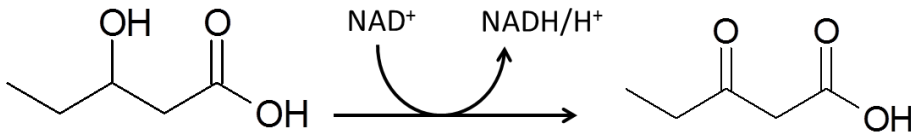


**ADP ist Adenosindiphosphat, AMP ist Adenosinmonophosphat**

### 3.2 NAD<sup>+</sup>: NICOTINAMIDADENINDINUCLEOTID

**NAD<sup>+</sup> ist ein Oxidationsmittel und NADH/H<sup>+</sup> ist ein Reduktionsmittel** in biochemischen Reaktionen an **funktionellen Gruppen mit Sauerstoff**.

Z.B.:



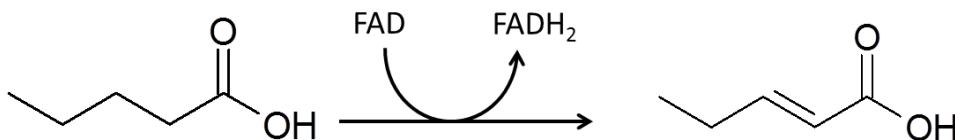
**NADH/H<sup>+</sup> ist die energetisch höhere Form**. Man benötigt **3 ATP-Moleküle** um **ein NADH/H<sup>+</sup>** herzustellen. Umgekehrt liefert ein **NADH/H<sup>+</sup>** 3 ATP mit Hilfe des eingeatmeten Sauerstoffs in der Atmungskette (s.u.).

(es gibt von diesem Molekül auch eine zusätzlich phosphorylierte Form: NADP<sup>+</sup>)

### 3.3. FAD: FLAVINADENINDINUCLEOTID

**FAD ist ein Oxidationsmittel und FADH<sub>2</sub> ist ein Reduktionsmittel** in biochemischen Reaktionen ohne **Sauerstoff**.

Z.B.:



**FADH<sub>2</sub> ist die energetisch höhere Form**. Man benötigt **2 ATP-Moleküle** um **ein FADH<sub>2</sub>** herzustellen. Umgekehrt liefert ein **FADH<sub>2</sub>** zwei ATP mit Hilfe des eingeatmeten Sauerstoffs in der Atmungskette (s.u.).

### 3.4 COENZYM-A

**Coenzym A** ist ein **Transportmolekül** für Säurereste. An einem Ende hat dieses Molekül eine **-SH Gruppe**, welche ebenso wie -OH Gruppen **mit Säuren** einen **Ester** bilden kann:

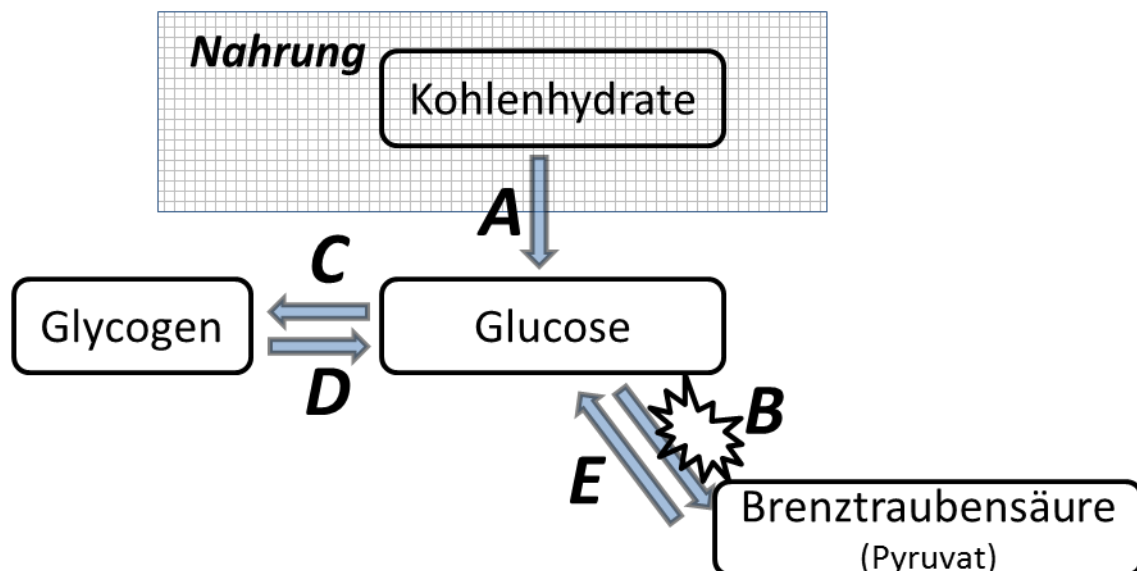


So ist in **Acetyl-Coenzym-A** ein **Essigsäurerest** an die HS-Gruppe des Coenzym-A gebunden (s.o.)

## 4) KOHLLENHYDRATE

Glucose dient im Körper zu

- 60% zur Gewinnung thermischer Energie und zu
- 40 % zur ATP-Synthese



Im Magen werden die meisten Kohlenhydrate der Nahrung in Glucose zerlegt. Diese gelangt in den Blutkreislauf:

**A) im Magen: lange Kohlenhydrate → Glucose**

Glucose wird im Körper zu „Brenztraubensäure“ (Anion: „Pyruvat“) abgebaut:

**B) „Glycolyse“: Glucose → Brenztraubensäure (Pyruvat)**

Gespeichert wird Glucose im Körper als Glycogen: (hauptsächlich in Leber und Muskel)

**C) „Glycogensynthese“: Glucose → Glycogen**

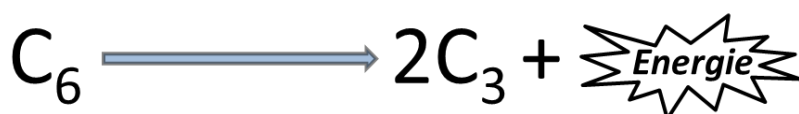
Bei Bedarf wird Glucose aus Glycogen freigesetzt:

**D) „Glycogenabbau“ : Glycogen → Glucose**

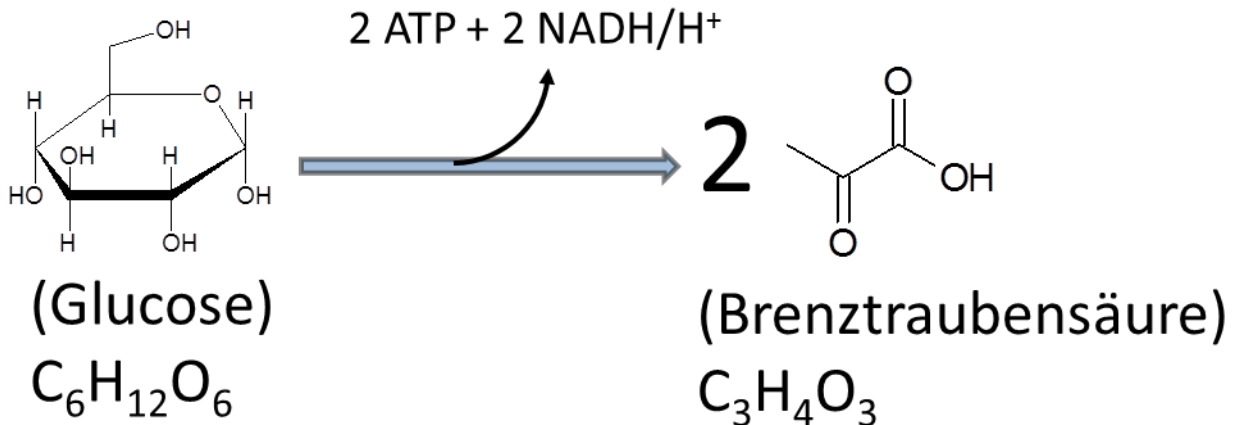
In Mangelsituationen kann Glucose aus Glycerin, Milchzucker, Brenztraubensäure oder bestimmten Aminosäuren aufgebaut werden:

**E) „Gluconeogenese“: Milchzucker (Lactat) oder Pyruvat oder bestimmte AS oder Glycerin → Glucose**

### 4.1. DIE GLYCOLYSE



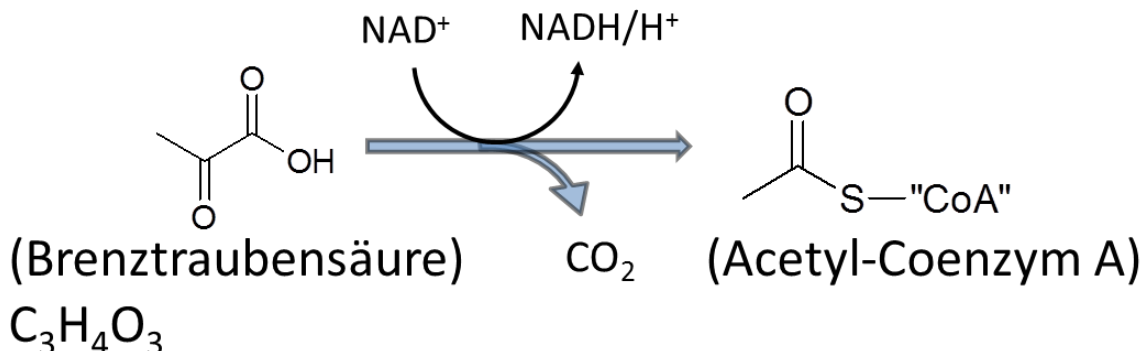
In der Glycolyse wird Glucose ( $C_6$ -Molekül) in 2 Moleküle Brenztraubensäure ( $C_3$ -Molekül) umgesetzt. Dabei werden pro Glucose Molekül 2 ATP und 2 NADH/ $H^+$  gebildet. Das entspricht in **Summe 8 ATP** (1 NADH/ $H^+$  entspricht 3 ATP)



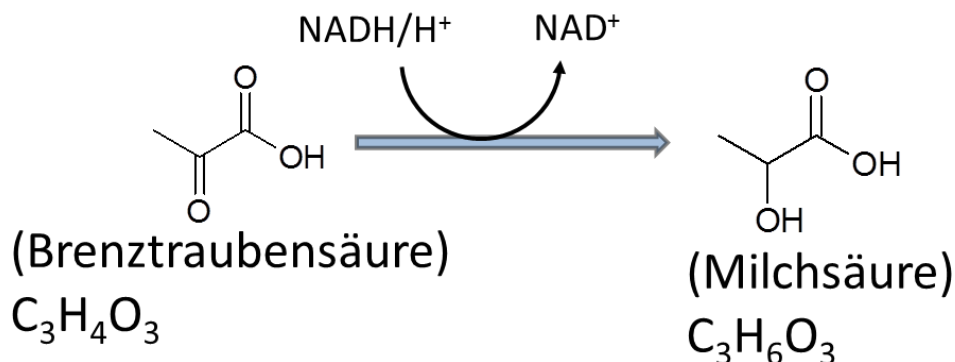
Das Anion der Brenztraubensäure heißt „**Pyruvat**“.

## 4.2 UMWANDLUNG DER BRENZTRAUBENSÄURE

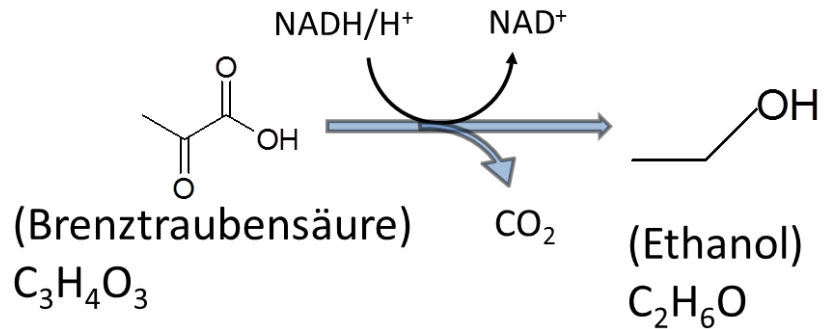
a) Bei **mäßiger körperlicher Belastung** wird die **Brenztraubensäure** in ein **Essigsäuremolekül** umgewandelt. Dieses ist an Coenzym A gebunden: „**Acetyl-Coenzym A**“. Dabei wird  $\text{CO}_2$  abgespalten und  $1 \text{ NADH}/\text{H}^+$  gebildet:



b) Bei **starker Belastung** kommt es zu einer Anhäufung von **Brenztraubensäure**. Deshalb wird ein Teil zu **Milchsäure** (Anion: Lactat) umgebaut. Dabei wird ein Molekül  $\text{NADH}/\text{H}^+$  verbraucht (zu  $\text{NAD}^+$  umgewandelt):



c) **Hefepilze** können unter **anaeroben** Bedingungen (ohne Sauerstoff) **Ethanol** aus Brenztraubensäure erzeugen. Dabei wird  $\text{NADH}/\text{H}^+$  verbraucht und  $\text{CO}_2$  erzeugt.

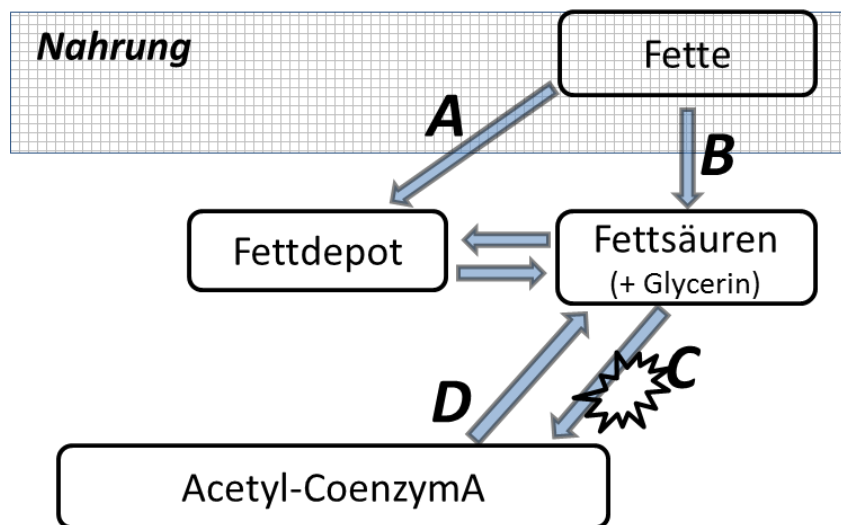


### 4.3 DER GLYCOGENSPEICHER

Bei Bedarf speichert der Körper Glucose in Form von Glycogen und kann daraus bei Bedarf auch wieder Glucose frei setzen.

Glycogen ist ein langkettiges, verzweigtes Molekül aus  $\alpha$ -D-Glucosen. Speicherorte sind hauptsächlich die Muskeln und die Leber.

### 5) FETTE



Fette können direkt in den Fettdepots eingelagert werden:

**A) Fett  $\rightarrow$  Fettdepot**

Zum weiteren Abbau müssen die Fette in Glycerin und Fettsäuren gespalten werden (Esterhydrolyse):

**B) Fett  $\rightarrow$  Glycerin und Fettsäuren**

Acyl-Coenzym-A wird in der  $\beta$ -Oxidation zu mehreren Acetyl-Coenzym-A Bruchstücken abgebaut: (Bildung: 1  $\text{NADH}/\text{H}^+$  und 1  $\text{FADH}_2$  pro Fettsäurespaltung)

**C) „ $\beta$ -Oxidation“: Acyl-Coenzym-A  $\rightarrow$  n Acetyl-Coenzym-A**

Wenn genügend Acetyl-Co-Enzym-A vorhanden ist, können daraus wieder Fettsäuren und anschließend Fettmoleküle hergestellt werden:

**D) „Fettsäuresynthese“: Acetyl-Coenzym-A  $\rightarrow$  Fettsäure  $\rightarrow$  Fett**

Hinweis: Glycerin kann in die Glycolyse eingeschleust werden.

(Verbrauch: 1 ATP; Bildung: 1 FADH<sub>2</sub>): **Glycerin geht in die Glycolyse**

Die Fettsäuren werden in einen Coenzym-A Ester („Acyl-Coenzym-A“) umgewandelt.

(Verbrauch: 1 ATP pro Fettsäure): **Fettsäure + Coenzym A → „Acyl-Coenzym-A“**

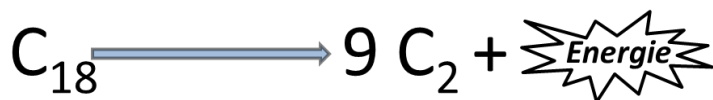
[Hinweis: **Acyl** = allgemeiner Säurerest; **Acetyl** = Essigsäurerest]

## 5.1 DIE BETA-OXIDATION

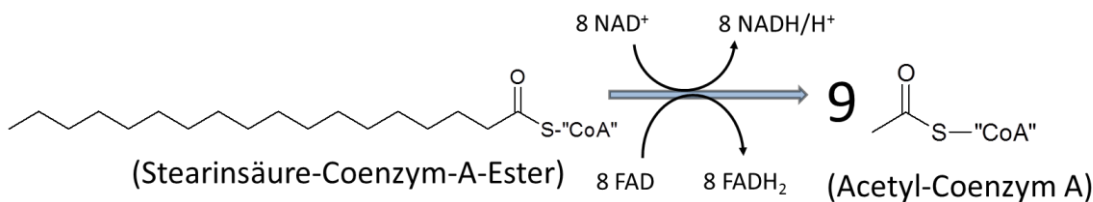
Bei der **β-Oxidation** wird **Acyl-Coenzym-A** zu mehreren **Acetyl-Coenzym-A**

Bruchstücken abgebaut: (Bildung: 1 NADH/H<sup>+</sup> und 1 FADH<sub>2</sub> pro Fettsäurespaltung)

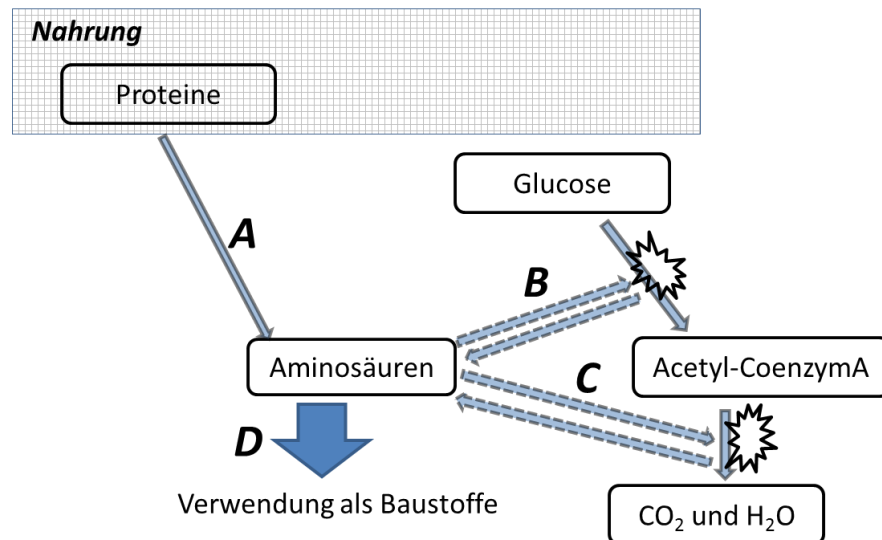
Z.B.: Die häufigste Fettsäure hat 18 Kohlenstoffe (Stearinsäure)



Dabei wird die **Fettsäure 8-mal** gespalten: Es werden demnach 8 FADH<sub>2</sub> und 8 NADH/H<sup>+</sup> gebildet. **Das entspricht gesamt 40 ATP.**



## 6) PROTEINE



**A) Proteine werden in ihre Aminosäuren zerlegt.**

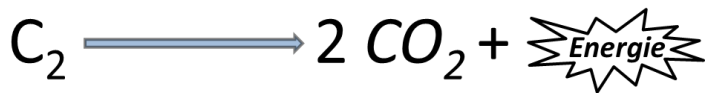
ein Teil der Aminosäuren wird

**B) in der Gluconeogenese verwendet (glucogene AS)**

**C) im Citratcyclus abgebaut (ketogene AS)**

**D) Ein Teil der Aminosäuren wird zur Synthese von Proteinen und anderer Moleküle verwendet**

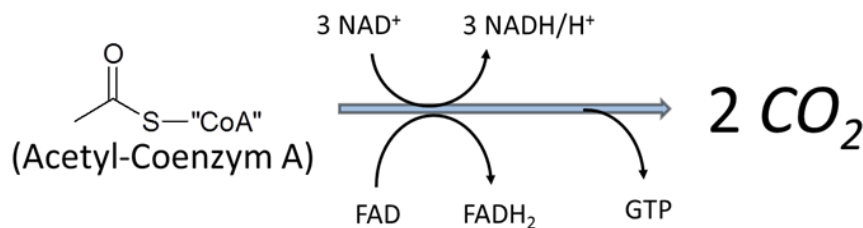
## 7) DER CITRATCYCLUS



Im Citratcyclus wird Acetyl-Coenzym-A zu Kohlendioxid abgebaut. Dieses  $CO_2$  wird ausgeatmet. (Bildung: 1 GTP, 3  $NADH/H^+$ , 1  $FADH_2$ )

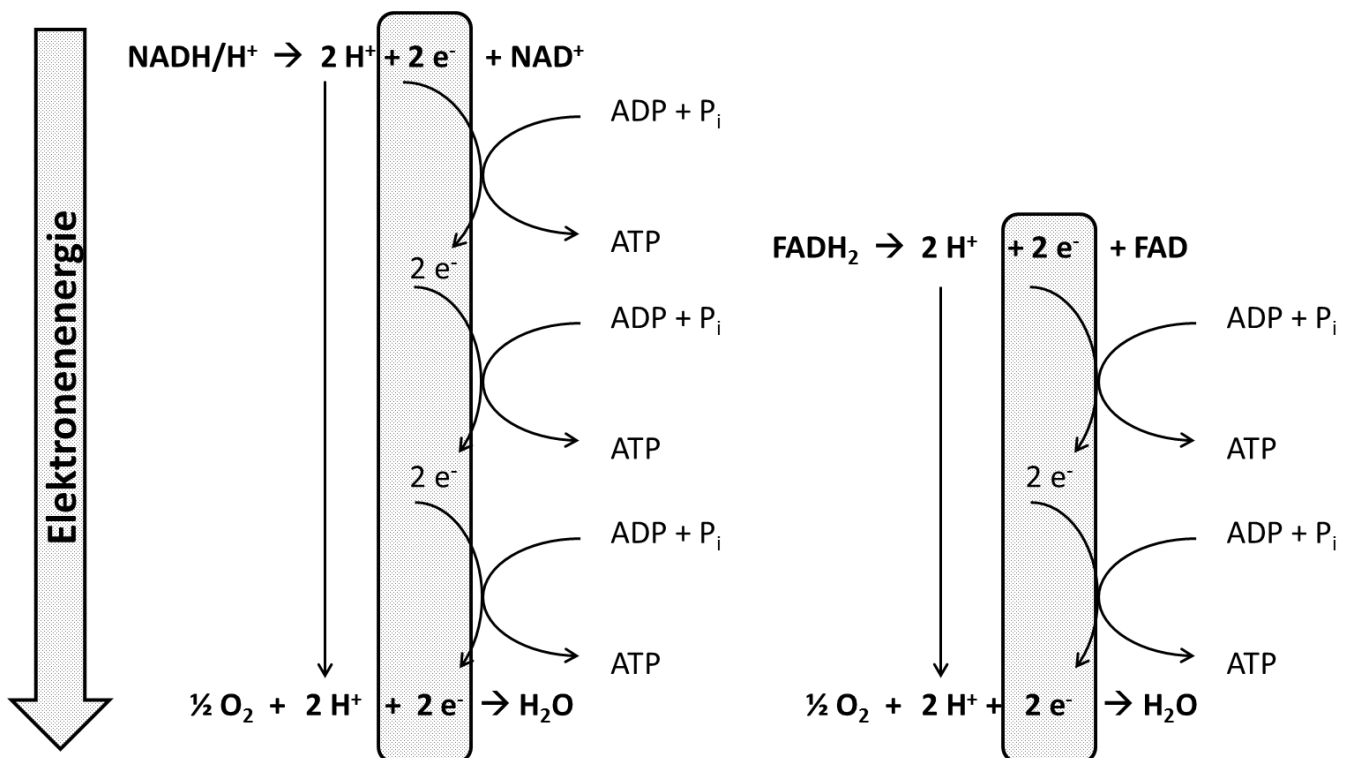
Das gebildete „GTP“ (Guanosintriphosphat) entspricht der Energie eines ATP.

**Es entstehen also 12 ATP-Äquivalente.**



## 8) DIE ATMUNGSKETTE

Die Atmung dient zur Aufnahme von Sauerstoff (und zur Abgabe von Kohlendioxid). Der Sauerstoff wird benötigt um aus den Reduktionsäquivalenten  $NADH/H^+$  und  $FADH_2$  aus ADP und einem Phosphat ( $P_i$ ) wieder ATP herzustellen:



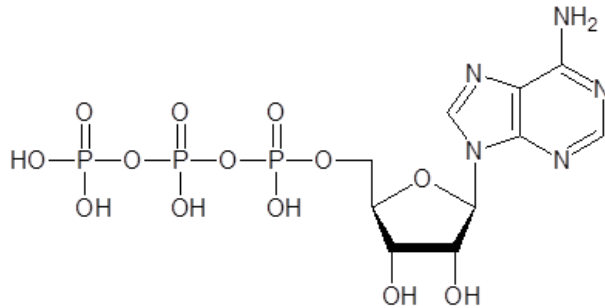
**Die Atmungskette vervollständigt somit die Oxidationsgleichung von Glucose:**



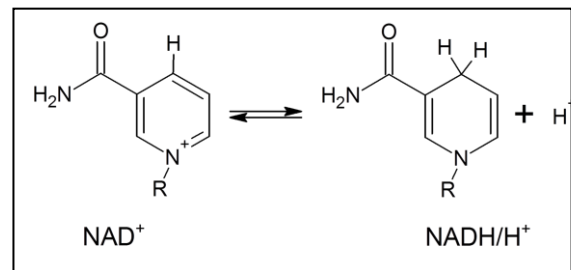
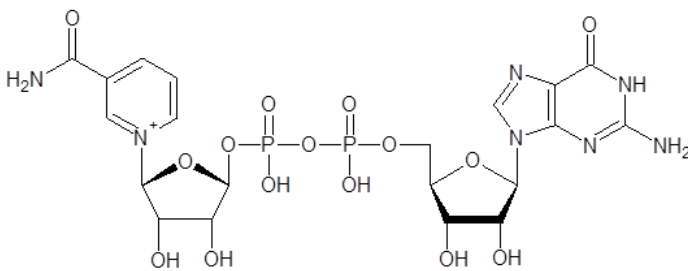
## Anhang:

## Strukturen:

**ATP** besteht aus der Base „Adenin“, aus einem Ribosemolekül und drei Phosphatresten. Die Einheit aus Adenin und Ribose heißt „Adenosin“: **Phosphat-Phosphat-Phosphat-Ribose-Adenin**



**NAD<sup>+</sup>** besteht aus Nicotinamid an einer Ribose mit 2 Phosphaten, gefolgt von einer weiteren Ribose (= „Dinucleotid“) und Adenin: **Nicotinamid-Ribose-Phosphat-Phosphat-Ribose-Adenin**



(es gibt von diesem Molekül auch eine zusätzlich phosphorylierte Form: **NADP<sup>+</sup>**)

**FAD** besteht aus Flavin an einer Ribose mit 2 Phosphaten, gefolgt von einer weiteren Ribose (= „Dinucleotid“) und Adenin: **Flavin-Ribose-Phosphat-Phosphat-Ribose-Adenin**

