

Ernährung und Stoffwechsel

Prof. Manfred Fahle
Human- Neurobiologie
Universität Bremen

I) Ernährung

- **Anabol** für
 - Herstellung von Zellstrukturen
 - Ersatz verbrauchter Körperbestandteile
 - Synthese funktioneller Moleküle (z. B. Hormone)
- **Katabol** für
 - Energiegewinnung (kcal)
 - über ATP

[1 kcal -> erwärmt 1 kg H₂O um 1° C]

Nährstoffe

- Definition: Nahrungsbestandteil, der zur normalen Erhaltung, zum Wachstum oder zur Reparatur des Körpers dient
- insg. sechs Kategorien:
 - Kohlenhydrate
 - Eiweiße (Proteine)
 - Fette (Lipide)
 - Wasser (60 % des Nahrungsvolumens)
 - Vitamine
 - Mineralstoffe
- mindestens 45-50 unterschiedliche Moleküle müssen über die Nahrung aufgenommen werden

Die Nährstoff-Pyramide

Fats, Oils, and Sweets
Use Sparingly

Milk, Yogurt, and Cheese Group
2–3 Servings



Meat, Poultry, Fish, Dry Beans,
Eggs, and Nuts Group
2–3 Servings



Vegetable Group
3–5 Servings



Fruit Group
2–4 Servings



Bread, Cereal, Rice,
and Pasta Group
6–11 Servings



Kohlenhydrate

- stammen ausschließlich aus Pflanzen (Ausnahmen: Milchzucker, Glykogen)
- Zucker (Mono- & Disaccharide) aus Früchten / Honig / Zuckerrohr etc.
- Stärke (Polysaccharid) aus Getreide / Gemüse
- Zellulose (Polysaccharid) aus Gemüse: für Menschen unverdaulich
- werden zu Glukose abgebaut & ‚verbrannt‘ (für Neurone und Erythr. einzige Energiequelle); Speicherformen: Glykogen / Fett
- Mindestaufnahme ca. 100 g/Tag

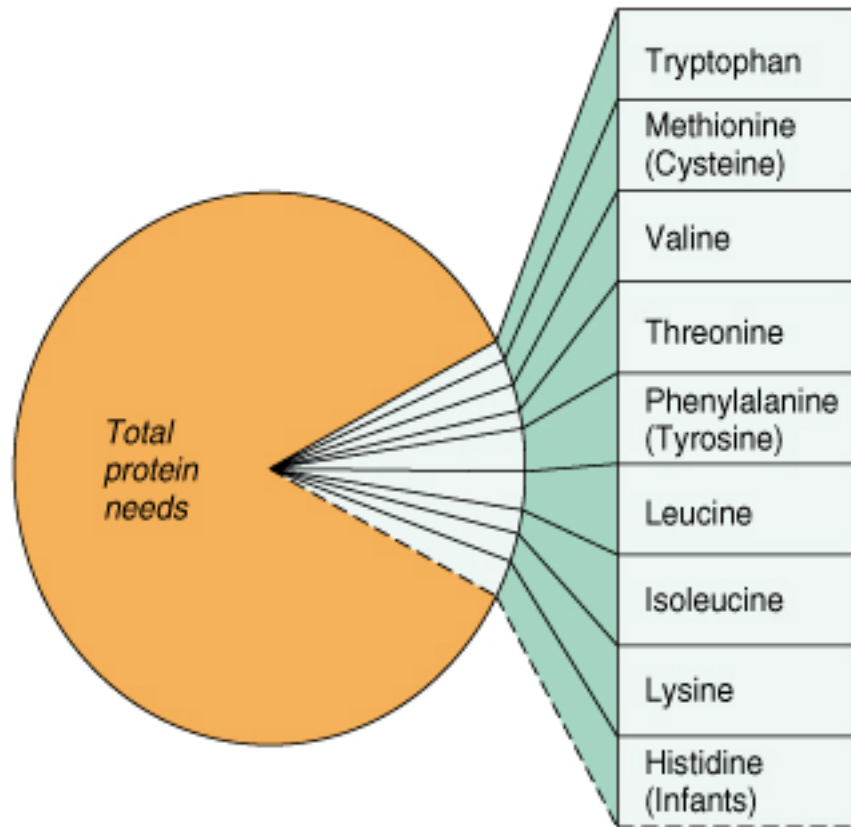
Fette

- Mehrheit: Neutralfette (Triglyzeride / Triacylglyzerole)
- Cholesterol (z. B. Eier, Tierorgane, Milchprodukte)
- Phospholipide
- gesättigte Fettsäuren aus Tierfleisch & Milchprodukten
- ungesättigte Fettsäuren aus Nüssen / Körnern und anderen Pflanzen
- Verdauung von Fetten zu Fettsäuren und Monoglyzeriden
- Energiegewinnung unter Kontrolle von Leber & Fettgewebe
- lösen Vitamine für Verdauung
- sollten **max.** 30 % der Kalorienaufnahme ausmachen

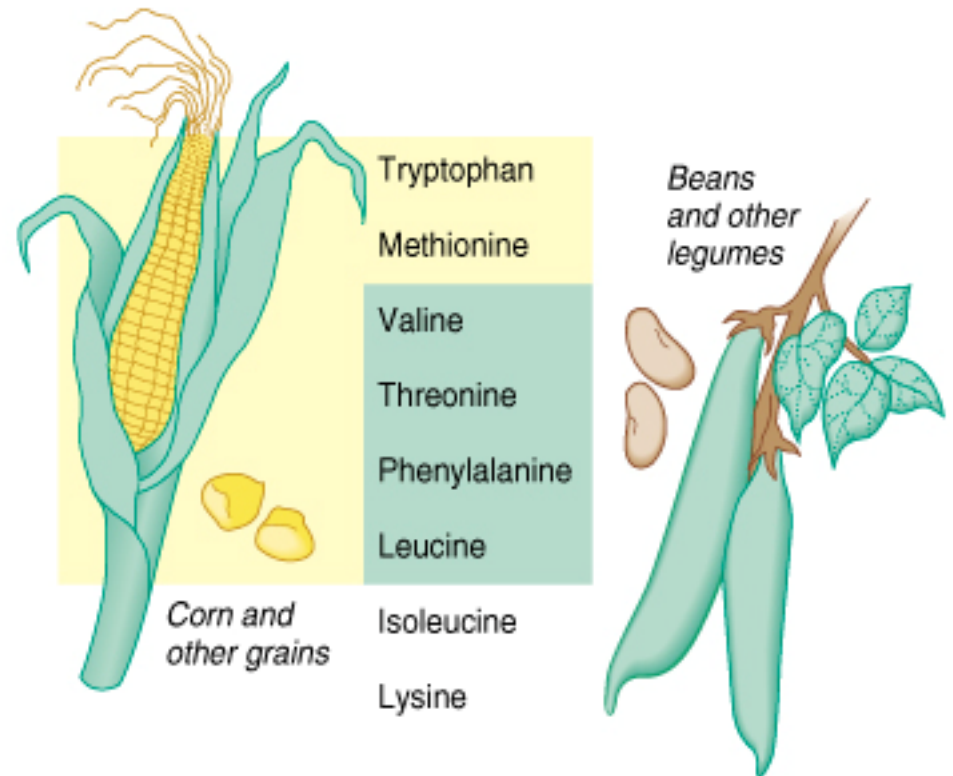
Eiweiße (Proteine)

- acht (+ 1) essentielle Aminosäuren
- enthalten in tierischem Eiweiß **oder** Kombination Getreide / Gemüse
- produzieren Struktur des Körpers: Haut / Knochen / Elastin / Muskel-Protein / Enzyme / Hämoglobin / einige Hormone
- Protein-Produktion erfordert Anwesenheit **aller** erforderlichen Aminosäuren, die **nicht** gespeichert werden können
- Stickstoff-Bilanz unterscheidet zwischen anaboler & kataboler Stoffwechsellaage
- erforderlich sind ca. 1 g Protein/kg Körpergewicht täglich

Essentielle Aminosäuren



(a) Essential amino acids



(b) Vegetarian diets providing the eight essential amino acids for humans

Vitamine

- organische Verbindungen, die meist als Koenzyme dienen
- können vom Körper nicht synthetisiert werden (Ausnahme Vit. D-Produktion in Haut; Vit. B & K durch Darmbakterien)
- Klassifizierung als entweder wasser- (B,C) oder fett-löslich (A, D, E, K)
- Bezeichnung nach Reihenfolge der Entdeckung
- Aufnahme im Darm, Ausscheidung von Überschuss durch Niere (Wasser)
- fettlösliche Vit. können im Körper gespeichert werden (außer K)
- in Früchten und Gemüsen enthalten, evtl. Anti-Karzinogene

Mineralstoffe

- insgesamt 7 Mineralstoffe erforderlich (Ca / P / K / S / Na / Cl / Mg)
- Körper besteht zu ca. 4 Gewichts-% aus Mineralstoffen: strukturelle Verstärkung / Bestandteile von Phospholipiden, Hormonen & Enzymen
- Quellen: Gemüse, Milch, einige Tiergewebe

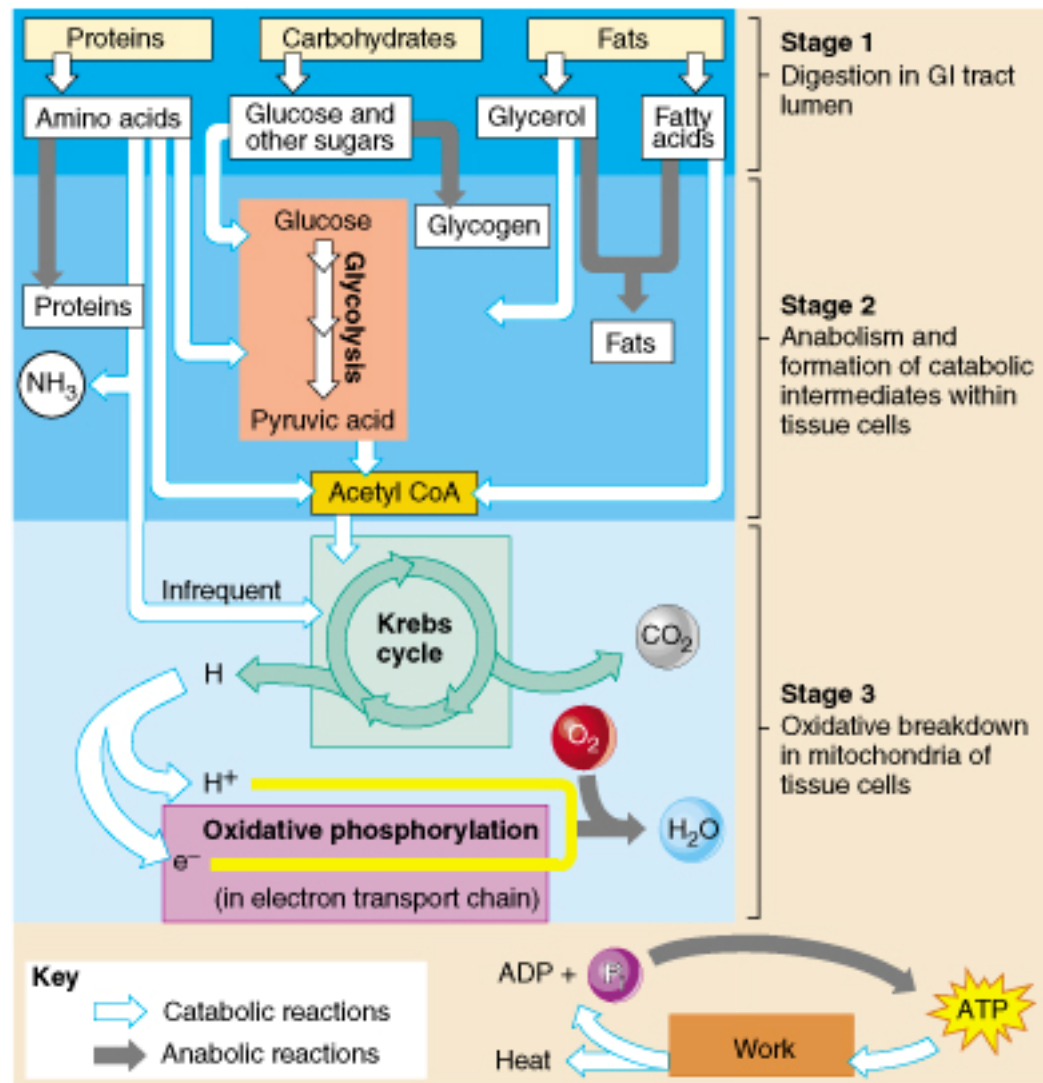
II) Stoffwechsel

- Stufe 1: Stoffaufnahme durch Darmwand, Transport durch Blut
- Stufe 2: Zytoplasma der Zellen:
 - Anabol: Aufbau von zelleigenen Molekülen
 - Katabol: Abbau zu Acetyl-CoA und/oder Pyruvat
- Stufe 3: hpts. in Mitochondrien, unter O_2 -Verbrauch (Krebs-Zyklus):
Abbau von Acetyl-CoA zu CO_2 , H_2O . Dabei Erzeugung von ATP aus ADP (= universelle Energiequelle des Körpers)

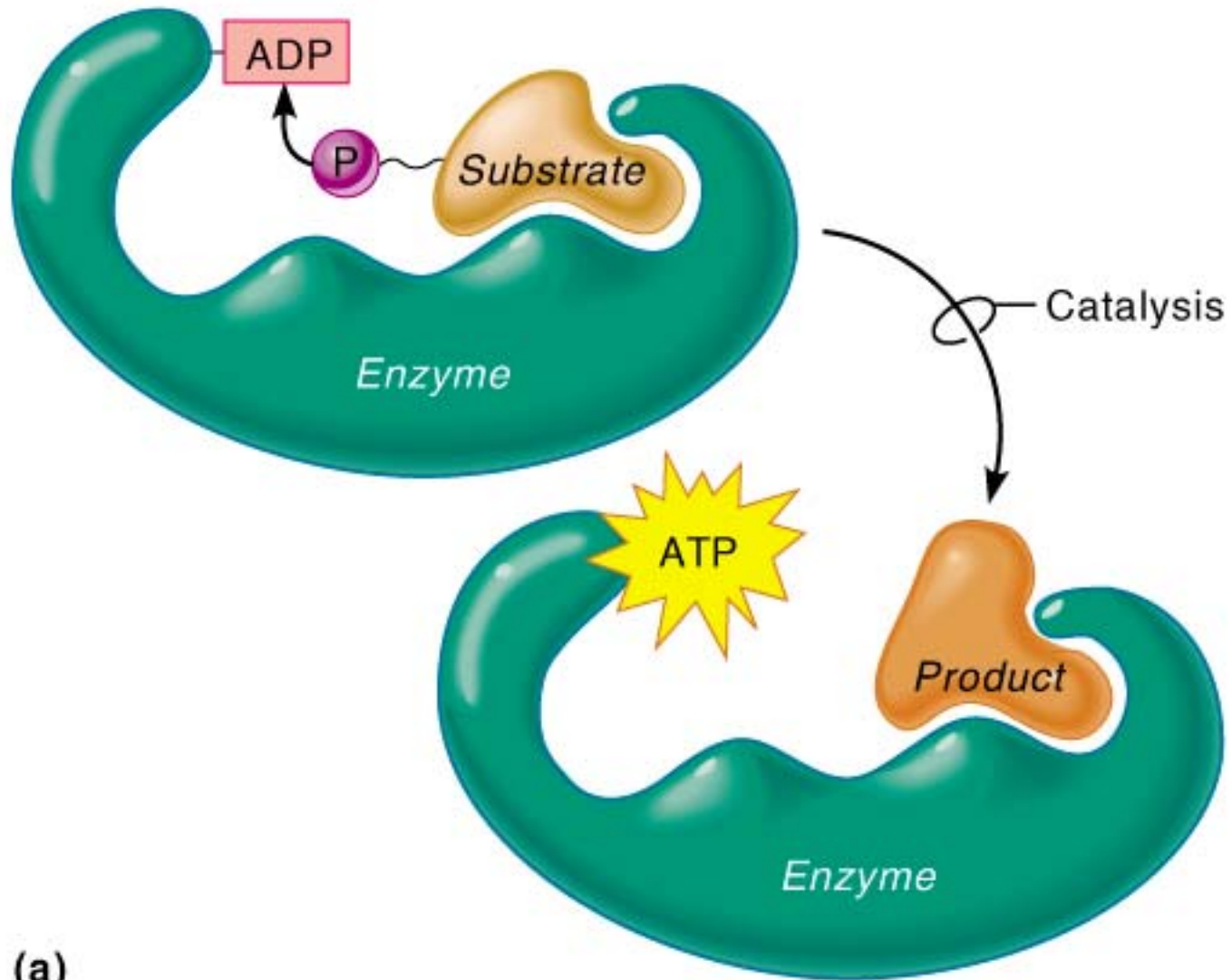
Oxidations-Reduktions-Reaktionen (Redox)

- Oxidation = Kombination von O_2 mit anderer Verbindung /Element **oder** Verlust von H aus Verbindungen -> Energieverlust des Stoffes= E. Freisetzung
- Reduktion = Verlust von O_2 oder Gewinn von H -> Energiegewinn
- Redox-Reaktion im Körper unter Kontrolle von Dehydrogenasen & Oxidasen, meist mit Coenzym als H^+ oder e^- Akzeptor / Donor (NAD / FAD)
- Substrat-Phosphorylierung: Direkte Übertragung von P^+ auf ADP -> ATP (z. B. 1x während Glykolyse; 1x während Krebs-Zyklus)
- Oxidative Phosphorylierung: Über chemo-osmotischen Prozess: Energie aus Nährstoff-Oxidation -> H^+ Bewegung (Pumpe) durch Mitochondrien-Wand hindurch; bei Rückkehr ATP-Produktion

Drei Stufen der Verdauung



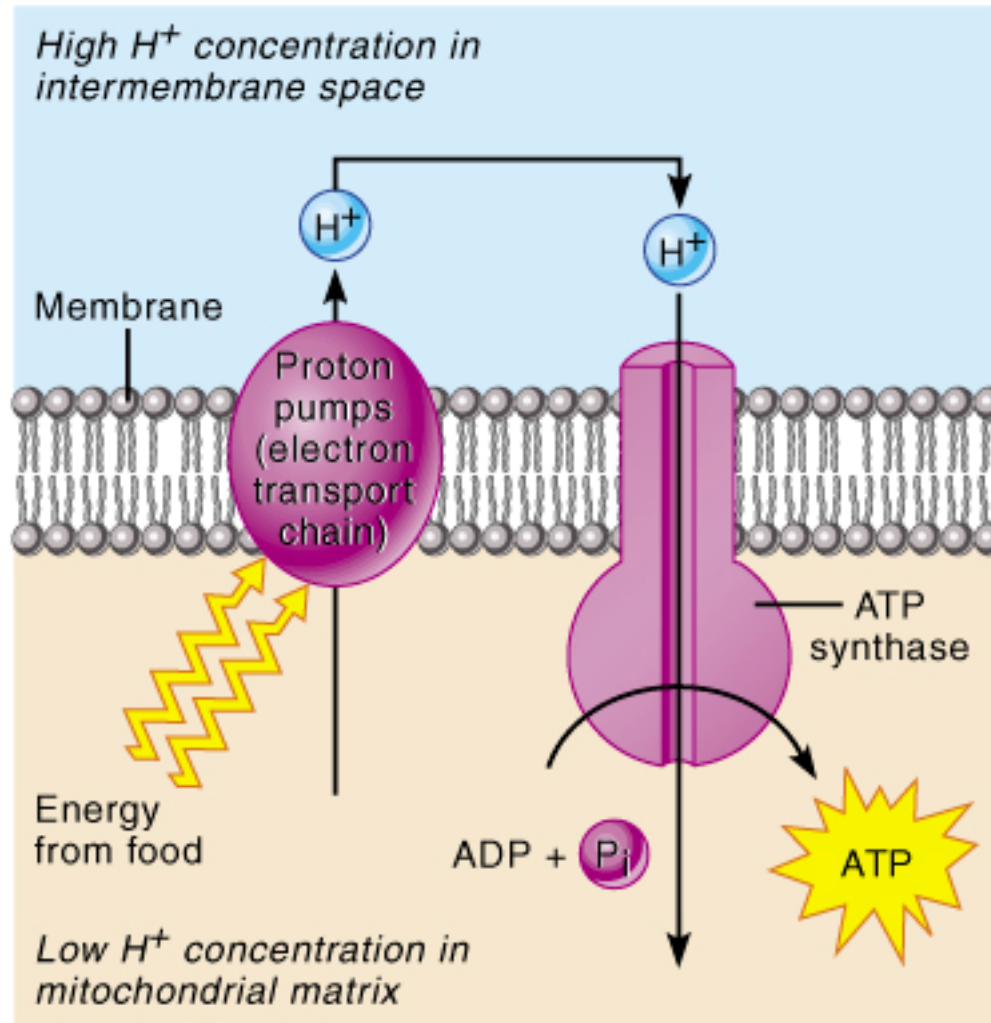
Substrat-Phosphorylierung



(a)

Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

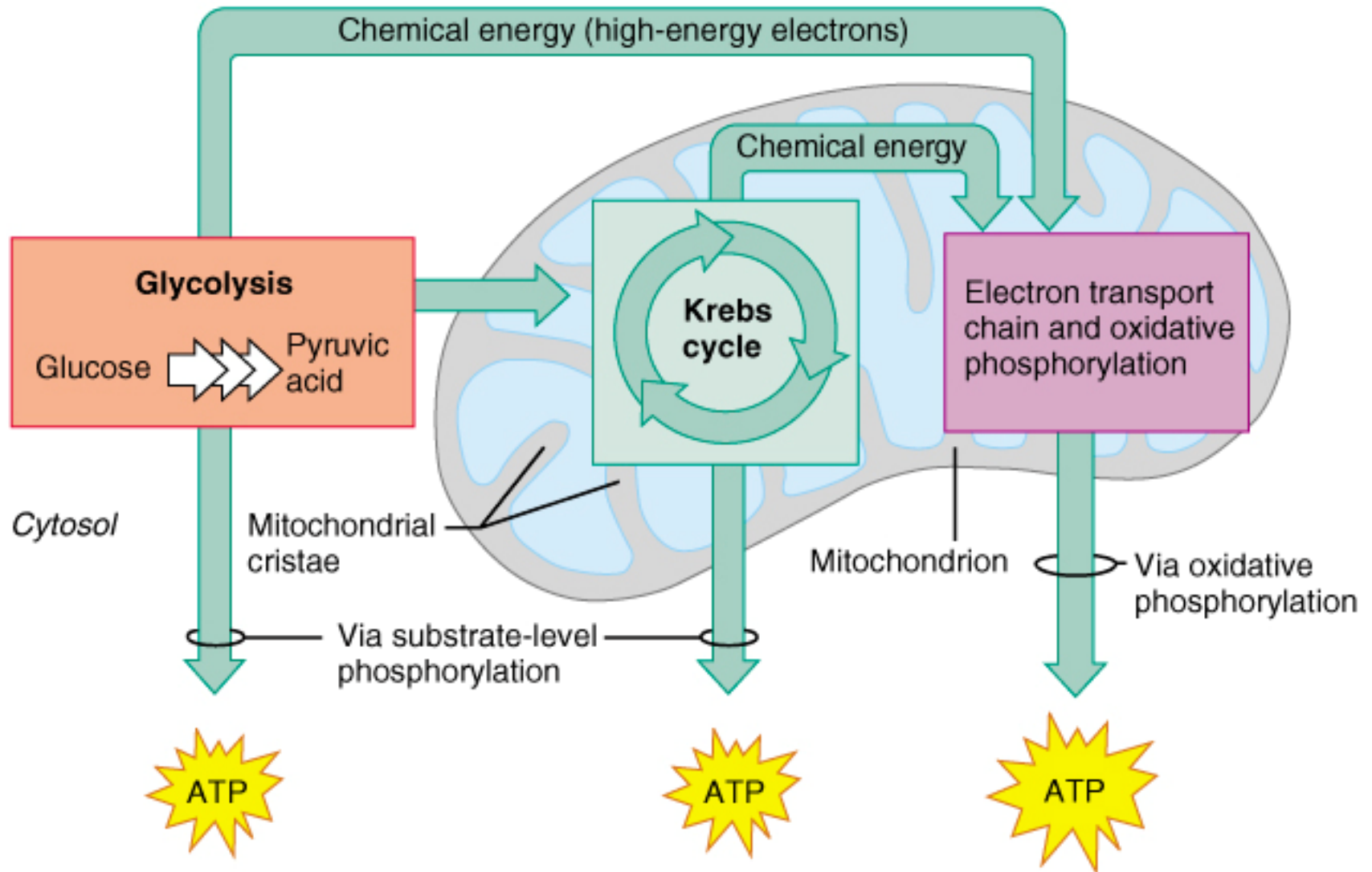
Oxidative Phosphorylierung



(b)

Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

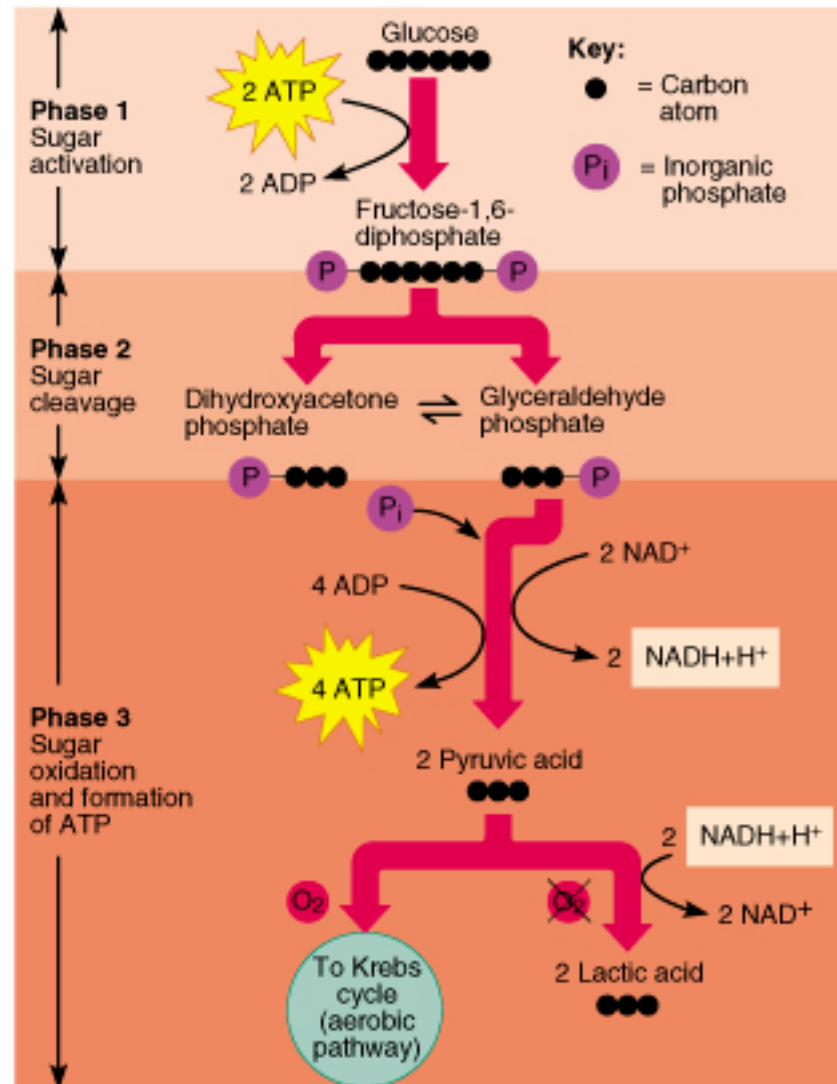
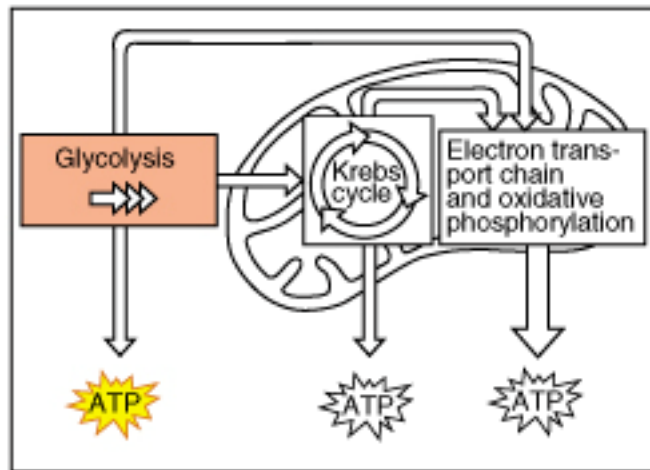
ATP Gewinnung während der Zellatmung



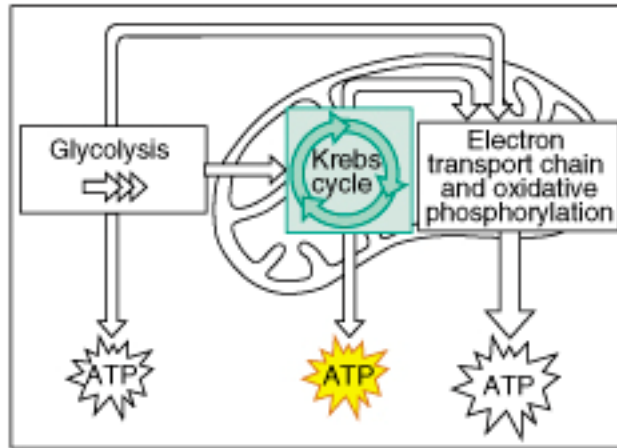
Kohlenstoff-Stoffwechsel

- alle Kohlenhydrate -> Glucose -> ins Zellinnere (Diffusion, durch Insulin beschleunigt) -> Phosphorylierung unter ATP-Verbrauch (!) -> Speicherform (vgl. Glykogen)
- $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 36ATP + \text{Wärme}$ <- Fett
- über drei relativ komplexe Verarbeitungswege
 - Glykolyse: Im Zytosol (Grundplasma) der Zellen; 10 Stufen; anaerob; erzeugt 2 Pyruvat-Moleküle + 2 ATP pro Glukose
 - Krebs-Zyklus in Mitochondrien; 8 Stufen; anaerob (kein direkter O_2 - Verbrauch); erzeugt aus Acetyl CoA -> CO_2 + 5 reduzierte Coenzyme + 1 ATP (x2 für Glukose)
 - Elektronen-Transport-Kette: in innerer Mitochondrien-Membran; gekoppelt an Krebs-Zyklus, aerob (O_2 -Verbrauch): $H^+ + O_2 \rightarrow H_2O$: H^+ -Pumpe -> ATP-Synthese -> ATP

Drei Stufen der Glykolyse

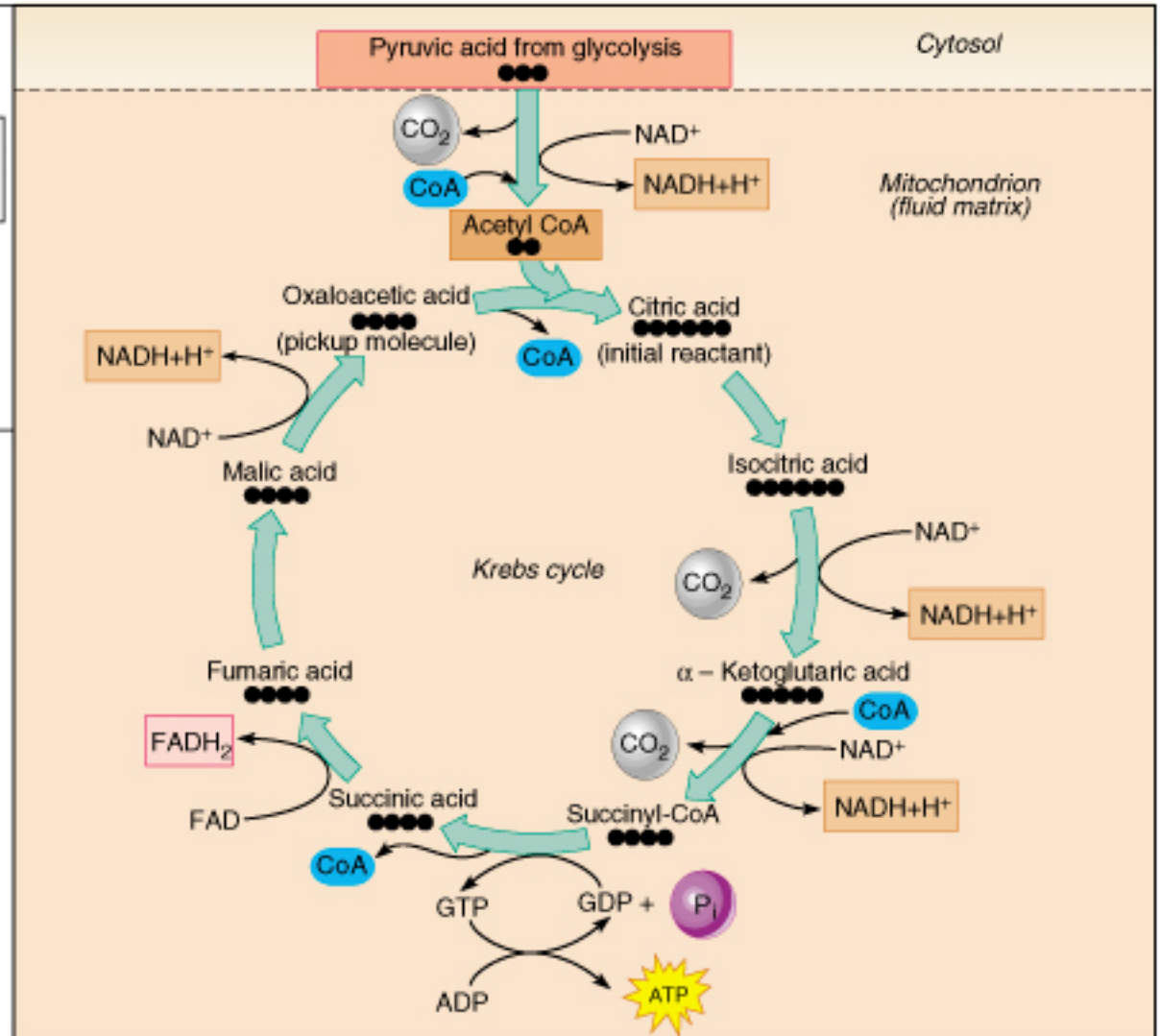


Pyruvat-Zyklus (vereinfacht)

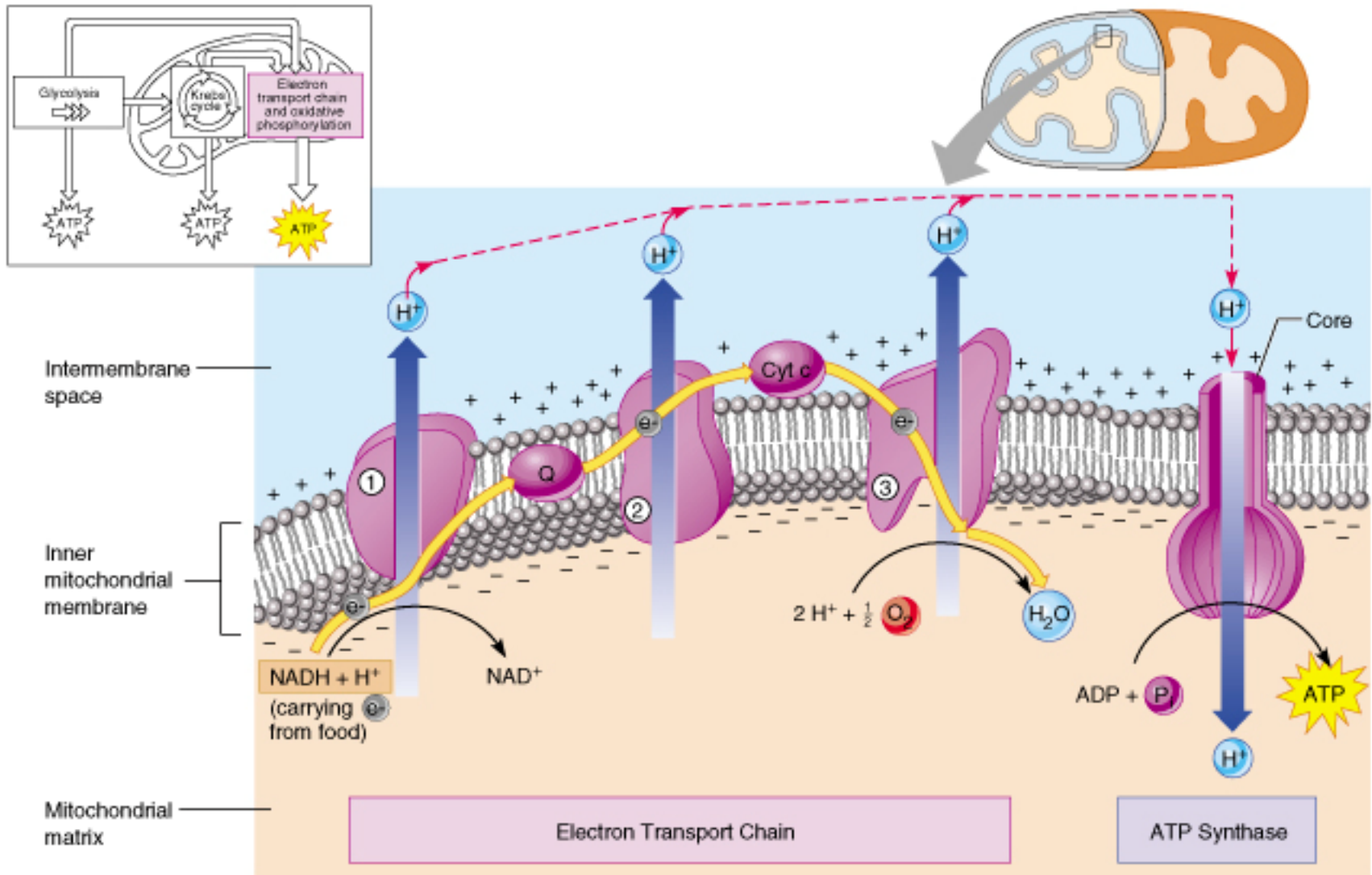


Key:

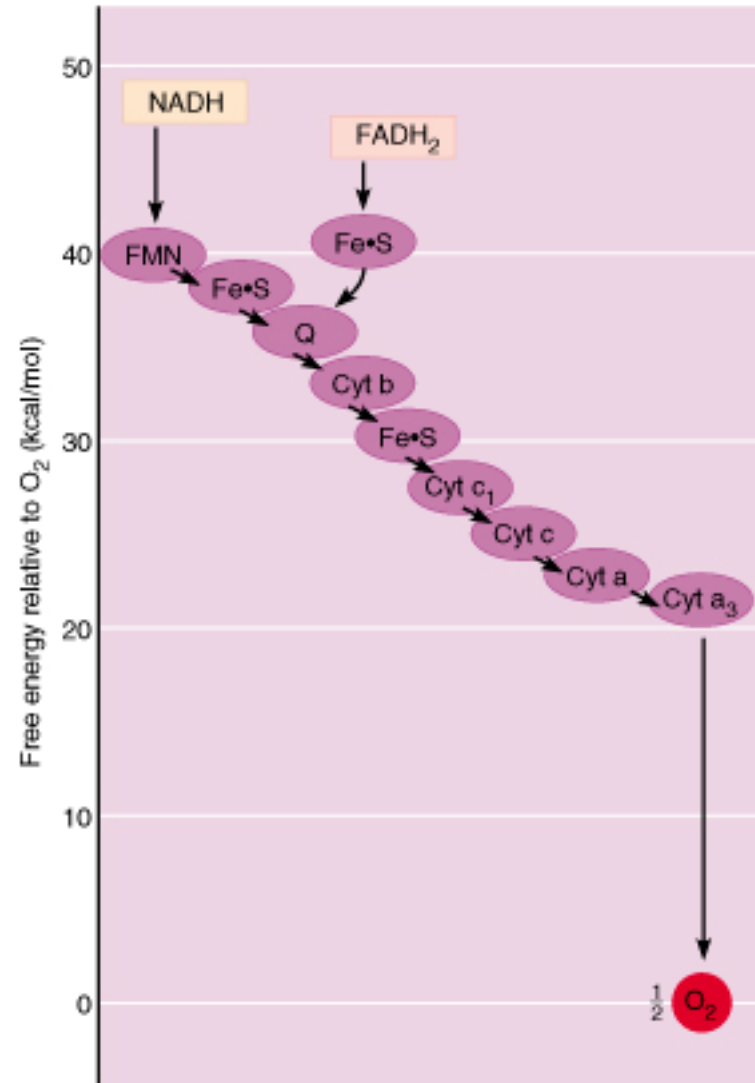
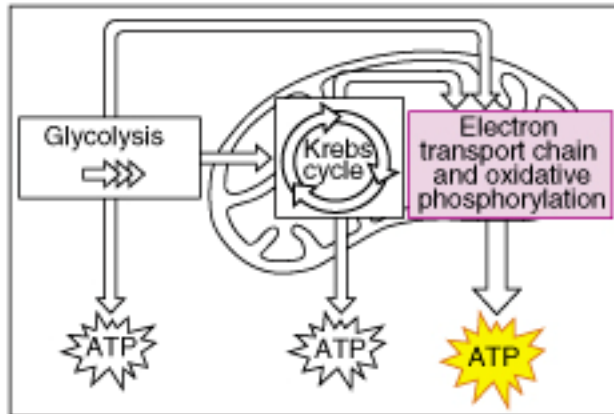
- = Carbon atom
- P_i = Inorganic phosphate
- CoA = Coenzyme A



Modell der oxidativen Phosphorylierung



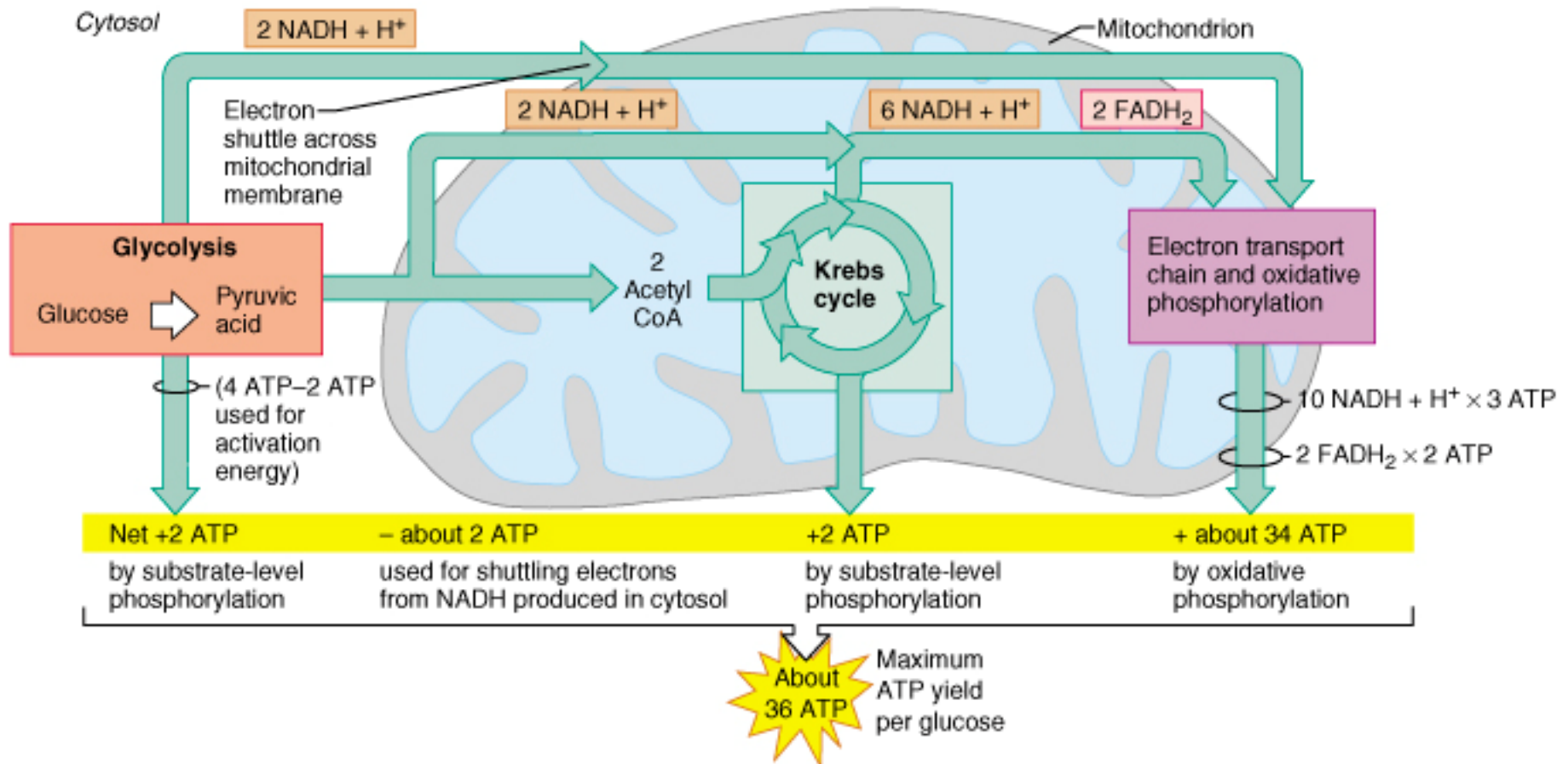
Energie-Gradient für Elektronen



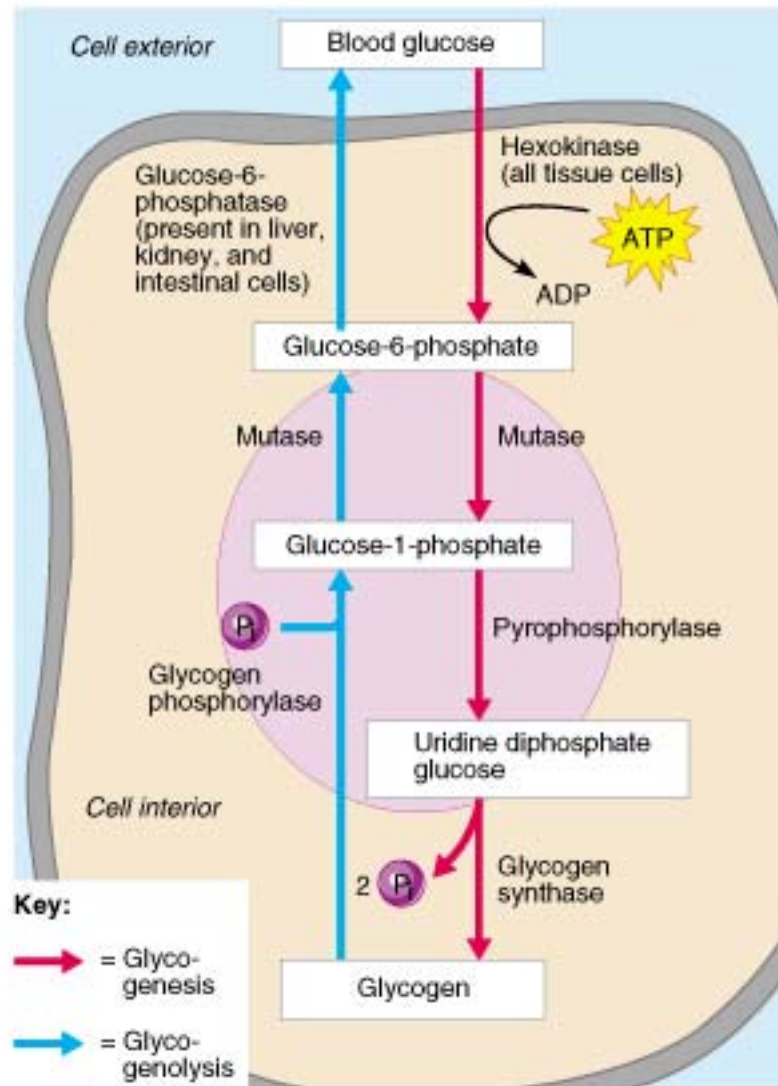
Energiegewinn

- aerob: von 686 kcal in Nahrung vorhandener Energie werden 262 kcal durch ATP gespeichert
- „Rest“ wird zu Wärme
- Besserer Wirkungsgrad als Maschinen (38 % versus 10-30 %)
- 4 ATP-Moleküle/Glukosemol. durch Substrat-Phosphorylierung
- jedes NADH/H⁺-Paar (-> e⁻) -> 2-3 ATP-Moleküle
- FADH₂-Oxydierung -> 2 ATPs
- insges. 8 NADH + 2 FADH₂ -> 24 + 4 ATPs = 28 ATPs
- zus. 4-6 ATP von 2 NADH aus Glykolyse + 2 ATPs direkt

Gesamt-Energie-Bilanz



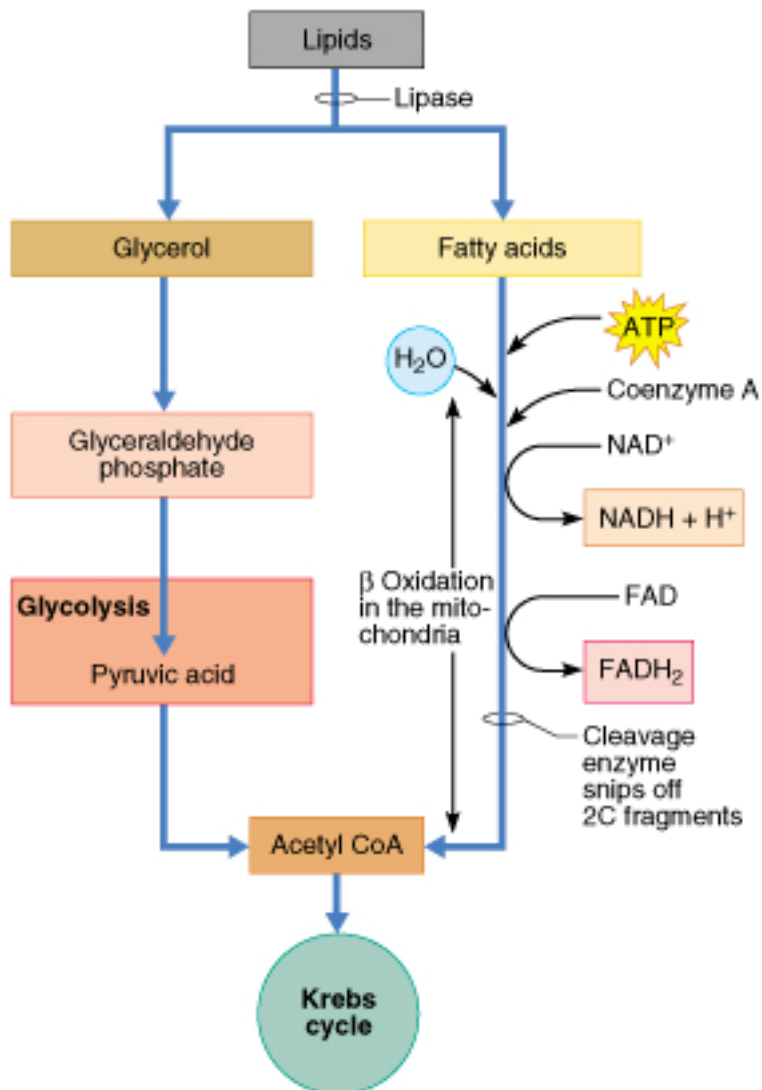
Glykogen-Synthese und -Abbau



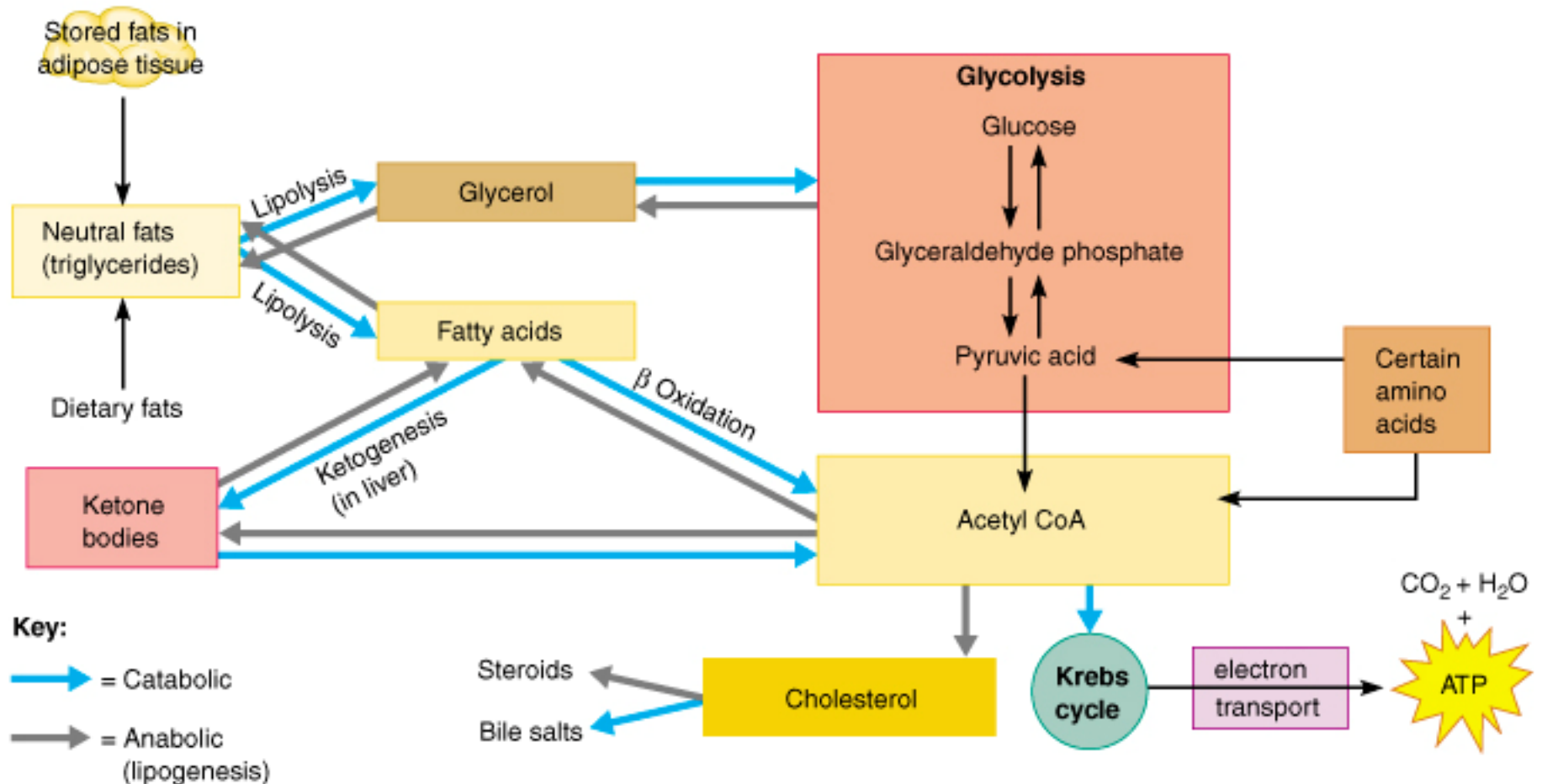
Fettstoffwechsel

- Fett liefert 9 kcal/g Energie, Kohlenhydrate und Proteine etwa die Hälfte
- Transport überwiegend durch Lymphe, Hydrolyse zu Fettsäuren und Glyzerin -> Zwischenschritte -> Krebszyklus (-> 18 ATPs)
- Fettsäuren: β -Oxidation in Mitochondrien zu Acetyl-CoA
- Speicherung als Triglyzeride
- Anabole Wirkung: Membran-Bestandteile/Myelin-Scheiden/Lipoproteine

Lipid-Oxidation



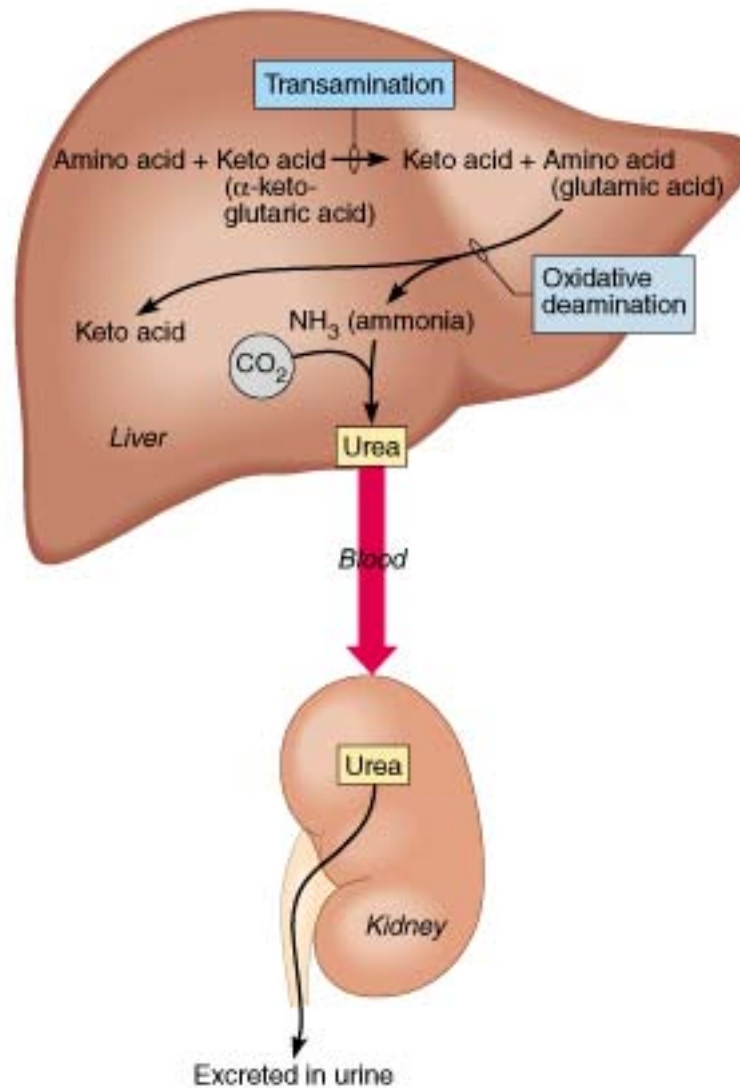
Stoffwechsel der Triglyzeride



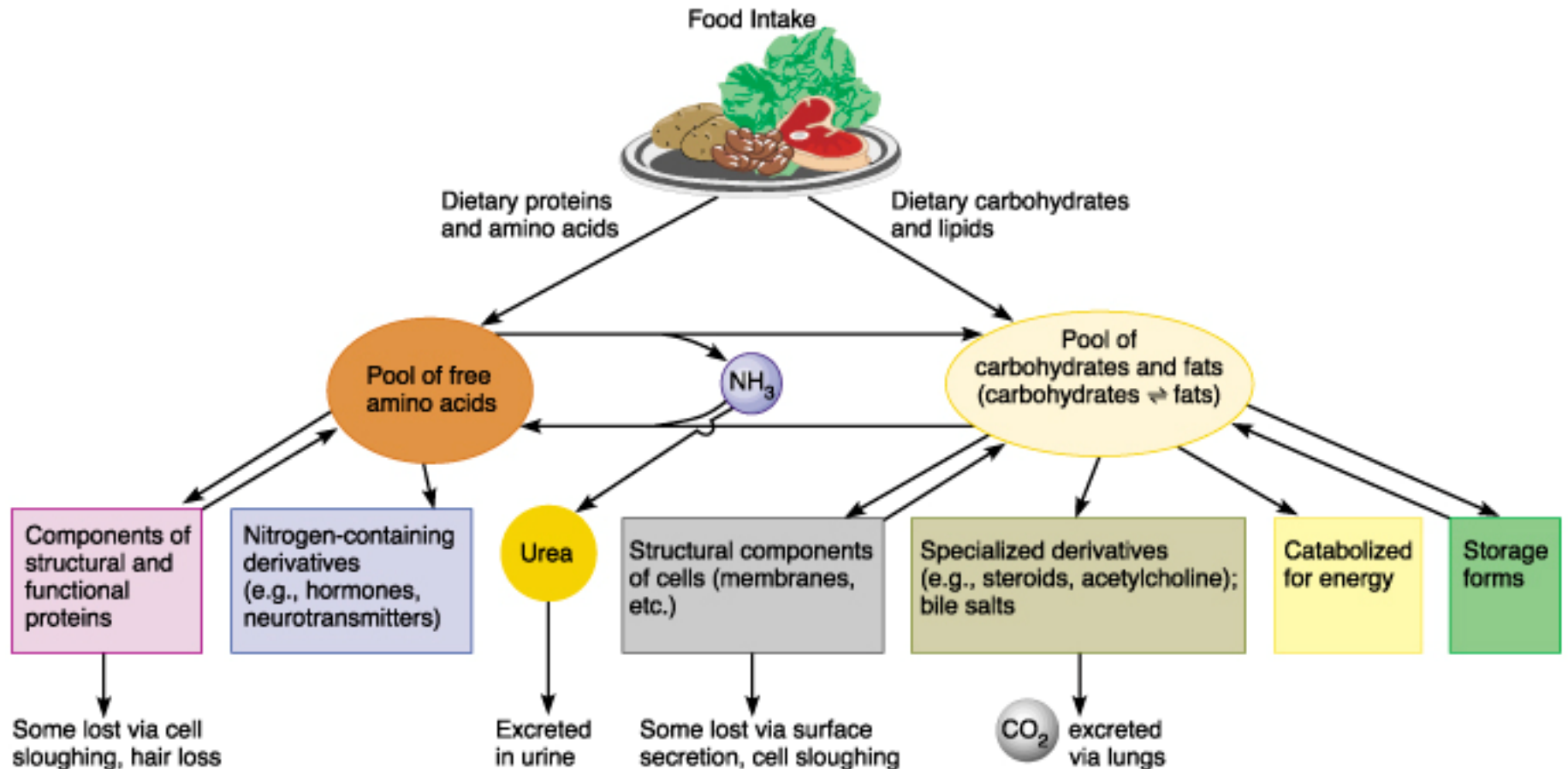
Proteinstoffwechsel

- Eiweiße haben begrenzte Lebensdauer & werden ständig ersetzt
- daher werden ca. 50g/Tag Proteine neu aufgebaut
- Katabol: Abspaltung der Amin-Gruppe (Leber) -> Pyruvat -> Krebs-Zyklus
 - Nebenprodukt der Amin-Abspaltung: Harnstoff
- Anabol: Mehrheit der Moleküle des Körpers sind Proteine
- im Laufe des Lebens werden ca. 230-450 kg Protein synthetisiert
- Anabol-kataboles Fließgleichgewicht mit ‚Pools‘ von freien Aminosäuren / Kohlenhydraten / Fetten

Schema des Aminosäuren-Katabolismus



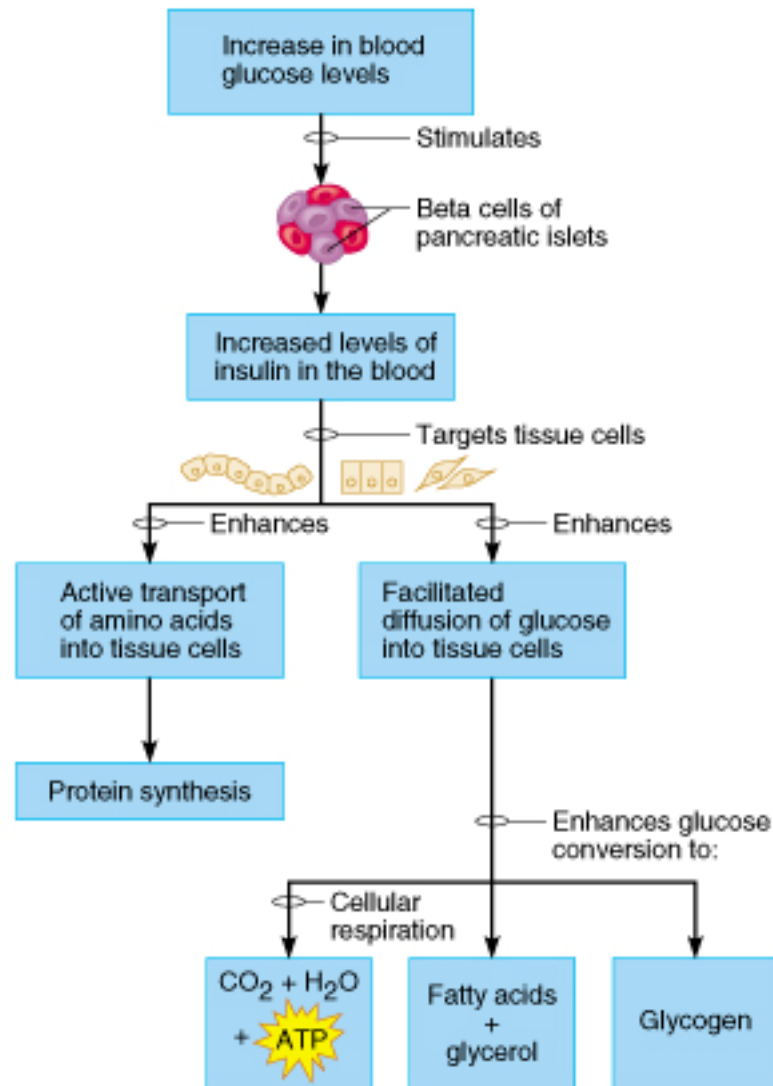
Nahrungsmittel-Pools



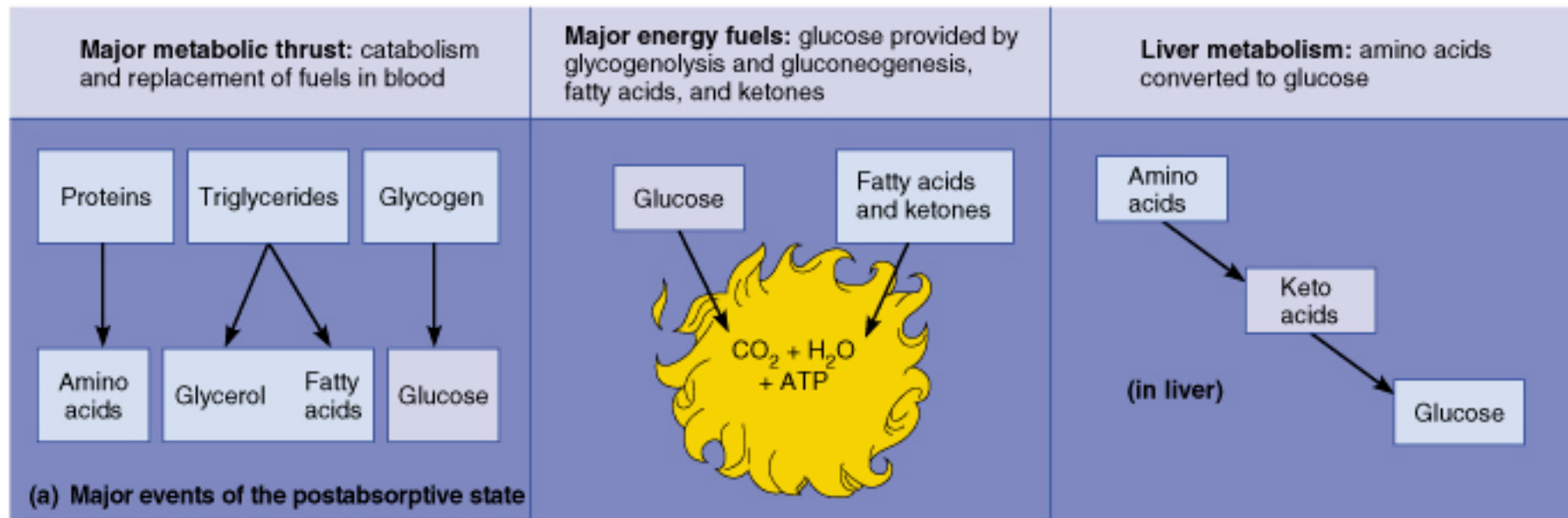
Absorptiver und postabsorptiver Zustand

- **Absorptiver Zustand**
 - während und bis zu 4 Stunden nach einer Mahlzeit
 - Aufnahme von Nährstoffen aus Gastrointestinaltrakt
 - Anabol: Ersatz von Körperprotein, Glukose-Speicherung, Überschuss als Fett
 - Insulin: Ausschüttung ab 1 mg Glukose / 1 ml Blut -> erleichterte Diffusion von Glukose in die Zellen (innerhalb von Sekunden bis Minuten -> 15-20fach↑)
- **Postabsorptiv:** ‚Leben von den Reserven‘
 - Glykogenolyse in Leber (Reserve: 100 g) & Skelettmuskel (über Leber)
 - Lipolyse in Fettgewebe und Leber -> Glyzerol -> Leber -> Glukose
 - nach längerem Fasten: Protein-Abbau; Gewebe (außer Gehirn) verbrennen Fett statt Glukose
 - Kontrolle durch Glukagon / Pankreas / sympath. Nervensystem

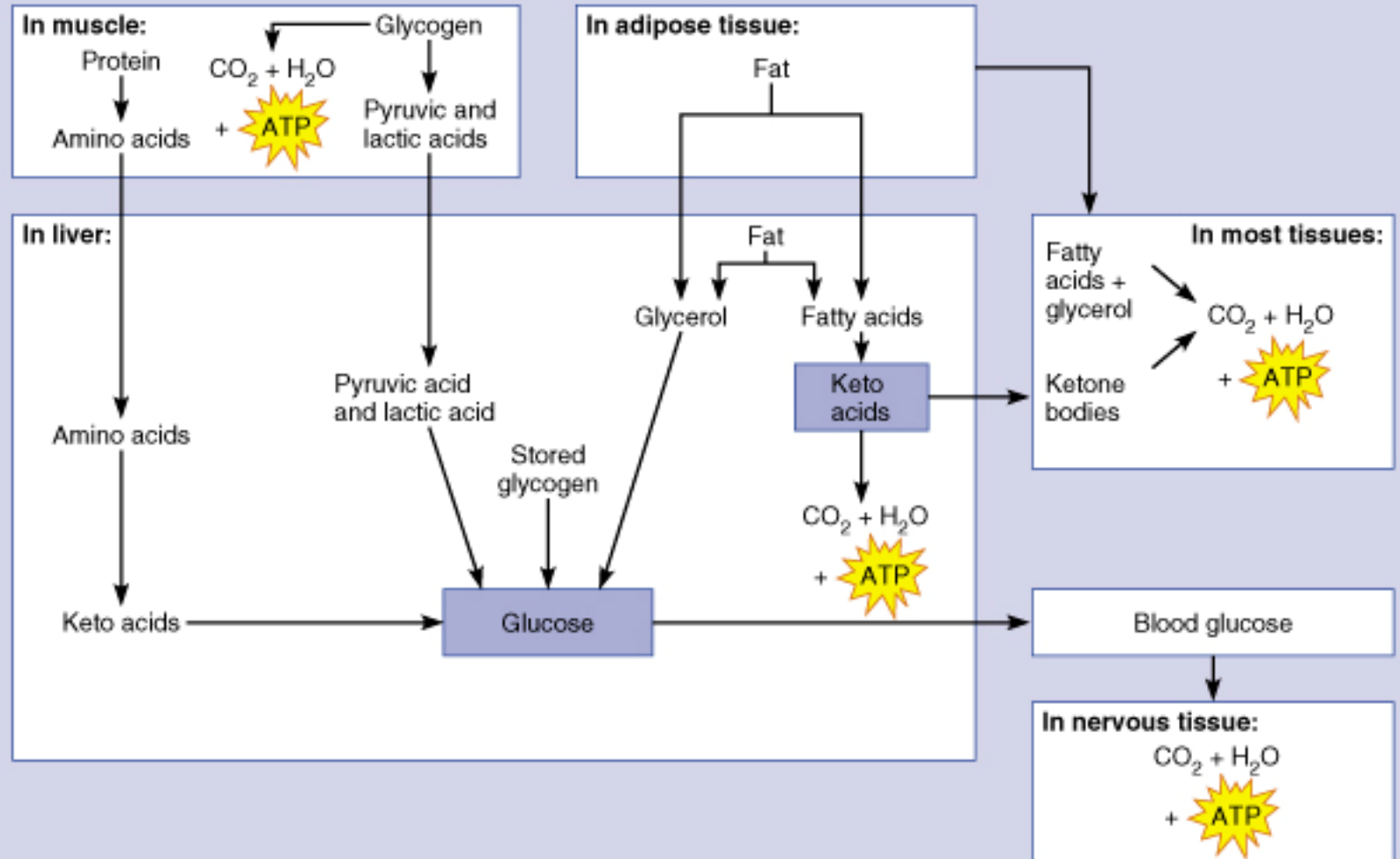
Einfluss von Insulin



Vorgänge während des postabsorptiven Zustands (A)

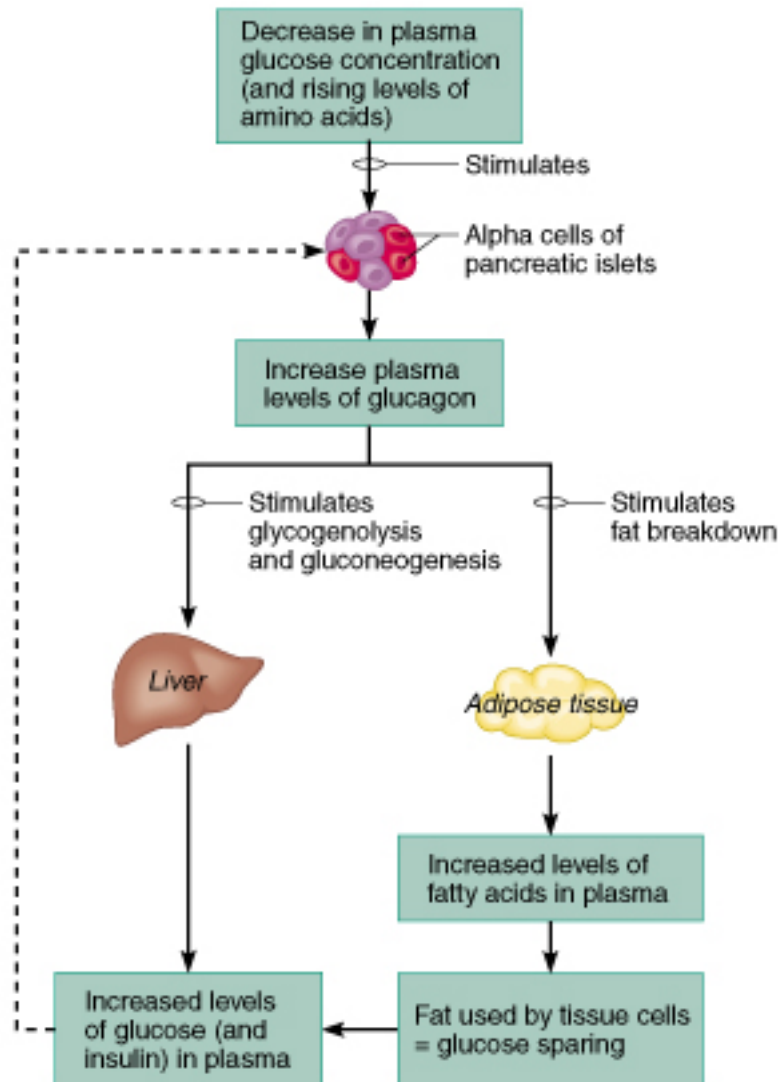


Vorgänge während des postabsorptiven Zustands (B)



(b) Principal pathways of the postabsorptive state

Einfluss von Glukagon



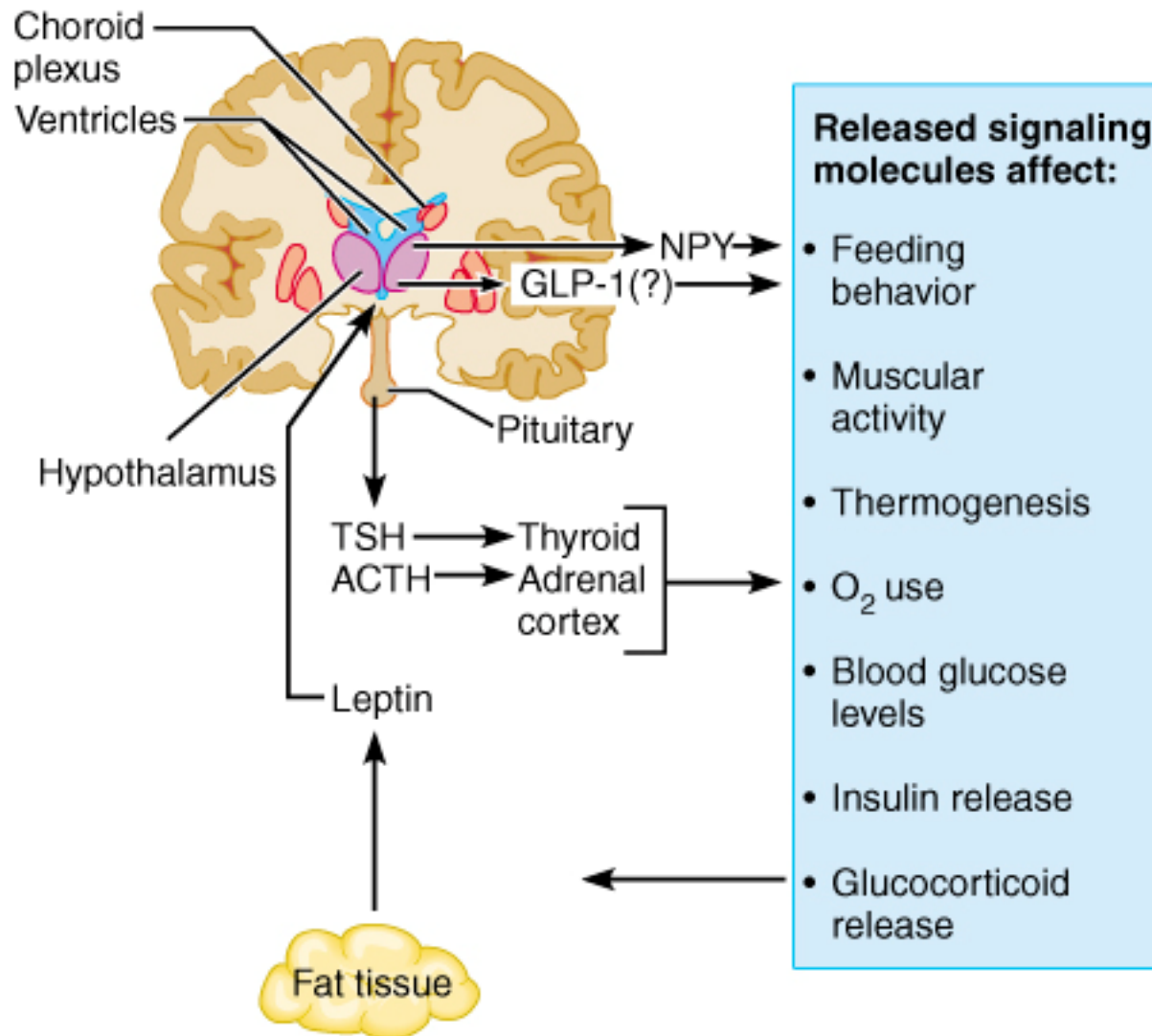
Funktion der Leber im Stoffwechsel

- ca. 500 verschiedene metabolische Funktionen, kein künstlicher Ersatz möglich
 - erzeugt Transport- und Speicher-Form von Fettsäuren
 - synthetisiert Plasma-Proteine und nicht-essentielle Aminosäuren
 - formt NH_3 in Harnstoff um
 - speichert Glukose als Glykogen (Polysaccharid: Stärke); ATP-Verbrauch
 - speichert best. Vitamine / Eisen
 - baut Hormone und (Genuß-) Gifte ab
 - Cholesterol (=Cholesterin) -Synthese (nur 15 % stammen direkt aus Nahrung) (HDL = gutes, LDL = schlechtes Cholesterol; Lipoprotein produziert ‚Plaques‘)
 - ungesättigte Fettsäuren (pflanzlich) -> Cholesterol↓ (\neq gesättigte FS)

Energie-Bilanz

- Energie-Aufnahme (aus Darm) = Energie-Abgabe (60 % Wärme / Rest Arbeit & Speicherung)
- Bei Diskrepanz Energieaufnahme <-> Energieverbrauch:
Gewichtszu- oder Abnahme
- Sensor für Messung der Kalorienaufnahme ist unvollständig erforscht
(Neuronale (Vagus) Signale aus Darm / Blutenergie-Konzentration
(Glukose, Fett, A.S.) / Hormone / Temperatur / Emotion)
- Hypothalamus produziert Appetit-produzierende Peptide und solche für Sättigungsgefühl (Serotonin / GLP-1)

Hypothetischer Schaltkreis für Hungergefühl



Wärmeerzeugung

- Metabolismus: Umsatz = Energieabgabe pro Stunde (Wärme + Arbeit)
- 4,8 kcal Wärmeproduktion pro verbrauchter l O₂
- Grund-Umsatz = ca. 60-70 kcal/h (Gewicht x 1 für ♂; x 0,9 für ♀),
 - abhängig von Körperoberfläche
 - niedriger im Schlaf wegen Muskelentspannung
 - niedriger im Alter wegen Muskelatrophie
 - höher bei Kindern
- Fieber führt zu erhöhtem Grundumsatz, ebenso Hyperthyreose
- Gesamtumsatz: stark von Muskelaktivität abhängig, erhöhte Wärmeproduktion bei Muskelkontraktion