

DGKJ-Kurs Pädiatrische Ernährungsmedizin

Block I: 23.-26.02.2022

Block II: 23.-26.03.2022

E-Learning-Block



Modul	h	Thema	Referent
Lerneinheit I			
1.1	2	Grundkenntnisse des Energie-SW., d. physiol. Funktionen, Verdauung, Absorption u. endogenen Verwertung / Sport und Ernährung	Dr. Christian Zimmermann
1.2	2	Makro- und Mikronährstoffe	Dr. Christian Zimmermann
1.3	1	Prävention ernährungsbedingter Krankheiten	Prof. Dr. Anette Buyken
1.4	1	Ballaststoffe	Prof. Dr. Anika Wagner
Lerneinheit II			
2.1	1	Prä- und Probiotika	Dr. Christian Zimmermann
2.2	1	Lebensmittelkunde, functional food	Prof. Dr. Anika Wagner
2.3	2	Lebensmittelsicherheit, Verbraucherschutz	Dr. Christian Borsch
2.4	1	Grundlagen der Ernährungstherapie	Dr. Kathrin Sinnigen
2.5	1	Grundlagen der Ernährungswissenschaft	Prof. Dr. Anika Wagner
Lerneinheit III			
3.1	1	Gesundheitsökonomische Aspekte	Prof. Dr. Busse und Mitarbeiter/+innen (Anfrage)
3.2	2	Berücksichtigung der Behandlungsform (z.B. Akut-klinik; Reha-, Pflegeeinrichtung, ambulant)	Dr. Burkhard Lawrenz
3.3	1	Gemeinschaftsverpflegung	Prof. Dr. Ulrike Arens-Azevedo
3.4	2	Organisation und Qualitätssicherung der Ernährungsmedizin	Dr. Thomas Kauth

Energiestoffwechsel und Makronährstoffe

Referent: Dr. Christian Zimmermann

DGKJ-Kurs - Bochum, 23.02.2022

Erklärung von Interessen

Hiermit erkläre ich, dass der Inhalt meines Vortrags/Seminars produkt- und dienstleistungsneutral gestaltet ist und kein Interessenkonflikt hinsichtlich Anstellungsverhältnis, Berater-bzw. Gutachtertätigkeit, Besitz von Geschäftsanteilen, Aktien oder Fonds, Patenten, Urheberrechten, Verkaufslizenzen, Honorarzahungen, Finanzierung wissenschaftlicher Untersuchungen sowie anderer finanzieller Beziehungen besteht.

Gießen, 15.01.2022

Christian Zimmermann

Gliederung

- Energiestoffwechsel
- Kohlenhydratstoffwechsel
- Fettstoffwechsel
- Proteinstoffwechsel
- Interaktionen im Makronährstoffstoffwechsel

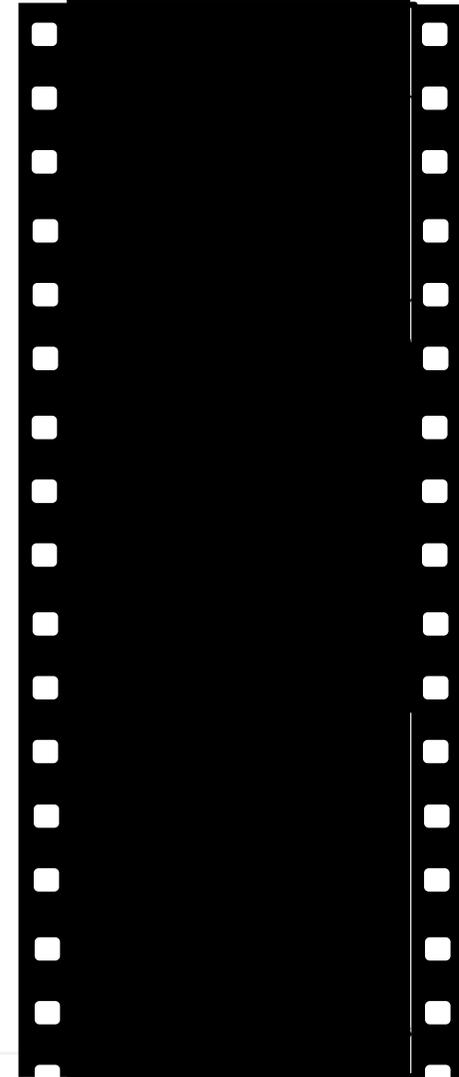


**Kein Fokus auf biochemische Details,
sondern:**

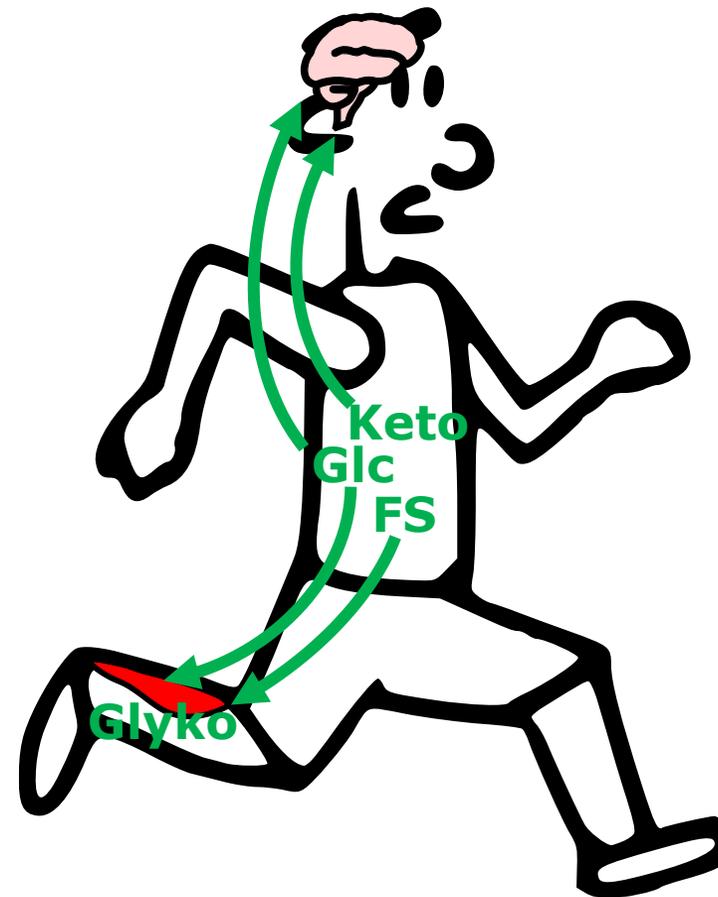
Zusammenhänge verstehen!

Fallbeispiel - Marathon

- Ein Marathonläufer läuft ins Stadion ein und hat noch eine Runde vor sich.
- Plötzlich läuft er verwirrt in die falsche Richtung und kollabiert.
- Was ist schief gegangen?



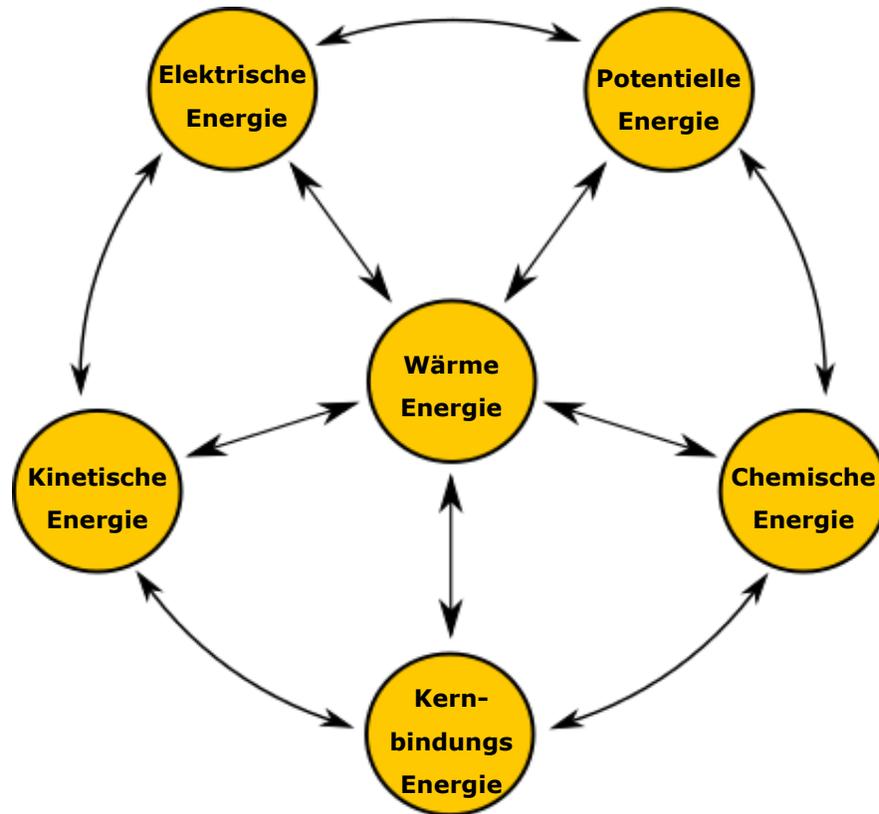
Fallbeispiel - Marathon





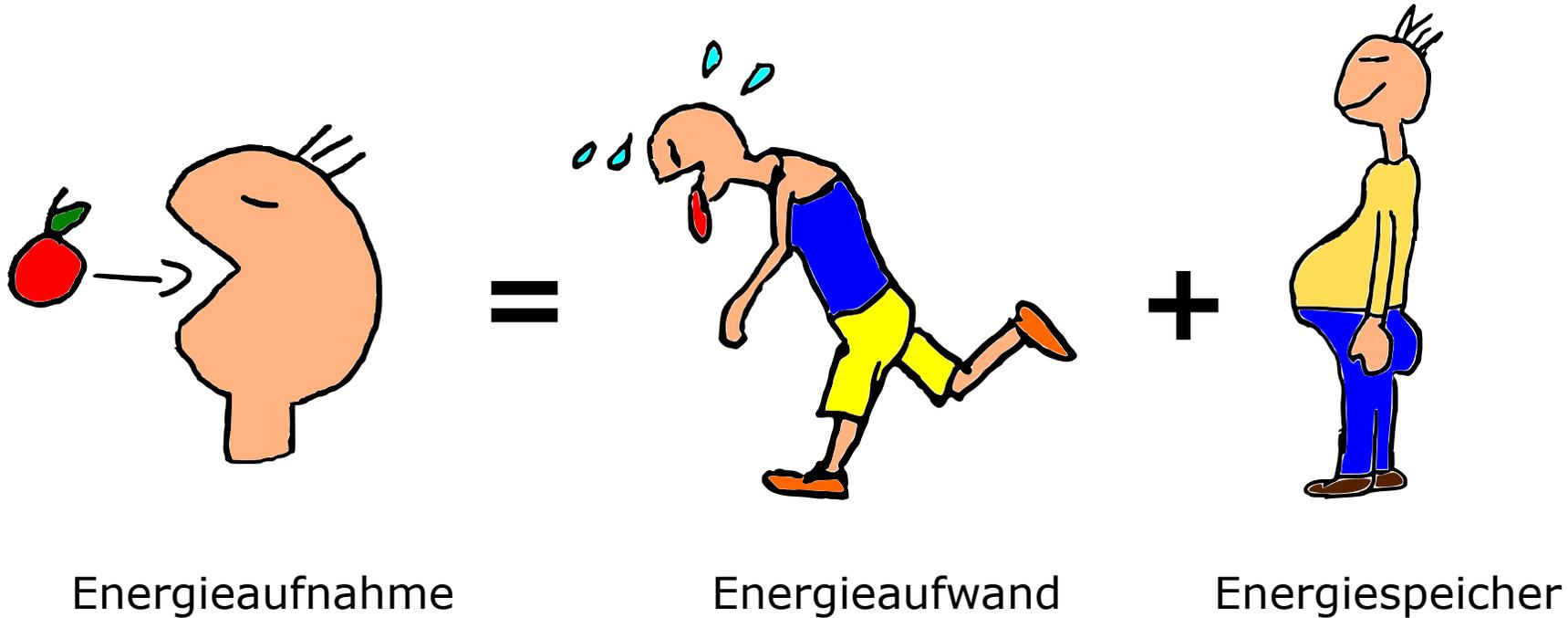
1. Hauptsatz der Thermodynamik

Energien können umgewandelt aber nicht vernichtet werden!



Adaptiert nach Johannes Schneider [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)], von Wikimedia Commons

1. Hauptsatz der Thermodynamik

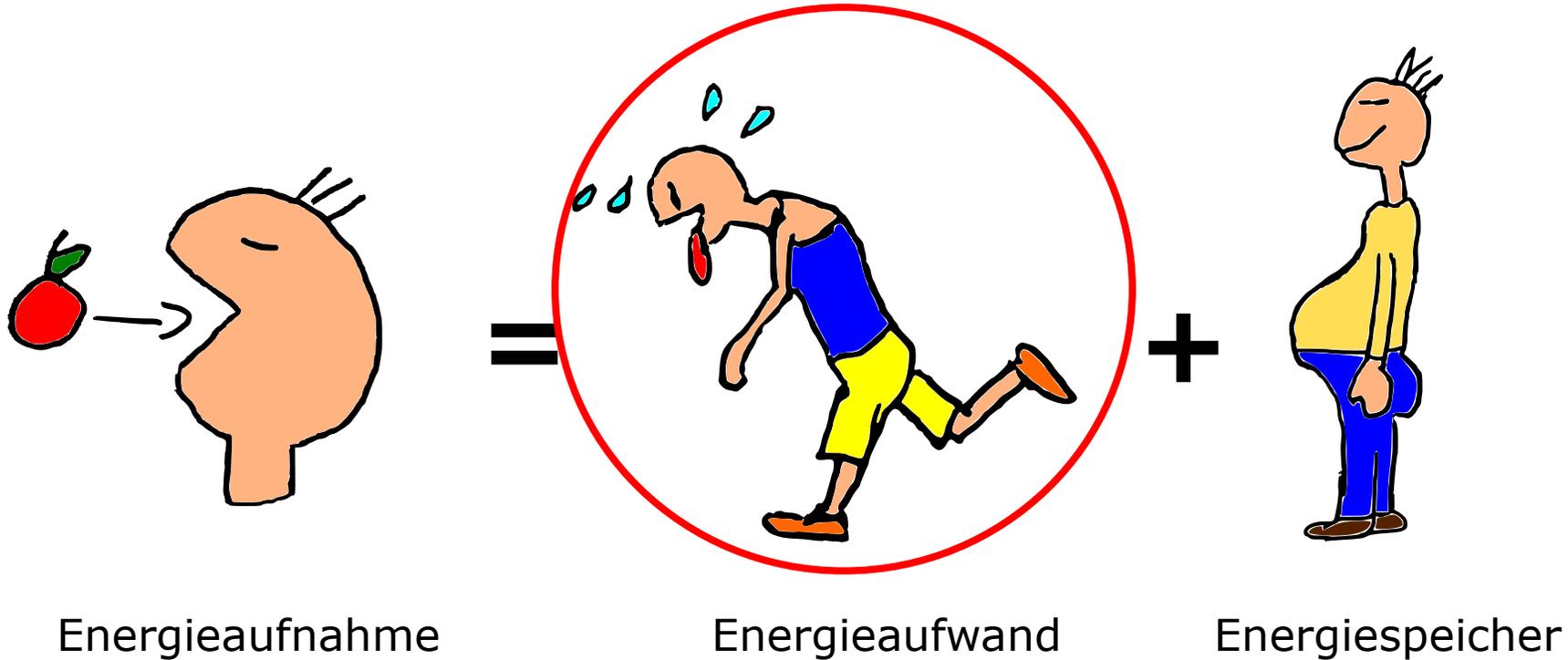


Wirkungsgrad

- Verhältnis der genutzten zur zugeführten Energie
- Beispiele für Wirkungsgrade:

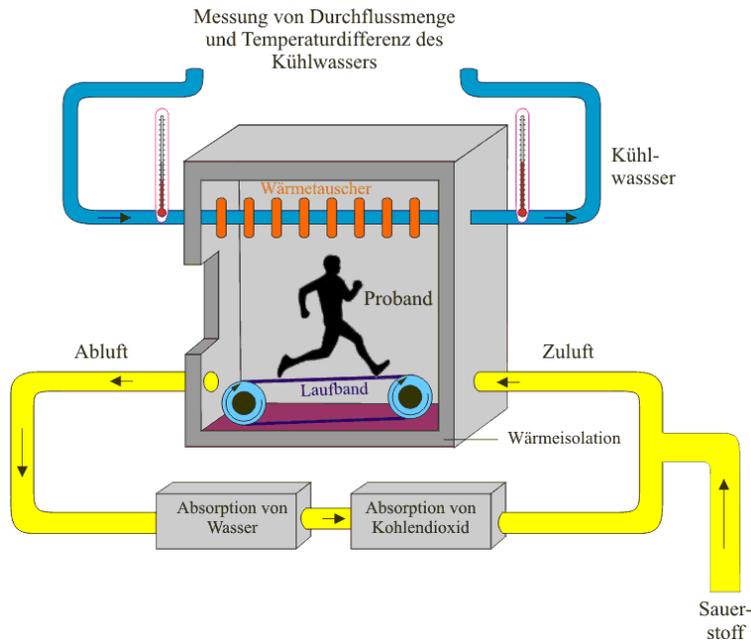
Benzin-/Dieselmotor	15 - 30 %
Elektromotor	90 %
ATP-Synthese	40 %
Laufen/Radfahren	20 - 30 %

Messung des Energieumsatzes



Messung des Energieumsatzes

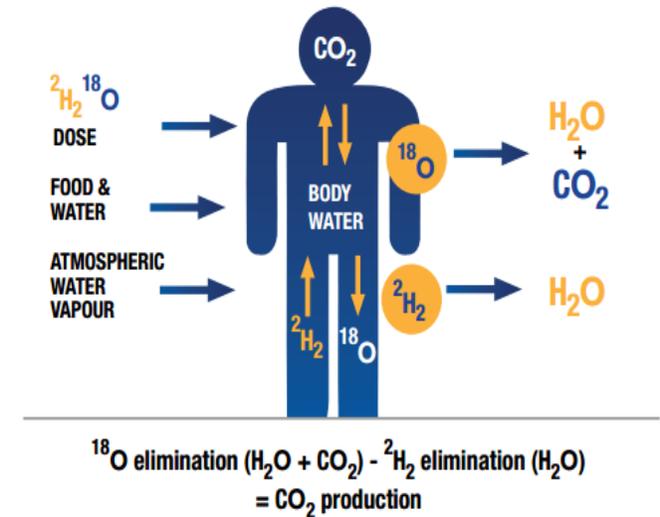
Direkte Kalorimetrie



Indirekte Kalorimetrie



Doppelt stabil markiertes Wasser



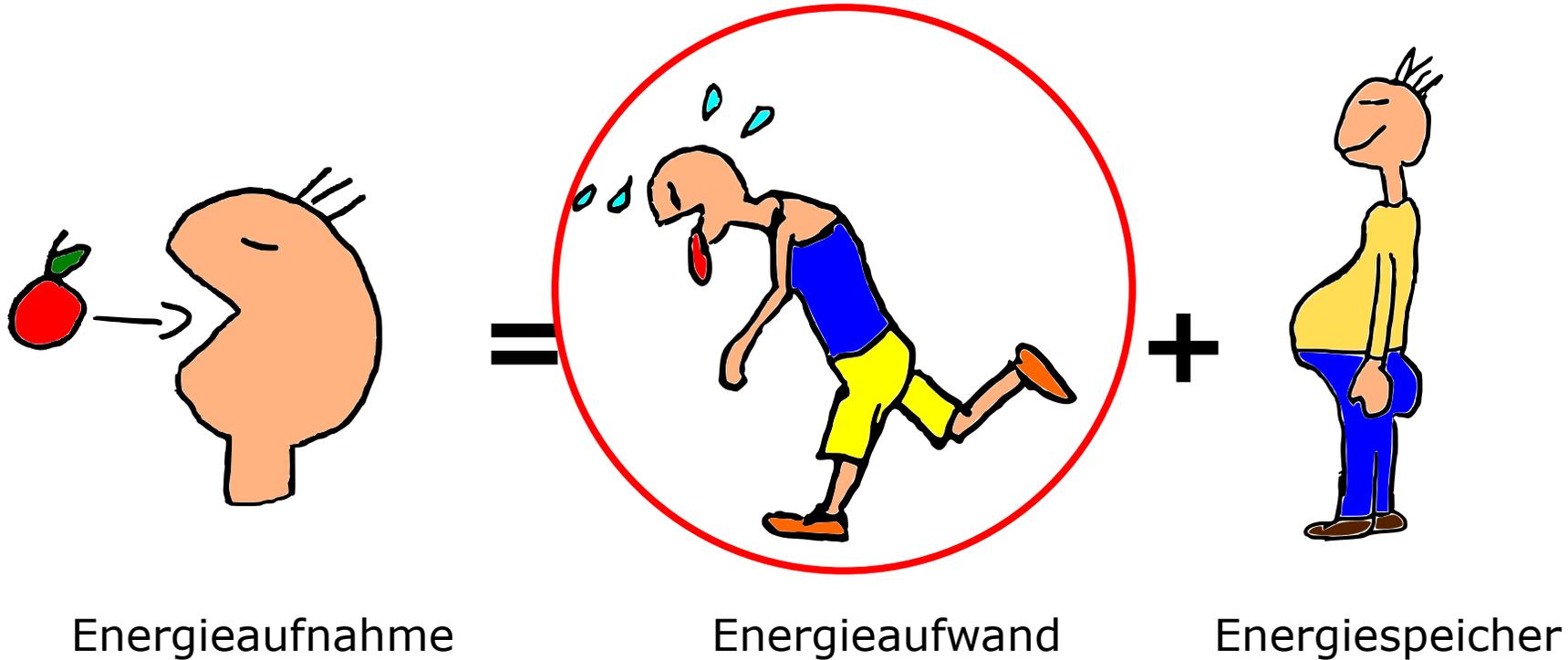
Energieumsatz = O_2 -Aufnahme \times kalorisches Äquivalent
 $RQ = VCO_2 / VO_2$
 $RQ \rightarrow$ kalorisches Äquivalent

Leitner, Finckh (2010) <https://www.leifiphysik.de/mechanik/arbeit-energie-und-leistung/ausblick/messung-des-energieumsatzes> Cosmed [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], from Wikimedia Commons
 Michael Heigl [CC BY-SA 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>)], via Wikimedia Commons
https://serconlimited.com/sercon_systems/water/

Physiologischer Brennwert

	Energiegehalt		Respiratorischer Quotient (RQ) (V_{CO_2}/V_{O_2})
	(kJ/g)	(kcal/g)	
Kohlenhydrate	17	4	1,00
Fett	37	9	0,71
Protein	17	4	0,84

Komponenten des Energieumsatzes



Komponenten des Energieumsatzes

- Grundumsatz (*Basal Metabolic Rate, BMR*)
 - Energieumsatz für basale metabolische Aktivität
 - Messung an gerade erwachter, ruhender Person nach Nachtruhe bei ca. 25 °C
- Ruheenergieumsatz (*Resting Metabolic Rate, RMR*)
 - Ähnlich der BMR-Messung aber weniger standardisiert
→ höher als BMR
- Energieumsatz bei körperlicher Aktivität
 - Angabe als Vielfaches vom Grundumsatz
(*Physical Activity Level, PAL bzw. Metabolic Equivalent of Task, MET*)
- Thermogenese
 - Aktivitätsinduzierte Thermogenese
(*Exercise Activity Thermogenesis, EAT*)
 - Nahrungsinduzierte Thermogenese
(*Thermogenetic Effect of Food, TEF*)
 - Thermogenese durch Zittern
(*Shivering Thermogenesis, ST*)
 - Zitterfreie Thermogenese
(*Non Shivering Thermogenesis, NST*)

Beispiele für Metabolisches Äquivalent

Aktivität	MET
Schlafen	0,95
Büroarbeit	1,5
Gemütlich gehen	2,0
Hausarbeit	2,5
Gartenarbeit	3,0 – 6,0
Fußball	7,0 – 10,0
Volleyball	4,0 – 6,0
Jogging	6,0 – 23,0
Radfahren	3,5 – 10,0
Brustschwimmen	5,3 – 10,3

Braun et al. (2019) Ernährungsumschau

Beispiele für tägliches Aktivitätslevel

PAL	Beispiele
1,2-1,3	gebrechliche, immobile, bettlägerige Menschen (ausschließlich sitzende oder liegende Lebensweise)
1,4-1,5	Büroangestellte, Feinmechaniker (ausschließlich sitzende Tätigkeit mit wenig oder keiner anstrengenden Freizeitaktivität)
1,6-1,7	Laboranten, Studenten, Fließbandarbeiter (sitzende Tätigkeit, zeitweilig auch zusätzlicher Energieaufwand für gehende und stehende Tätigkeiten, wenig oder keine anstrengende Freizeitaktivität)
1,8-1,9	Verkäufer, Kellner, Mechaniker, Handwerker (überwiegend gehende und stehende Arbeit)
2,0-2,4	Bauarbeiter, Landwirte, Waldarbeiter, Bergarbeiter, Leistungssportler (körperlich anstrengende berufliche Arbeit oder sehr aktive Freizeitaktivität)

<https://www.dge.de/fileadmin/public/doc/ws/faq/FAQs-Energie.pdf>

Richtwerte für die Energiezufuhr

<https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/energie/>

Alter	Energiezufuhr in kcal/d					
	PAL-Wert 1,4		PAL-Wert 1,6		PAL-Wert 1,8	
	m	w	m	w	m	w
Kinder und Jugendliche						
1 bis < 4 Jahre	1200	1100	1300	1200	-	-
4 bis < 7 Jahre	1400	1300	1600	1500	1800	1700
7 bis < 10 Jahre	1700	1500	1900	1800	2100	2000
10 bis < 13 Jahre	1900	1700	2200	2000	2400	2200
13 bis < 15 Jahre	2300	1900	2600	2200	2900	2500
15 bis < 19 Jahre	2600	2000	3000	2300	3400	2600
Erwachsene						
19 bis < 21 Jahre	2400	1900	2800	2200	3100	2500
25 bis < 51 Jahre	2300	1800	2700	2100	3000	2400
51 bis < 65 Jahre	2200	1700	2500	2000	2800	2200
≥ 65 Jahre	2100	1700	2500	1900	2800	2100

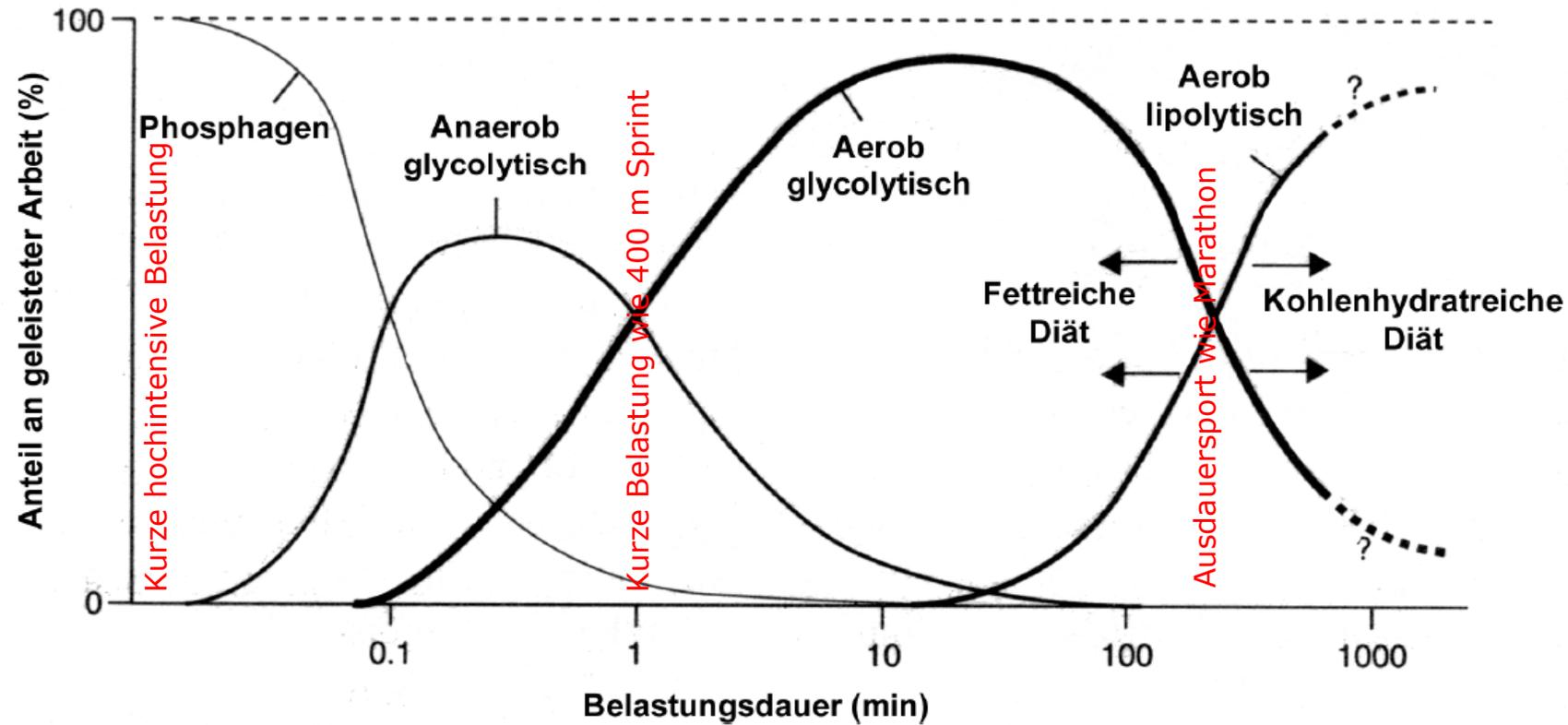
Schwangere: Richtwerte für die zusätzliche Energiezufuhr für Schwangere im 2. Trimester +250 kcal/Tag und im 3. Trimester +500 kcal/Tag. Diese Angaben gelten nur bei Normalgewicht vor der Schwangerschaft, bei einer wünschenswerten Gewichtsentwicklung während der Schwangerschaft (Körpergewichtszunahme von 12 kg bis Ende der Schwangerschaft) und bei unverminderter körperlicher Aktivität.

Stillende: Richtwert für die zusätzliche Energiezufuhr für Stillende bei ausschließlichem Stillen während der ersten 4 bis 6 Monate +500 kcal/Tag.

Hierarchie der Verwertung von Substraten

Substrat	Gehirn	Muskel
Fettsäuren	Keine Verwertung	Erste Priorität, sofern verfügbar
Ketonkörper	Erste Priorität, sofern verfügbar	Keine Verwertung, sofern Fettsäuren verfügbar
Glucose	Fast ausschließliche Verwertung (Ketonkörper selten verfügbar)	Verwertung nur, wenn Fettsäuren und Ketonkörper nicht verfügbar

Energiebereitstellung in Abhängigkeit von Belastungsdauer und -intensität



Modifiziert nach Mannhart, Colombani (2001) Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie und Saller et al. (2008) Swiss Journal of Integrative Medicine



Ein klinischer Fall zur Einleitung

- Säugling in ersten 6 Wochen nach Geburt unauffällig
- Nach Verlängerung der Mahlzeitenabstände erste Entwicklungsstörungen
- Häufiges Erwachen während des Schlafs, ungewöhnlich unruhig → erst nach Mahlzeit wieder beruhigt
- Gleichzeitig: vergrößertes Abdomen



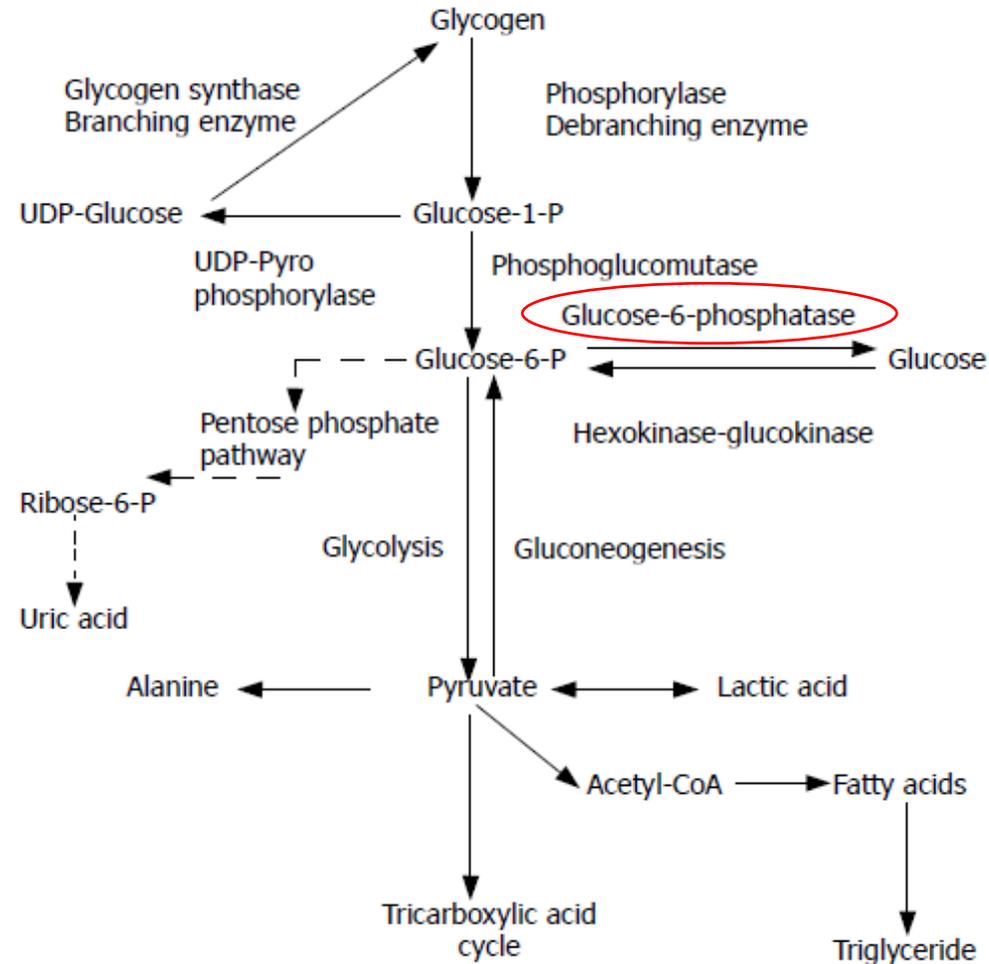
Usatine et al. (2014) The Color Atlas of Pediatrics, McGraw-Hill Education

Ein klinischer Fall zur Einleitung

- Linderung der Symptome nach Füttern lassen auf Hypoglykämie schließen
- Ursache der Hypoglykämie evtl. unzureichende Glucose-Freisetzung durch die Leber
- Könnte durch Enzymdefekt in der Leber verursacht werden
 - Molekulargenetische Untersuchung: Glucose-6-Phosphatase Mangel
 - Glykogenspeicherkrankheit: Glykogenose Typ I (Morbus von Gierke)

Usatine *et al.* (2014) The Color Atlas of Pediatrics, McGraw-Hill Education

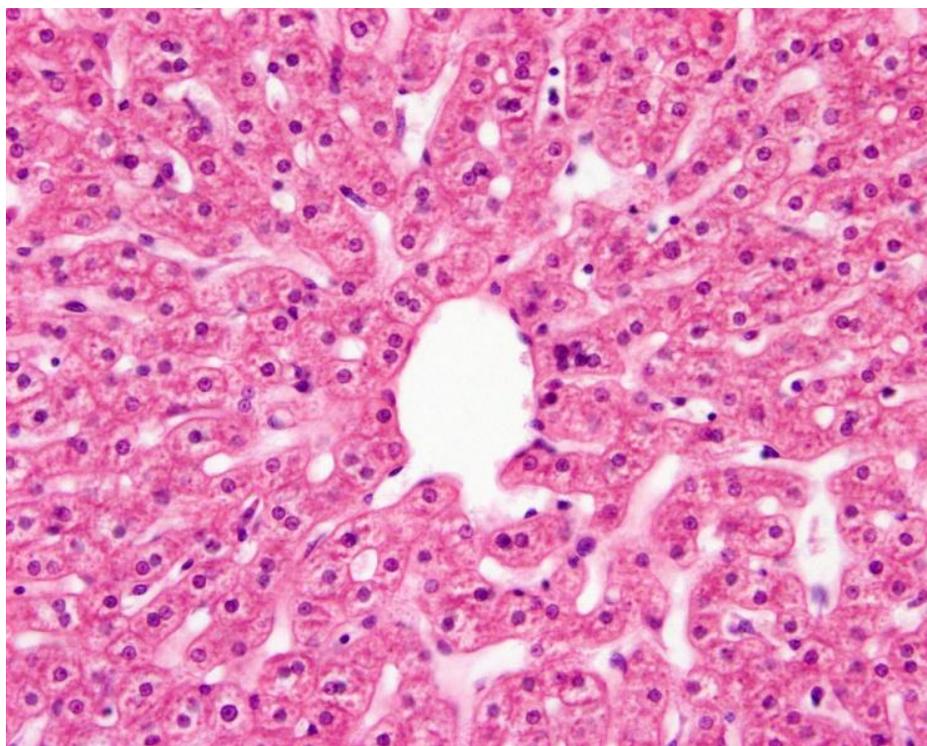
Ein klinischer Fall zur Einleitung



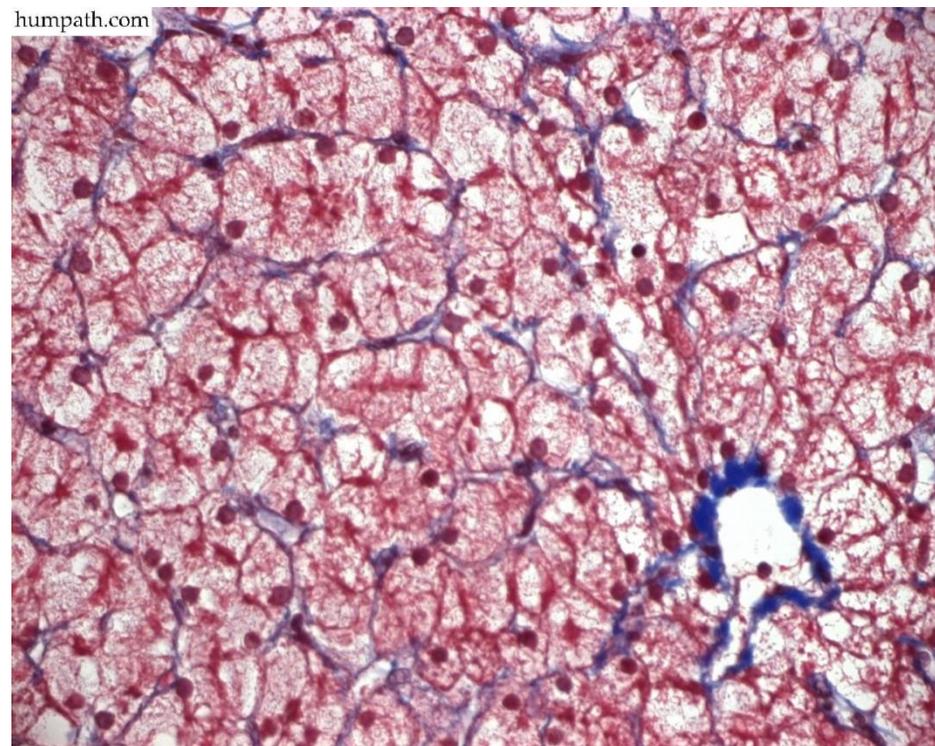
Özen (2007) World J Gastroenterol

Ein klinischer Fall zur Einleitung

Kontrolle



Glykogenose Typ I



Hill, M.A. (2015) Embryology Liver histology 101.jpg. Retrieved October 16, 2015, from https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/index.php/File:Liver_histology_101.jpg
<http://www.humpath.com/spip.php?article3142>

Ein klinischer Fall zur Einleitung

- Da kein Umbau von Glykogen in Glucose
→ Lebervergrößerung
- Durch anfangs häufige Nahrungszufuhr noch keine Symptome
- Therapie:

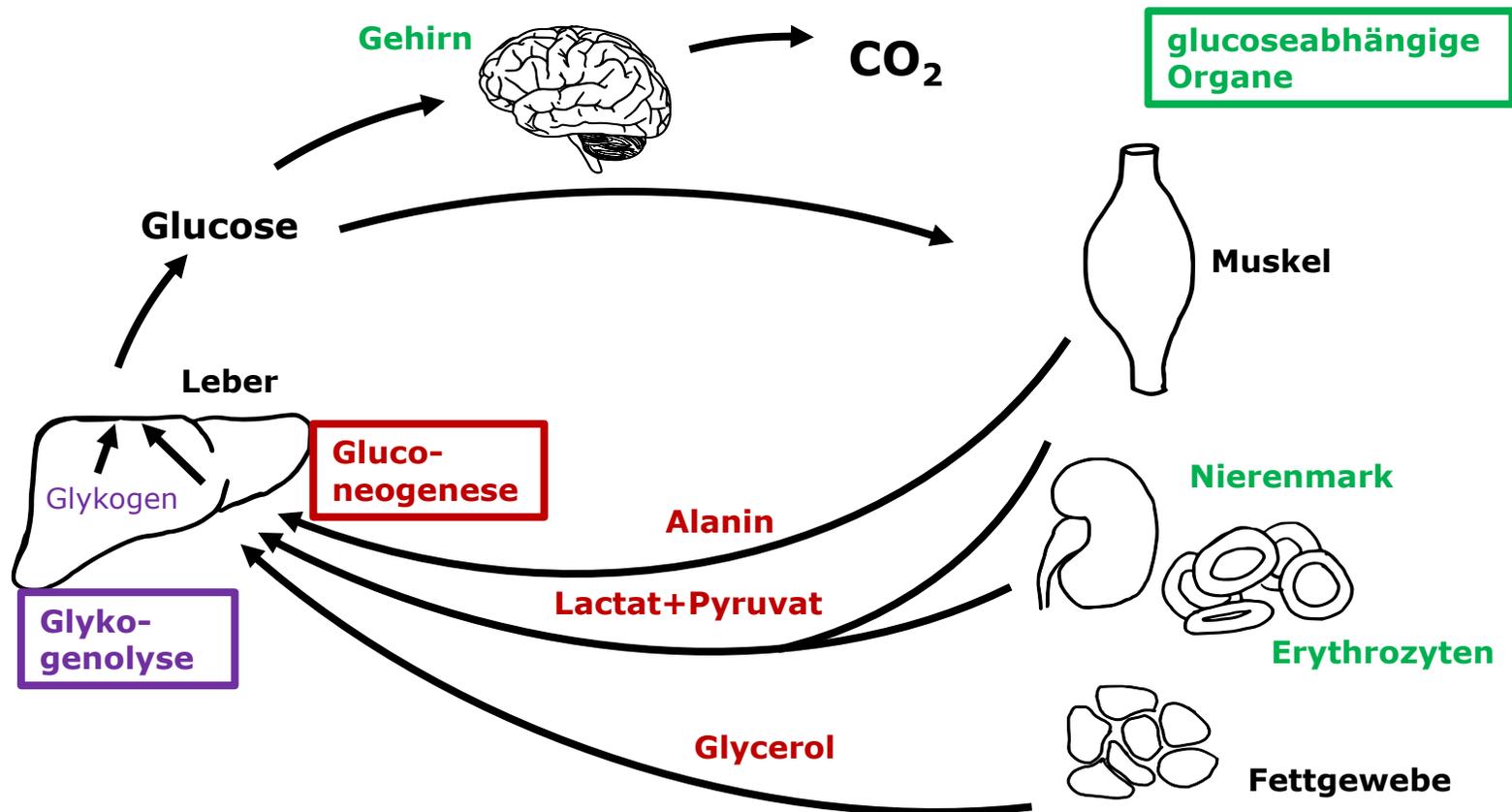
Nächtliche Applikation von roher Maisstärke

- Bei Säuglingen unter 6 Monaten Magensonde zur Applikation von Glucose
- Lebensmittel mit Fructose und Galactose meiden

Blutglucosespiegel

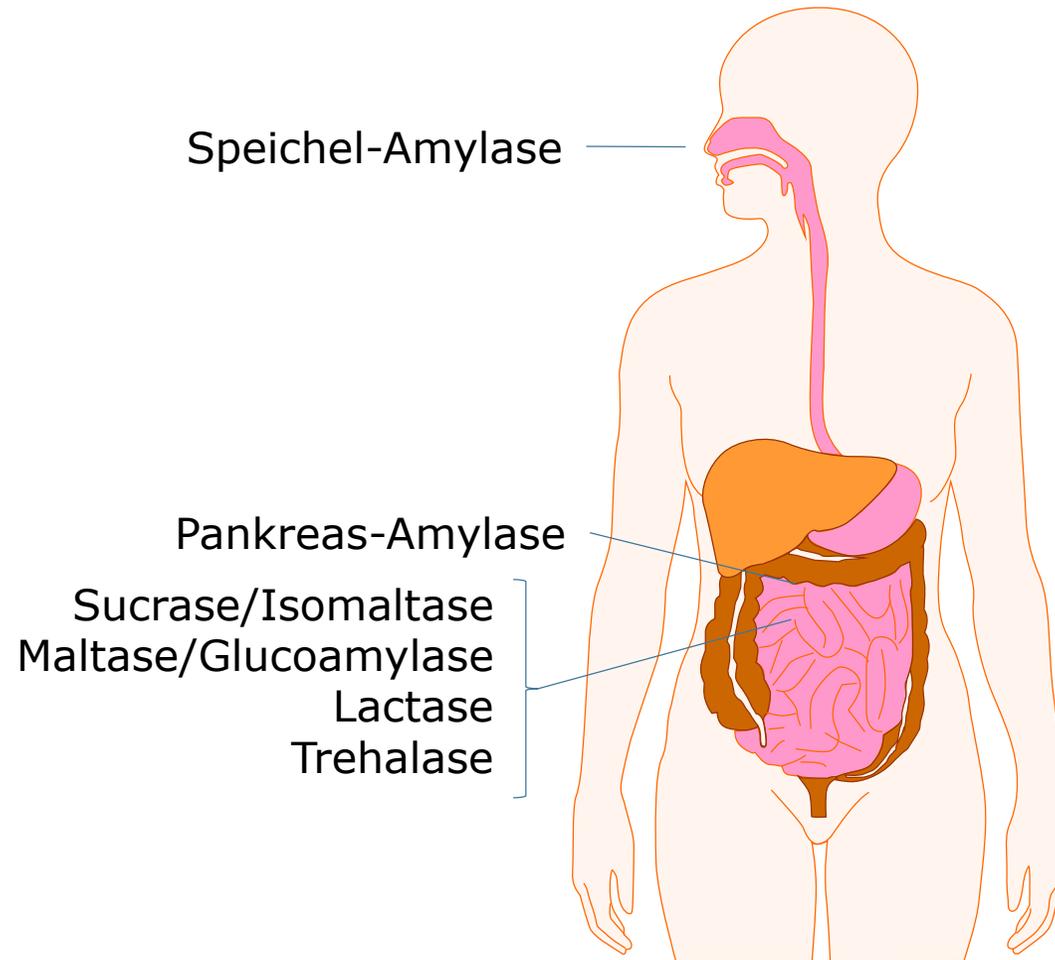
- Konstanter Blutglucosespiegel bei ca. 5 mmol/l (90 mg/dl) (bei Neugeborenen ca. 2 mmol/l)
- Wichtig für die konstante Versorgung der glucoseabhängigen Organe
- Kontrolle der Glucosehomöostase durch Insulin/Glukagon und Glucosetransporter
- Einfluss von Inkretinen auf Insulinsekretion

Postabsorptiver Glucosestoffwechsel

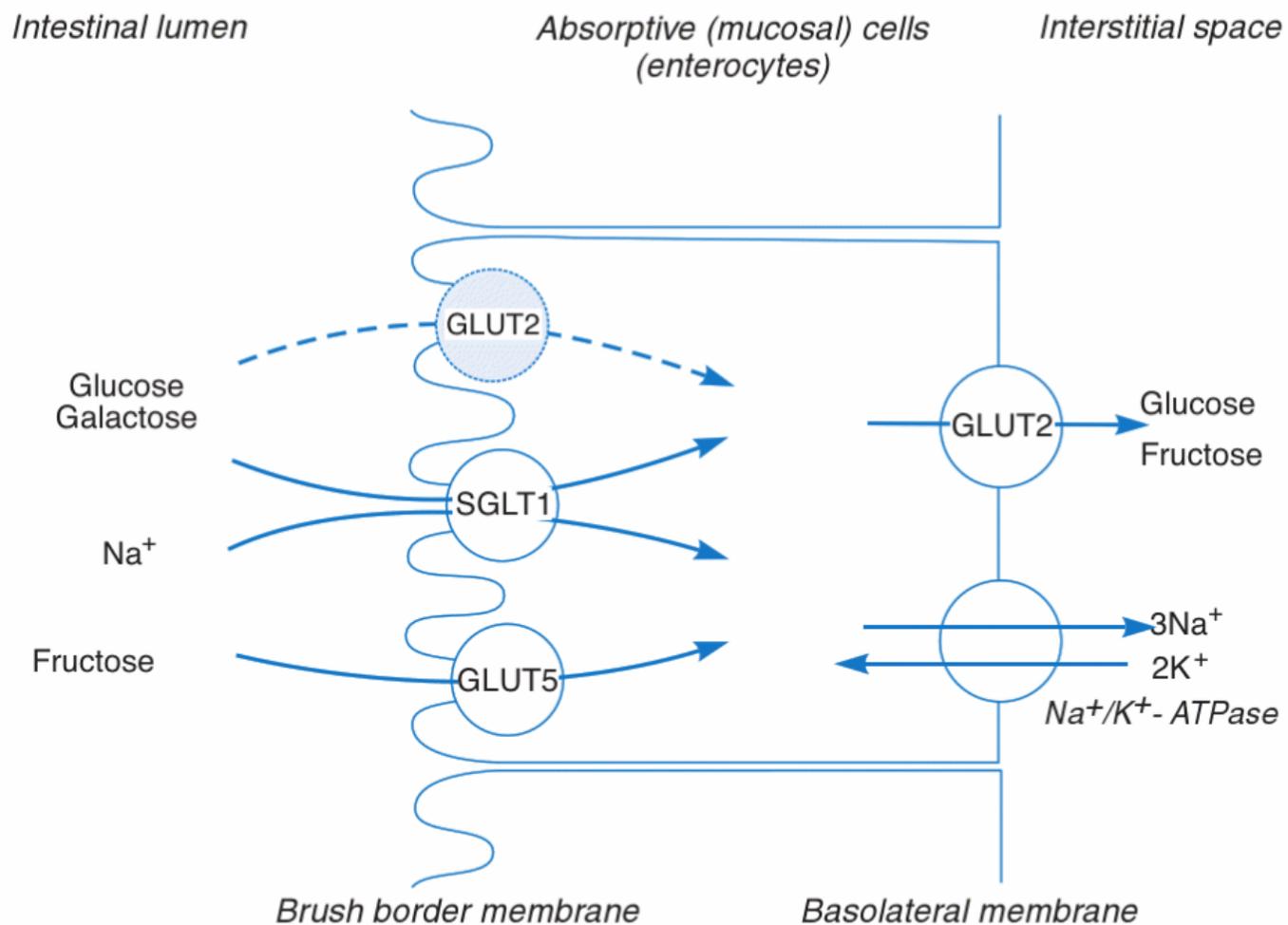


Nach Frayn (2010) Metabolic Regulation: A Human Perspective, Wiley-Blackwell

Verdau von Kohlenhydraten

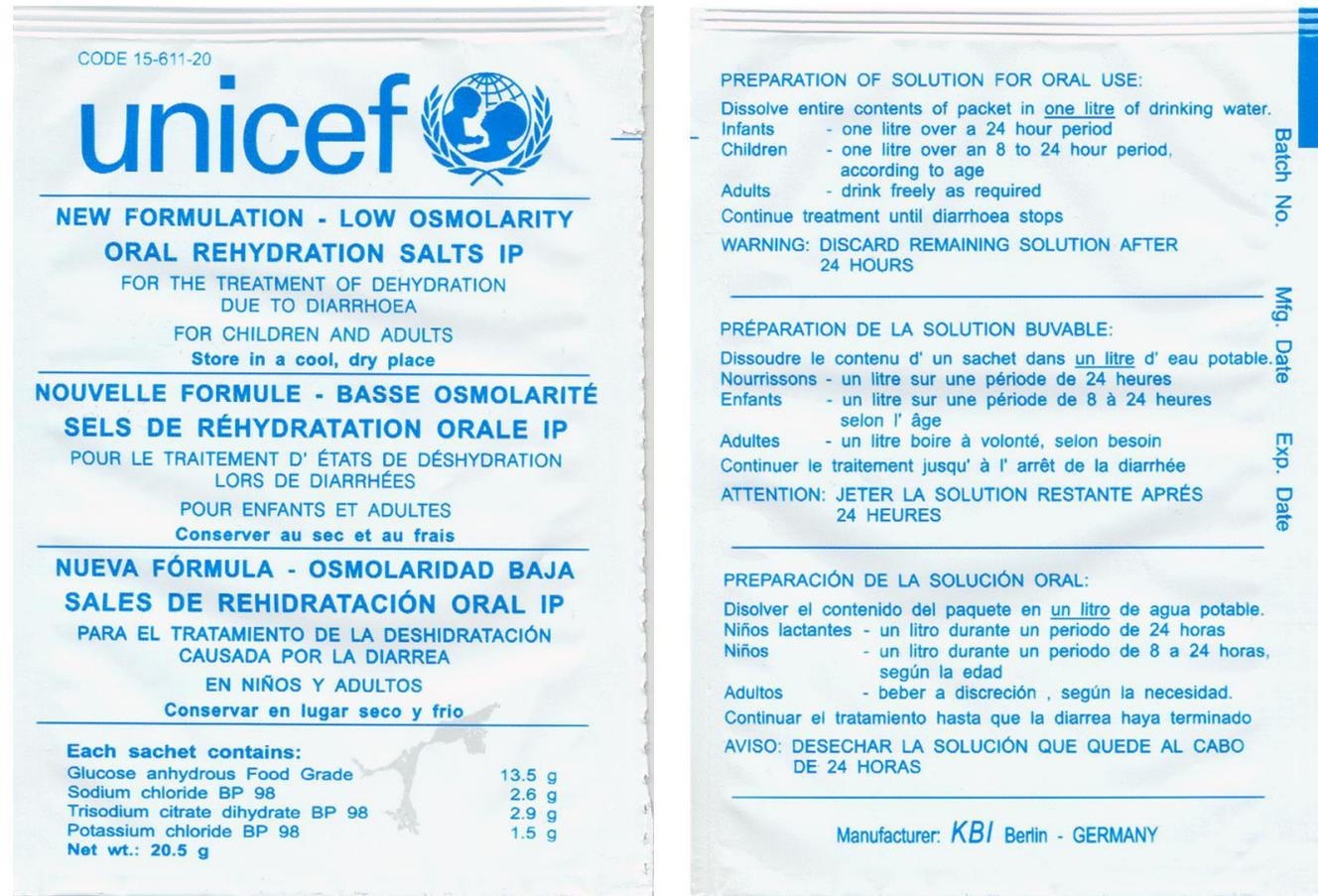


Absorption von Monosacchariden



Frayn (2010) Wiley-Blackwell

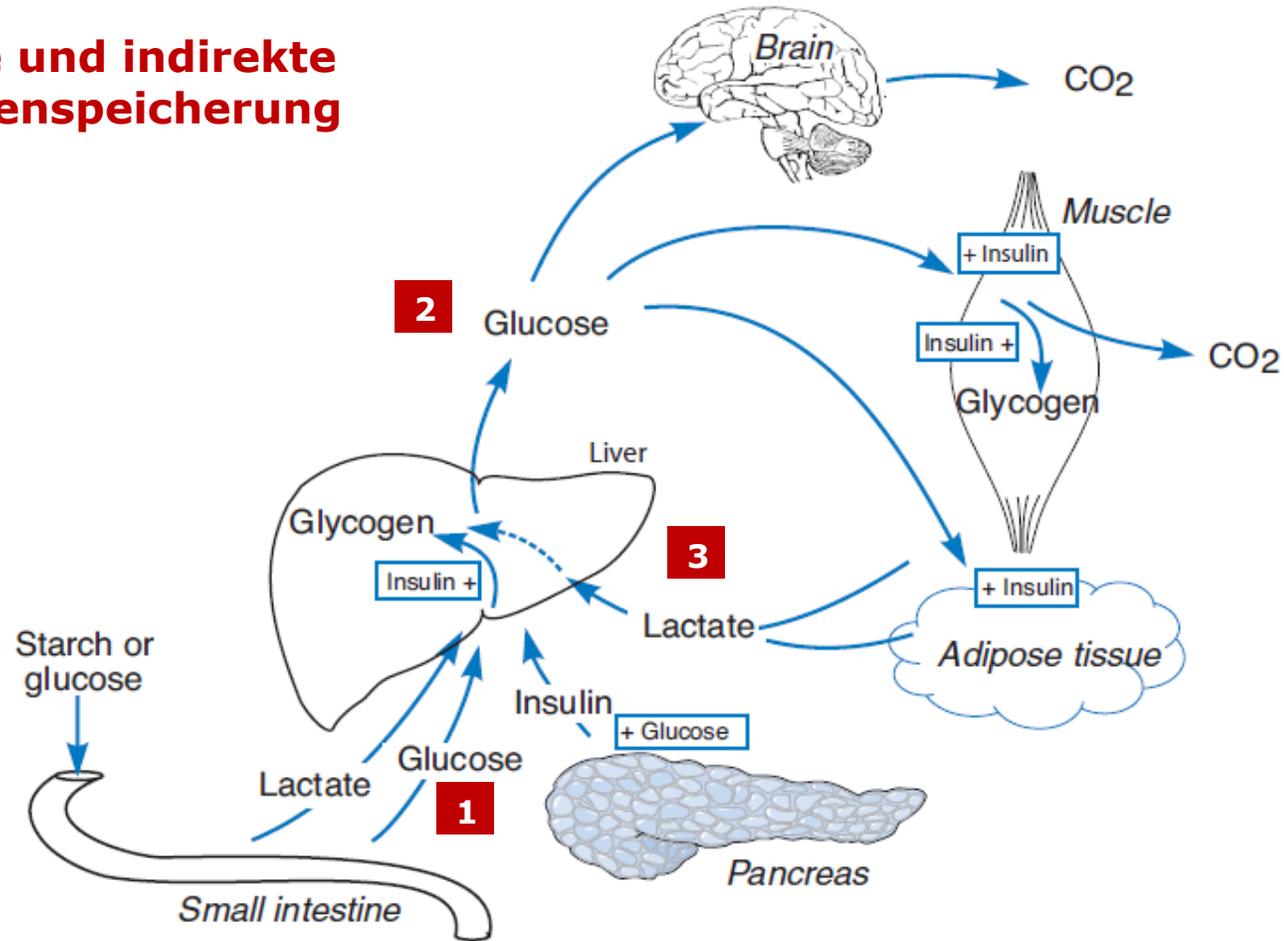
Orale Rehydrationslösung



By Olle Gustavsson [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)], from Wikimedia Commons

Postprandialer Glucosestoffwechsel

Direkte und indirekte Glykogenspeicherung



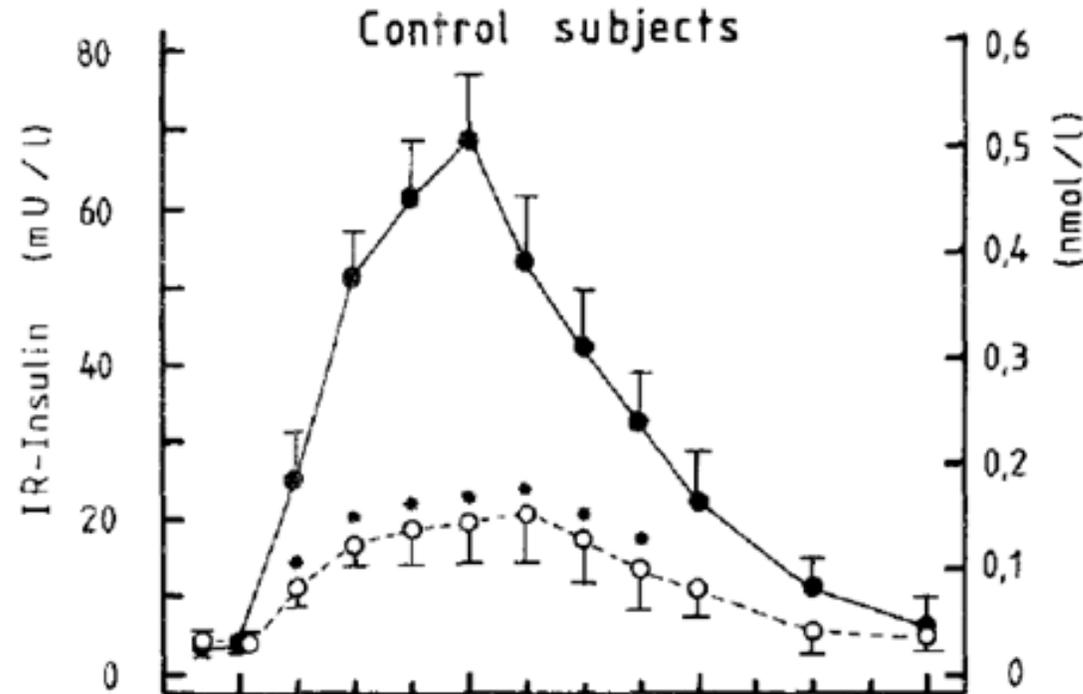
Nach Frayn (2010) Metabolic Regulation: A Human Perspective, Wiley-Blackwell

Kontrolle der Glucosehomöostase

- Was führt zu einem höheren Insulin-Anstieg?
 - Orale Glucose-Applikation?
 - Intravenöse Glucose-Applikation? (Isoglykämische Menge)
 - Kein Unterschied

Kontrolle der Glucosehomöostase

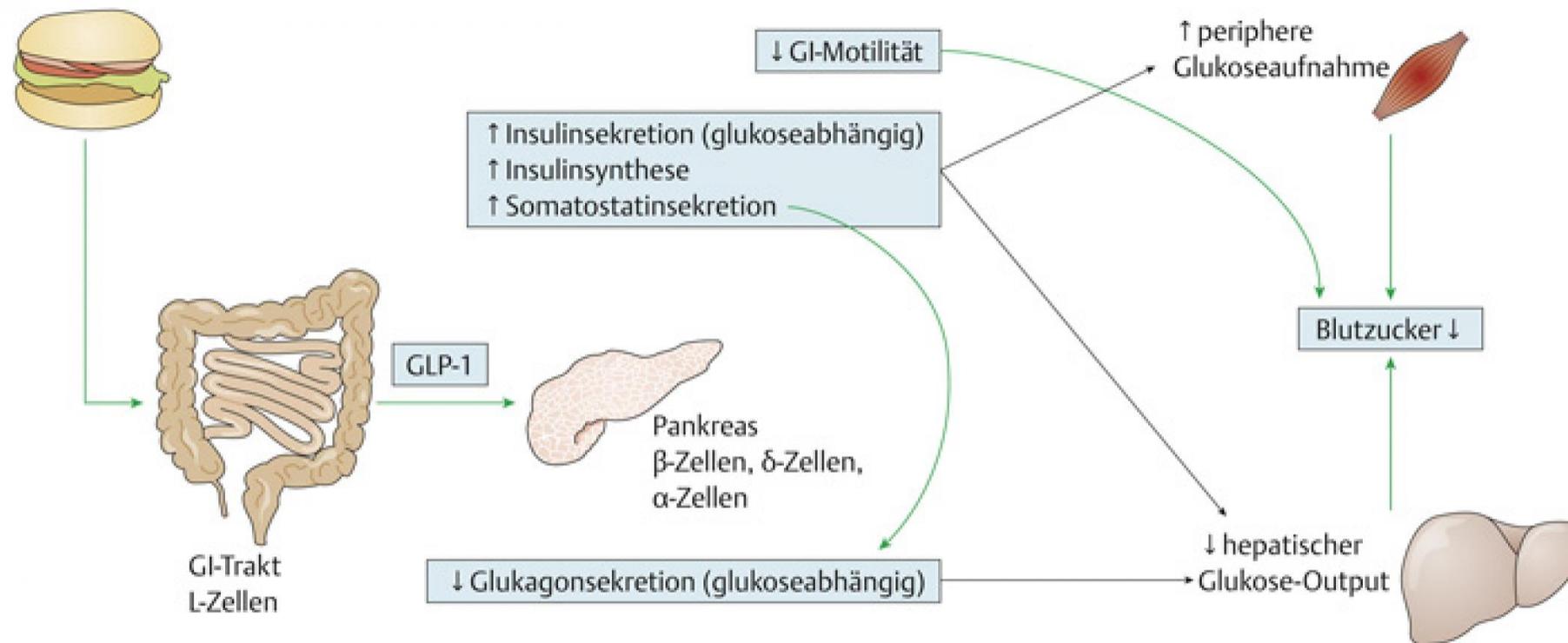
- oral
- intravenös



Orale Gabe von 50 g / 400 mL Glucose und isoglykämische Menge an Glucose intravenös

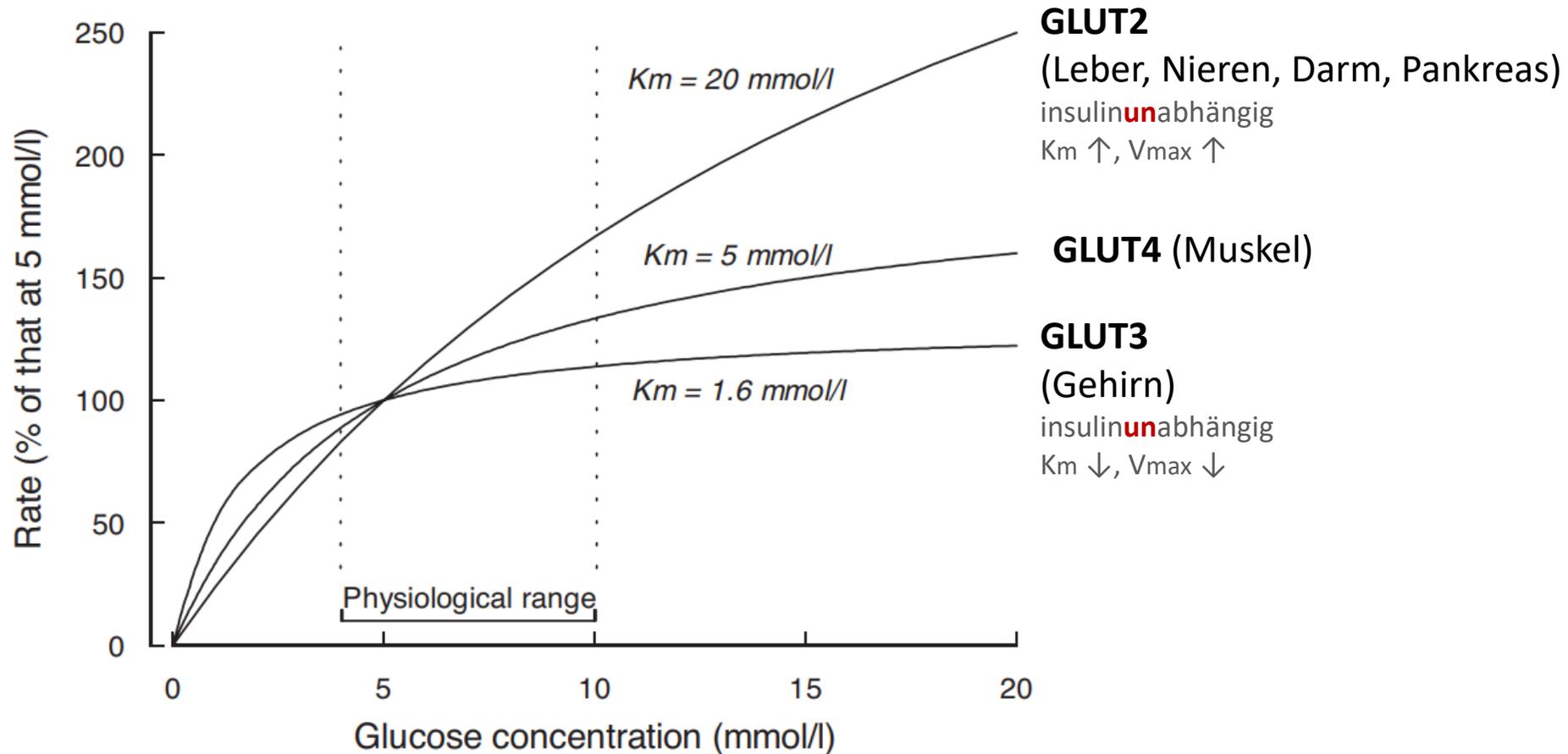
Nauck *et al.* (1986) Diabetologia

Physiologische Effekte der Inkretine



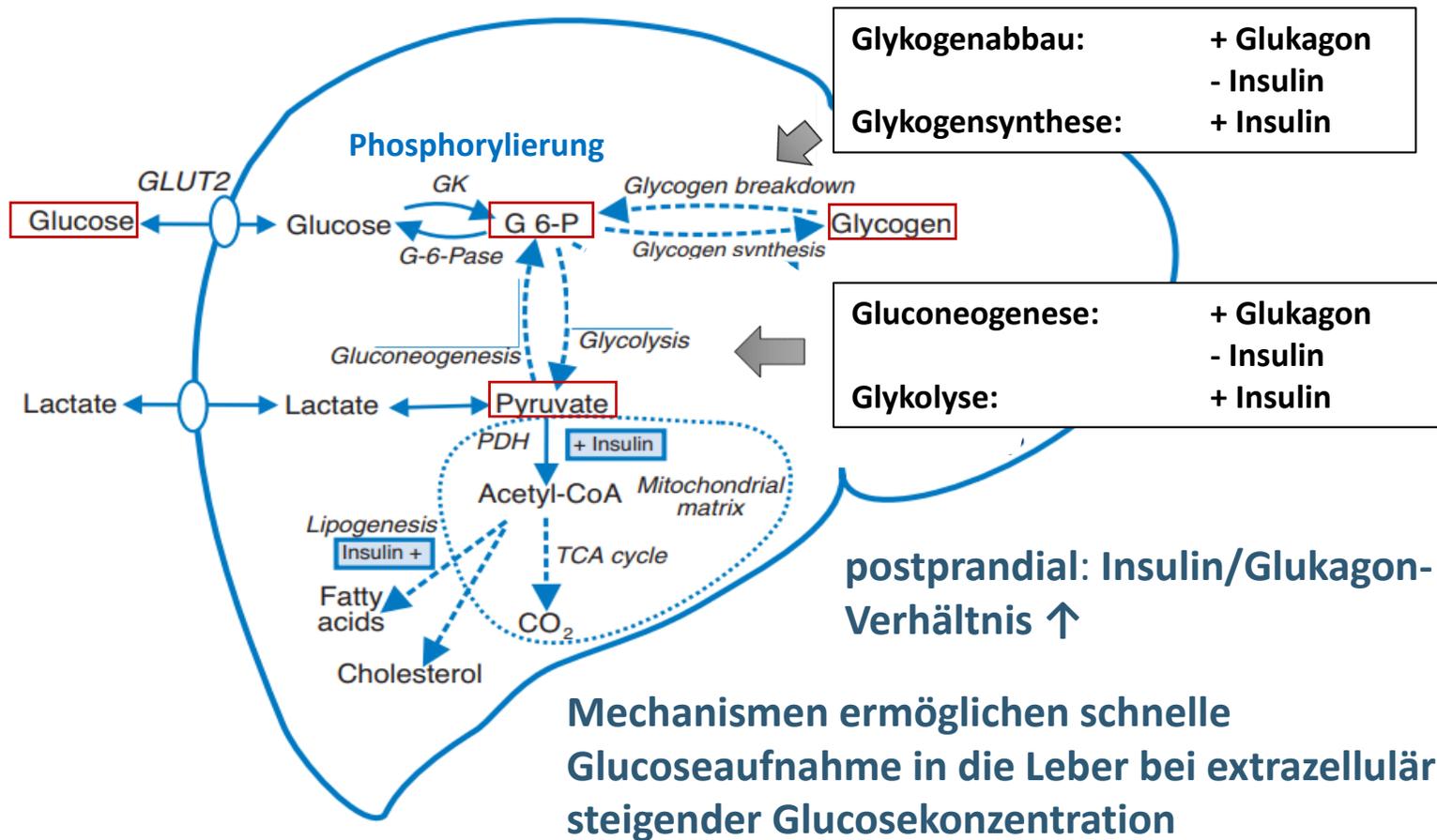
Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart · New York · 2011
G. Spinas, S. Fischli: Endokrinologie und Stoffwechsel kompakt · 2. Auflage

Regulation durch Glucosetransporter



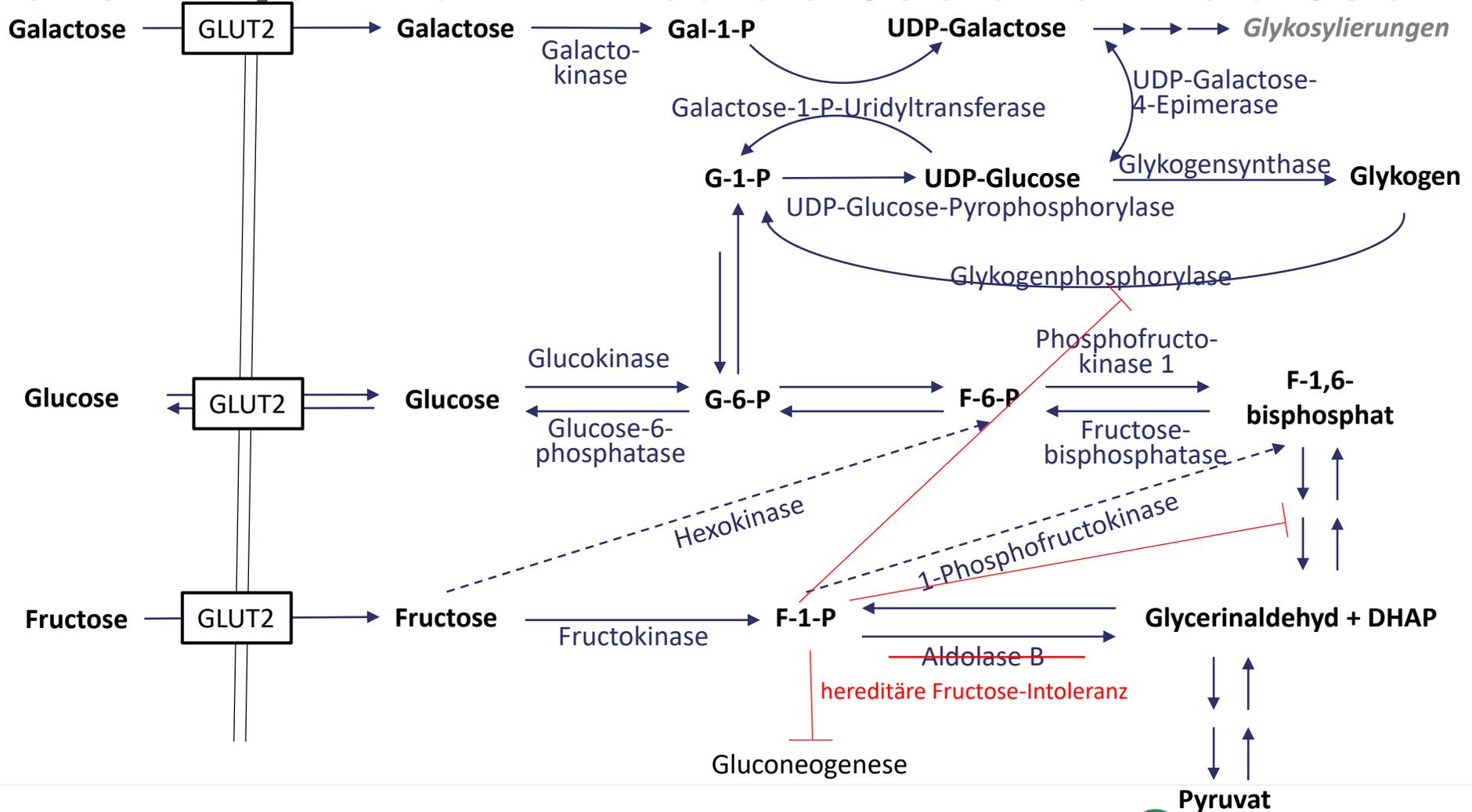
Nach Frayn (2010) Metabolic Regulation: A Human Perspective, Wiley-Blackwell

Postprandialer Glucosestoffwechsel in der Leber

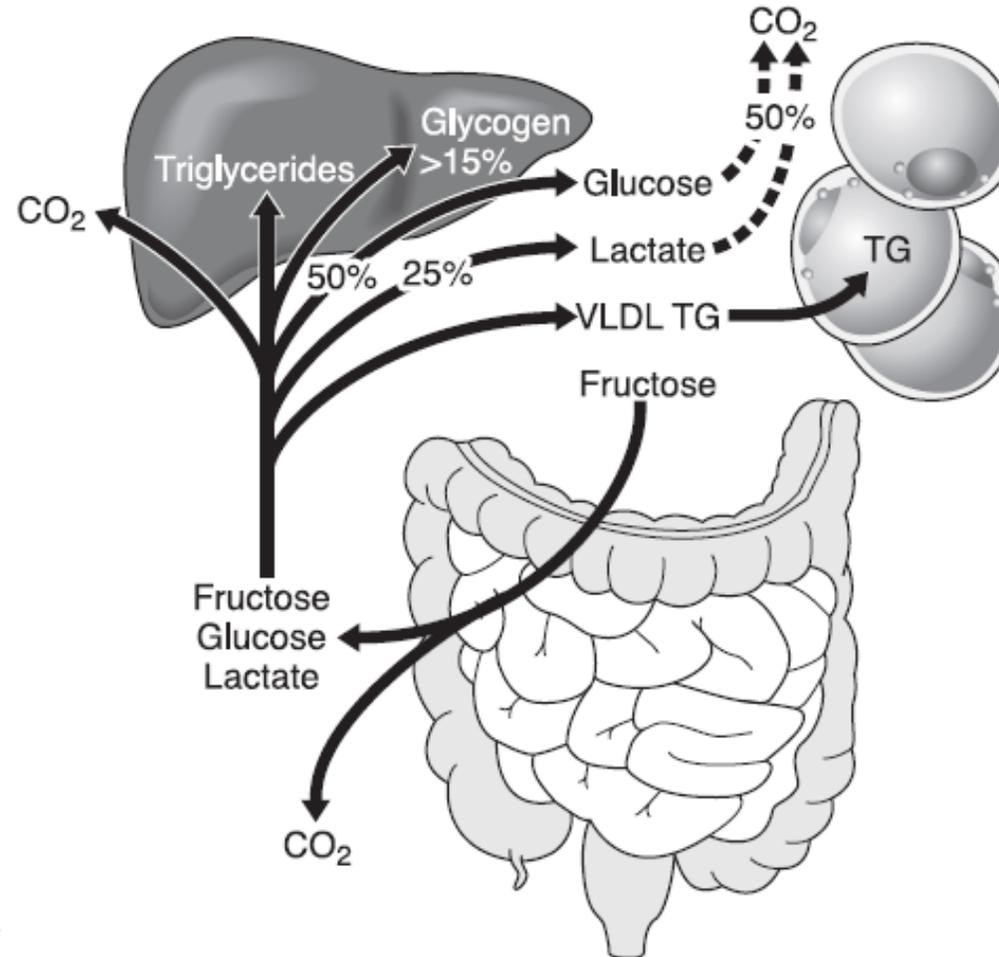


Nach Frayn (2010) Metabolic Regulation: A Human Perspective, Wiley-Blackwell

Und was ist eigentlich mit Galactose und Fructose?

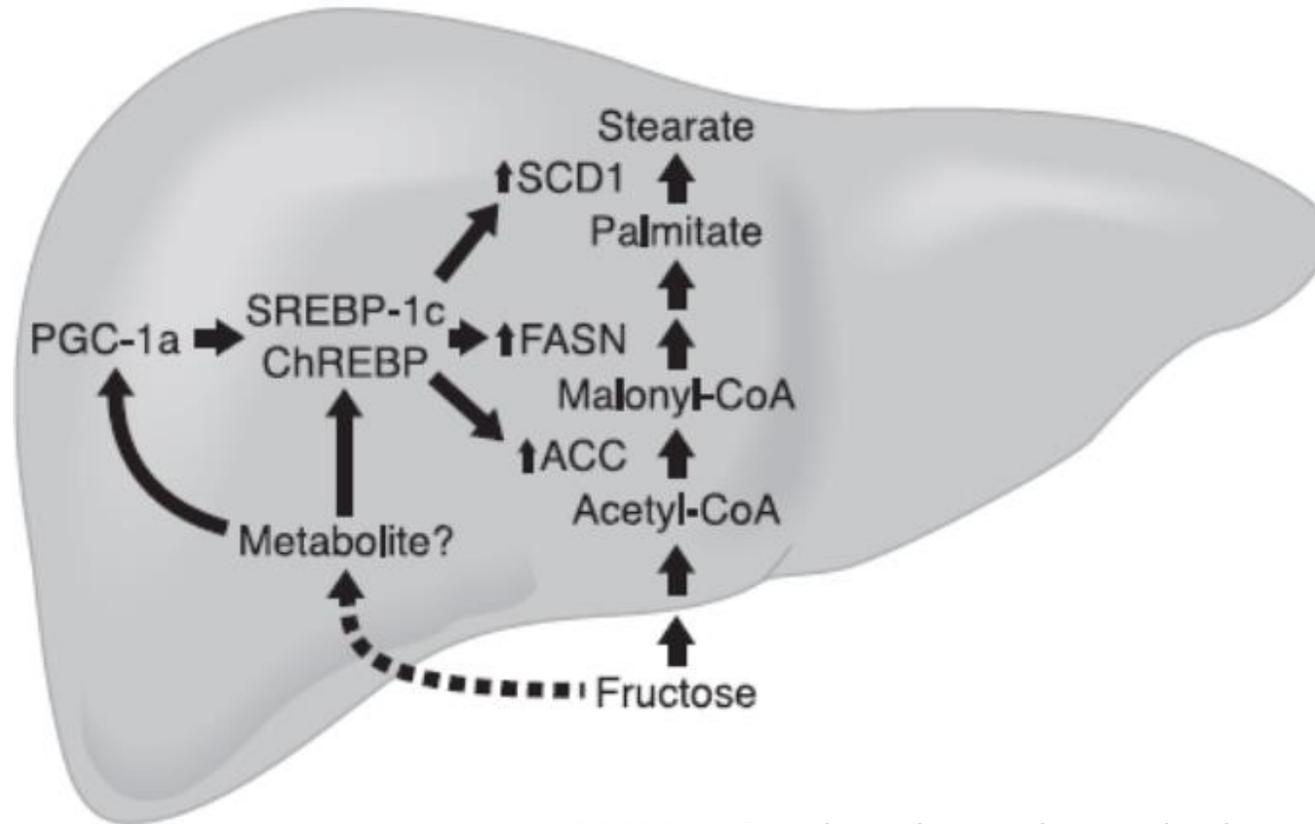


Metabolismus von Fructose



Tappy et al. (2010) Physiol Rev

Fructose-induzierte De-novo-Lipogenese



SREBP-1: Sterol regulatory element-binding transcription factor 1
ChREBP: Carbohydrate-responsive element-binding protein

Tappy et al. (2010) *Physiol Rev*

Gibt es einen Bedarf an Kohlenhydraten?

- Definition „Kohlenhydratbedarf“

50 - 100 g/Tag	Hemmung des Proteinkatabolismus Prävention einer Ketonämie
100 - 200 g/Tag	Prävention einer Hypoglykämie
200 - 300 g/Tag	Deckung der maximalen Glucoseoxidationsrate
max. 700 g/Tag	bei mangel- und schwer fehlernährten Patienten

- Berechnet auf Basis der Kenntnis des Glucose-Stoffwechsels und seiner Regulation

Richtwerte Kohlenhydratzufuhr

- Richtwerte für die Kohlenhydratzufuhr müssen den individuellen Energiebedarf, den Bedarf an Protein und die Richtwerte für die Fettzufuhr berücksichtigen
- Für die Deckung des Energiebedarfs spielen Fette und Kohlenhydrate die wichtigste Rolle
- Eine vollwertige Mischkost sollte begrenzte Fettmengen und mehr als 50 % der Energiezufuhr in Form von Kohlenhydraten enthalten

<https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/kohlenhydrate-ballaststoffe/>

Adipozyten
Lipide Ketonkörper
Veresterung Fettsäuren
Fettstoffwechsel
Glycerol Lipase Chylomikronen Triacylglyceride
VLDL β -Oxidation
Albumin NEFA

Fall: Störungen Fettresorption

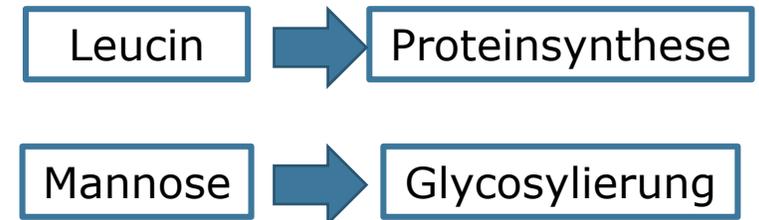
- **Klinische Befunde:**
 - Kind mit Störungen der Fettresorption
 - zusätzlich schwere Durchfälle
- **Labordiagnostik:**
 - Darmbiopsie: Fettröpfchen in Enterozyten



Desomer et al. (2015) Endoscopy

Fall: Störungen Fettresorption

- **Klinische Befunde:**
 - Kind mit Störungen der Fettresorption
 - zusätzlich schwere Durchfälle
- **Labordiagnostik:**
 - Darmbiopsie: Fettröpfchen in Enterozyten
 - Serum: postprandial keine Chylomikronen (CMK)
 - Darmbiopsie:
 - Einsatz von monoklonalen Antikörpern gegen Apo-B48
 - ⇒ hohe Konzentrationen an Apo-B48 in Enterozyten
 - Einsatz von [³H]-Leucin und [¹⁴C]-Mannose:
 - ⇒ Verhältnis von ³H und ¹⁴C: 8,4 (normal 3,0)
 - ⇒ Gesamtproteinsyntheserate 31 % unter der Norm



Fall: Störungen Fettresorption

- Fragen:

1. Molekularer Defekt?
2. Bedeutung des hohen $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ -Verhältnisses?
3. Vorteil der Zufuhr kurz- und mittelkettiger FS?

Fall: Störungen Fettresorption

1. Molekularer Defekt?

- Patient hat keine CMK
→ evtl. Problem in Synthese oder Sekretion eines Apolipoproteins
- Hohe Konz. von Apo-B48 im Darm Hinweis darauf,
dass Protein synthetisiert aber nicht sezerniert wird
→ keine Synthese von CMK möglich
- Patient hat eine **Hypobetalipoproteinämie**

Fall: Störungen Fettresorption

2. Bedeutung des hohen $^3\text{H}/^{14}\text{C}$ -Verhältnisses?

- Proteinsynthese ist gehemmt
- Geringer Einbau von Mannose in Proteine
 - Unzureichende Glycosylierung der Proteine
 - Evtl. defekte Glycosylierung von Apo-B48
 - Hemmung der Bildung und Sekretion von CMK

Fall: Störungen Fettresorption

3. Vorteil der Zufuhr kurz- und mittelkettiger FS?

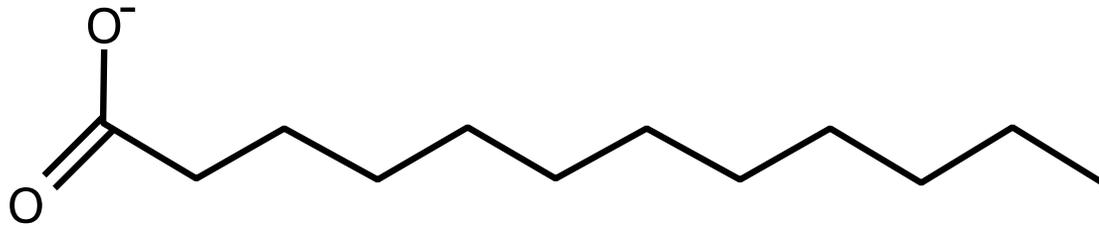
- Kurz- und mittelkettige FS benötigen keine CMK für Absorption

Blutspiegel von Fetten

- Im Gegensatz zu KH (Glucose) liegen Fette in unterschiedlichen Formen im Blut vor
 - Freie Fettsäuren (non esterified fatty acids, NEFA)
 - Triacylglyceride (TAG)
- Konzentrationen unterliegen starken Schwankungen im Tagesverlauf

Plasma-NEFA

- **n**on **e**sterified **f**atty **a**cids (freie Fettsäuren)

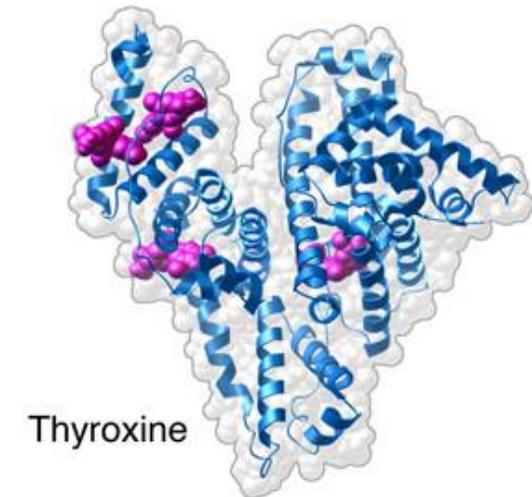
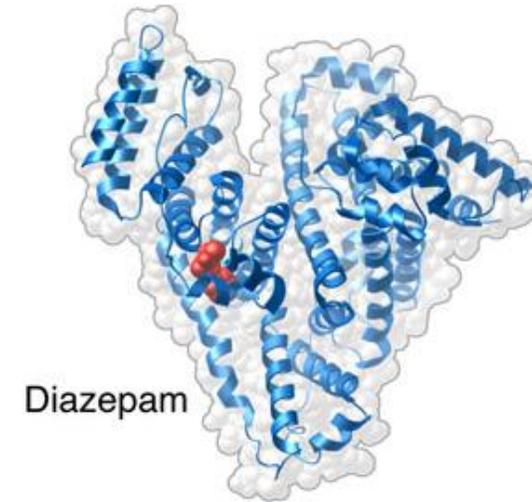
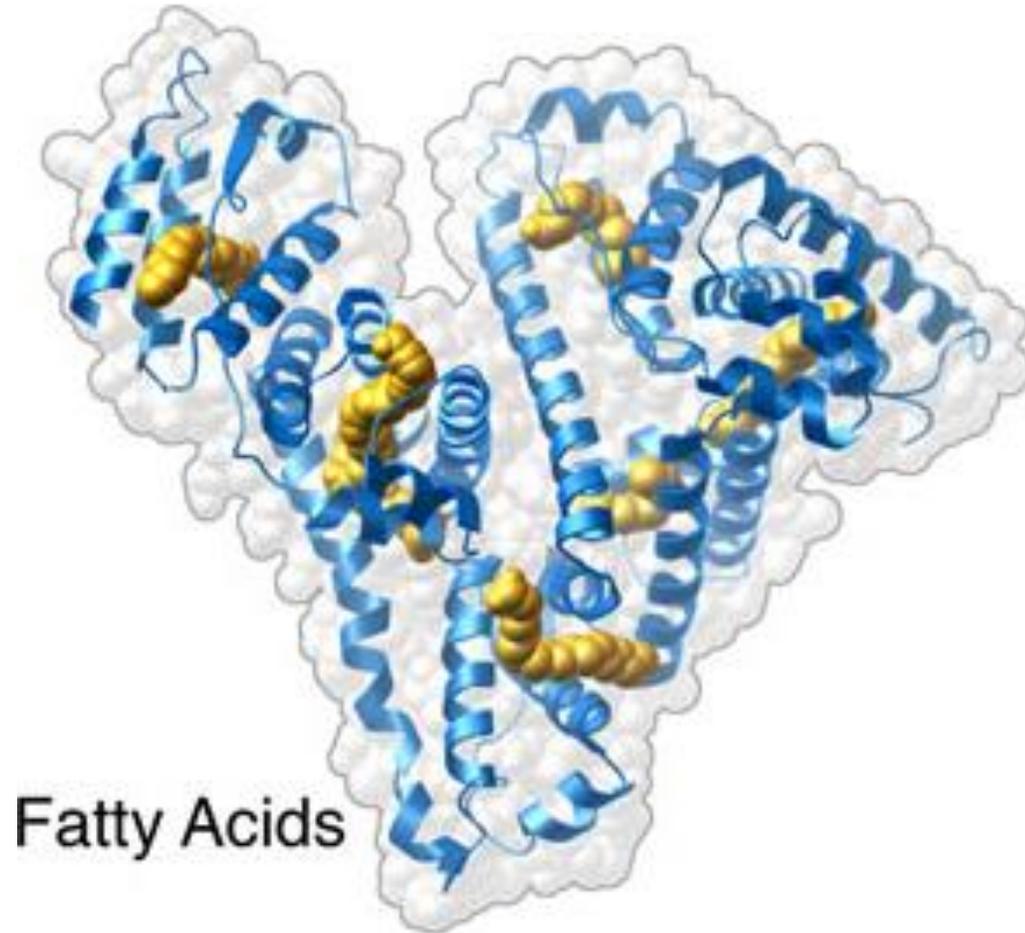


- Werden ausschließlich im Adipozyten aus Triacylglyceriden durch die **hormonsensitive Lipase** ins Plasma freigesetzt (Lipolyse)
- Gelangen gebunden an Albumin in den Blutkreislauf
- Aufnahme und Verwertung insbesondere durch Leber und Skelettmuskel

Plasma-NEFA

- Hydrophob → Transport gebunden an Albumin
- Jedes Albumin-Molekül kann ca. 3 Fettsäuren binden
Bindung ist unspezifisch: NEFA, Tryptophan und Medikamente konkurrieren um die Bindungsstellen

Plasma-NEFA

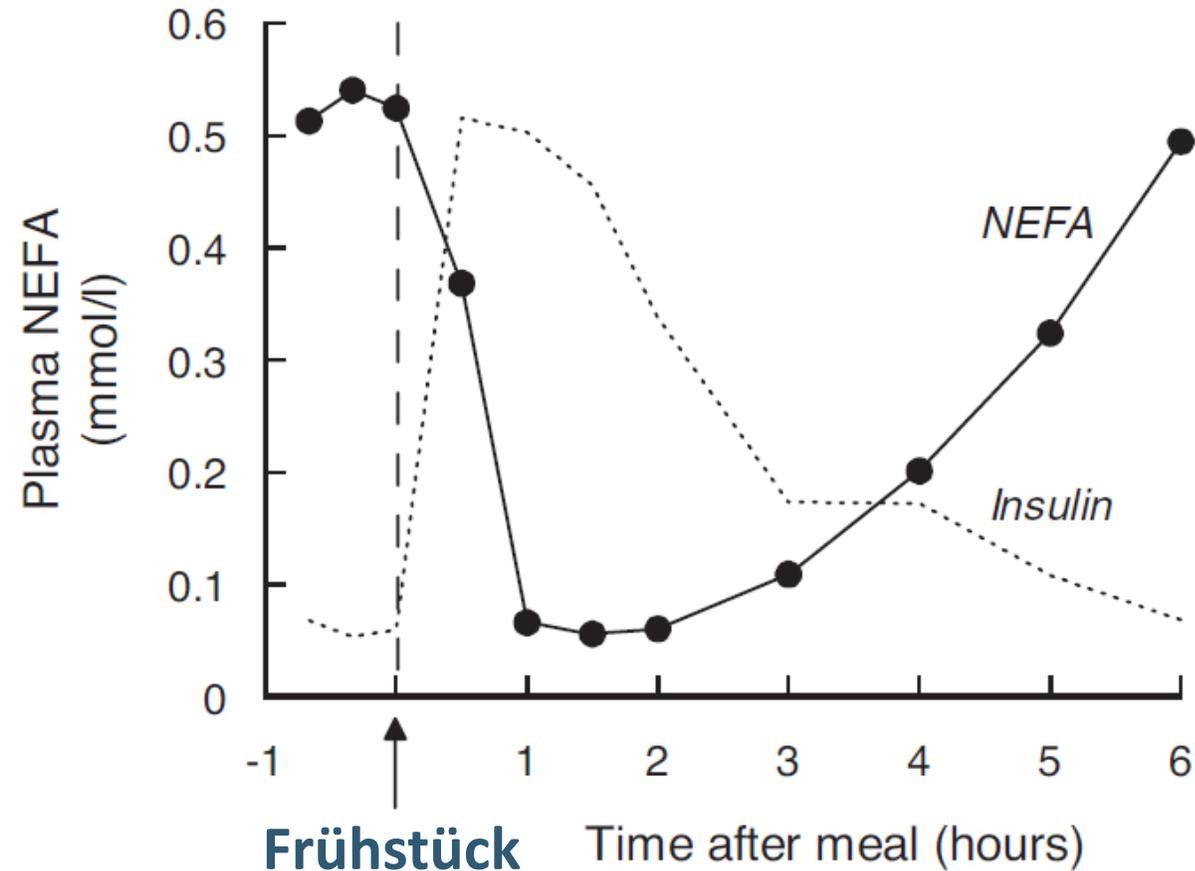


David Goodsell, PSI Structural Biology Knowledgebase
<http://sbkb.org/fs/serum-albumins-and-allergies> (20.08.2016)

Plasma-NEFA

- Hydrophob → Transport gebunden an Albumin
 - Jedes Albumin-Molekül kann ca. 3 Fettsäuren binden
Bindung ist unspezifisch: NEFA, Tryptophan und Medikamente konkurrieren um die Bindungsstellen
 - Albumin-Plasmakonzentration: 0,6 mmol/l
 - $3 \times 0,6 \text{ mmol/l} = \text{ca. } \mathbf{2 \text{ mmol/l}}$ Fettsäuren können aufgenommen werden
 - $\mathbf{<1 \text{ } \mu\text{mol/l}}$ ist ungebunden
-) **Equilibrium**
- Bei NEFA-Plasmakonzentration über 2 mmol/l (z.B. in Stresssituationen) auch Zunahme des Anteils ungebundener NEFA
→ Risiko: Lipotoxizität, Apoptose, Diabetes mellitus, koronare Herzerkrankungen, Herzversagen,...

Plasma-NEFA



Frays (2010) Wiley-Blackwell

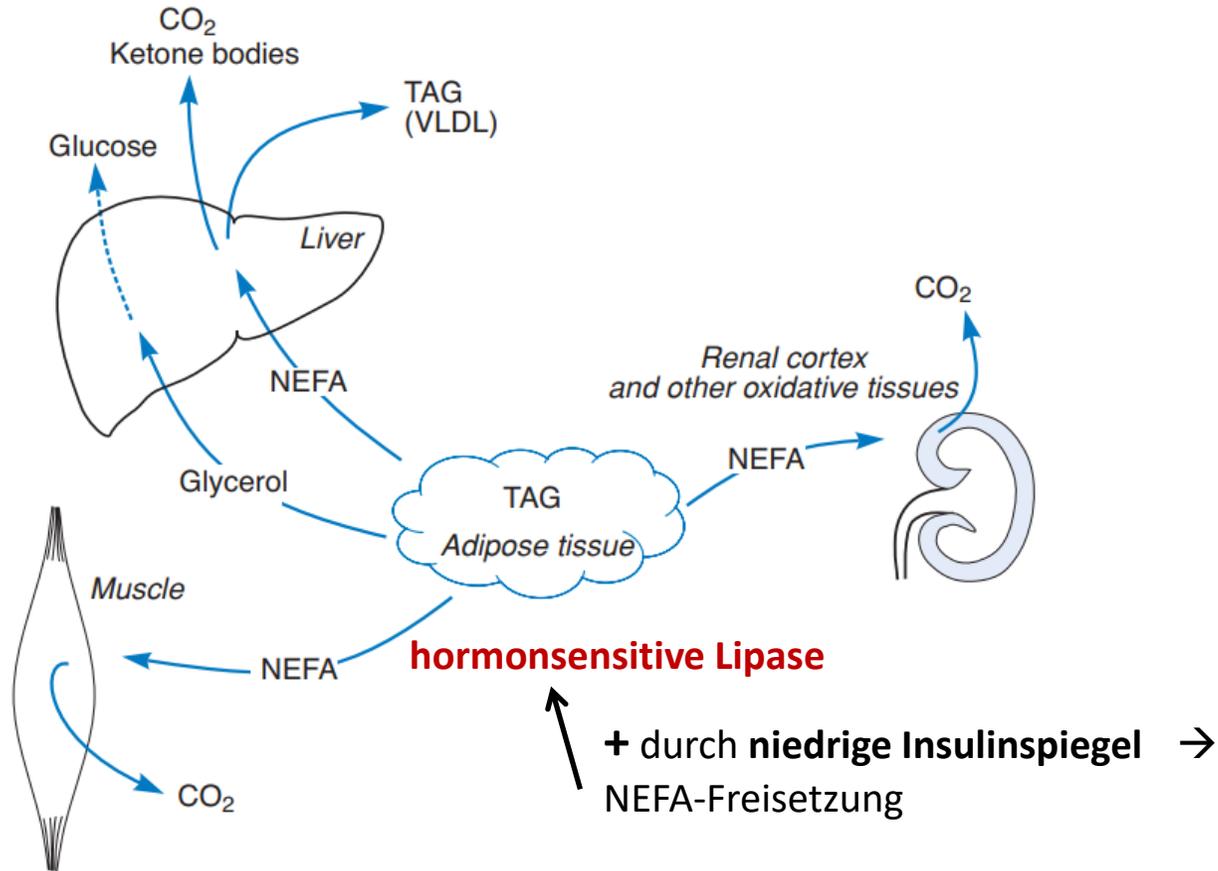
Plasma-NEFA hängt eng mit Glucose-/Insulinspiegeln zusammen (invers)

Plasma-TAG

- Liegen in Form von Lipoproteinen im Plasma vor (CMK, VLDL)
- Nüchtern Plasmakonzentrationen:

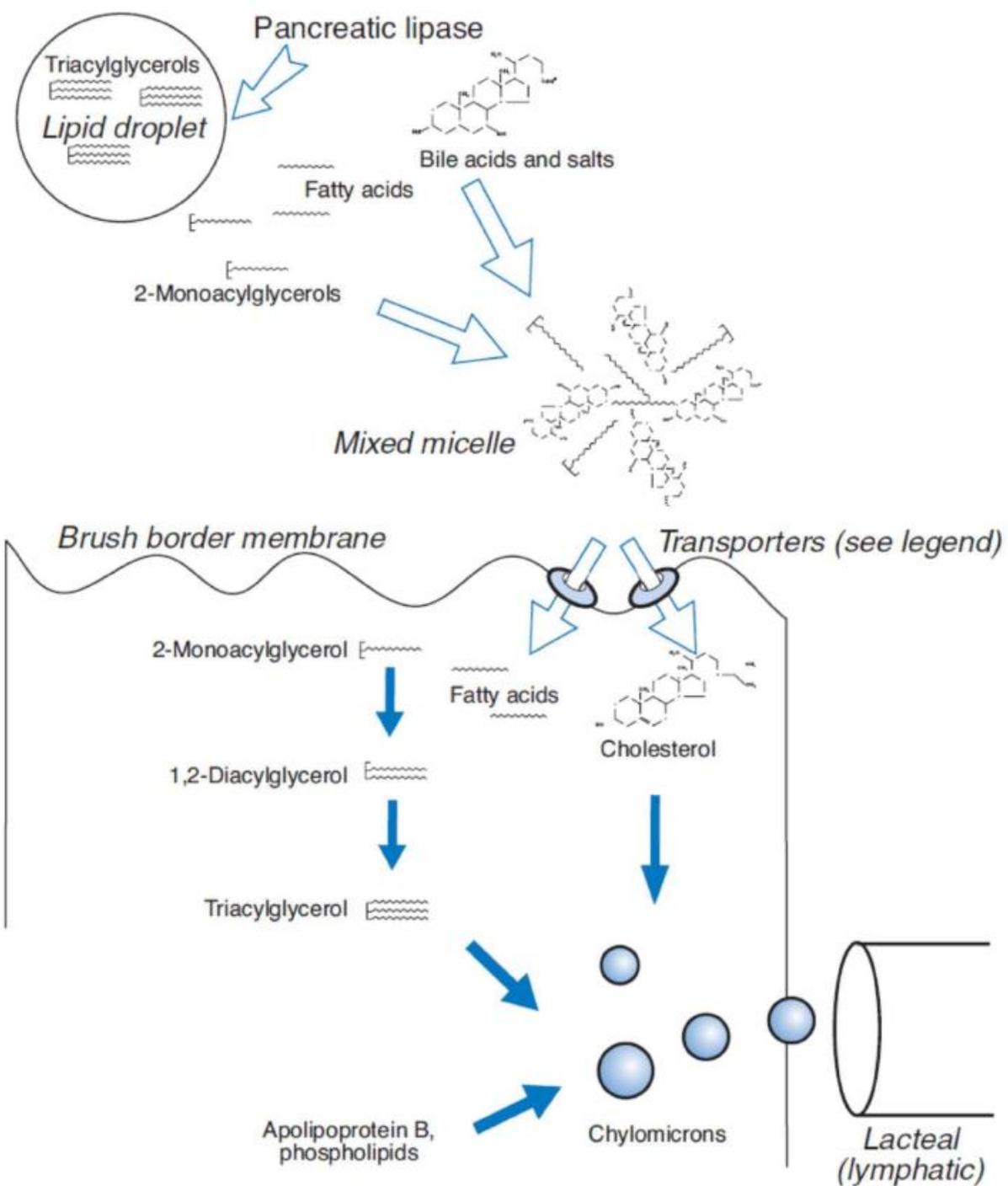
CMK	$\leq 0,05$ mmol/l
TAG	ca. 1 mmol/l
NEFA	ca. 0,5 mmol/l

Postabsorptiver Fettsäurestoffwechsel



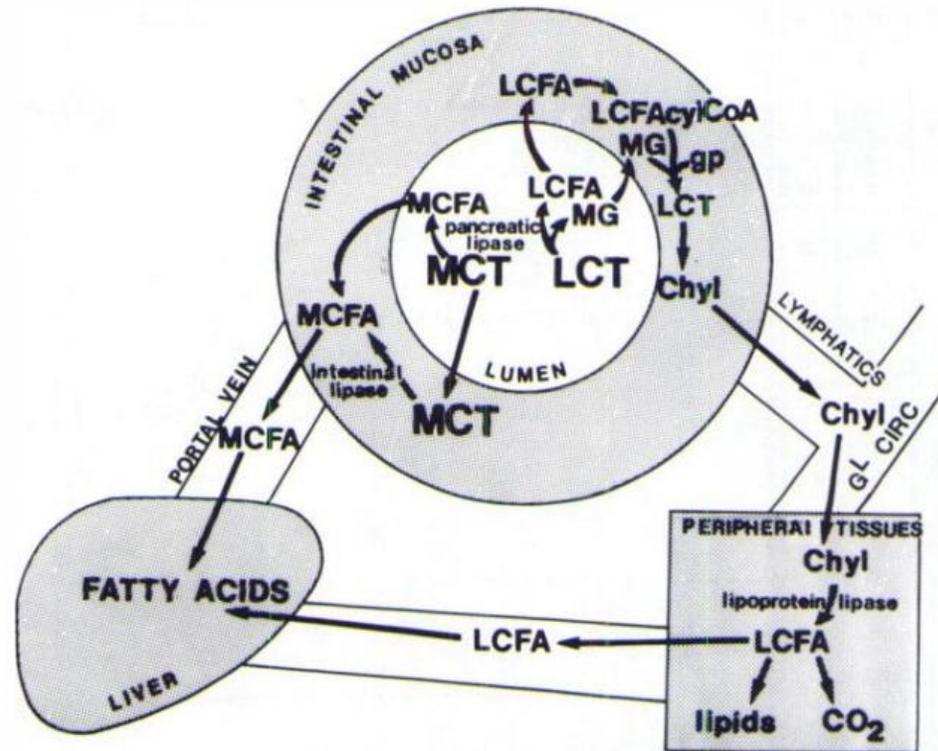
Frayn (2010) Metabolic Regulation: A Human Perspective, Wiley-Blackwell

Verdau von Fetten



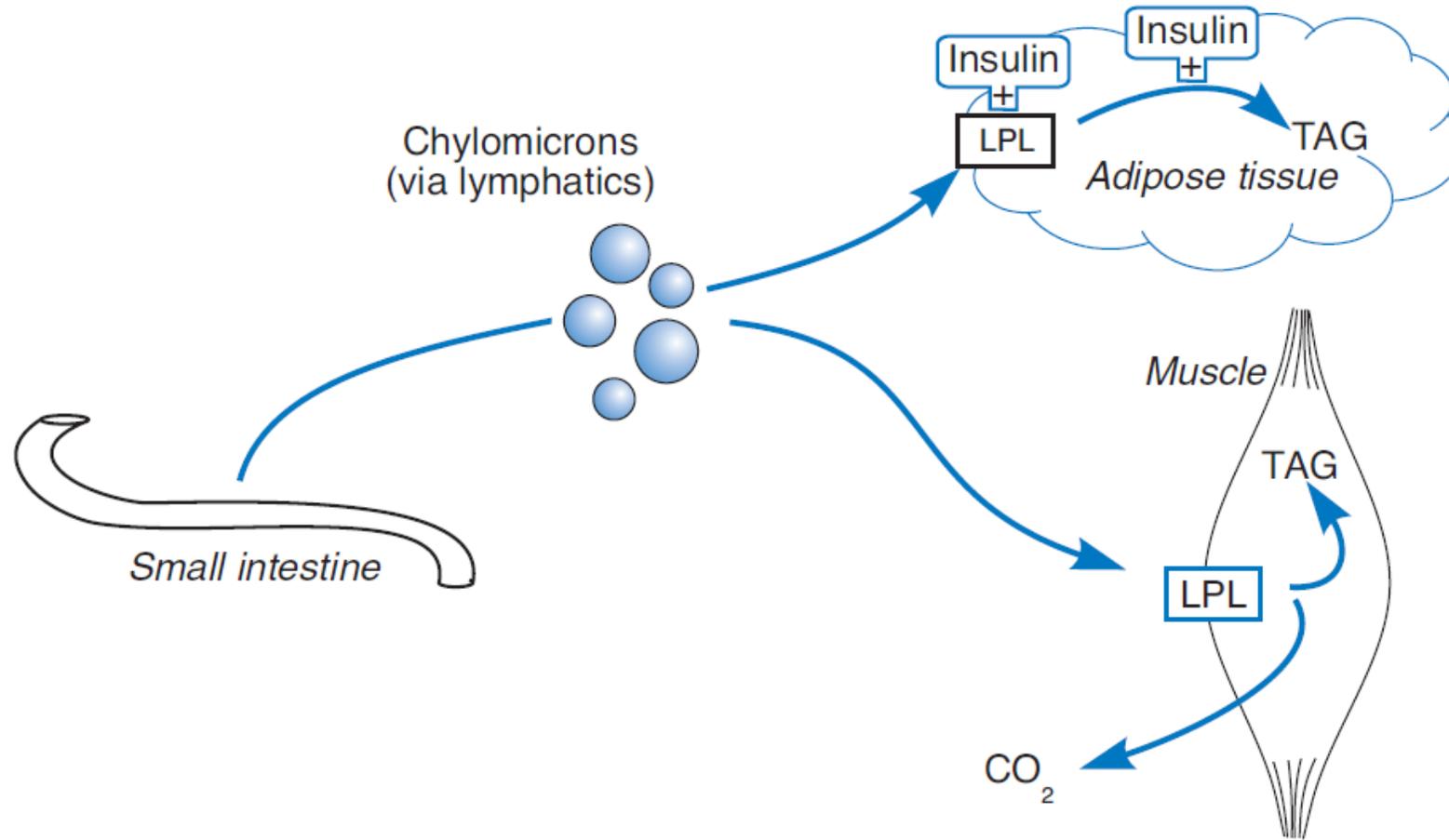
Frayn (2010) Wiley-Blackwell

Unterschied zwischen SCFA/MCFA und LCFA



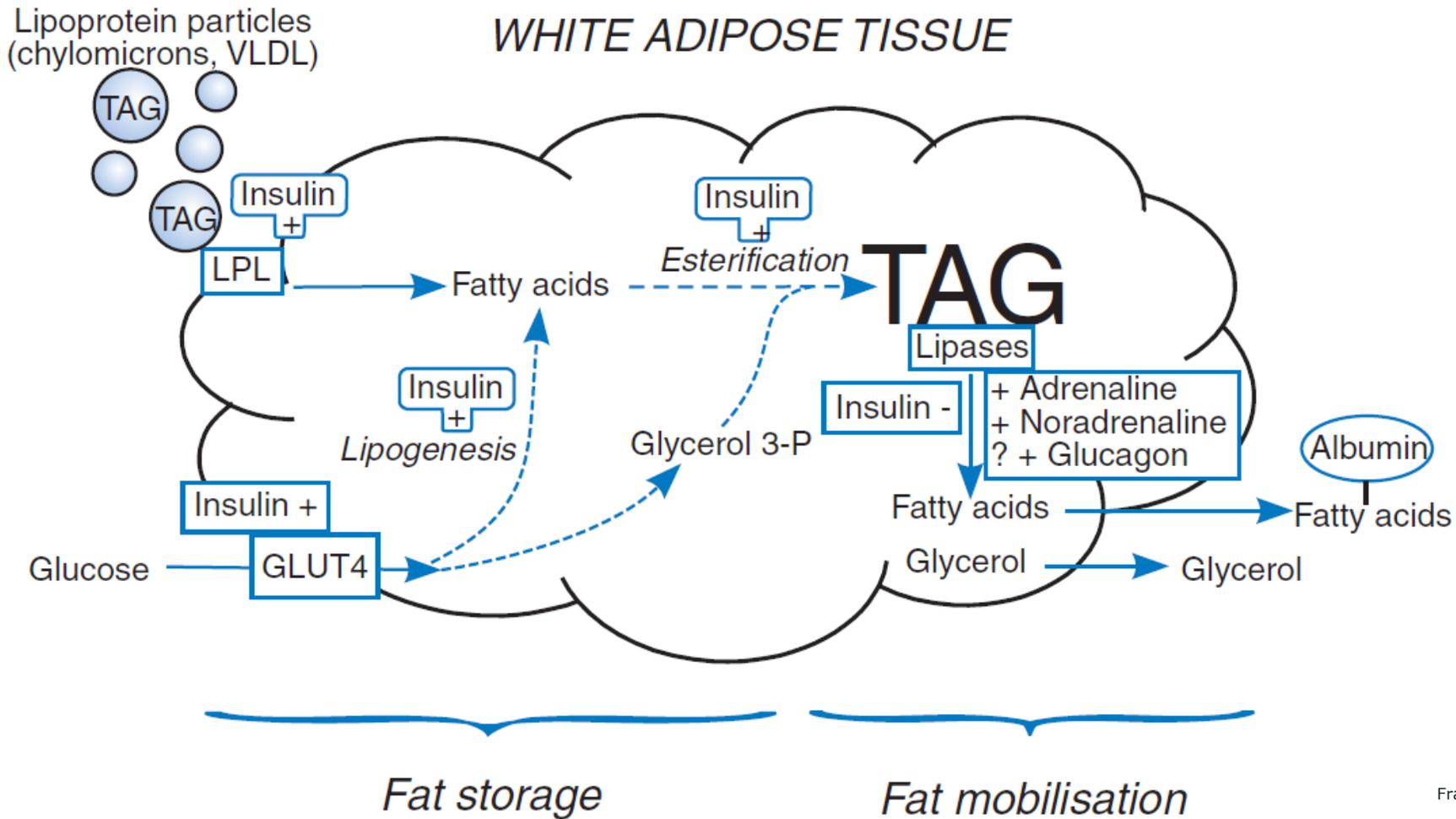
Bach und Babayan (1982) Am J Clin Nutr

Postprandialer Fettstoffwechsel



Frayn (2010) Wiley-Blackwell

Postprandialer Stoffwechsel - TAG



Frayn (2010) Wiley-Blackwell

Richtwerte Fettzufuhr

Alter	Fett % der Energie
Säuglinge	
0 bis 4 Monate	45 - 50
4 bis < 12 Monate	35 - 45
Kinder	
1 bis < 4 Jahre	30 - 40
4 bis <15 Jahre	30 - 35
Jugendliche und Erwachsene	
Ab 15 Jahre	30 ^a
Schwangere (ab 4. Monat)	30 - 35
Stillende	30 - 35

^a Personen mit erhöhtem Energiebedarf (PAL > 1,7) können höhere Prozentsätze benötigen.

<https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/fett/>

Aminosäure- und Proteinstoffwechsel

Muskel
Turnover
2-Oxosäure
Essentielle Aminosäuren
Aminosäuresynthese
BCAA
Wertigkeit
Anabol
Stickstoffbilanz
Strukturprotein
Transaminierung
Harnstoff

Fall: Blauer Urin

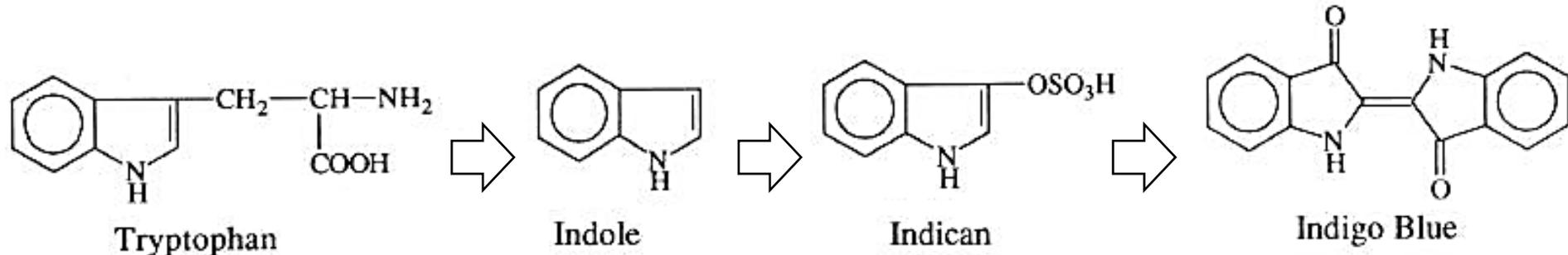
- 10 Monate alter Junge mit Wachstumsstörungen und Fieberschüben
- Blaufärbung des Urins nach oraler Gabe von Tryptophan
- Eine Analyse des Farbstoffs weist diesen als Indigoblau aus
- Serum und Urin: sehr geringe Tryptophankonzentration



Distelmaier *et al.* (2018) Pediatrics

Fall: Blauer Urin

- Welchen Defekt besitzt der Patient?
- Mögliche Gründe für niedrige Tryptophan Serumkonzentration:
 - Schlechte Absorption von Tryptophan?
 - Vermehrte Ausscheidung von Tryptophan?
 - Schnellere Metabolisierung von Tryptophan?



Luduena (1995) Klinische Biochemie

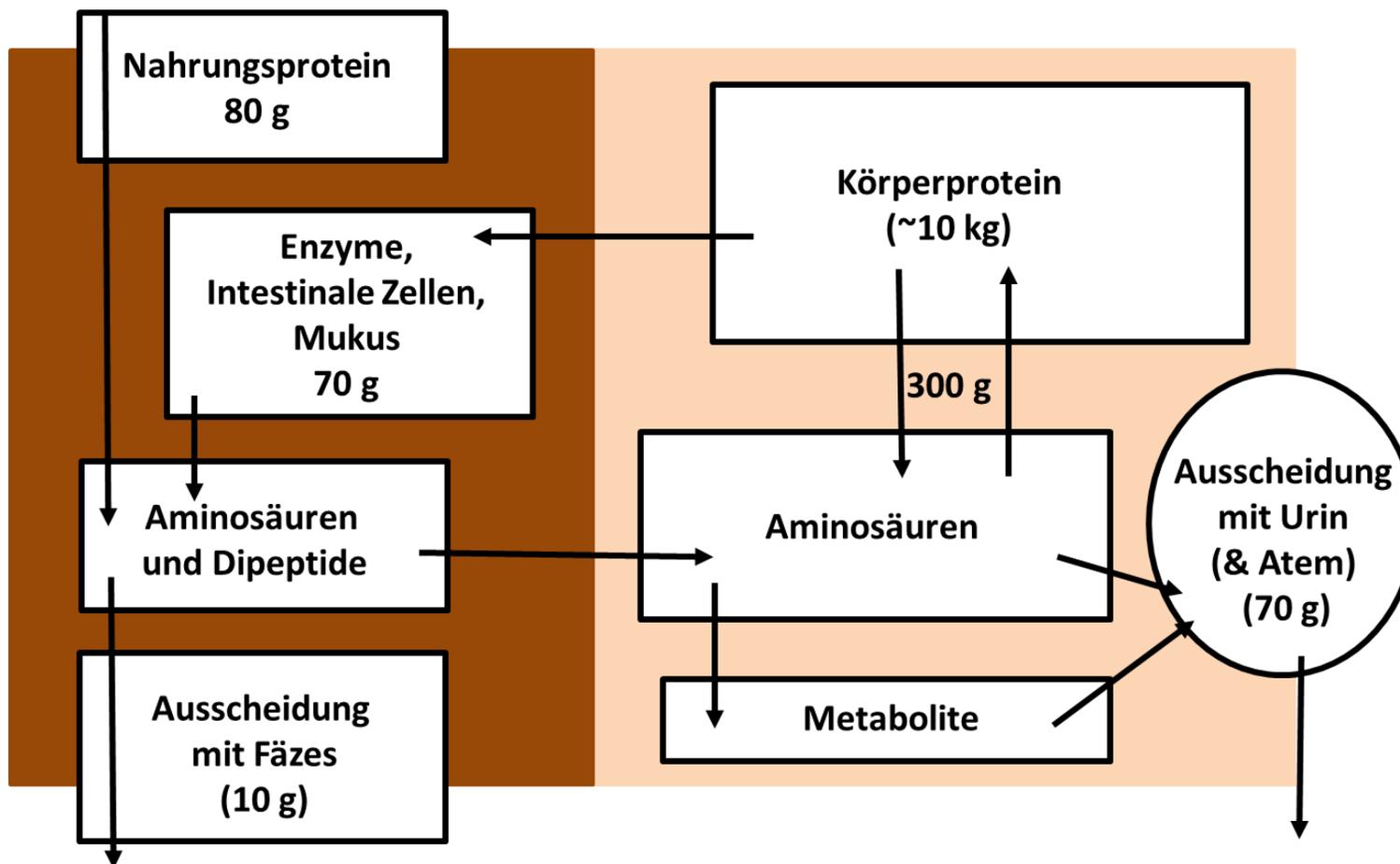
Aminosäurepool

- Aminosäurepool unterliegt einem ständigen Auf- und Abbau; **keine** Kontroll- und Regulationsmechanismen (im Gegensatz zu Proteinen)
- Abhängig von:
 - Aminosäuren aus der Nahrung
 - Proteinabbau / Aminosäuresynthese
 - Oxidation, Einbau in Protein, Umwandlung in andere Metabolite

Protein-Turnover

- Äquivalente Menge der Proteinzufuhr wird täglich oxidiert → ausgeglichene N-Bilanz
- Beim Heranwachsenden: Positive N-Bilanz
- Körperproteine unterliegen einem ständigen Turnover (Auf- und Abbau)
- „Proteinspeicher“ primär zum Erhalt verschiedener biologischer Funktionen, nicht zur Energiegewinnung
- Oxidierte Aminosäuren machen 10 – 20 % des gesamten oxidativen Metabolismus des Körpers aus

Protein-Turnover bei ausgeglichener N-Bilanz

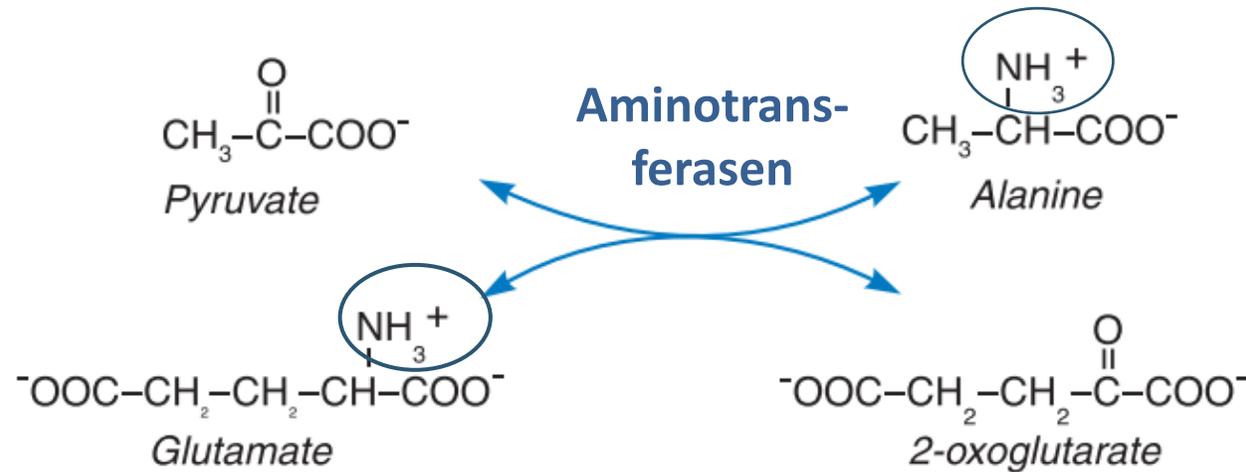


Protein-Turnover

Organ	Austausch pro Tag (%)	Gesamt-Protein-Synthese (g/d)	Anteil an Gesamt-Körper-Protein-Synthese (%)
Gesamter Körper	3%	300	(100)
Skelettmuskel	2%	120	41%
Leber	10%	80	25%
Dünndarm	14%	70	23%
Dickdarm	7%	8	3%
Nieren	5%	3	1%
Herz	2%	1	0,4%

Nach Frayn (2010) Wiley-Blackwell

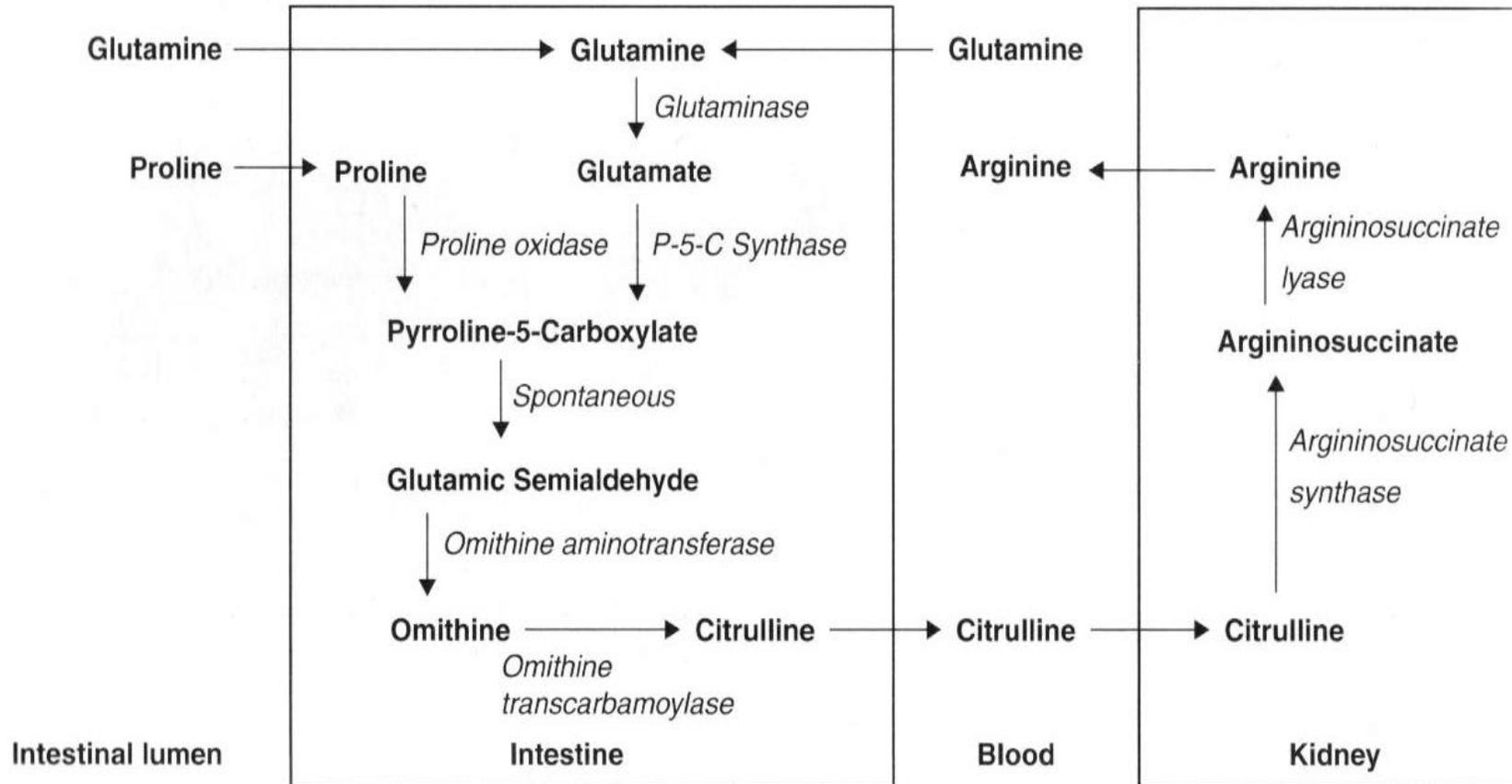
Transaminierung



Frayn (2010) Wiley-Blackwell

- Transfer der Aminogruppe einer Aminosäure (Donor) auf eine 2-Oxosäure (Akzeptor) durch Aminotransferase
- Bildung einer neuen 2-Oxosäure (aus Donor) und einer neuen Aminosäure (aus Akzeptor)
→ Paare von Aminosäuren können umgewandelt werden

Arginin – konditionell essenzielle AS

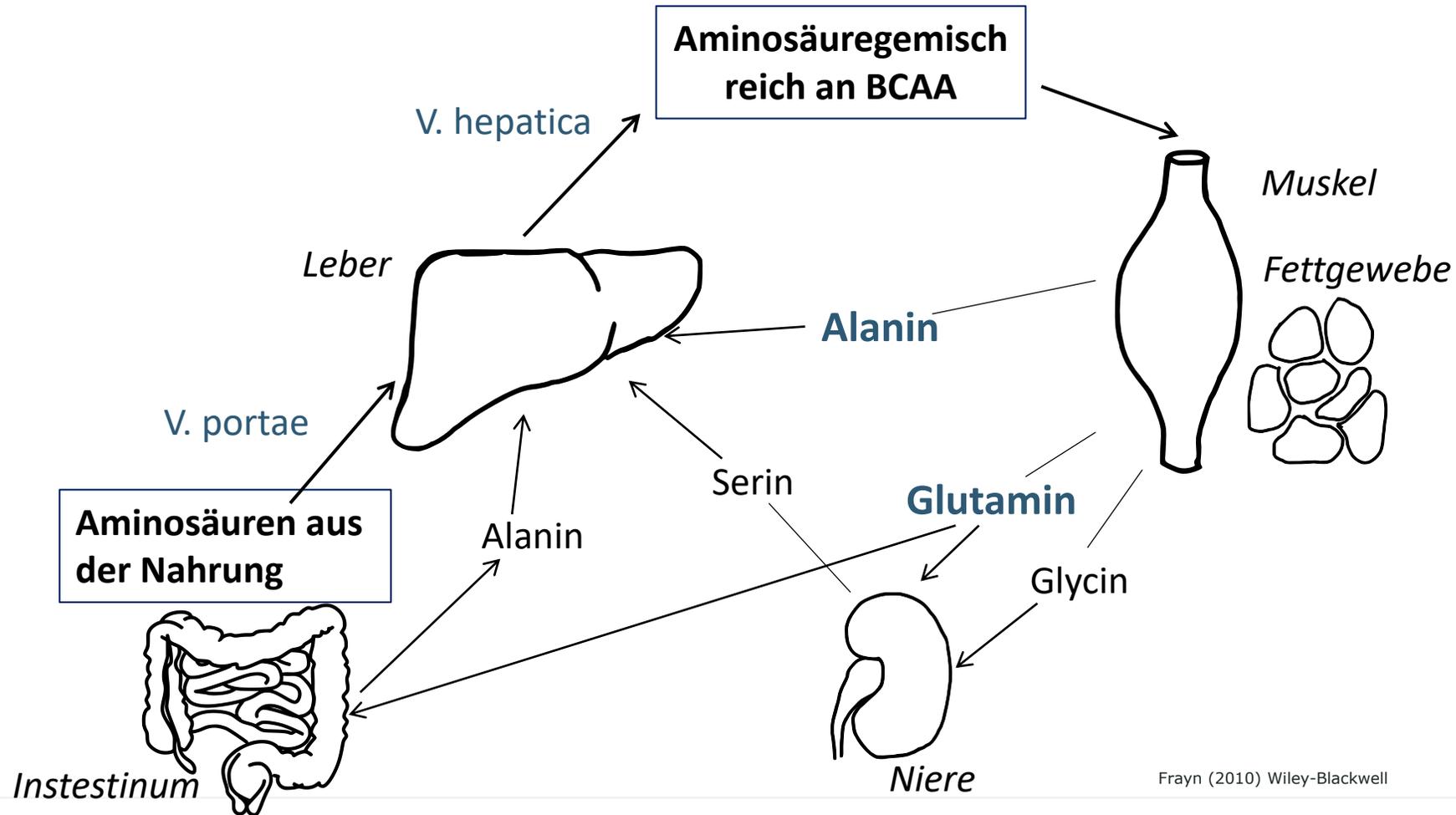


Frayn (2010) Wiley-Blackwell

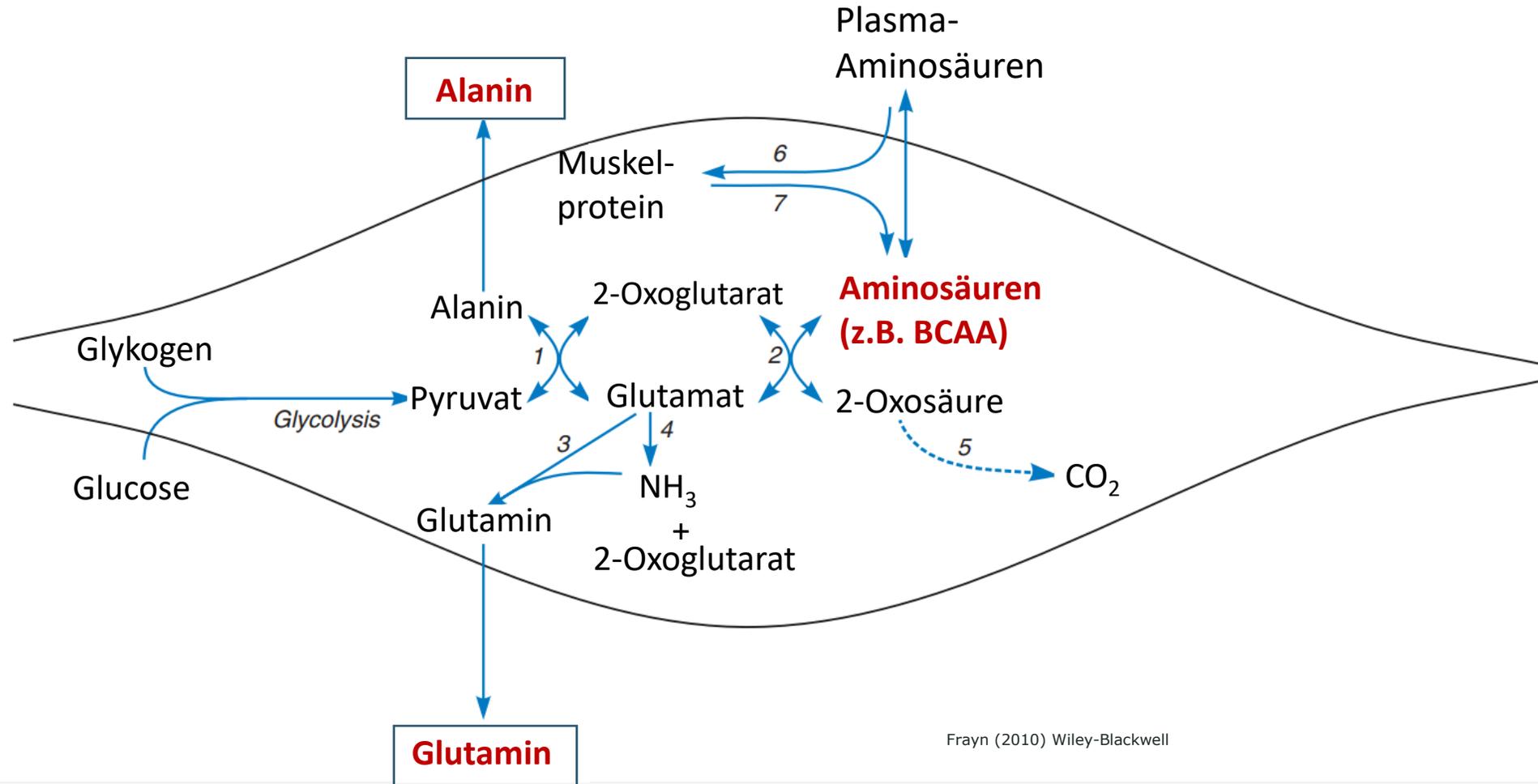
Postprandialer Stoffwechsel

- Denaturierung und enzymatische Hydrolyse von Nahrungsproteinen in Aminosäuren und Di- / Tripeptide
- Absorption durch Aminosäure- und Peptidtransporter
- Einstrom der absorbierten Aminosäuren über Portalvene zur Leber
- Portalvene: reflektiert Aminosäurezusammensetzung der Nahrung
- Hepatische Vene: Anreicherung der verzweigtkettigen Aminosäuren (BCAA)
BCAA werden v.a. vom Skelettmuskel aufgenommen und oxidiert

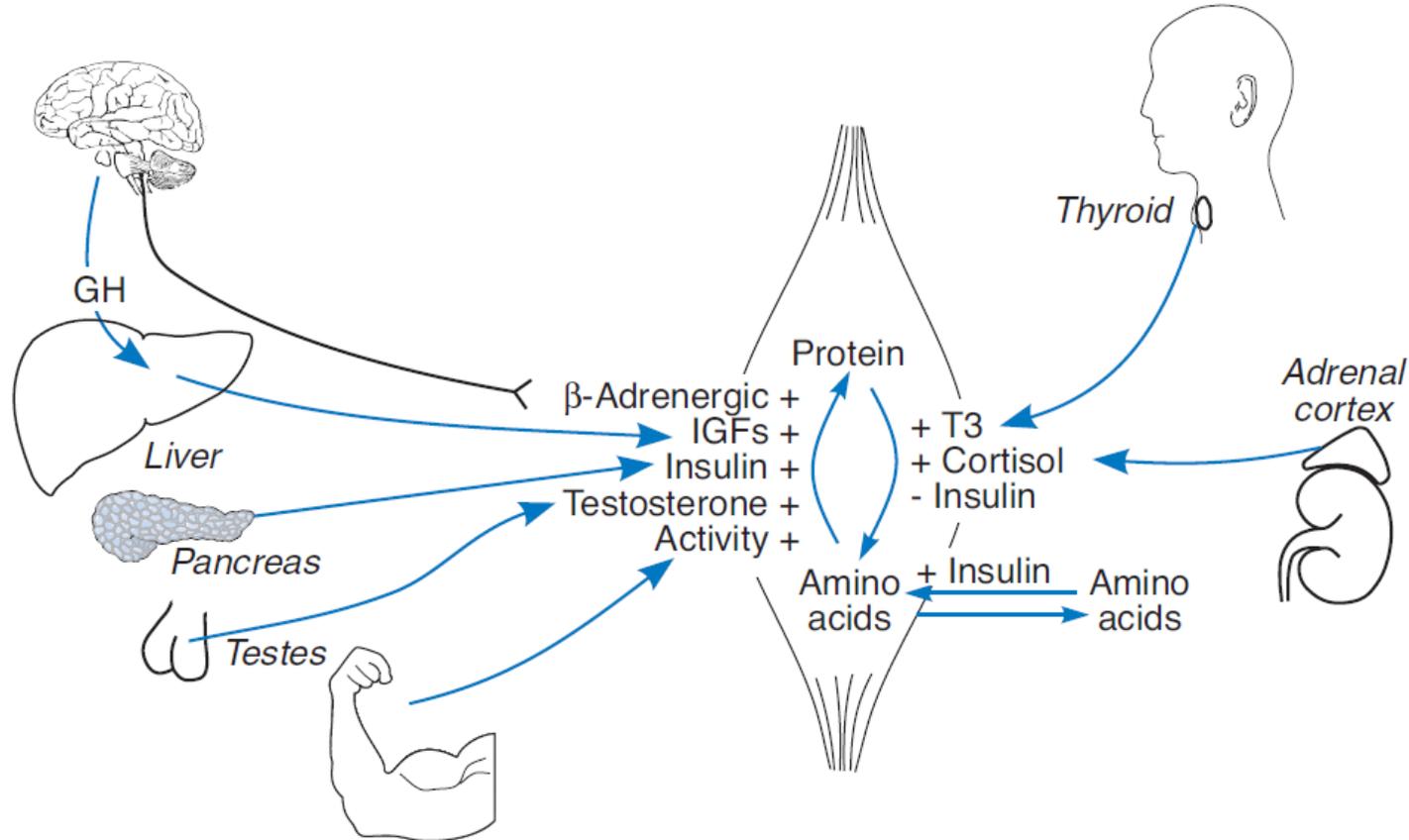
Hauptwege des Aminosäurestoffwechsels



Skelettmuskel

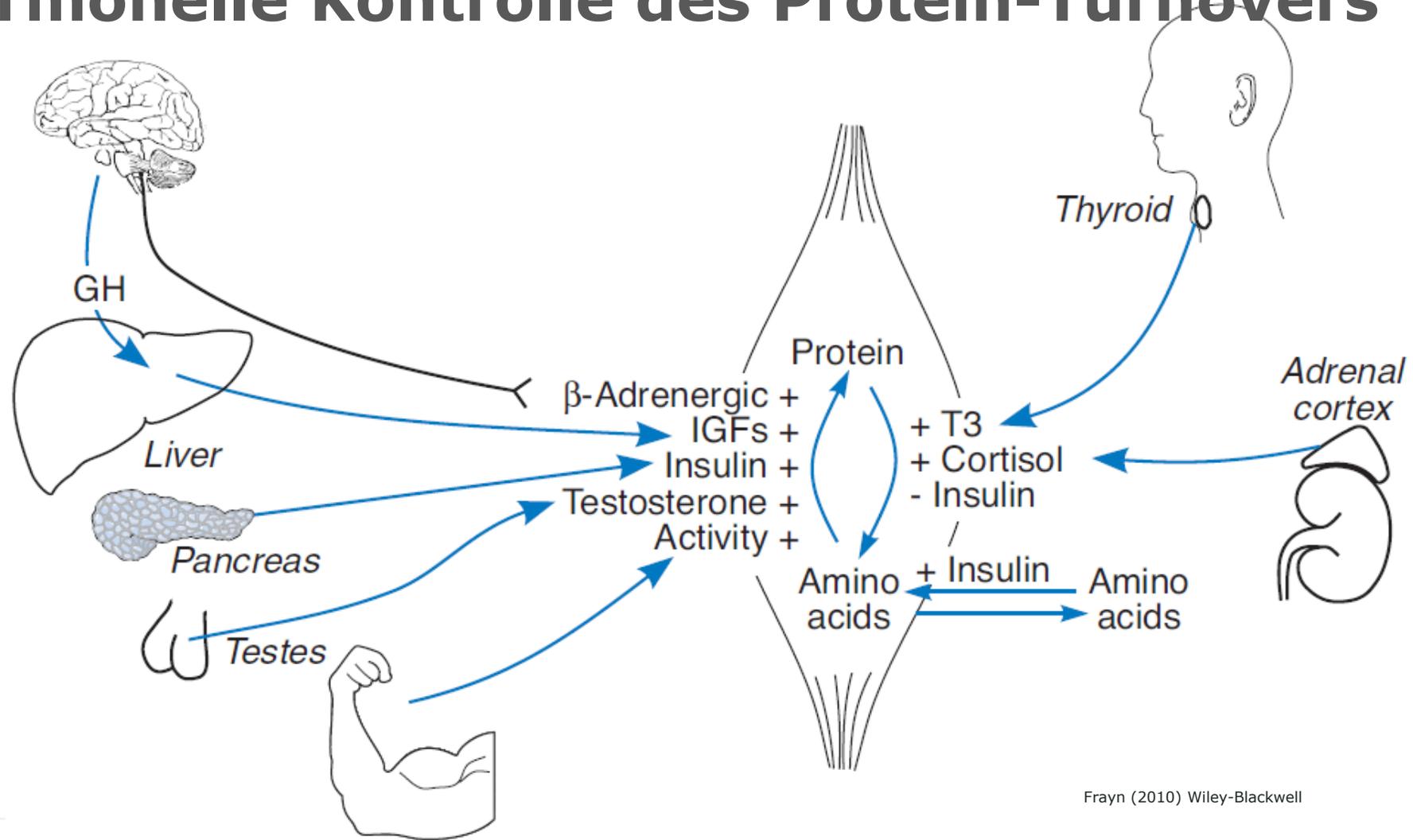


Kontrolle des Protein-Turnovers



Frayn (2010) Wiley-Blackwell

Hormonelle Kontrolle des Protein-Turnovers



Frayn (2010) Wiley-Blackwell

Referenzwerte Proteinzufuhr

Alter	g/kg Körpergewicht/Tag ^a	
	m	w
Säuglinge		
0 bis < 1 Monat ^c	2,5	
1 bis < 2 Monate ^c	1,8	
2 bis < 4 Monate ^c	1,4	
4 bis < 12 Monate	1,3	
Kinder und Jugendliche		
1 bis < 4 Jahre	1,0	
4 bis < 15 Jahre	0,9	
15 bis < 19 Jahre	0,9	0,8
Erwachsene		
19 bis < 65 Jahre	0,8	
Ab 65 Jahre ^d	1,0	
Schwangere		
2. Trimester		0,9
3. Trimester		1,0
Stillende		1,2

^a Die Angaben beziehen sich auf Normalgewicht; bei Übergewicht (BMI > 25 kg/m² bei Erwachsenen) sollte das Normalgewicht für die Berechnung zugrunde gelegt werden.

^c Hierbei handelt es sich um Schätzwerte; die Ableitung orientiert sich an der Zusammensetzung der Frauenmilch.

^d Hierbei handelt es sich um Schätzwerte; der Proteinbedarf für ältere Erwachsene lässt sich nicht mit wünschenswerter Genauigkeit bestimmen, daher kann keine empfohlene Zufuhr abgeleitet werden.

<https://www.dge.de/wissenschaft/referenzwerte/protein/>

Qualität der Nahrungsproteine

- Je mehr die Zusammensetzung der Aminosäuren eines Lebensmittels dem menschlichen Bedarf für die Proteinsynthese entspricht, desto höher ist die Wertigkeit
- Verschiedene Methoden zur Beurteilung der Wertigkeit:
 - Biologische Wertigkeit:

$$BW = \frac{\text{im Körper retinierter } N}{\text{im Darm absorbiertes } N} * 100$$

- *Protein digestibility corrected amino acid score:*

$$PDCAAS = \frac{\text{Konz. der limitierenden AS im Testprotein}}{\text{Konz. der gleichen AS im Referenzprotein}} * \text{Wahre Verdaulichkeit}$$

Qualität der Nahrungsproteine

Nahrungsmittel	BW	PDCAAS
Vollei	100	1,0
Molkeprotein	100	1,0
Kuhmilch	85	1,0
Sojamehl	84	1,0
Rindfleisch	87	0,9
Kartoffel	96	0,6
Reis	82	0,6
Mais	72	0,5
Weizen	59	0,4
Bohnen	73	0,4

Biesalski (2010) Ernährungsmedizin, Thieme

Verknüpfungen des Makronährstoff-Stoffwechsels

Kohlenhydrate

De Novo Lipogenese

Fette

Pyruvatdehydrogenase

Cori-Zyklus

Proteine

Glucose-Alanin-Zyklus

Glucose-Lactat-Zyklus

Phosphofruktokinase

Glucose-Fettsäure-Zyklus

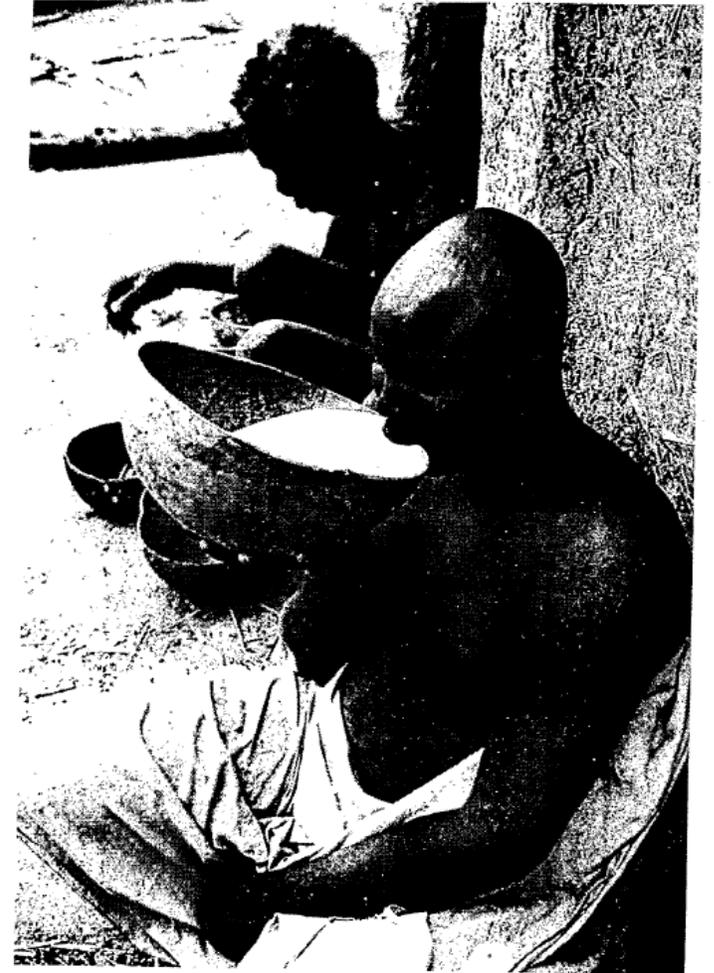
De Novo Lipogenese

- Synthese von Fettsäuren und Triacylglyceriden aus „Nicht-Fett“-Substraten (v.a. Glucose und Aminosäuren),
- In Leber und Fettgewebe
- Übermaß an Kohlenhydraten kann in energiereicherer Form (TAG) gespeichert werden
- Acetyl-CoA (aus Abbau von Glucose, AS oder FS) kann zur Synthese von Fettsäuren herangezogen werden
- Regulation durch Insulin: Insbesondere Stimulation des geschwindigkeitsbestimmenden Schritts der Fettsäuresynthese, der Acetyl-CoA-Carboxylase (ACC)

De Novo Lipogenese

Guru Walla

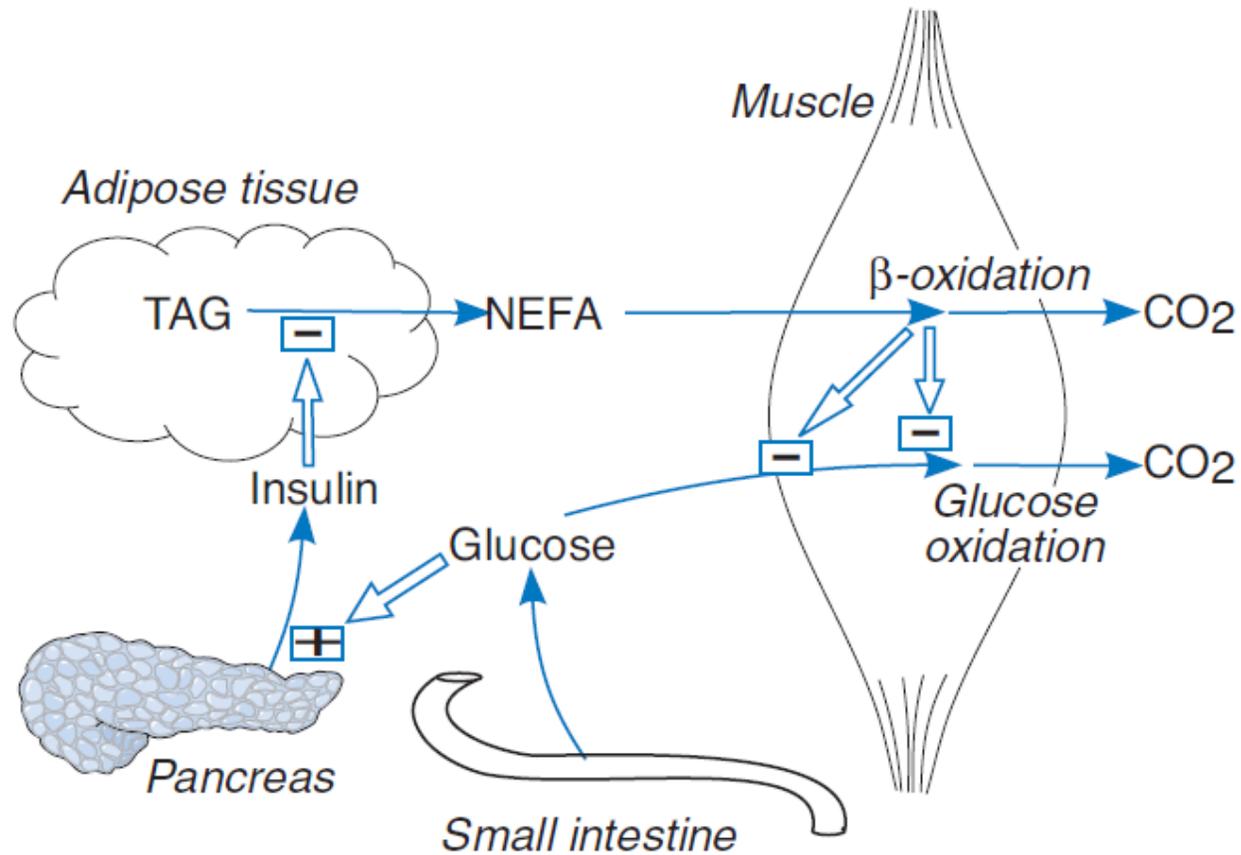
- „Überfütterungsritual“ eines Stammes in Kamerun
- Junge Männer konsumieren über 60 Tage hohe Mengen an Sorghum und Kuhmilch (alle 3 Stunden)
- High Carb Ernährung (ca. 70 % KH, 15 % Fett, 15 % Protein)
- Durchschnittlicher Gewichts-zuwachs von 17 kg
- Führt zum Anstieg der de novo Lipogenese



De Garine, Koppert (1991) Ecology of Food and Nutrition

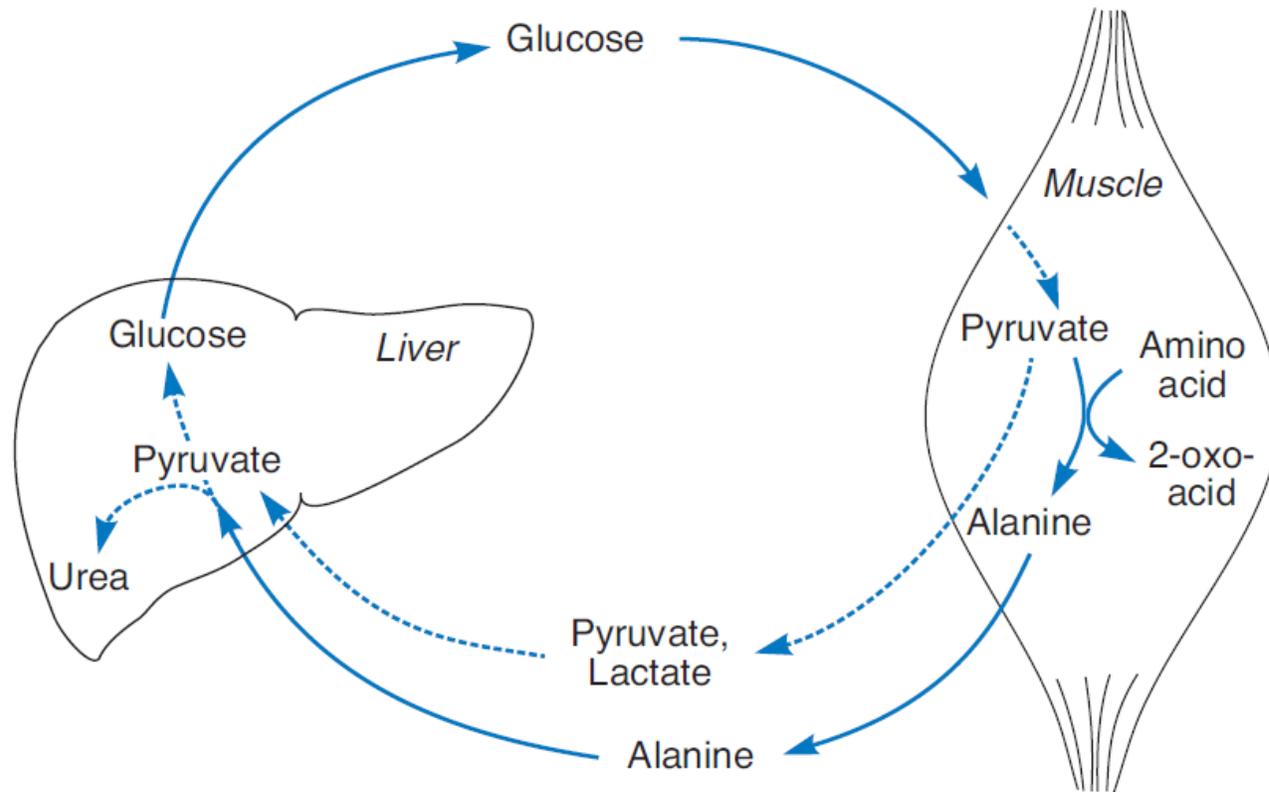
FIGURE 2 S. gorging on milk at the end of the fattening session, November 1976.

Glucose-Fettsäure-Zyklus



Frayn (2010) Metabolic Regulation: A Human Perspective, Wiley-Blackwell

Glucose-Alanin-Zyklus und Glucose-Lactat- (Cori-) Zyklus



Frayn (2010) Metabolic Regulation: A Human Perspective, Wiley-Blackwell

Zusammenfassung

- $\text{Energieaufnahme} = \text{Energieaufwand} + \text{Energiespeicher}$
- Energieumsatz setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen
- Messung des Energieumsatzes durch direkte / indirekte Kalorimetrie oder doppelt markiertes Wasser
- Stark kontrollierte Glucosehomöostase zur Versorgung glucoseabhängiger Organe
- Blutspiegel von Fetten unterliegen starken Schwankungen im Tagesverlauf und sind abhängig von der Energieversorgung
- Körperproteine primär zum Erhalt körperlicher Funktionen und unterliegen ständigem Turnover; Aminosäuren können teilweise ineinander umgewandelt werden
- Verknüpfung des Makronährstoffmetabolismus über Lipogenese, Glucose-Fettsäure-, Glucose-Alanin- und Cori-Zyklus