

---

# Vorlesung

## Grundlagen der Diagnose & Beratung

*Sascha Härtel, Gunther Kurz*

### ***Laktatdiagnostik***

—

### ***Durchführung, Auswertung & Interpretation***



# ***Gliederung***

---

- 1. Wiederholung zu allgemeinen Grundlagen der Laktatdiagnostik**
- 2. Anpassung an Ausdauertraining**
- 3. Eckdaten zur Leistungsdiagnostik**
- 4. Aerobe & Anaerobe Schwellen**
- 5. Laktatschwellenkonzepte**
- 6. Veränderung der Laktatleistungskurve**
- 7. Trainingssteuerung**



# Resynthetisierung von ATP aus Kohlenhydrate

Energiegehalt von Glykogen, Glucose, Laktat, Pyruvat und freien Fettsäuren in Mol ATP (RQ=Respirator. Quotient; \* gilt auch für Aminosäuren wie Alanin, Serin, Glycin und Cystein (Dickhuth, 2000, S. 179)

	RQ	pro mol Substrat	pro g Substrat	pro mol O <sub>2</sub>
<b>Glykogen</b>				
<b>Glykosylrest ⇒ Laktat</b>	---	3	0,018	
<b>Glykosylrest ⇒ CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O</b>	1,0	39	0,24	6,5
<b>Glucose, anaerob</b>	---	2	0,012	---
<b>Glucose, aerob</b>	1,0	38	0,21	6,34
<b>2 Laktat</b>	1,0	36	0,20	6,0
<b>2 Pyruvat*</b>	1,2	30	0,17	6,0
<b>Freie Fettsäuren ⇒ CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O</b>	0,7	129	0,50	5,61



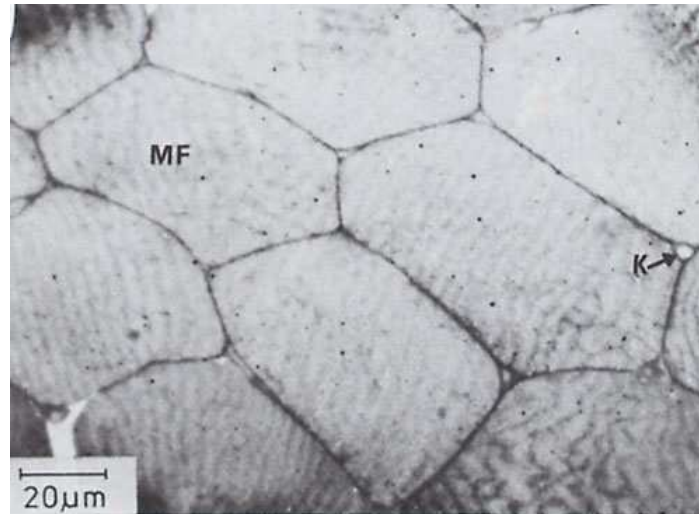
# Effekte eines Ausdauertrainings auf den Organismus

- ✓ Vermehrte Kapillarisation
- ✓ Zunahme der Mitochondrien
- ✓ Verbesserung des aeroben Energiestoffwechsels (Enzymbesatz, etc...)
- ✓ Ökonomisierung der Herzarbeit (u.a. weniger Sauerstoffbedarf durch Abnahme der Herzfrequenz)
- ✓ Blutdrucksenkung
- ✓ Verminderte Katecholamiefreisetzung
- ✓ Verbesserung der pulmonalen Größen (AMV,  $VO_2$ max, Vitalkapazität, etc...)
- ✓ Günstige Beeinflussung des Fettstoffwechsels
- ✓ Gesteigerte Insulinempfindlichkeit

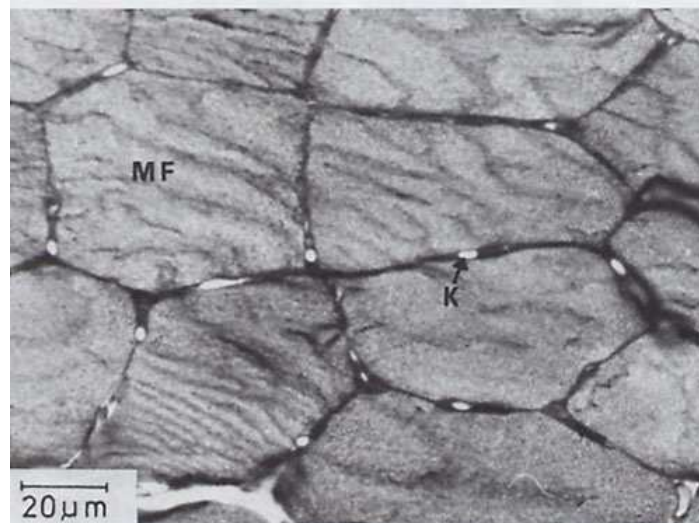


# Anpassungserscheinungen an Ausdauertraining

Querschnitt durch den M. vastus lateralis eines Untrainierten und eines Marathonläufers



Untrainiert



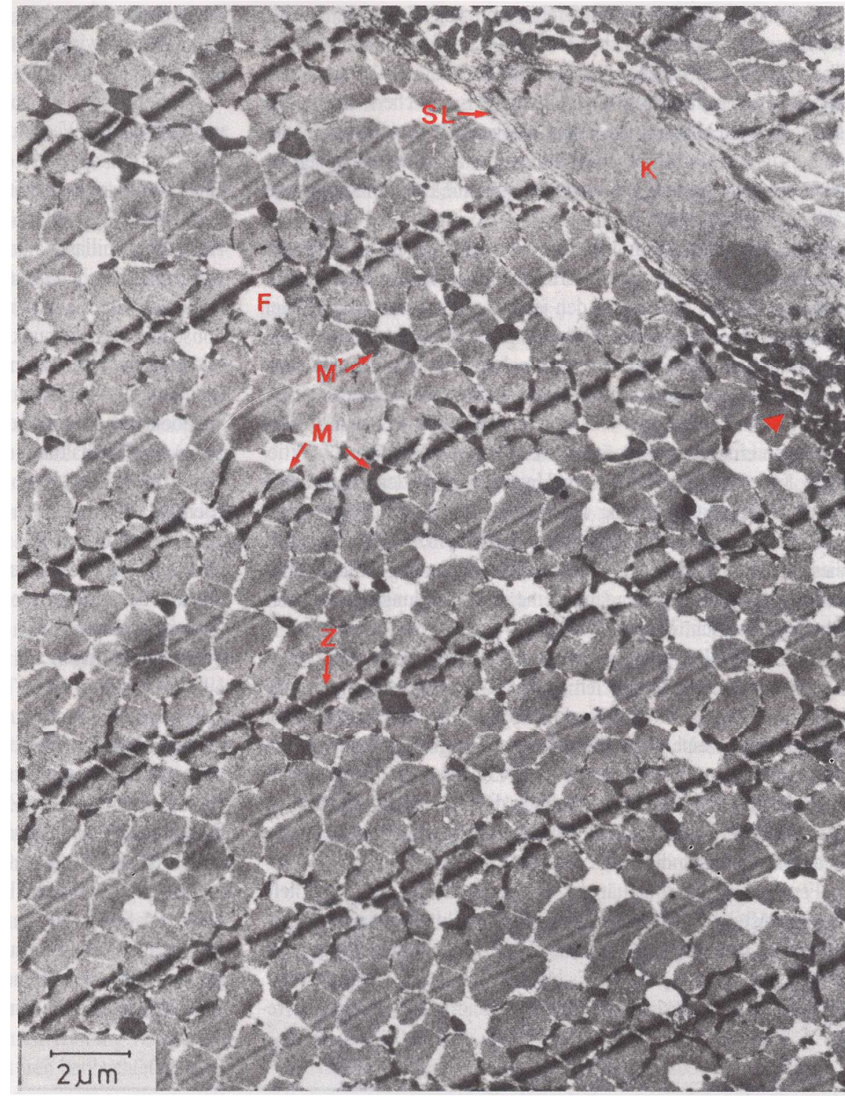
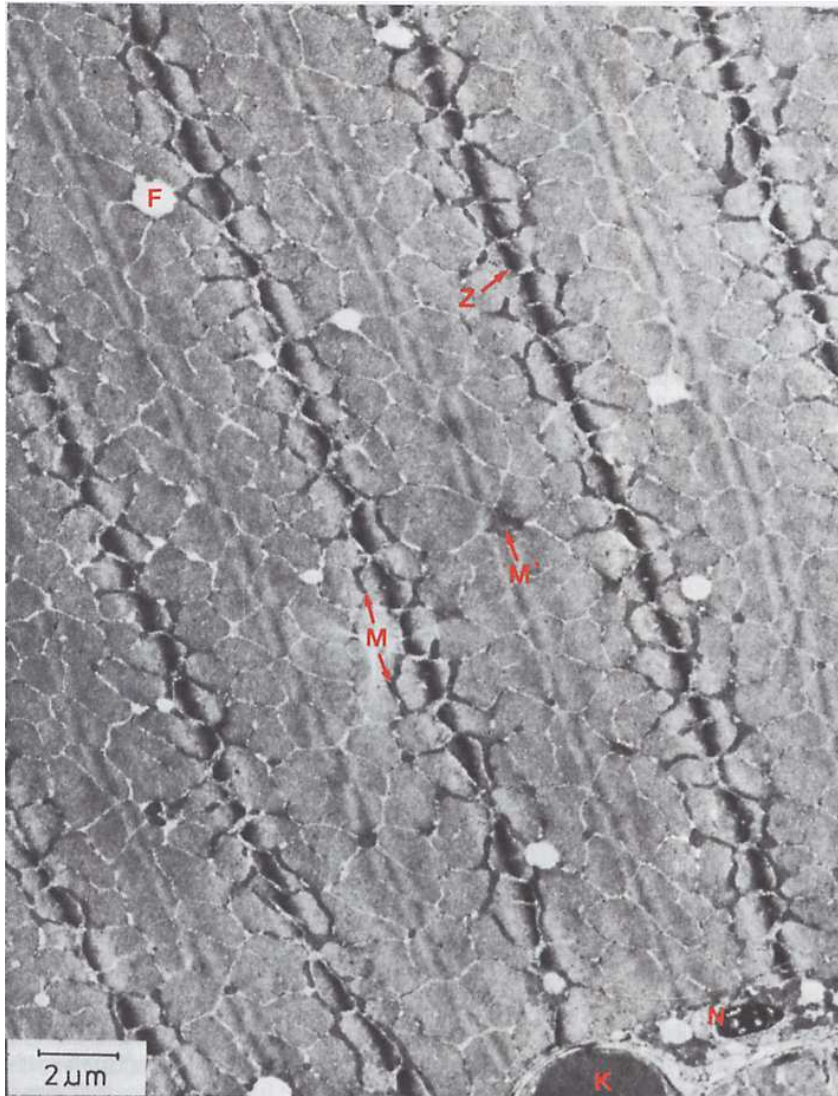
Marathonläufer

Hollmann/Hettinger (2000)

**VL Diagnose & Beratung**



# Anpassungserscheinungen an Ausdauertraining



# ***Eckdaten zur Leistungsdiagnostik***

---

<b>1807</b>	Entdeckung des Muskellaktats (Berzelius)
<b>1837</b>	Bestimmung der Milchsäure (Berzelius)
<b>1923</b>	Untersuchung der Beziehung zwischen Sauerstoffaufnahme und Laktat (Hill et al.)
<b>1928</b>	Untersuchungen über den Kreatinphosphatgehalt in der Muskulatur (Eggleton)
<b>1929-1934</b>	ATP und seine Stoffwechselbeziehungen (Lohmann)
<b>1959-1963</b>	Erste Begründung und Anwendung der Laktatdiagnostik (Hollmann)
<b>1976</b>	Einführung der aerob-anaeroben Schwelle (Mader et al.)
<b>1979-1991</b>	Schwellenkonzepte zur individuell anaeroben Schwelle (Keul, Stegmann, Dickhuth)



# ***Aerobe Kapazität – Anaerobe Kapazität***

---

## **Aerobe Kapazität**

- Maximal aufnehmbare Sauerstoffmenge pro Minute ( $\dot{V}O_2$  max.)
- Begrenzende Faktoren der aeroben Kapazität sind:
  - Muskelmasse,
  - maximales Herzminutenvolumen
  - maximale Muskeldurchblutung
  - Kapillarisation der Muskulatur
  - Muskelfaserzusammensetzung (Mitochondriengehalt, Enzymbesatz, Glykogenverfügbarkeit, Blutvolumen, Gastransporteigenschaften)

## **Anaerobe Kapazität**

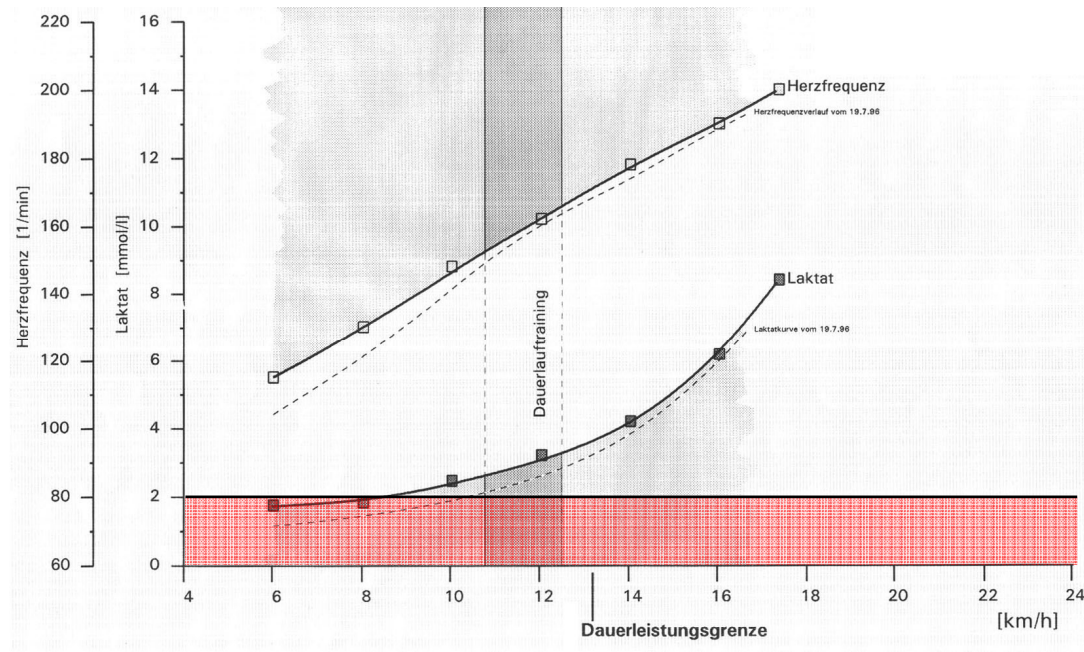
- Maximal möglicher Energieumsatz im Muskel unter anaeroben Bedingungen
- Hauptsächlich Beanspruchung der FT-Fasern
- relativ hohe Energiemenge wird in relativ kurzer Zeit gewonnen (durch Kohlenhydratabbau)
- Bestimmung der anaeroben Leistungsfähigkeit sehr problematisch





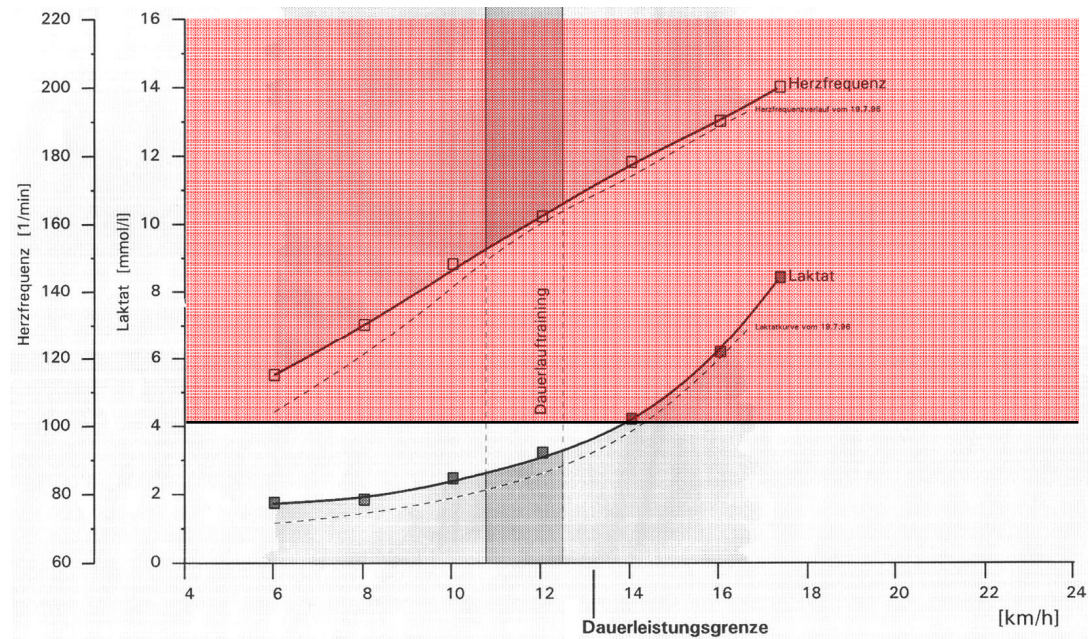
# Aerobe Schwelle

- Übergang vollständiger aerober Energiebereitstellung auf teilweise anaerobe Energiebereitstellung
- Vermehrte Ansammlung von Blutlaktat
- Aerobe Schwelle im allgemeinen bei 2 mmol/l Laktat (Kindermann, 1978)
- Belastung entspricht 50-60% der maximalen Leistungsfähigkeit
- Energie wird vornehmlich aus Fettoxidation gewonnen



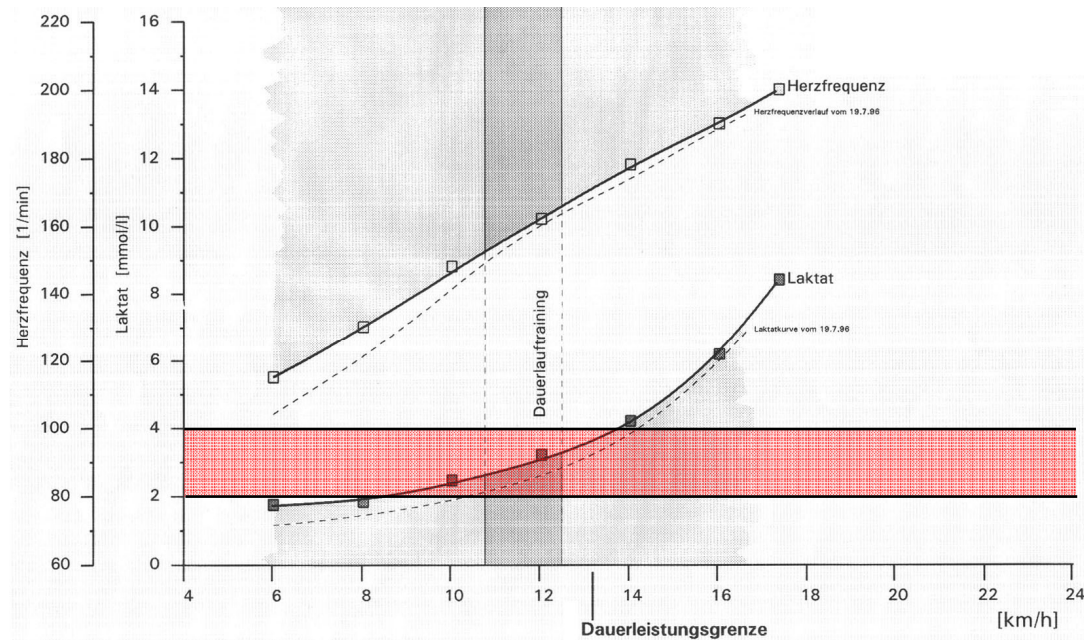
# Anaerobe Schwelle

- Laktatproduktion und Laktatelimination im Gleichgewicht (max. Laktat steady-state)
- Empirische Festlegung bei 4 mmol/l Laktat (Mader, 1976)
- Belastung entspricht 70-90% der maximalen Leistungsfähigkeit
- Energie wird vornehmlich aus Kohlenhydratabbau gewonnen



# Aerob - Anaerobe Schwelle

- Es laufen sowohl aerobe wie anaerobe Stoffwechselprozesse ab
- Empirische Festlegung zwischen 2 und 4 mmol/l Laktat
- Anfallendes Laktat kann sofort abgebaut oder umgewandelt werden



# Übersicht über verschiedene Schwellenkonzepte

<b>Autor</b>	<b>Jahr</b>	<b>Schwellen Parameter</b>	<b>Bestimmungsmethode</b>	<b>Schwellenbezeichnung</b>
Karrasch Müller	1951	Hf	max steady state der Hf	Dauerleistungsgrenze
Hollmann	1959	$V_E, VO_2$	nichtlinearer Anstieg der Ventilation	Punkt des opt. Wirkungsgrades der Atmung
Wasserman et al.	1964	$VO_2, V_E, VCO_2$	nichtlinearer Anstieg der Ventilation	Anaerobe Schwelle
Mader et al.	1976	Laktat	Geschwindigkeit bei 4 mmol/l	aerob-anaerobe Schwelle
Kindermann et al.	1978	Laktat	Belastung bei 2 und 4 mmol/l	aerobe Schwelle, anaerobe Schw., aerob-anaerober Übergang
Keul et al.	1979	Laktat	Geschwindigkeit bei $\alpha = 1.26$	Individuelle anaerobe Schwelle
Sjödin et al.	1979	Laktat	identisch mit der Mader-Methode	Zeitpunkt der vermehrten Laktatakkumulation im Blut
Farrell et al.	1979	Laktat	Anstieg des Plasmalaktats über Ruhewert	Zeitpunkt der vermehrten Laktatakkumulation im Blutplasma
Berg et al.	1980	Laktat, $VO_2$	Minimum des Quotienten $La/rel. VO_2$	$La VO_2$ – Quotient bzw. Laktatäquivalent



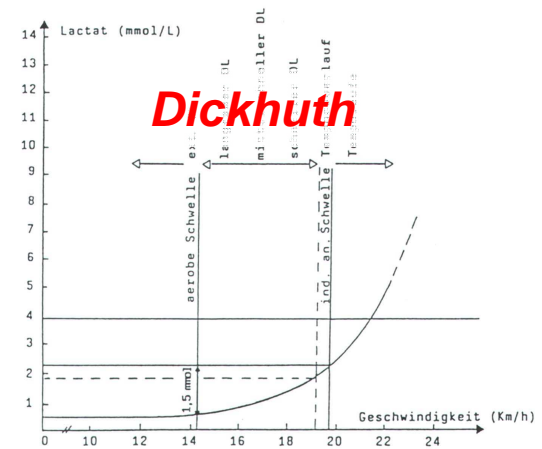
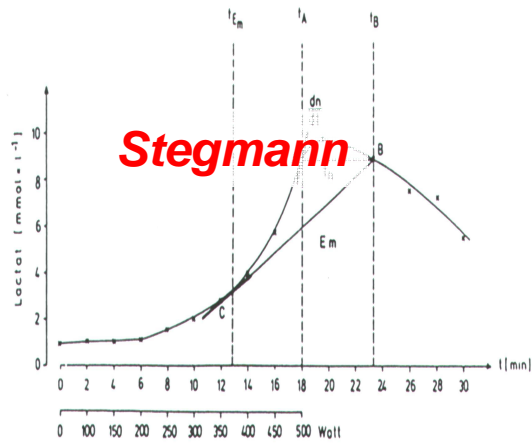
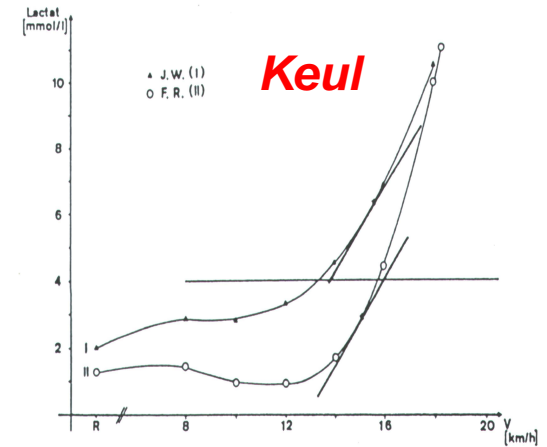
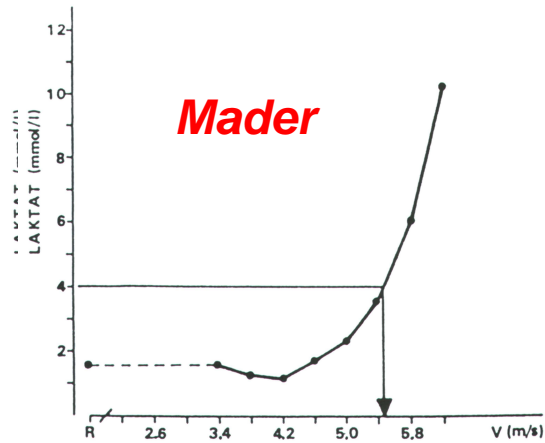
# Übersicht über verschiedene Schwellenkonzepte

<b>Autor</b>	<b>Jahr</b>	<b>Schwellen Parameter</b>	<b>Bestimmungsmethode</b>	<b>Schwellenbezeichnung</b>
Pessenhofer et al.	1981	Laktat	Minimum einer quadr. Funktion der Laktatleistungskurve	individuelle aerob-anaerober Übergang
Stegmann et al.	1981	Laktat	Tangente an die Laktatleistungskurve	Individuelle anaerobe Schwelle
Simon et al.	1981	Laktat	identisch mit der Keul-Methode $\alpha = 1$	Individuelle anaerobe Schwelle
Bachl	1981	$V_E, VCO_2$	Abknickpunkt der $VCO_2 - V_E$ - Kurve	Schwelle der respirator. Kompensation
Bunc et al.	1982	Laktat	Schnittpunkt der Winkelhalbierung mit Laktatleistungskurve	Individuelle anaerobe Schwelle
Conconi et al.	1982	Hf	Deflektionspunkt der Herzfrequenz	Anaerobe Schwelle
James et al.	1985	Af	Disproportionaler Anstieg der Atem-frequenz	Anaerobe Schwelle
Dickhuth et al.	1991	Laktat	Laktatäquivalent ( $La/VO_2/KG$ ) + 1,5 mmol/l	Individuelle anaerobe Schwelle

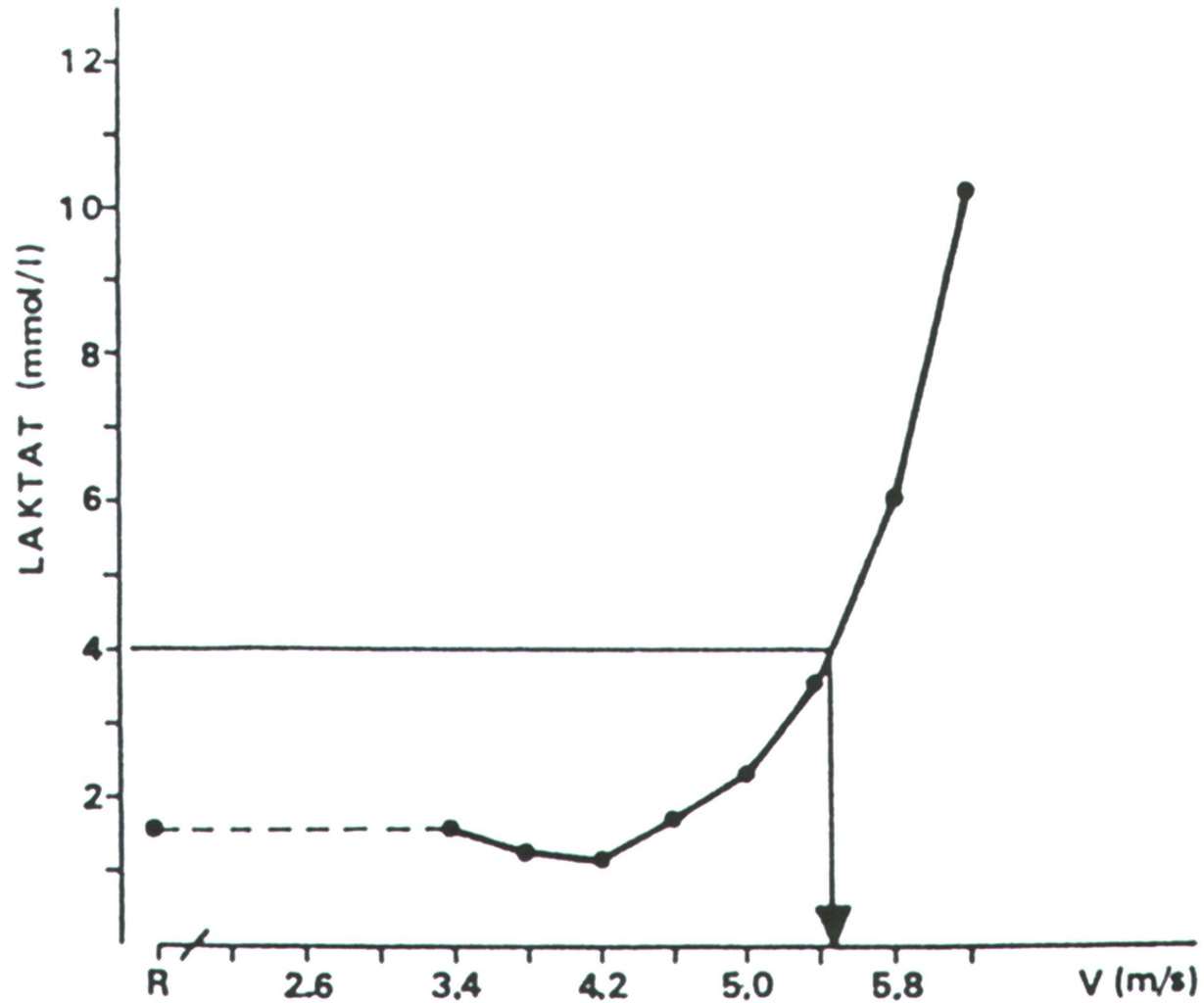
verändert nach Heck (1990)



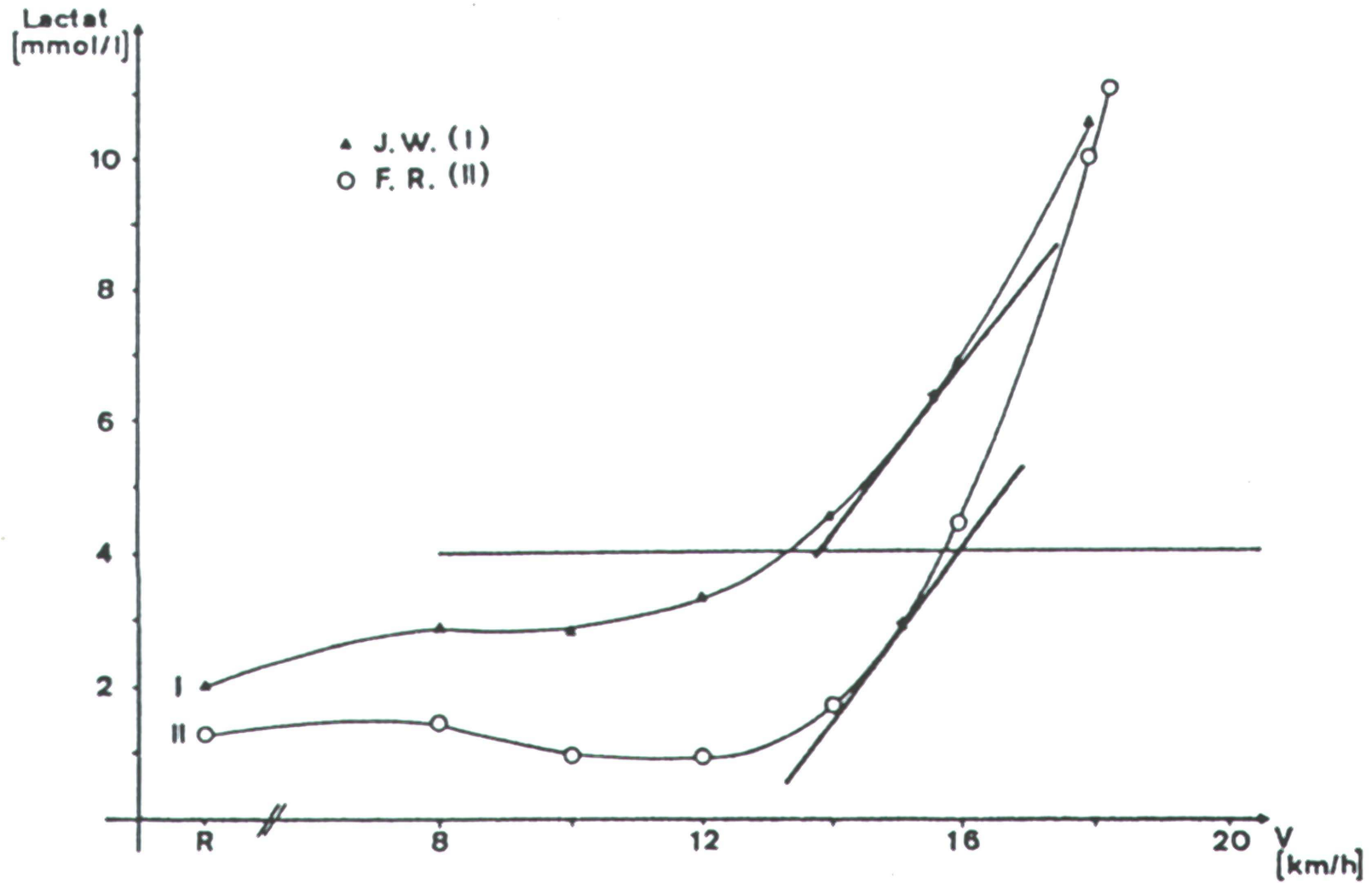
# Verschiedene Laktatschwellenkonzepte



# Laktatschwelle nach Mader (1976)



# Laktatschwelle nach Keul (1979)

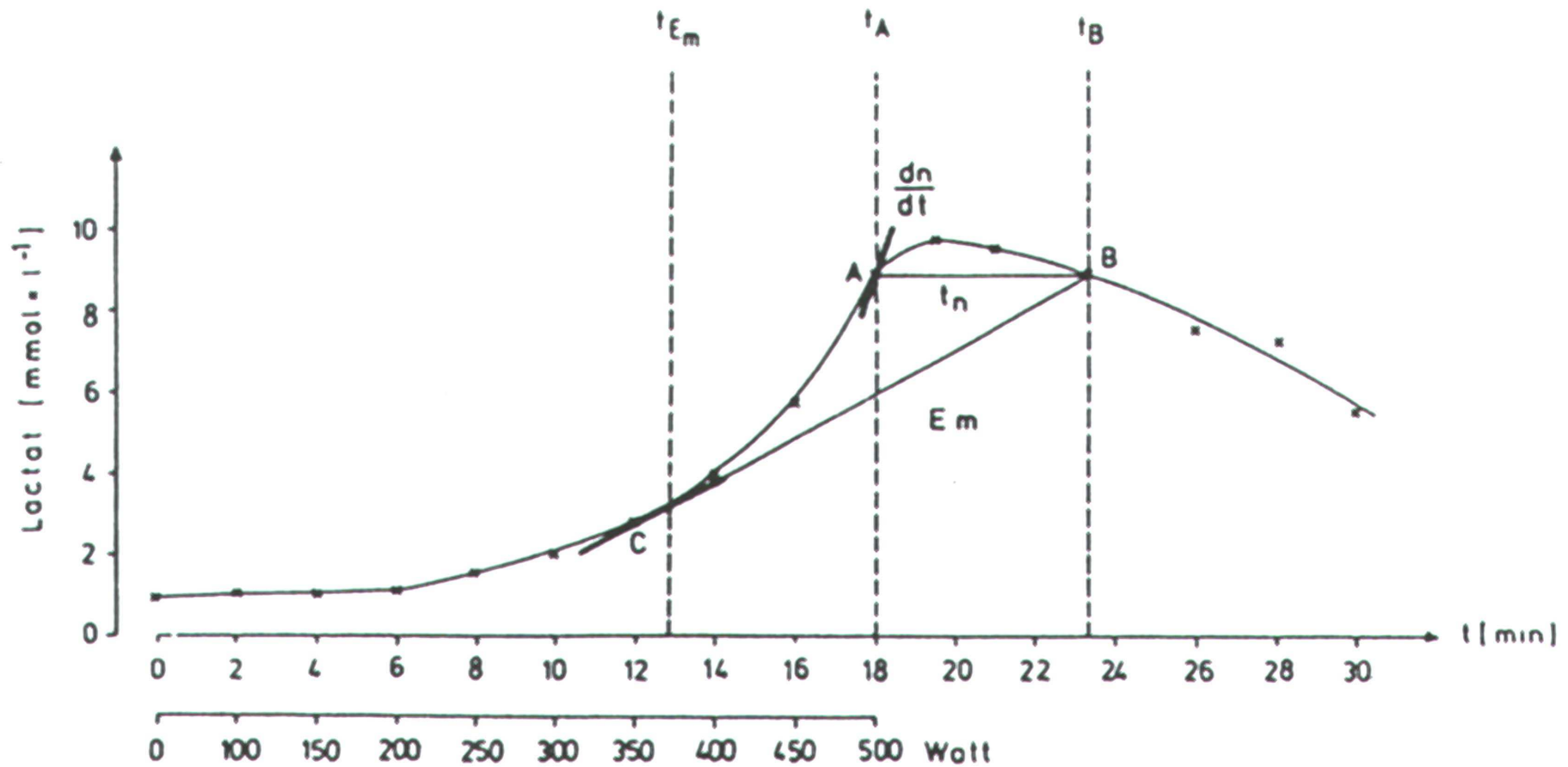


Keul (1979)





# Laktatschwelle nach Stegmann (1981)

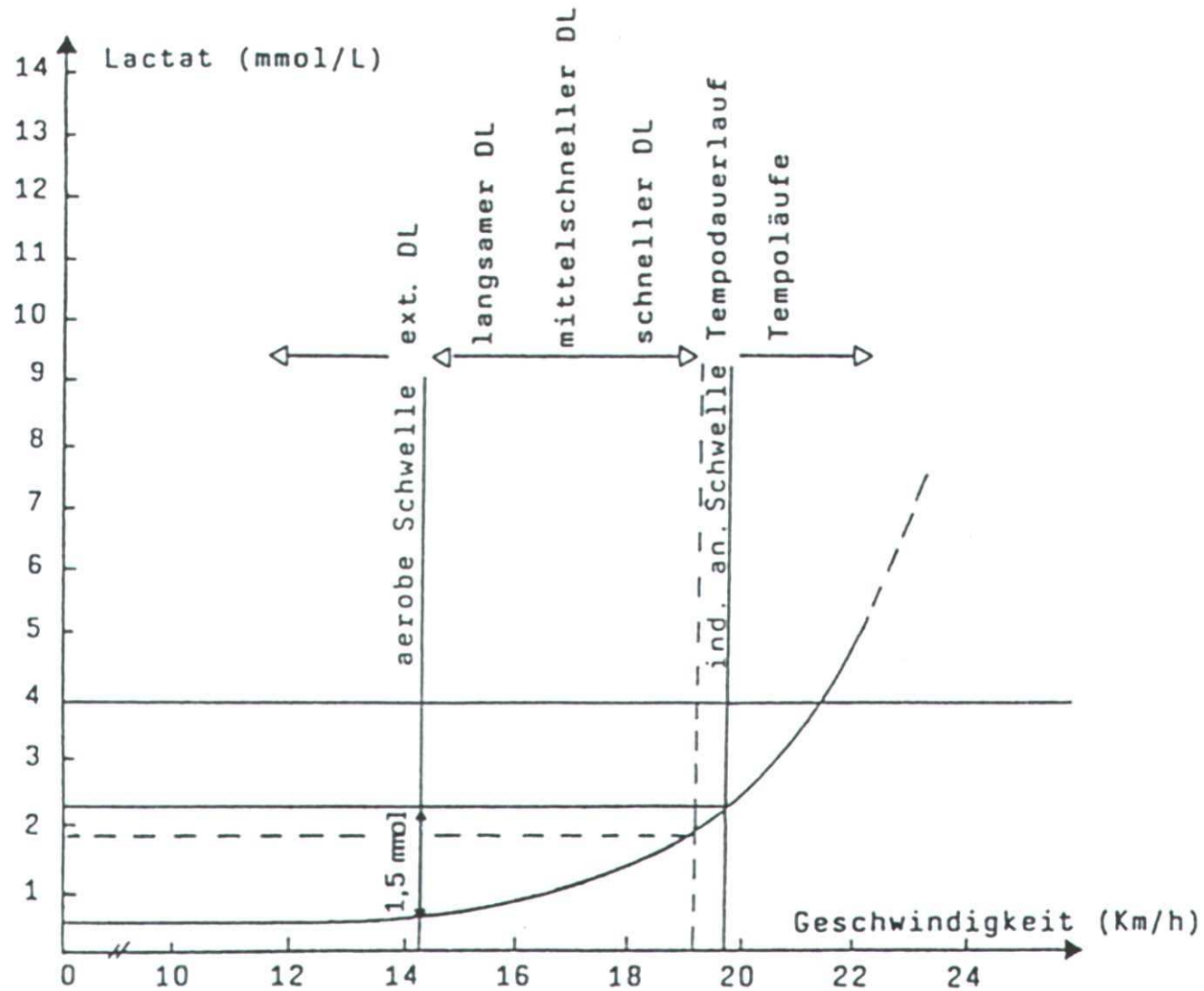


Stegmann (1981)

VL Diagnose & Beratung



# Laktatschwelle nach Dickhuth (1991)

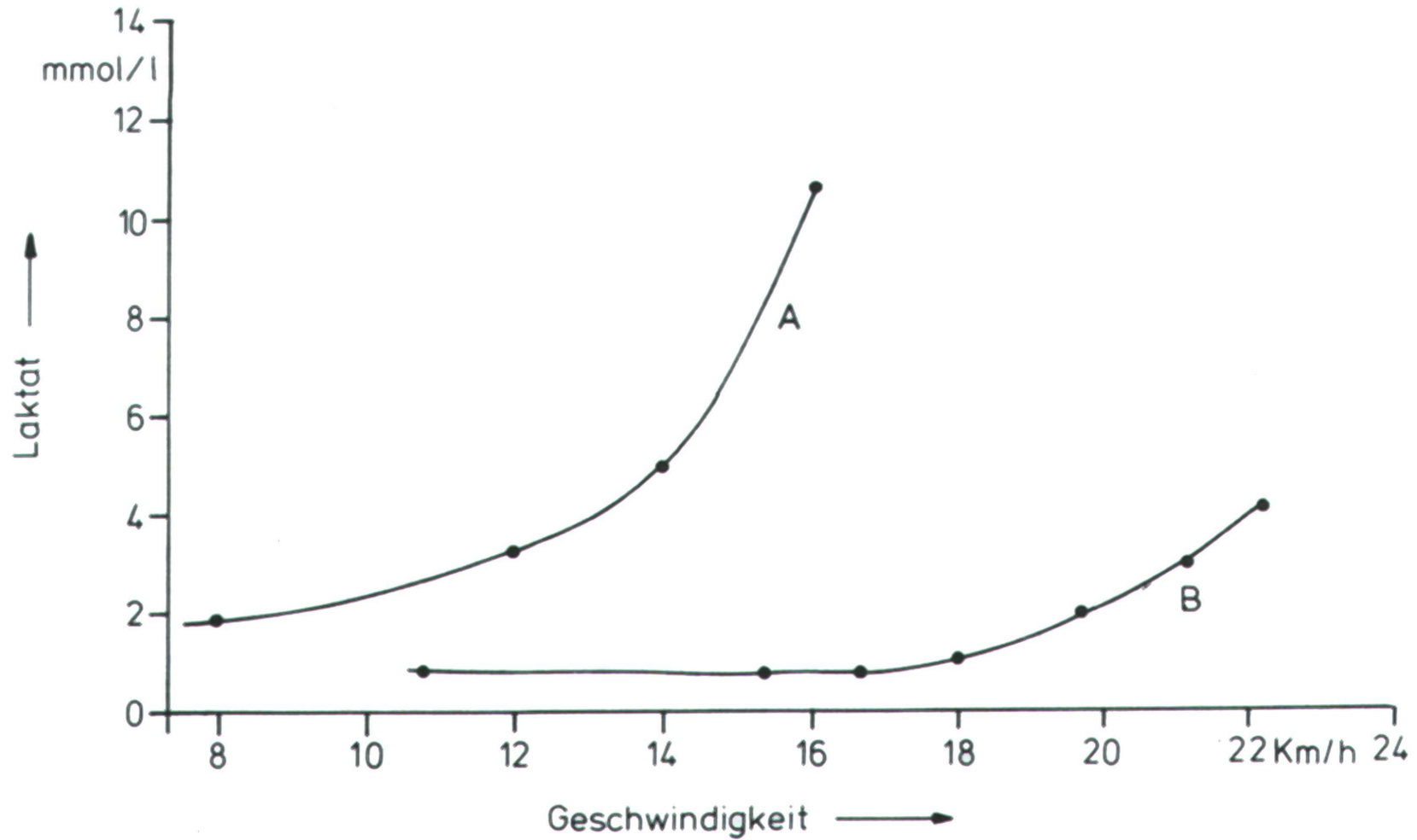


Dickhuth (1991)



# Laktatleistungskurve

Vergleich: Sprinter (10,83 s) – Marathonläufe (2:13:00)



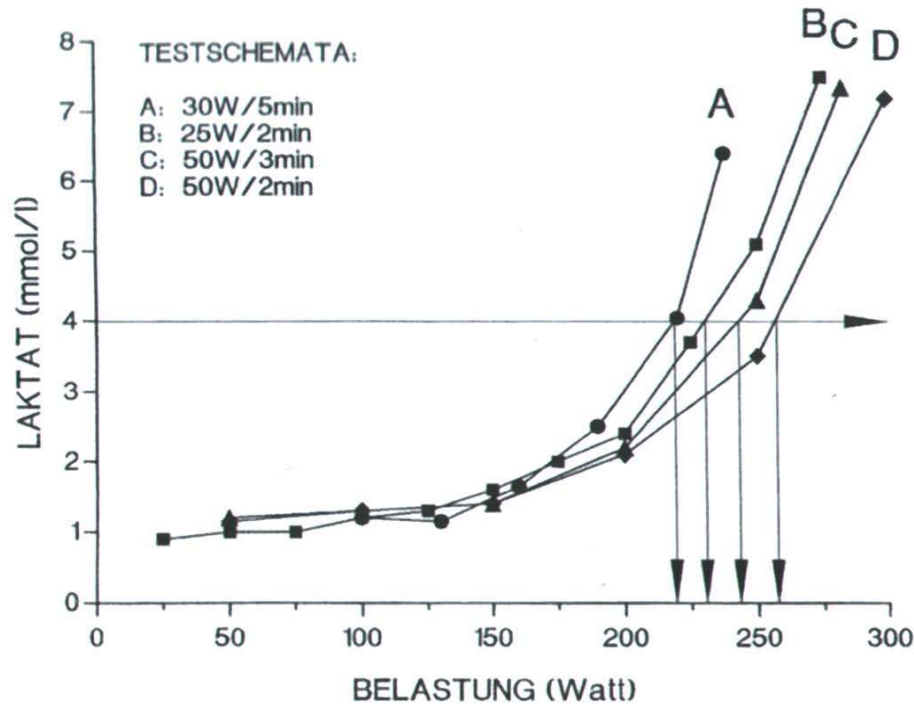
Braunmann (1987)

VL Diagnose & Beratung



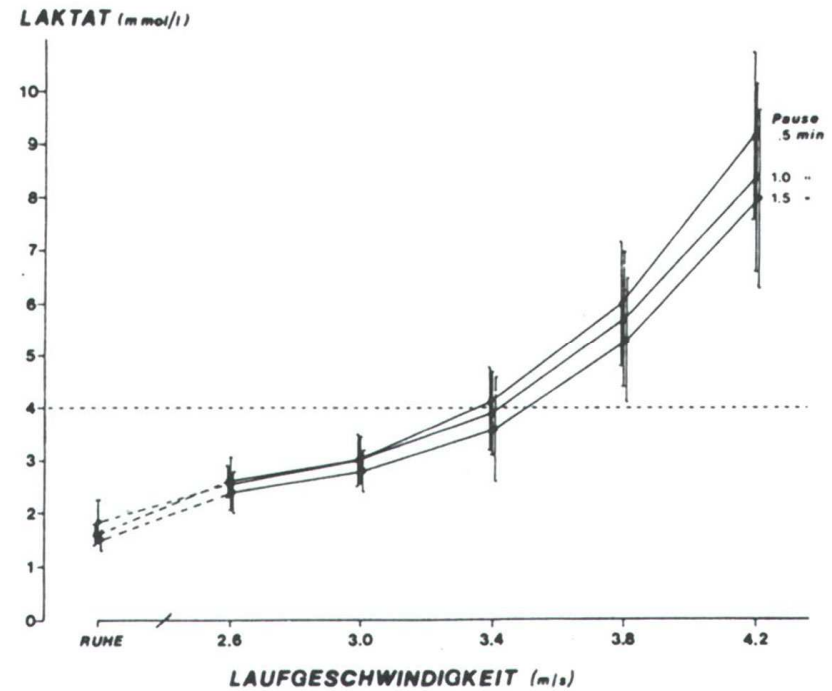
# Veränderung der Laktatleistungskurve

## Auswirkung unterschiedlicher Testprotokolle



Heck (1990)

## Auswirkung durch Pausendauer

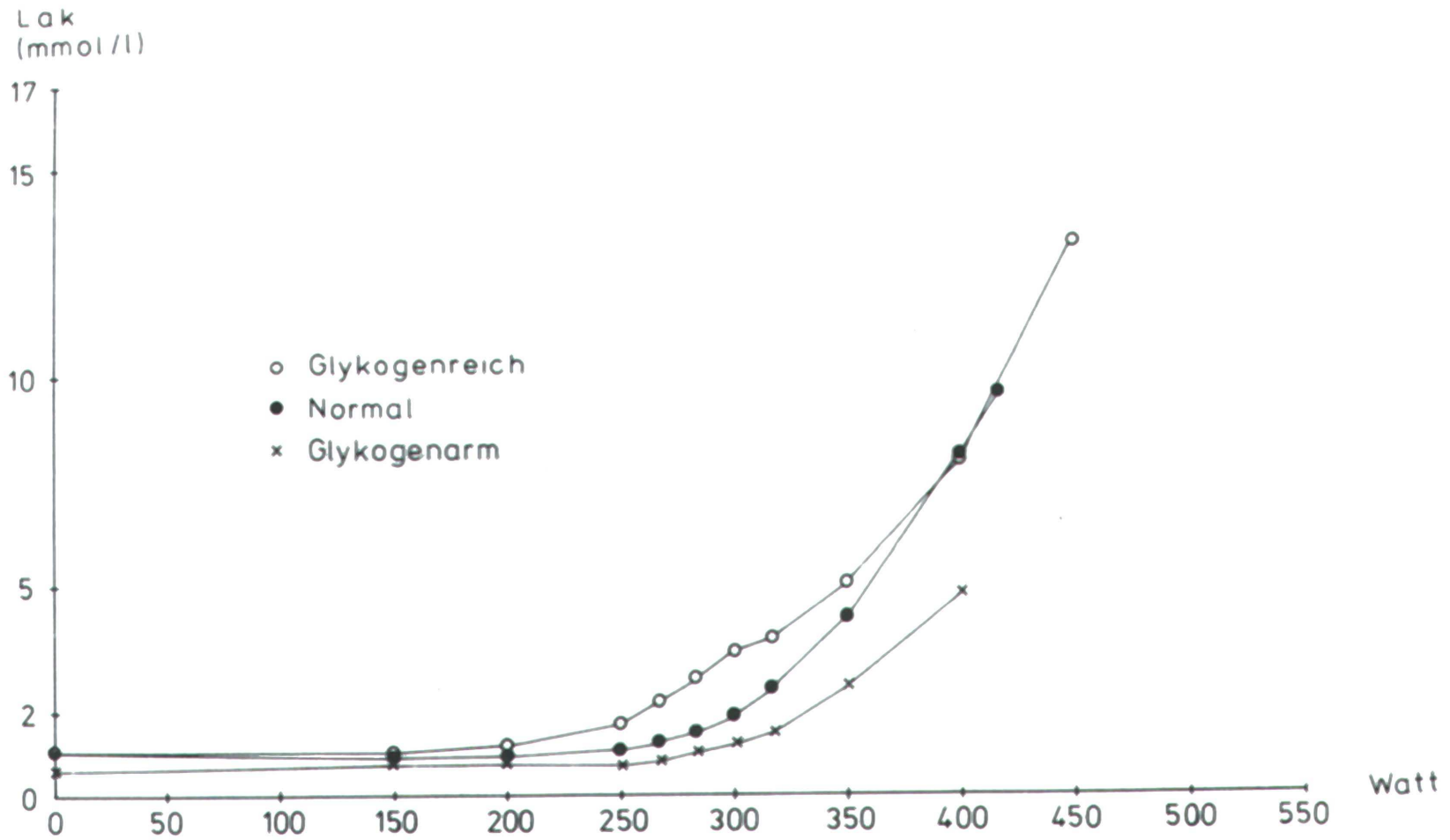


Heck (1990)



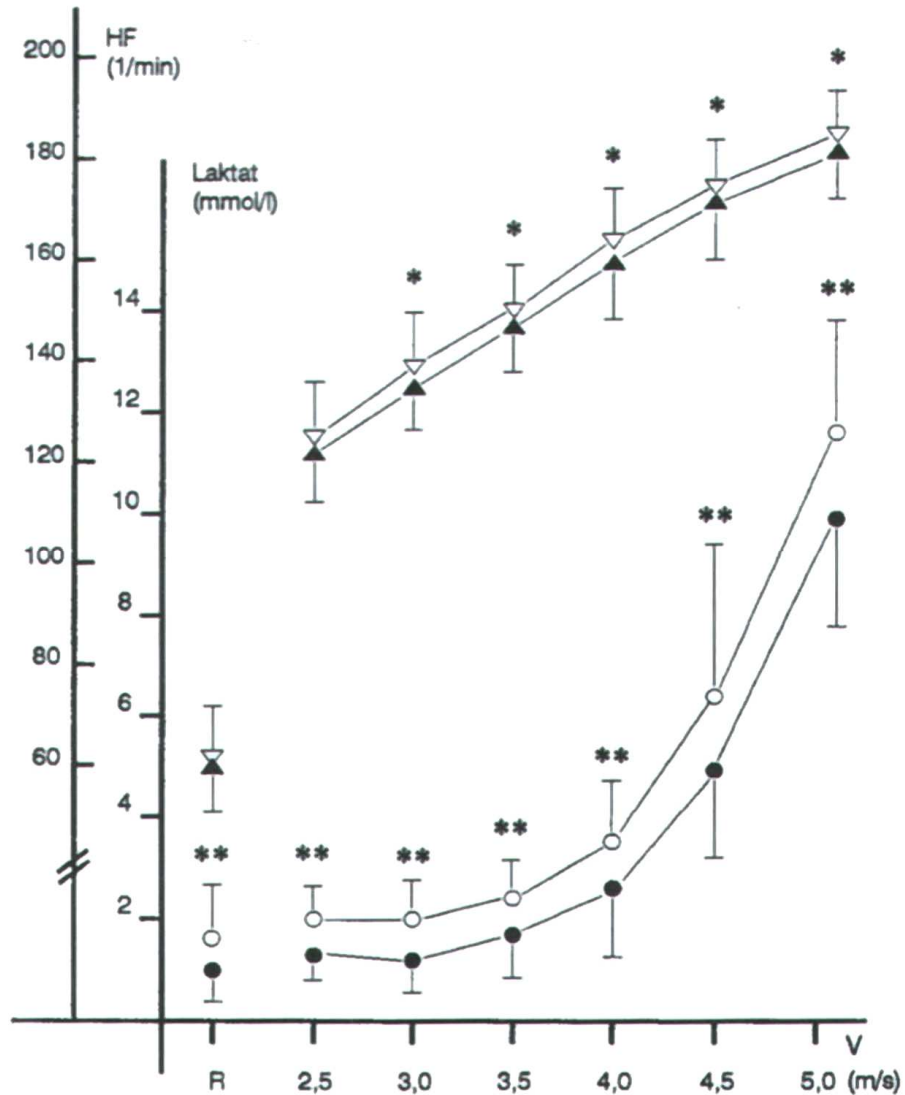
# Veränderung der Laktatleistungskurve

## Auswirkung unterschiedlicher Glykogenbevorratung



# Veränderung der Laktatleistungskurve

## Auswirkung durch Vorbelastung



### Testbeschreibung:

Laktat- und Herzfrequenzverhalten von 15 ausdauertrainierten Probanden während einer Laufbelastung vor (weiß) und nach (schwarz) einem Tempolaufttraining in Form von 10 x 1000 m Intervallen auf dem Laufband

Simon (1993)



# Trainingssteuerung (pulsbasierend)

---

## Trainingspuls nach Hollmann/Liesen:

$$180 - \text{Lebensalter} = \text{Mindest-Trainingspulsfrequenz}$$

## Karvonen-Formel:

$$\text{Trainingspuls: } \text{RHF} + (220 - \text{Lebensalter} - \text{RHF}) * \text{BF}$$

$\text{BF} = 0,6 \Rightarrow$  geringe Belastungsintensität, aerober Stoffwechsel (Fettstoffwechsel)

$\text{BF} = 0,8 \Rightarrow$  hohe Belastungsintensität, aerob-anaerober bzw. anaerober Energiebereitstellung

Ausdauertraining ist bei einem BF von 0,65 – 0,75 durchzuführen

## Benson-Formel:

$$\text{Trainingspuls: } (\text{HFmax} - \text{RHF}) * x + \text{RHF}$$

Nach Astrand wird das Training in verschiedene Trainingsbereiche unterteilt.

60-65% HFmax: Regeneration

65-70% HFmax: langsamer Dauerlauf

70-80% HFmax: mittlerer Dauerlauf/Fahrtspiel

80-90% HFmax: extensive Intervalle

> 90% HFmax: intensive Intervalle



# Trainingssteuerung (laktatbasierend)

---

Einteilung der Trainingsbereiche anhand der anaeroben Schwelle

- Regeneration: < 80 %
- Extensiver Dauerlauf: 80 – 85 %
- Intensiver Dauerlauf: 85 – 95 %
- Tempodauerlauf: 95 %





# Trainingssteuerung (Beispiel Marathon)

(100% - Intensität (Marathon) bei 2-3 mmol/l Laktat, 80-90% VO<sub>2</sub>max)

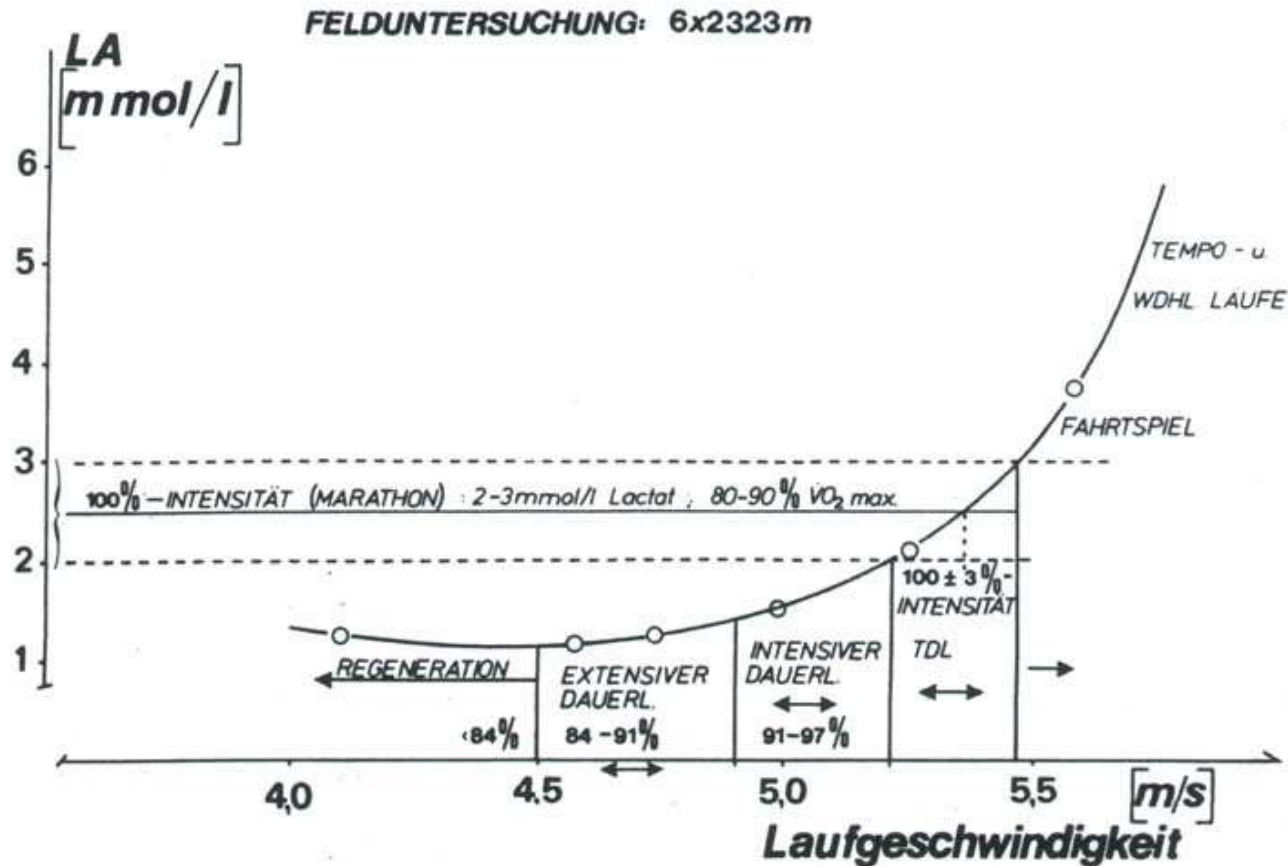


Abbildung 21: Möglichkeit der Steuerung der Trainingsbelastung anhand der Laktat-Geschwindigkeits-Kurve unter Zuordnung bekannter Bezeichnungen aus der Trainingslehre (Föhrenbach et al. [10])



# Trainingssteuerung

## Trainingsempfehlung Laufen

<b>Aerobe Schwelle</b>	Laktat (2mmol/l)	v (km/h) x,x	HF (1/min) Xxx
<b>Anaerobe Schwelle (nach Mader)</b>	Laktat (4 mmol/l)	v (km/h) xx,x	HF (1/min) Xxx
<b>Abbruch</b>	Laktat (mmol/l) xx,xx	v (km/h) xx,x	HF (1/min) Xxx
<b>Extensive Grundlagenausdauer</b>	Laktat (1 – 2 mmol/l)	v (km/h) bis x,x	HF (1/min) bis xxx
<b>Intensive Grundlagenausdauer</b>	Laktat (2 – 3 mmol/l)	v (km/h) x,x – xx,x	HF (1/min) xxx – xxx
<b>Entwicklungsbereich</b>	Laktat (3 – 5 mmol/l)	v (km/h) xx,x – xx,x	HF (1/min) xxx – xxx

## Trainingsempfehlung Radfahren

<b>Aerobe Schwelle</b>	Laktat (2mmol/l)	Leistung (Watt) xxx	HF (1/min) xxx
<b>Anaerobe Schwelle (nach Mader)</b>	Laktat (4 mmol/l)	Leistung (Watt) xxx	HF (1/min) xxx
<b>Abbruch</b>	Laktat (mmol/l) xx,xx	Leistung (Watt) xxx	HF (1/min) xxx
<b>Extensive Grundlagenausdauer</b>	Laktat (1 – 1,5 mmol/l)	Leistung (Watt) bis xxx	HF (1/min) bis xxx
<b>Intensive Grundlagenausdauer</b>	Laktat (1,5 – 2,5 mmol/l)	Leistung (Watt) xxx – xxx	HF (1/min) xxx – xxx
<b>Entwicklungsbereich</b>	Laktat (2,5 – 4 mmol/l)	Leistung (Watt) xxx – xxx	HF (1/min) xxx – xxx



# Trainingsystematisierung

---

<b>Trainingsbereich</b>	<b>Intensität</b>	<b>Trainingsanteil</b>	<b>Adaptation</b>
Extensive Grundlagenausdauer	1-2 mmol/l	50%	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ökonomisierung des HKS und des aeroben Stoffwechsels</li><li>• große Bedeutung für alle Trainingsziele</li></ul>
Intensive Grundlagenausdauer	2-3 mmol/l	30-40%	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verbesserung des aerob und anaeroben Stoffwechsels</li></ul>
Entwicklungsbereich	3-5 mmol/l	8-10%	<ul style="list-style-type: none"><li>• anaerober Energiestoffwechsel</li><li>• Steigerung der Pufferkapazität</li></ul>
Hochintensiver Bereich	über 5 mmol/l	1-2%	<ul style="list-style-type: none"><li>• Erhöhung der Säuretoleranz</li></ul>



# Aufgabe

---

Berechnung der Trainingsherzfrequenzen mit Hilfe unterschiedlicher Methoden:

- Benson Formel
- Karvonen-Formel
- Prozentueller Anteil der anaeroben Schwelle unterschiedlicher Konzepte
  - nach Mader
  - Stegmann



# Literatur

---

- Braumann, K.-M.; Busse, M.; Maassen, N. (1987). *Zur Interpretation von Laktat-Leistungskurven*. Leistungssport (4): 35-38.
- Braumann, K.-M.; Maassen, N.; Busse, M. (1988). *Die Problematik der Interpretation trainingsbegleitender Laktatmessungen*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 39 (9): 365-368.
- Dickhuth, H.-H.; Huonker, M.; Drexler, H.; Berg, A.; Keul, J. (1991). *Individual anaerobic threshold for evaluation of competitive athletes and patients with left ventricular dysfunctions* in Bachl, N; Graham, T.E.; Löllgen, H. (Hrsg.). *Advances in Ergometry*. Berlin: Springer.
- Heck, H. (1990). *Laktat in der Leistungsdiagnostik*. Band 22: Wissenschaftlich Schriftreihe des Deutschen Sportbundes. Schorndorf: Hofmann.
- Heck, H. (1990). *Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik*. Schorndorf: Hofmann.
- Heck, H.; Roszkopf, P. (1994). *Grundlagen verschiedener Laktatschwellenkonzepte und ihre Bedeutung für die Trainingssteuerung* in Clasing, D., Weicker, H. & Böning, D. (Hrsg.) (1994). *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik*. Stuttgart; Jena; New York: G. Fischer.
- Keul, J.; Simon, G.; Berg, A.; Dickhuth; H. H., Goerttler, I.; Kübel, R. (1979). *Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 30 (7): 212-218.
- Kindermann, W. (1984). *Grundlagen der aeroben und anaeroben Leistungsdiagnostik*. Schweiz. Ztschr. Sportmed. 32: 69-75.
- Maassen, N.; Schneider, G. (1994). *Ernährungsverhalten und Regenerationsstatus modulieren die Laktatleistungskurve*. TW Sport + Medizin 6 (1): 59-62.
- Stegmann, H.; Kindermann, W. (1981). *Lactate kinetics and individual an-aerobic threshold*. Int. J. Sports Med. 2 (3): 160-165.

