

Die Glykolyse

KOHLNHYDRATE



Die Glucokinase kann durch Insulin induziert werden in :

- 1) Den Fettzellen
- 2) Den β -Zellen des Pankreas
- 3) Der Nierenrinde
- 4) Der Leber

Die Glucokinase kann durch Insulin induziert werden in :

- 1) Den Fettzellen
- 2) Den β -Zellen des Pankreas
- 3) Der Nierenrinde
- 4) Der Leber

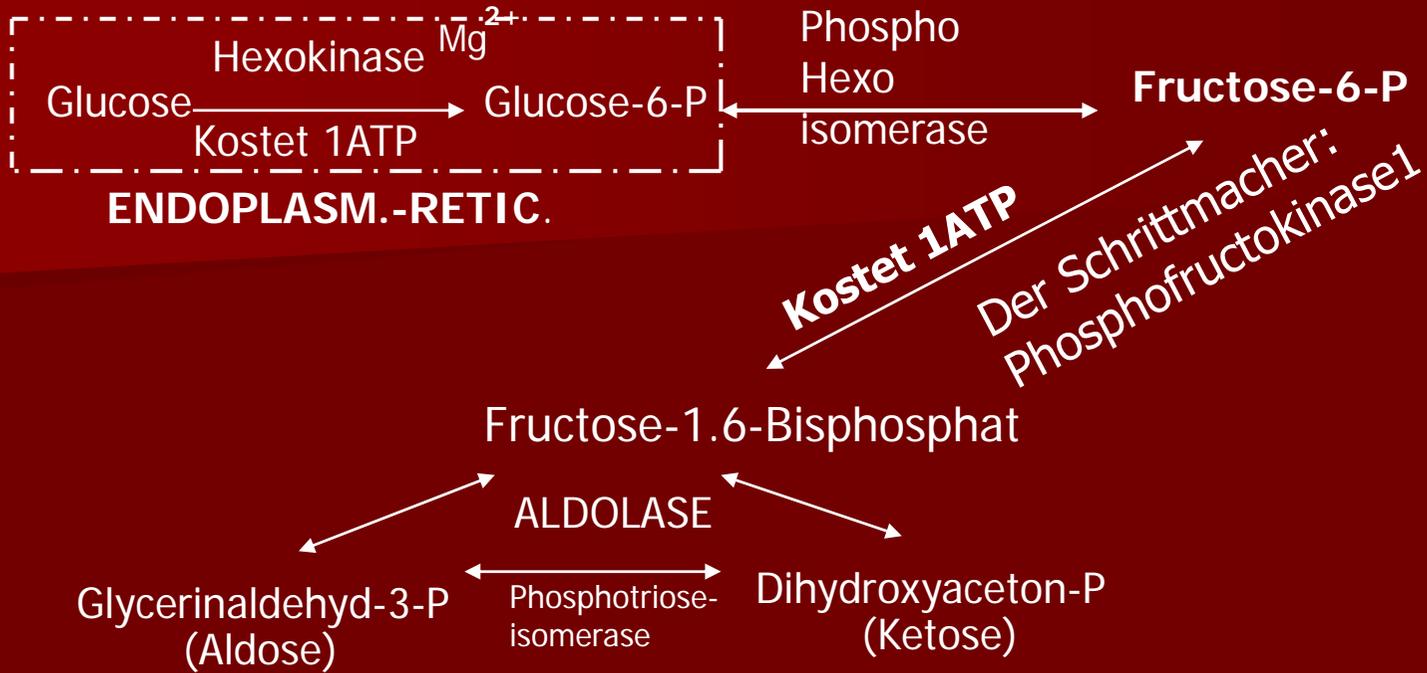
Antwort: c 2+4

KOHLNHYDRATE

Der Anfang im ER:

Phosphorylierung der Glukose.
Mit Phosphat im Schlepptau,
kann die Glukose nicht mehr
aus der Zelle abhauen...

KOHLLENHYDRATE



Was trifft/ treffen zu?

- 1) Die PFK1 (Phosphofruktokinase) ist ein Schlüsselenzym der Glykolyse.
- 2) Die PFK1 wird durch ATP und Citrat gehemmt.
- 3) Die PFK1 wird durch Fruktose-2,6-Bisphosphat aktiviert.
- 4) Die PFK1 wird durch ADP und AMP aktiviert.

Was trifft/ treffen zu?

- 1) Die PFK1 (Phosphofruktokinase) ist ein Schlüsselenzym der Glykolyse.
- 2) Die PFK1 wird durch ATP und Citrat gehemmt.
- 3) Die PFK1 wird durch Fruktose-2,6-Bisphosphat aktiviert.
- 4) Die PFK1 wird durch ADP und AMP aktiviert.

Antwort: e alle

KOHLLENHYDRATE

Aus Fructose-1,6-bisphosphat entstehen 2 Triosen.

1. GAP
2. DAP

Das katalysierende Enzym ist eine **Aldolase**,
die **Fructose-1,6-bisphosphat-Aldolase**.

Dieses besteht aus 4 Untereinheiten. Diese wiederum sind aus den Isoformen A, B und C zusammengesetzt.

A+C haben eine hohe Spezifität für Fructose-1,6-Bisphosphat

- B - als einziges in der Lage Fructose-1-Phosphat zu spalten
- zentrale Rolle im Fructosestoffwechsel, Exprimierung in Leber und Niere (postnatal),
 - bei Defekt dieser-----hereditäre Fructose-Intoleranz mit den Symptomen Schwitzen und Krämpfe als Zeichen der Hypoglykämie nach Fruktosegabe

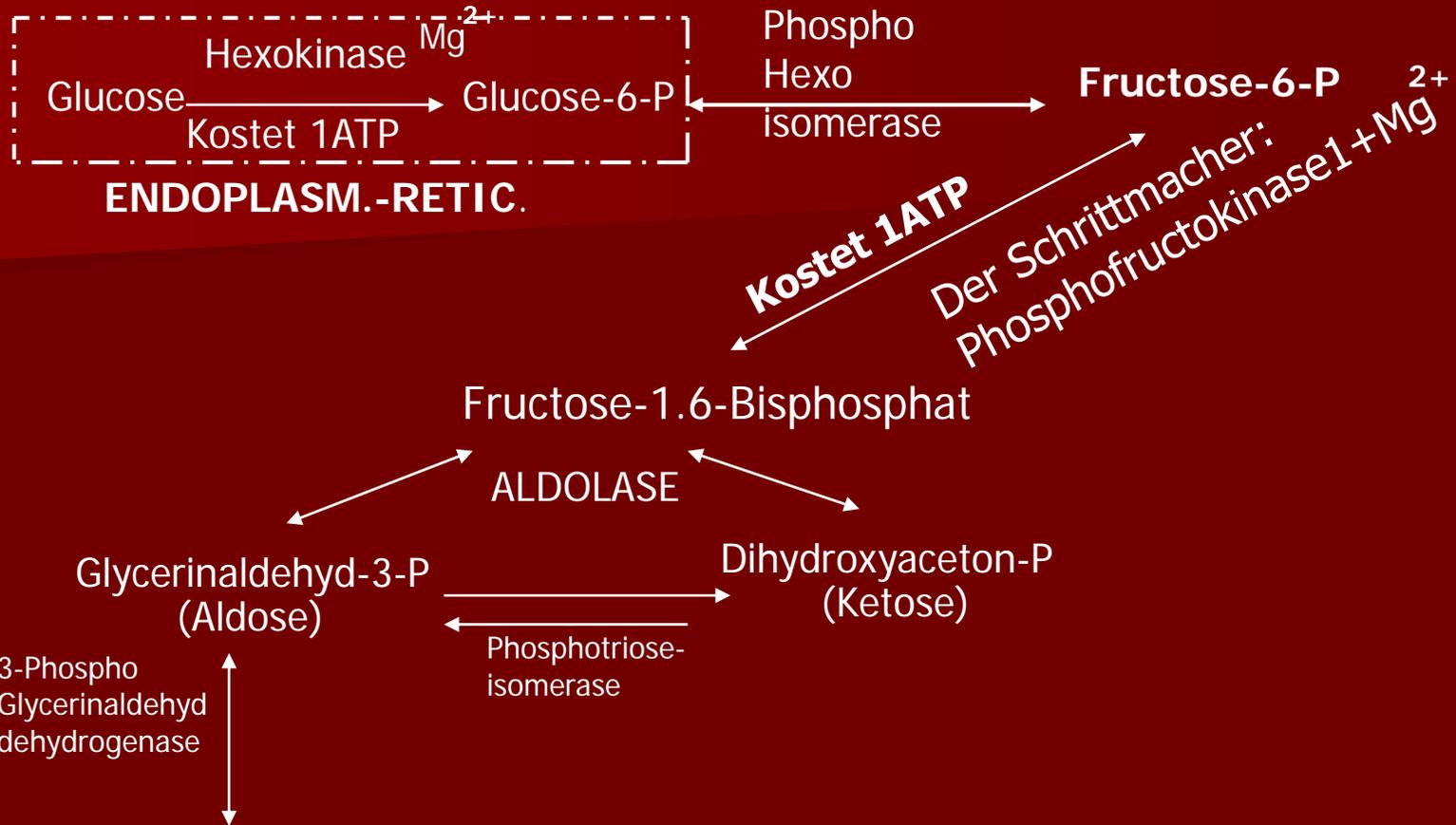
Zwischen der Carbonylgruppe der F-1,6-BP und der E-Aminogruppe der Aldolase, kommt es zur Ausbildung einer

SCHIFF BASE.

Dadurch wird die Bindung der Fructose zwischen dem C3- und dem C4-Atom gespalten...

GAP
DAP !!!

KOHLLENHYDRATE



KOHLNHYDRATE

Durch die

Substratkettenphosphorylierung

kommt es nun zur Konservierung der Energie.

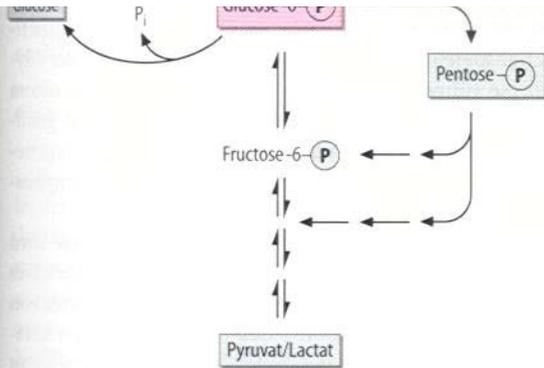


Abb. 15.3 Stellung des Glucose-6-phosphats im Glucosestoffwechsel

phat und Fructose-1-phosphat beträgt für das Muskelenzym 50:1, für das Leberenzym jedoch etwa 1:1, was für den Fructosestoffwechsel von Bedeutung ist (S. 395).

Die durch die Aldolase gebildeten Triosephosphate Glycerinaldehyd-3-phosphat und Dihydroxyacetonphosphat sind Isomere und können infolgedessen durch die *Triosephosphatisomerase* (Abb. 2.42, S. 62) leicht ineinander überführt werden.

In der zweiten Phase der Glykolyse erfolgt die Energiekonservierung

In den sich nun anschließenden energieliefernden Reaktionen der zweiten Phase der Glykolyse wird Glycerinaldehyd-3-phosphat zweimal dehydriert, wobei als Endprodukt *Pyruvat* entsteht, welches leicht in Lactat überführt werden kann. Zunächst wird hierbei Glycerinaldehyd-3-phosphat zum *1,3-Bisphosphoglycerat* oxidiert. Diese Bezeichnung ist, obwohl allgemein eingeführt, nicht korrekt. Da es sich um das Phosphorsäureanhydrid der 3-Phosphoglycerinsäure handelt, müsste es strenggenommen 3-Phosphoglyceroylphosphat heißen. Dihydroxyacetonphosphat beschreitet nach Isomerisierung zu Glycerinaldehyd-3-phosphat ebenfalls diesen Weg.

Das für die Oxidation verantwortliche Enzym, die *Glycerinaldehyd-3-phosphat-Dehydrogenase* benutzt NAD^+ als Oxidationsmittel. Das aktive Enzym ist ein Tetramer aus vier identischen Polypeptidketten. Im aktiven Zentrum jeder monomeren Peptidkette befindet sich ein Cysteinylrest, dessen SH-Gruppe an der en-

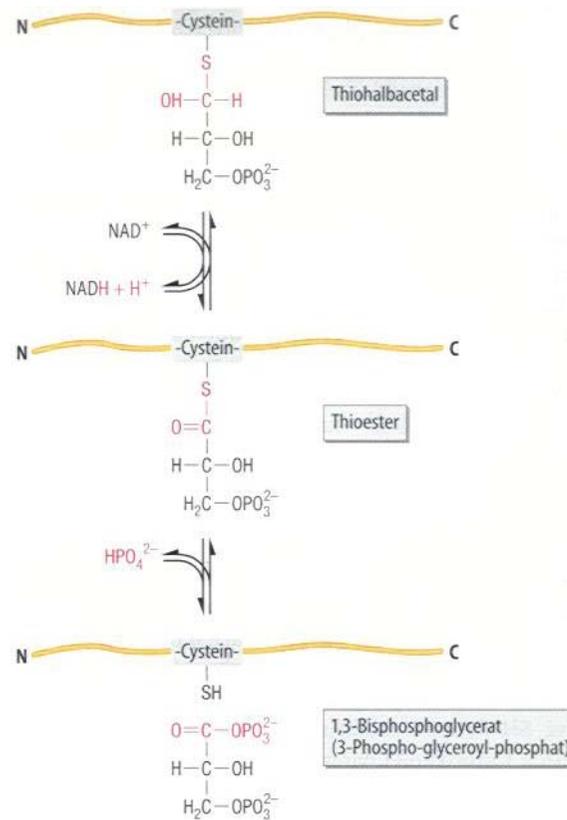


Abb. 15.4 Reaktionsmechanismus der Glycerinaldehyd-3-phosphat-Dehydrogenase. An die funktionelle SH-Gruppe des Enzymproteins addiert sich der Carbonyl-Kohlenstoff des 3-Phosphoglycerinaldehyds. Das entstehende Thiohalbacetal wird zum Thioester reduziert, der phosphorolytisch vom Enzymprotein unter Bildung von 3-Phospho-glyceroylphosphat (1,3-Bisphosphoglycerat) abgespalten wird

zymatischen Reaktion teilnimmt (Abb. 15.4). Außerdem ist NAD^+ in einer spezifischen Tasche des Enzyms nicht covalent gebunden.

Zunächst reagiert die Carbonylgruppe des 3-Phosphoglycerinaldehyds mit der SH-Gruppe im aktiven Zentrum des Enzyms, wobei ein Thiohalbacetal gebildet wird. Dieses wird mit dem enzymgebundenen NAD^+ oxidiert, womit ein *Thioester* entsteht.

Im Gegensatz zu Thiohalbacetalen haben Thioester ein hohes Gruppenübertragungspotential und gehören somit zu den *energiereichen Verbindungen* (S. 88). Würde man den Thioester durch Hydrolyse un-

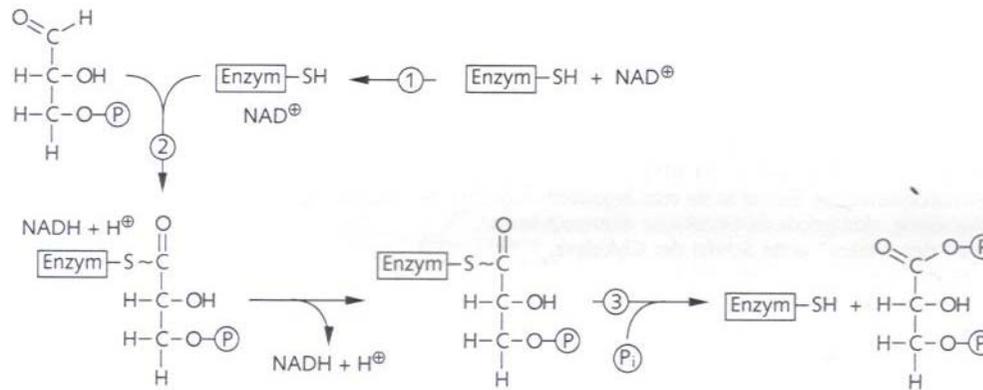


Abb. 6.12: Mechanismus der Substratkettenphosphorylierung.

- ① Zunächst lagert sich das Enzym mit NAD^+ zu einem Enzym- NAD^+ -Komplex zusammen.
- ② Das Substrat (hier: Glycerinaldehyd-3-P) bildet mit der SH-Gruppe des Enzyms einen Thioester, wobei NAD^+ zu $\text{NADH} + \text{H}^+$ reduziert wird.
- ③ Anschließend erfolgt eine *phosphorylytische Abspaltung* des Enzyms vom Substrat. Es entsteht 1,3-Bisphosphoglycerat, das eine energiereiche Säureanhydridbindung enthält und einen Phosphorsäurerest an ADP abgeben und somit ATP bilden kann.

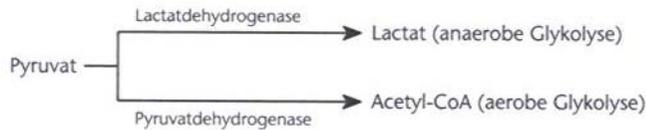


Abb. 6.13: Weiterverwertung des Pyruvats unter anaeroben und aeroben Bedingungen.

6.2.4 Besonderheiten der Glykolyse

Im Skelettmuskel

Bei guter Sauerstoffversorgung baut die Skelettmuskelzelle Glucose-6-P zu Pyruvat ab, das durch die Pyruvat-Dehydrogenase zu Acetyl-CoA oxidiert und im Citratzyklus zu CO_2 abgebaut wird.

Bei schlechter Sauerstoffversorgung oder erhöhtem Energiebedarf wird im Zuge der anaeroben Glykolyse vermehrt Lactat gebildet. Durch die Lactatbildung wird $\text{NADH} + \text{H}^+$ verbraucht, das sonst den Glykolyseablauf behindern würde, da es die 3-Phosphoglycerinaldehyd-Dehydrogenase hemmt.

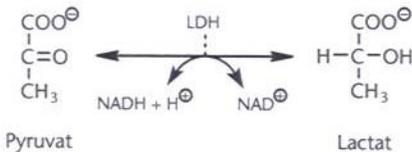


Abb. 6.14: Lactatdehydrogenase-Reaktion.

Die Lactatbildung ist eine „Sackgasse des Stoffwechsels“. Die Wiederverwertung des Lactats ist nur über die Oxidation zu Pyruvat möglich. Diese Aufgabe wird von der Leber übernommen.

Klinik!

Lange Zeit machte man sich Aufhebens um Lactat im

In den Erythrozyten

Da Erythrozyten keine Mitochondrien haben, können sie Glucose *nur* über die anaerobe Glykolyse abbauen. Dabei entstehen pro Mol Glucose 4 Mol ATP/Mol Glucose, da ein Mol Glucose zu zwei Mol Phosphoglycerat unter Verlust von zwei Mol H_2O umgewandelt wird. Diese Reaktion wird durch die Phosphoglyceratmutase katalysiert. Eine dieser Reaktionen ist die Umwandlung des Bisphosphoglycerats in Phosphoglycerat.

Erythrozyten produzieren 2,3-Bisphosphoglycerat in größeren Mengen, da es ein allosterischer Effektor für die Produktion von 2,3-Bisphosphoglycerat der Höhenadaptation.

6.2.5 Energiebilanz d

Pro Mol Glucose werden zunächst 2 Mol ATP benötigt, um Fructose-1,6-bisphosphoglycerat zu bilden (Reaktionen ① + ③).

Die Bildung von 1,3-Bisphosphoglycerat aus Phosphoglycerat (Reaktion ④) liefert 1 Mol ATP/Mol Triose bzw. 2 Mol ATP/Mol Glucose (Reaktionen ⑥ + ⑦).

Über die Bildung von Phosphoenolpyruvat aus Phosphoglycerat (Reaktion ⑧) wird ein weiteres Mol ATP/Mol Triose bzw. 2 Mol ATP/Mol Glucose gebildet. (Reaktionen ⑧ + ⑨).

Bilanz:

KOHLNHYDRATE

Substratkettenphosphorylierung

An die SH-Gruppe des Enzyms,

3-Phosphoglycerinaldehyddehydrogenase,

wird die Carbonylgruppe des 3
Phosphoglycerinaldehyds (ALDOSE) gebunden.
Es entsteht ein Thioester.

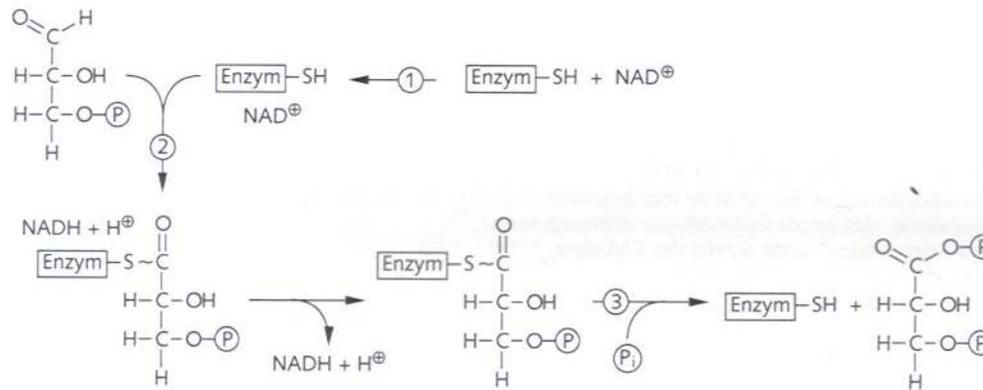


Abb. 6.12: Mechanismus der Substratkettenphosphorylierung.

- Zunächst lagert sich das Enzym mit NAD^+ zu einem Enzym- NAD^+ -Komplex zusammen.
- Das Substrat (hier: Glycerinaldehyd-3-P) bildet mit der SH-Gruppe des Enzyms einen Thioester, wobei NAD^+ zu $\text{NADH} + \text{H}^+$ reduziert wird.
- Anschließend erfolgt eine phosphorylytische Abspaltung des Enzyms vom Substrat. Es entsteht 1,3-Bisphosphoglycerat, das eine energiereiche Säureanhydridbindung enthält und einen Phosphorsäurerest an ADP abgeben und somit ATP bilden kann.

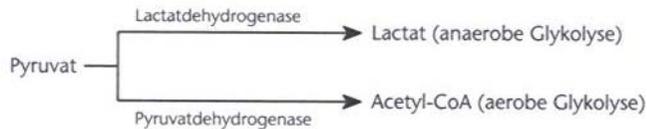


Abb. 6.13: Weiterverwertung des Pyruvats unter anaeroben und aeroben Bedingungen.

6.2.4 Besonderheiten der Glykolyse

Im Skelettmuskel

Bei guter Sauerstoffversorgung baut die Skelettmuskelzelle Glucose-6-P zu Pyruvat ab, das durch die Pyruvat-Dehydrogenase zu Acetyl-CoA oxidiert und im Citratzyklus zu CO_2 abgebaut wird.

Bei schlechter Sauerstoffversorgung oder erhöhtem Energiebedarf wird im Zuge der anaeroben Glykolyse vermehrt Lactat gebildet. Durch die Lactatbildung wird $\text{NADH} + \text{H}^+$ verbraucht, das sonst den Glykolyseablauf behindern würde, da es die 3-Phosphoglycerinaldehyd-Dehydrogenase hemmt.

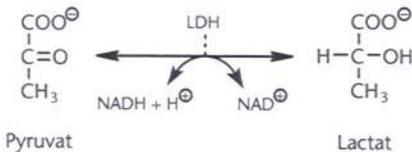


Abb. 6.14: Lactatdehydrogenase-Reaktion.

Die Lactatbildung ist eine „Sackgasse des Stoffwechsels“. Die Wiederverwertung des Lactats ist nur über die Oxidation zu Pyruvat möglich. Diese Aufgabe wird von der Leber übernommen.

In den Erythrozyten

Da Erythrozyten keine Mitochondrien besitzen, können sie Glucose *nur* über die anaerobe Glykolyse abbauen. Dabei entstehen pro Mol Glucose 4 Mol ATP, da ein Molekül Phosphoglycerat unter Verlust von H_2O zu 1,3-Bisphosphoglycerat umgewandelt wird. Diese Reaktion wird durch Phosphoglyceratmutase katalysiert. Eine weitere wichtige Reaktion ist die Bildung von 2,3-Bisphosphoglycerat aus 1,3-Bisphosphoglycerat durch Phosphoglyceratkinase. Dieses 2,3-Bisphosphoglycerat wirkt als allosterischer Effektor für die Hemmung der Phosphofruktokinase und fördert die Produktion von 2,3-Bisphosphoglycerat zur Höhenadaptation.

Erythrozyten produzieren 2,3-Bisphosphoglycerat in größeren Mengen, da es ein wichtiger allosterischer Effektor für die Hemmung der Phosphofruktokinase (PFK) ist, was die Produktion von 2,3-Bisphosphoglycerat zur Höhenadaptation fördert.

6.2.5 Energiebilanz d

Pro Mol Glucose werden zunächst 2 Mol ATP benötigt, um Fructose-1,6-bisphosphoglycerat zu bilden (Reaktionen ① + ③).

Die Bildung von 1,3-Bisphosphoglycerat aus 3-Phosphoglycerat (dessen Umwandlung zu 3-Phosphoglycerat unter gleichzeitiger ATP-Bildung durch die Substratkettenphosphorylierung) liefert 1 Mol ATP bzw. 2 Mol ATP/Mol Glucose (Reaktionen ⑥ + ⑦).

Über die Bildung von Phosphoenolpyruvat aus Pyruvat (dessen Umwandlung zu Pyruvat unter gleichzeitiger ATP-Bildung durch die Substratkettenphosphorylierung) wird ein weiteres Mol ATP/Mol Triose bzw. 2 Mol ATP/Mol Glucose gebildet. (Reaktionen ⑧ + ⑨).

Bilanz:

Klinik!

Lange Zeit machte man sich Hoffungen, dass Lactat in

KOHLLENHYDRATE

Substratkettenphosphorylierung

Bei dieser Bindung werden 2H frei die aufgefangen werden müssen.

Das übernimmt das Coenzym NAD welches...

mit dem Enzym zu Beginn der Reaktion zu einem Enzym-NAD-Komplex zusammen gelagert ist.

Es entstehen ein NADH+H
und ein Substrat-Enzym-Komplex.

Wohin geht dieses NADH₂!?

KOHLNHYDRATE

Substratkettenphosphorylierung

Bei dieser Bindung werden 2H frei die aufgefangen werden müssen.

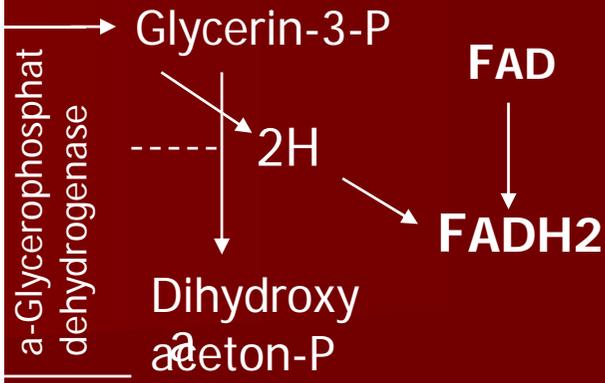
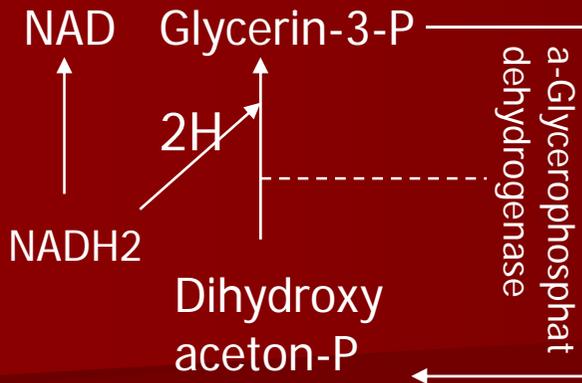
Das übernimmt das Coenzym NAD welches...

mit dem Enzym zu Beginn der Reaktion zu einem Enzym-NAD-Komplex zusammen gelagert ist.

Es entstehen ein NADH+H
und ein Substrat-Enzym-Komplex.

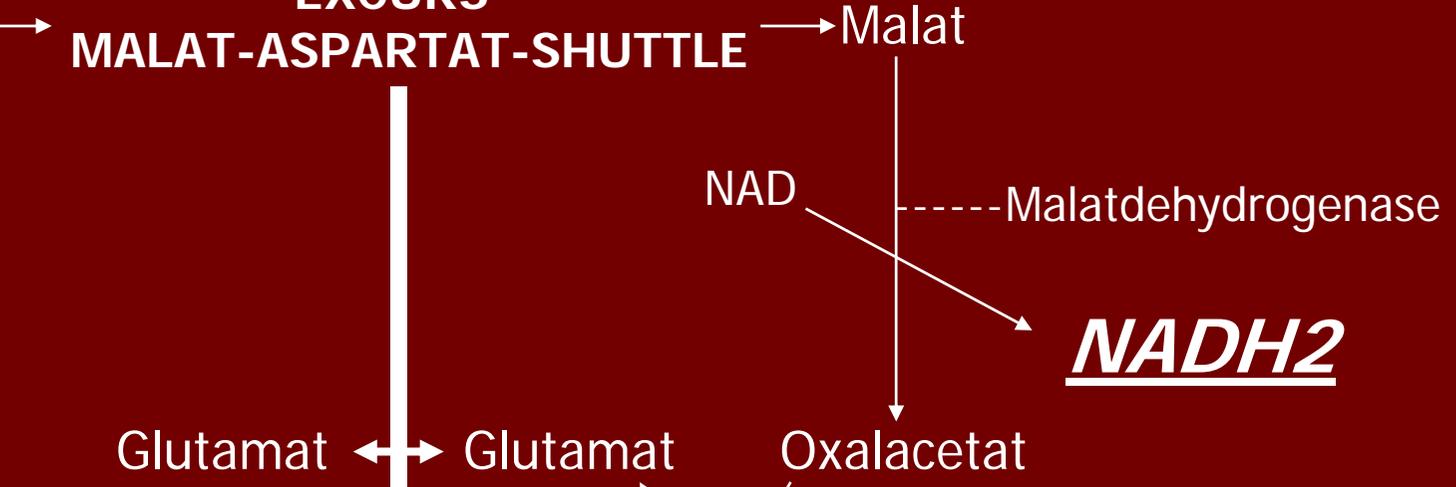
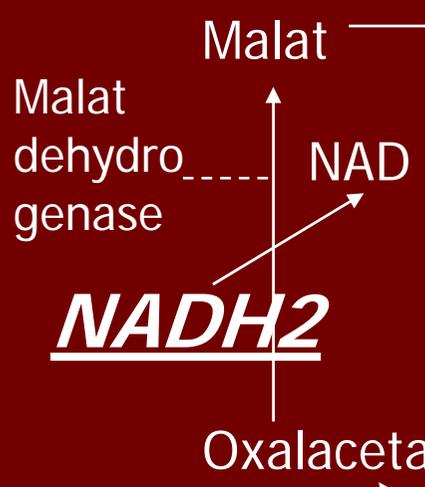
Wohin geht dieses NADH₂!?

Zunächst in das Mitochondrium über den Malat-Aspartat-Shuttle...



EXCURS

MALAT-ASPARTAT-SHUTTLE



Zytosol

Mito

KOHLNHYDRATE

Substratkettenphosphorylierung

Bei dieser Bindung werden 2H frei die aufgefangen werden müssen.

Das übernimmt das Coenzym NAD welches...

mit dem Enzym zu Beginn der Reaktion zu einem Enzym-NAD-Komplex zusammen gelagert ist.

Es entstehen ein NADH+H
und ein Substrat-Enzym-Komplex.

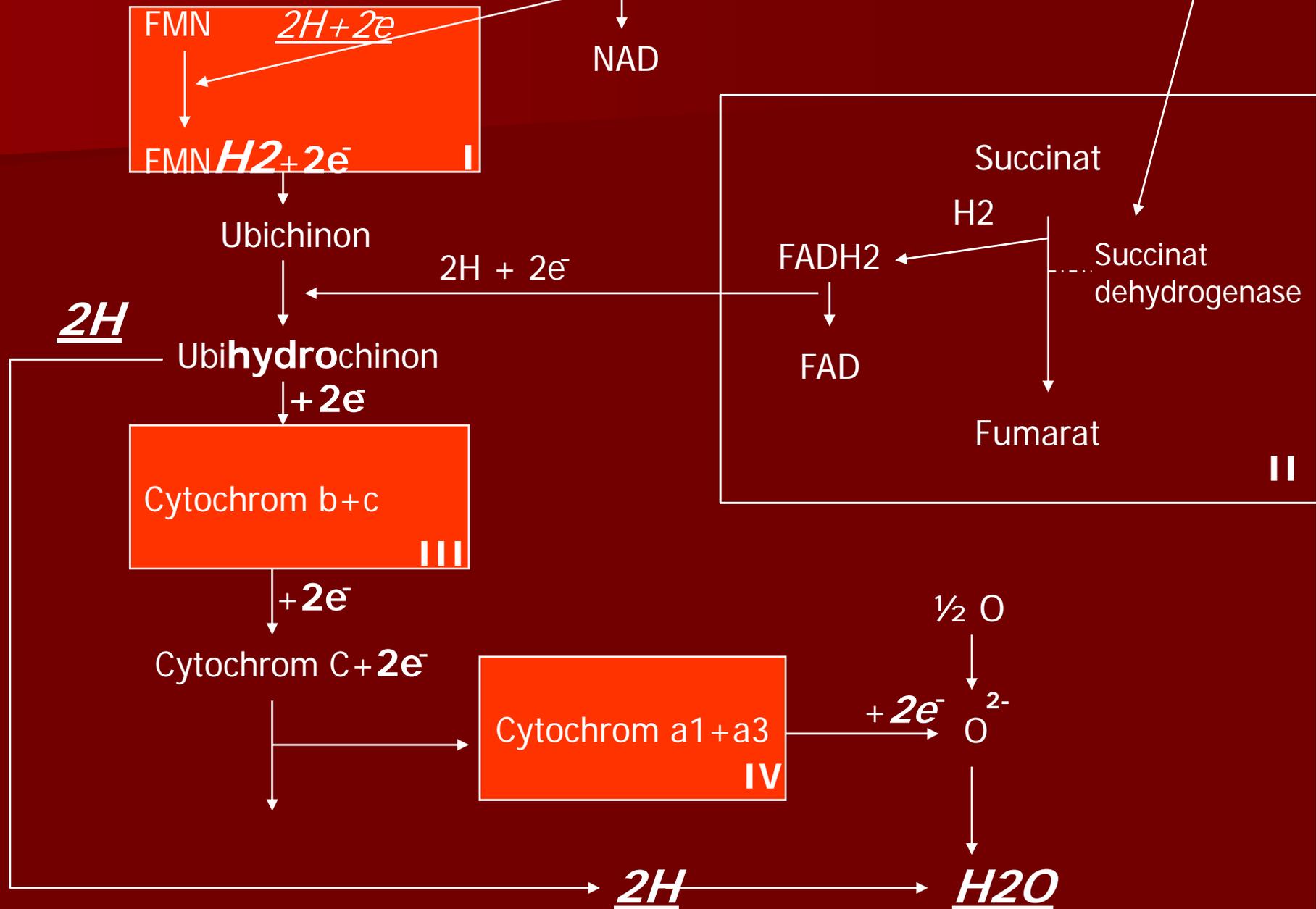
Wohin geht dieses NADH2!?

Zunächst in das Mitochondrium über den Malat-Aspartat-Shuttle,
dann in die Atmungskette!

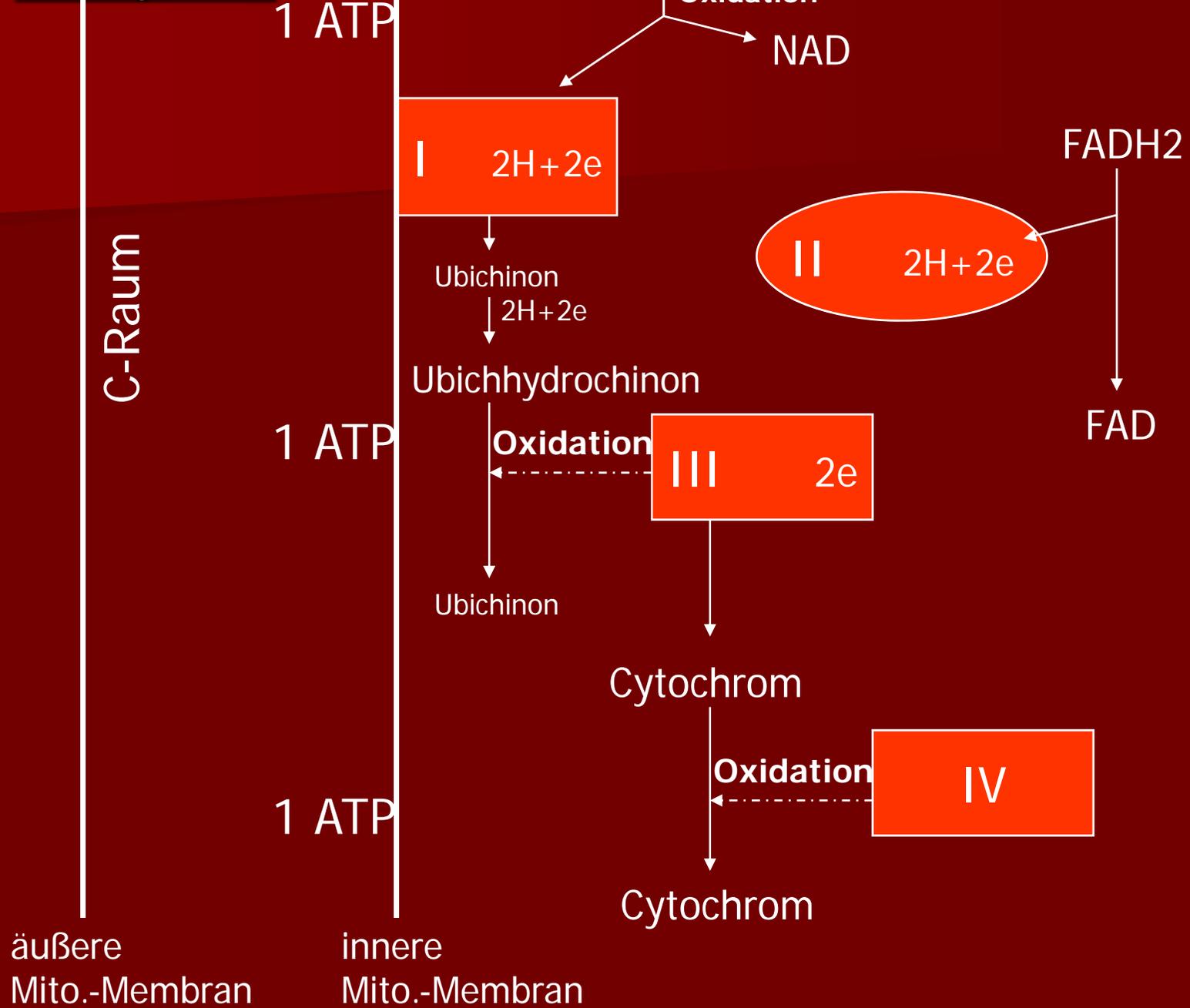
EXCURS Atmungskette

NADH₂ (aus der Substratkettenphosphorylierung)

Citratcyklus



EXCURS
Atmungskette



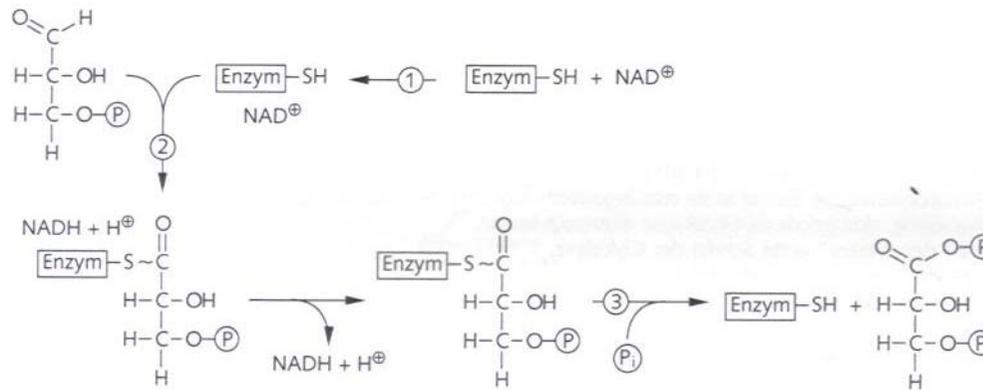


Abb. 6.12: Mechanismus der Substratkettenphosphorylierung.

- Zunächst lagert sich das Enzym mit NAD^+ zu einem Enzym- NAD^+ -Komplex zusammen.
- Das Substrat (hier: Glycerinaldehyd-3-P) bildet mit der SH-Gruppe des Enzyms einen Thioester, wobei NAD^+ zu $\text{NADH} + \text{H}^+$ reduziert wird.
- Anschließend erfolgt eine phosphorylytische Abspaltung des Enzyms vom Substrat. Es entsteht 1,3-Bisphosphoglycerat, das eine energiereiche Säureanhydridbindung enthält und einen Phosphorsäurerest an ADP abgeben und somit ATP bilden kann.

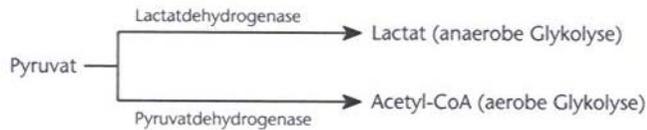


Abb. 6.13: Weiterverwertung des Pyruvats unter anaeroben und aeroben Bedingungen.

6.2.4 Besonderheiten der Glykolyse

Im Skelettmuskel

Bei guter Sauerstoffversorgung baut die Skelettmuskelzelle Glucose-6-P zu Pyruvat ab, das durch die Pyruvat-Dehydrogenase zu Acetyl-CoA oxidiert und im Citratzyklus zu CO_2 abgebaut wird.

Bei schlechter Sauerstoffversorgung oder erhöhtem Energiebedarf wird im Zuge der anaeroben Glykolyse vermehrt Lactat gebildet. Durch die Lactatbildung wird $\text{NADH} + \text{H}^+$ verbraucht, das sonst den Glykolyseablauf behindern würde, da es die 3-Phosphoglycerinaldehyd-Dehydrogenase hemmt.

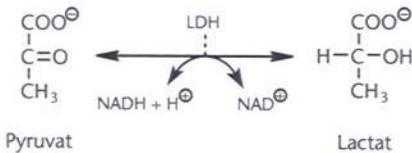


Abb. 6.14: Lactatdehydrogenase-Reaktion.

Die Lactatbildung ist eine „Sackgasse des Stoffwechsels“. Die Wiederverwertung des Lactats ist nur über die Oxidation zu Pyruvat möglich. Diese Aufgabe wird von der Leber übernommen.

Klinik!

Lange Zeit machte man sich Aufhebens um Lactat im

In den Erythrozyten

Da Erythrozyten keine Mitochondrien haben, können sie Glucose *nur* über die Glykolyse abbauen. Dabei entstehen 4 Mol ATP/Mol Glucose, da ein Phosphoglycerat unter Verlust von H_2O zu Bisphosphoglycerat umgewandelt wird. Diese Reaktion wird durch Phosphoglyceratmutase katalysiert. Eine weitere wichtige Reaktion ist die Bildung von 2,3-Bisphosphoglycerat aus 1,3-Bisphosphoglycerat. Diese Reaktion wird durch Phosphoglyceratkinase katalysiert. Ein Mangel an dieser Enzymaktivität führt zu einer Anämie.

Erythrozyten produzieren 2,3-Bisphosphoglycerat in größeren Mengen, da es ein allosterischer Effektor für die Produktion von 2,3-Bisphosphoglycerat ist, das die Produktion von 2,3-Bisphosphoglycerat fördert. Letzteres ist der primäre allosterische Effektor für die Produktion von 2,3-Bisphosphoglycerat, das die Produktion von 2,3-Bisphosphoglycerat fördert.

6.2.5 Energiebilanz d

Pro Mol Glucose werden zunächst 2 Mol ATP benötigt, um Fructose-1,6-bisphosphoglycerat zu bilden (Reaktionen ① + ③).

Die Bildung von 1,3-Bisphosphoglycerat aus 3-Phosphoglycerat (Reaktion ④) liefert 1 Mol ATP/Mol Triose bzw. 2 Mol ATP/Mol Glucose (Reaktionen ⑥ + ⑦).

Über die Bildung von Phosphoenolpyruvat aus Phosphoenolpyruvat (Reaktion ⑧) wird ein weiteres Mol ATP/Mol Triose bzw. 2 Mol ATP/Mol Glucose gebildet. (Reaktionen ⑧ + ⑨).

Bilanz:

KOHLLENHYDRATE

Substratkettenphosphorylierung

Nun werden Enzym und Substrat voneinander getrennt.

Phosphorylytische Spaltung.

Das Ergebnis ist das 1,3-Bisphosphoglycerat.

Das heißt dieses Substrat trägt 2 Phosphatgruppen,
von denen nun **eins energiereich** ist!!

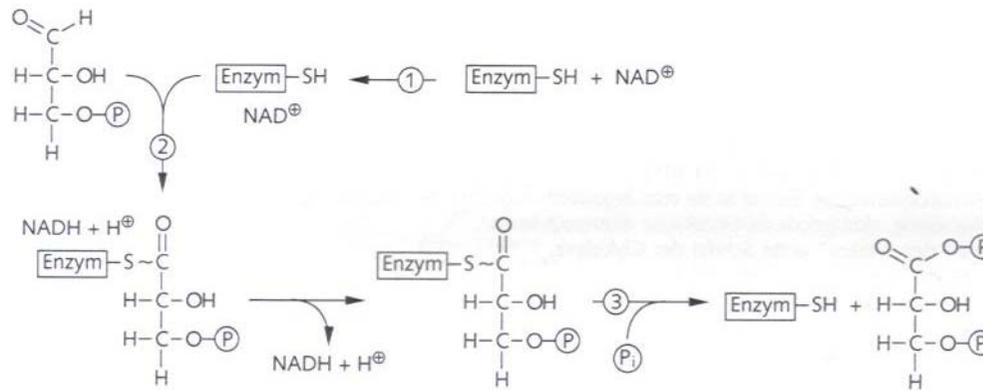


Abb. 6.12: Mechanismus der Substratkettenphosphorylierung.

- Zunächst lagert sich das Enzym mit NAD^+ zu einem Enzym- NAD^+ -Komplex zusammen.
- Das Substrat (hier: Glycerinaldehyd-3-P) bildet mit der SH-Gruppe des Enzyms einen Thioester, wobei NAD^+ zu $\text{NADH} + \text{H}^+$ reduziert wird.
- Anschließend erfolgt eine *phosphorylytische Abspaltung* des Enzyms vom Substrat. Es entsteht 1,3-Bisphosphoglycerat, das eine energiereiche Säureanhydridbindung enthält und einen Phosphorsäurerest an ADP abgeben und somit ATP bilden kann.

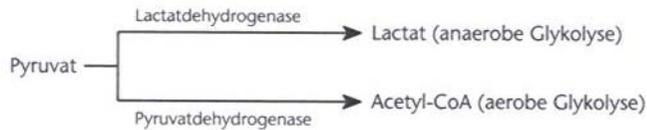


Abb. 6.13: Weiterverwertung des Pyruvats unter anaeroben und aeroben Bedingungen.

6.2.4 Besonderheiten der Glykolyse

Im Skelettmuskel

Bei guter Sauerstoffversorgung baut die Skelettmuskelzelle Glucose-6-P zu Pyruvat ab, das durch die Pyruvat-Dehydrogenase zu Acetyl-CoA oxidiert und im Citratzyklus zu CO_2 abgebaut wird.

Bei schlechter Sauerstoffversorgung oder erhöhtem Energiebedarf wird im Zuge der anaeroben Glykolyse vermehrt Lactat gebildet. Durch die Lactatbildung wird $\text{NADH} + \text{H}^+$ verbraucht, das sonst den Glykolyseablauf behindern würde, da es die 3-Phosphoglycerinaldehyd-Dehydrogenase hemmt.

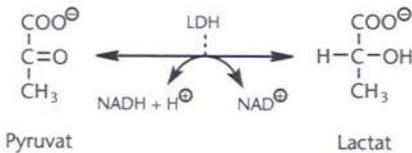


Abb. 6.14: Lactatdehydrogenase-Reaktion.

Die Lactatbildung ist eine „Sackgasse des Stoffwechsels“. Die Wiederverwertung des Lactats ist nur über die Oxidation zu Pyruvat möglich. Diese Aufgabe wird von der Leber übernommen.

In den Erythrozyten

Da Erythrozyten keine Mitochondrien haben, können sie Glucose *nur* über die Glykolyse abbauen. Dabei entstehen 4 Mol ATP/Mol Glucose, da ein Phosphoglycerat unter Verlust von H_2O zu 1,3-Bisphosphoglycerat umgewandelt wird. Diese Reaktion wird durch die Phosphoglyceratmutase katalysiert. Eine weitere wichtige Reaktion ist die Bildung von 2,3-Bisphosphoglycerat aus 3-Phosphoglycerat durch die Phosphoglyceratkinase. Diese Reaktion wird durch die Phosphoglyceratkinase katalysiert. Eine weitere wichtige Reaktion ist die Bildung von 2,3-Bisphosphoglycerat aus 3-Phosphoglycerat durch die Phosphoglyceratkinase.

Erythrozyten produzieren 2,3-Bisphosphoglycerat in größeren Mengen, da es ein allosterischer Effektor für die Hemmung der Phosphoglyceratkinase (PK) ist. Die Produktion von 2,3-Bisphosphoglycerat ist ein wichtiger Mechanismus der Höhenadaptation.

6.2.5 Energiebilanz d

Pro Mol Glucose werden zunächst 2 Mol ATP benötigt, um Fructose-1,6-bisphosphoglycerat zu bilden (Reaktionen 1 + 3).

Die Bildung von 1,3-Bisphosphoglycerat aus 3-Phosphoglycerat (Reaktion 4) liefert 1 Mol ATP bzw. 2 Mol ATP/Mol Glucose (Reaktionen 6 + 7).

Über die Bildung von Phosphoenolpyruvat aus 2-Phosphoglycerat (Reaktion 8) und dessen Umwandlung zu Pyruvat (Reaktion 9) wird ein weiteres Mol ATP/Mol Triose bzw. 2 Mol ATP/Mol Glucose gebildet. (Reaktionen 8 + 9).

Bilanz:

Klinik!

Lange Zeit machte man sich Hoffungen, dass Lactat in

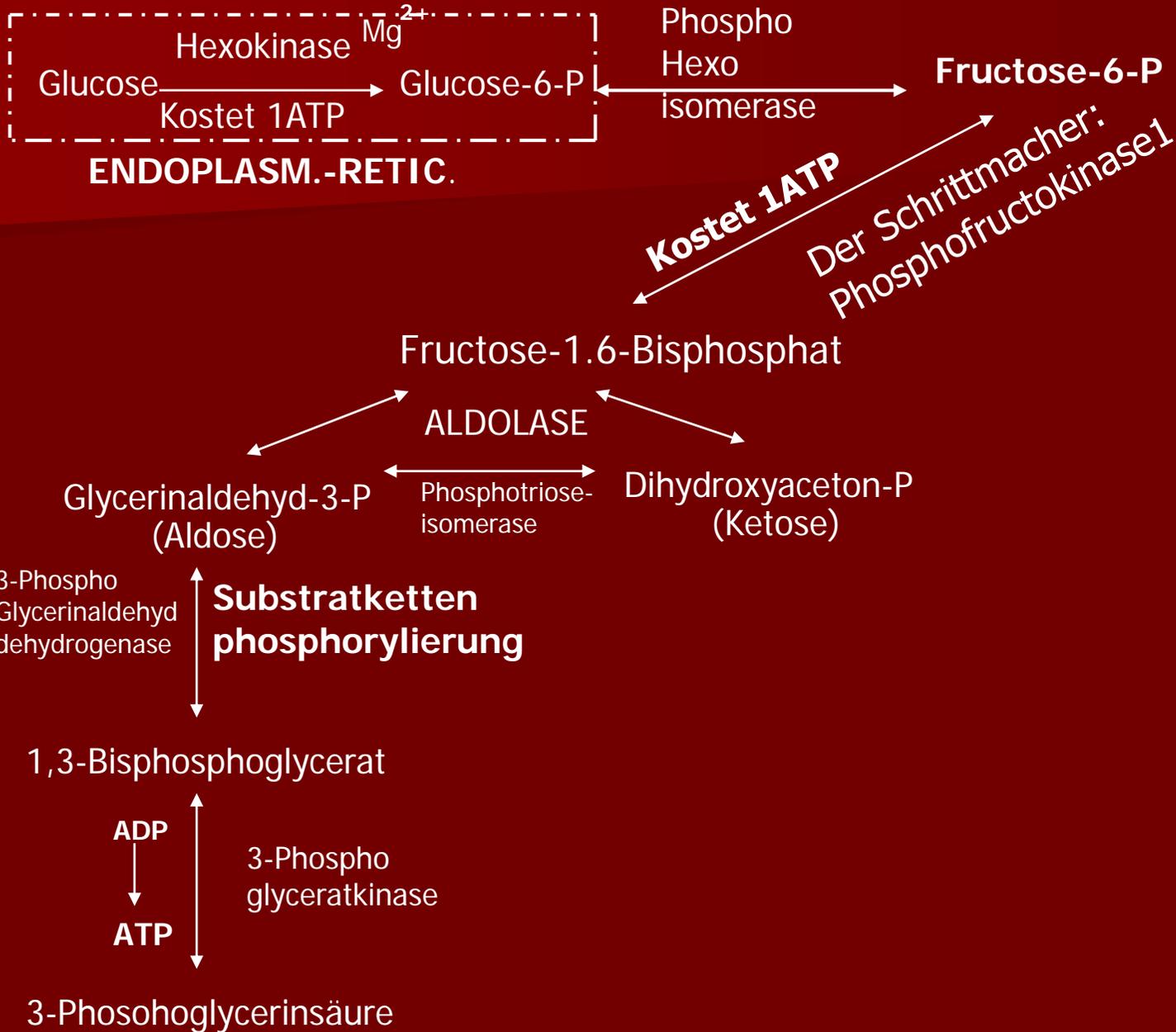
KOHLNHYDRATE

Substratkettenphosphorylierung

Dieses energiereiche Phosphat wird nun auf ADP übertragen.

Es entsteht ein ATP...

KOHLLENHYDRATE



KOHLLENHYDRATE

... und noch mehr Energie!

Da die 3-Phosphoglycerinsäure noch ein P besitzt, wäre es natürlich am sinnvollsten, es angemessen dem Stoffwechsel zuzuführen...

nämlich als Energie!!

Also wird dieses Phosphat zunächst aktiviert.

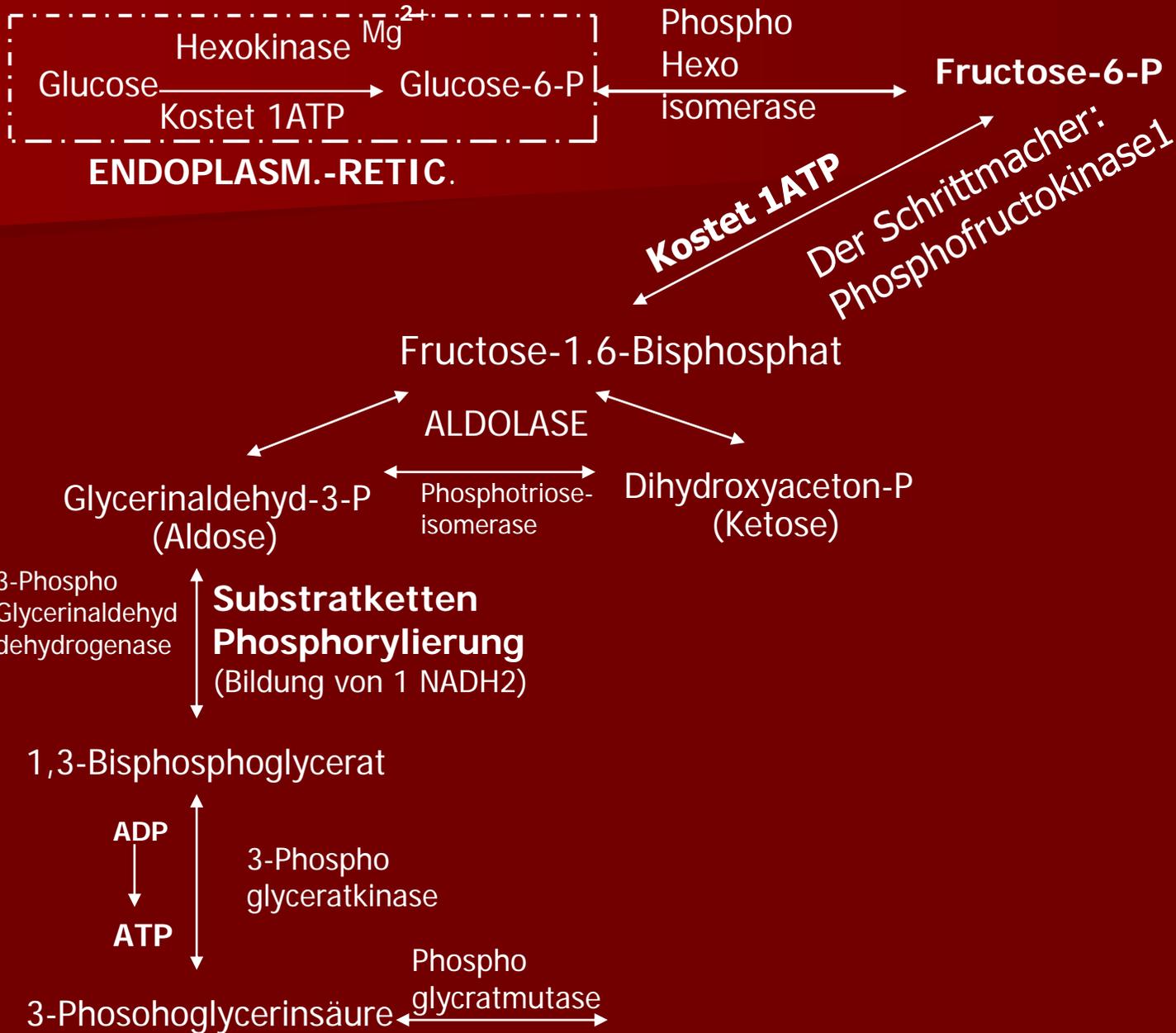
D.h., der Tank wird darauf vorbereitet mit Benzin gefüllt zu werden.

Also, nicht das Phosphat oder das ATP ist die Energie, sondern die Verbindung zwischen dem P und dem jeweiligen Substrat stellt die Energie...in Form von Wärme.

Man könnte also sagen, daß das Phosphat lediglich als Speichermöglichkeit funktioniert (...der Kanister).

Der Sinn des Phosphats liegt vor allem darin, Energie so zu Speichern und verfügbar zu machen.

KOHLLENHYDRATE



KOHLLENHYDRATE

Phosphoglyceratmutase:

sie öffnet den Tank...

d.h. also, sie aktiviert das P, indem sie es in der Phosphoglycerinsäure Umlagert...von C3 auf C2.

Enolase: (auch Phosphoenolathydratase/ Lyase)

sie füllt den Tank...

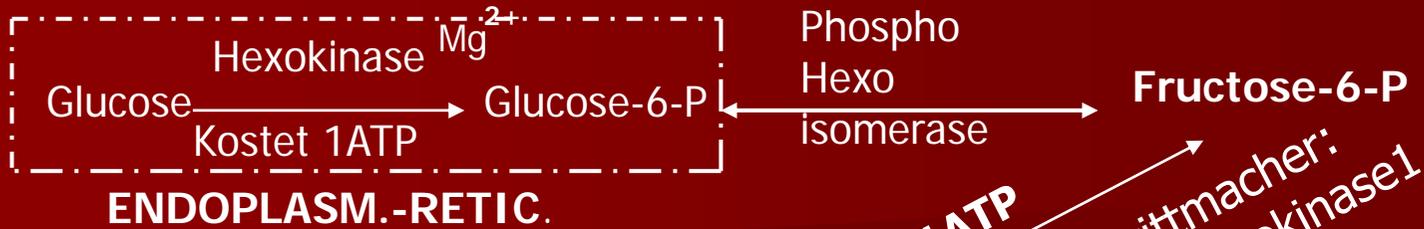
Achtung: sie füllt den Tank!!

Die Energie selber entsteht dadurch, daß die Enolase H₂O abspaltet und es somit zu einer Umverteilung der Energie kommt, die ja sowieso in diesem

Substrat enthalten ist!!!

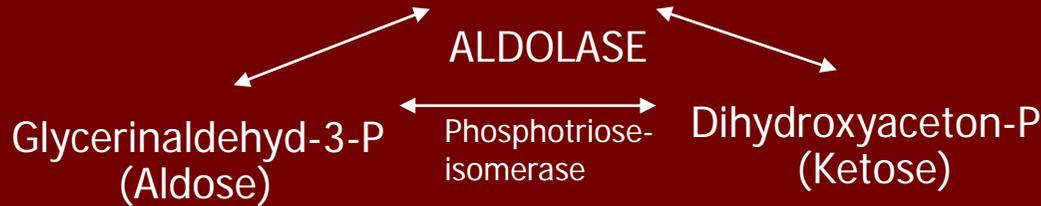
Diese Energie wird letztendlich in Form der Ester-Bindung, zwischen dem P und der O-Gruppe des Phosphoenolpyruvat gespeichert.

KOHLLENHYDRATE



Kostet 1ATP
Der Schrittmacher: Phosphofruktokinase1

Fructose-1.6-Bisphosphat



3-Phospho Glycerinaldehyd dehydrogenase

Substratketten Phosphorylierung
(Bildung von 1 NADH₂)

Effekt das Anstiegs von NADH₂??!

1,3-Bisphosphoglycerat

ADP \downarrow ATP

3-Phospho glyceratkinase



KOHLLENHYDRATE

Enolase: (auch Phosphoenolathydratase/ Lyase)

sie füllt den Tank...

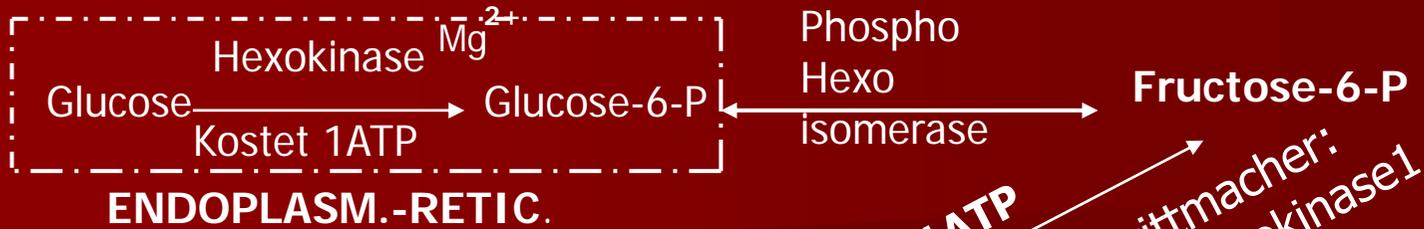
Achtung: sie füllt den Tank!!

Die Energie selber entsteht dadurch, daß die Enolase H₂O abspaltet und es somit zu einer Umverteilung der Energie kommt, die ja sowieso in diesem Substrat drin ist!!!

Diese Energie wird also nutzbar gemacht, für ein anderes Substrat...

...letzendlich gespeichert in Form der Ester-Bindung, zwischen dem P und der O-Gruppe des Phosphoenolpyruvat...um sie dann auf das ADP zu übertragen.

KOHLLENHYDRATE



Kostet 1ATP
Der Schrittmacher: Phosphofruktokinase1

Fructose-1.6-Bisphosphat

ALDOLASE

Glycerinaldehyd-3-P
(Aldose)

$\xleftrightarrow{\text{Phosphotriose-isomerase}}$

Dihydroxyaceton-P
(Ketose)

3-Phospho Glycerinaldehyd dehydrogenase

Substratketten Phosphorylierung
(Bildung von 1 NADH₂)

1,3-Bisphosphoglycerat

ADP \downarrow ATP

3-Phospho glyceratkinase

3-Phosphoglycerinsäure

$\xleftrightarrow{\text{Phospho glyceratmutase}}$

2-Phospho glycerinsäure

$\xleftrightarrow[\text{H}_2\text{O geht ab}]{\text{Enolase}}$

Phosphoenolpyruvat

Pyruvat

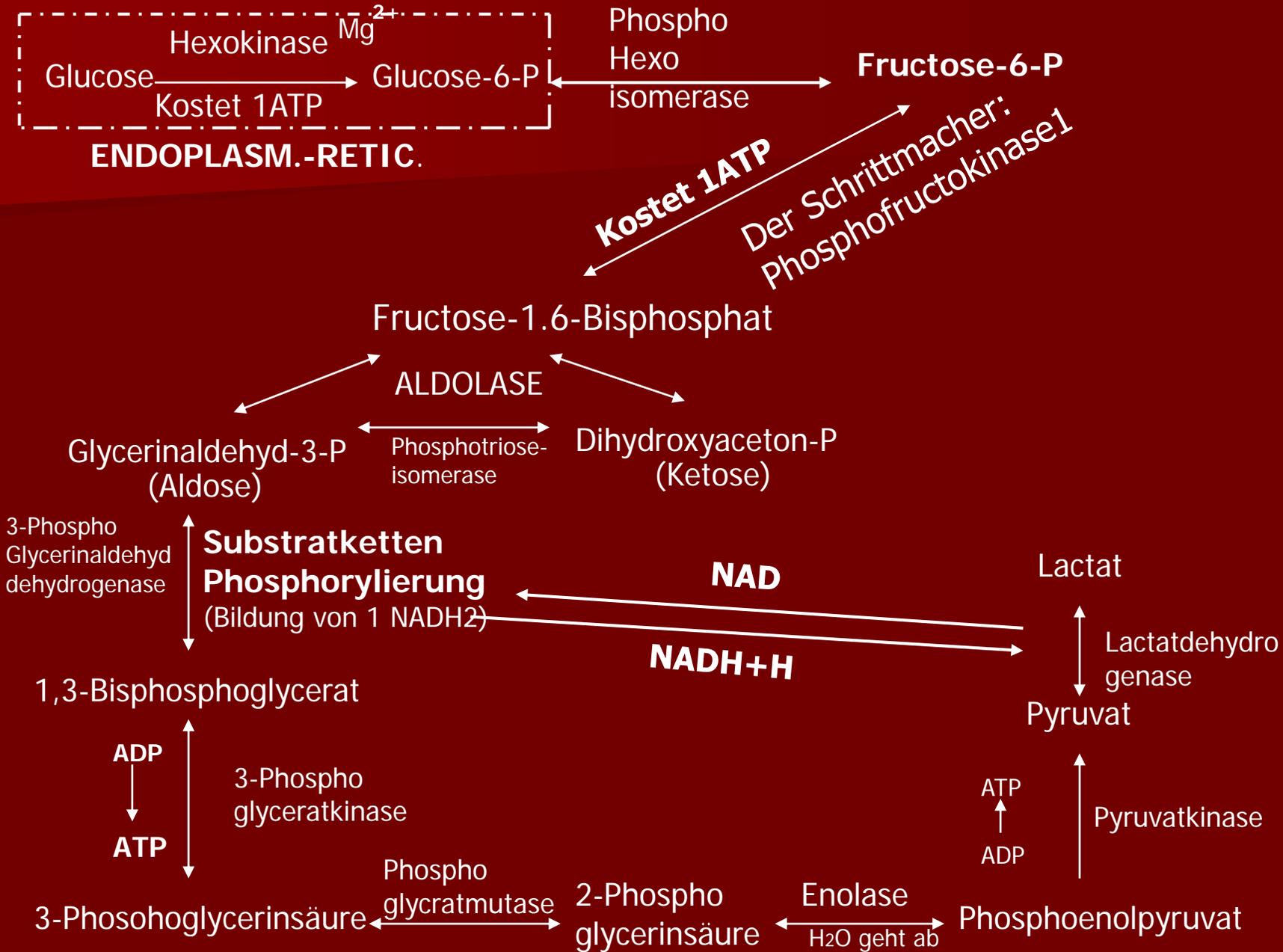
ATP \uparrow ADP

Pyruvatkinase

Anaerobe Glykolyse

KOHLLENHYDRATE

ANAEROBE GLYKOLYSE



...und wie wird die Glykolyse reguliert??

KOHLLENHYDRATE

a) Regulation der Glykolyse:

Falls die Zelle bereits viel ATP (und damit wenig ADP) hat, hält die Reaktion an dieser Stelle an, bis wieder genügend ADP zur Verfügung steht.

Diese Feedbackregulation ist wichtig, da ATP relativ schnell zerfällt, wenn es nicht genutzt wird.

Überproduktion von ATP wird somit verhindert.

KOHLLENHYDRATE

b) Regulation der Glykolyse:

Ist der Spiegel an Fructose-6-P hoch,
so wird über einen parallelen Weg in der Leber vermehrt
Fructose-2,6-bisphosphat (F-2,6-BP) gebildet.

Enzym: Phosphofruktokinase-2 (PFK2)

Das erhöht logischerweise den Spiegel an F-2,6-BP.

Die F-2,6-BP ihrerseits, übt einen
stimulierenden Einfluß = FEED-FORWARD-STIMULIERUNG
auf die PFK1 (Schlüsselenzym der Glykolyse) aus.

Was trifft/ treffen zu?

- 1) Die PFK1 (Phosphofruktokinase) ist ein Schlüsselenzym der Glykolyse.
- 2) Die PFK1 wird durch ATP und Citrat gehemmt.
- 3) Die PFK1 wird durch Fruktose-2,6-Bisphosphat aktiviert.
- 4) Die PFK1 wird durch ADP und AMP aktiviert.

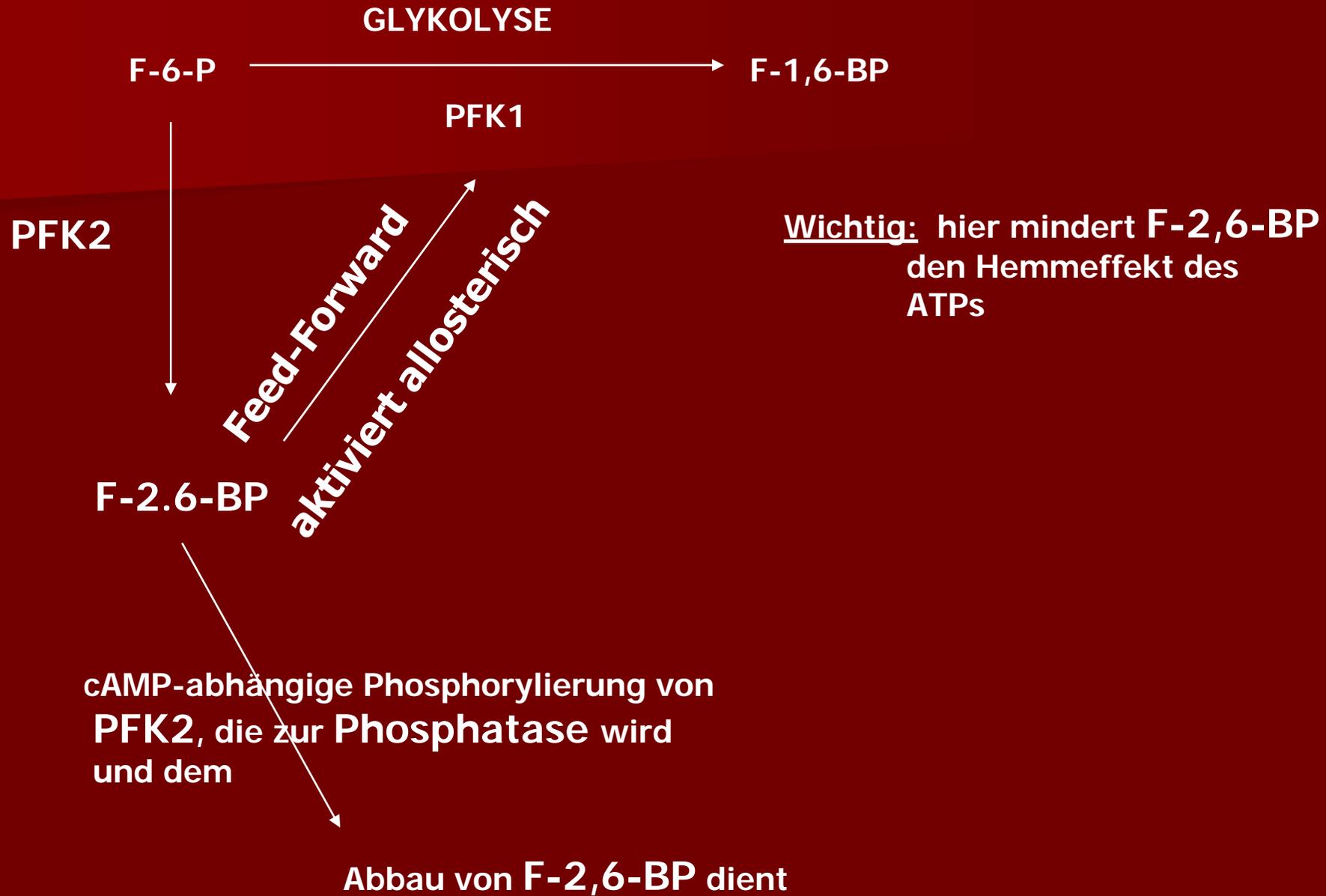
Antwort:

Was trifft/ treffen zu?

- 1) Die PFK1 (Phosphofruktokinase) ist ein Schlüsselenzym der Glykolyse.
- 2) Die PFK1 wird durch ATP und Citrat gehemmt.
- 3) Die PFK1 wird durch Fruktose-2,6-Bisphosphat aktiviert.
- 4) Die PFK1 wird durch ADP und AMP aktiviert.

Antwort: e alle

KOHLLENHYDRATE



Siehe zu ausführlicher Beschreibung:
Biochemie Leitlinien!

Was ist **falsch**?

Fructose-2,6-Bisphosphat

- 1) Hemmt die Glykolyse
- 2) Stimuliert die PFK1
- 3) Wird in der Glykolyse zu Dihydroxyaceton und Glycerinaldehyd-3-P umgewandelt
- 4) Hemmt die Fructose-1,6-phosphatase

KOHLLENHYDRATE

GLUCONEOGENESE!!

Schlüsselenzyme:

-Pyruvatcarboxylase

-Phosphoenolpyruvatcarboxykinase

-Fructose-1,6-bisphosphatase

-Glucose-6-Phosphatase
(am ER gebunden)

Reaktion:

- Pyruvat \longrightarrow Oxalacetat

- Oxalacetat \longrightarrow Phosphoenolpyr.

- F-1,6-BP \longrightarrow F-6-P

- Glucose-6-P \longrightarrow Glucose

Was ist **falsch**?

Fructose-2,6-Bisphosphat

- 1) Hemmt die Glykolyse
- 2) Stimuliert die PFK1
- 3) Wird in der Glykolyse zu Dihydroxyaceton und Glycerinaldehyd-3-P umgewandelt
- 4) Hemmt die Fructose-1,6-phosphatase

B) 1+3

KOHLLENHYDRATE

1. Der erste Schritt, wird vollzogen im

Endoplasmatischem Retikulum

1.1 Die Kinasen Hexokinase & Glukokinase, sind Enzyme des

Endoplasmatischem Retikulum

2. Danach gibt es 3 weitere Kinasen

1. Phosphofructokinase
2. 3-Phosphoglyceratkinase
3. Pyruvatkinase

3. Zwischen der Fructose-1,6-bisphosphat und dem Enzym –Aldolase- kommt es zur Ausbildung einer Schiff´schen Base.

4. Ist nicht genügend O₂ vorhanden (Ery, aktiver Muskel) so kommt es zur Laktatbildung

KOHLLENHYDRATE

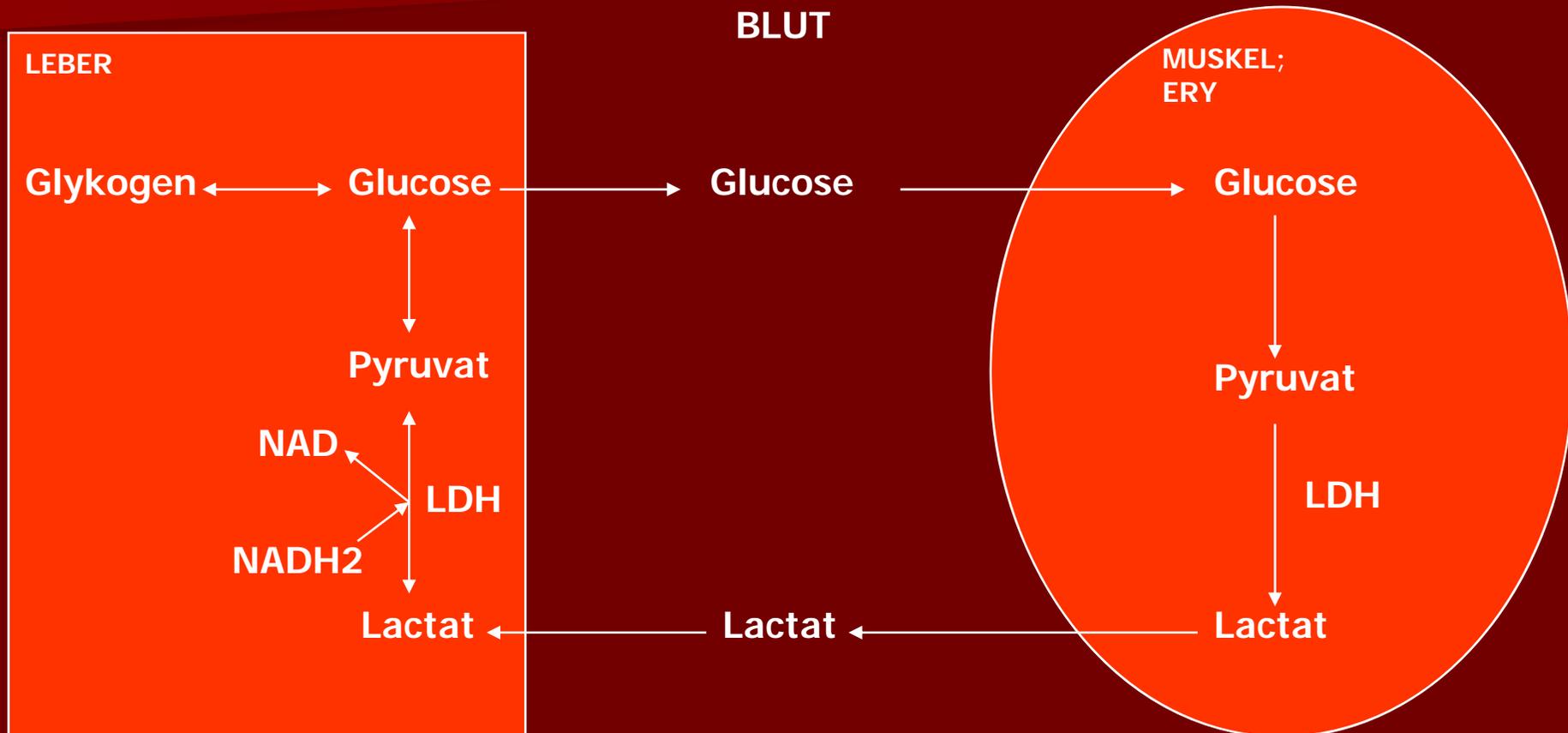
Lactat als Ende des Stoffwechsels...

Also muß der

CORI-ZYKLUS

Abhilfe schaffen!!

CORI-ZYKLUS (in Leber u. Niere)



KOHLLENHYDRATE

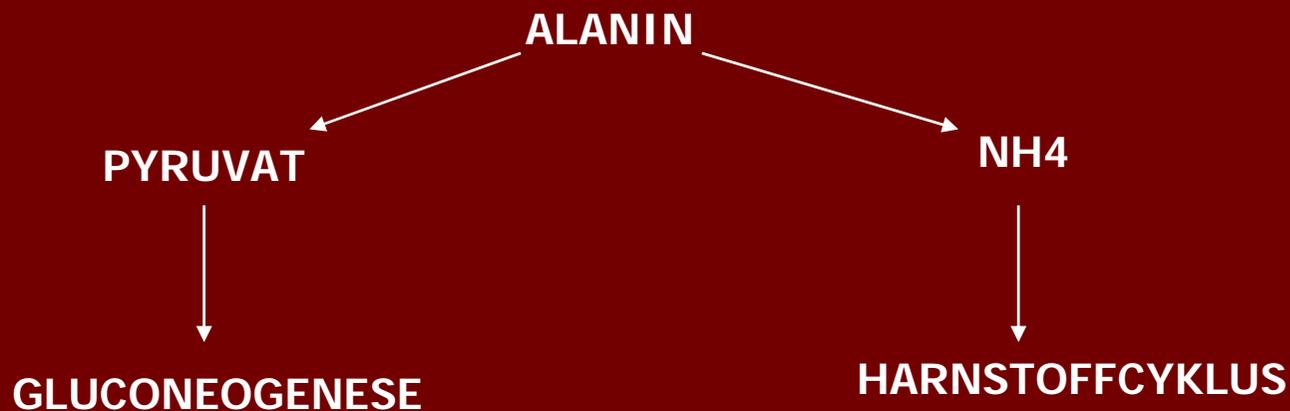
Ausserdem gibt es noch den Alanin-Cyklus.

Die Aminogruppen des AS-Stoffwechsels des Muskels werden größten Teils auf die Ketosäure Pyruvat übertragen, die der Glykolyse entstammt.

Es entsteht Alanin (glucoplastisch, nicht essentiell!)

...und wird zur Leber transportiert.

Dort wird sie transaminiert.



KOHLLENHYDRATE

Excurs LAKTAT:

Als Salz der Milchsäure, also des Pyruvats und Sackgasse des Stoffwechsels.

Vermehrter Anfall des Laktats, wenn zu wenig oder gar kein O₂.

Führt im Gewebe zur Laktatazidose = metabolische Azidose.

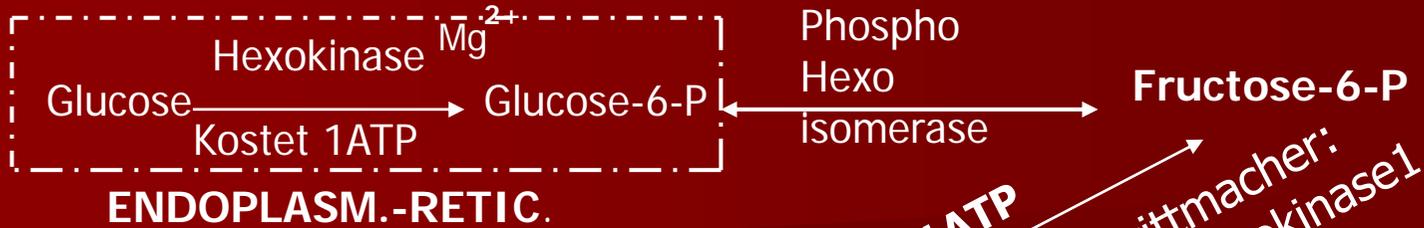
Physiologischer Weise vermehrter Anfall z. B. bei erhöhter Muskelarbeit und Höhengaufenthalt.

Pathologischer Weise z.B. bei Diabetes mellitus, Schock und Leberzirrhose.

Die Symptome sind u.a. HYPERVENTILATION...Benommenheit, periorale Taubheit, kurzfristige Blindheit, Übelkeit u.v.m.

Wie groß ist die Beute?!

KOHLLENHYDRATE



Kostet 1ATP
Der Schrittmacher: Phosphofruktokinase1

Fructose-1.6-Bisphosphat

ALDOLASE

Glycerinaldehyd-3-P
(Aldose)

Dihydroxyaceton-P
(Ketose)

3-Phospho
Glycerinaldehyd
dehydrogenase

**Substratketten
phosphorylierung**

1,3-Bisphosphoglycerat

ADP
↓
ATP

3-Phospho
glyceratkinase

3-Phosphoglycerinsäure

Phospho
glyceratmutase

2-Phospho
glycerinsäure

Enolase
H₂O geht ab

Phosphoenolpyruvat

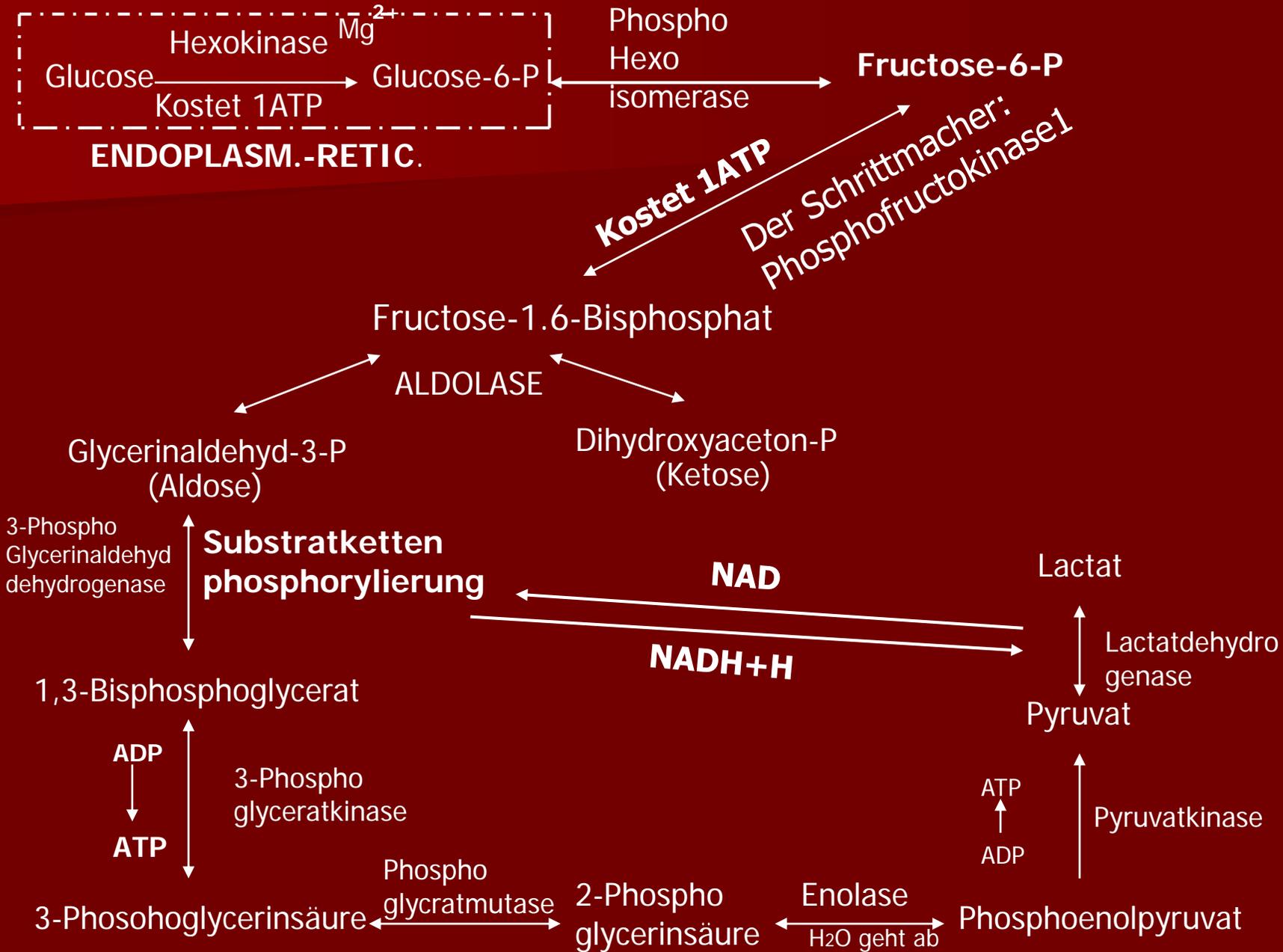
Pyruvat

ATP
↑
ADP

Pyruvatkinase

KOHLLENHYDRATE

ANAEROBE GLYKOLYSE



Beim Abbau von 1 Acetyl-CoA kommt es v.a. zur Bildung der Reduktionsäquivalente NADH₂ und FADH₂

Gerade diese Wasserstoffe sind es, die letztendlich verantwortlich für die Bildung von ATP sind.

Ein **Cyklus** stellt : in der **Atmungskette** entspricht das:

3 NADH₂

9 ATP

1 FADH₂

2 ATP

1 GTP

entspricht

1 ATP

Gesamt:

12 ATP

Was vergessen...!!?

Wie groß ist die Beute?!

Glykolyse vs. Atmungskette!!