

„Heute schon `was geleistet?“

## Einführung in die Leistungsphysiologie

Horst Pagel

Institut für Physiologie

Universität zu Lübeck



**0. Warum Leistungsphysiologie ?**

**1. Was ist Leistungsphysiologie ?**

**2. Energie-Bereitstellung**

**3. Aerobe und anaerobe Leistung**

**4. Physiologische Anpassung an körperliche Aktivität**

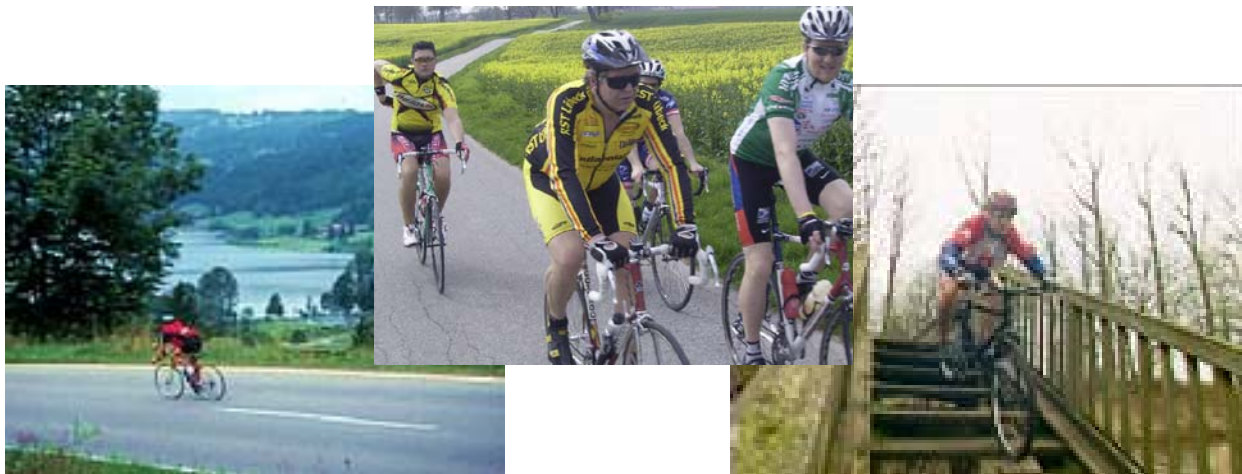
**5. Leistungstests**

**6. Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Übung & Training**



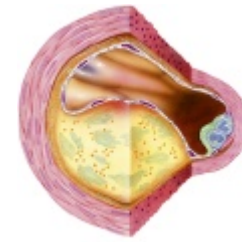
# 0. Warum Leistungsphysiologie ?

1. Was ist Leistungsphysiologie ?
2. Energie-Bereitstellung
3. Aerobe und anaerobe Leistung
4. Physiologische Anpassung an körperliche Aktivität
5. Leistungstests
6. Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Übung & Training





**Rauchen**



**Dyslipoproteinämie**  
LDL / HDL > 5

**Die fünf Killer**



**Adipositas**



**Hypertonie**  
RR > 140/90 mmHg

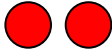
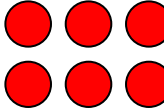
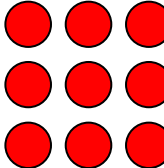


**Bewegungsmangel**

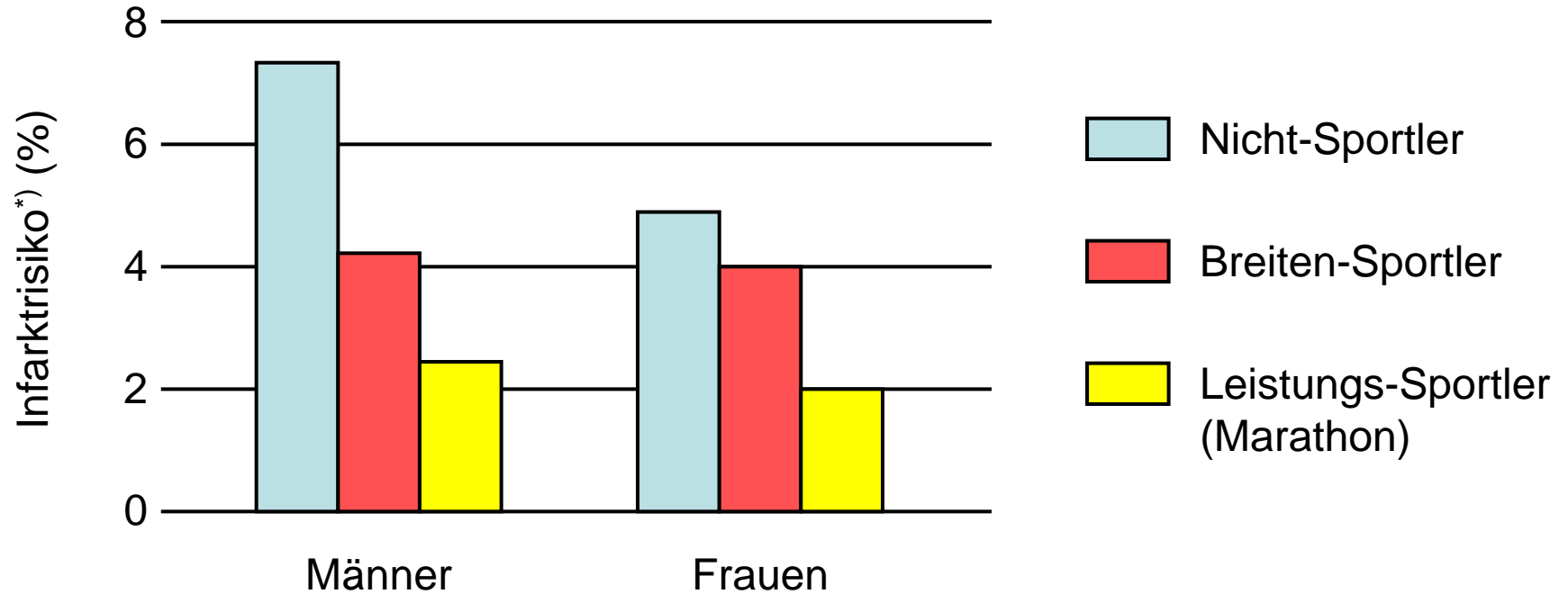
# Risikofaktor No. 1: Bewegungsmangel

Folgen: erhöhtes Risiko einer kardiovaskulären Erkrankung  
(Angina pectoris, Herzinfarkt, Schlaganfall, Thrombose, etc.)

Potenzierung der Risikofaktoren („Risikobündel“, „Risiko-Cluster“)

Rauchen (~20 Zigaretten/Tag)	zweifach	
Rauchen Hypercholesterinämie	sechsfach	
Rauchen Hypercholesterinämie Bewegungsmangel	neunfach	

## Herzinfarkt und Sport



\*) Risiko, innerhalb der nächsten zwölf Jahre einen Herzinfarkt zu bekommen  
(nach Schettler, 1985)

**„Wer jetzt nicht Zeit in sportliche Aktivitäten investiert, muss früher oder später Zeit in Krankheit investieren.“**

*(‘Those who think they have no time for exercise will sooner or later have to find time for illness.,)*

Edward George Geoffrey Smith Stanley (1799 - 1869) 14. Earl of Derby, brit. Politiker und 3maliger brit. Premierminister





BERUFSVERBAND DEUTSCHER  
PRÄVENTOLOGEN E.V.

1-jähriges Aufbau-Fernstudium für alle  
Angehörigen der Gesundheitsberufe:

- körperliche Bewegung
- Ernährung
- Suchtprävention
- Lebensgestaltung
- Psychohygiene und Schlafberatung
- etc.

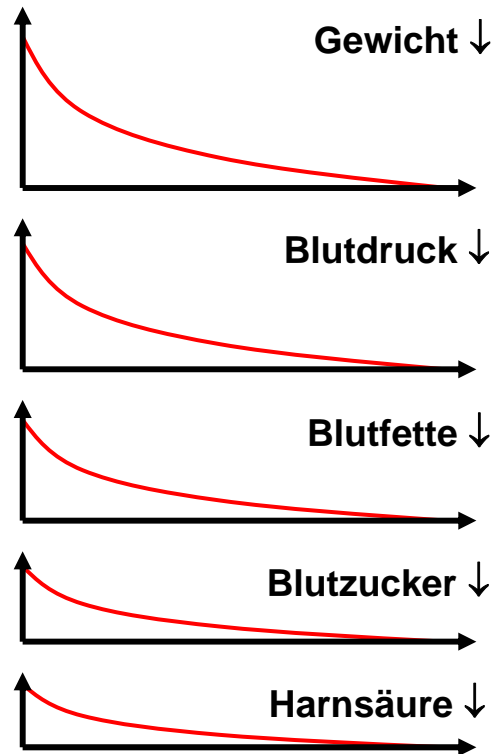
Berufsverband Deutscher Präventologen e.V.

Ludwig-Barney-Str. 1

30175 Hannover



# Folgen einer Bewegungstherapie



0. Warum Leistungsphysiologie ?

## 1. Was ist Leistungsphysiologie ?

2. Energie-Bereitstellung

3. Aerobe und anaerobe Leistung

4. Physiologische Anpassung an körperliche Aktivität

5. Leistungstests

6. Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Übung & Training

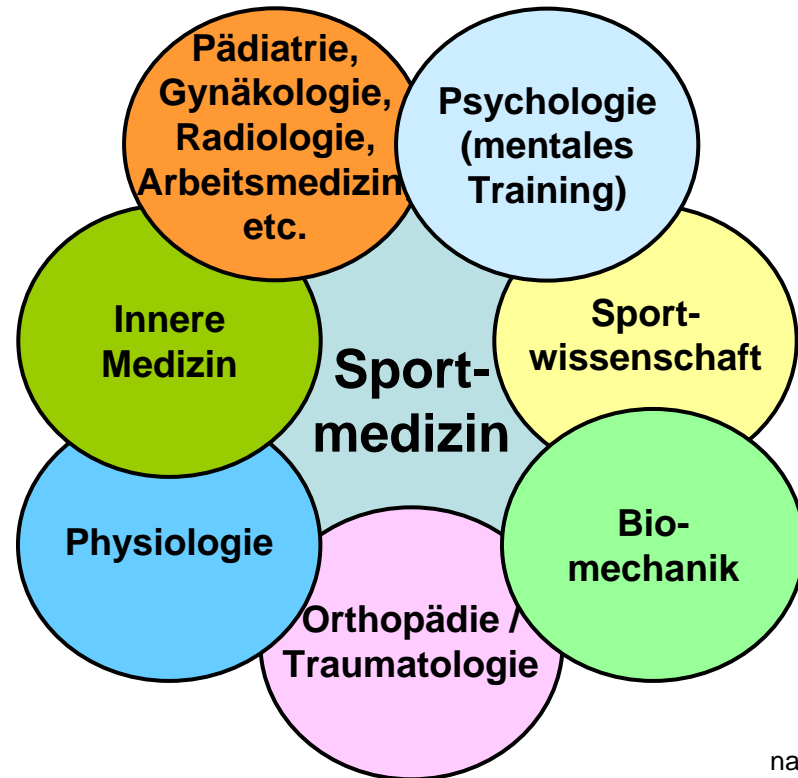


# Leistungsphysiologie

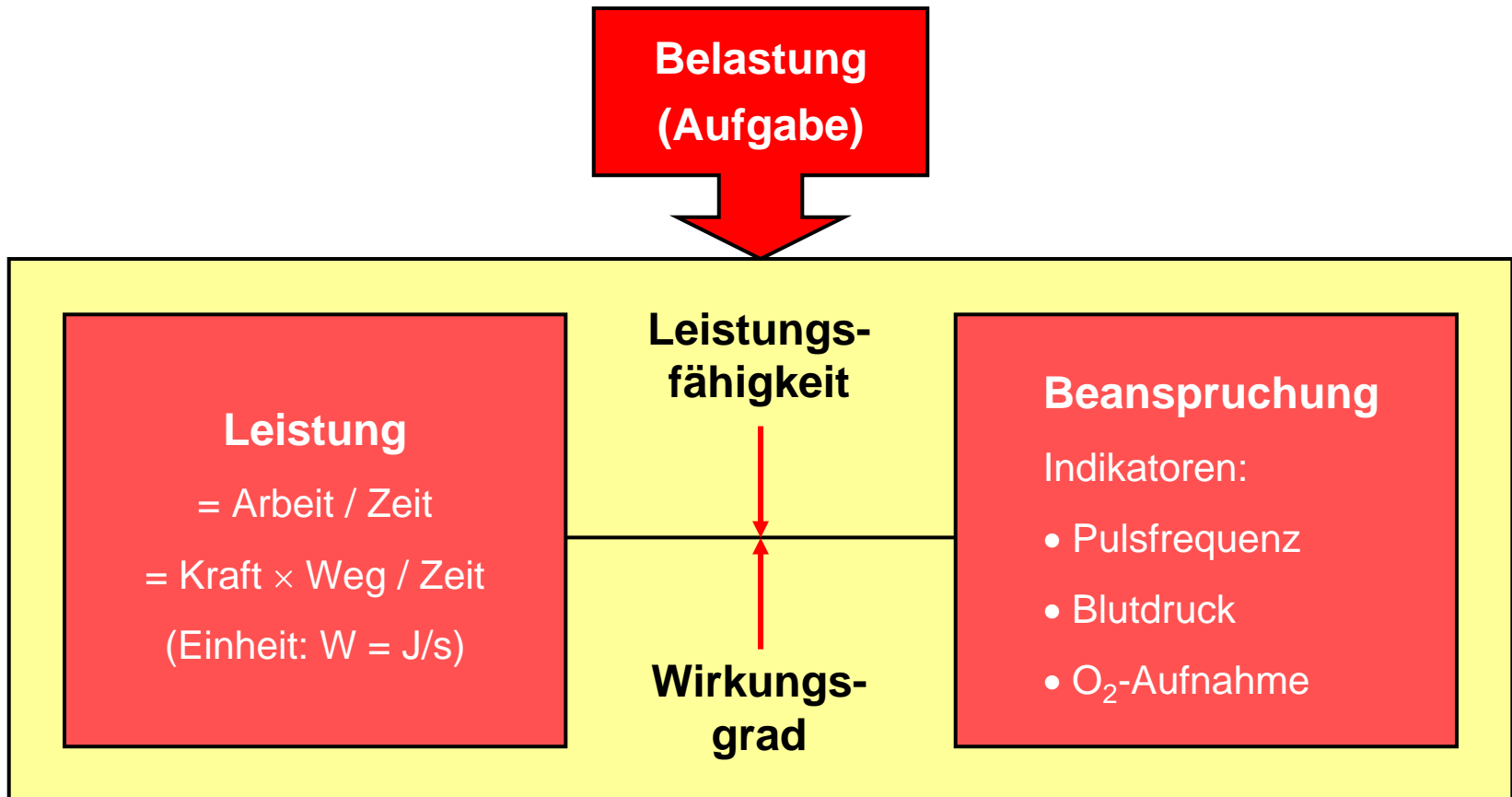
- Arbeitsphysiologie

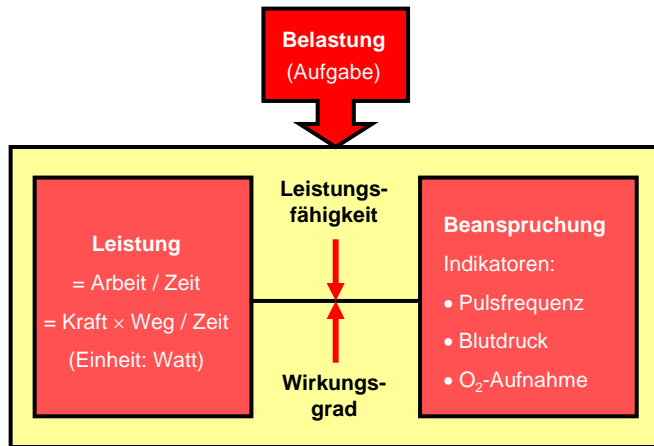
- Sportphysiologie

**Sportphysiologie / -medizin  
als Querschnittsfach**



# Sportphysiologie





**Belastung** – vorgegebene, fremd- oder selbstbestimmte, wertfreie (!!!) Aufgabe (physische & psychische Belastungen)

**Beanspruchung** – individuelle Reaktion des Organismus beim Erbringen einer Leistung

**Leistung = Arbeit / Zeit**

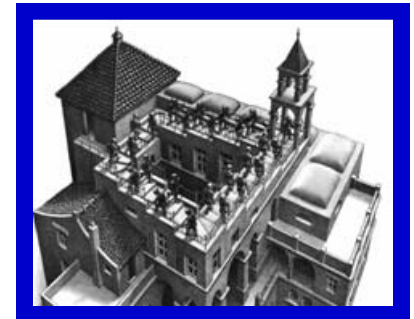
Arbeit – dynamisch (Bewegungsarbeit)

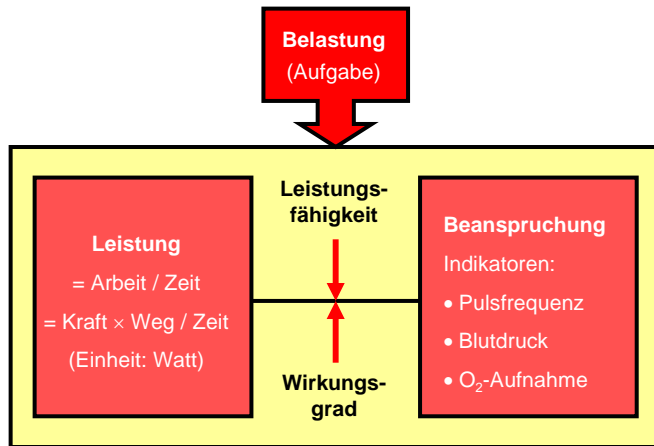
– konzentrisch (positiv-dynamisch)

– exzentrisch (negativ-dynamisch, „Bremsarbeit“)

– statisch (Haltearbeit)

(Leistung = Kraft × Zeit bei isometrischer Haltearbeit)

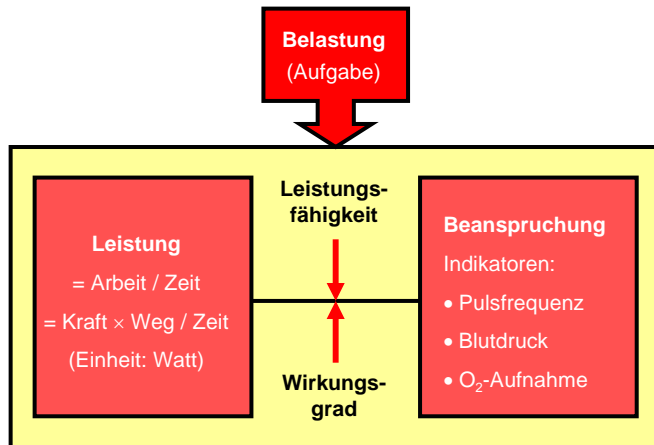




**Leistungsfähigkeit** – Fähigkeit zur Erfüllung einer Aufgabe; durch Lernen, Üben und Trainieren optimierbar

## **Einfluss-Faktoren**

- Physiologie (Alter, Geschlecht, Gesundheits-, Trainingszustand, etc.)  
(Muskulatur, Herz & Kreislauf, Atmung, Nervensystem, Ernährung, etc.)
- Biomechanik
- Psychologie
- Soziologie (Umwelteinflüsse, etc.)



**Wirkungsgrad** – Relation zwischen nutzbarer und zugeführter Energie

$$\eta = E_{\text{out}} / E_{\text{in}} \quad (\eta = E_{\text{out}} / E_{\text{in}} \times 100 [\%])$$

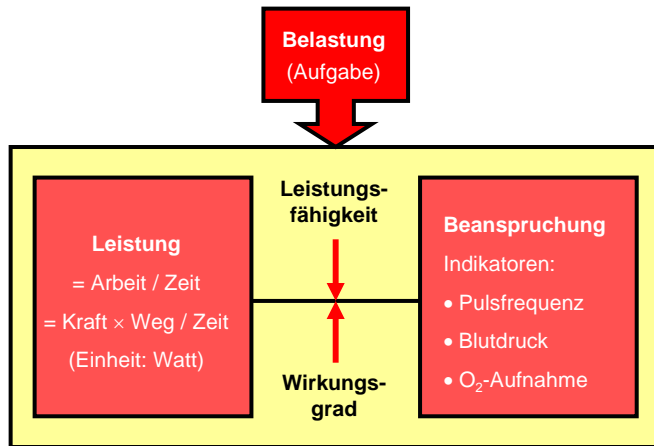
Nettowirkungsgrad  $\eta = \frac{\text{äußere Arbeit}}{\text{Arbeitsumsatz}}$

Bruttowirkungsgrad  $\eta = \frac{\text{äußere Arbeit}}{\text{Arbeitsumsatz} + \text{Ruheumsatz}}$

Beispiel: vorgegeben: Belastung (Aufgabe) = 100 W  
 gemessen:  $\dot{V}_{\text{O}_2} = 1250 \text{ ml/min} \Rightarrow 1250 - 250 = 1000 \text{ ml/min} = 1 \text{ l/60 s}$   
 mittleres kalorisches Sauerstoff-Äquivalent: 4,8 kcal/l O<sub>2</sub> = 20 kJ/l O<sub>2</sub> (60% KH, 40% Fett)  
 $\Rightarrow (1 \text{ l/60 s}) \times 20 \text{ kJ/l} = 0,33 \text{ kJ/s} = 330 \text{ W}$

Nettowirkungsgrad  $\eta = 100 \text{ W} / 330 \text{ W} = 0,3 \Rightarrow \boxed{\eta = 30\%}$

Ruheumsatz



**Wirkungsgrad** – Relation zwischen nutzbarer und zugeführter Energie

$$\eta = E_{\text{out}} / E_{\text{in}} \quad (\eta = E_{\text{out}} / E_{\text{in}} \times 100 [\%])$$

## Beispiele

- Kolbendampfmaschine  $\eta \approx 15\%$
- Benzinmotor  $\eta \approx 25\%$
- Dieselmotor  $\eta \approx 35\%$
- Elektromotor  $\eta \approx 80\%$
- Fahrrad Antrieb  $\eta \approx 95\%$
  
- isolierter Muskel  $\eta \approx \text{max. } 30\%$
- im Organismus  $\eta \approx \text{max. } 25\%$
- im täglichen Leben  $\eta \approx 10\%$
- bei industrieller Arbeit  $\eta \approx 5\%$





0. Warum Leistungsphysiologie ?

1. Was ist Leistungsphysiologie ?

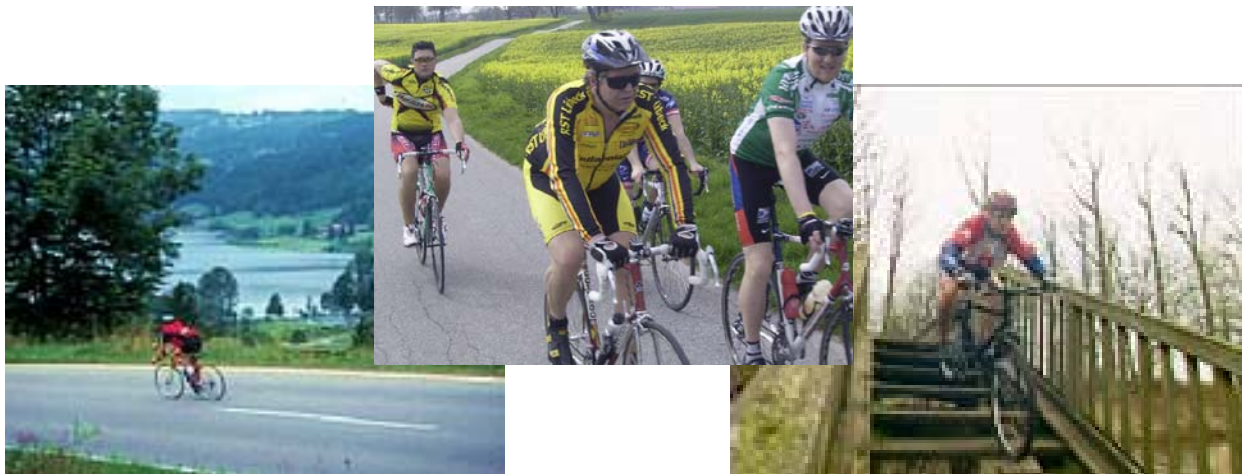
## **2. Energie-Bereitstellung**

3. Aerobe und anaerobe Leistung

4. Physiologische Anpassung an körperliche Aktivität

5. Leistungstests

6. Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Übung & Training



# Energiebereitstellung

Die einzige Substanz, die biologische Leistungen ermöglicht, ist **ATP**.

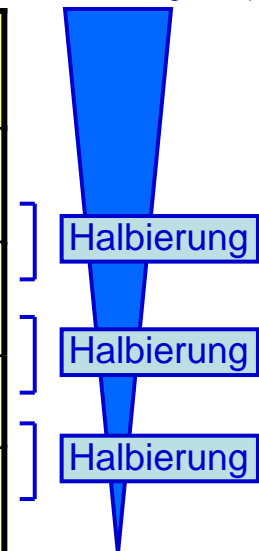
ATP-Vorrat:  $\sim 5 \mu\text{mol/g Muskel} \approx 140.000 \mu\text{mol} \approx 71 \text{ g} \Rightarrow 1 \text{ kcal} \approx 4 \text{ kJ}$

ATP-Umsatz: 60 kg/d

Substrat	Produkt	Vorrat ( $\mu\text{mol/g}$ )	Vorrat (Zeit)	Vorrat (Distanz)
Kreatin-Phosphat	Kreatin + Phosphat	$\sim 25$ (3,6 kcal $\approx$ 15 kJ)	10 – 20 s	100 m
Glykogen	Laktat	$\sim 100$ ( $\cong$ 500 g) (1,1Mcal $\approx$ 4,6MJ)	4 min	1.500 m
Glykogen + O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	dto.	1 h	30 km
Fettsäuren + O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	„ $\infty$ “ ( $\cong$ 8 kg) (72Mcal $\approx$ 300MJ)	Tage (37 Tage)	> 100 km

„Energieflussrate“

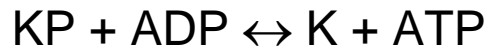
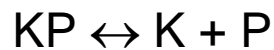
(ATP-Gewinnung / Zeit)



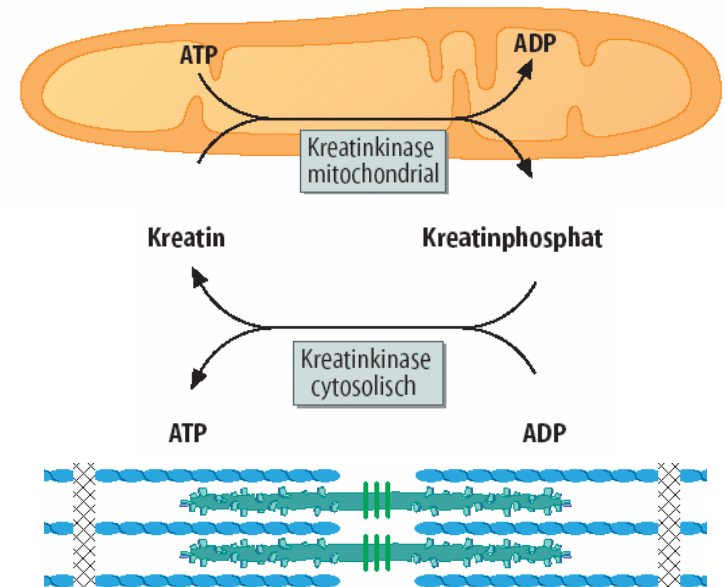
Substrat	Produkt	Vorrat (µmol/g)	Vorrat (Zeit)	Vorrat (Distanz)
Kreatin-Phosphat	Kreatin + Phosphat	~25	10 – 20 s	100 m
Glykogen	Laktat	~100 (≅ 500 g)	4 min	1.500 m
Glykogen + O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	dto.	1 h	30 km
Fettsäuren + O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	„∞“ (≅ 8 kg)	Tage (37 d)	> 100 km

## anaerobe-alaktazide ATP-Resynthese:

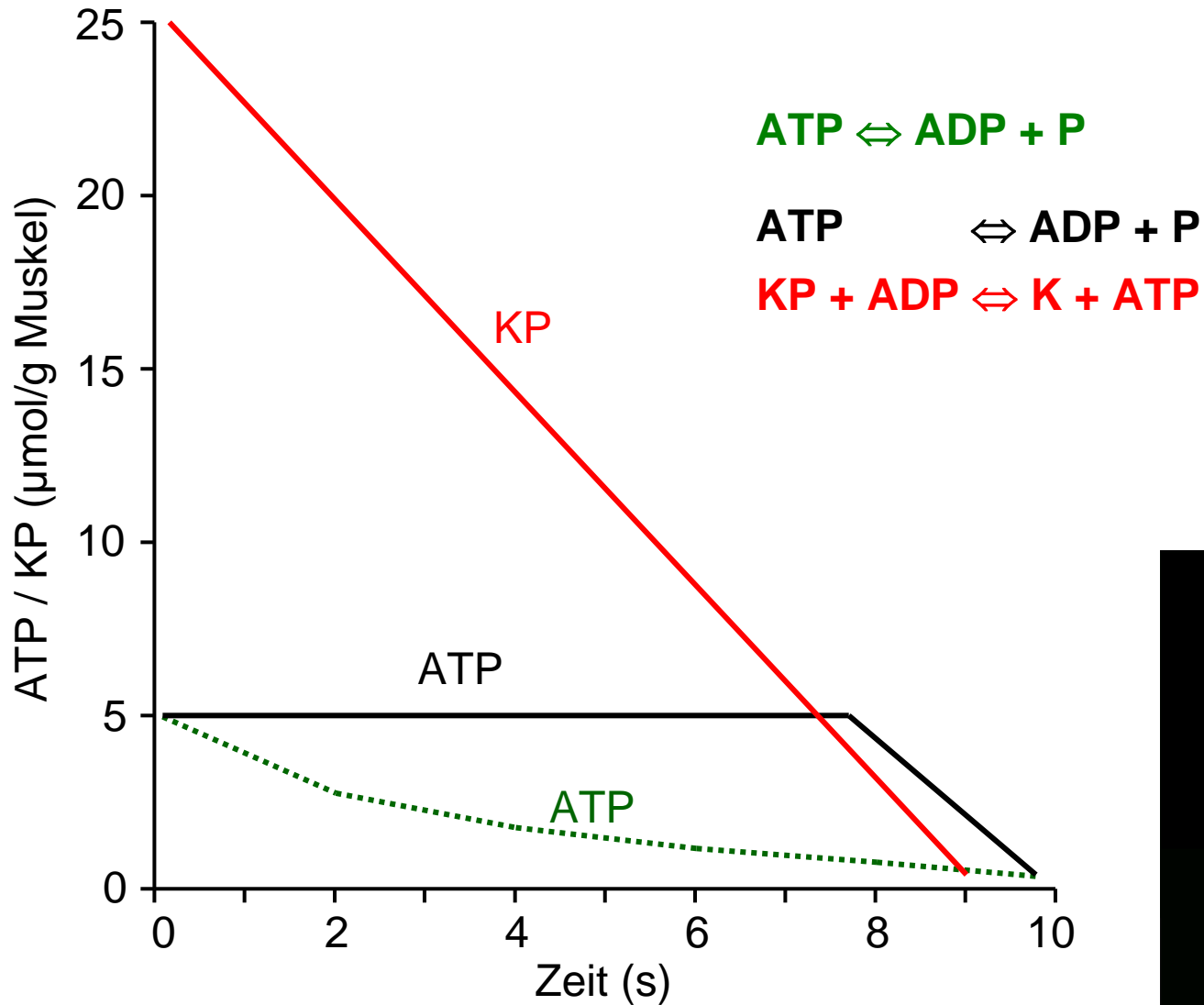
(cytosolisch)



(Lohmann-Reaktion; Karl Lohmann, 1898-1978, Prof. f. Physiolog. Chemie in Berlin, Leiter d. Forschungszentr. d. Akad. d. Wiss. d. DDR, Entdecker v. ATP)



# Zeitverhalten von ATP und KP bei Belastung



(nach: Rost et al., Abb. 1-2, S. 28)



## Prinzipiell auch möglich:



anaerobe-alaktazide ATP-Resynthese (Myokinase-Reaktion)

Reaktions-Gleichgewicht wird nach rechts verschoben:

1. ATP wird sogleich verbraucht
2. AMP wird in IMP und  $\text{NH}_3$  umgewandelt



(IMP = Inosin-Monophosphat; Enzym: AMP-Desaminase)

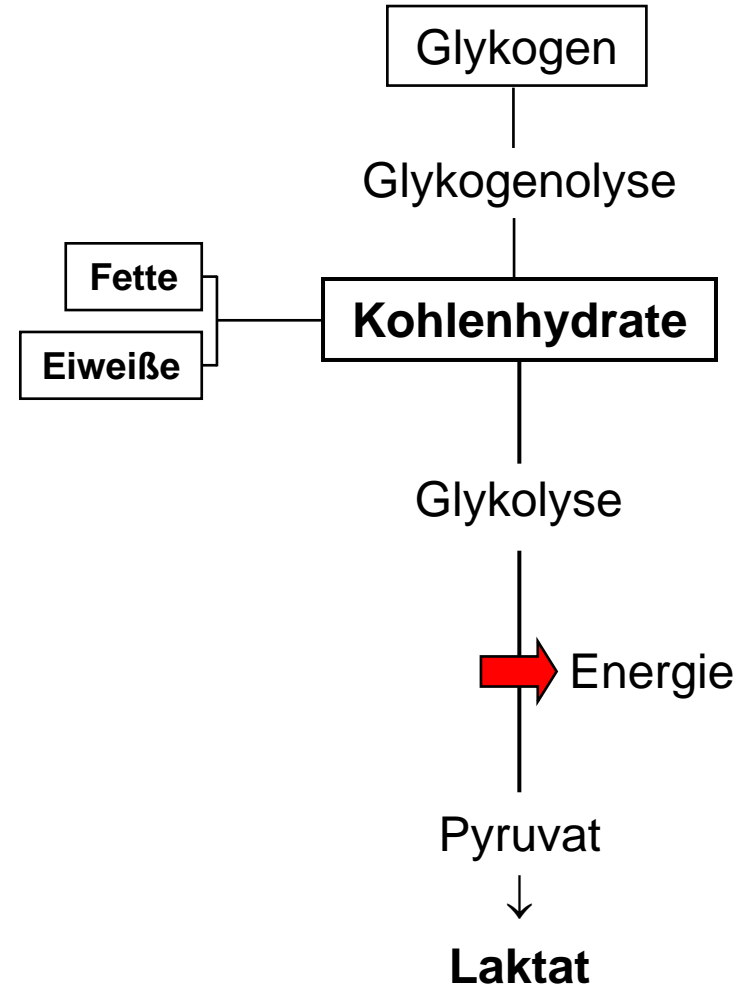
⇒  $\text{NH}_3$  führt zur „zentralen Ermüdung“

**Reaktion quantitativ von untergeordneter Bedeutung!**

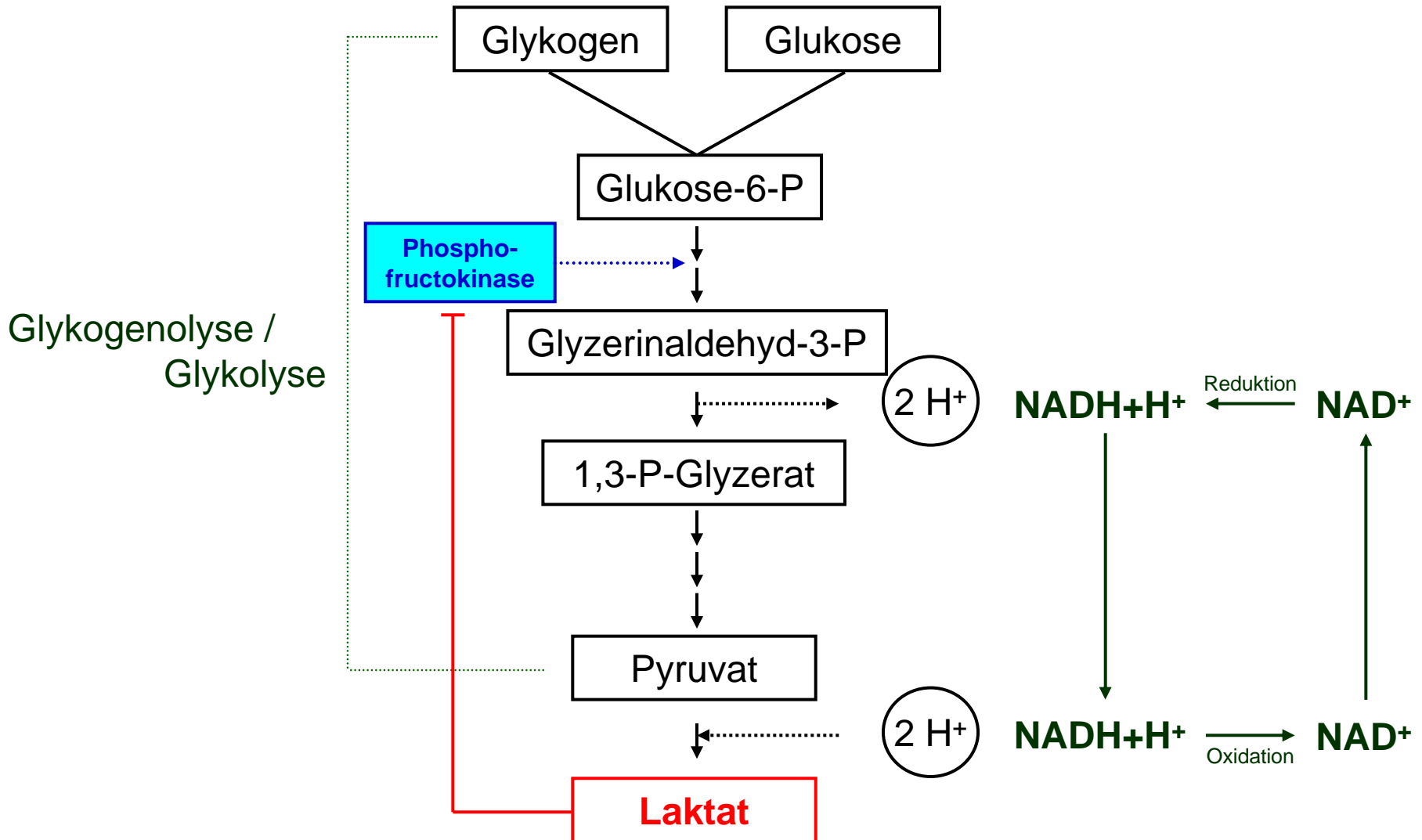
Substrat	Produkt	Vorrat (µmol/g)	Vorrat (Zeit)	Vorrat (Distanz)
Kreatin-Phosphat	Kreatin + Phosphat	~25	10 – 20 s	100 m
Glykogen	Laktat	~100 (≅ 500 g)	4 min	1.500 m
Glykogen + O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	dto.	1 h	30 km
Fettsäuren + O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	„∞“ (≅ 8 kg)	Tage (37 d)	> 100 km

**anaerobe-laktazide ATP-Resynthese:**  
(cytosolisch)

2 Mol ATP / Mol Glukose

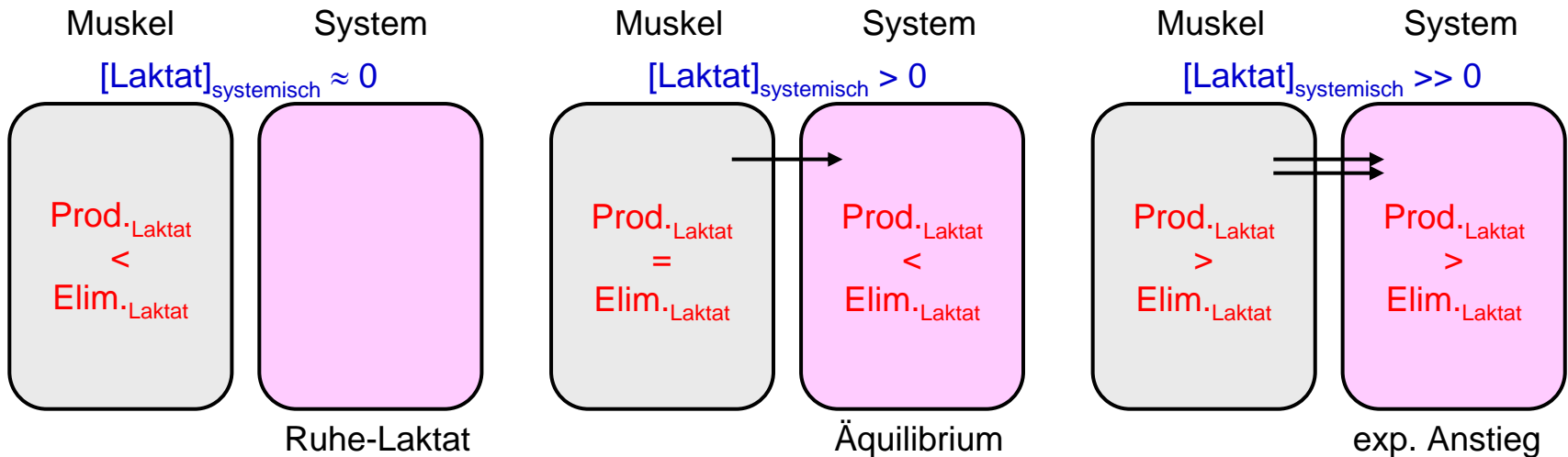
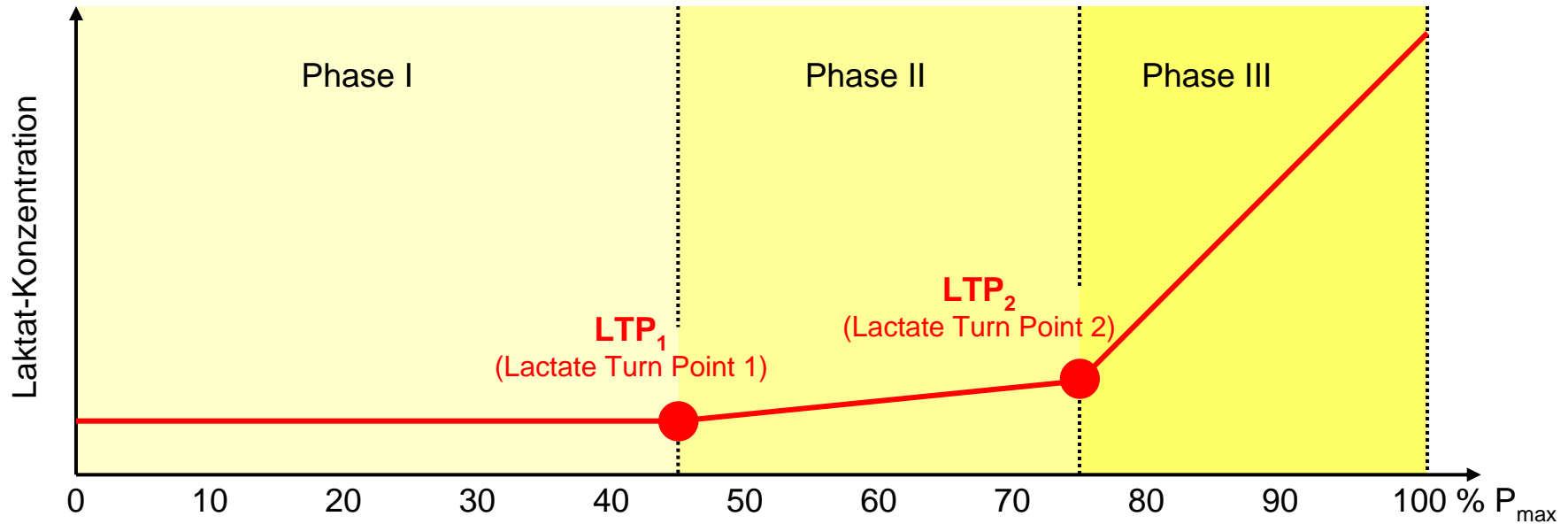


**Preisfrage:** Warum entsteht bei der anaeroben Glykogenolyse bzw. Glykolyse schlussendlich Laktat?



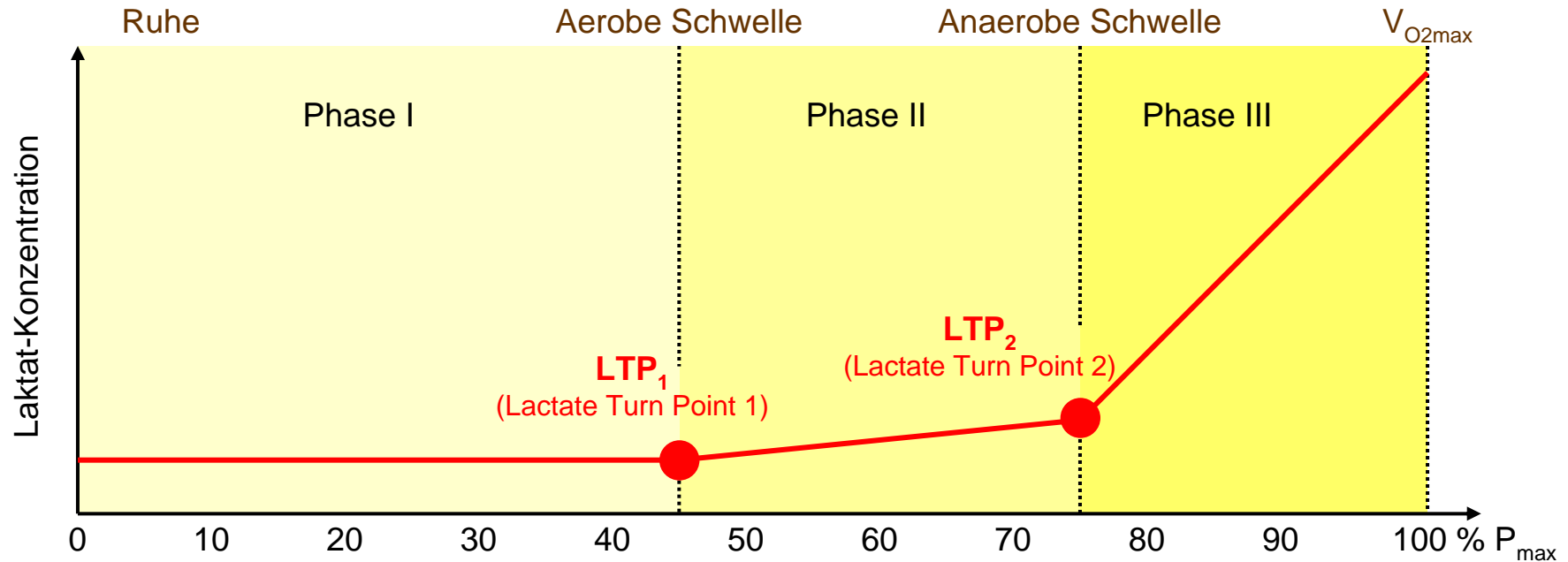
# Lactate-Shuttle-Theory (nach Skinner und McLellan, 1980)

Skinner JS, McLellan TH - The transition from aerobic to anaerobic metabolism. Res Q Exerc Sport 51, 234-248, 1980



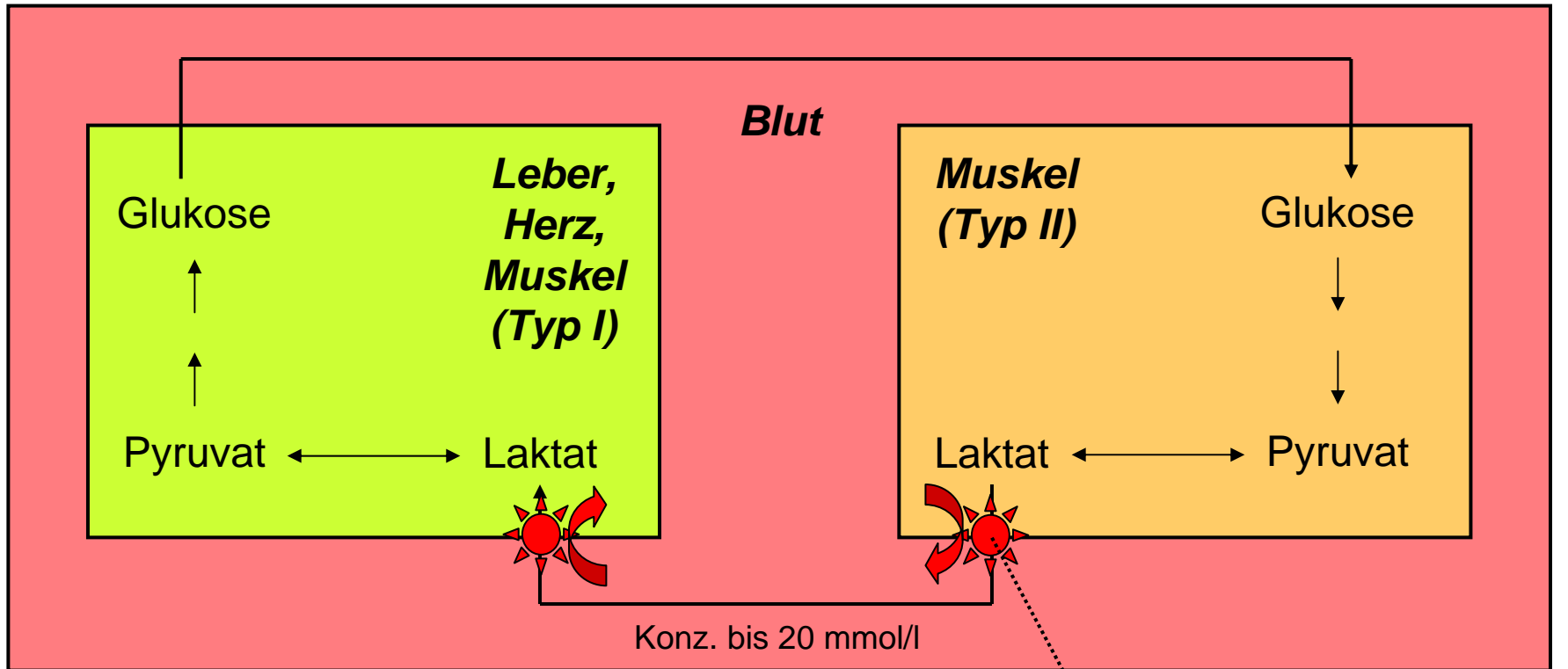


# Eigenschaften der verschiedenen Phasen



	Phase I	Phase II	Phase III
<b>Metabolismus</b>	aerob	aerob/anaerob	anaerob
<b>Substrat</b>	Fett > Kohlenhydrate	Kohlenhydrate > Fett	
<b>Muskelfaser-Typ</b>	I	I, IIa	I, IIa, IIb
<b>Intensität (% V<sub>O2max</sub>)</b>	40 - 60	60 - 80	
<b>Herzfrequenz</b>	130 - 150 (70% HR <sub>max</sub> )	160 - 180 (90% HR <sub>max</sub> )	
<b>Blutlaktat (mM)</b>	0,6 - 2,0 (Ruhewert)	2,0 - 6,0 (und höher)	

# Laktat-Utilisation über den CORI-Zyklus<sup>\*)</sup>



Laktat-H<sup>+</sup>-Cotransporter

<sup>\*)</sup> Carl Cori (1896-1984), Gerty Cori (1896-1957): österr. Biochem. & Pharmakol., wirkten in Buffalo/New York, Nobelpreis 1947

Substrat	Produkt	Vorrat (µmol/g)	Vorrat (Zeit)	Vorrat (Distanz)
Kreatin-Phosphat	Kreatin + Phosphat	~25	10 – 20 s	100 m
Glykogen	Laktat	~100 (≅ 500 g)	4 min	1.500 m
Glykogen + O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	dto.	1 h	30 km
Fettsäuren + O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	„∞“ (≅ 8 kg)	Tage (37 d)	> 100 km

## aerobe-alaktazide ATP-Resynthese:

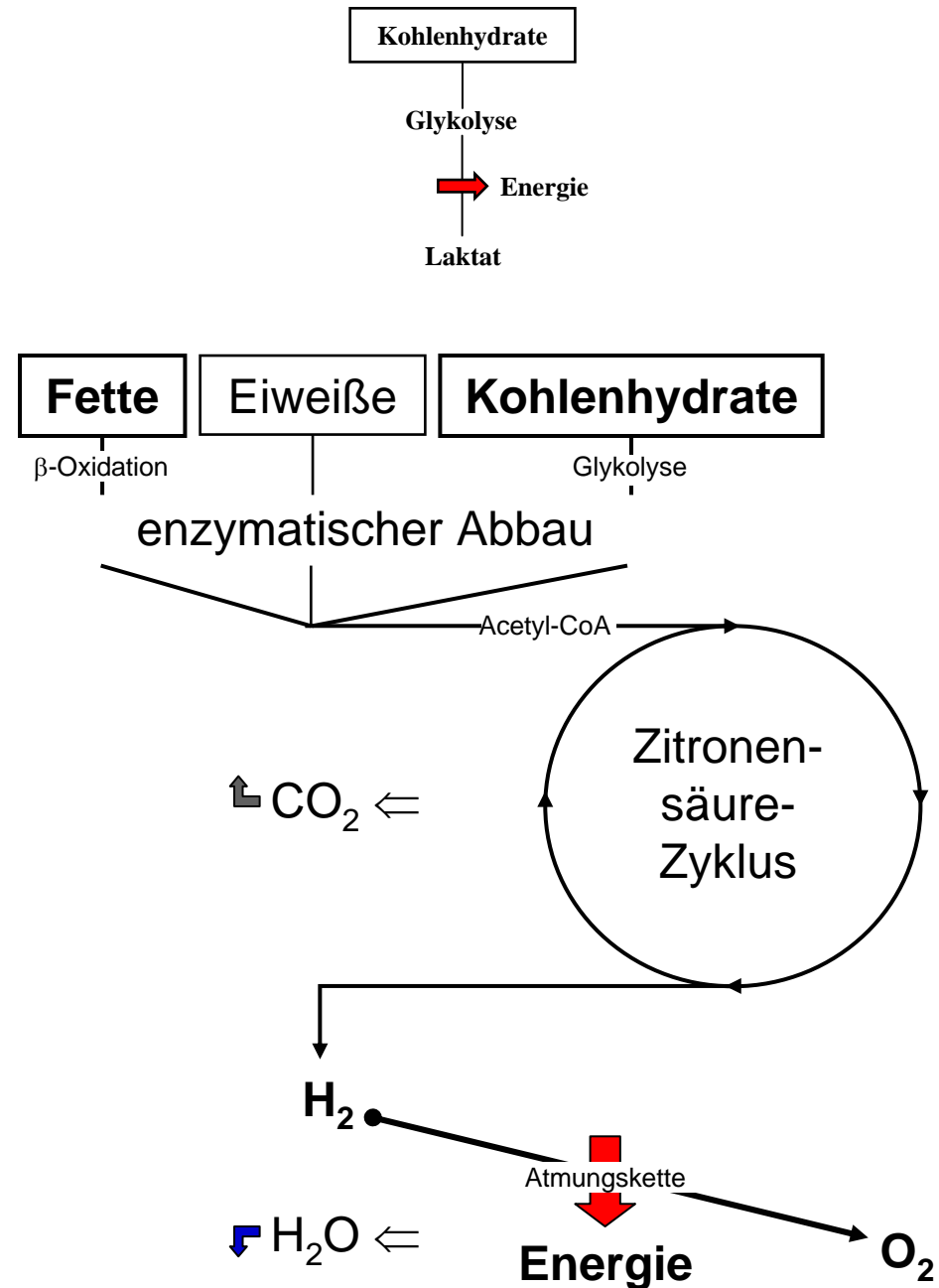
(cytosolisch/mitochondrial)

32 Mol ATP / Mol Glukose

130 Mol ATP / Mol FFS

(Palmitin-Säure)

„Anlaufzeit“ für aeroben  
Metabolismus: 3 – 5 min



## Warum erfolgt die Fettverbrennung nur bei niedriger Belastung?

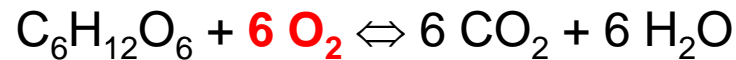
ATP



Kreatin

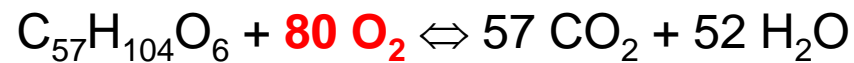


KH



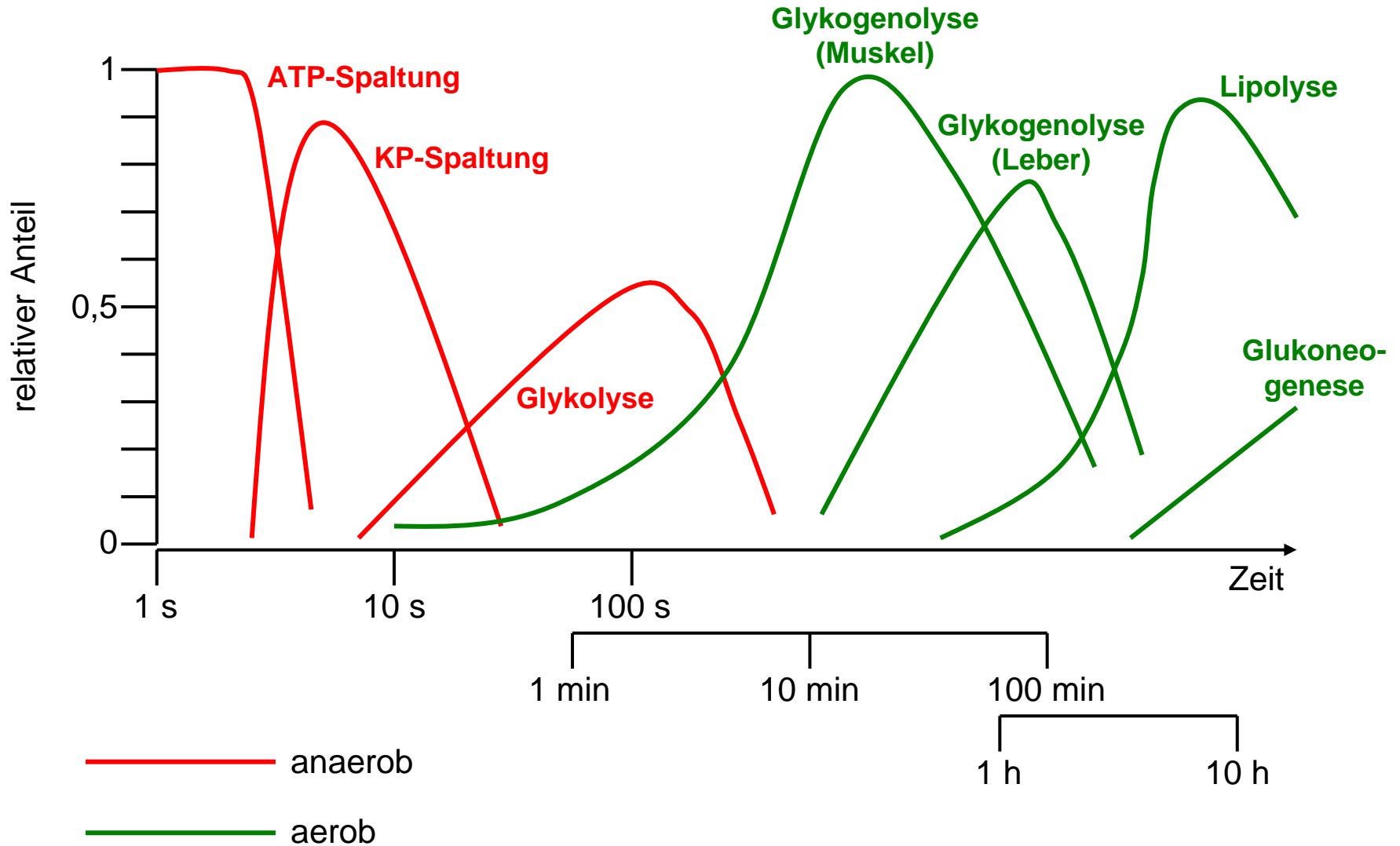
(Glukose)

FFS

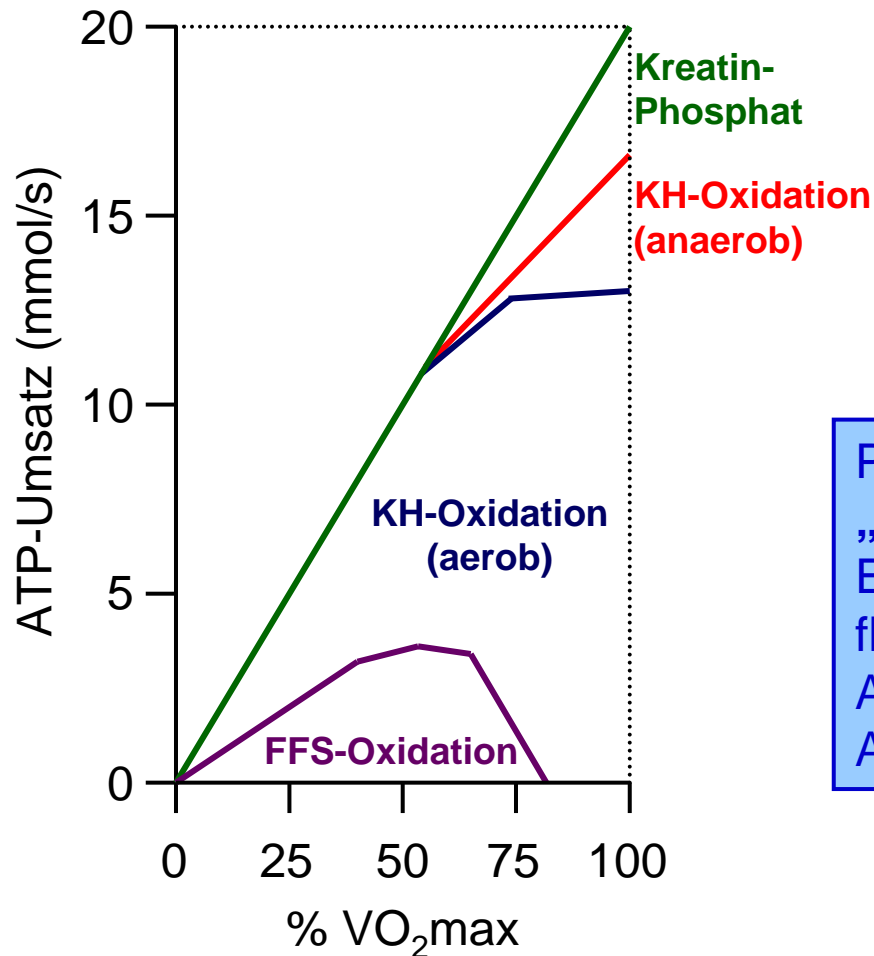


(Triolein)

# Zeitgang der energieliefernden Prozesse (Synopsis)



# ATP-Umsatz in Beziehung zur Belastungsintensität

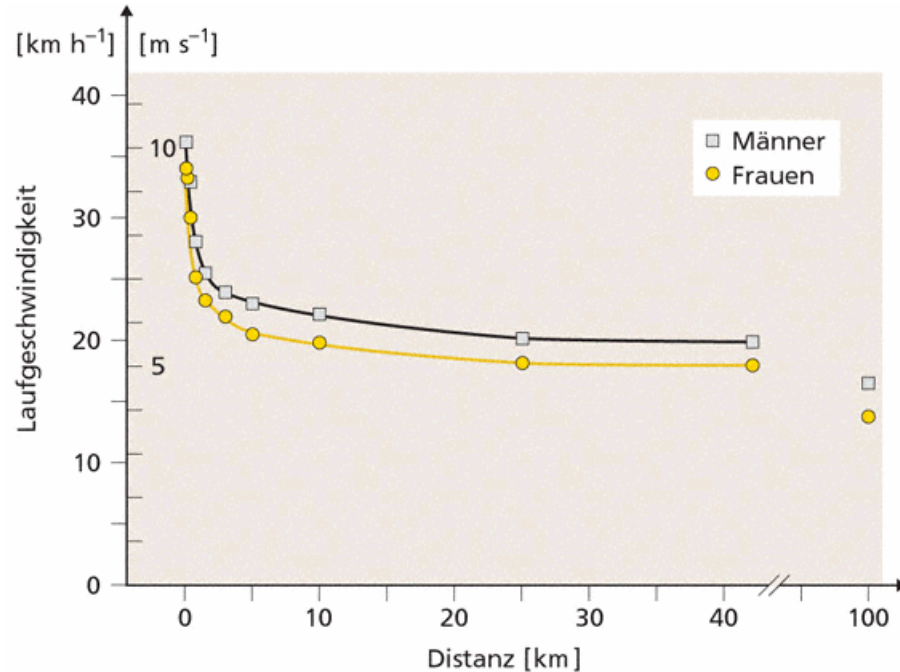


Prinzipiell besteht immer ein „**Nebeneinander**“ der einzelnen Energie-liefernden Prozesse - mit fließenden Übergängen in Abhängigkeit von der Intensität der Arbeit.



<b>Belastung</b>	<b>bevorzugte Energieträger</b>	<b>Art der Energiebereitstellung</b>
<b>Ausdauerbelastung</b> (> 60 min)	Fett geringer KH-Anteil	aerob
<b>Langzeitausdauer</b> (8 - 60 min)	KH geringer Fett-Anteil	weitgehend aerob
<b>Mittelzeitausdauer</b> (2 - 8 min)	weitgehend KH	aerob & anaerob
<b>Kurzzeitausdauer</b> (45 s - 2 min)	KH	weitgehend anaerob
<b>Schnellkraftbelastung</b> (bis 10 s)	ATP, KP	anaerob

Laufweltrekorde (100 m bis 100 km): Die Durchschnittsgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Distanz rasch ab.

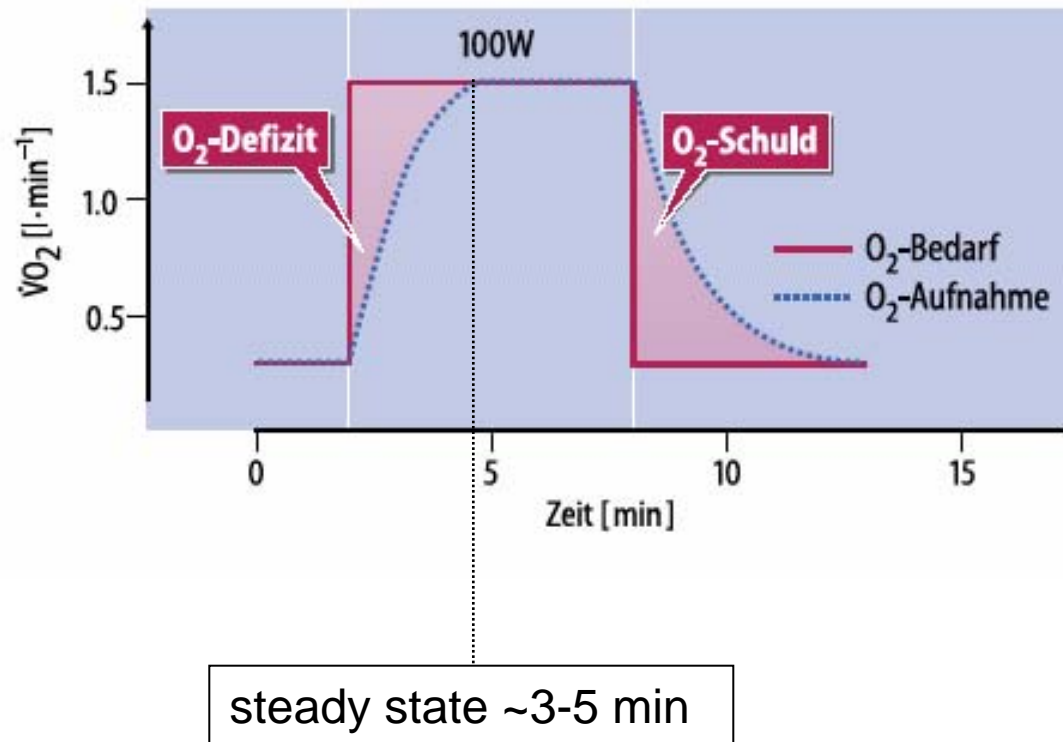


⇒ hohe ATP-Resyntheseraten sind nur kurzfristig möglich

⇒ Ausdauertätigkeiten (> 20 min) sind nur aerob möglich

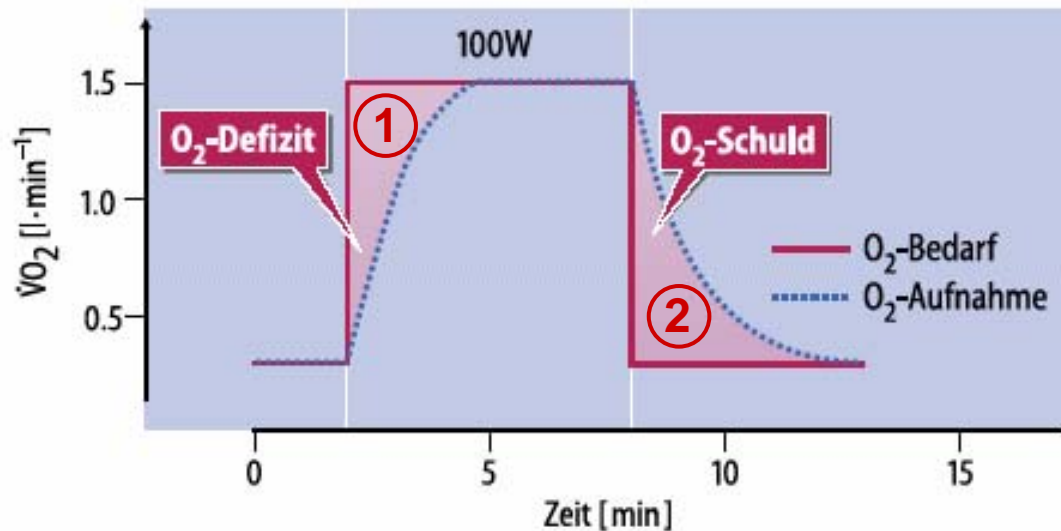


## Zeitgang des aeroben Metabolismus



davor: Ausschöpfung der  $O_2$ -Reserven (Myoglobin, Hämoglobin, funktionelle Residualkapazität)

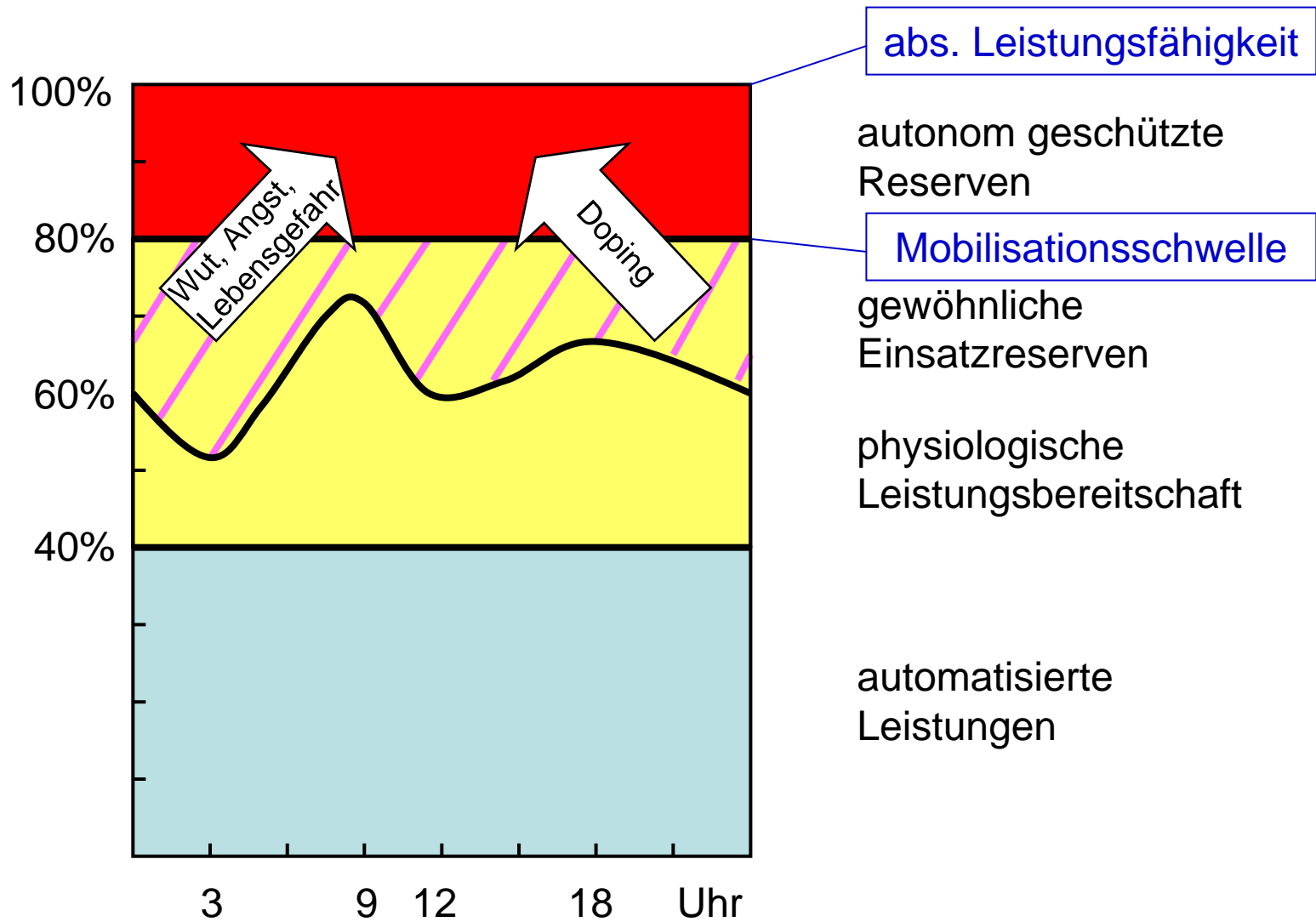
## Abtragen der O<sub>2</sub>-Schuld



Fläche ① < Fläche ②

- Resynthese von Kreatinphosphat
- Glukoneogenese aus Laktat
- Auffüllen der Hb- und Mb-O<sub>2</sub>-Speicher
- erhöhte Aktivität der Na/K-ATPasen
- Resteffekte thermogener Hormone
- vermehrte Lungen- und Herztätigkeit

# Aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit



0. Warum Leistungsphysiologie ?

1. Was ist Leistungsphysiologie ?

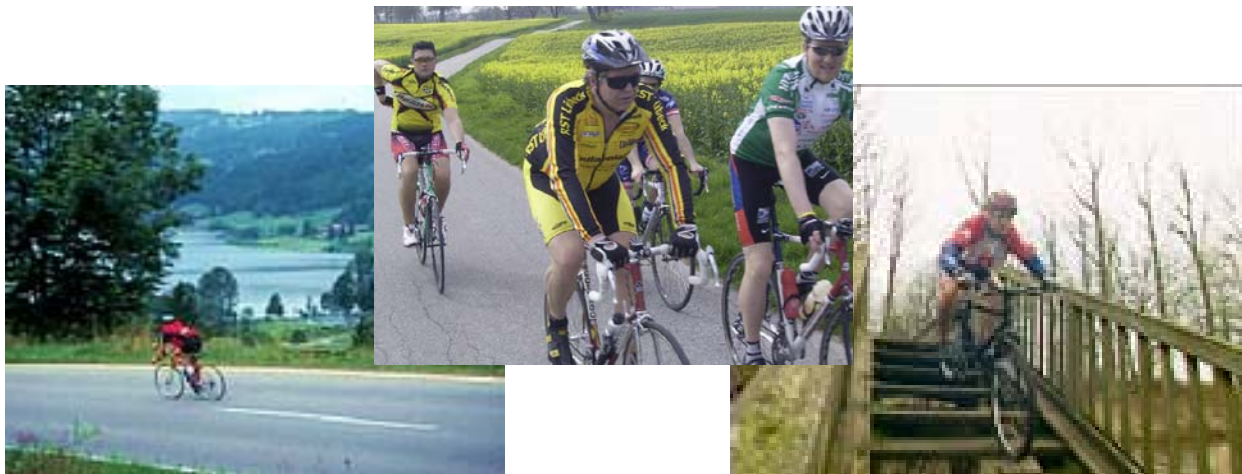
2. Energie-Bereitstellung

**3. Aerobe und anaerobe Leistung**

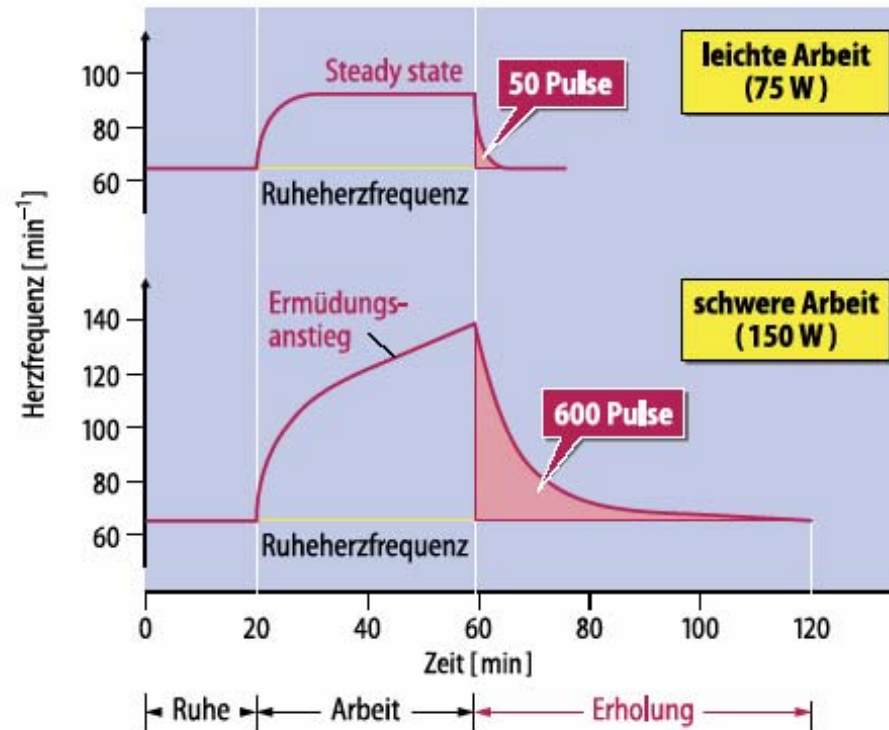
4. Physiologische Anpassung an körperliche Aktivität

5. Leistungstests

6. Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Übung & Training



# Aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit



- leichte, nicht ermüdende Arbeit
- schwere, erschöpfende Arbeit

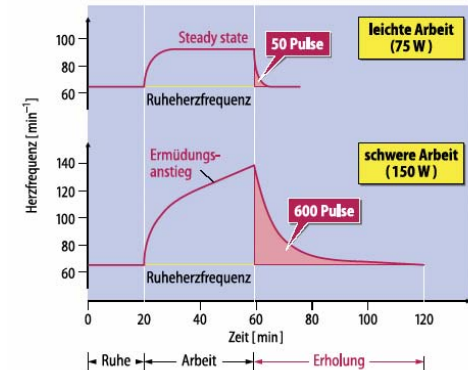
# Aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit

## Ausdauer-Leistung

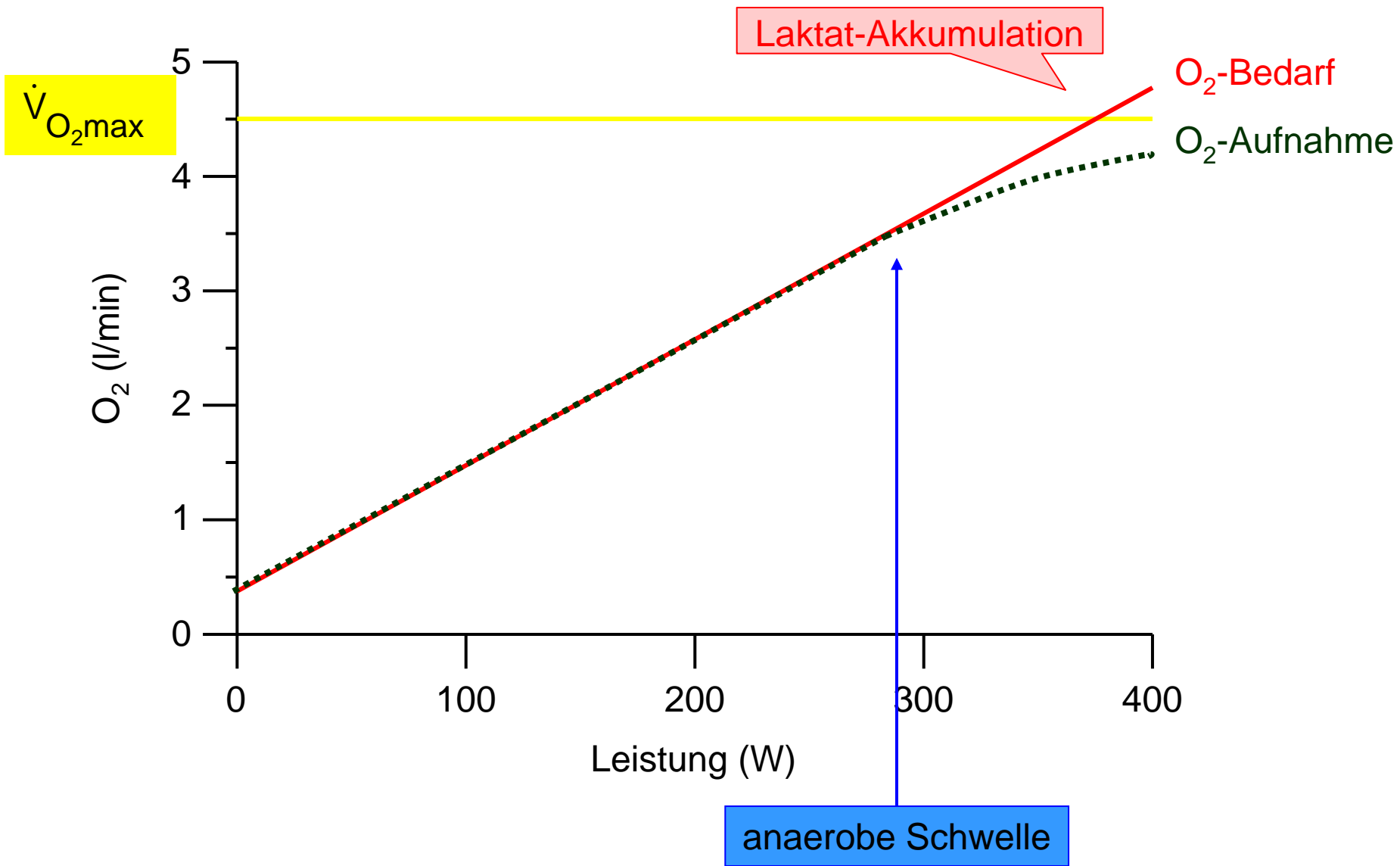
- > 20 min
- (fast ausschließlich) aerobe Energiebereitstellung
- Ventilations- & Herz/Kreislauf-Parameter (nach 2-3 min) sowie Blutlaktat-Konzentration (nach ~8 min) erreichen Steady state
- Testung im Stufen- bzw. Ausdauer-test ( $\Rightarrow$  IANS)

## Kraft-Leistung

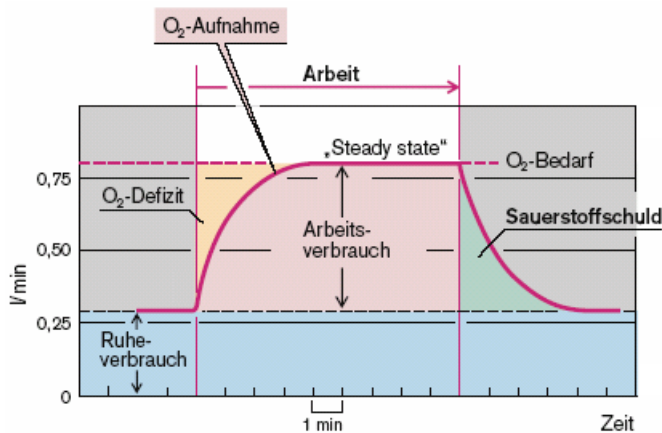
- Sekunden bis (wenige) Minuten
- (fast ausschließlich) anaerobe Energiebereitstellung
- Funktionsparameter erreichen (in der Regel) kein Steady state



# Aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit



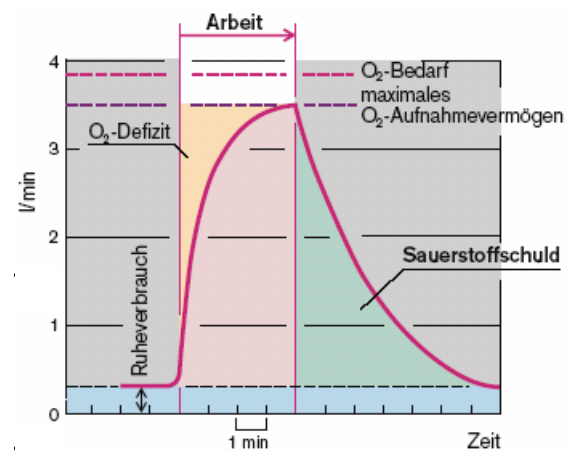
# Aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit



leichte Arbeit

$O_2\text{-Aufnahme} = O_2\text{-Bedarf}$

$O_2\text{-Schuld bis } 4 \text{ l}$



schwere Arbeit

$O_2\text{-Aufnahme} \neq O_2\text{-Bedarf}$

$O_2\text{-Schuld bis } 20 \text{ l}$

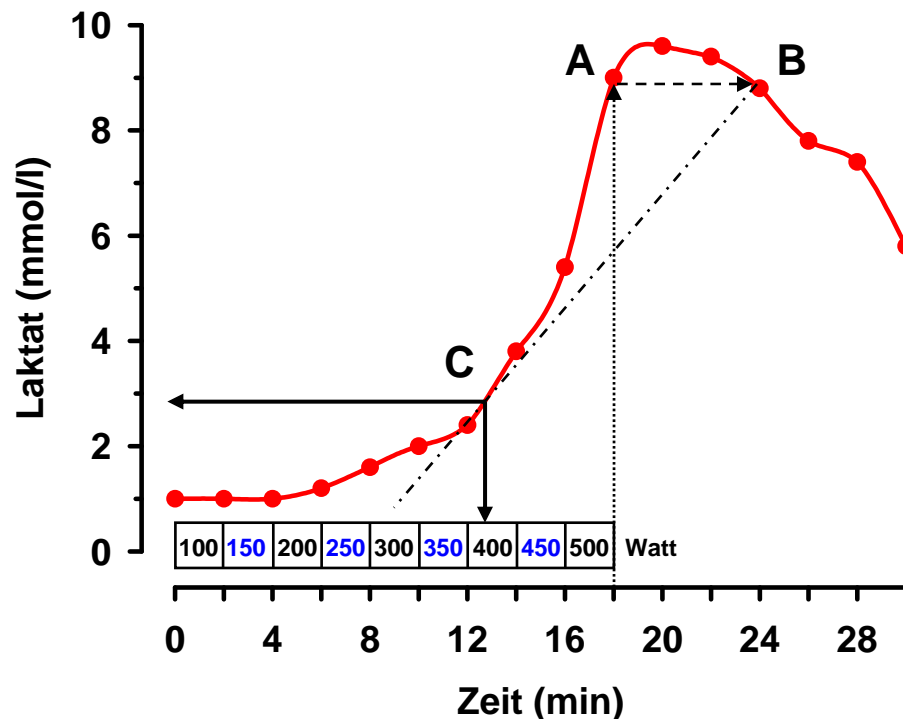


# Aerobe Leistungsfähigkeit

Definition:

anaerobe Schwelle: maximale Leistung, bei der die Blutlaktat-Konzentration gerade noch ein Steady state erreicht

IANS = individuelle anaerobe Schwelle



nach Stegmann &  
Kindermann, 1981

# Aerobe Leistungsfähigkeit

**Kompensatorischer Bereich  
(Regeneration & Stabilisierung)**

**Grundlagen/Ausdauer 1  
(aerobe Leistungsfähigkeit)**

**Grundlagen/Ausdauer 2  
(aerobe/anaerobe  
Leistungsfähigkeit)**

**Entwicklungsbereich  
(Wettkampf-spezifische  
Ausdauer)**

Auswertung des Lactat-Stufentests von [redacted] am 26.02.2005

Leistung an der IAS [W]: 186.3

Lactat an der IAS [mmol/l]: 3.2

Leistung je Kilogramm Körpergewicht [W]: 2.0

HF an der IAS [min<sup>-1</sup>]: 156.5

Trainingsbereiche HF [min<sup>-1</sup>]:

KB : 122-127.

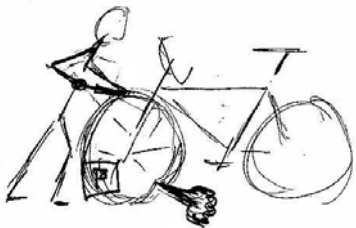
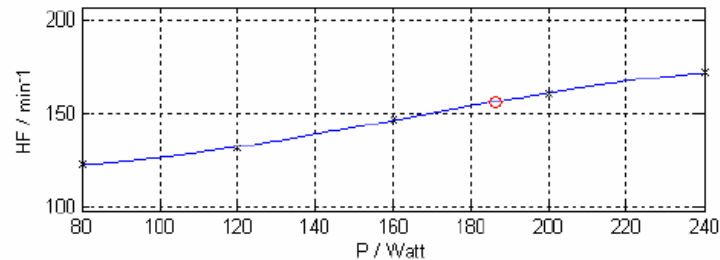
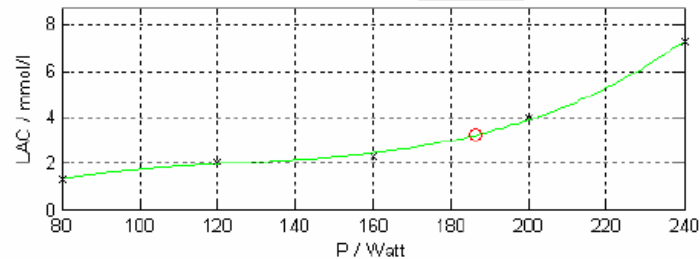
GA1 : 127-136.

GA2 : 136-146.

EB : 146-156.

Ausdauerbetonte Kurve mit doch steilem Anstieg im anaeroben Bereich über 4 mmol/l LAC, d.h. scharfe RTF-Tempi und lange Führungspassagen machen Probleme. HF-Kurve kippt zum Ende ab, d.h. es war wirklich alles was geht. Die Leistung je Kilogramm Körpergewicht [W]: 2.0 ist ausbaufähig und zwar durch Gewichtsreduktion zum Sommer hin und gezieltes K3 (siehe Anlage) mit der Intervallmethode möglichst an der IAS.

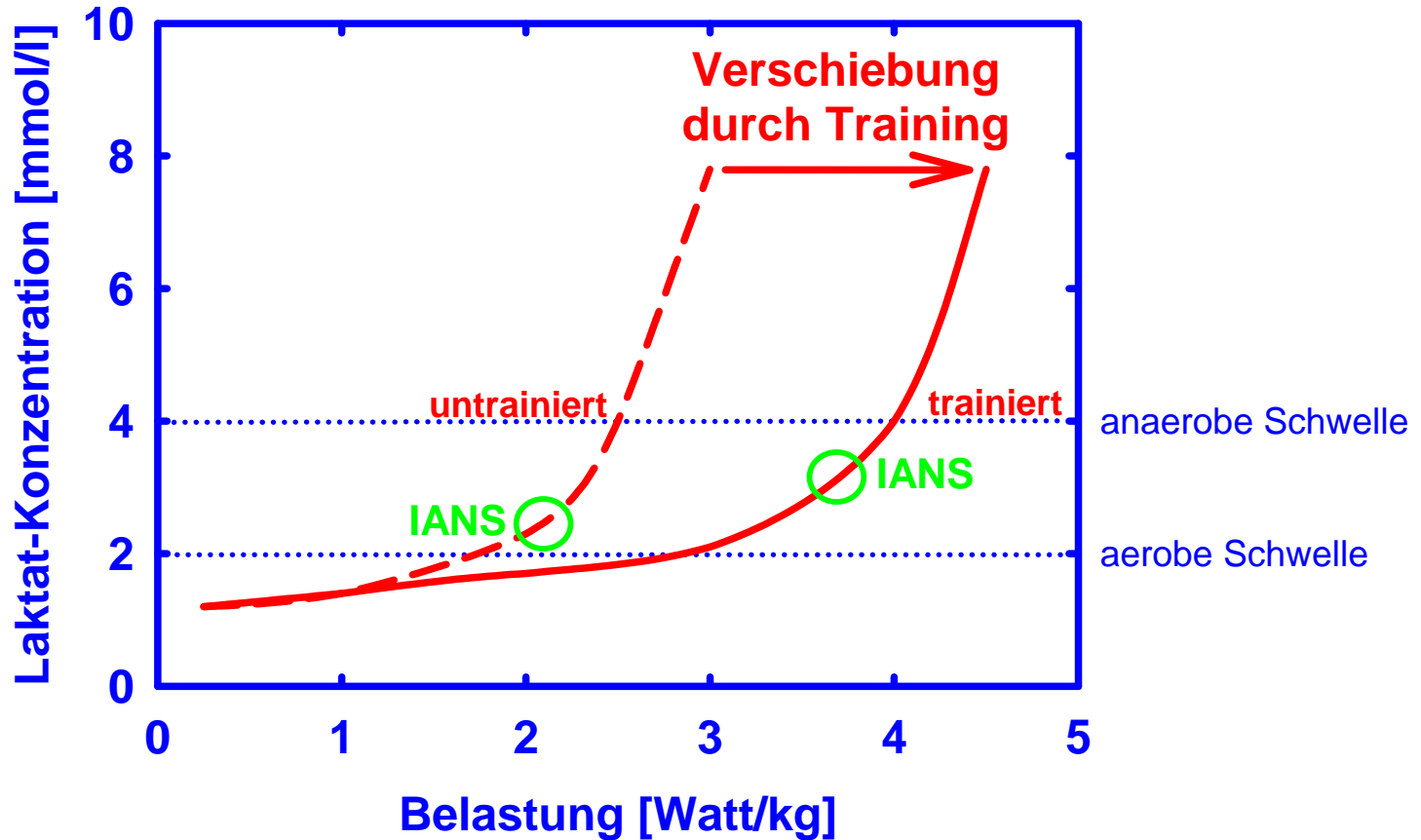
Auswertung des Lactat-Stufentests von [redacted] am 26.02.2005



# Trainingsbereiche

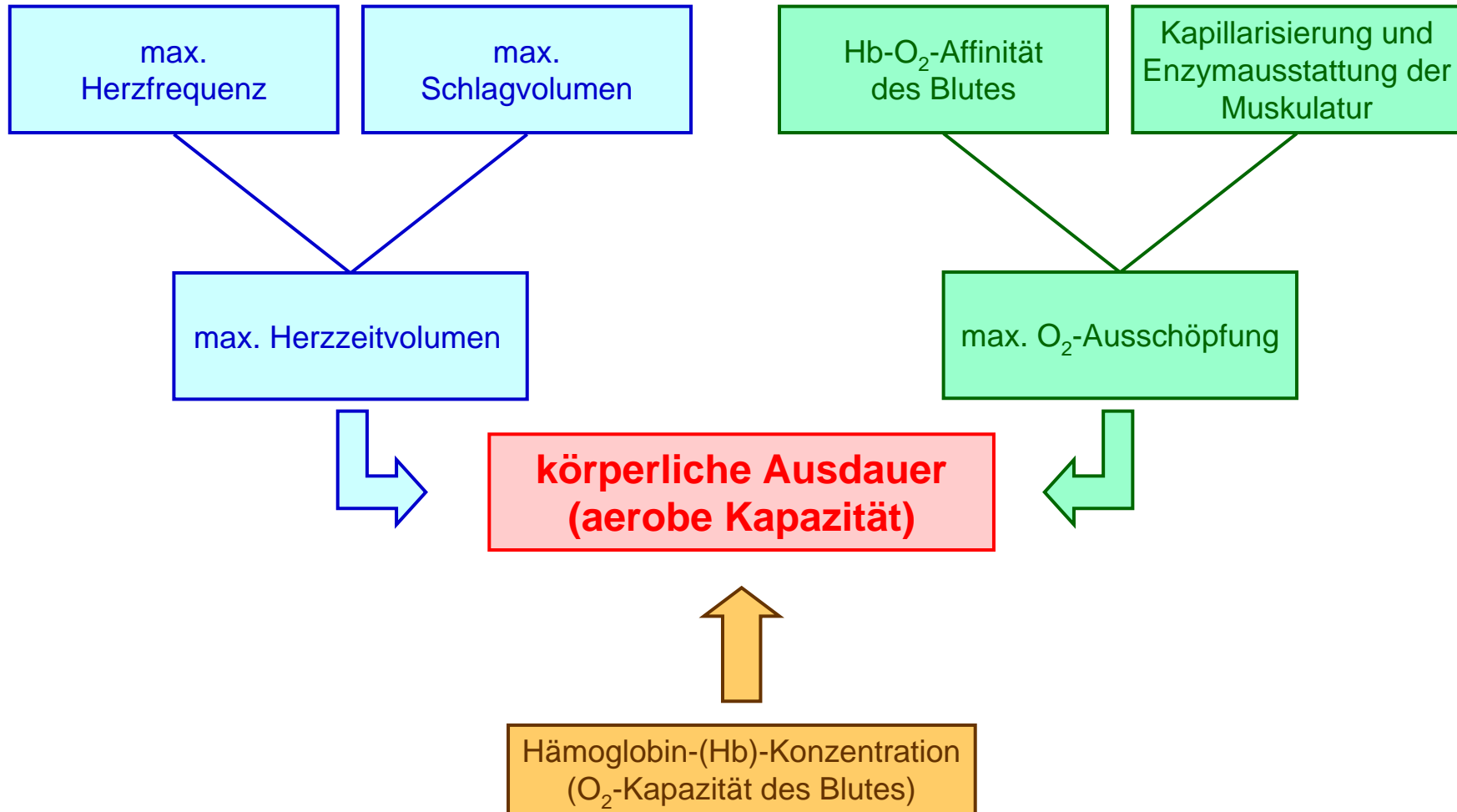
<b>KB</b>	<b>Kompensatorischer Bereich</b> Niedrigste Trainingsintensität, Regeneration und Stabilisierung nach hochintensiven Belastungen.	<i>Sehr langsame Fahrt nach der Fahrtspielmethode.</i>
<b>GA1</b>	<b>Grundlagenausdauerbereich 1</b> Steigerung der Leistungsfähigkeit unter aeroben Fettstoffwechselbedingungen.	<i>Langsame, der Strecke angepasste Fahrt nach der Fahrtspielmethode. Steuerung über Herzfrequenz.</i>
<b>GA2</b>	<b>Grundlagenausdauerbereich 2</b> Wie GA1, aber mit anaerobem Anteil.	<i>Mittlere, der Strecke angepasste Fahrt nach der Fahrtspielmethode. Steuerung über die Herzfrequenz.</i>
<b>EB</b>	<b>Entwicklungsbereich</b> Wettkampfspezifisches Ausdauer-, Schnelligkeits- und Kraftausdauertraining an der individuellen anaeroben Schwelle (IANS). Der Energievorrat der Glykogenspeicher wird vergrößert und der Laktat-Abbau (Lactate-Clearance) verbessert.	<i>Während GA1 das Tempo und die Trittfrequenz 3 bis 5-mal für 5-20 Min. bis an die IANS erhöhen. Dazwischen liegen „nicht-lohnende“ Pausen, an denen der Puls nicht unter den GA-Bereich fällt.</i>
<b>SB</b>	<b>Spitzenbereich</b> Training der Schnelligkeit (SN), der Schnelligkeitsausdauer (SA), sowie der Schnellkraft (SK) und der Maximalkraft (MK). Verbesserung des anaeroben Kreatinphosphat - Stoffwechsels.	<i>Während einer GA1-Fahrt 3 bis 5 Sprints so lange wie möglich mit hoher Trittfrequenz an je nach Trainingsziel verschiedenen Streckenprofilen durchführen. Dazwischen 10-15 Min. KB.</i>
<b>K1</b>	<b>Krafttrainingsbereich 1</b> Verbesserung der Schnellkraft (SK) = Fähigkeit, schnell Kraft zu entfalten	<i>Mehrmals aus dem Stand bis zu max. Trittfrequenz antreten, dazwischen 10-15 Min. KB.</i>
<b>K2</b>	<b>Krafttrainingsbereich 2</b> Verbesserung der Maximalkraft (MK) = Fähigkeit, eine hohe Kraft zu entfalten	<i>Programm auf dem Ergometer durchführen (Nicht für Kinder und Jugendliche geeignet).</i>
<b>K3</b>	<b>Krafttrainingsbereich 3</b> Verbesserung der Kraftausdauer	<i>Fahren von Anstiegen mit <u>niedriger</u> Trittfrequenz, 3 bis 5-mal, dazwischen kurze Pausen.</i>
<b>K4</b>	<b>Krafttrainingsbereiche 4</b> Verbesserung der Kraftausdauer	<i>Fahren von Anstiegen mit <u>höherer</u> Trittfrequenz, 2 bis 3-mal, dazwischen kurze Pausen.</i>
<b>W3</b>	<b>Straßenwettkampf</b>	
<b>aaA</b>	<b>allgemeine athletische Ausbildung</b>	<i>Spiele, Laufen, Schwimmen, ...</i>
<b>KaM</b>	<b>Kraftalternative Mittel</b>	<i>Stationstraining, Aqua-Fitness, ...</i>

Bei Verbesserung der Ausdauer verschiebt sich die Laktat-Leistungskurve nach rechts.



Konzept der fixen Laktatschwellen nach *Alois Mader (1976)*

# Aerobe Leistungsfähigkeit (Synopsis)



# Aerobe Leistungsfähigkeit

Die aerobe Leistungsfähigkeit ist außerdem abhängig von

- der Motivation (Ziel-Antizipation)

Start-Nr.	Name	Start-Zeit	Zwischen-Zeit	Ankunfts-Zeit	gefahrte Zeit
78	E.M.	15:00:00	---	15:47:45	47:45
165	A.S.	15:01:00	15:20:18	15:43:31	42:31
34	U.G.	15:02:00	15:22:53	15:48:35	46:35
65	H.P.	15:03:00	15:22:24	15:45:56	42:56
---	P.F.	15:04:00	15:25:04	15:55:11	51:11
15	K.S.	15:05:00	15:26:37	15:49:38	44:38
93	M.K.	15:06:00	15:23:30	15:44:25	38:25
70	K.H.R.	15:07:07	15:26:32	15:47:45	40:45
67	R.D.	15:08:00	15:23:29	15:47:17	39:17
32	M.K.	15:09:00	15:28:32	---	---
77	C.R.	15:10:00	15:33:19	16:00:32	50:32
63	M.J.	15:11:00	15:26:53	15:44:58	33:58
62	F.K.	15:12:00	15:33:19	15:57:38	45:38
81	C.M.	15:13:00	15:33:20	15:53:17	40:17
98	C.D.	15:14:00	15:32:59	15:53:58	39:58

aus: <http://www.rst-luebeck.de/>

Qualifikationszeit für das BDR-Radsportabzeichen: 43:00 min

## Anaerobe Leistungsfähigkeit (Kraft-Leistung)

statische Halte- bzw. Haltungsarbeit

- isometrische Muskelaktivität
- 1. Halten von Gegenständen
- 2. Anpassungen von Lageveränderungen im Schwerfeld
- überwiegend anaerobe Energiebereitstellung

Cave: keine Leistung im physikalischen Sinn

(Leistung = Arbeit / Zeit = Kraft × Weg / Zeit)

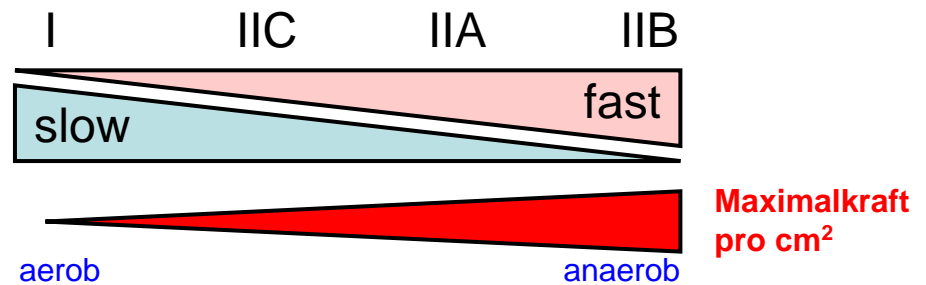
daher: Leistung = Kraft × Zeit bei statischer Arbeit

# Anaerobe Leistungsfähigkeit (Kraft-Leistung)

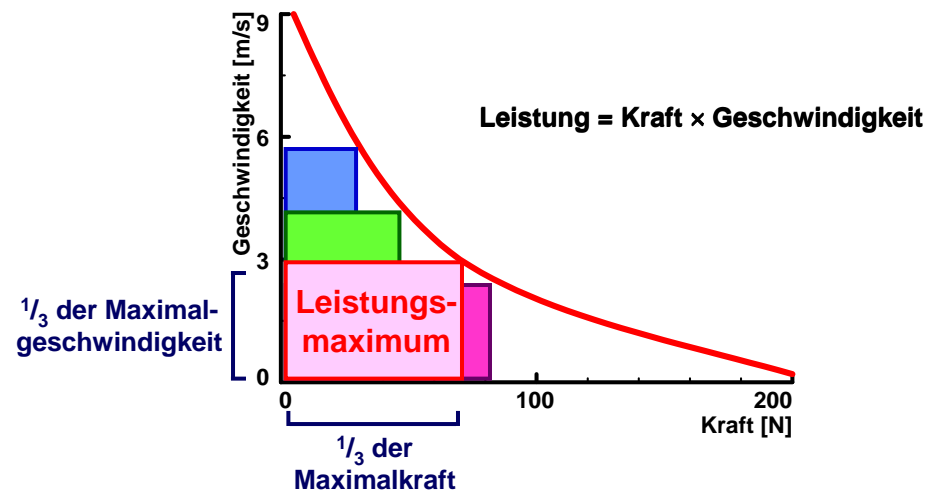
Die Maximalkraft (40-100 N/cm<sup>2</sup>) ist abhängig von

- der Anzahl rekrutierter motorischer Einheiten
- der Muskelzusammensetzung

Fasertyp



- der Verkürzungsgeschwindigkeit (HILL-Kurve)



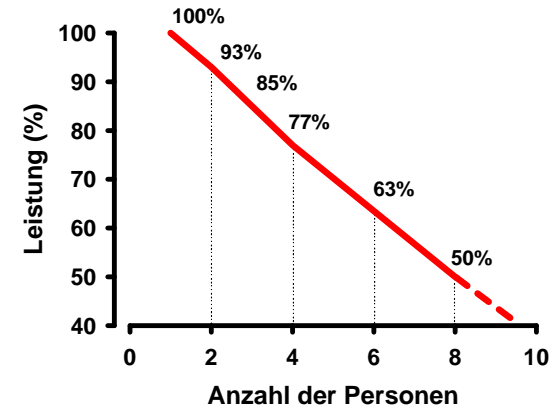


# Anaerobe Leistungsfähigkeit (Kraft-Leistung)

Die Maximalkraft ( $40\text{-}100\text{ N/cm}^2$ ) ist weiterhin abhängig von

- der Motivation (RINGELMANN-Effekt)

(Max Ringelmann, 1861-1934, franz. Agronom; Tauzieh-Versuch 1883  
[Bestätigung 1974 durch Alan Ingham, Washington])



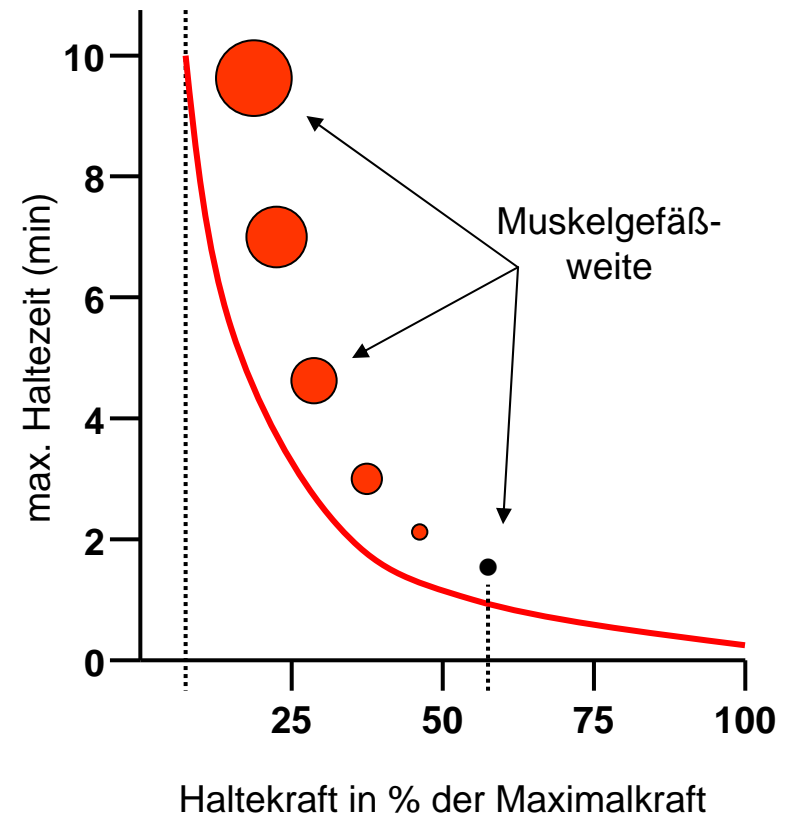
(Team = Toll, ein anderer macht´s!)

- der Biomechanik (Zugwinkel)
- der neuromuskulären Koordination
- etc.

## O<sub>2</sub>-Bereitstellung bei statischer Arbeit

Muskel-Innendruck bleibt konstant erhöht

- ab 10% der Maximalkraft  
⇒ Gefäßkomprimierung
- ab 60% der Maximalkraft  
⇒ Gefäßokklusion



## Kennzeichen statischer Arbeit

Typisch für intensive Haltearbeit:

- reflektorischer Verschluss der Stimmritze
- reflektorische Aktivierung der Bauchpresse  
(Zweck: Stabilisierung des Rumpfes)

Aber:

- Beeinträchtigung des Gasaustausches
- Beeinträchtigung des venösen Rückflusses  
(Erhöhung des intrathorakalen Druckes  
auf  $> 100$  mmHg  $\Rightarrow$  Kollapsgefahr)

## Empfehlungen für den Breitensport

<b>Gut geeignet</b>	<b>Bedingt geeignet</b>	<b>Nicht geeignet</b>
Jogging	Tennis	Klettern
Walking	Badminton	Sprinten
Skilanglauf	Fußball	Tauchen
Schwimmen	Handball	Surfen
Radfahren	Basketball	Bodybuilding

Quelle: Deutsche Hochdruckliga e.V.

0. Warum Leistungsphysiologie ?

1. Was ist Leistungsphysiologie ?

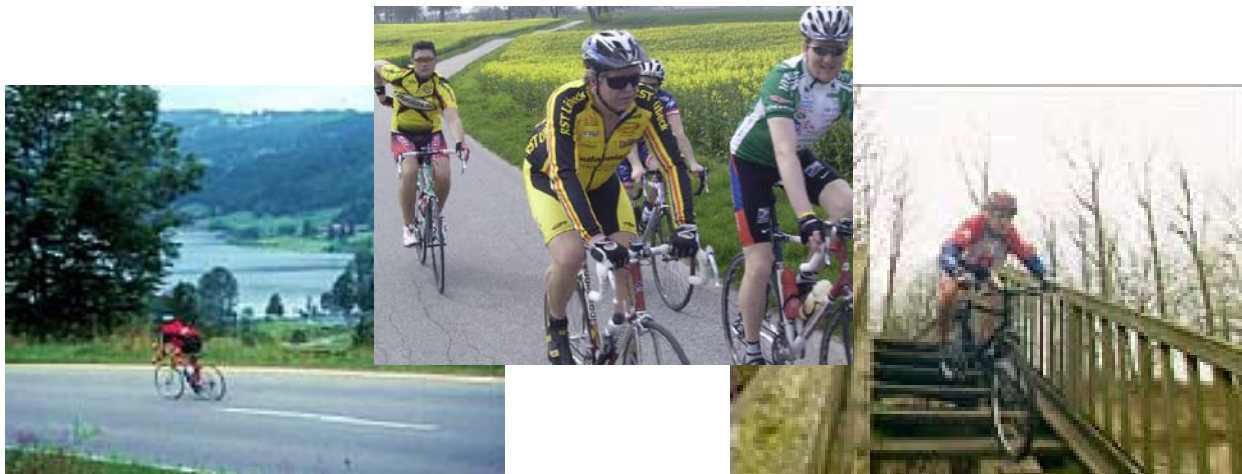
2. Energie-Bereitstellung

3. Aerobe und anaerobe Leistung

**4. Physiologische Anpassung an körperliche Aktivität**

5. Leistungstests

6. Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Übung & Training



# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

vor (Vorstartzustand) und während körperlicher Aktivität

→ Sympathikotonus ↑↑↑

(je besser der Trainingszustand, desto weniger)

- Noradrenalin ↑ (aus sympath. Nervenendigungen)
- Adrenalin ↑ (aus NNM)
- Kortisol ↑ (aus NNR)
  
- Energie ↑ (Glykogenolyse im Muskel,  
Lipolyse im Fettgewebe)

# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

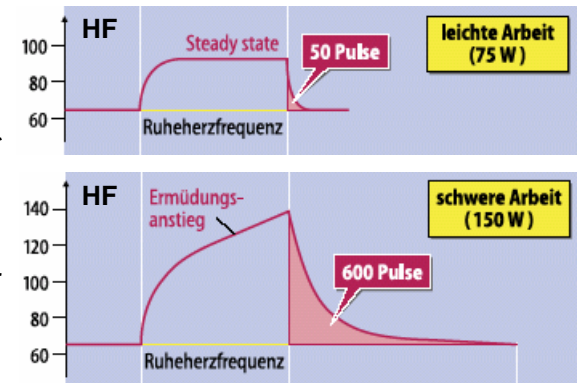
vor und während körperlicher Aktivität

→ Sympathikotonus ↑↑↑

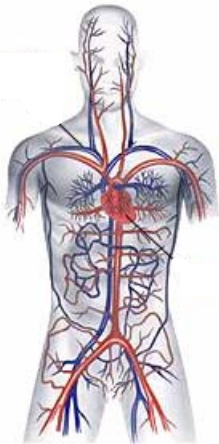
•  $HMV = SV \times HF \uparrow$

	Ruhe	Max.
SV	0,07 l	0,12 l
HF	70 min <sup>-1</sup>	220 min <sup>-1</sup>
HMV	5 l/min	25 l/min

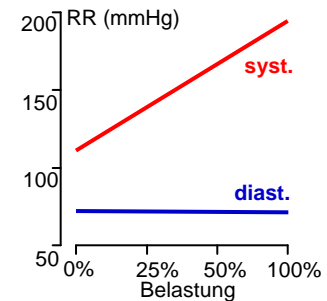
⇒ Steigerung um Faktor 5 !!



(Beachte: Erholungspulssumme)



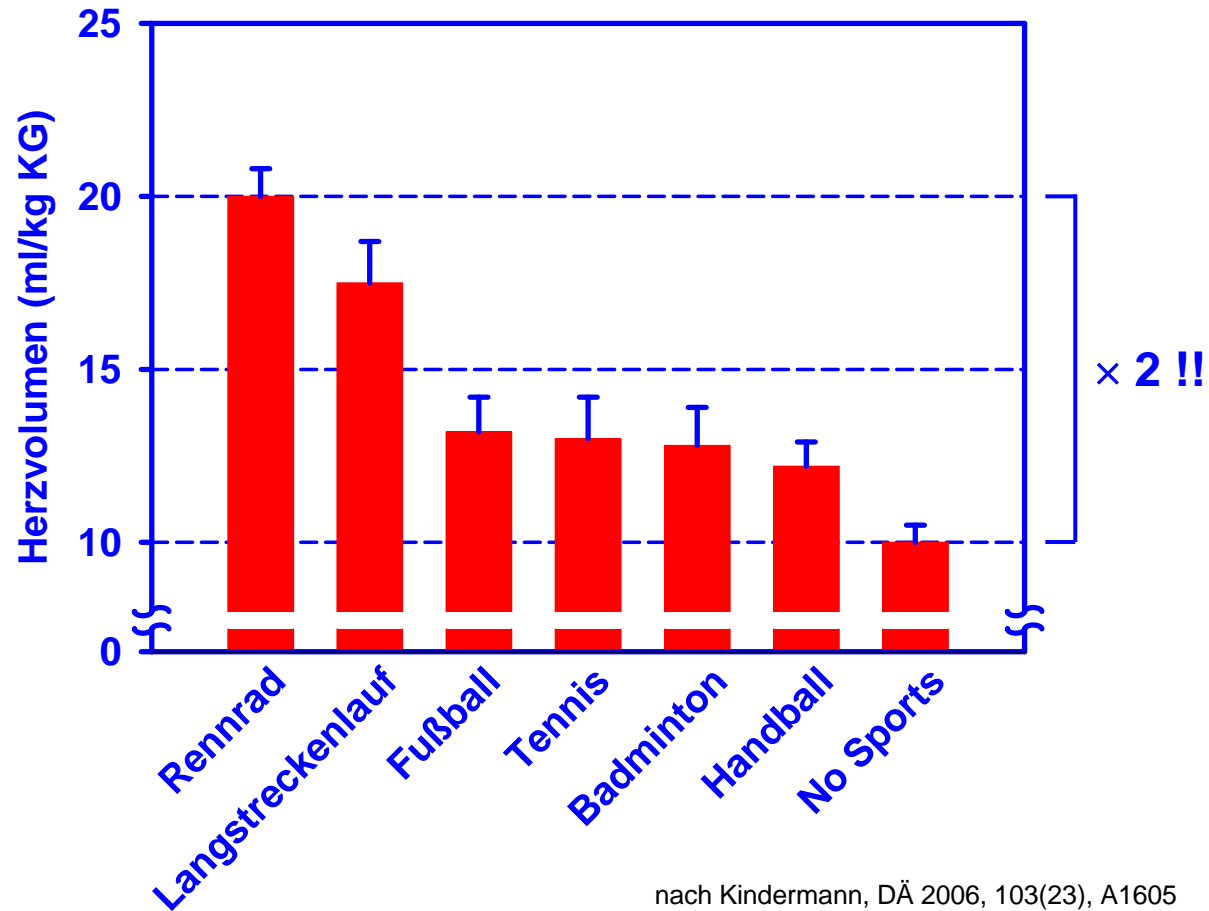
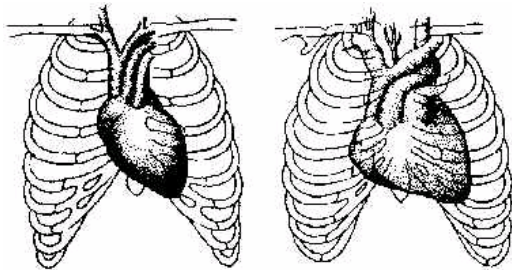
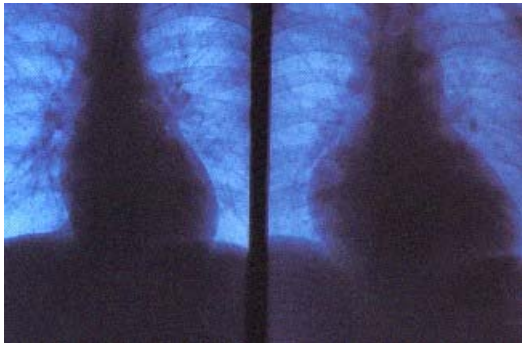
- Blutdruck
  - systolisch: proport. zur Leistung
  - diastolisch: ± (↓)



# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

## Das Sportherz

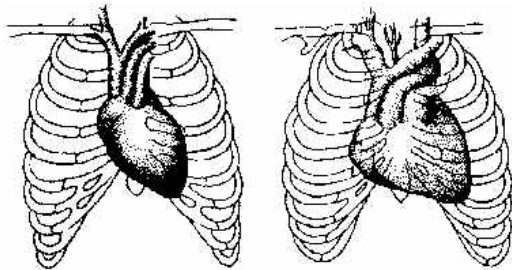
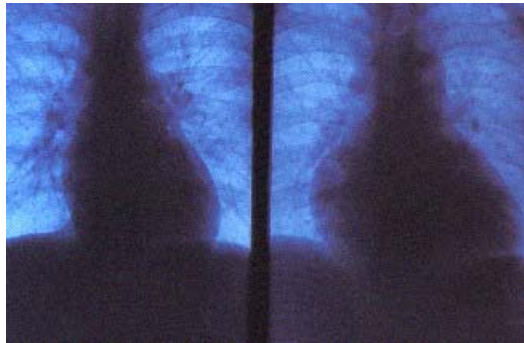
(bildet sich v.a. bei Ausdauersportarten [Rennradfahren, Langlauf, Rudern, Triathlon, etc.]  
Rudern, Triathlon, etc.]





# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

## Das Sportherz



	normales Herz	Sportherz
Gewicht	250 - 300 g	350 - 500 g
HF <sub>Ruhe</sub>	60 - 80 min <sup>-1</sup>	< 40 min <sup>-1</sup>
HF <sub>max</sub>	~ 200 min <sup>-1</sup>	~ 200 min <sup>-1</sup>
SV <sub>Ruhe</sub>	~ 70 ml	~ 100 ml
SV <sub>max</sub>	~ 100 ml	~ 160 ml
HMV <sub>Ruhe</sub>	5 l/min	5 l/min
HMV <sub>max</sub>	20 l/min	30 - 40 l/min

J.U.

32

~ 200

bis 50

**Allerdings:** Erhöhtes Risiko für **hypertrophe** oder **arrhythmogene Kardiomyopathien** möglich !?

(Pigozzi & Rizzo, Clin Sports Med 27, 153, 2008)

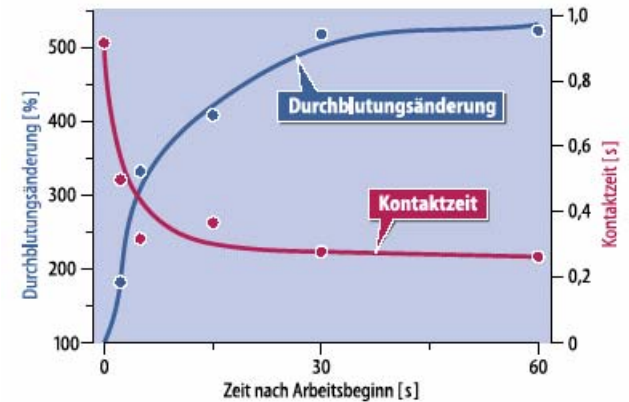
# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

vor und während körperlicher Aktivität

→ Sympathikotonus ↑↑↑

- Muskeldurchblutung

- in Ruhe:  $20-40 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
- bei Arbeit: bis  $1.300 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (Untrainierte)  
bis  $1.800 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (Trainierte);  
(Steigerung um Faktor **60** !!!)



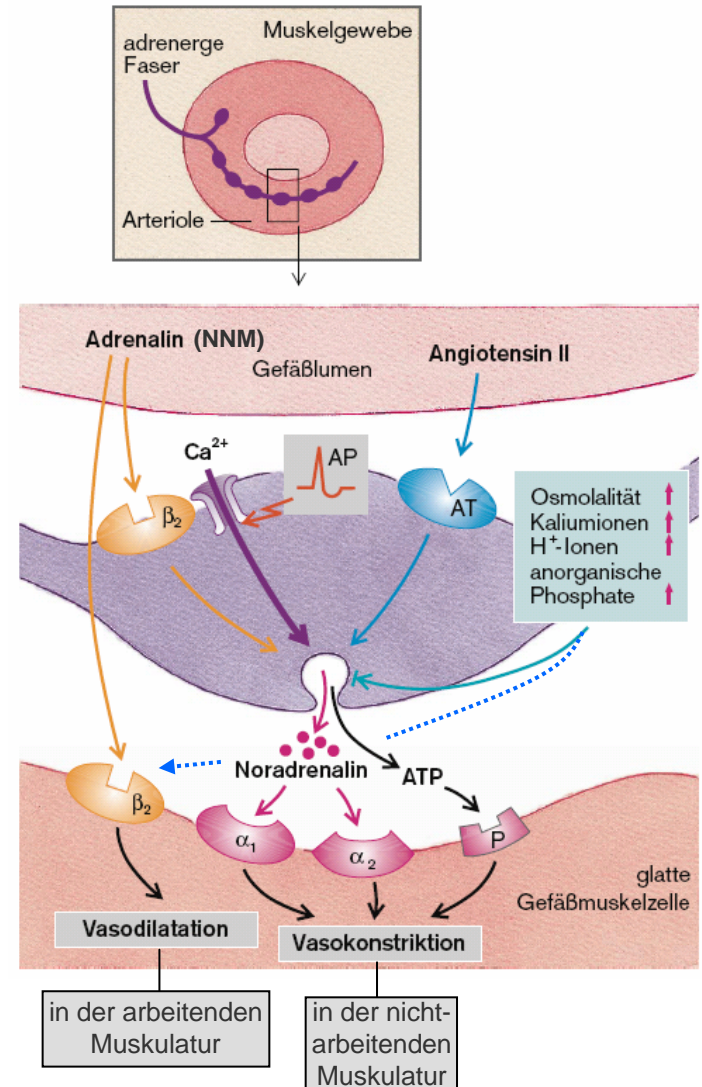
# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

wichtig - wichtig - wichtig - wichtig

**Vasokonstriktion der nicht-  
arbeitenden Muskulatur**  
**(sowie anderer Organe  
[GI-Trakt, Haut, etc.])**

$$HMV_{\max} = 25 \text{ l/min}$$

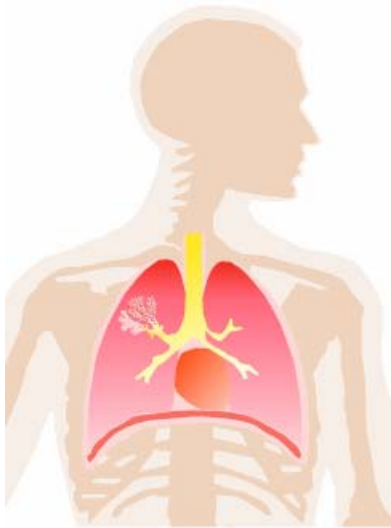
$$\begin{aligned} \text{Muskeldurchblutung}_{\max} &\approx 1,5 \text{ l} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \\ &\approx 22,5 \text{ l} \cdot 15 \text{ kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \\ &\approx 22,5 \text{ l} \cdot \frac{1}{2} \text{ Muskulatur} \cdot \text{min}^{-1} \end{aligned}$$



# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

vor und während körperlicher Aktivität

→ Sympathikotonus ↑↑↑



• Atmung:  $AMV = AZV \times AF \uparrow$

- leichte Arbeit: bedarfsgerechte Mehratmung (Hyperpnoe),

- schwere Arbeit: Hyperventilation ( $pCO_2 \downarrow$ );

- AMV in Ruhe: ~7,5 l/min

- AMV bei Arbeit: bis 120 l/min (Untrainierte)

bis 170 l/min (Trainierte)

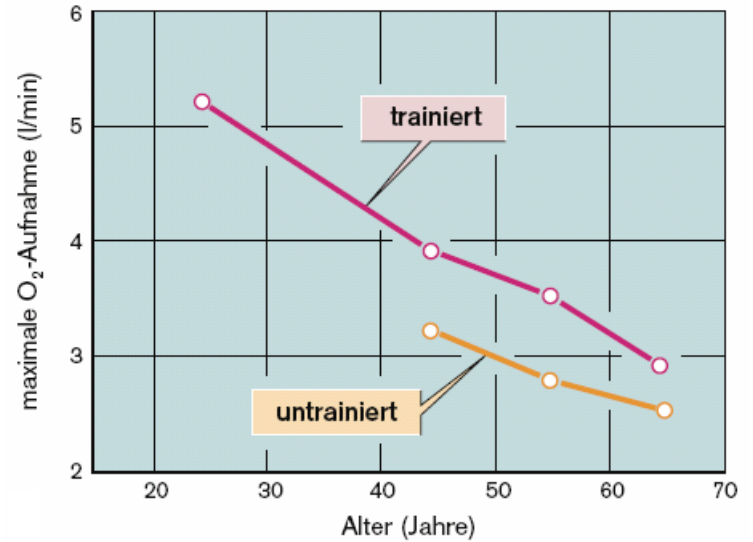
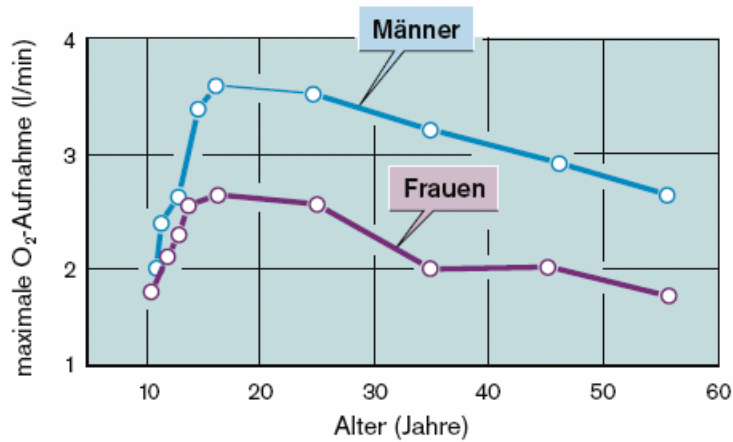
(Steigerung um Faktor **20** !!!)

-  $A\ddot{A} = AMV/\dot{V}_{O_2}$  25  $\Rightarrow$  40-50

# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

vor und während körperlicher Aktivität

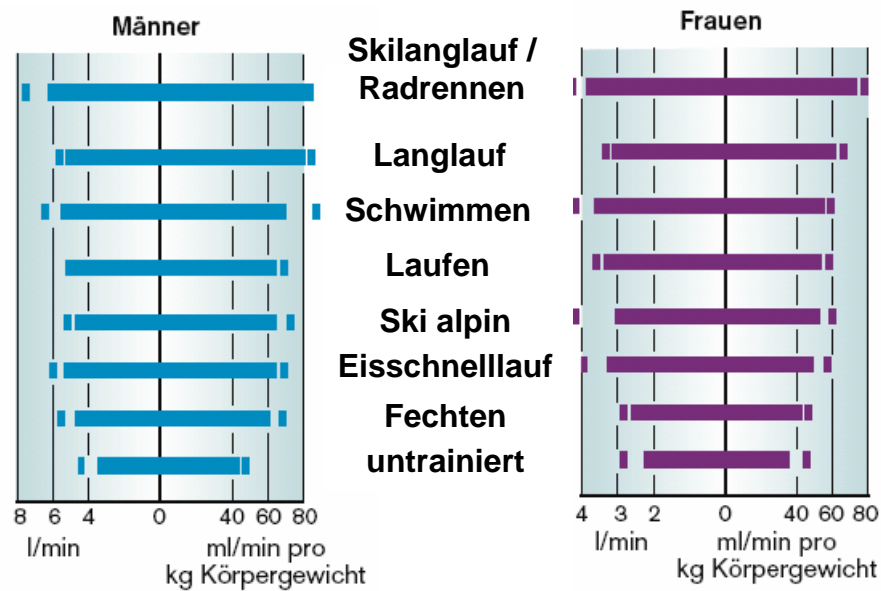
→ Sauerstoffaufnahme ↑↑↑



# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

vor und während körperlicher Aktivität

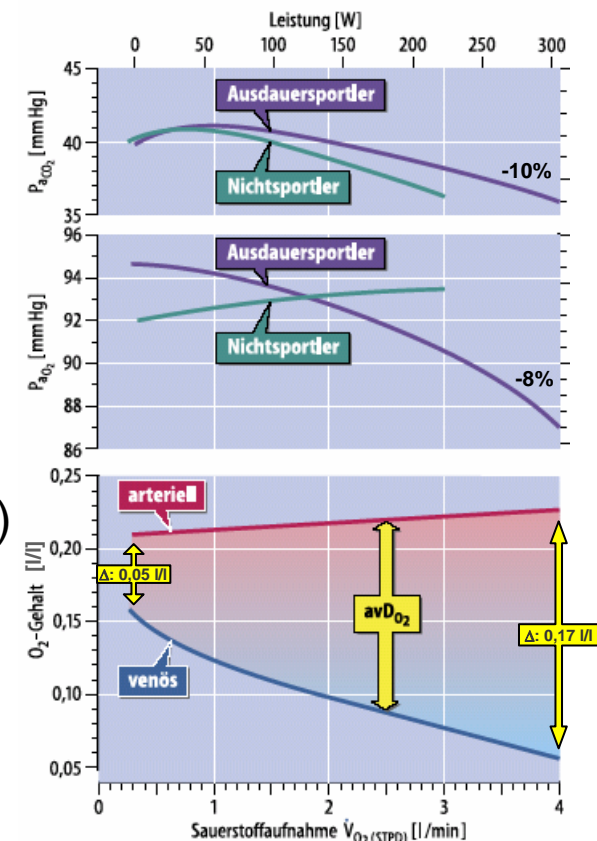
→ **Sauerstoffaufnahme** ↑↑↑



# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

## Umstellung von Blutparametern

- wenig Änderung der art. Blutgase ( $p_aO_2$ : max. -8%;  $p_aCO_2$ : max. -10%)
- mit zunehmender Leistung fällt der  $p_vO_2$  ( $avD_{O_2}$  steigt)
- Hkt steigt (wg. reduziertem PV)
- Säure-Basen-Status
  - leichte Arbeit:  $\pm$
  - schwere Arbeit:  $pCO_2 \downarrow$  (Hypervent.)  
 $pH \downarrow$  (Laktat)
- Glukose  $\pm$   
(Hypoglykämie  $\Rightarrow$  Erschöpfung)
- Elektrolyte ( $K^+ \uparrow$ ,  $Na^+ \uparrow$  [hypotoner Schweiß])



# Physiologische Anpassungen an körperliche Aktivität

## Umstellung von Blutparametern

- wenig Änderung der art. Blutgase

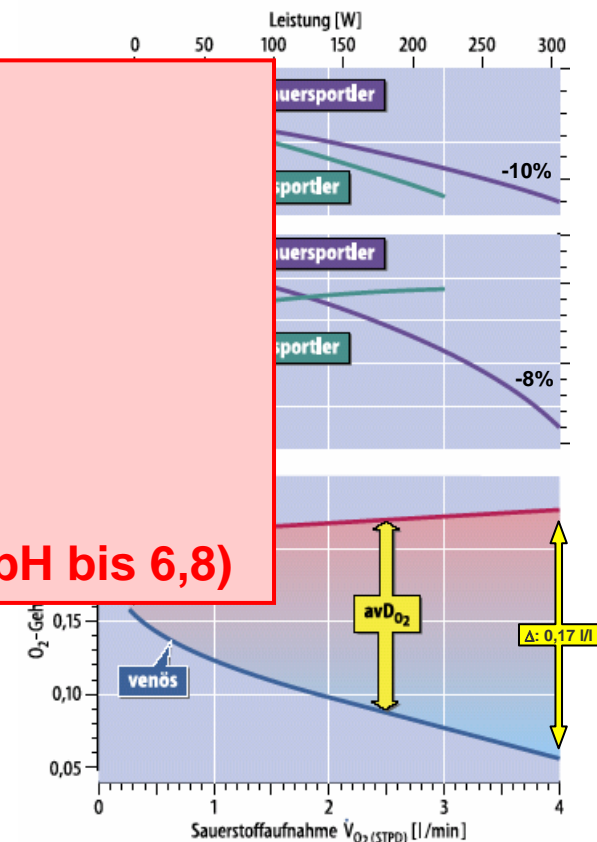
### Synopsis

leichte Arbeit:  $\pm$

schwere Arbeit:  $p\text{CO}_2 \downarrow$

metabolische Azidose (pH bis 6,8)

- Glukose  $\pm$   
(Hypoglykämie  $\Rightarrow$  Erschöpfung)
- Elektrolyte  
( $\text{K}^+ \uparrow$ ,  $\text{Na}^+ \uparrow$  [hypotoner Schweiß])





## Gegenüberstellung Nichtsportler vs. Ausdauersportler

	Nichtsportler	Ausdauersportler
<b>HF<sub>Ruhe</sub> (min<sup>-1</sup>)</b>	70	50
<b>HF<sub>max</sub> (min<sup>-1</sup>)</b>	190	190
<b>SV<sub>Ruhe</sub> (ml)</b>	70	100
<b>SV<sub>max</sub> (ml)</b>	100	160
<b>HMV<sub>Ruhe</sub> (l/min)</b>	5	5
<b>HMV<sub>max</sub> (l/min)</b>	19	30
<b>Herzgewicht (g)</b>	300	500
<b>AMV<sub>max</sub> (l/min)</b>	120	170
<b>O<sub>2</sub>-Aufn.<sub>max</sub> (l/min)</b>	3,5	5,6
<b>Blutvolumen (l)</b>	5,3	5,9

× 2,7

× 3,8

× 1,4

× 1,6

× 3,8

× 6,0

← × 1,7 →

← × 1,4 →

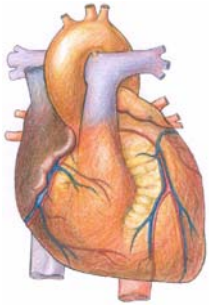
← × 1,6 →

← × 1,1 →

# Körperwelten: Was ist Fitness?

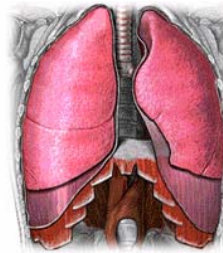
*fit* - passen, angepasst  $\Rightarrow$  Anpassung durch Training

①



Größe, SV,  
HMV  $\uparrow$   
 $HF_{\text{Ruhe}}$   $\downarrow$

②



Größe  $\pm$   
Hypertrophie von  
Zwerchfell &  
Zwischenrippenmuskulatur  
AZV, AÄ (=  $AMV/\dot{V}_{O_2}$ )  $\uparrow$   
AF  $\downarrow$

③



Kapillarisation  
 $avD_{O_2}$   $\uparrow$   
intramuskuläre  
Koordination

④



Zahl & Größe  
der  
Mitochondrien  $\uparrow$   
(insbesondere im  
Herzmuskel)

## Männer haben's leichter ... ?



Frauen haben im Allgemeinen

- eine kleinere Körpergröße,
- ein kleineres Körpergewicht (v.a. bezgl. des Knochenbaus),
- kürzere Extremitäten und ein breiteres Becken,
- einen höheren Körperfettanteil (+10%),
- einen geringeren Muskelanteil (-20%),
- ein kleineres Herz,
- ein kleineres Blutvolumen und einen geringeren Hb-Wert,
- ein kleineres Lungenvolumen,
- eine geringere Mitochondrienzahl,
- eine geringere Wärmetoleranz (weniger Schweißdrüsen).

Frauen haben im Allgemeinen

- eine größere Beweglichkeit,
- bessere koordinative Fähigkeiten und kleinmotorische Leistungen.

0. Warum Leistungsphysiologie ?

1. Was ist Leistungsphysiologie ?

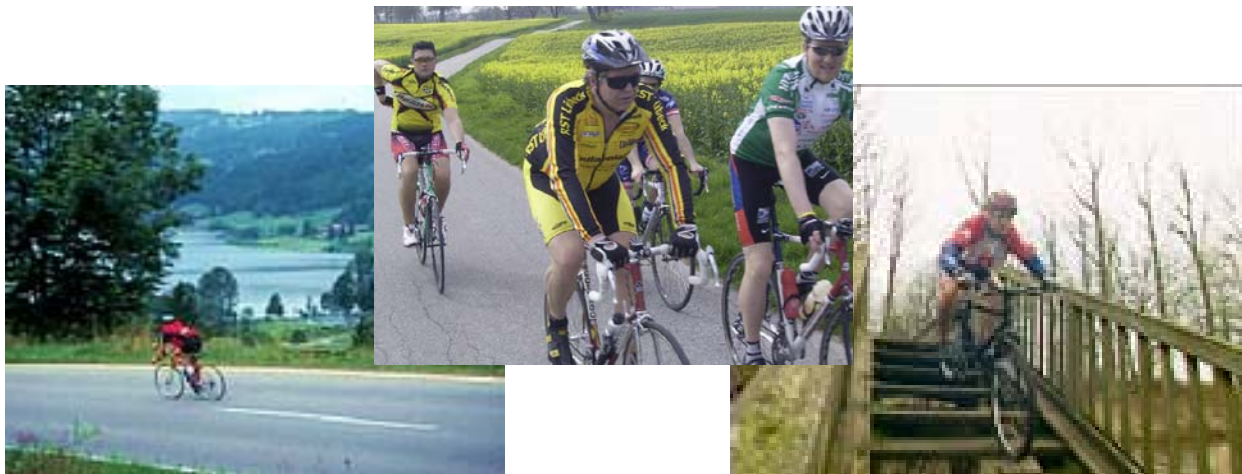
2. Energie-Bereitstellung

3. Aerobe und anaerobe Leistung

4. Physiologische Anpassung an körperliche Aktivität

**5. Leistungstests**

6. Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Übung & Training



# Leistungstests / Leistungsdiagnostik

Definition: das Erfassen und Bewerten körperlicher Leistung

wichtigste Größe: anaerobe Schwelle (IANS), Ausdauerkapazität

Merke: Leistung optimieren, nicht maximieren!



**Oberkörperergometer  
(f. klein. Anwendungen)**

# Leistungstests / Leistungsdiagnostik

## Testverfahren:



Labortest



Feldtest

(mit dem System  
COSMED K4b<sup>2</sup>)

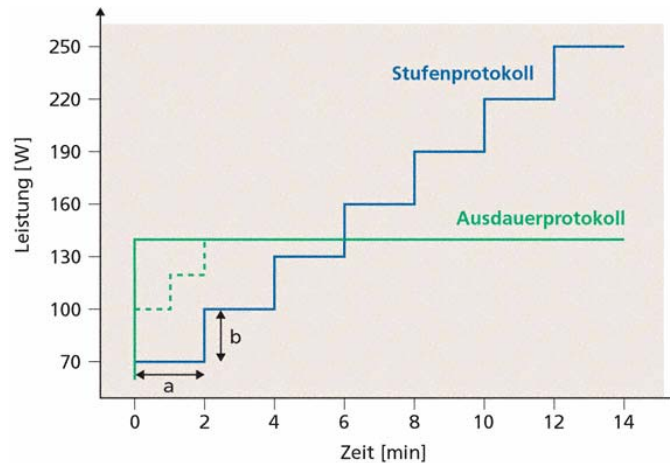
undosierte Testverfahren: Kniebeugen, Liegestütz, Treppenlaufen, etc.

dosierte Testverfahren: Fahrrad-, Laufband-, Ruder- oder Drehkurbel-  
Ergometer; Zweistrecken-Schwimmtest, etc.

sportartspezifisch / sportartunspezifisch

# Leistungstests

- Stufentest (Erhöhung der Leistung nach bestimmten Abständen)
- Ausdauerprotokoll (Testung bei konstanter Leistung)



Anfangsniveau

a = Stufendauer (z.B. 2-5 min)

b = Stufenhöhe (z.B. 20-30 W)

Übliche Schemata:

Einsteiger: 40-40-5

Amateur: 80-40-5

Profi: 120-40-5

Messung von

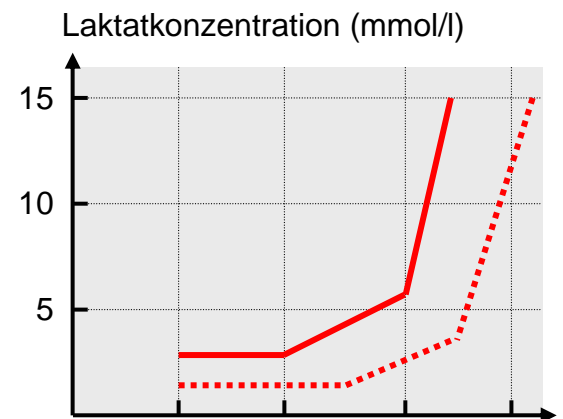
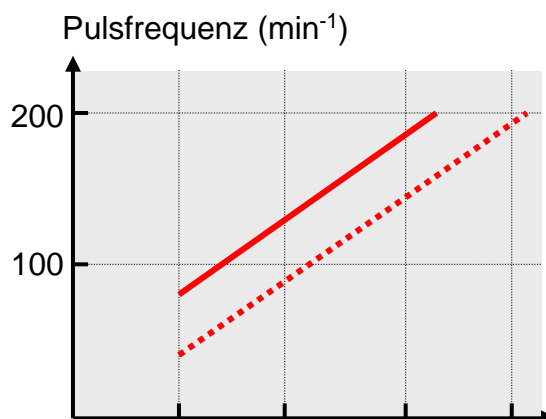
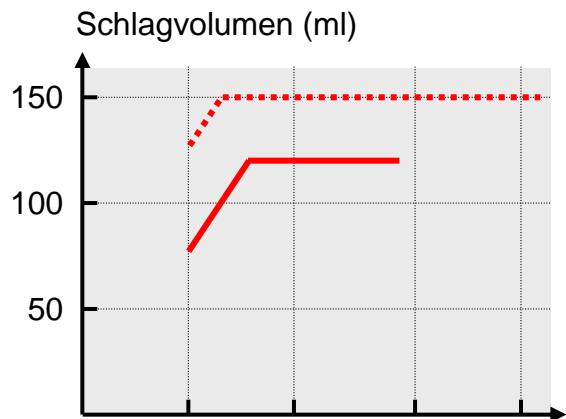
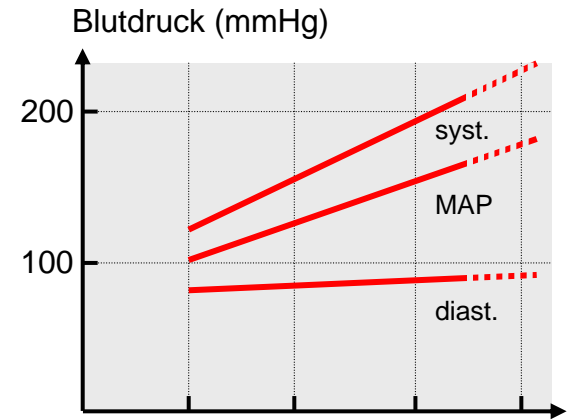
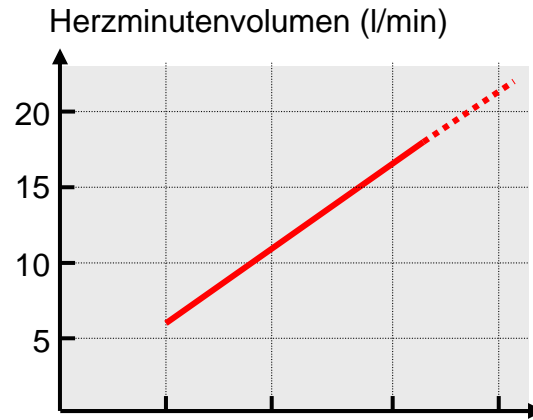
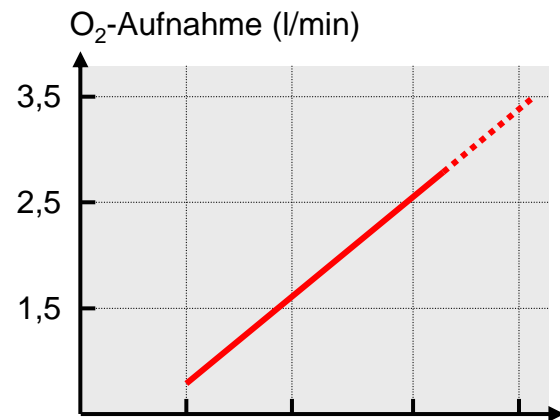
- Atmungs- und Herztätigkeit (EKG, Spirometrie, Kalorimetrie)
- Laktat

AF, AMV, RQ (=  $\text{CO}_2/\text{O}_2$ ), AÄ (=  $\text{AMV}/\dot{V}_{\text{O}_2}$ ); HF, EKG

RQ ~ 0,7  $\Rightarrow$  Fettverbrennung

RQ ~ 1,0  $\Rightarrow$  KH-Verbrennung

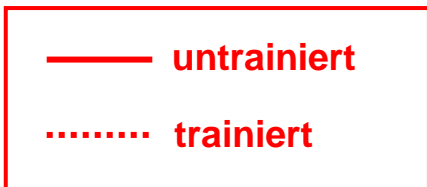
# Leistungstest-Parameter



Ruhe 100 200 300 Watt

Ruhe 100 200 300 Watt

Ruhe 100 200 300 Watt



$\dot{V}O_2$ , HMV, RR - höhere Maximal-Werte  
 SV, HF, Laktat - Wertebereiche  $\uparrow$  bzw.  $\downarrow$  } beim Trainierten



# Laktat-Leistungskurve

**Kompensatorischer Bereich  
(Regeneration & Stabilisierung)**

**Grundlagen/Ausdauer 1  
(aerobe Leistungsfähigkeit)**

**Grundlagen/Ausdauer 2  
(aerobe/anaerobe  
Leistungsfähigkeit)**

**Entwicklungsbereich  
(Wettkampf-spezifische  
Ausdauer)**

Auswertung des Lactat-Stufentests von [redacted] am 26.02.2005

Leistung an der IAS [W]: 186.3

Lactat an der IAS [mmol/l]: 3.2

Leistung je Kilogramm Körpergewicht [W]: 2.0

HF an der IAS [min<sup>-1</sup>]: 156.5

Trainingsbereiche HF [min<sup>-1</sup>]:

KB : 122-127.

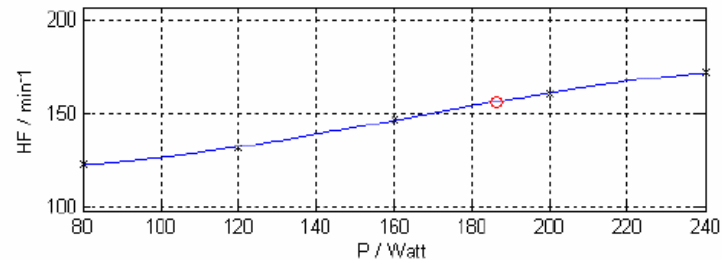
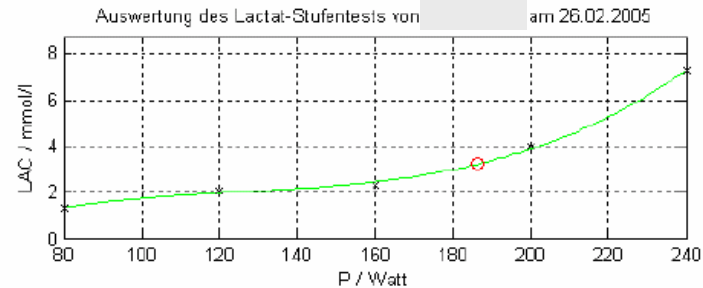
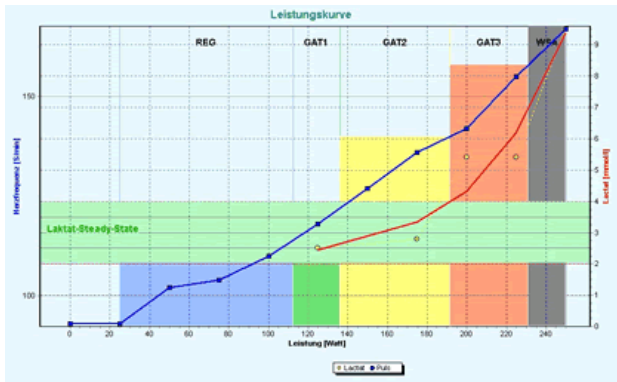
GA1 : 127-136.

GA2 : 136-146.

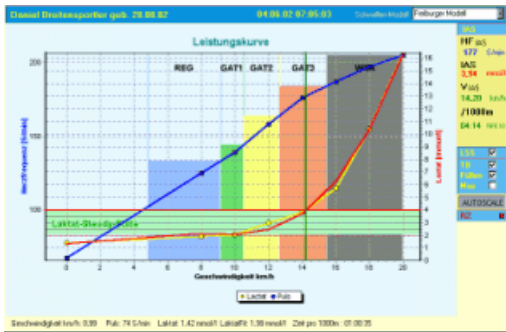
EB : 146-156.

Ausdauerbetonte Kurve mit doch steilem Anstieg im anaeroben Bereich über 4 mmol/l LAC, d.h. scharfe RTF-Tempi und lange Führungspassagen machen Probleme. HF-Kurve kippt zum Ende ab, d.h. es war wirklich alles was geht. Die Leistung je Kilogramm Körpergewicht [W]: 2.0 ist ausbaufähig und zwar durch Gewichtsreduktion zum Sommer hin und gezieltes K3 (siehe Anlage) mit der Intervallmethode möglichst an der IAS.

## Trainingsbereiche

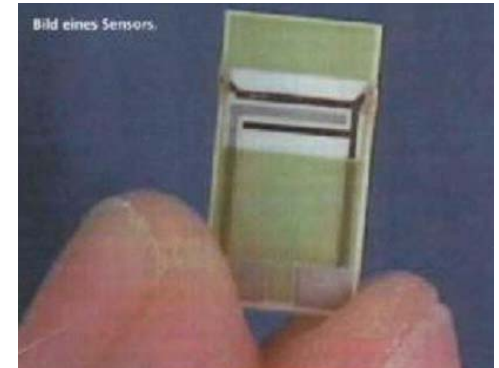
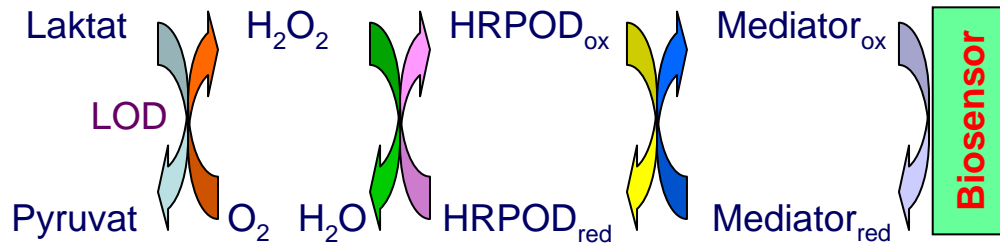


# Laktat-Bestimmung



Paket-Preis: 649,- bis 1.149,- € (inkl. MwSt.)

# Laktat-Bestimmung



Messung der Laktat-Konzentration im Atem-Kondensat

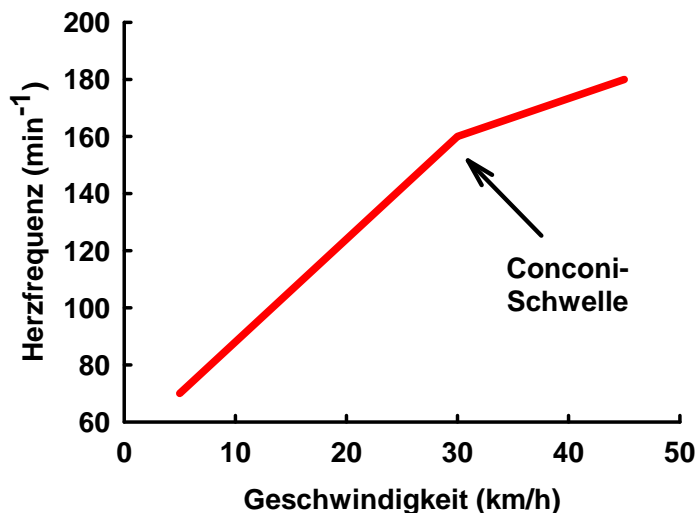


# Leistungstests

## Conconi-Test:

Man steigert die Belastung auf festgelegten Strecken, bis keine Steigerung mehr möglich ist. Die Pulsfrequenzen werden protokolliert und über den Leistungen graphisch dargestellt. Es ergibt sich zunächst ein linearer Anstieg, bis zu einem Punkt, an dem die Linie einen Knick macht („leveling off“, CONCONI-Schwelle [= 100%]).

	<b>KB</b>	<b>GA1</b>	<b>GA2</b>	<b>EB</b>
<b>HF (in % d. Conconi-Schwelle)</b>	< 70	65 - 85	90 - 95	95 - 100



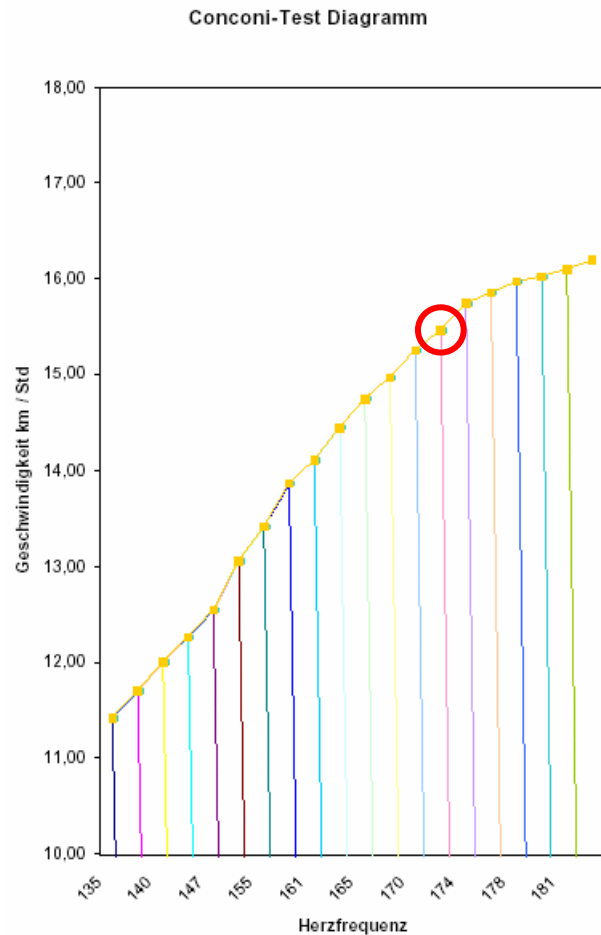
### Haken:

Der „Knick“ ist meist nicht besonders deutlich (v. a. bei hoch trainierten Sportlern).

zur Übersicht:

**Conconi et al.** (Centro Studi Biomedici Applicati allo Sport, Università degli Studi di Ferrara, Italy) **The Conconi test: methodology after 12 years of application.** Int J Sports Med 17: 509-19 (1996)

# Beispielwerte für einen Mittelstreckenläufer



- der Knickpunkt liegt bei einer HF von 174

- die Geschwindigkeit bei 15,75 km/h



# Leistungstests

## Karvonen-Methode:

$$\text{THF} = (\text{HF}_{\text{max}} - \text{HF}_{\text{Ruhe}}) \times X_i + \text{HF}_{\text{Ruhe}}$$

	KB	GA1	GA2	EB
$X_i$	< 0,52	0,52-0,65	0,65-0,77	0,75-0,95

## Haken:

$\text{HF}_{\text{max}}$  wird benötigt!

## zur Übersicht:

**Karvonen et al.** (Research Institute of Public Health, University of Kuopio, Finland) **The effects of training on heart rate; a longitudinal study.** Ann Med Exp Biol Fenn 35:307-15 (1957)

# Leistungstests

## Hottenrott-Methode:

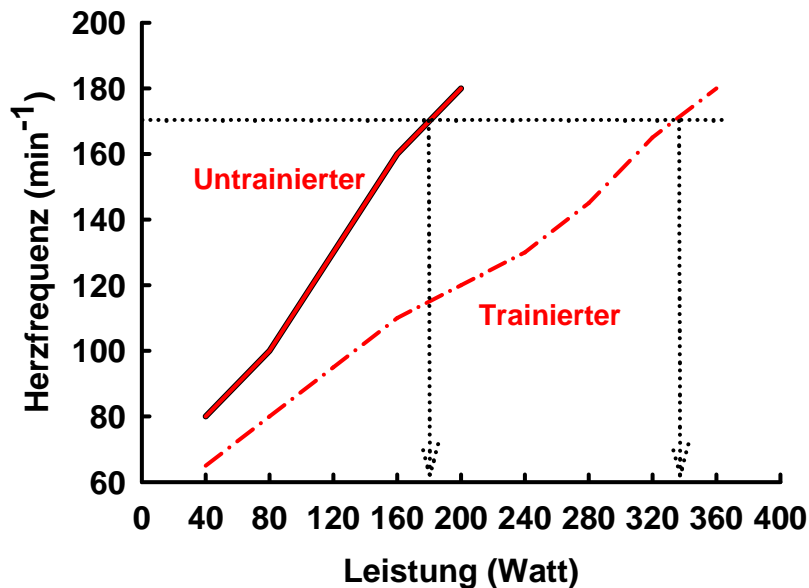
$$\mathbf{THF = HF_{max} \times 0,70 \times LF_i \times TZ_i \times GF_i \times SP_i}$$

- $HF_{max}$ : 208 - 0,7 × Lebensalter (für Erwachsene)  
220 - Lebensalter (für Jugendl. & Kinder)
- $LF_i$ : Leistungsfaktor  
(1,00 Einsteiger; 1,03 Fitnesssportler; 1,06 Leistungssportler)
- $TZ_i$ : Trainingszielfaktor  
(1,0 GA1-Training; 1,1 GA1/2-Training; 1,2 GA2-Training)
- $GF_i$ : Geschlechtsfaktor  
(1,06 Frauen; 1,00 Männer)
- $SP_i$ : Sportartfaktor  
(1,0 Laufen; [Fortsetzung folgt])

# Leistungstests

## PWC 170:

Unter der „Physical Work Capacity 170“ versteht man die Leistung, die auf dem Ergometer mit einer HF von 170 min<sup>-1</sup> erreicht wird.



PWC (W/kg KG)	♂	♀
PWC <sub>130</sub>	1,5	1,3
PWC <sub>150</sub>	2,0	1,6
PWC <sub>170</sub>	2,5	2,0

zur Übersicht: Rost & Hollmann  
Int J Sports Med 4, 147, 1983

## Haken:

Gilt nur für HF mit mittlerem Anstiegsverhalten!

(Personen mit hoher HF<sub>max</sub> wird eine zu geringe, Personen mit niedriger HF<sub>max</sub> eine zu hohe Leistungsfähigkeit bescheinigt.)



# Leistungstests

## Normwerte (W/kg KG)

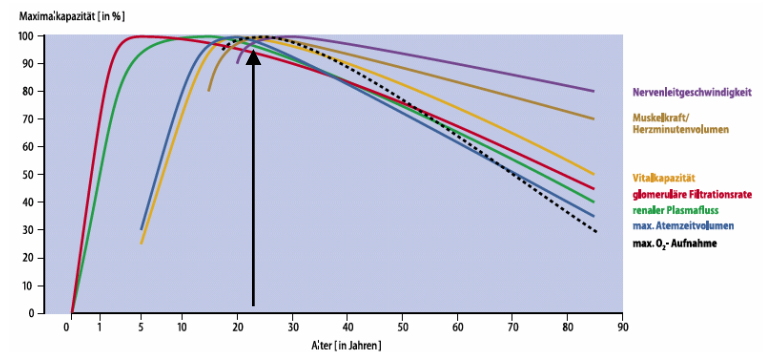
	♂	♀
untrainiert	2,6	2,3
Breitensportler	4,4	3,6
Elite	6,5	5,5



(gilt für das „starke“  
3. Lebensjahrzehnt;  
danach: -10% je Dekade)

Spitzenwert: Erik Zabel

- 1700 W (im Sprint)
- 69 kg KG
- ⇒ ~25 W/kg



# Leistungstests

## Fazit:

- Stufentest (Erhöhung der Leistung nach bestimmten Abständen)
- Messung von HF, Laktat



Fahrradergometer nach **DIN 13 405**



Laufbandergometer nach **DIN VDE 0750-238**

0. Warum Leistungsphysiologie ?

1. Was ist Leistungsphysiologie ?

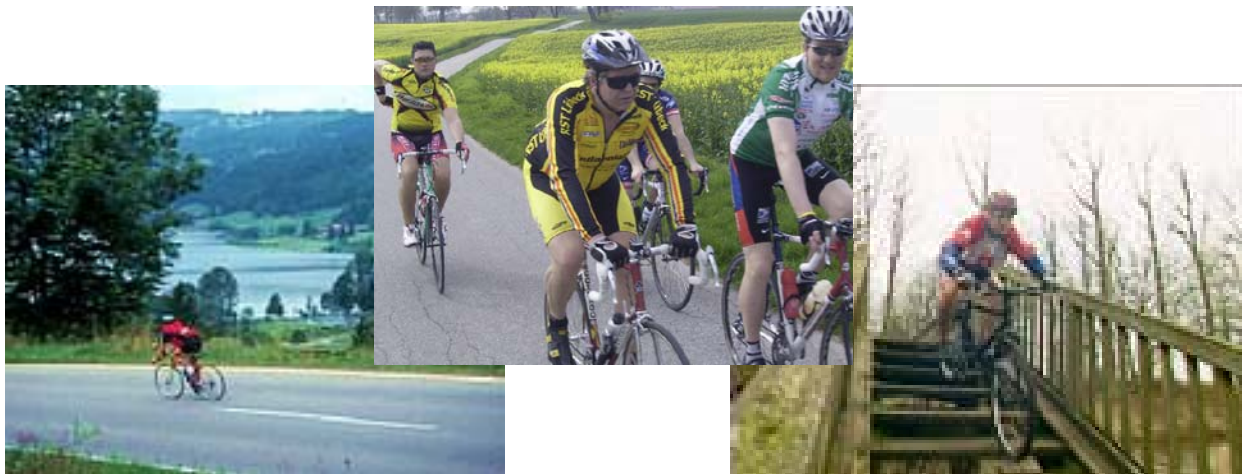
2. Energie-Bereitstellung

3. Aerobe und anaerobe Leistung

4. Physiologische Anpassung an körperliche Aktivität

5. Leistungstests

**6. Steigerung der Leistungsfähigkeit durch Übung & Training**

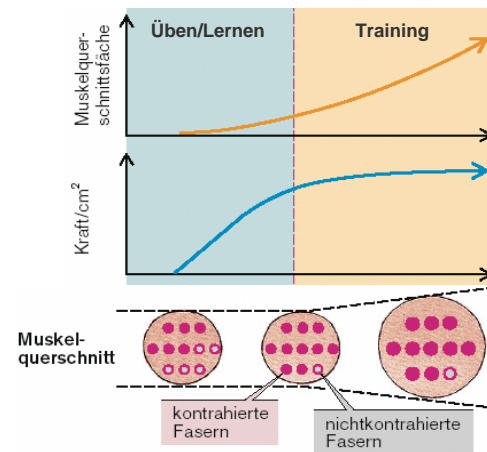


# Steigerung der Leistungsfähigkeit

durch motorisches Lernen (Optimierung des Nerv-Muskel-Zusammenspiels)



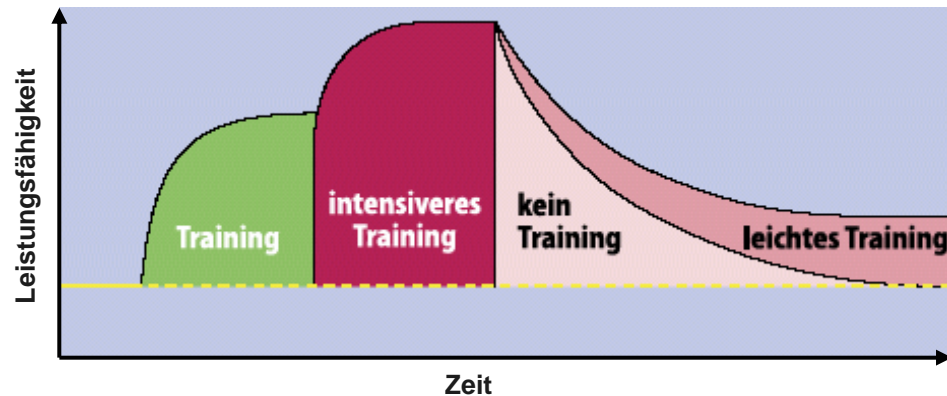
durch Training



## Steigerung der Leistungsfähigkeit

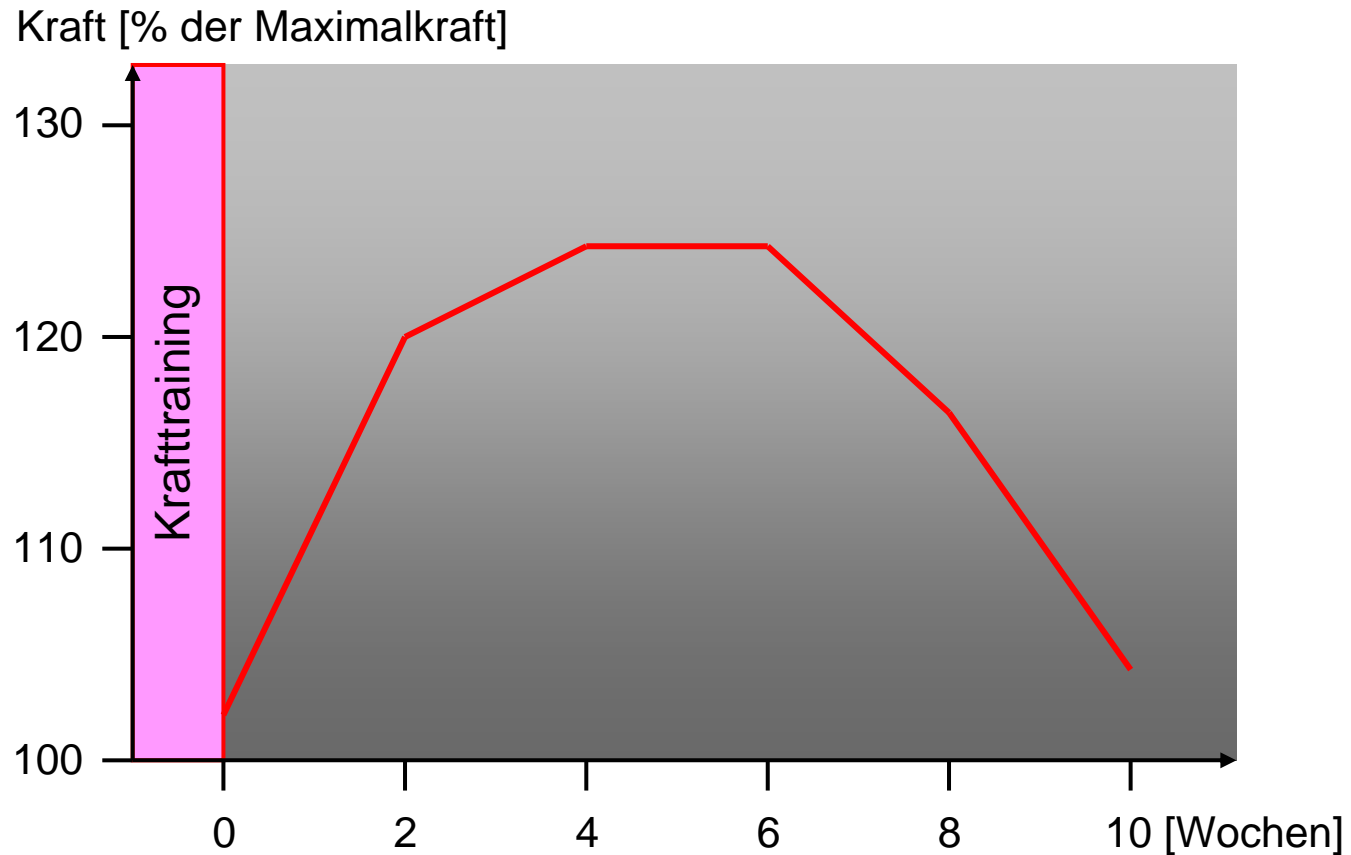
Jede körperliche Aktivität löst innerhalb von Sekunden bis Minuten physiologische Anpassungsreaktionen aus, die jedoch nach Arbeitsabbruch rasch reversibel sind (s.o.).

Übungs- oder Trainingseffekte halten über das Ende der Aktivität an.



Trainingsgewinn  $\Rightarrow$  Trainingspensum  $\begin{cases} \text{Trainingsintensität} \\ \text{Trainingsdauer} \end{cases}$

## Steigerung der Maximalkraft nach leichtem Krafttraining \*)



\*) 10 Maximalkontraktionen zu je 10 s im Abstand von je 1 min über 1 Woche

(nach: Rieck et al., Z. Arbeitswiss. 31, 233, 1977)

## Steigerung der Leistungsfähigkeit

Körperliche Aktivität wird zur Übung bzw. zum Training, wenn sie

- geplant,
- strukturiert,
- wiederholt und
- zielgerichtet ist.

Sie ist dann regelmäßig, wenn sie an mindestens drei Tagen einer Woche durchgeführt wird.

(jeweils mindestens 30 min, wobei mindestens 60% der Muskulatur beansprucht werden sollte)

# Steigerung der Leistungsfähigkeit

weiterer leistungsbestimmender Faktor: **Talent** (syn. **Begabung**)

(angeborene oder frühkindlich erworbenen leistungsbestimmende Persönlichkeitsmerkmale)

aktuelle Leistungsfähigkeit = Trainingszustand + Begabung



**Testosteron-Typ:**

kräftig, definierte Muskeln

Sprinter



Marco Pantani



**Kortisol-Typ:**

„moppelig“

Etappenfahrer



Miguel Indurain



**Thyroxin-Typ:**

dünn & hager

Eintagesathlet



Andreas Klöden



# Steigerung der Leistungsfähigkeit

weiterer leistungsbestimmender Faktor: **Choking**

Leistungsminderung unter Druck

(to choke - hemmen, dämpfen)

(⇒ „Trainingsweltmeister“)

Ursachen

- **Anstieg der Selbstaufmerksamkeit**

(Bewegungen nicht mehr automatisiert, sondern bewusst kontrolliert)

- **Aufmerksamkeitsablenkung**

(Erinnerung an frühere Misserfolge, zu frühe Siegesgewissheit, Publikum)

Lösung

- **Selbstinstruktion**

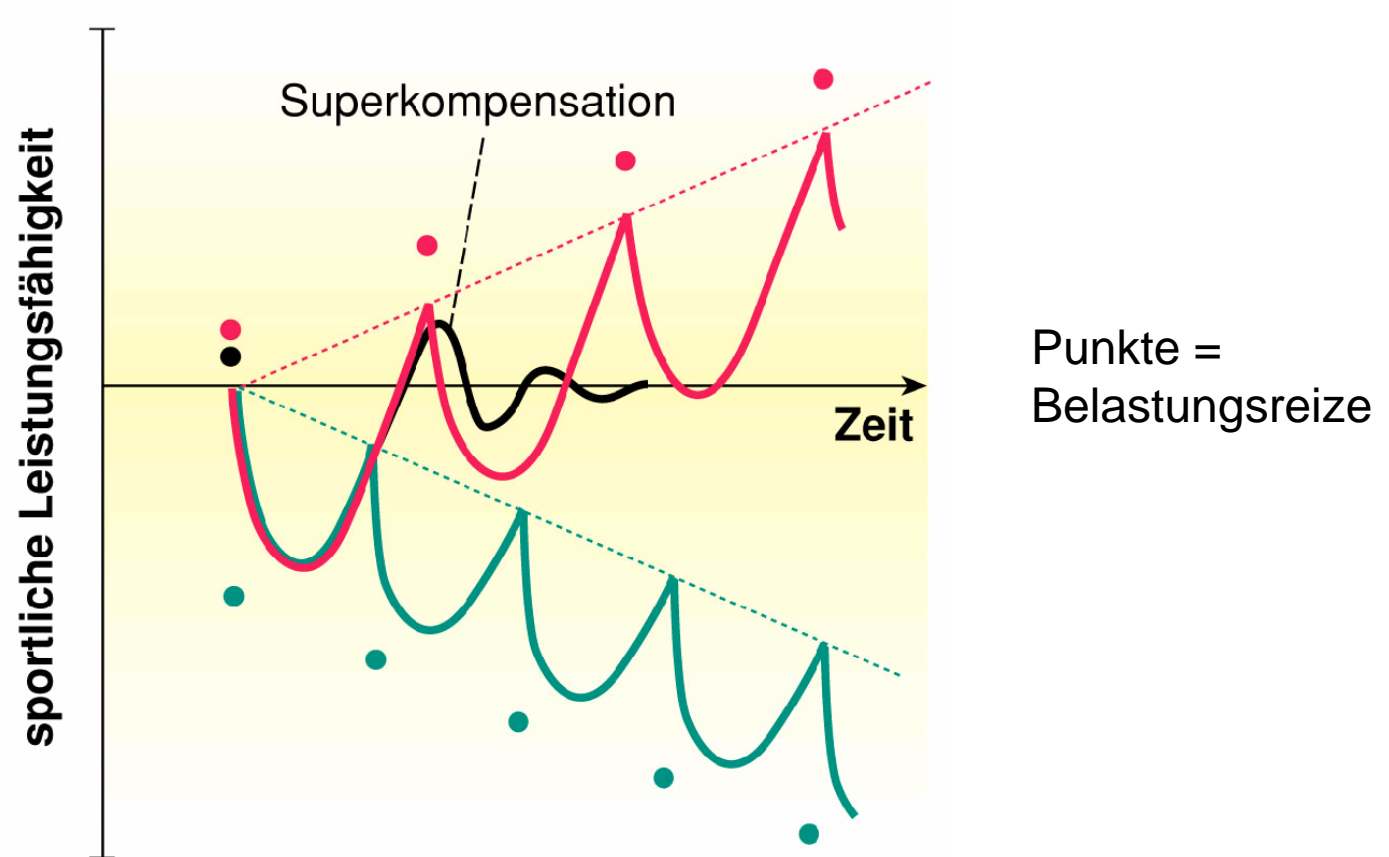
(positive Gedanken: „Ganz ruhig!“, „Los, jetzt ´rein mit dem Ball!“)

- **Vorhandlungsroutinen**

(Handlung vor der eigentlichen Handlung, damit der Rest automatisch abläuft  
[Ballprellen vor dem Aufschlag {Tennis},  
Routineschleife beim 11-Meter])

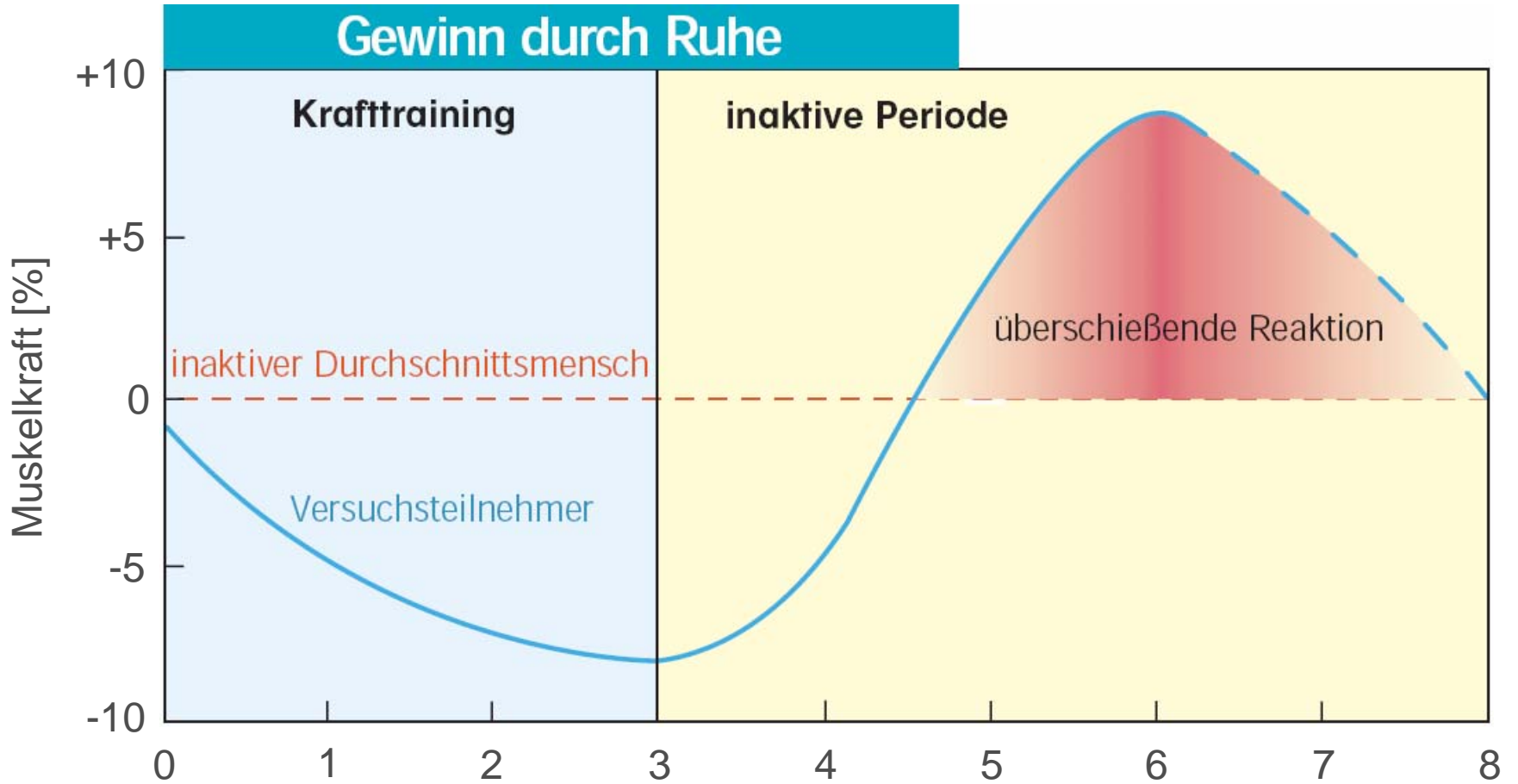


# Steigerung der Leistungsfähigkeit



Trainingsplan: erneute Belastungsreize müssen in die Zeit der Superkompensation fallen

# Steigerung der Leistungsfähigkeit

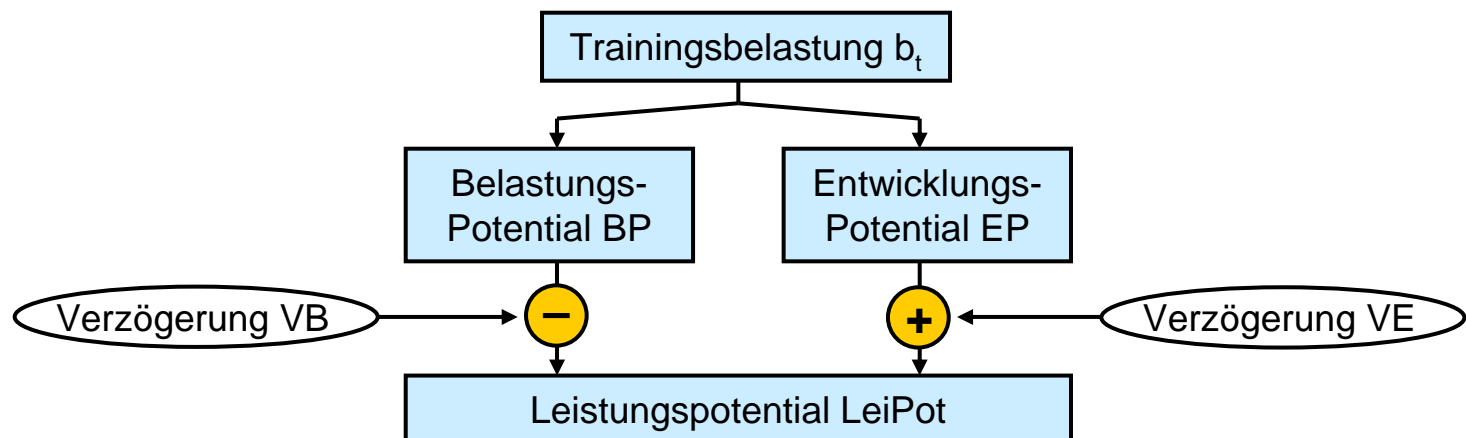


## Steigerung der Leistungsfähigkeit

- erste Publikation des Modells der Superkompensation: Jakowlew, *Medizin und Sport* 16, 66-70, 1976
- erstes Simulationsmodell: Banister et al., *Austr J Sports Med* 7, 57-61, 1976

$$P_t = \text{Fit}_t - \text{Fat}_t \quad (\text{fitness-fatigue-Modell})$$

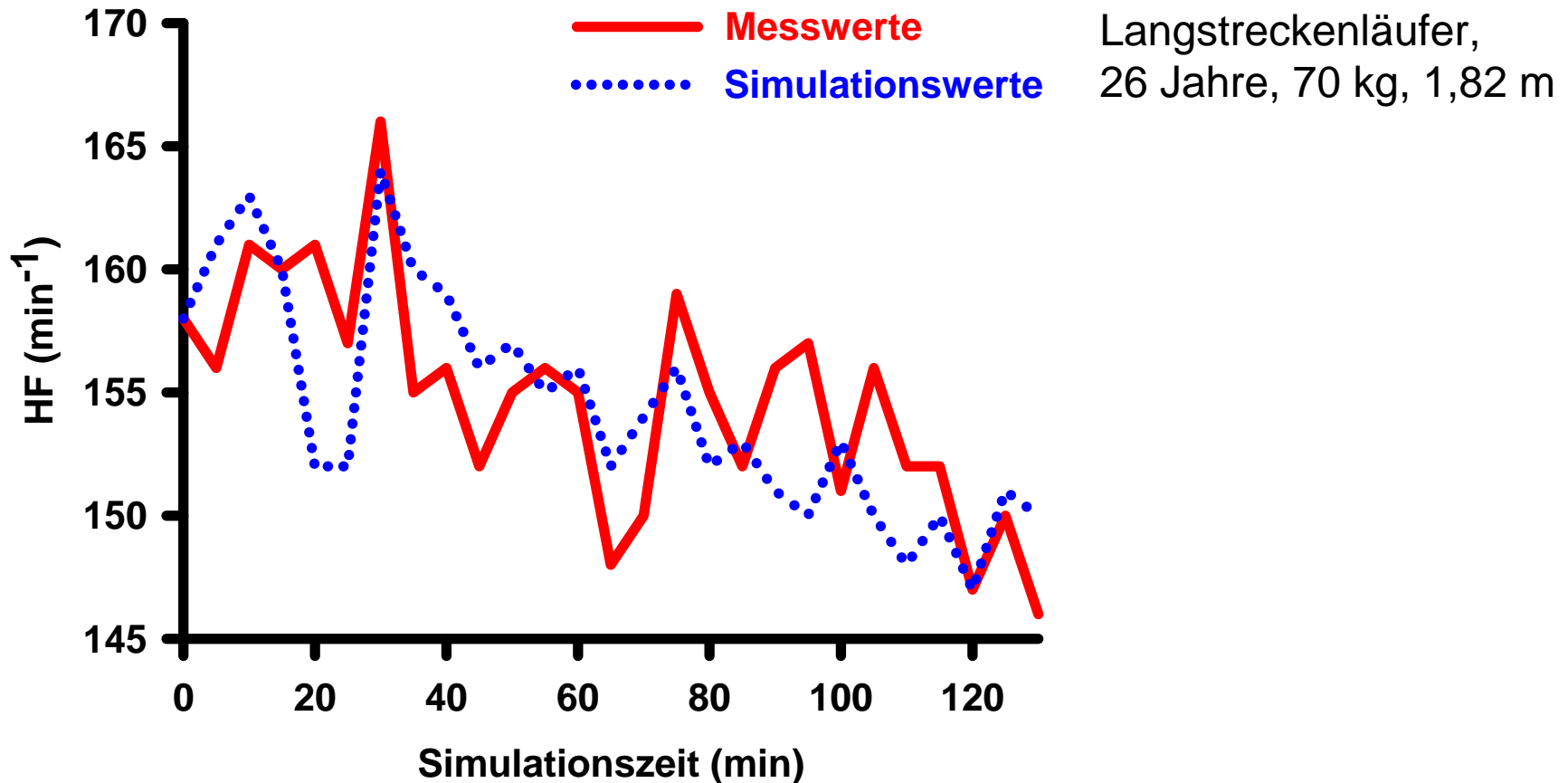
- Modell der Proteinbiosynthese: Mader, *Dt Zeitschr Sportmed* 41, 40-58, 1990
- LeiPot-Modell: Mester & Perl, *Leistungssport* 30, 43-51, 2000



## Steigerung der Leistungsfähigkeit

- SimBEA-Modell: Brückner & Wilhelm, *Leistungssport* 38, 21-26, 2008  
(**S**imulation von **B**elastungs-, **E**rmüdungs- und **A**npassungsprozessen)

Synthese aus Mader- und LeiPot-Modell

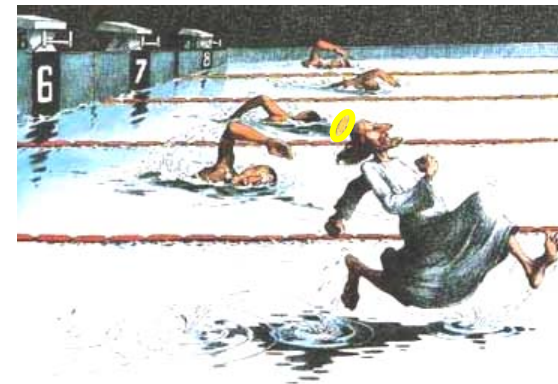


# Steigerung der Leistungsfähigkeit

pauschale Trainingseffekte

Ausdauertraining (verbessert aerobe Leistungsfähigkeit)

- $SV \uparrow$ , Herzgewicht  $\uparrow$ ,  $RR \downarrow$ ,  $HF_{Ruhe} \downarrow$
- $A\ddot{A} (= AMV/\dot{V}_{O_2}) \downarrow$ ,  $AMV_{max} \uparrow$ ,  $\dot{V}_{O_2max} \uparrow$
- Umwandlung Indiff.-Fasern  $\Rightarrow$  Typ-I-Fasern ( $_{Typ-II} \Rightarrow$   $_{Typ-I}$ )  
Kapillardichte  $\uparrow$ , Mitoch.-Dichte  $\uparrow$ , aerobe Enzyme  $\uparrow$
- Laktat-Clearance  $\uparrow$  (Laktatdehydrogenase  $\uparrow$ )
- etc.



# Steigerung der Leistungsfähigkeit

pauschale Trainingseffekte

Krafttraining (verbessert anaerobe Leistungsfähigkeit)

- Muskelkraft ↑ - Verbesserung der neuromuskulären Koordination  
[vermehrte Rekrutierung von motor. Einh. {EMG}],  
- Hypertrophie der Typ-II-Fasern  
[Trainierbarkeit Testosteron-abhängig!!!!])

# Leistungsgrenzen

Dauerleistungsgrenze ( $\Rightarrow$  Arbeit über einen längeren Zeitraum [z.B. 8 h] ohne muskuläre Ermüdung)  
(Cave: Ermüdung  $\neq$  Müdigkeit)

Dauerleistungsgrenze für dynamische Arbeit

Erholungszeit < 5 min (HF), Erholungspulssumme < 100

Laktat < 2 mmol/l,  $\dot{V}_{O_2} < 50\% \dot{V}_{O_{2max}}$

O<sub>2</sub>-Schuld < 4 l, HMV < 10 l

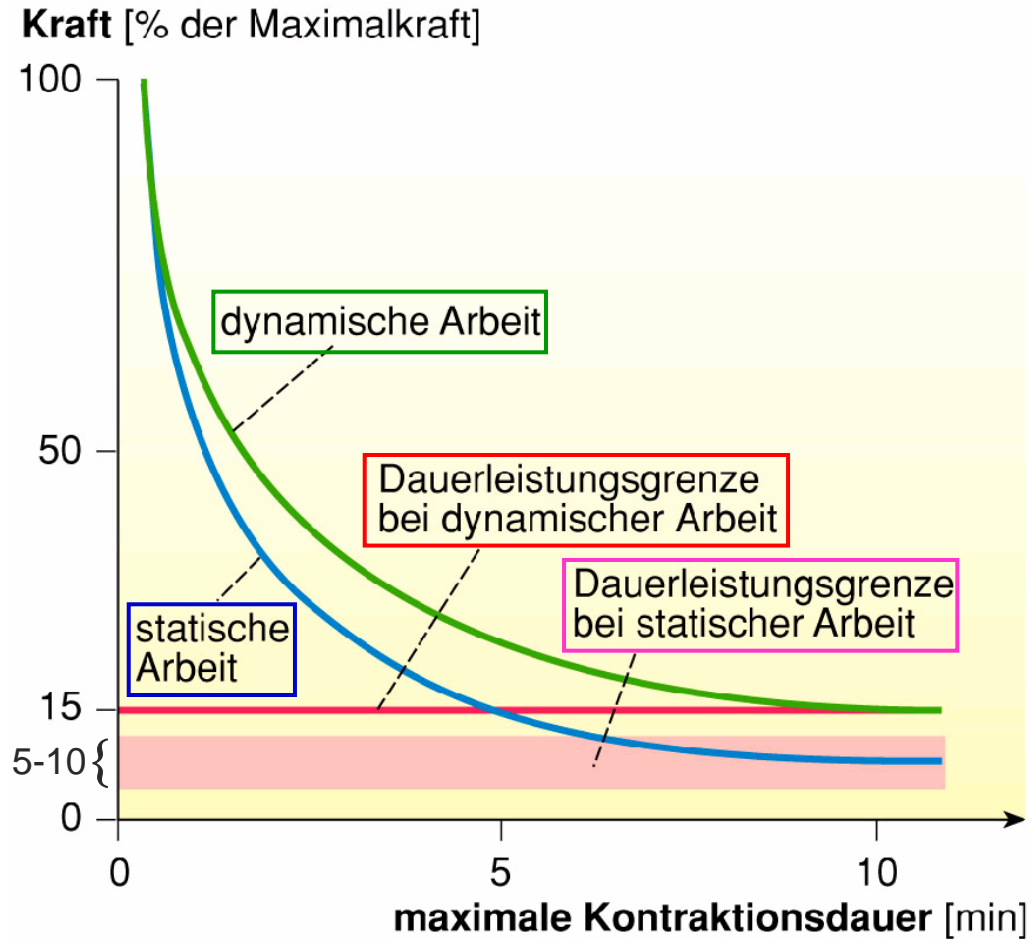
(bei Arbeit mit mind.  $\frac{1}{6}$  der Gesamtmuskelmasse)

Dauerleistungsgrenze für statische Arbeit

5 - 10% der Maximalkraft

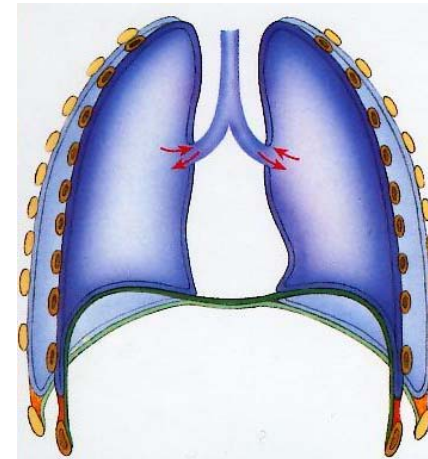


# Leistungsgrenzen



Dauerleistungsgrenze bei dynamischer Arbeit >> Dauerleistungsgrenze für statische Arbeit

# Der SpiroTiger - Ausdauertraining für die Atmung



1.150,00 €  
inklusive MwSt.

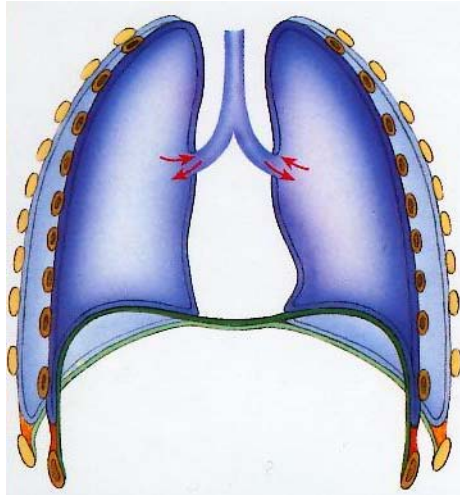


idrag AG  
Mülistrasse 18  
CH-8320 Fehraltorf  
[www.idrag.ch](http://www.idrag.ch)

idrag GmbH  
Schaubingerstrasse 7  
D-79713 Bad Säckingen  
[www.idrag.de](http://www.idrag.de)

Prof. Dr. Urs Boutellier, Institut für Bewegungs- und Sportwissenschaften, ETH Zürich, Schweiz

## Weitere Lungentrainer



Best-Nr: 259.14000

Preis: € 18,50

inkl. 16% Mwst.



Best-Nr: 259.17000

Preis: € 24,50

inkl. 16% Mwst.

## **Ermüdung** (zwingt zur unfreiwilligen Reduktion der Leistung)

- Folgen:
- Koordinations- und Aufmerksamkeitsstörungen
  - Tremor
  - Beeinträchtigung der Feinmotorik
  - etc.

- Ursachen:
- muskulärer  $K^+$ -Mangel
  - lokaler pH-Abfall
  - muskulärer Temperaturanstieg
  - „Treibstoff“-Mangel (Glykogen)
  - Flüssigkeitsmangel
  - psychische Komponenten (Motivationsmangel durch Hypoglykämie!)
  - zentrale Ermüdung

# Erschöpfung (zwingt zum unfreiwilligen Abbruch der Leistung)

Steigerungsform der Ermüdung

sowohl Ermüdung wie auch Erschöpfung sind durch Ruhe reversibel  
(im Ggs. zur Schwäche)



# Übertraining

sympathikotones Übertraining - „zu viel und zu intensiv“

parasympathikotones Übertraining - „Ruhe: ‚JA‘ / Belastung: ‚NEIN‘“

## Parameter

- erhöhte Ruheherzfrequenz
- verminderte Herzfrequenzvariabilität
- Kreatinkinase > 300E/l
- Serum-Harnstoff > 40 mg% / 8 mM
- Anstieg (Testosteron) oder Abfall (hGH) von Hormonkonzentrationen

## Therapie

- Ruhe, Ruhe, Ruhe („aktive Regeneration“)
- Abwechslung



©2rt



# Übereifer!??



**Andreas Klöden** (T-Mobile; jetzt: RadioShak)

\*1975; 1,83 m; **63 kg**; 18,8 kg/m<sup>2</sup>

(normal: 21,6 kg/m<sup>2</sup> ⇒ 73 kg)



**Fabian Wegmann** (Gerolsteiner)

\*1980; 1,76 m; **59 kg**; 19,0 kg/m<sup>2</sup>

(normal: 21,4 kg/m<sup>2</sup> ⇒ 67 kg)



**Viktoria Beckham**

\*1974; 1,70 m, 50 kg, 17,3 kg/m<sup>2</sup>

(normal: 23,4 kg/m<sup>2</sup> ⇒ 68 kg)

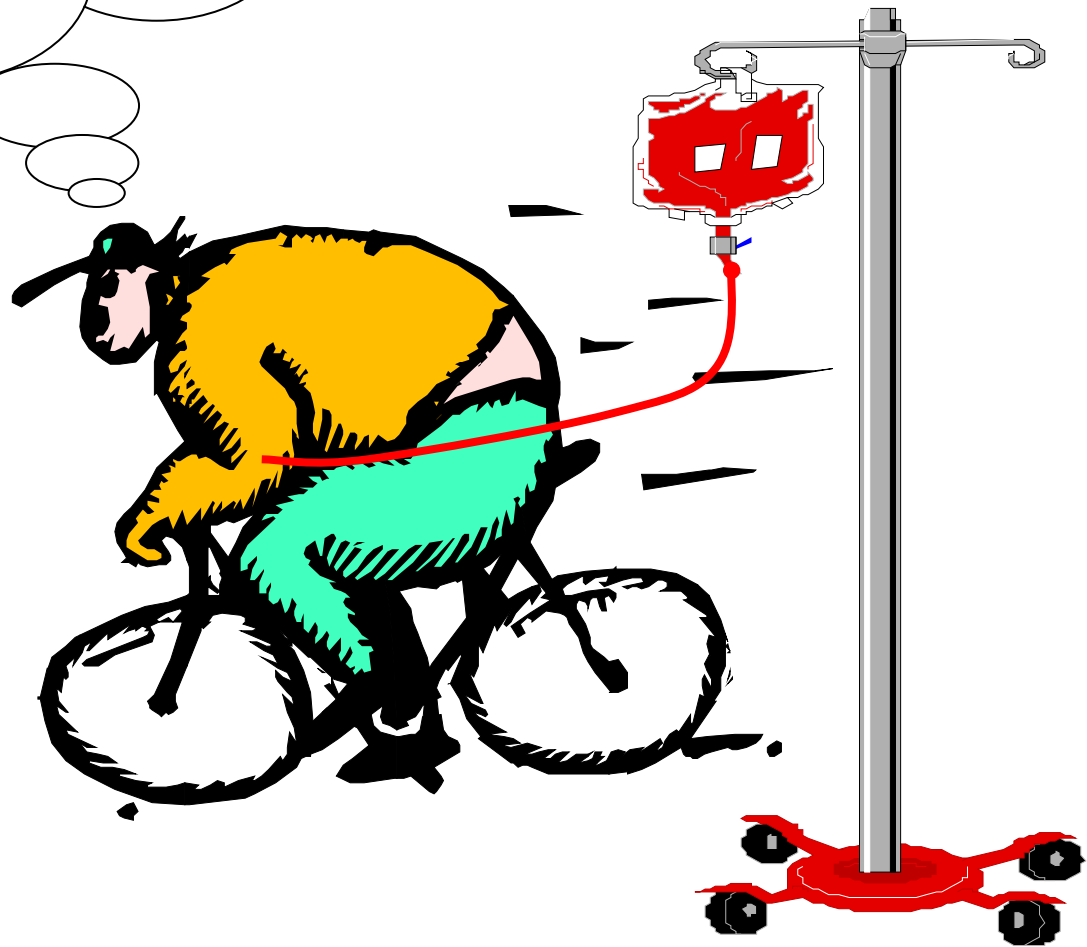


**Ana Carolina Reston**

† 2006 (18 J.); 1,74 m, 40 kg, 13,2 kg/m<sup>2</sup>

(normal: 19,5 kg/m<sup>2</sup> ⇒ 59 kg)

**Hoffentlich glaubt  
man mir die  
Nummer mit dem  
Thomy-Testfahrer ...**







**Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit !**