



Sportmedizin

Dr. med. Karlheinz Zeilberger

Internist - Sportmedizin

Alzheimer Eck 10 - 80331 München

Tel: 089 / 95 62 82 – www.sportmed089.de

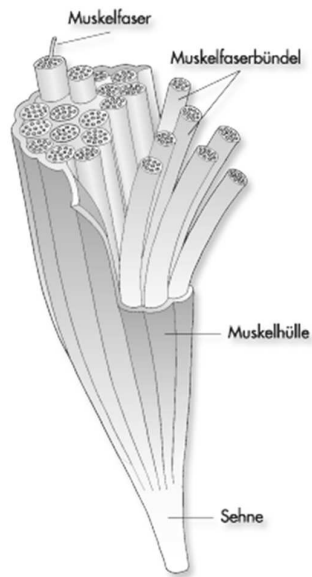
Prävention · Rehabilitation · Sportmedizin



Grundlagen der Sportmedizin und Sportbiologie

„Der Mensch als sich bewegendes
und bewegtes System“

Muskelaufbau



- Muskelhülle
- Faserbündel
- Muskelfasern
- Myofibrillen, Aktin, Myosin
- im „Umfeld“: Nerven und Sehnen, Blutgefäße

Skelett-Muskelfasertypen

Muskelfaserverteilung ist **genetisch** veranlagt. (Verhältnisse 90:10 bis 10:90)
Verschiebungen nur in bestimmten Grenzen möglich.

ST-Faser

(slow twitch = langsam zuckend)

rote, dünne und langsam Muskelfasern

(Typ I-Fasern)

reich an Myoglobin, Glykogen und Enzymen der aeroben Energiegewinnung

hohe Anzahl an Mitochondrien

innerviert von kleinen Alpha-Motoneuronen

kontinuierliches Impulsmuster = typisch für stützmotorische Aktivität

FT-Faser

(fast twitch = schnell zuckend)

weiße (helle), dicke und schnelle Muskelfasern (Typ II-Fasern)

Ia: schnelle Kontraktion

Ib: sehr schnelle Kontraktion

Ic: intermediäre Fasern, schnelle Kontraktion

reich an energiereichen Phosphaten, Glykogen und Enzymen der anaeroben Energiegewinnung

innerviert von großen Alpha-Motoneuronen

diskontinuierliches Impulsmuster = typisch für zielmotorische Aktivität

Adaptationen der Kraftfähigkeit bei entsprechenden Beanspruchungen:

- Veränderungen

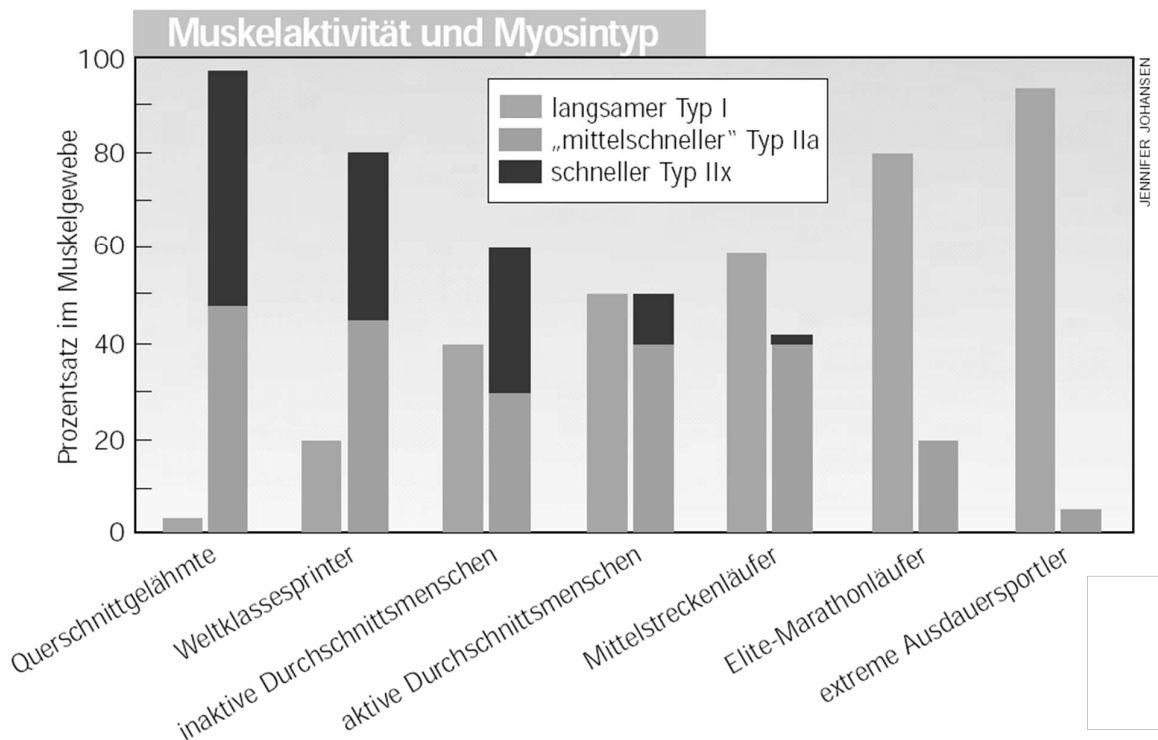
- o Hypertrophie der Muskelfasern
- o Vermehrung der kontraktilen Eiweißstrukturen (Myofibrillen)
- o Steigerung der neuromotorischen Aktivität
- o Veränderung der Rekrutierung der Muskelfasern (vermehrte simultane Aktivierung)
- o bessere Synchronisation intra- und intermuskulär
- o Abbau hemmender neuraler Einflüsse

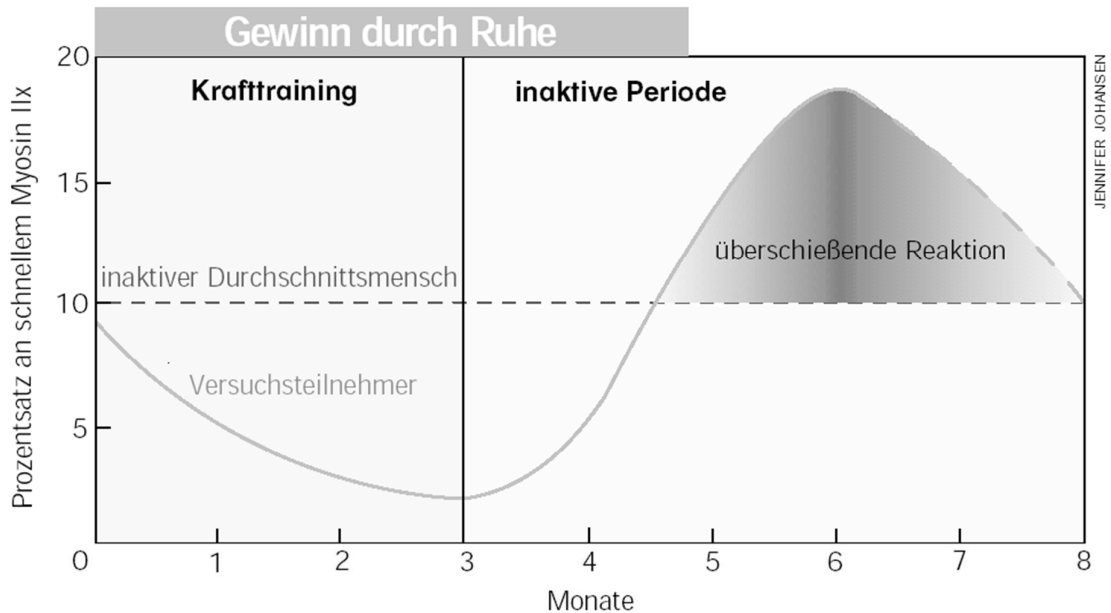
- Vermehrung

- o der Muskelfasern (Hyperplasie)
- o der Mitochondrienmasse
- o der lokalen Energievorräte
- o des Myoglobingehalts

- Verschlechterungen

- o von Beweglichkeit in den Gelenken
- o der Dehnfähigkeit der Muskulatur





Während des Krafttrainings nimmt das schnelle Myosin-IIx erwartungsgemäß ab; danach kehrt es aber nicht einfach auf seinen Ausgangswert zurück, sondern verdoppelt seinen Anteil im Laufe einer dreimonatigen Ruhephase. Für einen Sprinter, der ja einen hohen Anteil an IIx-Fasern braucht, heißt das: vor Wettkämpfen das Trainingspensum reduzieren.

Muskelfasertypen – schematische Darstellung

Merkmal \ Typ	Typ I	Typ II a / II c	Typ II b
Energiebereitstellung	oxidativ	glykolytisch	
Ausdauer	High	Low	
Schnelligkeit	Low	High	
Kraftentfaltung	Low	High	
Reizschwelle	High	Low	
Einsatzbereiche	"Alltagsarbeit" ↓ Ausdauer	"Spezialeinsätze" ↓ Kraftausdauer Schnelligkeitsausdauer Maximalkraft Schnellkraft Schnelligkeit Reflexbeweg.	

Das Muskelfaserspektrum ist weitgehend genetisch festgelegt!

Sportliches Training:

zwingt Organismus zu funktionellen und strukturellen Adaptionen

- **isometrisches Training**
(Schnellkraft, Maximalkraft) **Hypertrophie (keine Hyperplasie)**
Verdickung der einzelnen Muskelfasern
glycolytische Kapazität ↑ ↑
- **isotonisches Training**
(Ausdauer) **nur mäßige Hypertrophie**
Kapillarendichte ↑ ↑
 - Zunahme energetische Kapazität
 - Verbesserung O₂-/Nährstoffangebot
 - Verbesserung Schlacken-Abtransport**Mitochondrien -dichte** ↑ ↑
 - Anzahl ↑ ↑**ATP / CP** ↑
Glycogen ↑
Enzymzunahme

Adaptationseffekte durch Training

Einfluß Substrat / Energie-Mobilisationsgeschwindigkeit:

- z.B. Sprint (100-400 m): vorrangig schnelle Bereitstellung
energiereicher
Substrate (ATP/CP) → *Training mit hoher Intensität*
- z.B. Sprint (400-800 m): vorrangig auch Glycolyse bzw. oxidative
Energiegewinnung → *Training mit mittelhoher
Intensität*

Training mit zunehmender Intensität

(z. B. Gewichtheben, Bodybuilding)

- Veränderungen kontraktiles Apparatur

Training mit ansteigender Beanspruchungsdauer

- Veränderung kontraktiles Apparatur und Mitochondrien
(Ziel: wirkungsvolle Ausdauer und Kraftentwicklung
z.B. Ballsportspiele)
- Training auf kontraktiles Apparatur und Mitochondrien ausgelegt

Ausdauertraining (nach 40 - 60 Tagen)

- 18 % mehr Mitochondrien
- 37 % Zunahme der Mitochondrienoberfläche

Veränderungen werden über Körperhormone beeinflusst

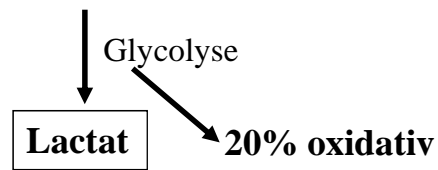
- + 45 % Kapillaren (50-fach verbesserte O₂-Aufnahme)

Schnelligkeit / Schnellkrafttraining (hoher FT-Muskelanteil)

- selektive Hypertrophie FTg-Fasern
- weniger Mitochondrien-Dichte
- verbesserte Bedingungen zur Glycolyse

I. Kurzzeitbelastungen (25 s - 2 min)

Substrat: **Glycogen, ATP, CP aus muskeleigenen Speicher**



II. Mittellange Belastungen (2 - 10 min)

Substrat: **Muskelglycogen, ATP, CP und Leberglycogen**

nach 10 min: 60 % oxidativ

Übergang von anaerob zu aerob

III. Langzeitbelastung (10 - 35 min), Energieverbrauch ca. 2300 kcal

Substrat: Muskelglycogen und Leberglycogen

70 - 80 % aerob

nach 90 min: Muskel- und Leberglycogen erschöpft

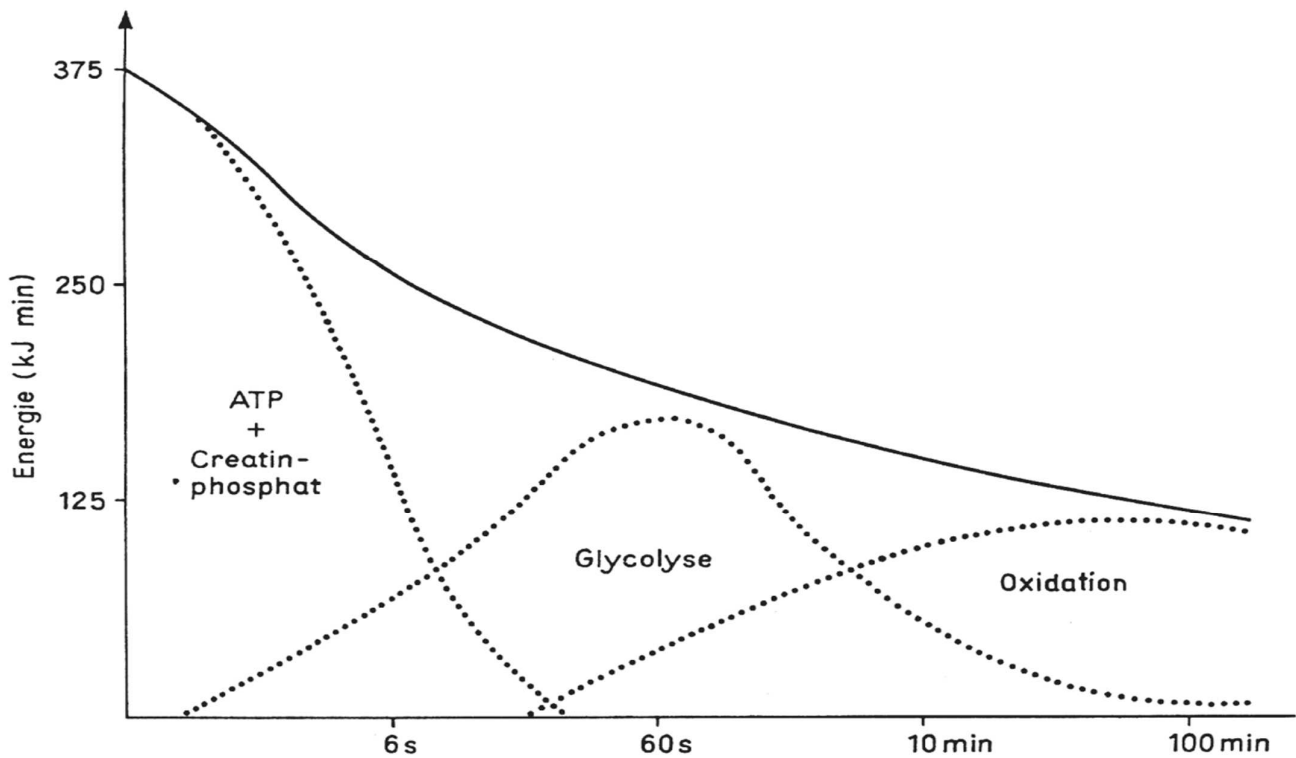
intensive Gluconeogenese } 15 % des Energie-Substrats
Fettabbau }

IV. Extrem Langzeitbelastung Energieverbrauch \cong 6300 kcal

Substrat: Muskel- und Leberglycogen

- Speicher komplett erschöpft
- Nahrungs- und Flüssigkeitszufuhr obligat
(nicht nur zur Alimentation (Substrat)
auch für neuromotorische Funktionen
Koordination, Reaktionsschnelligkeit)
- Abbau Fettsäuren 20 %
- viel Enzyme (auch Autokatalytische Enzyme)

Anteile und zeitlicher Beginn der drei Formen der Energiewandlung im Muskel bei sportlichen Leistungen unterschiedlicher Dauer

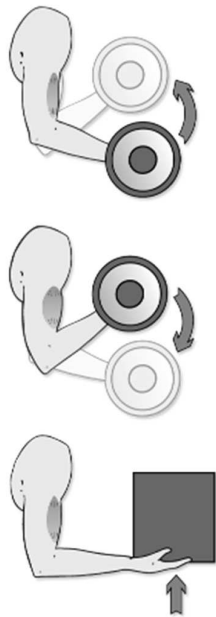


Muskelfaserverteilung

- weitgehend genetisch festgelegt
- trainingsbedingt leichte "Linksverschiebung" insbesondere der Typ II c - Fasern möglich: also "langsamer"!
- möglicherweise Rückbildung nach Trainingsende
- auf keinen Fall Rechtsverschiebung möglich

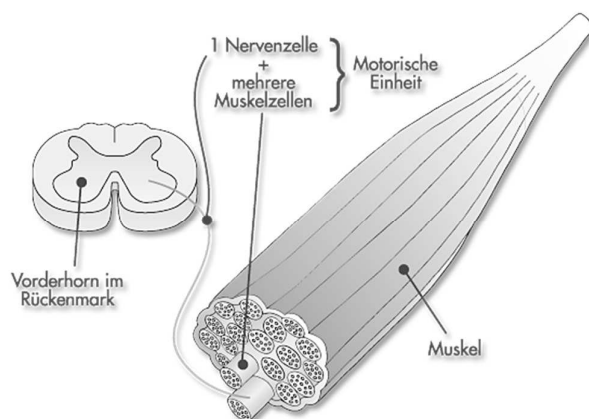
Merkmal	Typ	Typ I	Typ II a / II c	Typ II b
Energiebereitstellung		oxidativ		glykolytisch
Ausdauer		↑		↓
Schnelligkeit		↓		↑
Kraftentfaltung		↓		↑
Reizschwelle		↑		↓
Einsatzbereiche		"Alltagsarbeit"	"Spezialeinsätze"	
		Ausdauer	Kraftausdauer Schnelligkeits- ausdauer	Maximalkraft Schnellkraft Schnelligkeit Reflexbeweg.

Muskelkontraktion



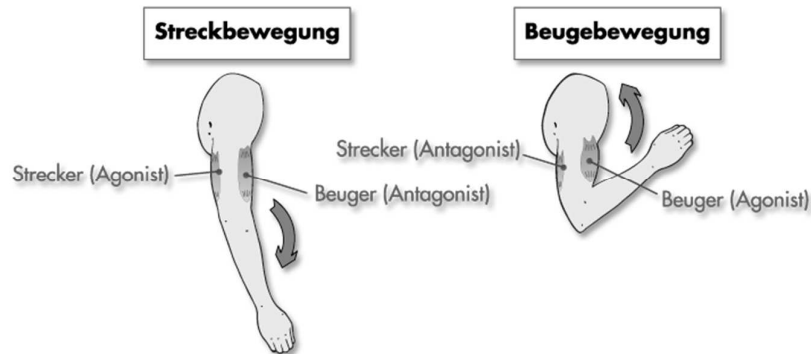
- Auslösung der Kontraktion durch Nervenimpulse
- Kontraktionsarten:
 - dynamisch
 - konzentrisch (überwindend)
 - exzentrisch (nachgebend)
 - statisch

Nervenimpulse dosieren die Muskelaktivität



- motorische Einheiten
 - alles oder nichts
 - kleine und große
- Kraftabstufung über
 - Rekrutierung = mehr Einheiten
 - Frequenzierung = häufiger
 - Synchronisation = gleichzeitig

Zusammenspiel der Muskeln



- Ein Muskel kann kontrahieren und damit ein Gelenk z.B. strecken, das Beugen erfolgt über die Kontraktion des Gegenmuskels – der „erste“ Muskel entspannt dann.
- An den meisten Bewegungen sind mehrere Muskeln im sinnvollen Zusammenspiel beteiligt.

Er wird bewegt: der passive Bewegungsapparat

- Knochen / Skelett
- Gelenke und Knorpel
- Sehnen und Bänder

Knochen / Skelett

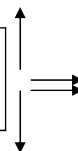


Funktionen:

- Stützen und Halten
- Schützen
- Formgebung: mögliche Bewegungsweiten werden vorgegeben

Passiver Bewegungsapparat: Knochen

**Konstante Größe:
Spannung im Knochenquerschnitt**

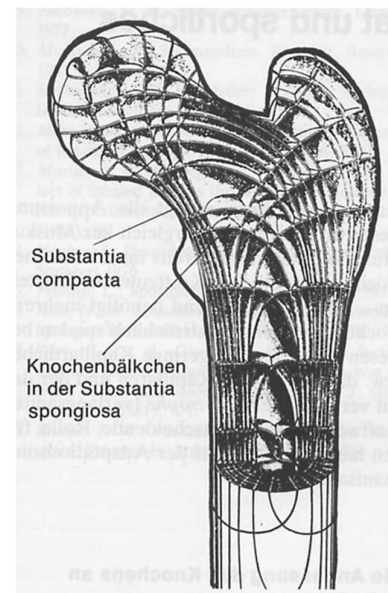


Knochenhypertrophie

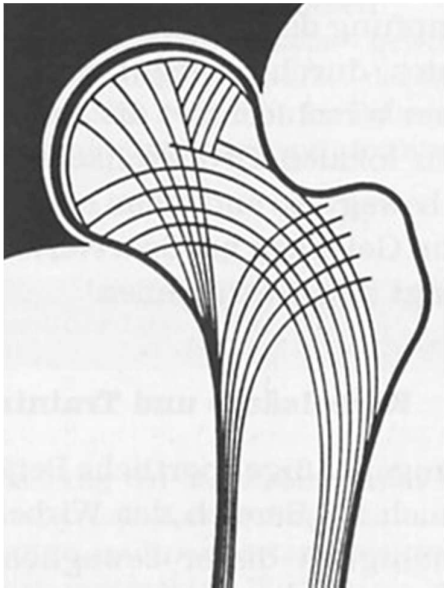
Knochenatrophie

**Mechanische Beanspruchung:
Aktivität Osteoblasten erhöht
Kortikalishypertrophie
Spongiosahypertrophie**

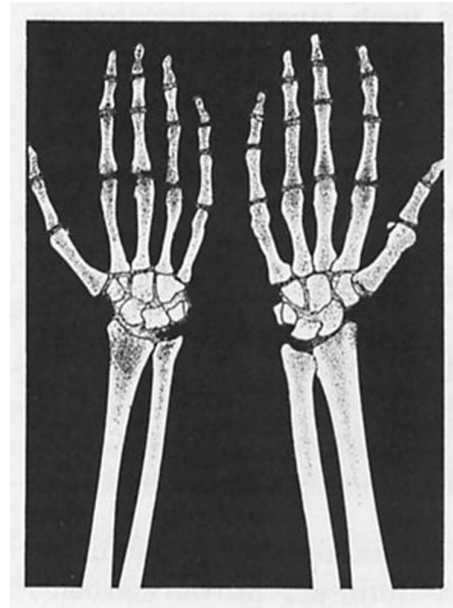
Schematische Darstellung der dreidimensionalen Anordnung der die mechanischen Belastungen tragenden knöchernen Hauptverstreibungen (Trajektoren) im oberen Drittel des Oberschenkels (Tittel 2000)



Passiver Bewegungsapparat

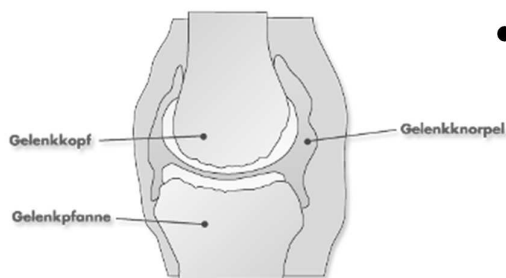
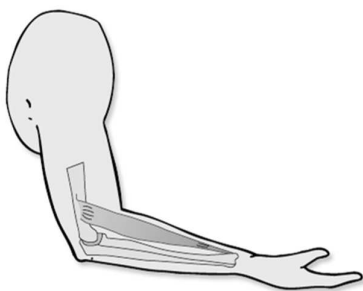


Vereinfachte Darstellung der Zug- und Drucklinien am Beispiel des Hüftgelenkes



Knöchernes Skelett eines Tennis-Hochleistungsspielers

Gelenke und Knorpel



- Gelenke sind die beweglichen Verbindungen zwischen den Knochen. Die Bewegung erfolgt durch Kontraktion der das Gelenk überziehenden Muskeln.
- Knorpel überziehen die Knochenenden als Ausgleich und Puffer.

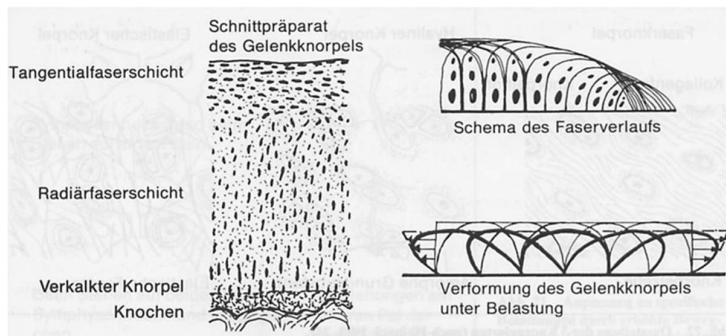
Passiver Bewegungsapparat: Knorpel

Kurzzeitige Belastungen:

- Dicke des hyalinen Knorpels durch Flüssigkeitsaufnahme (12-13%) ↑
- > Schutz gegen Druck- und Scherkräfte
- > Inkongruenz der Gelenkfläche ↓
- > Stoßdämpfung, Verletzungsprophylaxe

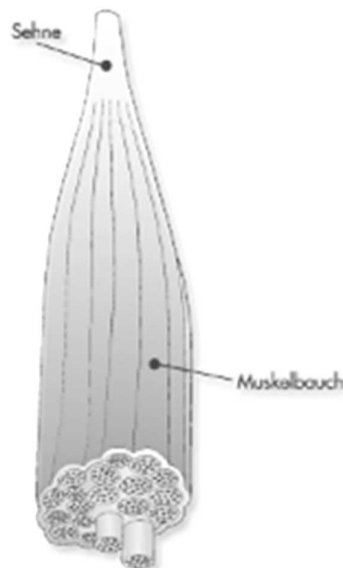
Längerzeitige Belastungen:

- Knorpelhypertrophie: Zellhypertrophie und -plasie
- Vergrößerung Chondrone
- Stoffwechselaktivität Knorpelzellen ↑ (Synthese Mucopolysaccharide ↑)



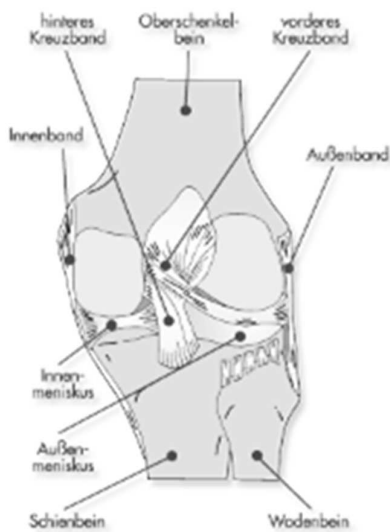
Anordnung und Funktion der kollagenen Fasern im Gelenkknorpel

Sehnen



= das Gewebe, das Muskel und Knochen verbindet.

Sehnen und Bänder



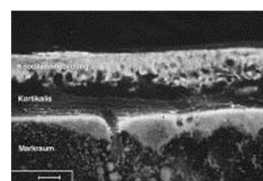
= die Verbindungen von Knochen zu Knochen, die das Gelenk stabilisieren.

Anpassungserscheinungen

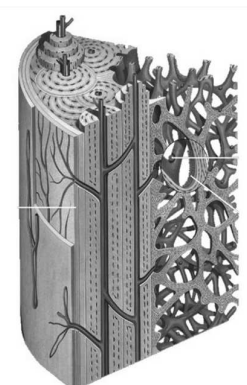
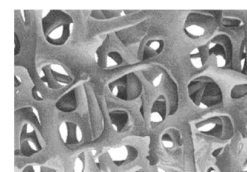
KNOCHEN UND GELENKE

→ Piezoelektrischer Effekt (elektrische Ladungen bei unter Druck stehenden Oberflächen) bei **Knochenneubildung**

→ Mikrofrakturen durch Belastung
→ Korrektur durch Osteoklasten



→ **Knochenaufbau** (erhöhter Umfang und Kraft)
→ Knochenabbau bei bettlägerigen Patienten



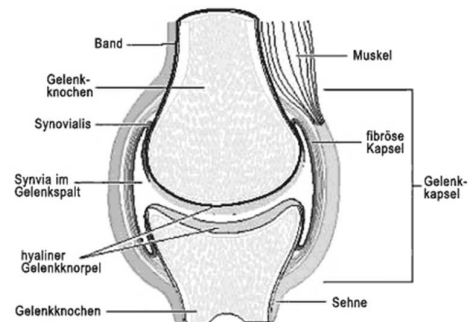
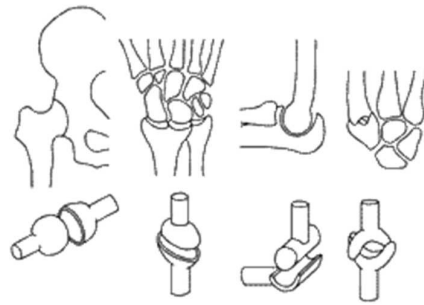
Anpassungserscheinungen 3

GELENKE

→ Krafttraining positiv bei kurzen und geringen Belastungen

→ Kompensation der Kompressionskräfte. Scherkräfte

→ Wechsel von Belastung und Entlastung bedeutet Transport von Nährstoffen zu Chondrozyten



Keine Bewegung ohne Energie

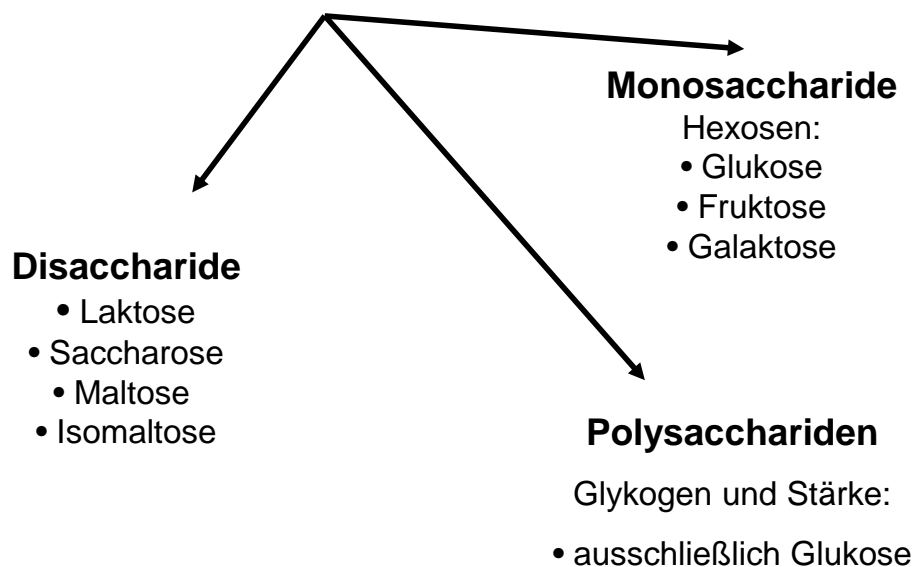
- Energiebereitstellung im Muskel
- Die verschiedenen Arten der Energiebereitstellung
- Verlauf der Energiebereitstellung

Energiebereitstellung im Muskel

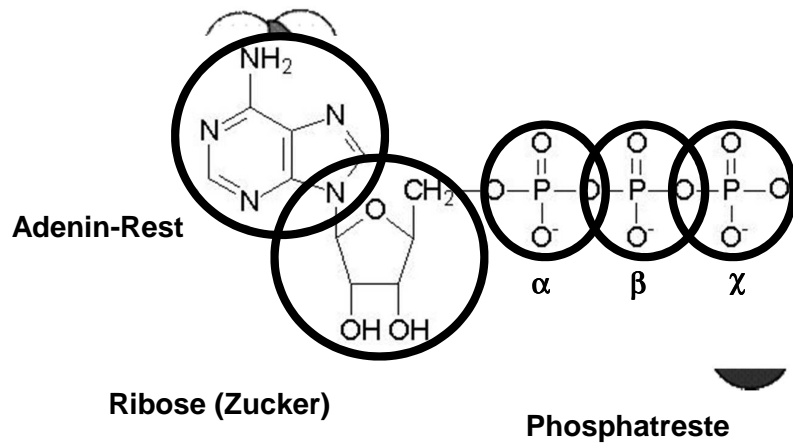
- Für jede Muskelkontraktion wird Energie benötigt.
- Energietragende Stoffe werden biochemisch aufgespalten. Dabei entstehen Energie und Abfallstoffe.
- Es stehen verschiedene solche Bereitstellungsprozesse mit unterschiedlichen Vorzügen und Nachteilen zur Verfügung.

Stoffwechsel der Kohlenhydrate

Wichtige Monosaccharide des Energiestoffwechsels



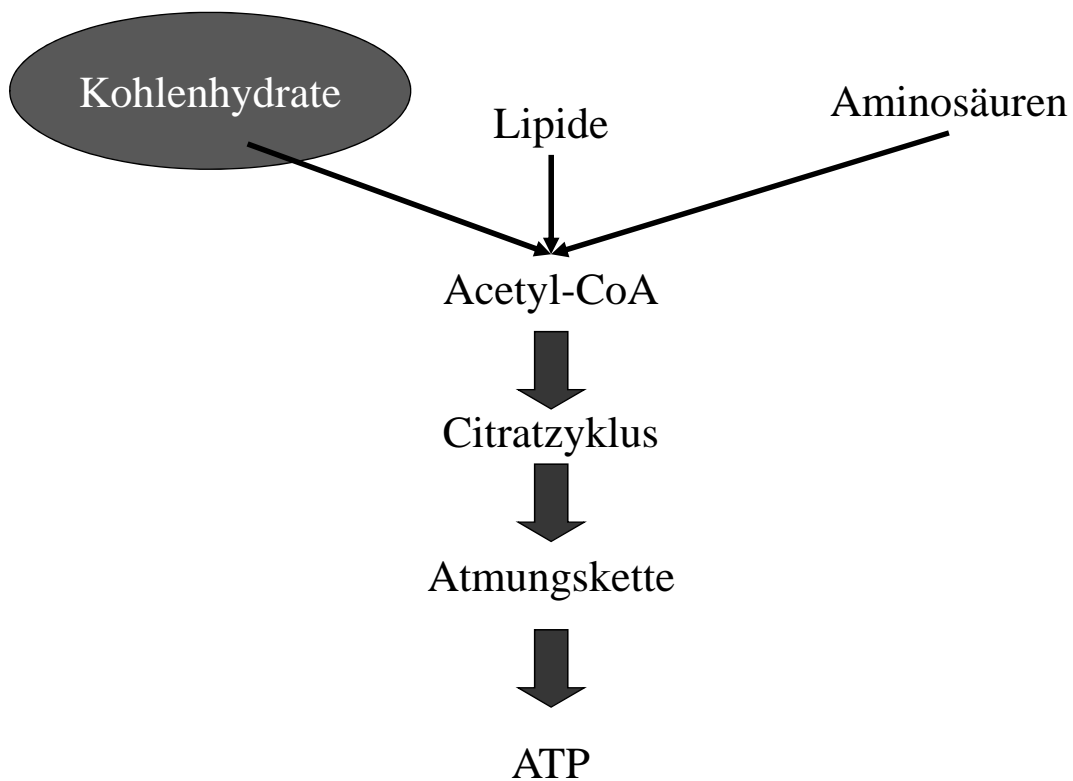
Im Zentrum steht dabei...



...**A**denosin **T**ri**P**hosphat!

Eine einzige Zelle ist mit circa **1.000.000.000** ATP-Molekülen ausgestattet

Übersicht!



Metabolismus der Muskelzelle

Speicherkapazität intramuskulär: 4 $\mu\text{mol} / \text{g}$



Ein 100-Meter-Sprinter kommt damit gerade mal 2 Sekunden weit !

4 Möglichkeiten:

1. Kreatin-Kinase
2. Adenylat-Kinase / Myokinase
3. Anaerobe Glykolyse
4. Aerobe Oxidation

:



Der Muskel braucht Hilfe und zwar externe !



Was machen die Zellen mit den Kohlenhydraten?

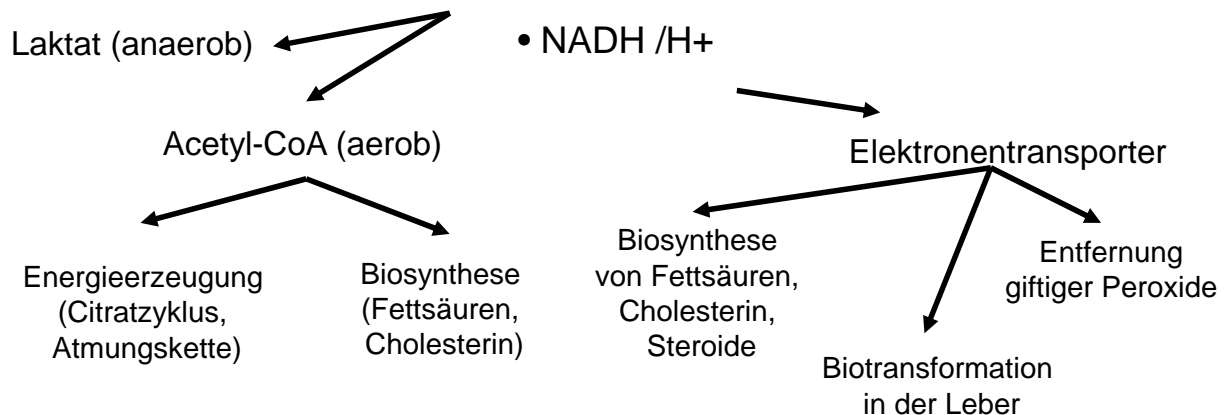
Glykolyse

Abbau von Glukose

Findet in allen Zellen statt

Endprodukte sind:

- ATP
- Pyruvat
- NADH / H⁺



Was machen die Zellen mit den Kohlenhydraten?

Leber besitzt alle Stoffwechselwege der Glukose
und die sind:

Glykolyse

Abbau von Glukose

Glukoneogenese

Aufbau von Glukose

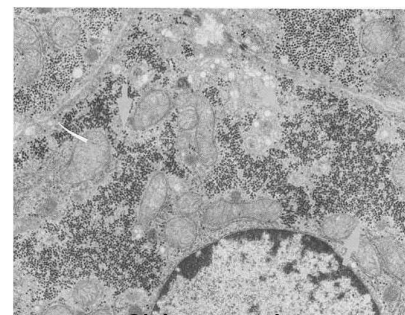
Glykogenaufbau

Speicherung von Glukose

Die 4 Stationen der Glykogensynthese,...

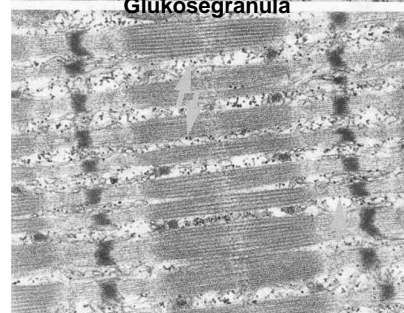
...wie Glukose gespeichert wird.

Leberzelle



Glukosegranula

Muskelzelle



Was machen die Zellen mit den Kohlenhydraten?

Glykogenaufbau

Speicherung von Glukose

Liegt mehr Glukose vor, als der Körper momentan benötigt (z. B. nach dem Essen), speichert die Leber und die Muskulatur diese

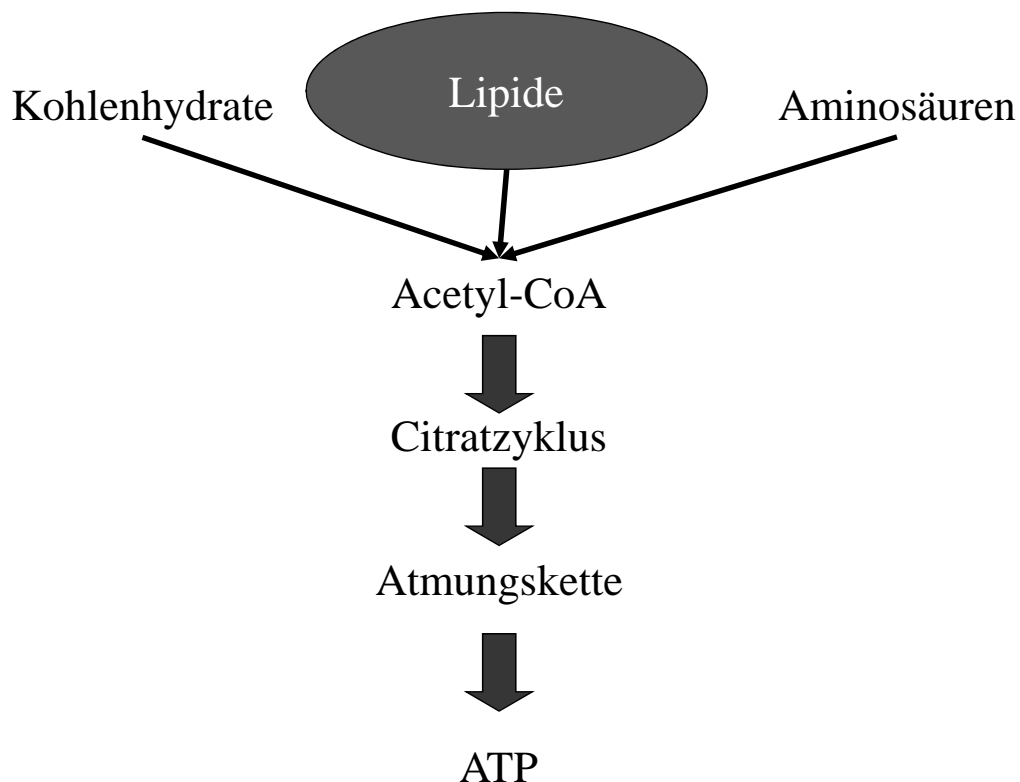
Glukose



Glykogen

Speicherstoff

Übersicht!



Stoffwechsel der Lipide

Zwei Aufgaben

Funktionen in den Membranen der Zellen

Wichtigste Energieträger des Körpers

- bei Hunger
- bei langen (Ausdauer-)Belastungen

Speicherort sind die Fettzellen

Stehen ausreichend Energieträger (Glukose, Aminosäuren,...) zur Verfügung, dann werden kaum Lipide abgebaut

Freie Fettsäuren im Plasma

Konzentration der freie Fettsäuren im Plasma

wird gesteigert durch

Nahrungsaufnahme

Körperlicher Belastung

Konsequenz für KH-Stoffwechsel

Verminderte Glukoseoxidation



Verminderte Glykolyse



Geringerer Laktatanstieg unter Belastung



Geringerer Muskelglykogenabbau während Belastung

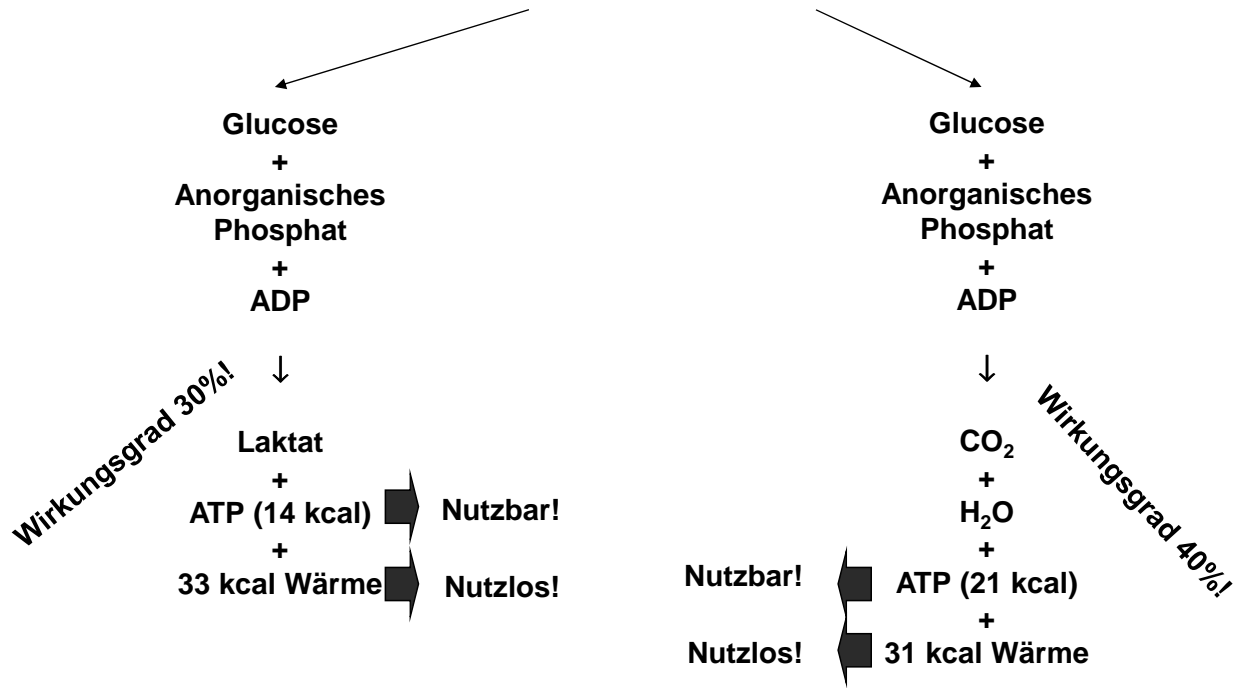


Verminderte Glykogensynthese



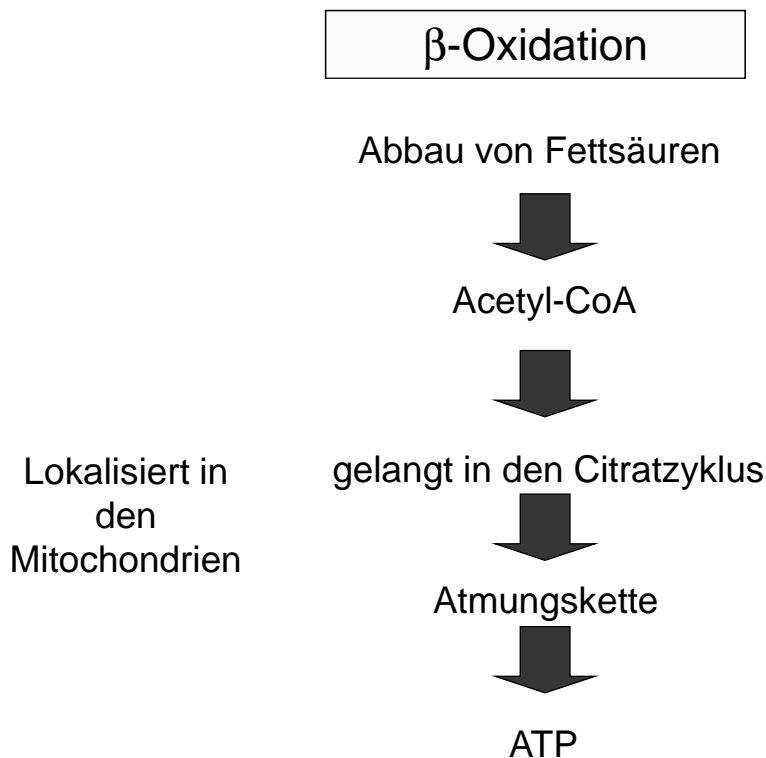
Einsparung von Glykogen unter Belastung

Energiebilanz anaerob und aerob

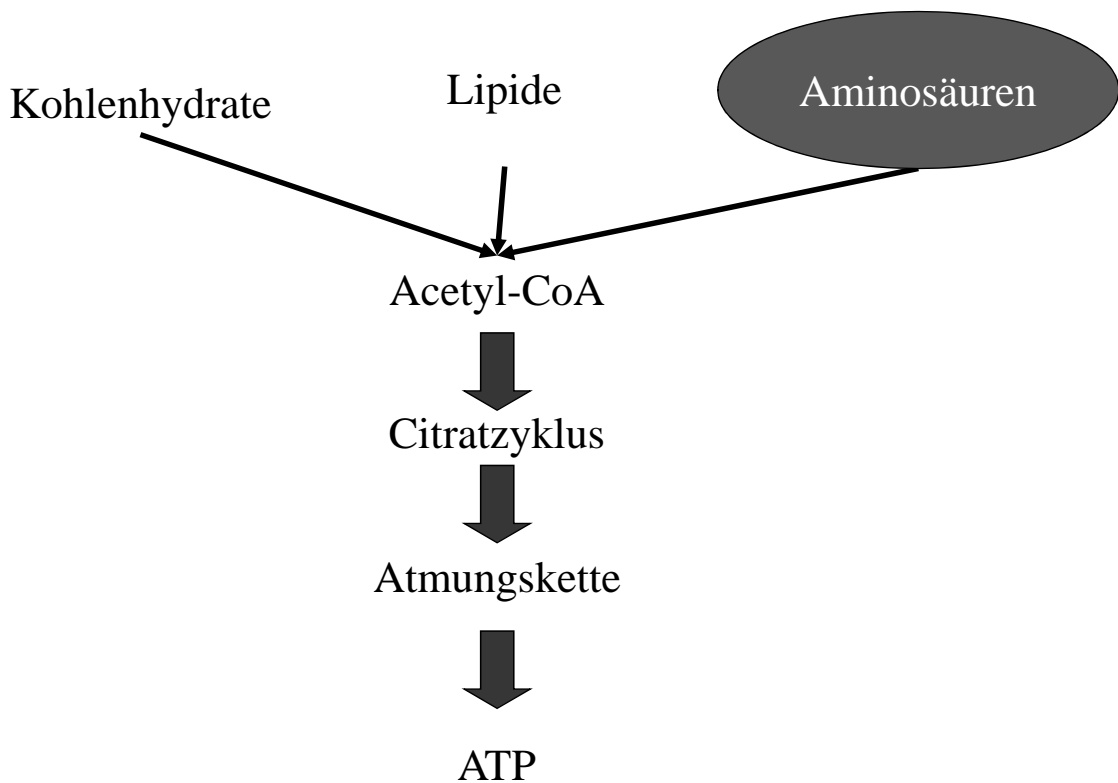


Hüter-Becker & Dölken (2004) Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre

Stoffwechsel der Lipide



Übersicht!



Was sind Aminosäuren und was Proteine?

Aminosäuren

Es gibt weit über 300,
wovon 20 in Proteine
eingebaut werden

Proteine

Aus langen Aminosäureketten
bestehend

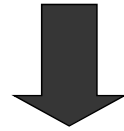
In Ribosomen am ER gebildet
(im Zytoplasma)

Aufgaben:

Enzymtätigkeit, Zusammenhalt des
Organismus (Kollagen, Elastin),
Immunglobuline / Antikörper (Abwehr),
Kanäle in Zellmembran, Globulin
(Hämoglobin /Transport von Sauerstoff)

Aminosäurenstoffwechsel

Entstehung von Ammoniak (NH₃), welches äußerst giftig für die Zellen ist



Entsorgung in der Leber (im Rahmen des Harnstoffzyklus)



Bei langandauernden Hungerperioden (Muskelproteine zur Energiegewinnung)

Zum Teil bereits nach einer mahlzeitlosen Nacht

Umwandlung vieler Aminosäuren ineinander (Aminotransferasen)

Entsorgung von Aminosäuren (Stickstoff)

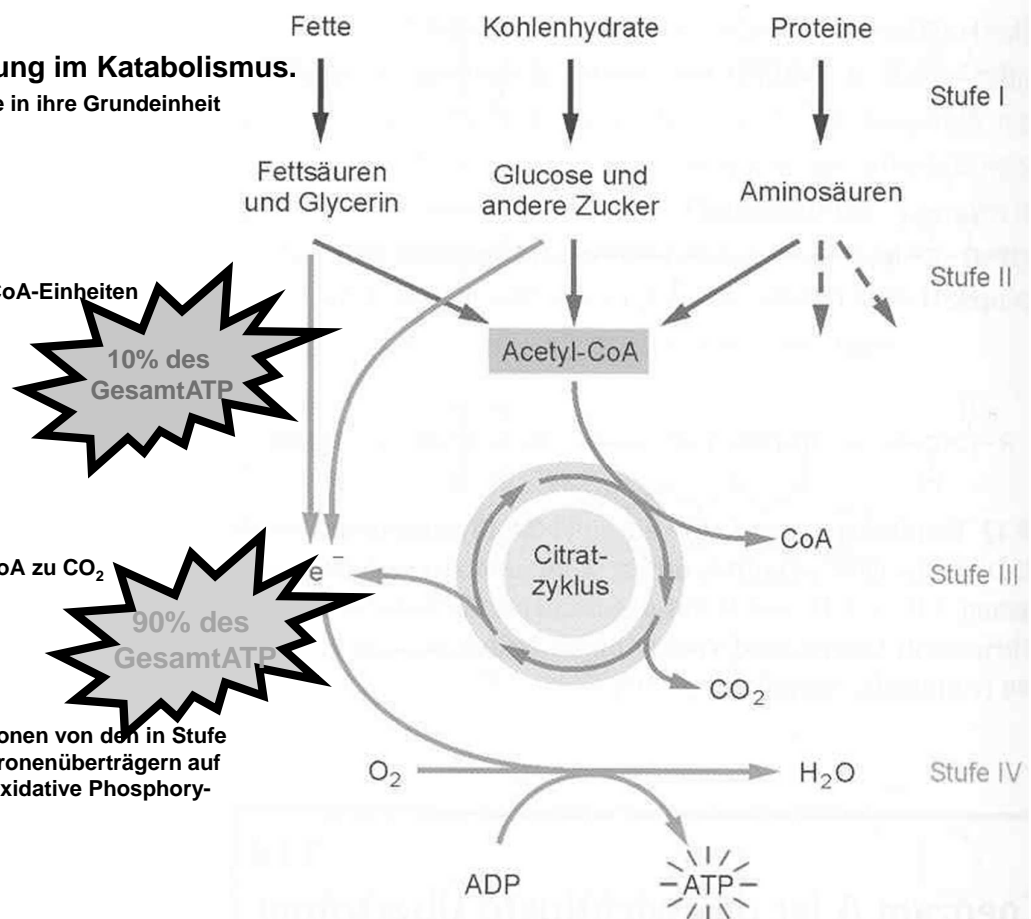
Die vier Stufen der Energiegewinnung im Katabolismus.

I Hydrolyse der Nährstoffe in ihre Grundeinheit

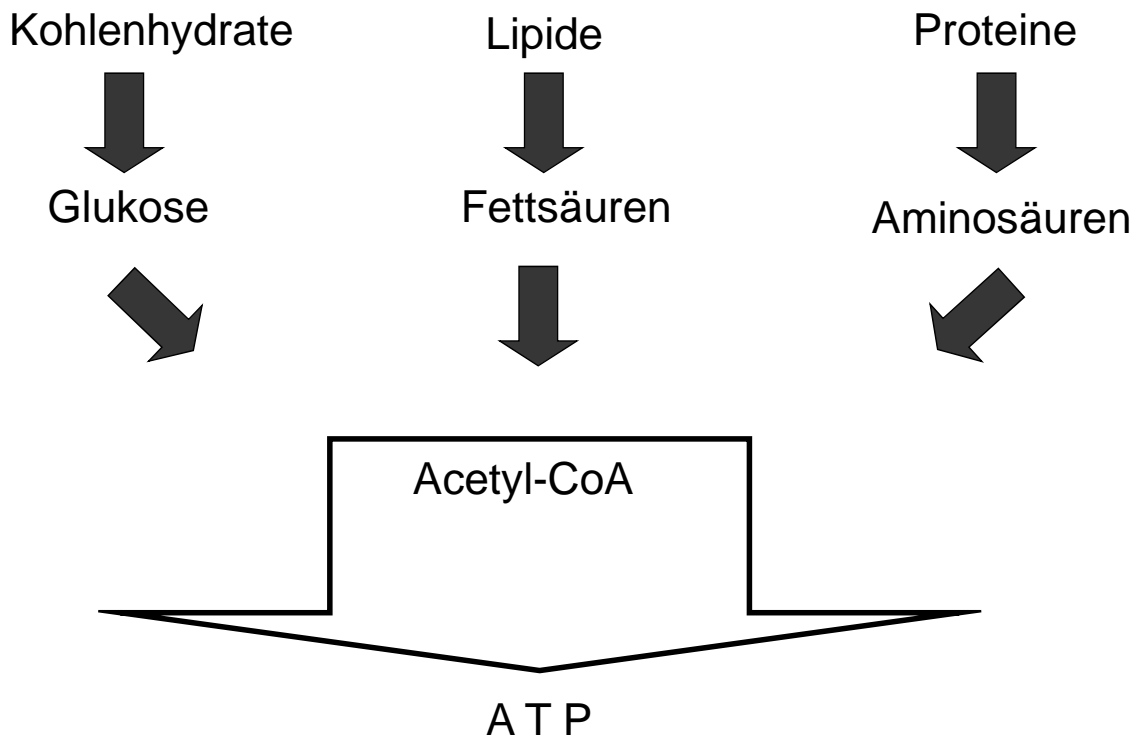
II Überführung in Acetyl-CoA-Einheiten

III Oxidation von Acetyl-CoA zu CO₂

IV Übertragung der Elektronen von den in Stufe II und III reduzierten Elektronenüberträgern auf O₂ zur ATP-Gewinnung (oxidative Phosphorylierung).



Stoffwechsel – Metabolismus – und das Ergebnis...



Eine Bilanz des gesamten Glukoseabbaus

Ausbeute an ATP bei
Oxidation während:

Glykolyse
Citratzyklus
Atmungskette

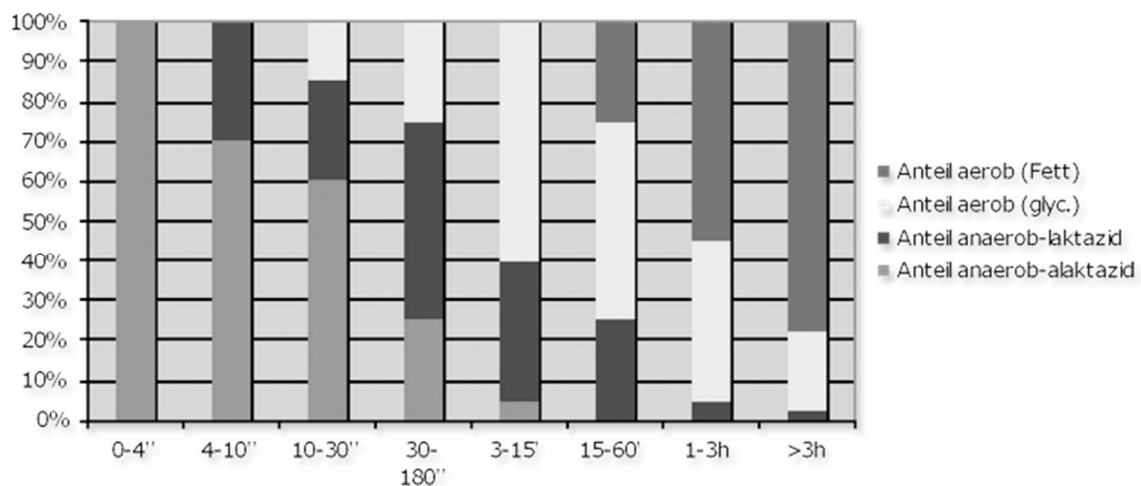
→ **32 ATP**

(je nach Autoren werden
die Werte zwischen 30 und 38
ATP-Molekülen angegeben, neuere Untersuchungen
gehen aber von 32 ATP aus)

Die Arten der Energiebereitstellung

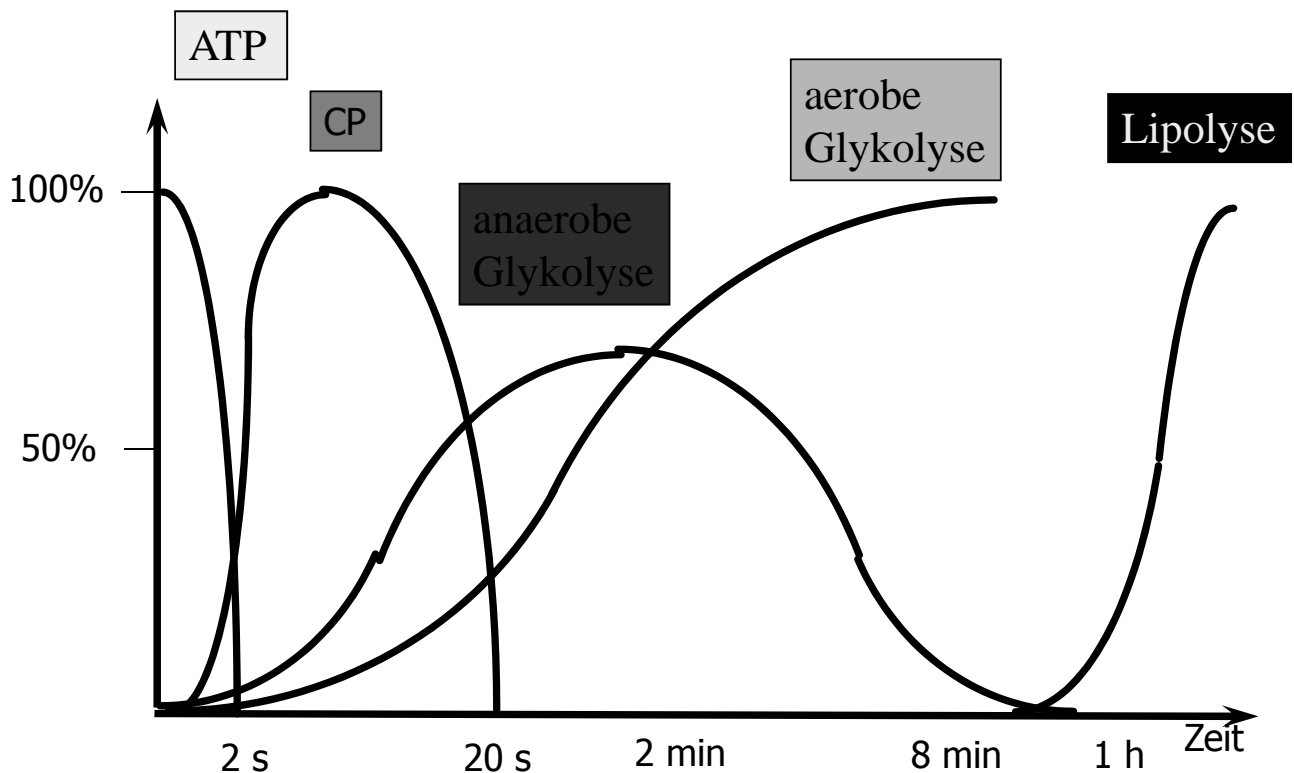
Art der Energiebereitstellung	Flussrate	Vorrat	„Starteigenschaften“	Maximale Einsatzdauer (theoretisch)
anaerob alaktazid	sehr hoch bis hoch	sehr niedrig bis niedrig	sehr schneller bis schneller Anstieg	ATP: bis 2 / 3 s KrP: bis ca. 10 s
anaerob laktazid	mittel	mittel	langsamerer Anstieg	bis 45 – 90 s
aerob	niedrig	hoch	langsamer Anstieg	45 bis 90 min (Kohlenhydratverbrennung)
	sehr niedrig	sehr hoch		mehrere Stunden (Fettverbrennung)

Verlauf der Energiebereitstellung bei maximalen Wettkampfbelastungen



Ausdauer

Stoffwechselsubstrate der Ausdauer



Ausdauer

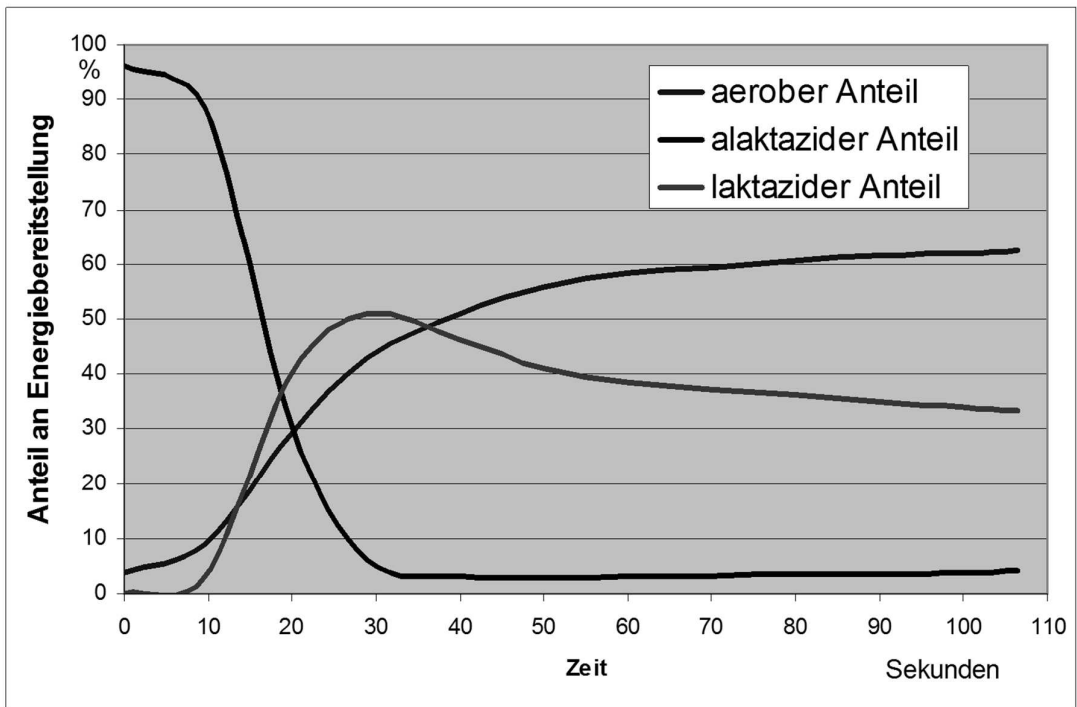
Energiebereitstellung

Häufig wird nicht gesehen:

- Zeitachse: Dauer einer max. Belastung
- Y-Achse: Relativ, nicht absolut
- ATP und CP sind der Muskelbrennstoff
- Aerobe Glycolyse setzt sofort ein
- Anaerobe und aerobe Glycolyse keine unabhängigen Mechanismen

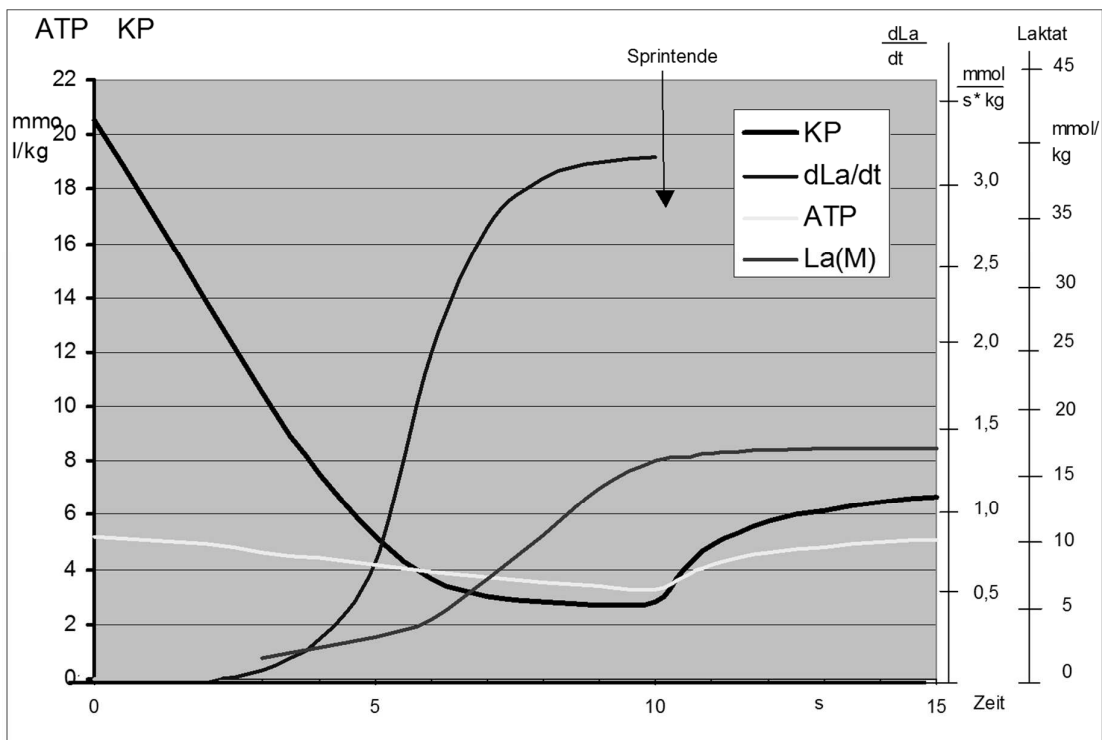
Ausdauer

Beispiel 800m-Lauf



Ausdauer

Beispiel Sprint

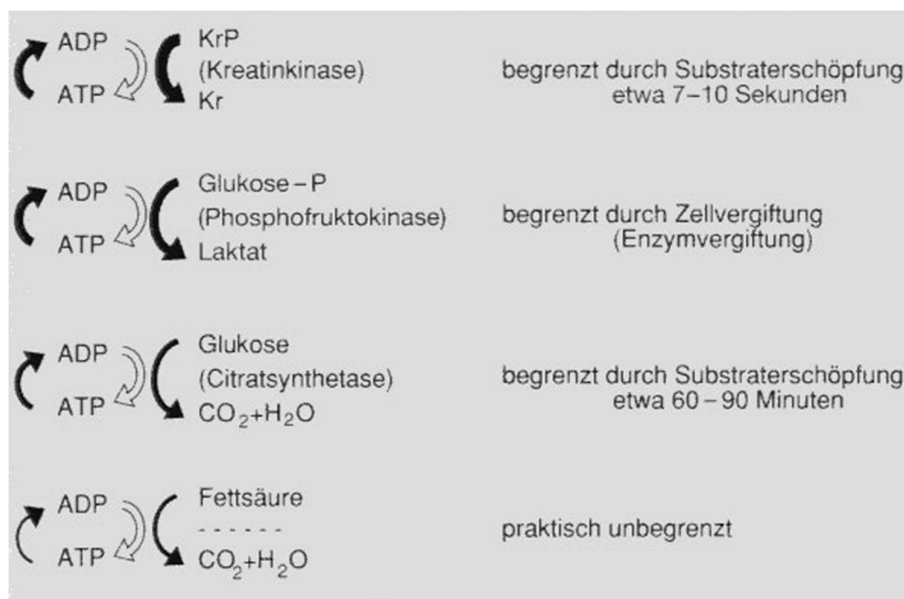


Energiespeicher der Muskelzelle

	Substrat	Menge in Phosphatresten (-P) pro kg Muskel	maximale Einsatzdauer
1. Speicher	ATP Adenosintriphosphat	ca. 6 mmol	(theoretisch) 2–3 s
2. Speicher	KrP Kreatinphosphat	ca. 20–25 mmol	–
	Phosphatspeicher insgesamt (Phosphagen)	ca. 30 mmol	7–10 s (20 s)
3. Speicher	Glykogen (Glukose)	ca. 270 mmol	(anaerober Abbau) 45–90 s
		ca. 3000 mmol	(aerober Abbau) 45–90 min
4. Speicher	Triglyzeride (Fette)	ca. 50000 mmol	mehrere Stunden

Energiespeicher der Muskelzelle

Energiebereitstellung



Schematische Darstellung der Wahl des geeigneten Stoffwechselweges nach dem ATP – Verbrauch / Zeiteinheit (nach Badtke 1995).
Die Pfeilstärke zeigt die Höhe des Energieflusses an.

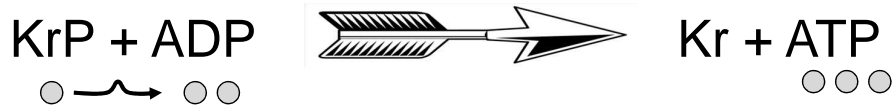
Strecke (m)	Zeit (min)	m/s	aerob %	anaerob ges. %	anaerob	
					alakt. %	lakt. %
100	0:09.83	10.17	8	92	70	22
200	0:19.75	10.12	14	86	40	46
400	0:43.29	9.24	30	70	10	60
800	1:41.73	7.86	57	43	5	38
1500	3:29.46	7.16	76	24	2	22
3000	7:29.45	6.67	88	12	-	12
5000	12:08.23	6.42	93	7	-	7
10000	27:08.23	6.14	97	3	-	3
42195	126:50	5.58	99	1	-	-

Intensität ↓

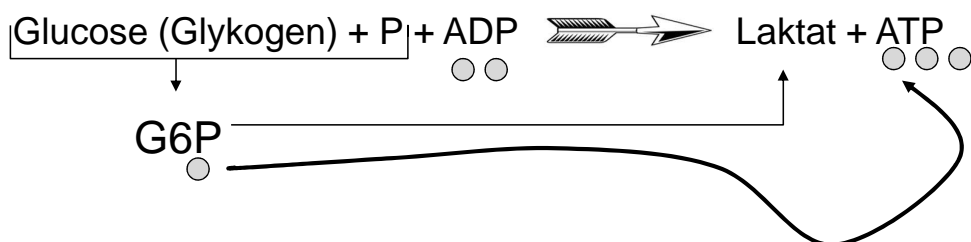
Zintl, Eisenhut, 2001

ATP-Resynthese Möglichkeiten

1. Anaerob - alaktazider Prozess:



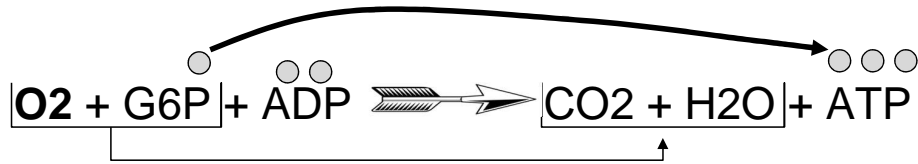
2. Anaerob - laktazider Prozess (= anaerobe Glykose):



ATP-Resynthese Möglichkeiten

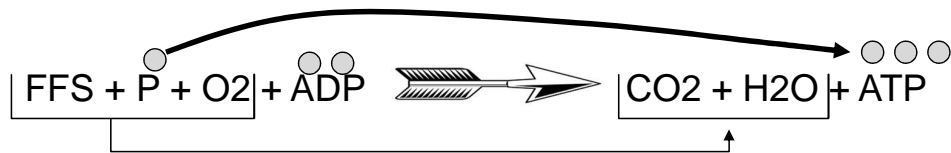
3. Aerober Prozess

(= aerobe Glykolyse, oxidativer Glykogenabbau):



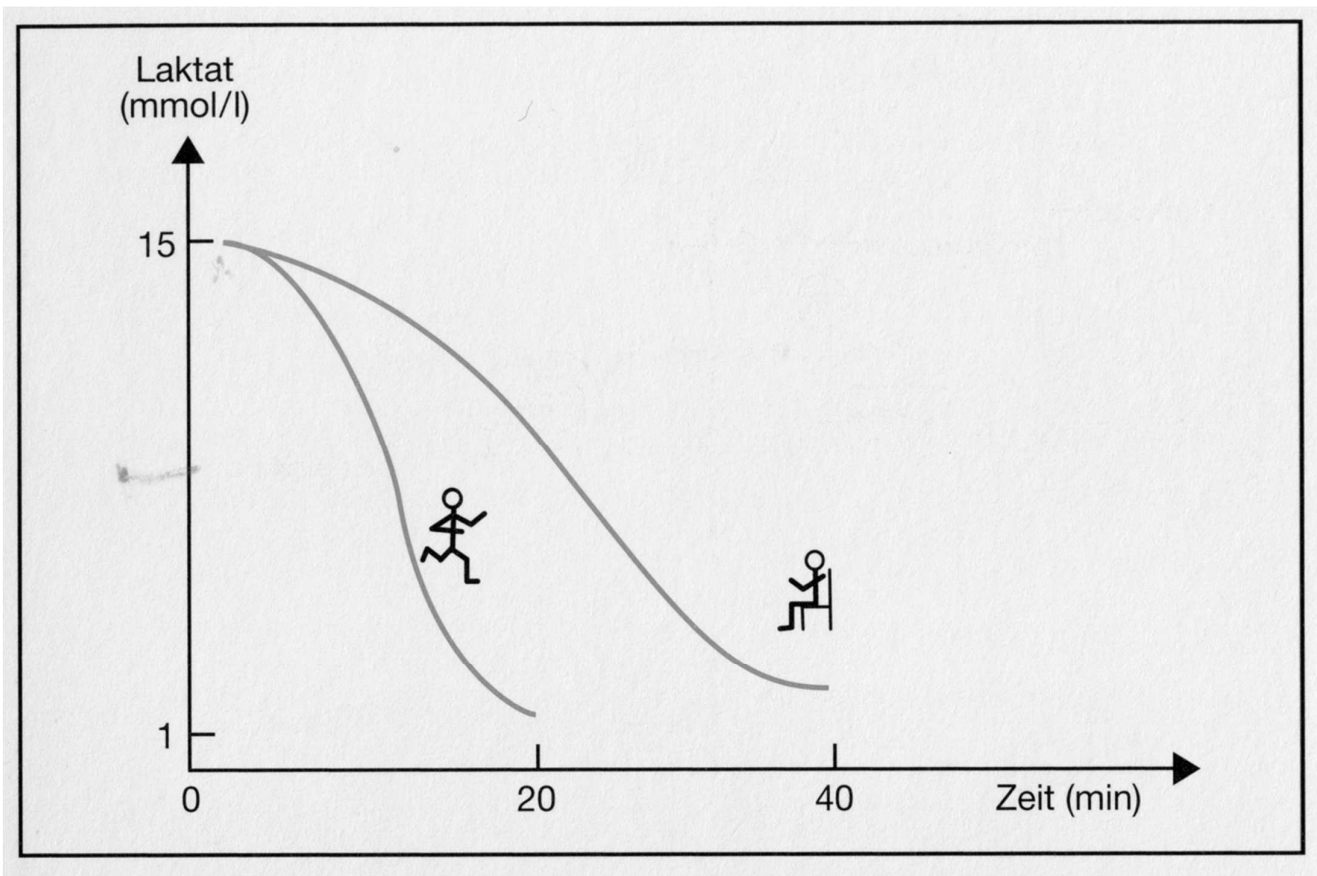
4. Aerober Prozess

(= aerobe Glykolyse):

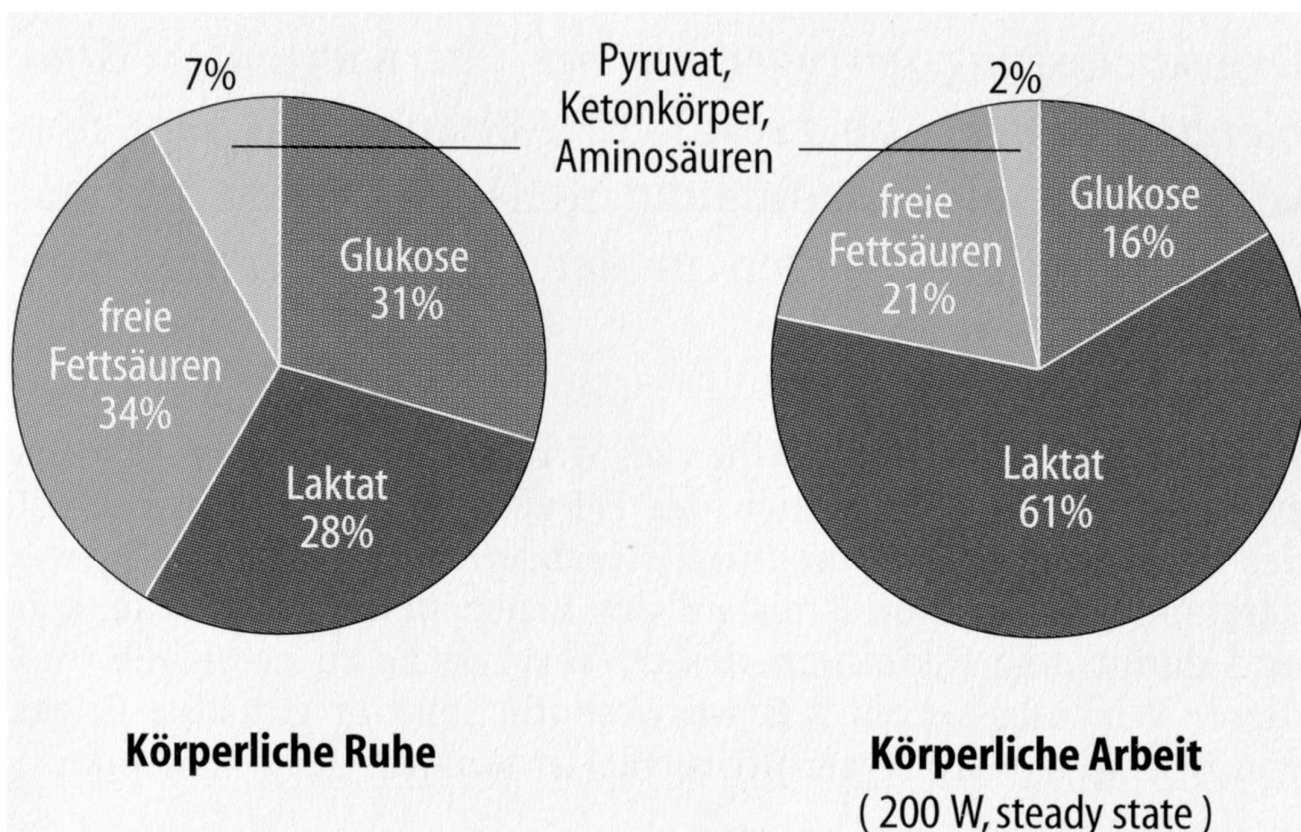


Muskelstoffwechsel

- Laktatelimination



Zintl, Eisenhut, 2001

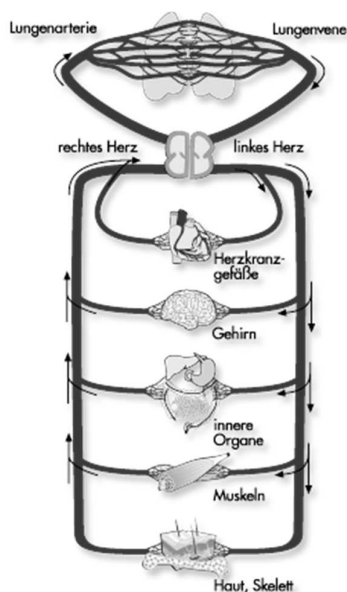


Nachschub und Entsorgung

Damit die für die Energiegewinnung wichtigen Stoffe und die Abfallprodukte zum und vom Muskel transportiert werden können, bedarf es weiterer Körpersysteme:

- Herz-Kreislauf-System
- Atmungssystem

Herz-Kreislauf-System



- das Herz als „Motor“
- Lungenkreislauf: Sauerstoff aufnehmen, Kohlendioxid abgeben
- Körperkreislauf zum Transport bis in die Kapillaren der Muskeln
- lebensnotwendige Organe werden vorrangig versorgt



Maximale - Herzfrequenz

- 220 – Lebensalter \pm 15%
 - 20 Jahre: 170 – 230 /min
 - 40 Jahre: 153 – 207 /min
 - 60 Jahre: 136 – 184 /min

- Altersabhängig
- Geschlechtsunabhängig

Praxisleitlinien Ergometrie

Wonisch M, Berent R, Klicpera M, Laimer H
Marko C, Schwann H, Schmid P
Journal für Kardiologie 2008; 15
(Supplementum A - Praxisleitlinien
Ergometrie), 3-17



Sportherz

- Leistungssteigerung
 - funktionelle Anpassung durch vegetative Steuerung
 - morphologische Anpassung (Hypertrophie)
- Rückbildung
 - Abnahme der Hypertrophie
 - Verkleinerung der Innenräume

Pumpfunktion des Herzens

	HF 1/min	SV ml	HMV ml/min
• Ruhe	70	80	5600
• submaximale Arbeit	150	100	15000
• maximale	200	100	20000
• maximale trainiert	200	180	36000



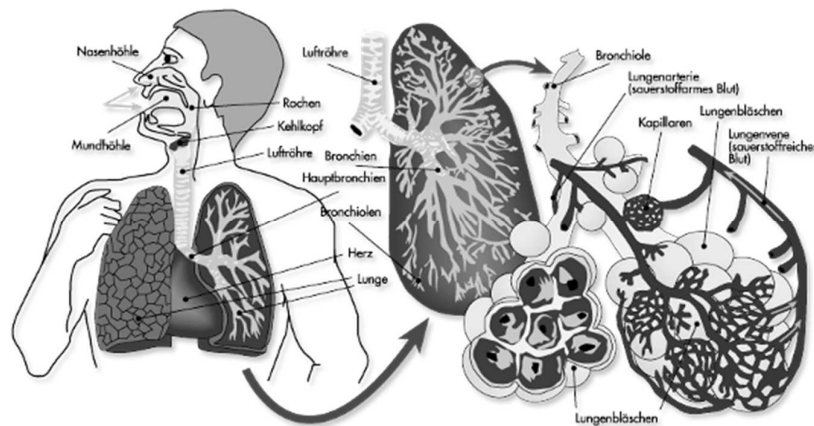
Trainingspause - Abtrainieren

Veränderung physiologischer Parameter nach kurzzeitiger (< 3 Wochen) und länger dauernder (> 3 – 12 Wochen) Trainingspause (Exercise Physiology 2001, Hollmann 2000, Mujika 2000):

Parameter	kurzzeitig	langzeitig
VO ₂ max	- 8%	- 18%
Herzminutenvolumen	- 8%	- 10%
Herzgröße	- 10-15%	- 15-20%
Herzfrequenz unter Belastung	↑	↑
Herzfrequenz in Ruhe	↑	↑
Hypertrophiezeichen im Ruhe-EKG		↓



Atmungssystem



- sauerstoffreiche Luft einatmen
- Gasaustausch in der Lunge
- kohlendioxidreiche Luft ausatmen

Definitionen

- **Äußere Atmung:**
→ Gasaustausch zwischen Blut und Umgebung
- **Innere Atmung:(Gewebeatmung)**
Energieherstellung (ATP) in der Zelle durch Verbrennung von Nährstoffen
→ oxidativer Vorgang: Sauerstoff wird benötigt

Grundlagen

- Luft \Rightarrow Luftwege \Rightarrow Lungenbläschen
- Gasaustausch an Alveolen
- Atemwege
 - Obere
 - Nasen-, Mundhöhle, Rachen, Kehlkopf
 - Untere
 - Luftröhre, Luftröhrenäste

Funktion der oberen Atemwege

- Riechen
- Erwärmen
- Anfeuchten
- Säubern der Atemluft
- Resonanzorgan
- Isolation

Atemmechanik

- Einsaugen der Luft durch Erweitern des Brustkorbs
- Auspressen der Luft durch Verkleinern des Brustkorbs
- Die Lungen folgen passiv den Bewegungen

Atemmechanik

- Schultergürtelmuskulatur beim Einatmen als Atemhilfsmuskulatur
- Gerade und schräge Bauchmuskulatur beim Ausatmen als Atemhilfsmuskulatur

Atemfrequenz in Ruhe

Atemzüge pro min

- Neugeborenes: 40 / min
- 20 jährig: 20 / min
- 30 jährig: 16 / min

Ventilation

- Lungenbelüftung abhängig von:
 - Atemfrequenz (Af)
und
Atemzugvolumen (AZV)
 - Atemminutenvolumen (AMV) =
 $Af \times AZV$ (l/min)

Ventilation bei Körperruhe

- Atemfrequenz: 12 - 16 1/min
- Atemzugvolumen: 0,5 - 0,6 l
- Atemminutenvolumen:
6 - 8 l/min

Ventilation bei Belastung

- Atemfrequenz: maximal 30 - 55 1/min
- Atemzugvolumen: 50 - 60% der VK

Atmungssystem - Training

- Erweiterung des Brustkorbs, verbesserte Beweglichkeit der Rippen
- Verbesserung von Kraft und Arbeitsökonomie der Atemmuskulatur
- Eröffnung der Lungenkapillaren, Erhöhung der Diffusionskapazität
- Optimierung der Atemdynamik
(Anpassung an sportartspezifische Bewegungsdynamik)

Der Körper entwickelt sich

- Individuelle Verläufe
- Wachstum und Belastungsverträglichkeit
 - Gefahrenpunkte
 - Belastungsreize als Entwicklungsreize
 - Präventivmaßnahmen
- Nicht alles zu jeder Zeit?!



Wachstumsbedingte Besonderheiten

- Größenzunahme nicht linear \Rightarrow in Schüben
- Einzelne Körpersegmente mit unterschiedlicher Wachstumsintensität \Rightarrow Veränderung der Körperproportionen



Besonderheiten

- Fehlende Bewegungserfahrung \Rightarrow Koordinative Defizite
- Für eine bestimmte Bewegungsgeschwindigkeit höhere Bewegungsfrequenz nötig \Rightarrow Energetisch aufwendiger \Rightarrow
 - Energiebedarf steigt
 - Leistungsfähigkeit sinkt





Wachstumsbedingte Besonderheiten

- Frühentwickler (akzeleriert)
 - Normalentwickler
 - » Spätenwickler (retardiert)



Wachstumsbedingte Besonderheiten

- Grundumsatz
 - Baustoffwechsel
 - ⇒ 20 - 30% erhöht
- Betriebsstoffwechsel





Wachstumsbedingte Besonderheiten

Limitierende Leistungsgröße =
Belastbarkeit von

- Knochen
- Knorpel
- Sehnen
- Bänder



Wachstumsbedingte Besonderheiten

- Knochen
 - relativ viel weiches, organisches Material
⇒ erhöhte Biegsamkeit, aber
 - vermindert zug- und druckfest
- ⇒ verminderte Belastbarkeit des gesamten Skelettsystems





Wachstumsbedingte Besonderheiten

- Sehnen und Bänder
 - schwächer ausgeprägte micellare Ordnung, größerer Anteil Zwischenzellsubstanz
 - ⇒ vermindert zugfest



Wachstumsbedingte Besonderheiten

- Knorpel und Wachstumsfugen
 - hohe wachstumsbedingte Teilungsrate
 - ⇒ hohe Gefährdung gegen starke Druck- und Scherkräfte



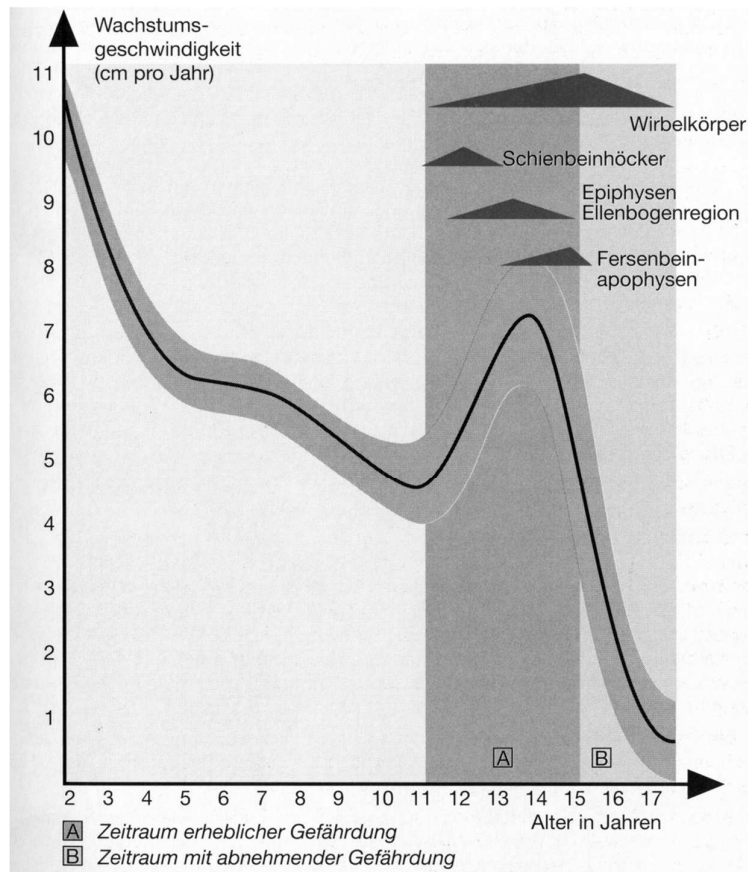
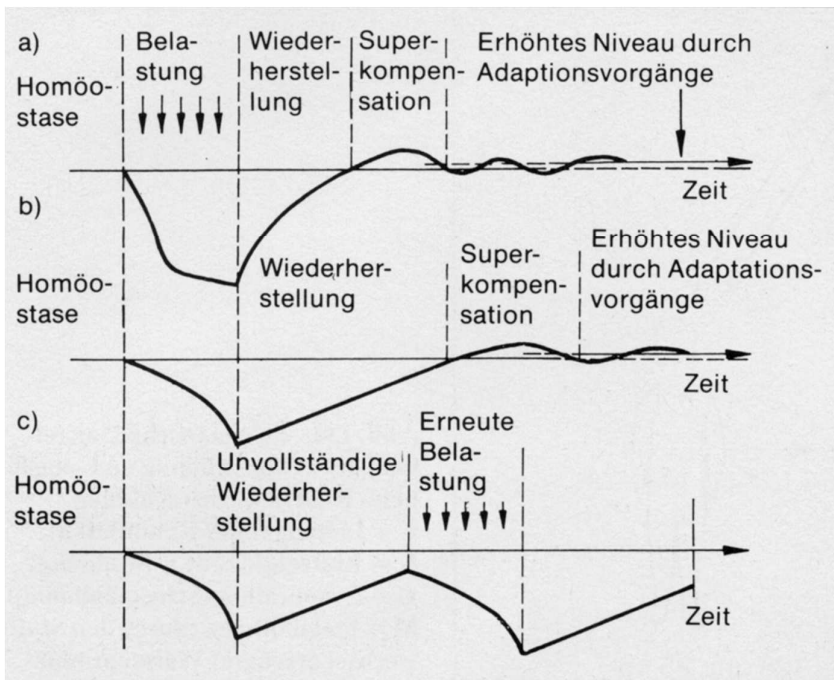
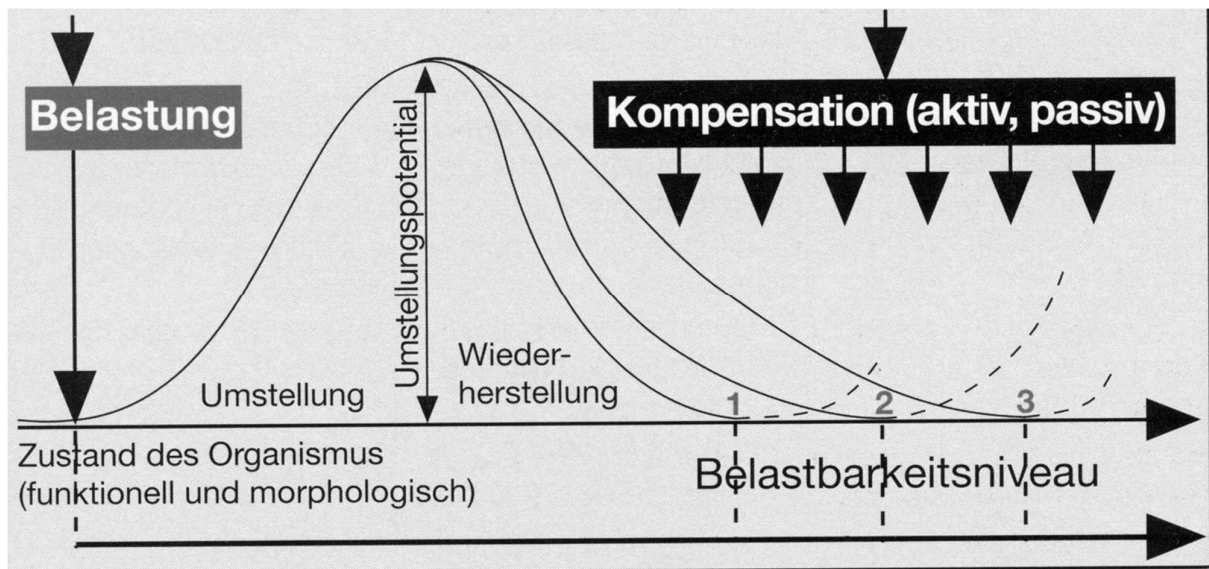


Abb. 27: Besondere Gefährdungszeiten für den reifenden Knochen besonders belasteter Regionen bei Mädchen; bei Jungen liegt dieser Zeitabschnitt ca. 2 Jahre später



Muskel

Abb. 133 Hypothetischer zeitlicher Verlauf der Wiederherstellungs- und Adaptationsvorgänge am Muskelsystem (a), am Binde- und Stützsystem (b) und nach unvollständiger Wiederherstellung (c) (Dietrich 1979, modifiziert nach Mateer, in Berthold/Thierbach 1981, 166).



Umstellung abhängig von Belastungsreiz und biologischem Zustand
 Wiederherstellung 1: rasch, 2: mittelmäßig schnell, 3: verzögert; abhängig von:
 Belastungsreiz, biologischer Zustand, System (nerval > Herz-Kreislauf-System > Stoffwechsel > Halte- und Stützapparat)
 Beanspruchungsmaß = Umstellungsgrad + Wiederherstellungszeit

Abb. 3: Schematische Darstellung der Beanspruchung des Organismus durch Belastung und Möglichkeit der Einflußnahme durch kompensatorische Maßnahmen



Wachstumsbedingte Besonderheiten

- Allgemein
 - Muskel: funktionelle und morphologische Veränderungen bereits nach **einer Woche**
 - Knochen, Knorpel, Sehnen und Bänder erst nach **Wochen oder Monaten**



Wachstumsbedingte Besonderheiten

- Speziell
 - Langsamer Adaptationsverlauf und
 - erhöhte Anfälligkeit durch Wachstum gegenüber Überlastung ⇒
- Strenge Progression der Belastung



Wachstumsbedingte Besonderheiten

- Muskulatur
 - Skelettmuskelzelle ähnlich Erwachsenen
 - Unterschied in Substrukturen quantitativ
 - Anteil ST-Fasern 6 Jahre 56 - 62%
 - 12 Jahre 64 - 73%
 - Erwachsene (10:90) 50:50 (90:10)
 - Glykolytische Kapazität erniedrigt
 - Bevorzugung des oxidativen Stoffwechsels



Jugend und Ausdauer

- Aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit relativ wie Erwachsener
- prinzipiell gleiche Adaptationserscheinungen ⇒
- strukturelle und funktionelle Anpassungserscheinungen
 - Zahl der Herzmuskelfasern bleibt gleich, aber
 - einzelne Faser wird länger und dicker
 - Herzfrequenz nimmt ab, Herzinnenraum nimmt zu
 - Schlagvolumen vergrößert sich => Ökonomisierung

Jugend und Ausdauer

- Maximale Sauerstoffaufnahme körperrgewichtbezogen bei trainierten Kindern bereits 60 ml/kgxmin (40-48)
- Ausdauerbetonte Trainingsgestaltung bei jungen Sprintern => längerfristig höheres Leistungsniveau als frühe Spezialisierung
- Geringe Fähigkeit zur anaeroben Energiegewinnung bis zu Beginn der Pubertät
- ⇒

Jugend und Ausdauer

- Laktateliminierung und Erholungsfähigkeit vermindert
- Anaerobe Belastungen führen zu mehr als 10fach erhöhten Katecholaminspiegeln ⇒
 - unphysiologisch (Drop out Quote)
 - nicht altersadäquat
 - Schutz vor kataboler Stoffwechsellage
 - Schonung der Kohlenhydratdepots (Gehirn)



Jugend und Ausdauer

Konsequenzen I:

- Keine Überbetonung da Einseitigkeit negativ auf hormonelle Antriebe
- Im Vorschulalter normal:
 - hochfrequente Bewegungen, kurze Dauer
 - Abwechslung, Vielfältigkeit



Jugend und Kraft

Definition:

S C H W I E R I G

Jugend und Kraft Training I

- Vorschulalter:
 - kein Krafttraining, vielmehr
 - Entwicklung des aktiven und passiven Bewegungsapparats fördern
 - Hindernisturnen

Jugend und Kraft Training II

- Schulkind:
 - Kräftigung Haltungs- und Bewegungsapparat
 - Dynamisches Training
 - geringe anaerobe Kapazität => kein statisches Training
 - Zirkeltraining

Jugend und Kraft Training III

- Erste puberale Phase
 - Ausgeprägtes Längenwachstum
 - Disharmonie der Körperproportionen
 - Ungünstige Hebelverhältnisse
 - Wachstumsknorpel mit morphologischen und funktionellen Veränderungen ⇒

Jugend und Kraft Training IV

- puberale Phase
 - Entwicklung einer kräftigen Muskulatur bei
 - weitgehender Entlastung der Wirbelsäule
 - Cave Scheibenhantel vor 14. (?) Lebensjahr
 - ⇒

Jugend und Kraft Training V

- Zweite puberale Phase
(Adoleszenz)
 - Mädchen 15.-17., Jungen 18.-22. Lj.
 - Beste Trainierbarkeit der Kraft
 - Umfang dominiert über Intensität
 - Kontinuierliche Steigerung

Jugend und Kraft

Training VI - Zusammenfassung

- Ausreichende Erholungszeiten
- Keine abrupten Belastungswechsel
- Kein Hanteltraining, Überkopfarbeit vor oder während pubertären Wachstumsschubs
- Vielseitige und seitengleiche Belastung
- Keine längerdauernden statischen Belastungen
- Orthopädische Untersuchung im Vorfeld
- Besonders auf technisch korrekte Ausführung achten

Urs Granacher et al., Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2009; 60: 41–49

Für 6- bis 12-Jährige

Wie oft?

- * 1 bis 2 Trainingseinheiten pro Woche

Wie lange?

- * etwa 30 Minuten pro Einheit
- * 4–12 Wochen; optimal 8 Wochen

Wie intensiv?

- * 6 bis 8 Übungen pro Einheit
- * eine Serie mit 15 bis 20 Wiederholungen
- * Subjektives Belastungsempfinden erfragen: Auf einer Skala von 1 bis 10 sollte das Kind einen Belastungswert von 6 angeben.

Für 12- bis 18-Jährige

Wie oft?

- * 2 bis 3 Trainingseinheiten pro Woche

Wie lange?

- * etwa 45 Minuten pro Einheit
- * zwölf Wochen, je nach Ziel

Wie intensiv?

- * 8 bis 10 Übungen pro Einheit
- * 1 bis 3 Serien mit 6 bis 20 Wiederholungen
- * Subjektives Belastungsempfinden erfragen: Auf einer Skala von 1 bis 10 sollte ein Belastungswert von 7 angegeben werden.

Die Resultate dieses Überblicks deuten darauf hin, dass sich Krafttrainingsmethoden für Erwachsene nicht direkt auf den sich im Wachstum befindenden Organismus übertragen lassen.

Hierfür sind in erster Linie Unterschiede in den physiologischen Voraussetzungen von Kindern und Erwachsenen verantwortlich, die zu differierenden trainingsbedingten Anpassungsreaktionen führen und dadurch eine altersgerechte Planung des Krafttrainings mit Kindern und Jugendlichen erfordern

7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Biol. Alter	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Präpubertät				Pubertät			Adoleszenz				Reifephase	Präpubertät			Pubertät			Adoleszenz			
							Menarche				Reifesignale							Samenerguß			
P1				P2 P3			P4 P5					P1			P2 P3 P4			P5 P6			
B1				B2 B3			B4 B5					G1			G2 G3 G4			G5 Bart			
≈	=	=		↗	↑	↘		=	=		Wachstumsgeschwindigkeit	≈	=	=	↗	↑	↘		=	=	
↑		↑		↑	↑		↑	↑			Muskuläre Trainierbarkeit	↑		↑		↑	↑		↑	↑	
≈	=	=		↓	↓	↓		=	=		Belastbarkeit der Knochen	≈	=	=	↓	↓	↓		=	=	
E			H	E			H	E			nervales System	E			H	E			H	E	
S			P	S			P	S			vegetatives System	S			P	S			P	S	

Abb. 24: Synopsis von Entwicklungsmerkmalen, die für die Belastbarkeit des Stütz- und Bewegungssystems bedeutend sind, dargestellt für Mädchen und Jungen (nach HESSE 1982, modifiziert und ergänzt).

≈ = annähernd konstant † = Auftreten Reifemerkm.
 ▼ = Abnahme ▲ = Erhöhung, vermehrt E = Erregung
 H = Hemmung S = Sympathikus P = Parasympath.

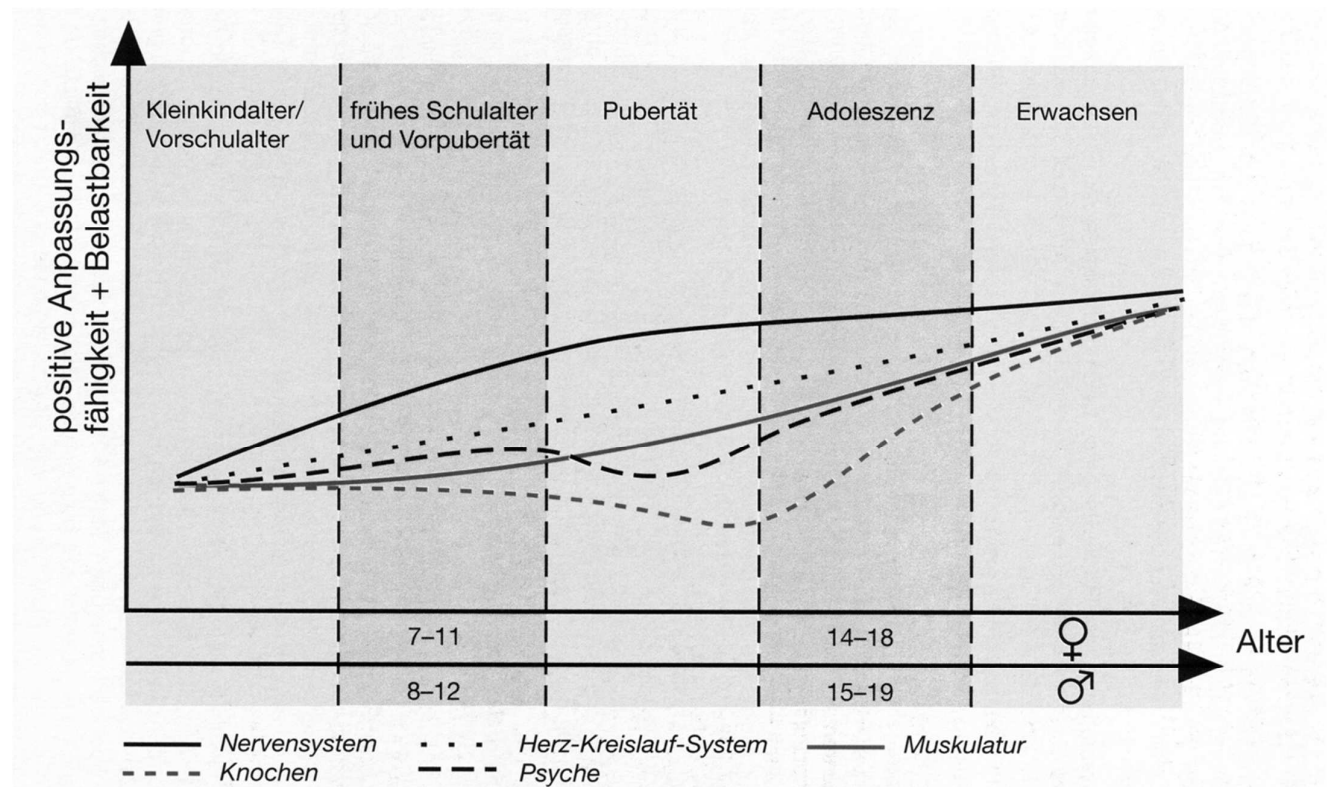
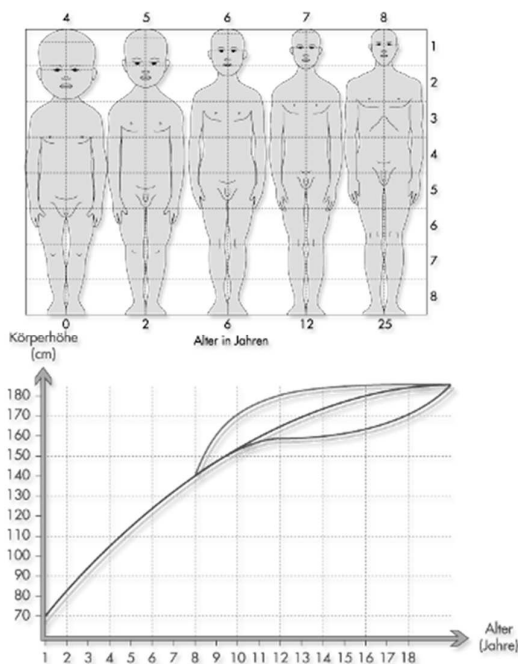


Abb. 2: Schematische Darstellung der Entwicklung der Belastbarkeit der biologischen Systeme in Abhängigkeit vom biologischen Alter (FRÖHNER 1978).

Individuelle Verläufe



Wachstum und Reifung

- auf genetischer Basis
- verlaufen nicht konstant
 - beschleunigt vor allem in der Pubertät
 - nicht bei allen Körperteilen zur gleichen Zeit
- verlaufen nicht bei Allen zur gleichen Zeit
- Spätentwickler sind nicht untalentierter!

Wachstum und Belastungsverträglichkeit

Der passive Bewegungsapparat des Heranwachsenden ist (mechanisch) noch nicht so belastbar wie der des Erwachsenen.



Nicht von muskulären Fortschritten täuschen lassen!



Vorsicht bei Wachstumsschüben – bei mehr als 1 cm / Monat vorübergehend auf hohe mechanische Belastungen verzichten!

Belastungsreize als Entwicklungsreize



- Deutlich langsamere Anpassung der passive Strukturen an steigende Belastung als der Muskeln.
- Ohne Entwicklungsreize gibt es aber keine Anpassung.
- Also: umfangsbetonte Belastungen niedriger bis mittlerer Intensität im Ausdauerbereich Nachwuchstraining ...
- ... plus hoher Intensität bei kurzen Belastungen im Schnelligkeitstraining!

Präventivmaßnahmen



- Bewegungsabläufe beherrschen lernen!
- umfangreiches Bewegungsrepertoire erarbeiten!
- hohe Intensitäten meiden, viele Belastungswechsel!
- frühzeitig Stütz Muskulatur und Muskelgleichgewicht ausbilden!

Nicht alles zu jeder Zeit: „sensible“ Phasen!?

- Bedeutsame Entwicklungsfaktoren:
 - frühzeitige neuronale Entwicklung vor der Pubertät
 - hormonelle Umstellung in der Pubertät
- schon vor der Pubertät:
 - Koordination, Bewegungslernen und elementare Schnelligkeit sind besonders lohnend.
 - Konditionelles erfolgt koordinativ!
- erst nach der Pubertät:
 - Krafttraining im Sinne von Muskelzuwachs
 - anaerob-laktazides Training



6. Folgerungen für das Grundlagentraining

Das ist zu tun:

- Beachtung des biologischen Entwicklungsstandes
- Vielseitigkeit hat Vorrang – Koordination vor Kondition
- auch semispezifische und allgemeine Trainingsmittel

Das ist zu lassen:



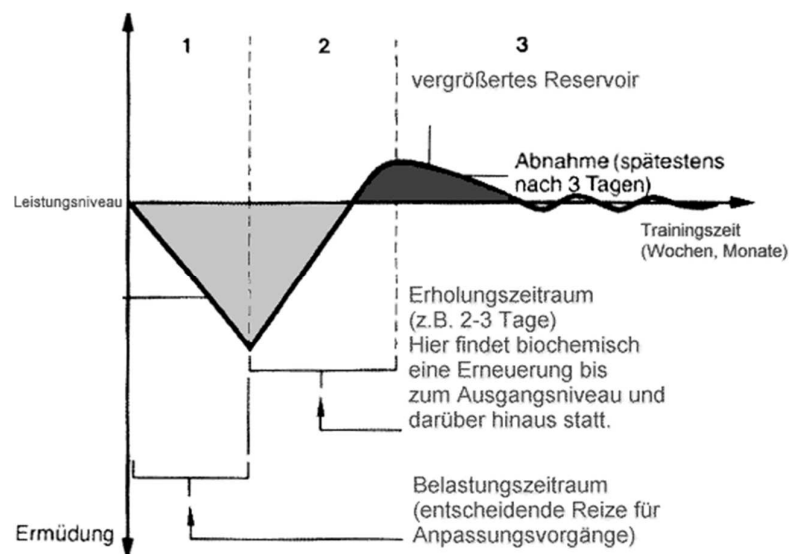
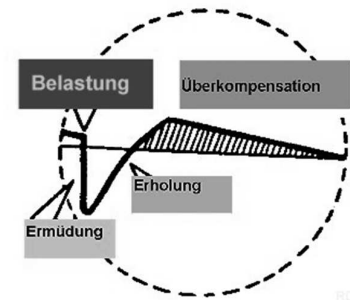
- systematische anaerob-laktazide Belastungen
- hohe Kraftbelastungen des passiven Bewegungsapparates
- Tiefsprünge

Superkompensation

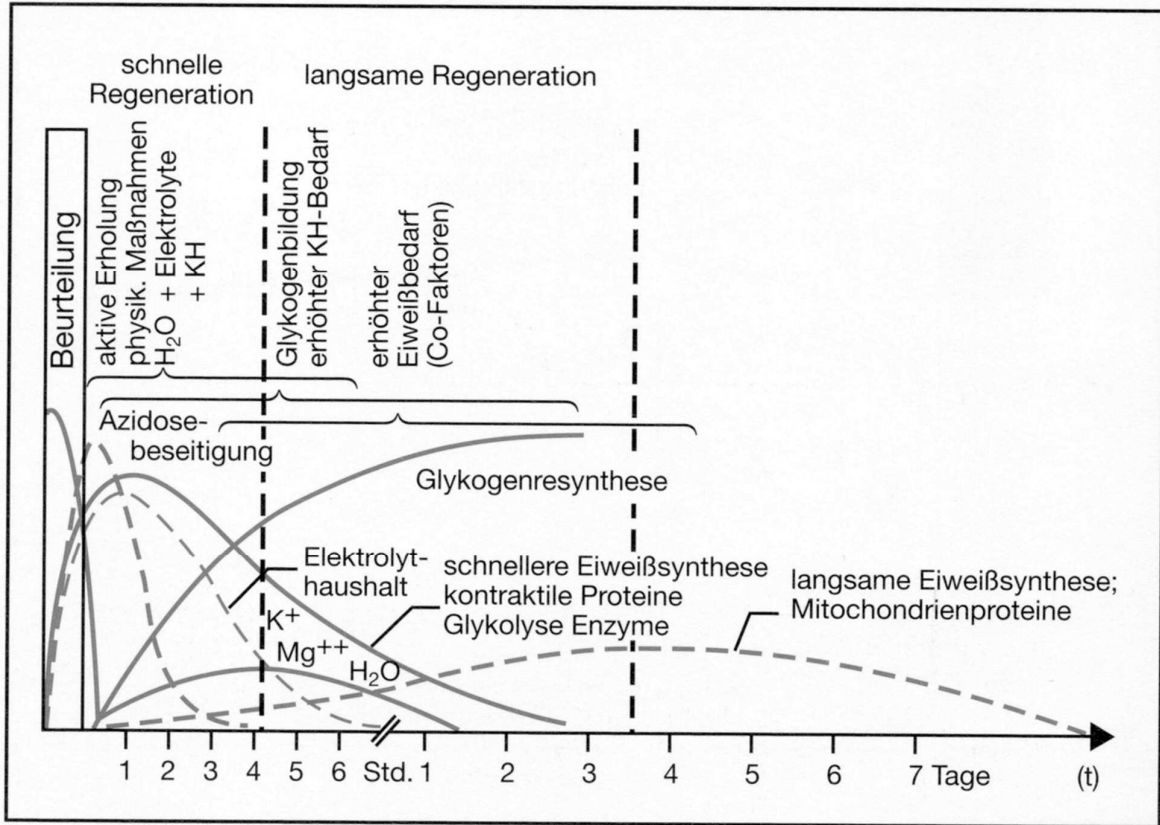
= Belastbarkeit nimmt erst ab, geht dann auf Ausgangsniveau zurück und steigt darüber hinaus

Grundsätze:

- Keine neuen Reize → Ausgangsniveau
- Zu lange Pausen → Ausgangsniveau
- Zu kurze Pausen → verminderte Leistung
- Gleiche Reizarten → keine Leistungssteigerung



Regeneration



Pauschale Phaseneinteilung	Regenerationsvorgänge	Zeitdauer	Notwendige Belastung
Frühphase	Wiederauffüllung des KrP (Superkompensation)	3-5 min (20-30 min)	Maximalbelastung (alaktazid) 10-12 s
	Abbau des Blutlaktats (Halbwertszeit)	1-3 h (ca. 15 min)	intensive anaerobe Belastung (Lac > 10-12 mmol/l)
	Beginn der Glykogenauffüllung, v. a. in FT-Fasern	bis 30 min	anaerob-laktazid mit FT-Fasern-Bearspruchung
Spätphase	Kompensation von Glykogen, v. a. in ST-Fasern	24-36 h	intensive aerobe Belastung (45-60 min)
	Elektrolytausgleich (Na, K)	6 h	lange Belastung mit Wasserverlust (> 1 h)
	Aufbau kontraktile Eiweiße (Aktin, Myosin)	12-48 h	maximale Muskelbelastungen
Superkompensationsphase	Ausgleich verlorener Muskelenzyme	48-60 h	hochintensive oder überlange Belastung (LZA III u. IV)
	Wiederaufbau von Strukturprotein (z. B. Mitochondrien)	48-72 h	häufige Lac-Bildung im Muskel (Übersäuerung)
	Superkompensation der Glykogenspeicher	2-3 Tage (KH-Diät)	intensive aerobe Belastung (60-90 min)
	Elektrolytausgleich (Mg, Fe)	2-3 Tage (Substitution)	lange Belastung mit Wasserverlust
	Ausgleich im Hormonhaushalt: Katecholamin-Resynthese	2-3 (5) Tage	anaerob-laktazide Belastung, häufige Intensitätsänderungen, psychischer Streß
	Cortisol-Resynthese	3-5 (7) Tage	Marathon- u. Ultra-LZA-Belastungen
	Neuaufbau von Strukturprotein (Enzyme, Mitochondrien, Binde- u. Stützgewebe)	Tage-Wochen	lange, relativ intensive Belastungen

Mod. nach Keul et al. 1986, Kindermann 1978, Badtke et al. 1987 in: Handbuch Radsport, BLV 1996

Trainingsform	Grundlagenausdauertraining	Schnellkrafttraining	Muskelhypertrophietraining	Schnelligkeits- und Techniktraining
Funktionssystem	aerobe Energiebereitstellung	anaerob-alaktazite und laktazite Energiebereitstellung	Eiweißstoffwechsel	neuromuskuläres System
unvollständige Wiederherstellung		ca. 2-3	ca. 2-3	ca. 2-3
fast voll-vollständige Wiederherstellung (90-95 %)	ca. 12	ca. 12-18	ca. 18	ca. 18
vollständige Wiederherstellung	ca. 24-36	ca. 48-72	ca. 72-84	ca. 72

Mindestzeitbedarf (in Std.) für Wiederherstellungsprozesse vorrangig beanspruchter Funktionssysteme nach unterschiedlichen Trainingsbelastungen

(nach Grosser / Neumaier 1982)

(aus: Bewegung und Training; Urban & Fischer 2002)