

# Sportphysiologie

Kurt A. Moosburger  
Facharzt für Innere Medizin  
Sportmedizin - Ernährungsmedizin  
6060 Hall i.T., Thurnfeldgasse 14  
[www.dr-moosburger.at](http://www.dr-moosburger.at)

# Bewegung - Sport - Training

- Bewegung ist Bewegung
- Sport ist etwas Soziales oder Kompetitives
- Training ist *regelmäßige körperliche Bewegung (Belastung)* zum Zwecke der *Leistungssteigerung* oder *Erhaltung der körperlichen Leistungsfähigkeit* auf der Basis von *Wachstumsprozessen* in den beanspruchten Organen.

# Training

## "Sport als Medikament"

Ein Training hat einen funktionellen Zweck :

Es löst Wachstumsprozesse aus

Körperliche Bewegung, die keine Wachstumsprozesse auslöst,  
ist kein Training !

# Training

## "Sport als Medikament"

Katabole Vorgänge laufen ständig von selbst ab.

Anabole Vorgänge bedürfen ständiger Stimuli.

⇒ Auch zur Erhaltung eines erreichten Zustandes sind ständige Reize notwendig !

⇒ Training muss daher **regelmäßig ganzjährig** durchgeführt werden !

Die medizinische Trainingslehre

gilt für jedermann,

für den Anfänger wie für den Profi

# *Sport als "Medikament"*

*Es gibt keine Altergrenze und keine chronische Erkrankung, die ein Training verbieten würde.*

**Gerade das metabolische Syndrom ist eine Indikation !**

## **"Dosierung" eines Trainings:**

1. **Intensität** ("Dosis")
2. **Dauer** ("Dosis")
3. **Häufigkeit** ("Dosisintervall")
4. **Umfang** ("wöchentliche Gesamtdosis")  
WNTZ = wöchentliche Netto-Trainingszeit

*individuell in Abhängigkeit von Leistungsfähigkeit und Trainingszustand*

# Motorische Grundeigenschaften

- Kraft
- Ausdauer
- Schnelligkeit
- Koordination
- Flexibilität

Die wichtigsten körperlichen Eigenschaften, die mit Training verbessert werden können, sind **Kraft** und **Ausdauer**

# Kraft

Kraft ist die Fähigkeit des Muskels,  
Spannung zu entwickeln

Kraft ist die Fähigkeit des Nerv-Muskelsystems

- Widerstände zu überwinden = **konzentrische Arbeit**
- ihnen entgegenzuwirken = **exzentrische Arbeit**
- sie zu halten = **statische Arbeit**

Bei der Muskelkontraktion wird die Ausgangslänge der Muskelfasern verkürzt, verlängert oder beibehalten.

# Kraft

## Krafttraining (je nach Zielsetzung)

- Maximalkrafttraining
- Hypertrophietraining
- Schnellkrafttraining
- Kraftausdauertraining

# Die Methodik des Krafttrainings

Der Widerstand (Hantelgewicht bzw. entspr. Maschineneinstellung) richtet sich nach der geplanten WH-Zahl eines Satzes (früher: nach % der Maximalkraft)

- **Maximalkraft:** 3 - 6 (versuchsweise) schnelle WH
- **Hypertrophie:** 8 - 12 zügige bis langsame WH (auch exzentrisch)
- **Schnellkraft:** 3 - 5 schnellstmögliche, "explosive" WH \*
- **Kraftausdauer:** 30 - 40 (bis 60) zügige WH \*\*

---

\* Widerstand 50-55% des 1RM (1RM = one repetition maximum)

\*\* innerhalb ca. 90 sec, TUT 40 - 60 sec (max. anaerob-laktazide Energiebereitstellung)

# Krafttraining aus medizinischer Indikation

sollte primär ein **Hypertrophietraining** sein

Vorrangiges Ziel ist der Muskelaufbau  $\Leftrightarrow$  "Zurückholung" von im Lauf der Jahre "verlorengegangener" Muskelmasse als

1. **Stoffwechselorgan** (Insulinsensitivität, Blutzuckerspiegel, Fettverbrennung)
2. **Stützorgan des passiven Bewegungsapparates** (Knochen, Gelenke)

Das "Prinzip der letzten Wiederholung" ist für Anfänger kein "Muss"

$\Leftrightarrow$  "**Sanftes Krafttraining**" (Boeckh-Behrens/Buskies)

# Krafttraining mit freiem Widerstand versus Maschinen

## Maschinen

- Geführte Bewegung ⇒ Nachteil: kein bzw. kaum Training der *intermuskulären Koordination*
- Einstieg für Anfänger (aber grundsätzlich können auch diese mit freiem Widerstand beginnen: Lerneffekt)
- Kein Partner erforderlich
- Für ältere Menschen zweckmäßiger (z.B. KIESER-Training)

## Freier Widerstand (Langhantel, Kurzhantel)

- Vorteil: Training der *Kraft* und der *intermuskulären Koordination*  
⇒ besonders effiziente Hilfe im Alltag
- Partner zur Kontrolle und Hilfestellung bei Bedarf

# Komplexe Übungen versus Isolationsübungen

**Isolierte Übung:** Training eines Muskels ("BB")

Beispiele: *Biceps-Curls, Crunches, Adduktoren-/Abduktorenmaschine*

**Komplexe Übung:** Training einer Bewegung

Beanspruchung mehrerer Muskelgruppen, die gemeinsam an einer Bewegung beteiligt sind ("Muskelkette", "Muskelschlinge")

Beispiele:

*Boxbeuge, tiefe Kniebeuge:* Hamstrings, Quadriceps, Glutaeus maximus, autochthone Rückenmuskulatur

*Klimmzug mit engem Kammgriff:* Biceps, Pectoralis, Latissimus

*Bankdrücken:* Pectoralis, vorderer Deltoid, Trizeps

# Die komplexen Grundübungen des Krafttrainings

- *Kreuzheben (dead lift)*
- *Tiefe Kniebeuge (squat), Boxbeuge (box squat)*
- *Bankdrücken (bench press) (flach)*
- *Langhantel-Rudern vorgebeugt*
- *Schulterdrücken (military press, front press)*
- *Klimmzug (Latissimuszug)*

weitere komplexe Übungen:

- *Dips*
- *Bankziehen*
- *Good mornings*
- *Hyperextensions, reversed hyperextensions*
- *Beinüberzüge im Hang*
- *Barbell rollouts*

siehe [Funktionelles Krafttraining](#)

# Ausdauer

- Fähigkeit der Muskelzellen, den Energieumsatz (ATP-Produktion) zu steigern
- "Ermüdungs-Widerstandsfähigkeit"
  - ⇒ Fähigkeit, möglichst lange einer Belastung zu widerstehen, deren Dauer und Intensität letztlich zur Ermüdung und damit zur LeistungseinbuÙe führt
  - ⇒ Fähigkeit,
    - eine körperliche Tätigkeit länger durchführen zu können
    - danach weniger müde zu sein und
    - sich rascher zu erholen

# Allgemeine Ausdauer

## Ausdauertraining

- zyklisch-dynamische Muskelarbeit
- mindestens ein Sechstel der gesamten Skelettmuskulatur (weniger → lokale Muskelausdauer)
- mindestens 3 Minuten

# Ausdauertraining

ist mehr als nur ein "Cardiotraining" !

"Cardiotraining" ist ein Modebegriff der Fitnessszene,  
kein Begriff in der Trainingslehre

*Kardio-, kardial* (lat.): das Herz betreffend

Trainiert wird die Ausdauer der Muskulatur !  
(Radfahren, Laufen: Beinmuskulatur)

# Ermittlung der Belastungsintensitäten für das Ausdauertraining

Orientierung an der max. Wattleistung bzw. max. HF  
im Breiten- und Gesundheitssport am zweckmäßigsten!

"Untergrenze" : 50% der max. PWC = ca. 70% der max. HF  
bei Untrainierten meist 75% der max. HF!  
(bei Trainierten 65-70% der max. HF)

"Obergrenze" : 70-75% der max. PWC = 85-88% der max. HF  
(bei Trainierten bis 90% der maximalen HF)

Laktatmessung im Breiten- und Gesundheitssport nicht notwendig  
und auch nicht sinnvoll

(v.a. nicht mit dem "starren" 2- und 4 mmol-Schwellenkonzept)

Spiroergometrie nicht notwendig

Berechnung der  $VO_2$  in ml/min :  $3.5 \times KG \text{ (kg)} + 12 \times \text{Watt (Mann)}$

$3.2 \times KG \text{ (kg)} + 12 \times \text{Watt (Frau)}$

# Ermittlung der Belastungsintensitäten für das Ausdauertraining

Wenn man den genauen Ruhepuls kennt  
(= Herzfrequenz unmittelbar nach dem morgendlichen Erwachen)

## KARVONEN-Formel:

Prozentsatz der Herzfrequenzreserve plus Ruhepuls

Herzfrequenzreserve = maximale Herzfrequenz minus Ruhepuls

⇒ **(max. HF minus Ruhe-HF) x Faktor plus Ruhe-HF**

extensives Ausdauertraining: Faktor ca. 0.6

intensives Ausdauertraining: Faktor ca. 0.8

# Trainingsempfehlungen für ein extensives Ausdauertraining

## Untrainierte:

- Beginn mit 3 x 10 - 15 min pro Woche
- Schrittweise Erhöhung der Trainingsdauer alle 4 bis 6 Wochen um 5 - 10 min  
→ 3 x 20 → 3 x 30 → 3 x 40 (bis 3 x 60) min  
  
⇒ WNTZ 2 (bis 3) Stunden
- Weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Erhöhung der Trainingsfrequenz:  
→ 4 x 30 → 4 x 40 → 4 x 50 min usw.

# Ausdauersport

Trainingseffekte auf:

- Herz-Kreislauf-System
- Skelettmuskulatur (Muskelstoffwechsel)
- Allg. Stoffwechsel
- Vegetatives Nervensystem
- Hormonsystem
- Psyche

# Ausdauertraining - für's Herz

Gelaufen und geradelt wird mit den Beinen (nicht mit dem Herz), aber auch das Herz wird trainiert:

Das Herz ist die "Pumpe" für den Blutkreislauf

**Herzfrequenz (HF)**: Schläge pro Minute

**Schlagvolumen (SV)**: Blutmenge, die pro Herzschlag ausgeworfen wird

**Herzminutenvolumen (HMV)**: Blutmenge, die in 1 Minute in den Kreislauf gepumpt wird (in Ruhe ca. 5 Liter/min)

*Das Herzminutenvolumen ist das Produkt aus Schlagvolumen und Herzfrequenz*

$$HMV = SV \times HF$$

# Das Sportherz

*Das Sportherz ist das Ergebnis einer normalen, sinnvollen Anpassung an eine vermehrte körperliche Dauerbelastung:*

Langjähriges, regelmäßiges, umfangreiches und intensives Ausdauertraining

Das Sportherz ist ein **gesundes, vergrößertes Herz** gekennzeichnet durch eine

- **regulative Erweiterung aller Herzkammern** (inkl. der zuführenden und abgehenden Gefäße)
- **kompensatorische Hypertrophie** (Verdickung) der Herzmuskulatur
- **Erweiterung der Herzkranzgefäße** (um die entsprechende Durchblutung und damit Ernährung sowie Sauerstoffversorgung des starken Herzmuskels zu gewährleisten)

Resultat: **Ein überdurchschnittlich leistungsfähiger Herzmuskel**

# Ausdauertraining - für's Sportherz

$$HMV = SV \times HF$$

Intensives Ausdauertraining = "Sportherztraining"

Größeres Herzvolumen  $\Leftrightarrow$  größere "Hubreserve"  $\Leftrightarrow$  größeres Schlagvolumen  
 $\Leftrightarrow$  Steigerung des maximalen HMV (die maximale HF ist genetisch festgelegt)

Max. HMV: gute Hobbysportler: ca. 25 l/min, Weltklasseathleten: 40 l/min

*Das HMV ist entscheidend für die  $VO_2max$  (limitierender Faktor)*

$VO_2$  = Sauerstoffaufnahme

$VO_2max$  = maximale Sauerstoffaufnahme

*Die  $VO_2max$  ist das entscheidende Bruttokriterium  
für die allgemeine Ausdauerleistungsfähigkeit  
(aerobe Kapazität)*

# Die maximale Sauerstoffaufnahme

*Die  $VO_2$ max repräsentiert das maximale Transportvermögen von Sauerstoff aus Luft in die arbeitende Muskulatur*

Sie ist das Maß für:

1.  **$O_2$ -Zufuhr:** Atmung (Gasaustausch in der Lunge)
2.  **$O_2$ -Transport:** Herz-Kreislaufsystem (Blut - Erythrozyten)
3.  **$O_2$ -Verwertung:** aerobe Energiebereitstellung in den arbeitenden Muskelzellen (Laufen: Beinmuskulatur)

bei körperlicher Ausbelastung

*Im Ausdauersport ist entscheidend, wieviel Sauerstoff im Muskelstoffwechsel für die aerobe Energiegewinnung zur Verfügung gestellt wird*

siehe [Die maximale Sauerstoffaufnahme...](#)

# Die maximale Sauerstoffaufnahme

- ist bis zu 70% genetisch determiniert
  - Steigerung durch Ausdauertraining: 20 - 50%
- ⇒ *Voraussetzung für eine Spitzen-Ausdauerleistungsfähigkeit ist eine hohe  $VO_2\text{max}$  bereits in untrainiertem Zustand*

- Trainierbarkeit des Anteils der  $VO_2\text{max}$  an der anaeroben Schwelle (Dauerleistungsgrenze) ist höher: 50 - 70%

Die trainierbare Steigerung der  $VO_2\text{max}$  erfolgt

- *zentral* über das Herz-Kreislauf-System durch Vergrößerung des maximalen Herzminutenvolumens (HMV)
- *peripher* über die bessere Sauerstoffausschöpfung und -verwertung der Muskulatur durch Kapillarisation und Verbesserung des aeroben Muskelstoffwechsels (Vermehrung von Mitochondrien in den ST-Fasern)

# Die maximale Sauerstoffaufnahme



Spiroergometrie nicht notwendig

Berechnung der  $\text{VO}_2$  in ml/min :

Mann:  $3.5 \times \text{KG (kg)} + 12 \times \text{Watt}$

Frau:  $3.2 \times \text{KG (kg)} + 12 \times \text{Watt}$

# Energiebereitstellung

## anaerob

alaktazid

Energiereiche  
Phosphate  
(ATP + CP)

Spaltung

laktazid

Anaerobe  
Glykolyse

Unvollständiger  
Glukoseabbau  
zu Laktat

## aerob

Aerobe  
Glykolyse

vollständige  
Glukose-  
verbrennung  
zu  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Lipolyse  
+  
Betaoxidation

Fettverbrennung  
zu  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

# Energieflussrate

## ATP-Bildung pro Zeit

anaerob-alaktazide Energiebereitstellung: maximale Energieflussrate



anaerob-laktazide Energiebereitstellung (anaerobe Glykolyse )



aerobe Glukoseverbrennung (aerobe Glykolyse)



Fettverbrennung (Betaoxidation )

*Abnahme der Energieflussrate um jeweils ca. die Hälfte*

⇒ Die maximal mögliche Leistung nimmt in der Reihenfolge

**anaerob-alaktazid** (Spaltung der energiereichen Phosphate)

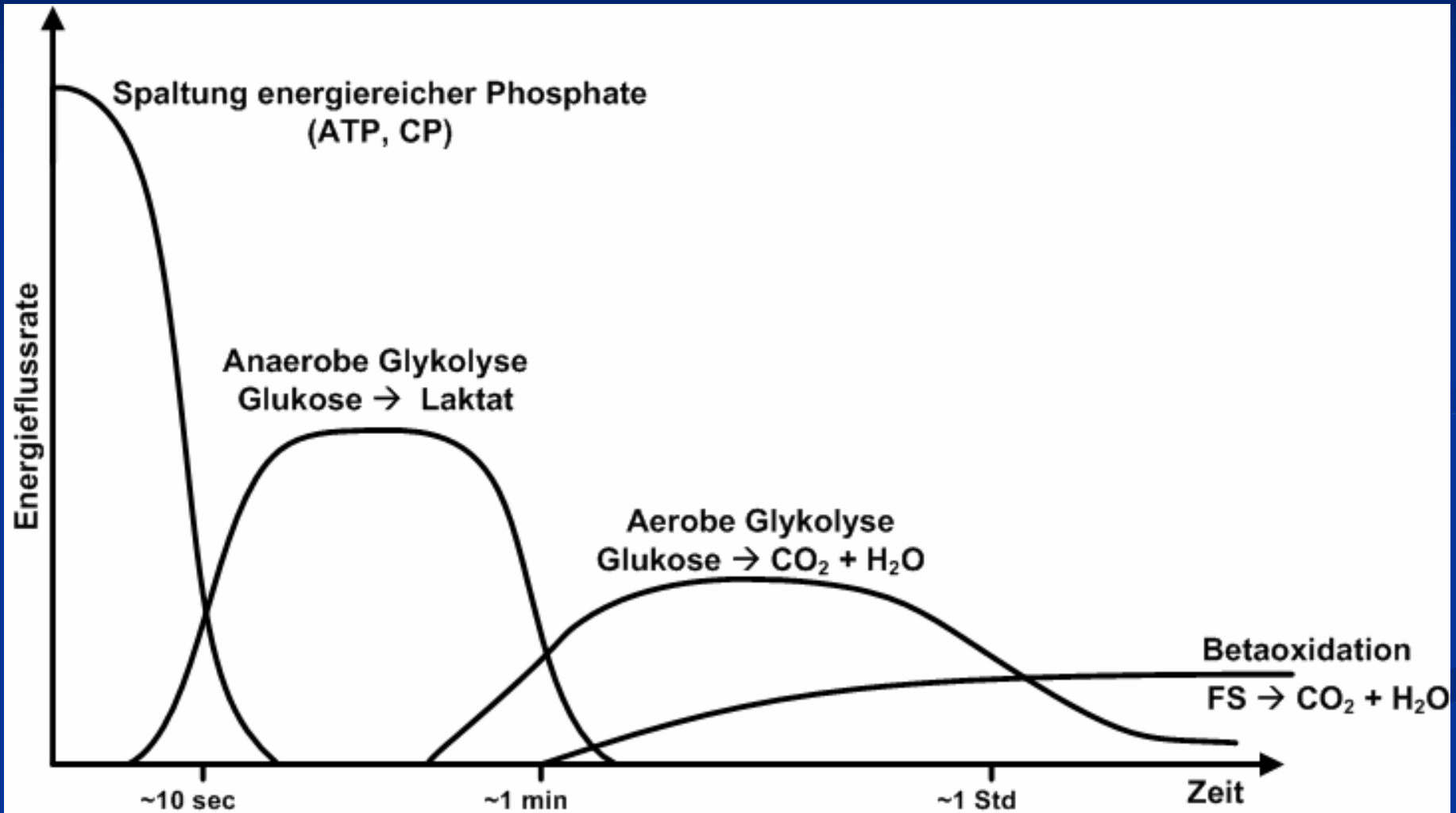
→ **anaerob-laktazid** (anaerobe Glykolyse, unvollständige Glukoseverbrennung)

→ **aerobe Glykolyse** (vollständige Glukoseverbrennung)

→ **Betaoxidation** (Fettverbrennung) ab

die mögliche Belastungsdauer in gleicher Reihenfolge zu

# Schema der muskulären Energiebereitstellung



# Die muskuläre Energiebereitstellung im Ausdauersport

Aerobe Energiebereitstellung  
= Bildung von ATP unter Verbrauch von Sauerstoff:

Oxidation (Verbrennung) von

1. Fettsäuren: *Betaoxidation*

2. Glukose (Traubenzucker): *aerobe Glykolyse*  
zu  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  (Kohlendioxid und Wasser)

Die Oxidation von Proteinen spielt keine entscheidende Rolle

*Es besteht prinzipiell immer ein "Nebeneinander" (kein "Nacheinander!")  
der einzelnen Mechanismen der Energiebereitstellung  
mit fließenden Übergängen in Abhängigkeit von der  
Belastungsintensität und dem Trainingszustand.*

*Primär bestimmt das Ausmaß der Belastungsintensität und nicht die  
Belastungsdauer die entsprechende Energiebereitstellung.*

siehe [Die muskuläre Energiebereitstellung im Sport](#)

## Anteilmäßige muskuläre Energiebereitstellung in Prozent (Durchschnittswerte, individuelle Schwankungen)

	Betaoxidation	Glykolyse aerob	Glykolyse anaerob	Kreatinphosphat
24-Std-Lauf	ca. 88	Muskelglykogen ca. 10 Leberglykogen (Blutglukose) ca. 2		
Doppelmarathon	ca. 60	Muskelglykogen ca. 35 Leberglykogen (Blutglukose) ca. 5		
Marathon	ca. 20	Muskelglykogen ca. 75 Leberglykogen (Blutglukose) ca. 5		
10000 m		ca. 95 - 97	ca. 3 - 5	
5000 m		ca. 85 - 90	ca. 10 - 15	
1500 m		ca. 75	ca. 25	
800 m		ca. 50	ca. 50	
400 m		ca. 25	ca. 60 - 65	ca. 10 - 15
200 m		ca. 0 - 10	ca. 60 - 70	ca. 20 - 30
100 m			ca. 30 - 50	ca. 50 - 70

# Die Muskulatur des Ausdauersportlers

Typ I-Muskelfasern = ST-Fasern:

- "langsam zuckende" Muskelfasern (slow twitch) mit hoher Ermüdungsresistenz
- hoher Konzentration an ATPase
- relativ niedrigem Glykogengehalt
- hohem Myoglobingehalt ( $O_2$ -Speicherung in der Muskelzelle)
- hohen Anzahl an Mitochondrien (den "Kraftwerken der Zelle", in denen die oxidative Verbrennung von Glukose u. Fettsäuren stattfindet)

Sie finden sich vorwiegend in der "roten" Muskulatur und besitzen eine gute Kapillarisation ( $O_2$ -Übertritt Blut  $\rightarrow$  Muskelzelle).

Sie werden bei lang durchgeführten Bewegungen mit geringer Kraftentwicklung eingesetzt.

# Beispiel Marathonlauf

Die "Kunst" ist es, mit dem "letzten Tropfen" Glykogen im Ziel anzukommen.

Da das in der Beinmuskulatur gespeicherte Glykogen nicht ausreicht, um damit einen Marathon zu absolvieren, ist es notwendig, zusätzlich Fettsäuren zu verbrennen, um länger mit dem Glykogen auszukommen.

Das lernt die Muskulatur durch extensives GA-Training  
→ *Fettstoffwechseltraining*

Wer sein Muskelglykogen vorzeitig aufbraucht, dem begegnet der "Mann mit dem Hammer"

Lernprozess: Die richtige Wahl der Belastungsintensität

# Fettstoffwechseltraining

- Dauer: Langdauernde (90 min und länger) extensive Trainingseinheiten
- Intensität: ca. 65% der  $VO_2\text{max}$   
(Untrainierte ca. 50%, Hochausdauertrainierte bis 75% der  $VO_2\text{max}$ )  
entspricht 70 - 80% der maximalen Herzfrequenz  
Energiebereitstellung: 50% Glukose-, 50% Fettverbrennung
- Methode: Dauermethode

⇒ Entwicklung der Langzeitausdauer (LZA III) durch  
*Ökonomisierung der muskulären Energiebereitstellung  
bei längerdauernder Ausdauerbelastung:*

*Die arbeitende Muskulatur lernt, mehr Fettsäuren zu verbrennen  
Betaoxidation ↑ ⇒ Einsparung von Muskelglykogen möglich*

Das in der Muskulatur gespeicherte Glykogen ist wertvoll, da limitiert (ca. 500g)

# Fettstoffwechseltraining

Gezieltes extensives GA1-Training  
in den klassischen LZA-Sportarten  
(Radrennsport, Marathonlauf, Triathlon)

Gesundheits- bzw. Hobbysportler ohne Marathonambitionen brauchen dieses spezifische LZA-Training nicht

*Ein Training im Fettstoffwechselbereich hat nichts mit "Abspecken" zu tun!*

Weit verbreitetes Fehlverständnis:

"Training zum Fettabbau", "Fettverbrennungspuls" zur Gewichtsreduktion

# Marathonlauf

Energiebereitstellung in der arbeitenden Muskulatur:

- **Oxidation von Glukose: ca. 80 %**
  - davon ca. 75 % Glukoseverbrennung "vor Ort": Muskelglykogen
  - ca. 5 % Blutglukose ("Blutzucker"): Leberglykogen und  
zugeführter Zucker
  - (⇒ wichtig: ausreichendes Trinken eines zweckmäßigen Getränks)
- **Oxidation von Fettsäuren ("Fettverbrennung"): ca. 20 %**

# Das Problem schwindender Muskelmasse

Physiologischer "Muskelschwund" ab dem 25.-30.Lj: ca. 1% pro Jahr  
*erst recht bei einem "sedentary lifestyle" !*

## 1. Muskulatur als Stützorgan des passiven Bewegungsapparates

Orthopädische Probleme: *Osteoporose , Arthrosen*

Die Muskelkraft und intermuskuläre Koordination nimmt ab

⇒ sturzbedingte Frakturen im höheren Alter

## 2. Muskulatur als Stoffwechselorgan [Stoffwechsel = Metabolismus]

Metabolische Konsequenzen:

Grundumsatz und Gesamtenergieumsatz nimmt ab

Körperfettanteil steigt (auch bei gleichbleibendem Körpergewicht !)

⇒ *Insulinresistenz - metabolisches Syndrom - Typ 2-Diabetes mellitus  
als "Muskelmangelerkrankung" !*

# Das metabolische Problem schwindender Muskelmasse

Die Muskulatur ist das größte Organ, das  
**Glukose aufnimmt !**

Faustregel: Die Muskelmasse ist proportional zur Insulinsensitivität

Die Muskulatur ist das größte Organ, das  
**Fett verbrennt !**

⇒ Plädoyer für ein regelmäßiges Krafttraining !  
(spätestens ab dem 30. Lebensjahr)

Ab dem 50. Lebensjahr hat Krafttraining einen höheren  
Stellenwert als Ausdauertraining !