

Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit vom Lebensalter

H. Heck

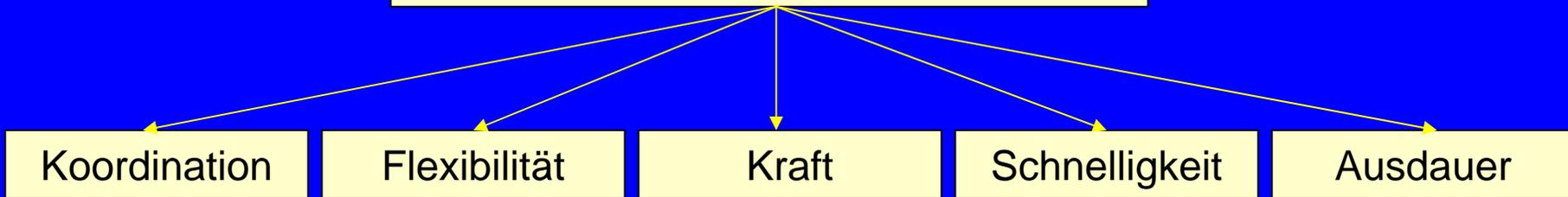
Bochum 21. September 2009

Leistung ?

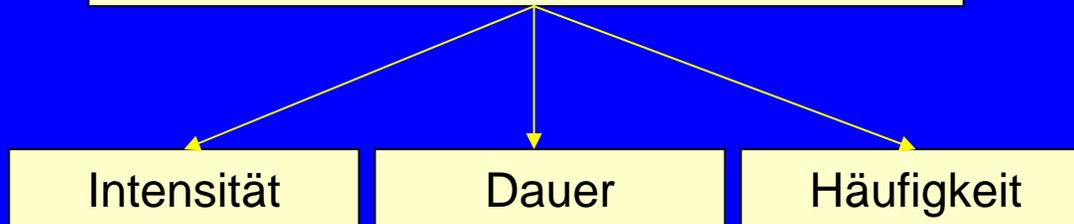
- physikalische ?
- körperliche Leistung(sfähigkeit) ?

Unter **körperlicher Leistungsfähigkeit** wird die Summe der individuell möglichen stütz- und zielmotorischen Aktionen verstanden. Die jeweilige körperliche Leistungsfähigkeit in den unterschiedlichen sportlichen Bewegungsabläufen ist qualitativ durch den Einsatz der **motorischen Hauptbeanspruchungsformen** und quantitativ durch **Intensität, Dauer und Häufigkeit** charakterisiert.

Qualitativer Aspekt der Leistung



Quantitativer Aspekt der Leistung



Ausdauerformen

Nach der Grösse der beanspruchten Muskulatur

- Allgemeine A. (mehr als 1/6 der Skelettmuskulatur)
- Lokale Muskelausdauer (weniger als 1/6 der Skelettmuskulatur)

Nach der Arbeitsweise der Muskulatur

- Dynamische A. (Bewegungen mit Spannung und Entspannung)
- Statische A. (Bewegungen mit Dauerspannung)

Nach der Energiebereitstellung

Aerobe Ausdauer:

- Kurzzeit-A. 3 - 10 min
- Mittelzeit-A. 10 - 30 min
- Langzeit-A. über 30 min

Anaerobe Ausdauer:

- Kurzzeit-A. 10 - 20 s
- Mittelzeit-A. 20 - 60 s
- Langzeit-A. 60 - 180 s

(nach HOLLMANN)

Allgemeine aerobe dynamische Ausdauer

Aerobe Ausdauerleistungen mittels dynamischer Arbeit unter Einsatz von mehr als $1/7 - 1/6$ der gesamten Skelettmuskulatur. Die Leistungsfähigkeit wird vor allem von der Kapazität des Herz-Kreislauf-, Atmungs- und Stoffwechselsystems sowie von der Qualität der bewegungstypischen Koordination limitiert.

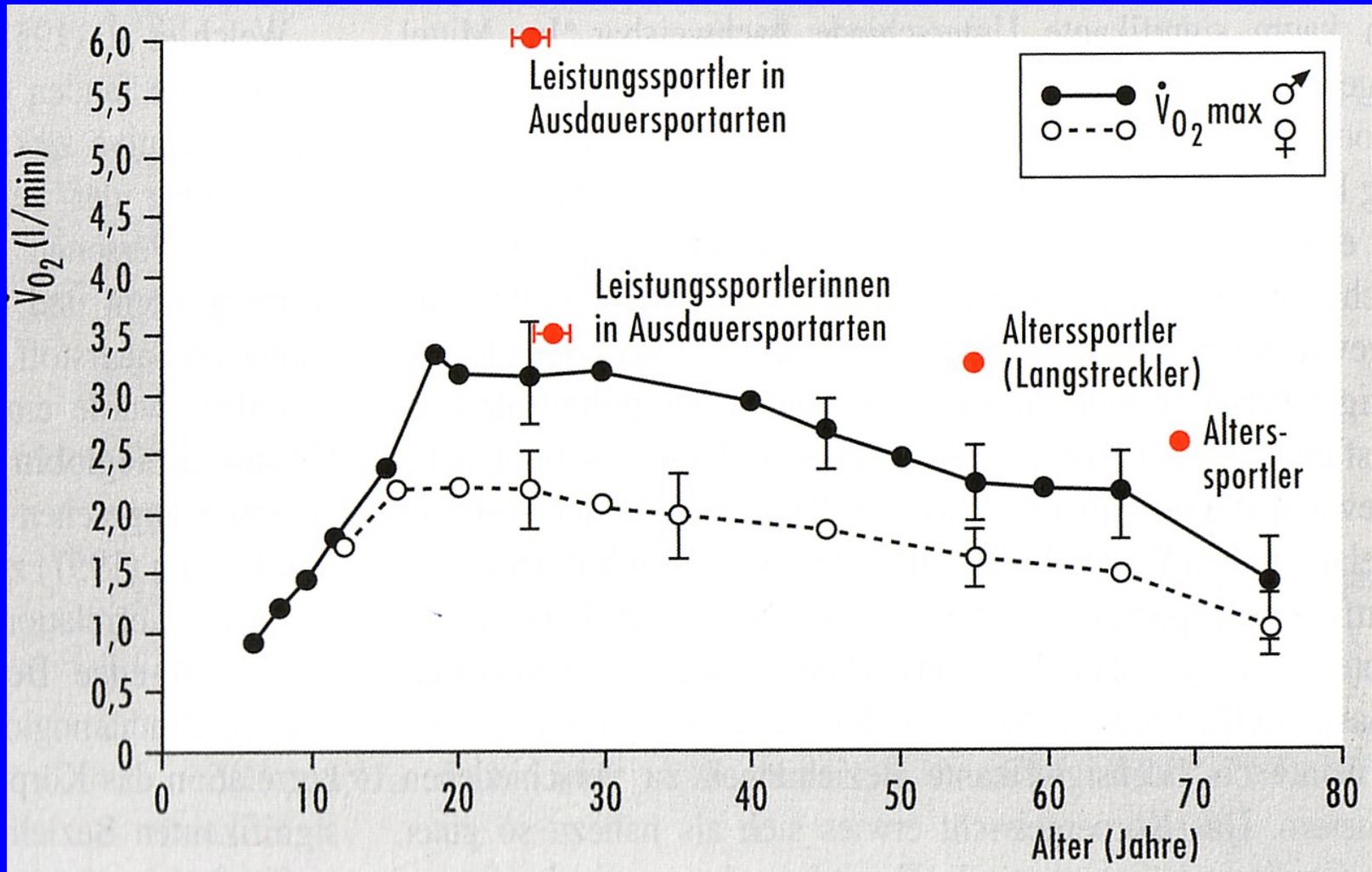
(nach HOLLMANN)

Allgemeine aerobe dynamische Ausdauer

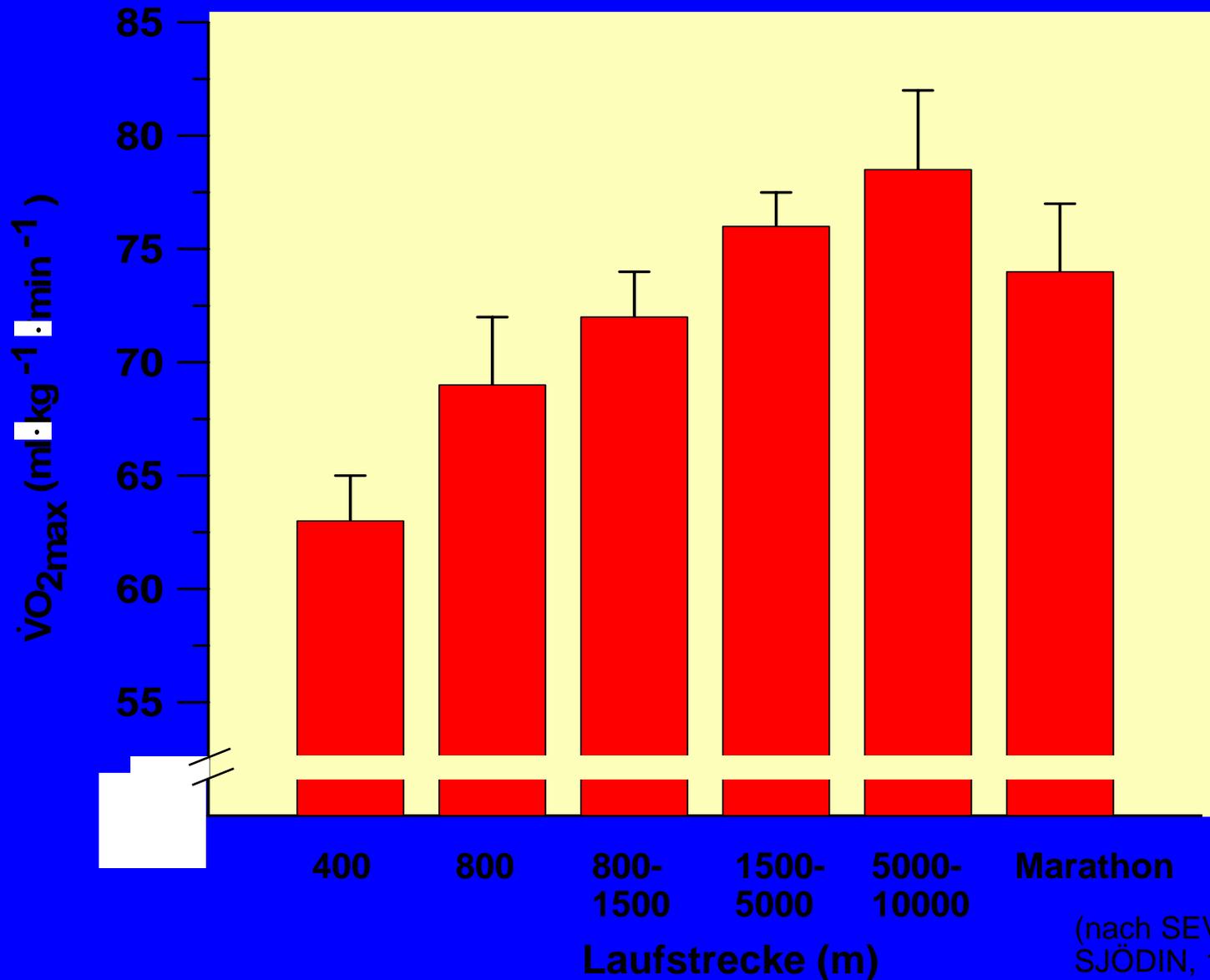
Limitierung durch die maximale Energieflussrate, die über längere Zeit aufrecht erhalten werden kann.

Direktes Maß: **max. O₂-Aufnahme (l/min)**

maximale Sauerstoffaufnahme im Alternsgang



$\dot{V}O_{2\max}$ der Läufer der schwedischen Leichtathletik-Nationalmannschaft



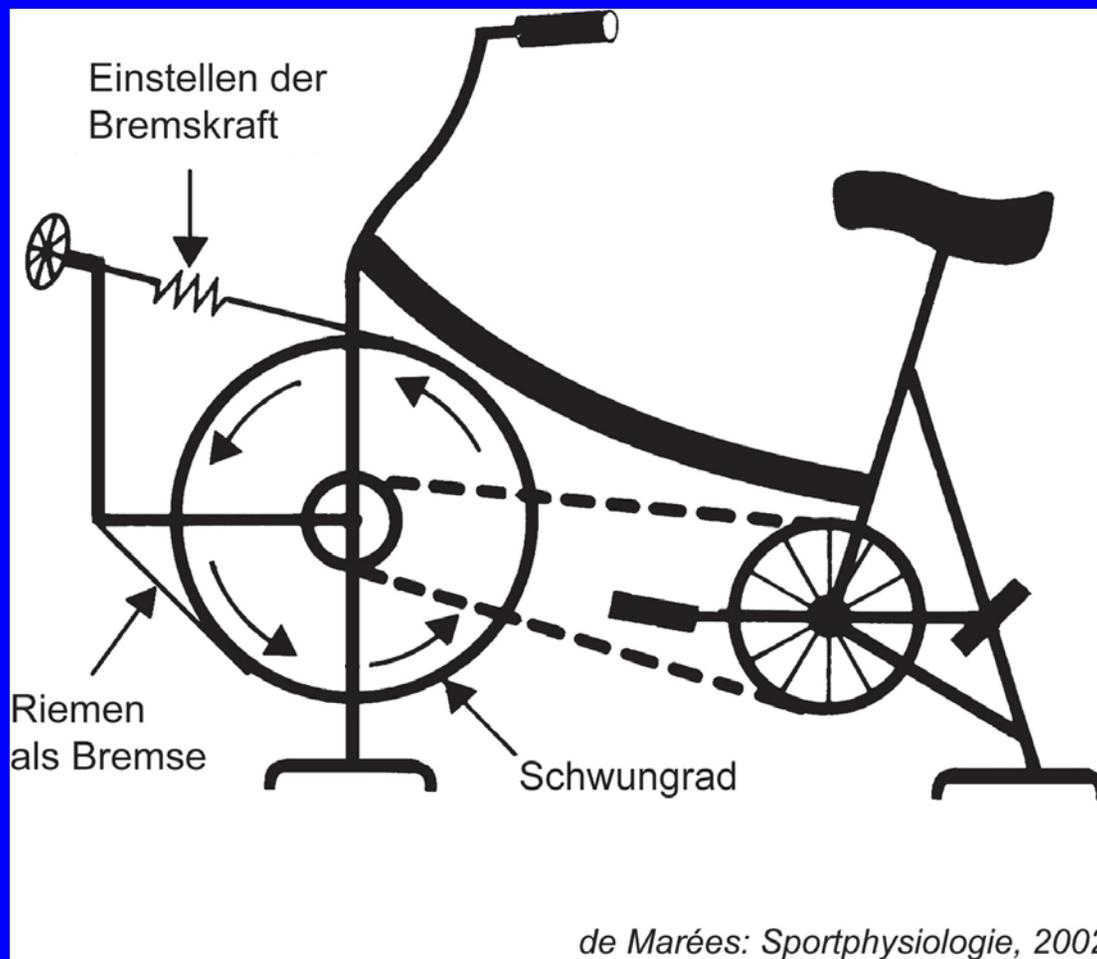
(nach SEVEDHAG/
SJÖDIN, 1984)

Testverfahren

- Kniebeugen
- Kletterstufe
- Fahrradergometer
- Laufbandergometer
- Drehkurbelergometer
- u. a.

Belastungsart	$\dot{V}O_2$ max (%)
Bergauflaufen	100
Laufen horizontal	95 - 98
Fahrrad sitzende Position	90 - 96
Fahrrad liegende Position	82 - 85
Fahrrad 1 Bein, sitzende Position	62 - 70
Armkurbel	65 - 70
Fuß + Armkurbel (10 –20 % f. Armarbeit)	100
Stufentest	- 97

Maximale Sauerstoffaufnahme in Prozent bei verschiedenen ergometrischen Belastungen, bezogen auf 100% = $\dot{V}O_2$ max während Bergauflaufens.

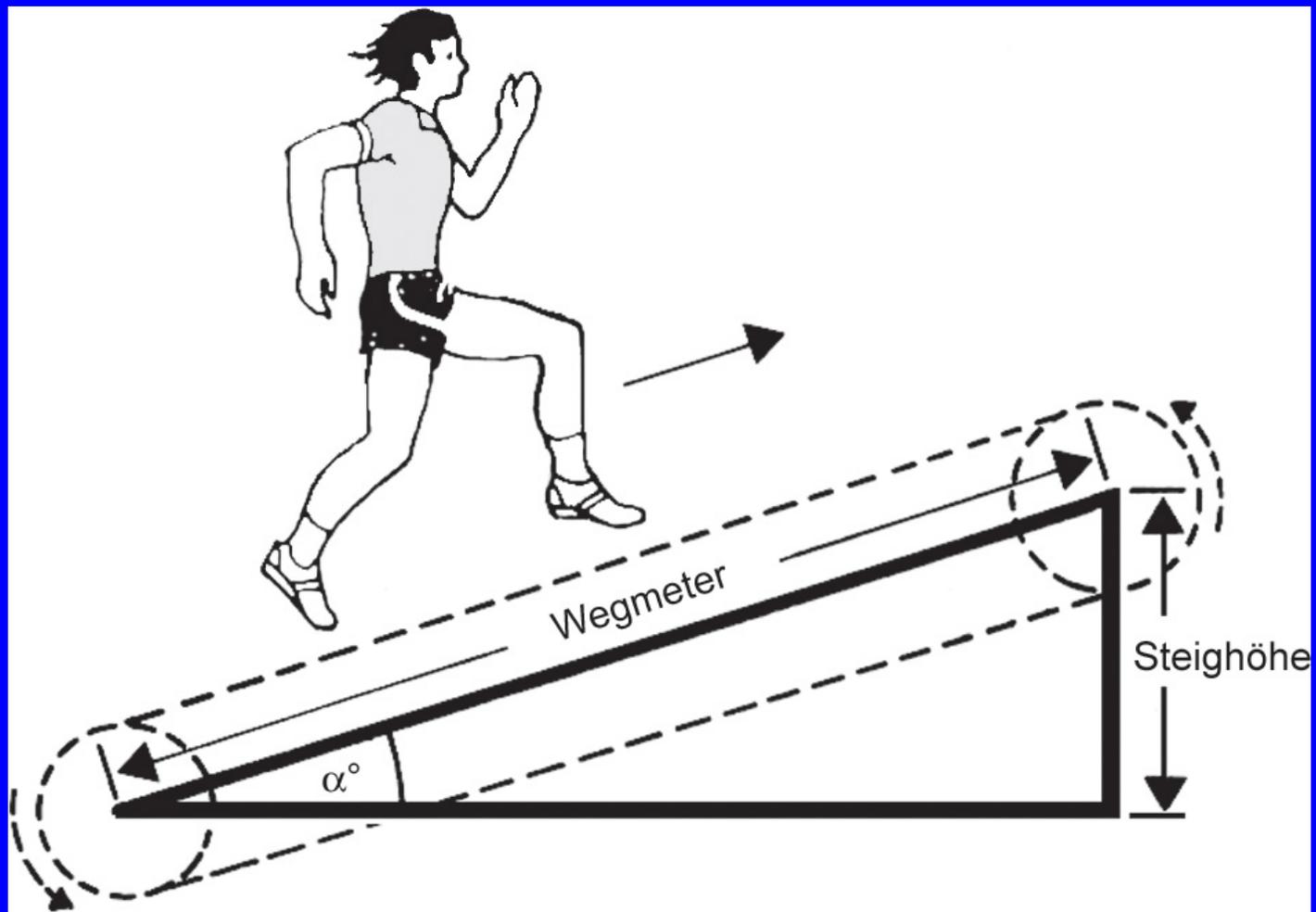


Leistung = Arbeit / Zeit

Arbeit = Kraft x Weg

Leistung = Kraft x Weg / Zeit = Kraft x Geschwindigkeit

Belastungsteigerung über Änderung des
Bremswiderstands und/oder der
Pedalumdrehungsgeschwindigkeit



de Marées: Sportphysiologie, 2002

Belastungsteigerung durch Änderung der Laufgeschwindigkeit und/oder des Anstiegswinkels

Belastungssteigerung

- Bei Fahrradergometrie:
Steigerung über Änderung des Bremswiderstands und/oder der Pedalumdrehungsgeschwindigkeit
- Bei Laufbandergometrie:
Steigerung durch Änderung der Laufgeschwindigkeit und/oder des Anstiegswinkels

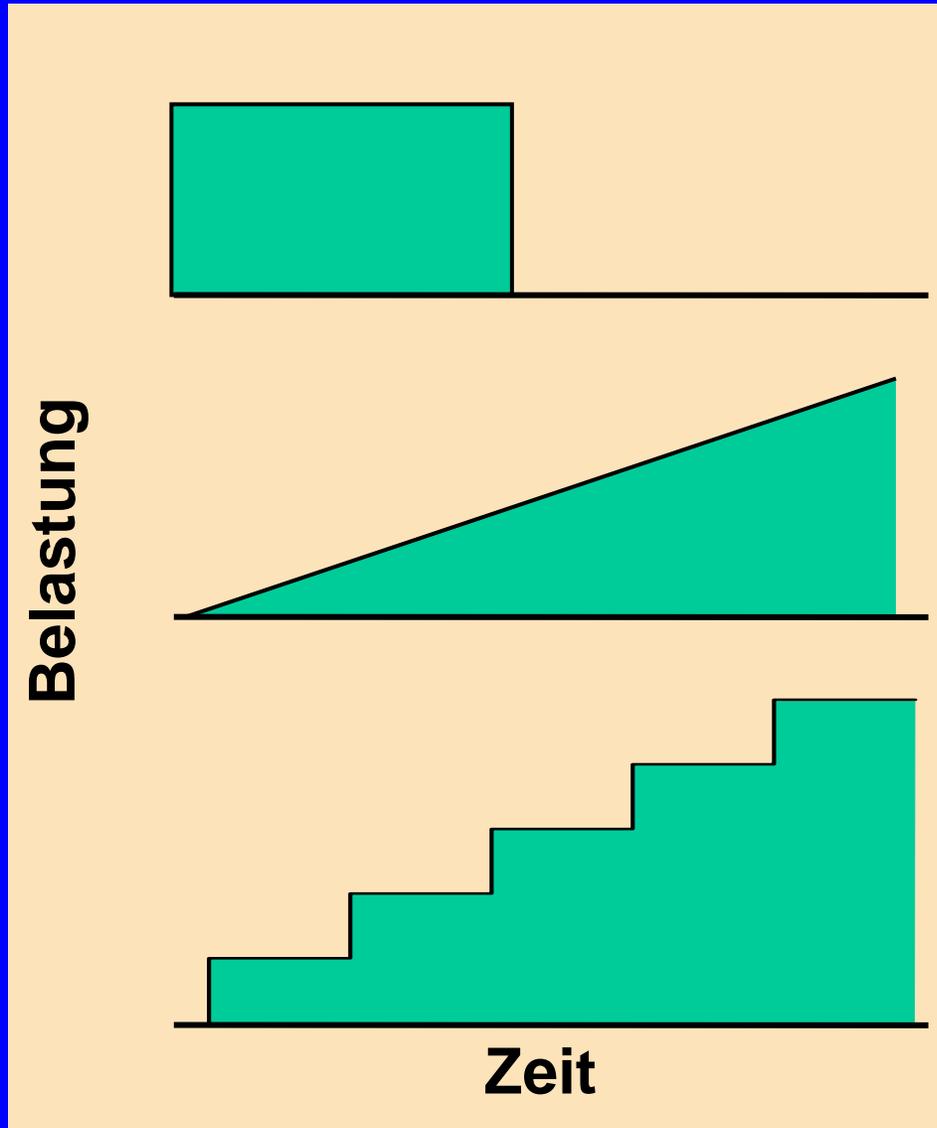
Leistung = Arbeit / Zeit

Arbeit = Kraft x Weg

Leistung = Kraft x Weg / Zeit = Kraft x Geschwindigkeit

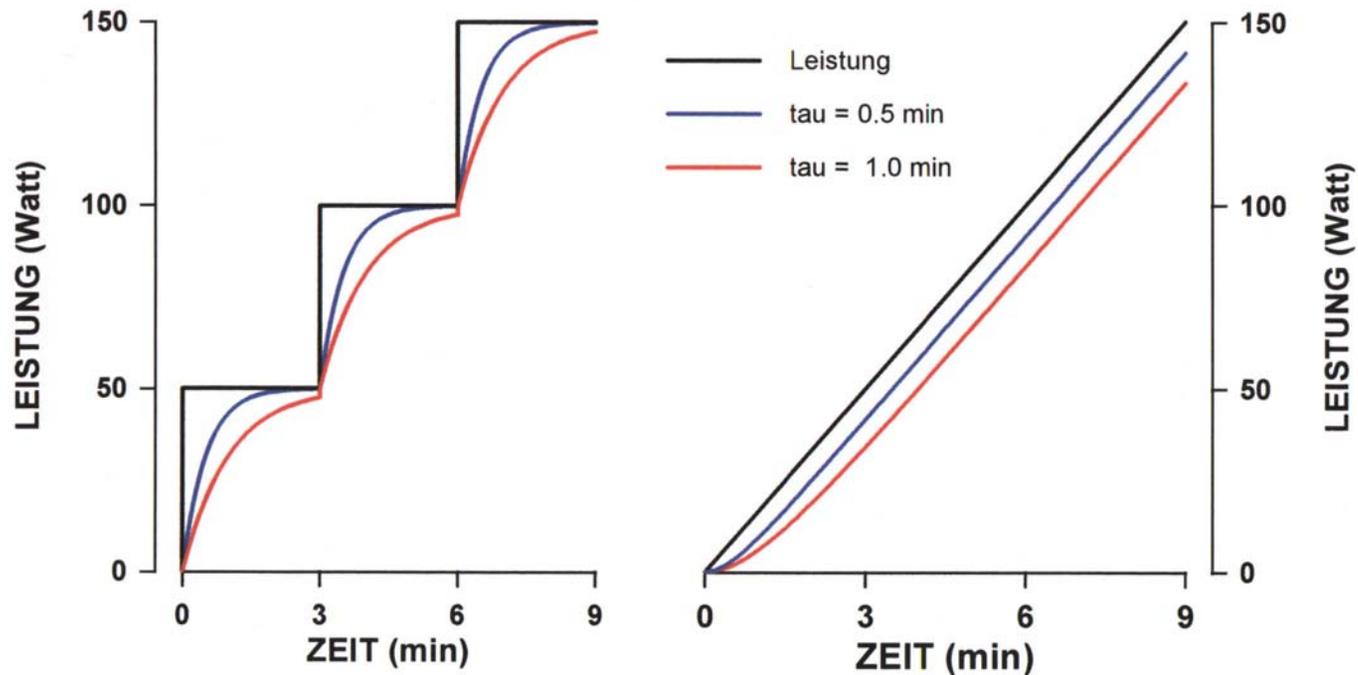
$$\text{Wirkungsgrad (\%)} = \frac{\text{Leistung} \times 100}{\text{Energieumsatz}}$$

Belastungsmodus

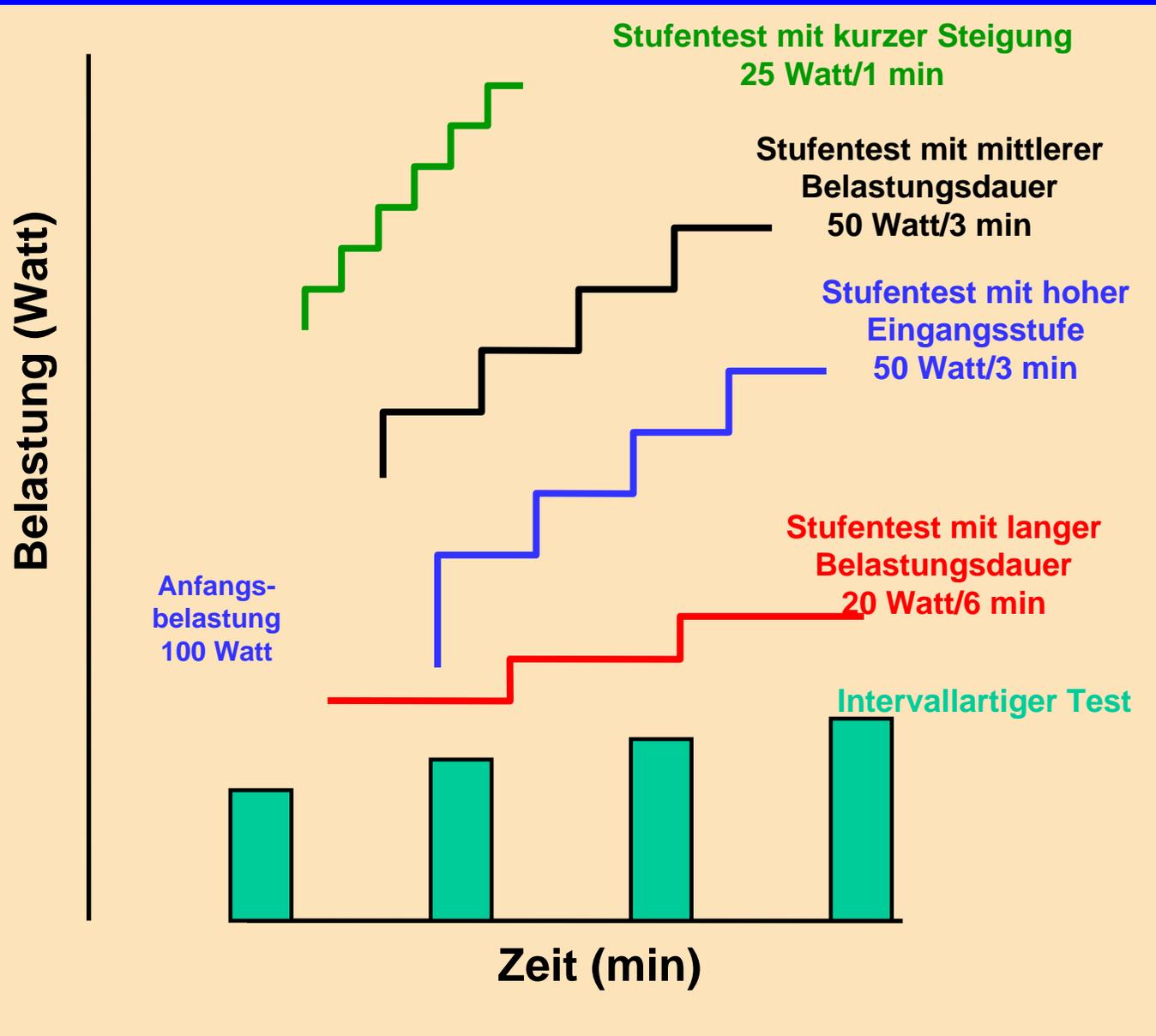


Kinetik der Sauerstoffaufnahme während Belastung

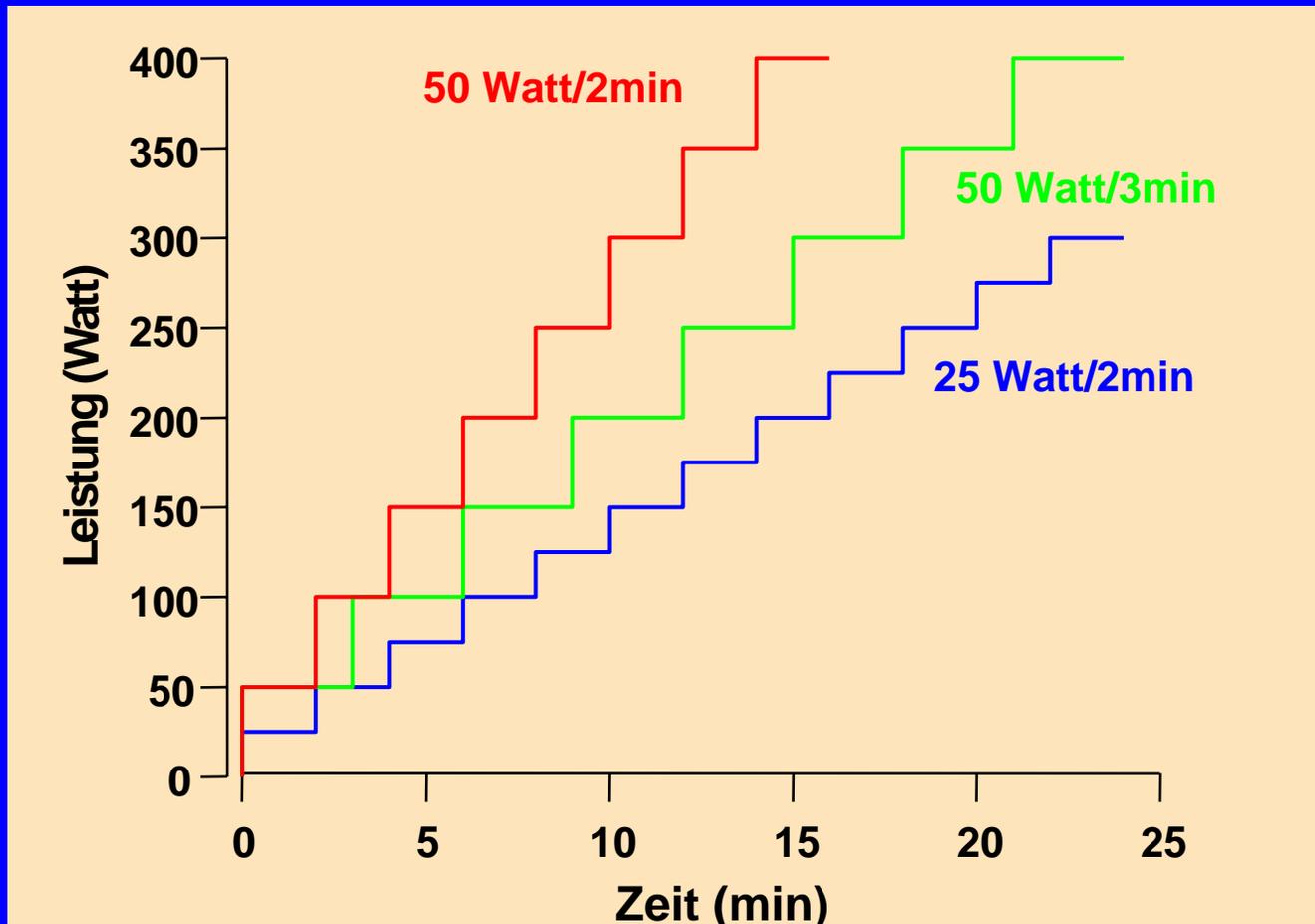
Kinetik der Sauerstoffaufnahme bei stufenförmiger (links) und rampenförmiger (rechts) Belastung (schematische Darstellung)



Verschiedene Belastungsschemata für die Fahrradergometrie



Häufig angewandte Belastungsschemata bei der Fahrradergometrie



Belastungsschema

	Fahrrad	Laufband	Laufband
Anfangsbelastung	50 Watt (25 Watt)	2,5 m/s 3,0 m/s 3,5 m/s	8 km/h 10 km/h 12 km/h
Belastungsstufe	50 Watt (25 Watt)	0,5 m/s	2 km/h
Stufendauer (min)	3 (2)	3 (5)	3 (5)

Beurteilungskriterien der Leistungsfähigkeit

Maximal-Test

max. Belastungsstufe

max. P (Watt)
max. v (m/s)
rel. max. P (Watt/kg)

max. Sauerstoffaufnahme

max. $\dot{V}O_2$ (ml/min)
rel. max. $\dot{V}O_2$
(ml/min*kg)

Submaximal-Test

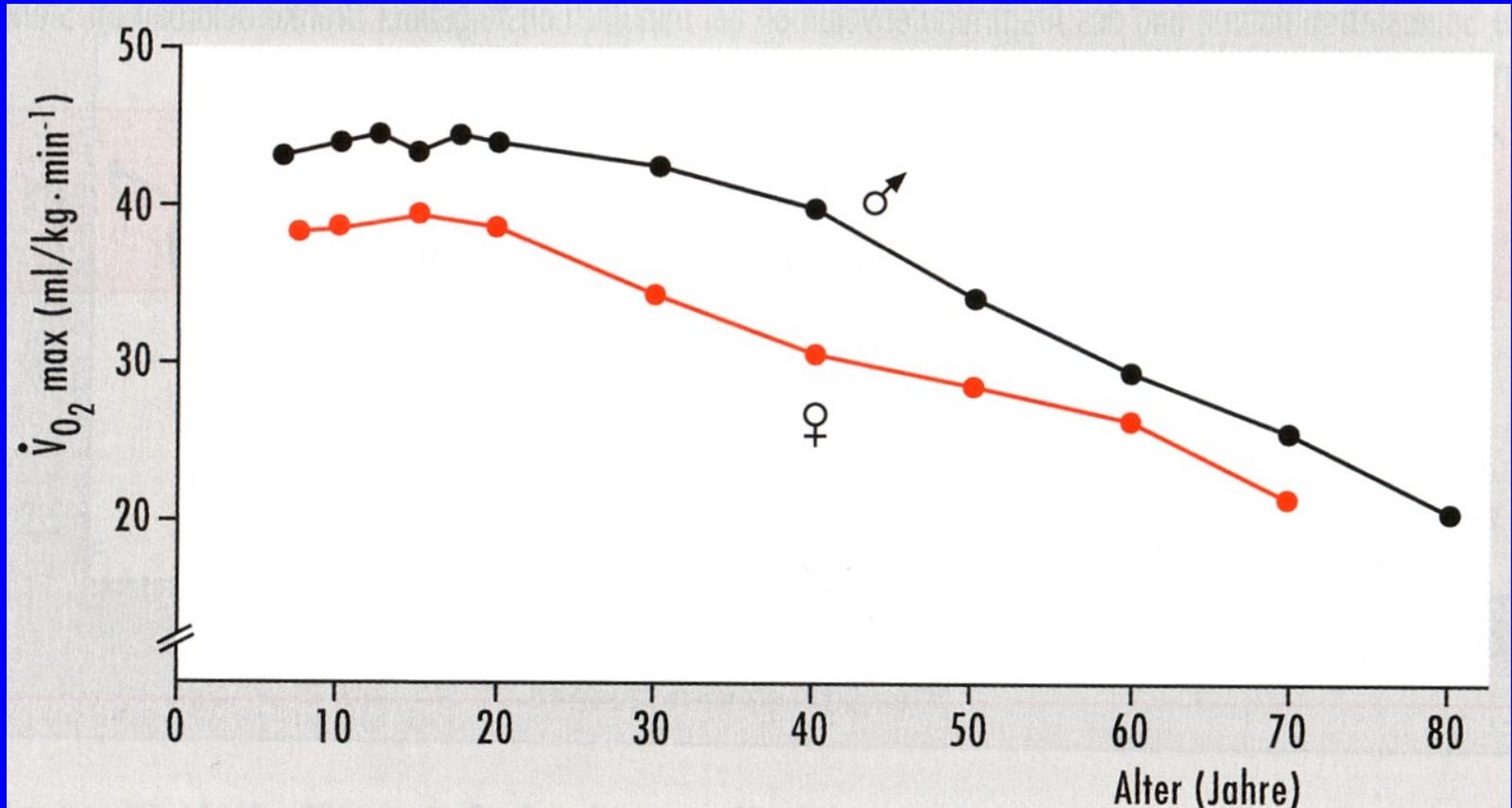
physical work capacity 170

PWC 170 (Watt)
rel. PWC (Watt/kg)

aerob-anaerobe Schwelle

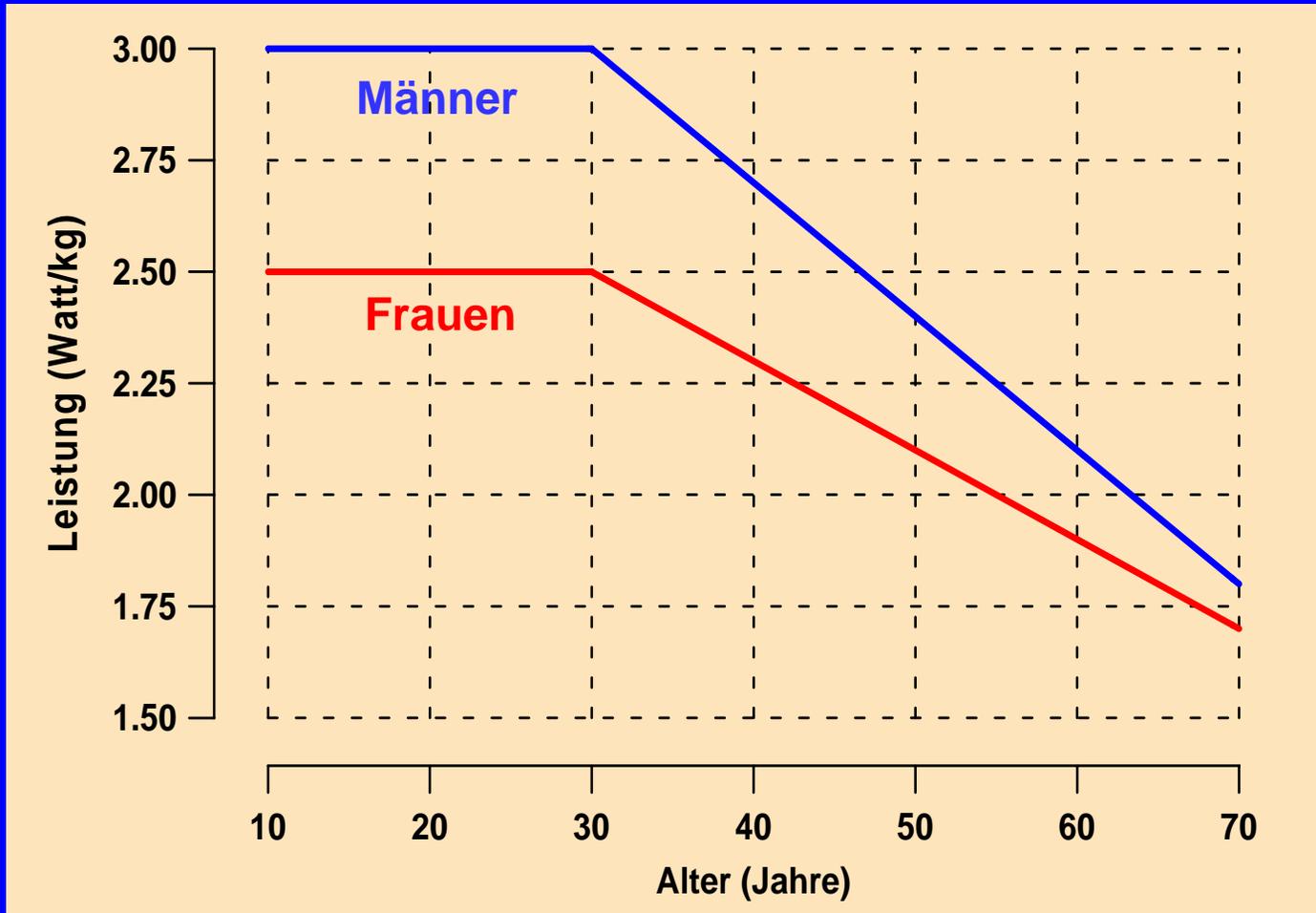
aS (Watt)
aS (m/s)
aS ($\dot{V}O_2$)

Relative maximale Sauerstoffaufnahme im Alternsgang



aus W. Hollmann, 2000

Sollwert der maximalen Leistung für Männer und Frauen bei der Fahrradergometrie im Sitzen



Soll-Wattleistung für Männer und Frauen über 30 Jahre

Für Männer, älter als 30 Jahre

$$\text{Solleistung (Watt)} = 3 \cdot G \text{ (kg)} \cdot [130 - A \text{ (Jahre)}]/100$$

Für Frauen, älter als 30 Jahre

$$\text{Solleistung (Watt)} = 2,5 \cdot G \text{ (kg)} \cdot [124 - 0,8 \cdot A \text{ (Jahre)}]/100$$

(G = Gewicht; A = Alter)

Beispiel: Mann 80 kg, 28 Jahre

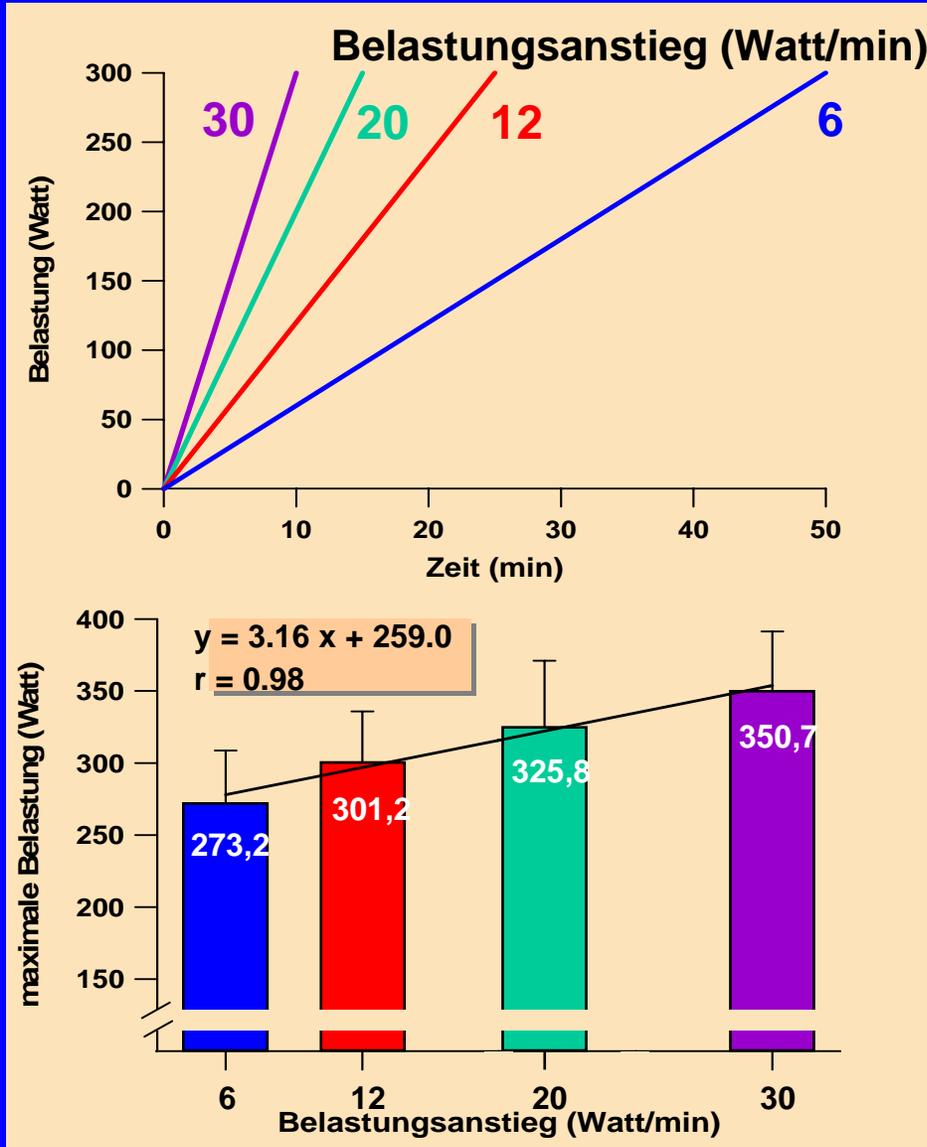
$$\begin{aligned}\text{Soll-Leistung} &= 3 * 80 \\ &= 240\text{W}\end{aligned}$$

$$\text{Ist- Leistung} = 350\text{W}$$

Prozentwert der Ist- Leistung bezogen auf die Soll- Leistung

$$\begin{aligned}&= (350\text{W} / 240\text{W}) * 100 \\ &= 145,8 \%\end{aligned}$$

Beziehung zwischen dem Belastungsanstieg und der maximalen Leistung



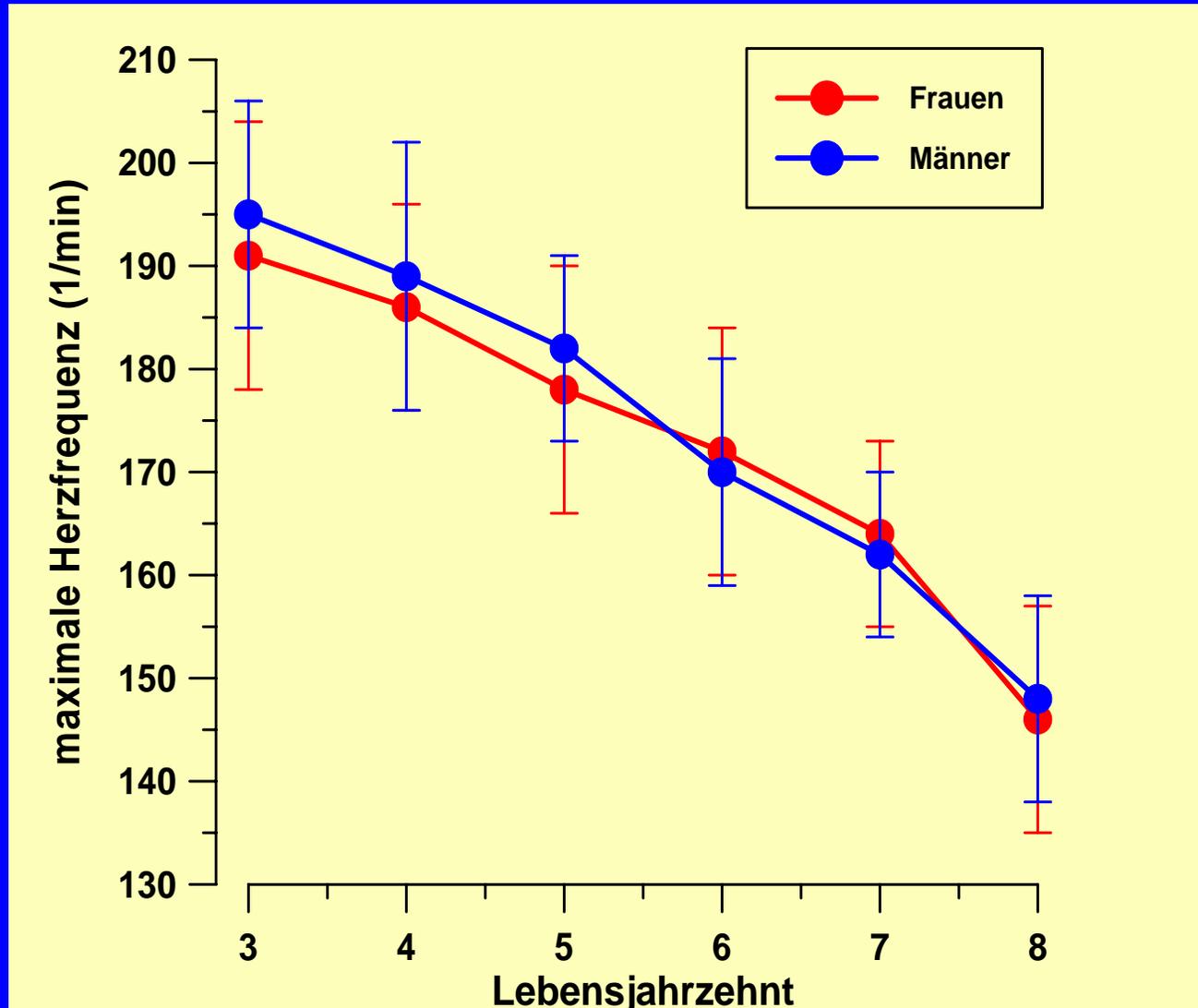
Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradergometrie in Abhängigkeit von der Leistung:

$$\text{O}_2\text{-Aufnahme (ml/min)} = 300 + 12 \cdot \text{Leistung (Watt)}$$

Beurteilungskriterien der Ausbelastung

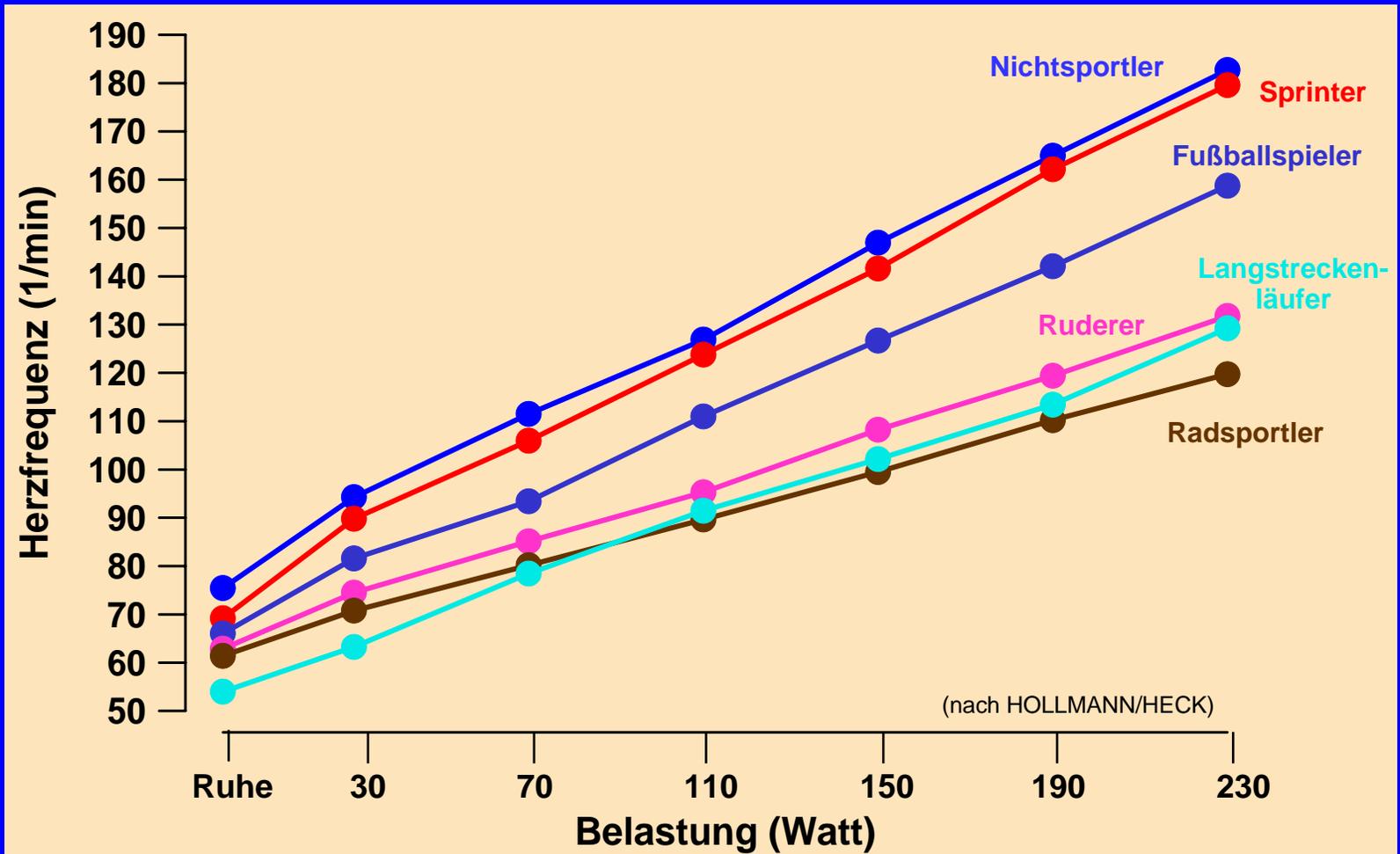
	Abkürzung	Wert
untere Grenze der max. Herzfrequenz	max. HF (1/min)	200 - Lebensalter (Fahrrad) 210 - Lebensalter (Laufband)
max. Atemäquivalent = $\text{max. } \dot{V}_E / \text{max. } \dot{V}_{O_2}$	max. AÄ	> 30
max. resp. Quotient = $\text{max. } \dot{V}_{CO_2} / \text{max. } \dot{V}_{O_2}$	max. RQ	> 1.1
max. Laktat	max. LA (mmol/l)	> 8 (>5 z.B. Marathon- Läufer)

Altersabhängigkeit der maximalen Herzfrequenz bei Männern und Frauen

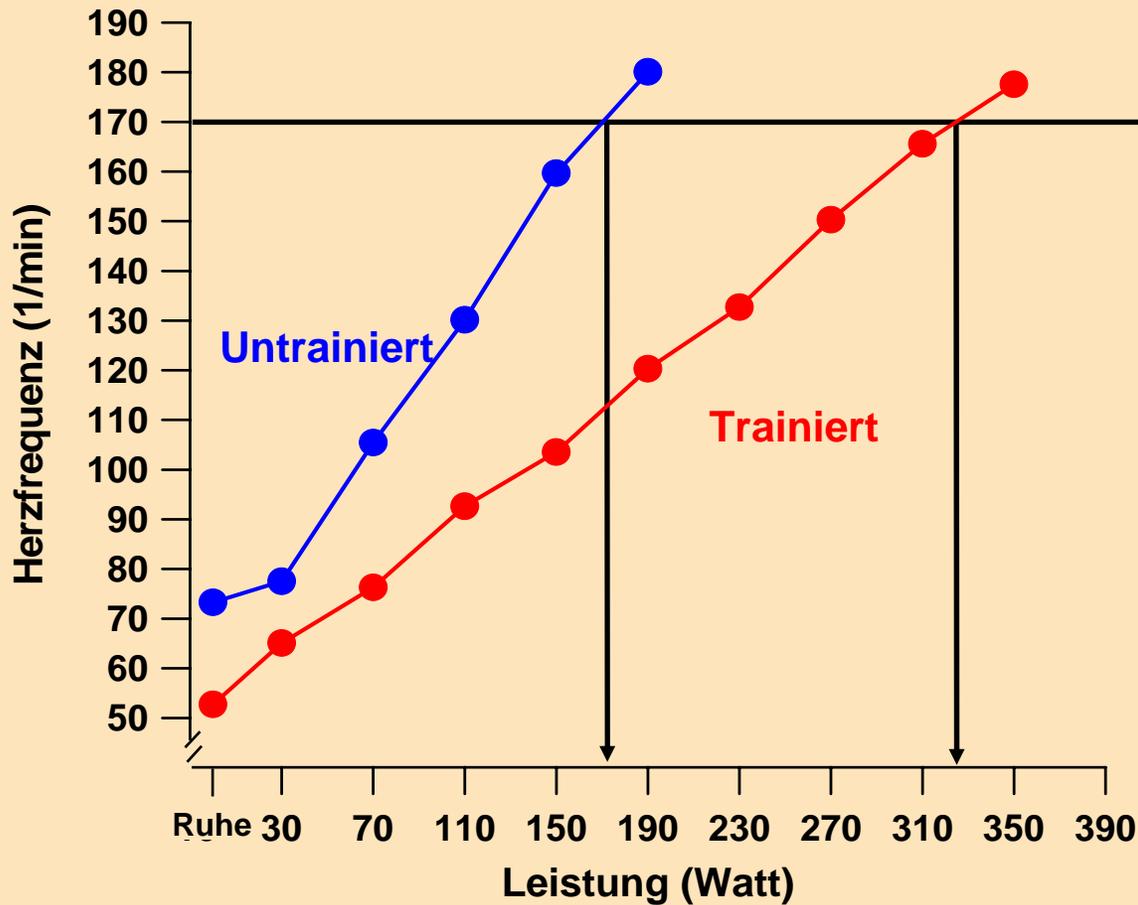


Leistungsbeurteilung im submaximalen
Belastungsbereich anhand der Herzfrequenz

Herzfrequenzverhalten während Fahrradergometerarbeit im Sitzen bei Spitzensportlern verschiedener Sportarten und Nichtsportlern

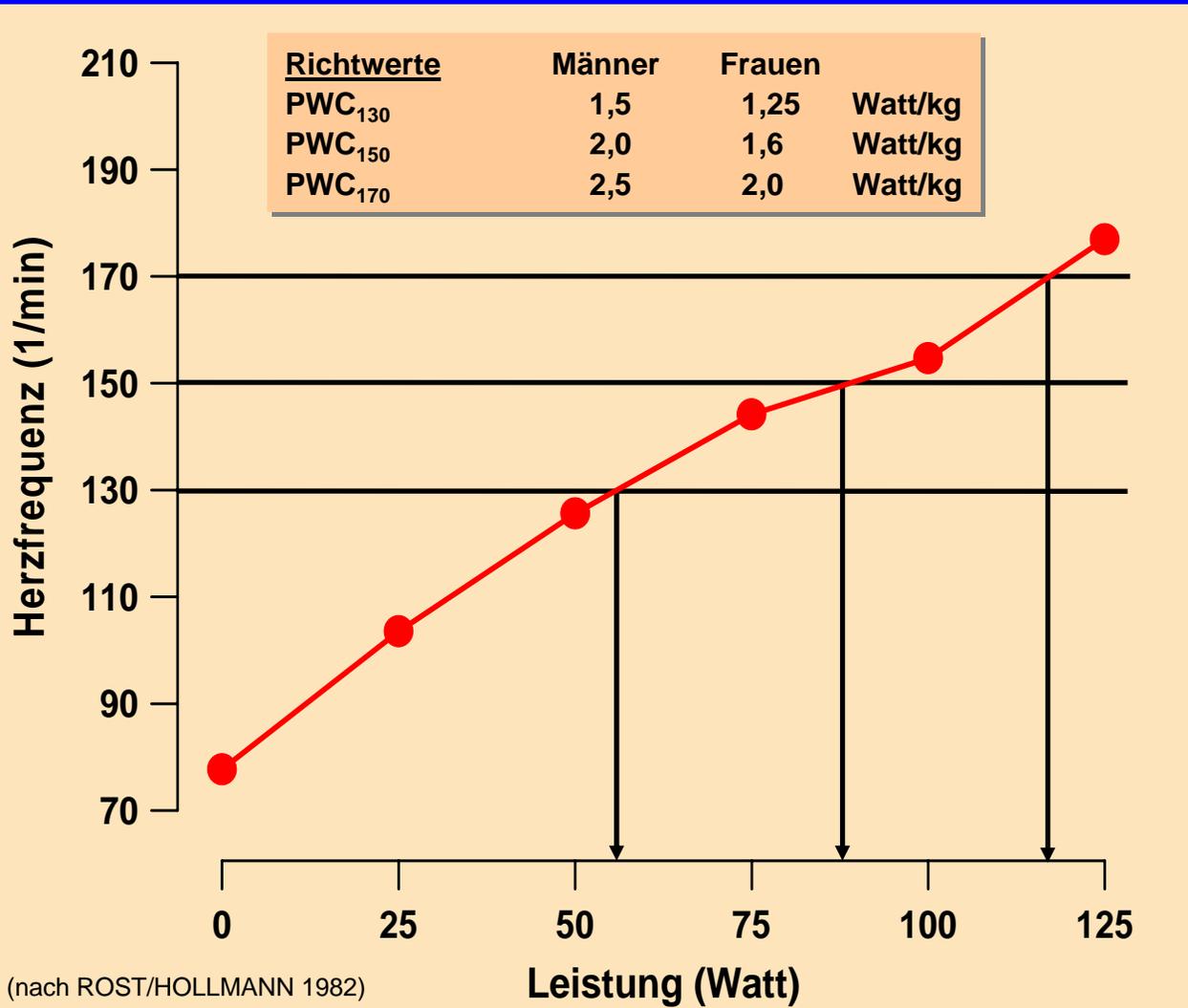


PWC₁₇₀ bei einem Nichtsportler und einer ausdauertrainierten Person

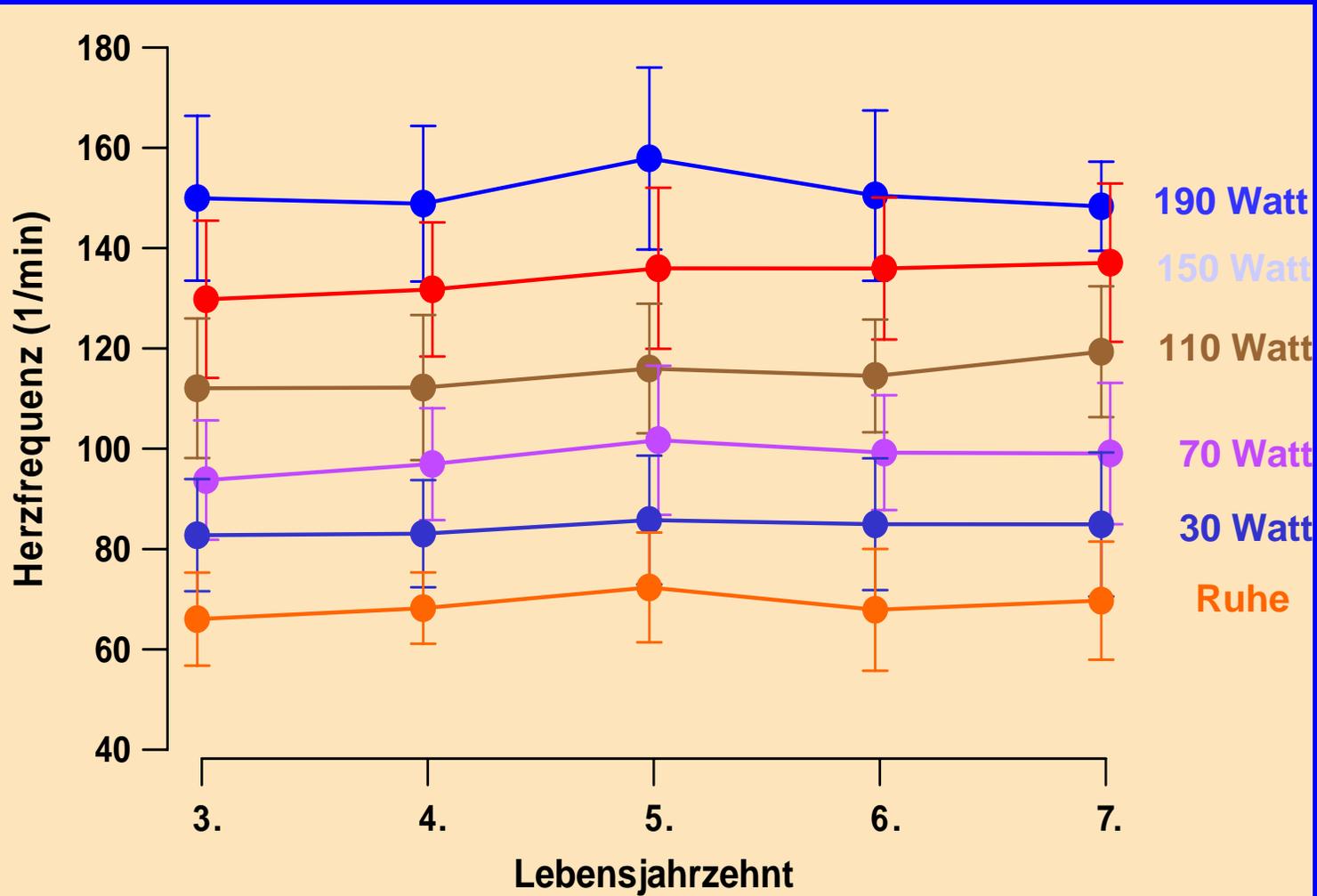


(nach HECK, Therapiewoche 28, S.3928-33, 1978)

Ermittlung pulsbezogener Leistung



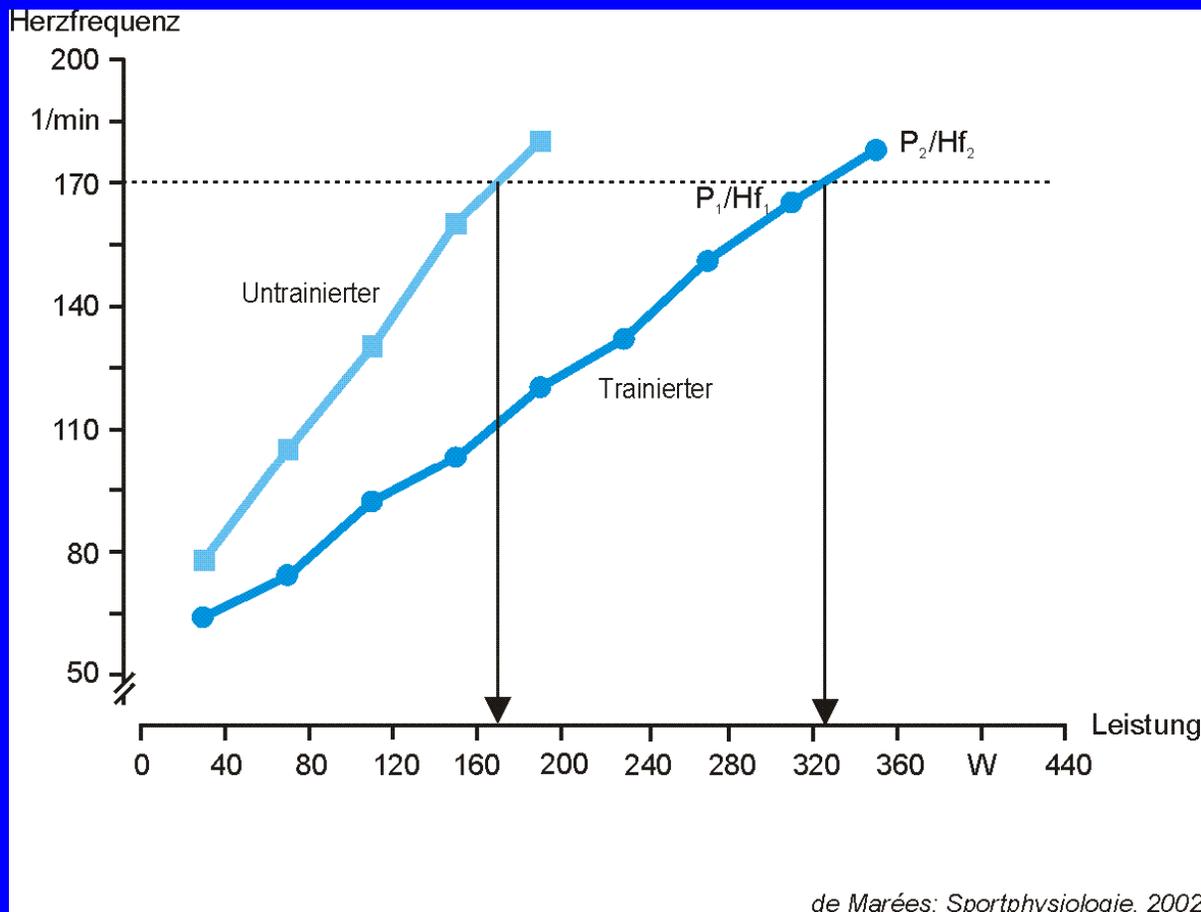
Herzfrequenzwerte im Lebensverlauf bei verschiedenen Belastungen



Die Berechnung des PWC Wertes kann nach folgender Formel erfolgen:

$$PWC_{170} = P_1 + (P_2 - P_1) \cdot (170 - Hf_1) / (Hf_2 - Hf_1)$$

P= Leistung, Hf= Herzfrequenz



Beispiel: Mann 80 kg, 28 Jahre

$P_1 = 300\text{W}$, $Hf_1 = 168/\text{min}$

$P_2 = 350\text{W}$, $Hf_2 = 182/\text{min}$

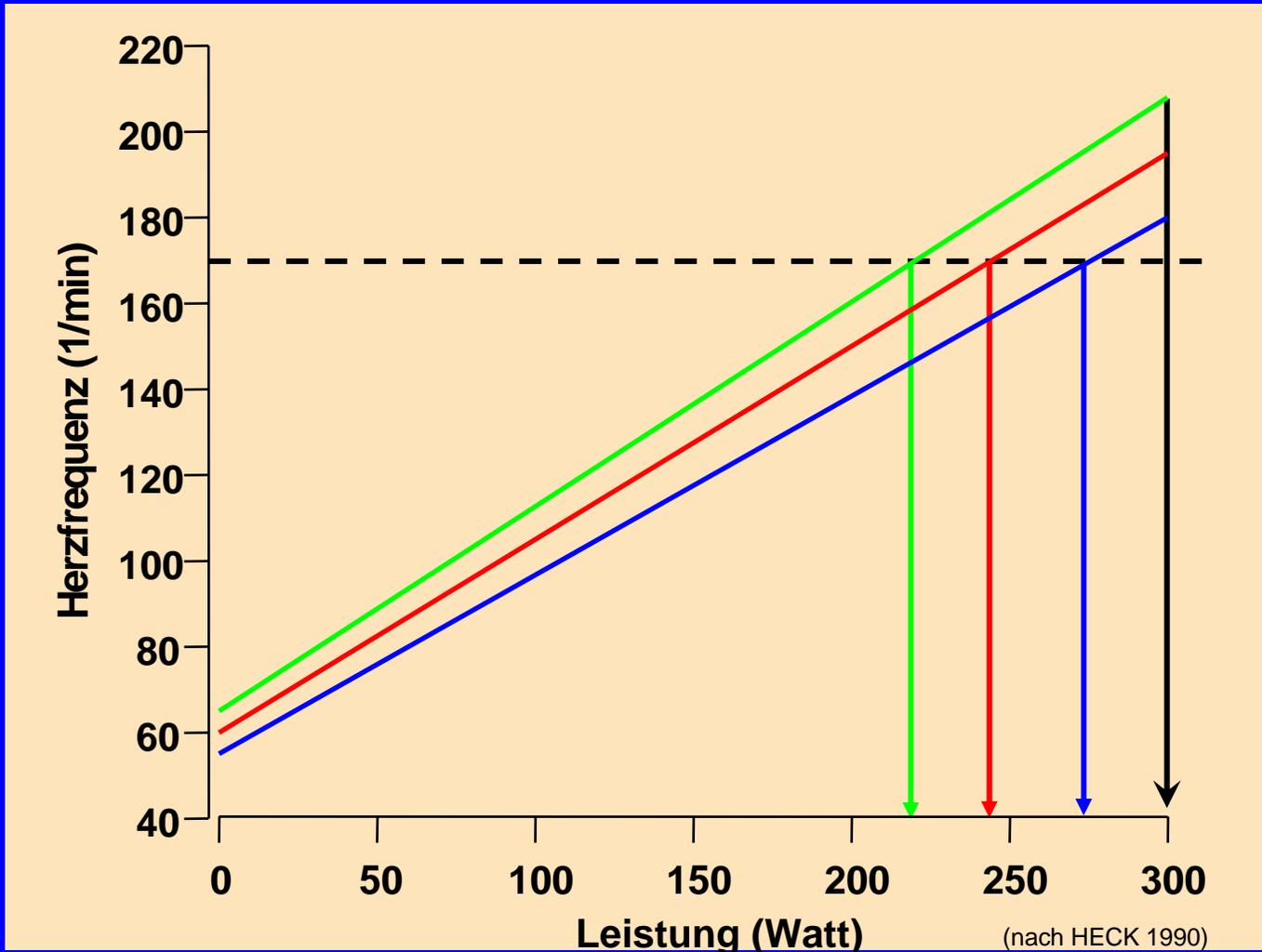
$$\begin{aligned} PWC_{170} &= 300 + (350 - 300) * (170 - 168) / (182 - 168) \\ &= 300 + 50 * 0,14 \\ &= 307\text{W} \end{aligned}$$

Bei einer Hf von 170/min wurde eine Leistung von 307 W (= 3,8 W/kg) erreicht!

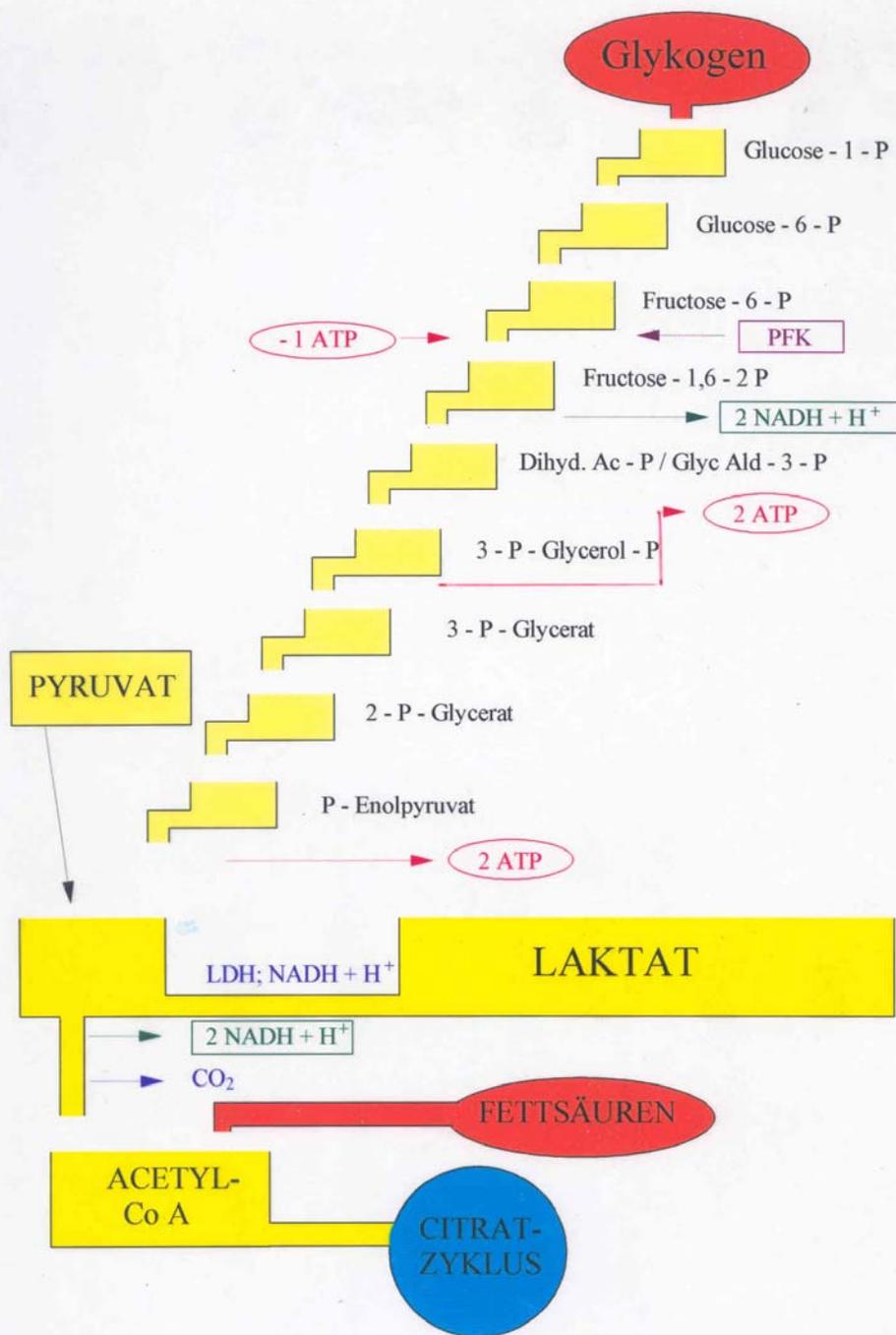
Ist- Soll- Wertvergleich:

$$3,8 / 2,5 * 100 = 152\%$$

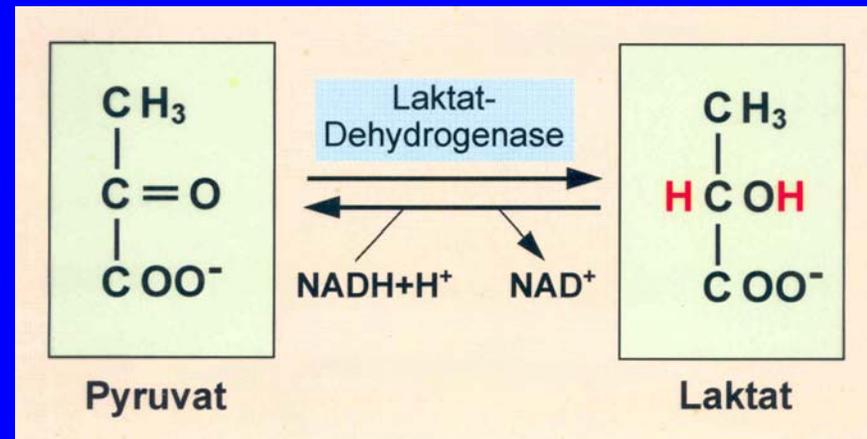
PWC₁₇₀ bei verschiedenen maximalen Herzfrequenzen



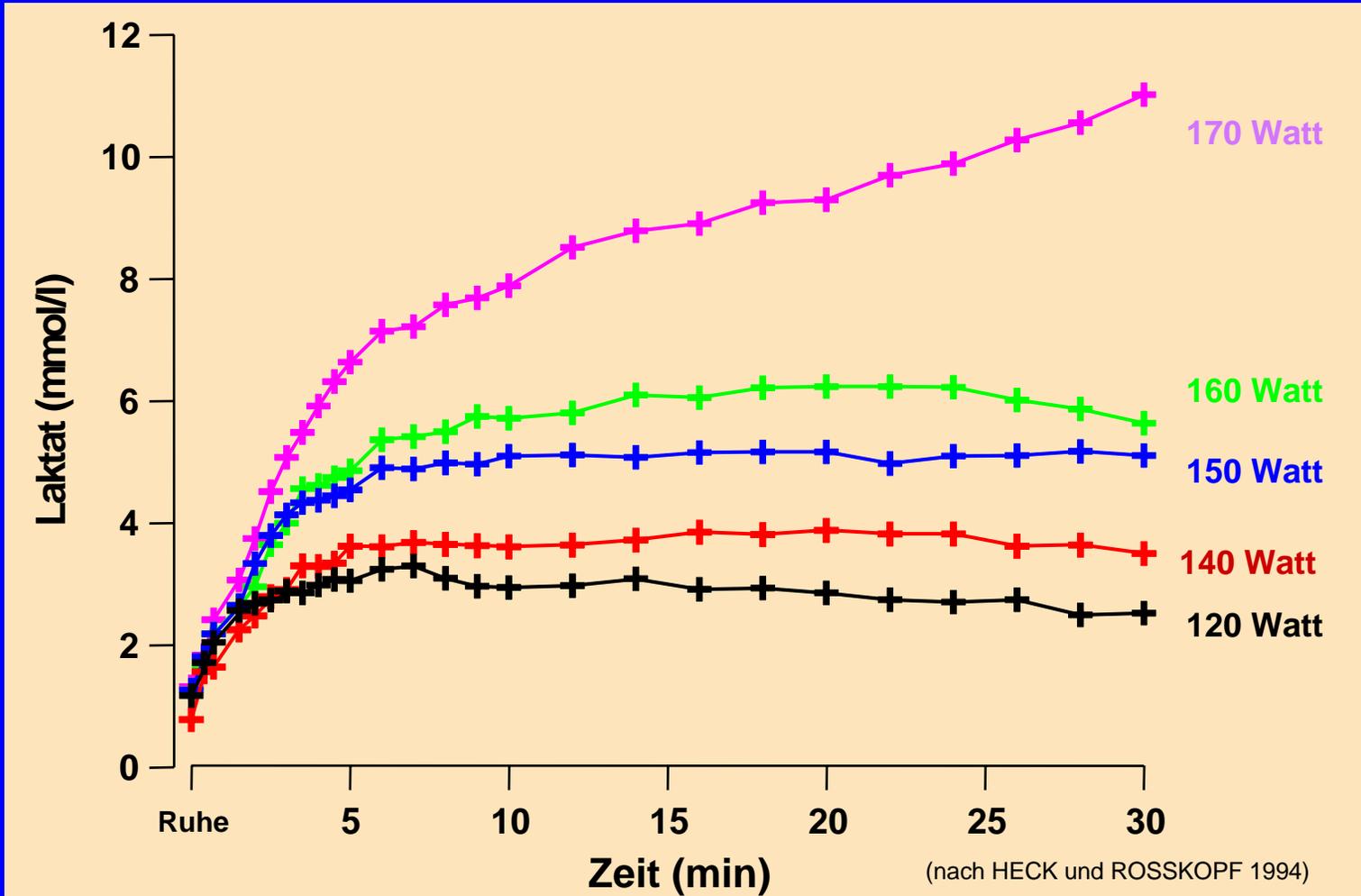
Leistungsbeurteilung im submaximalen
Belastungsbereich anhand der
Blutlaktatkonzentration

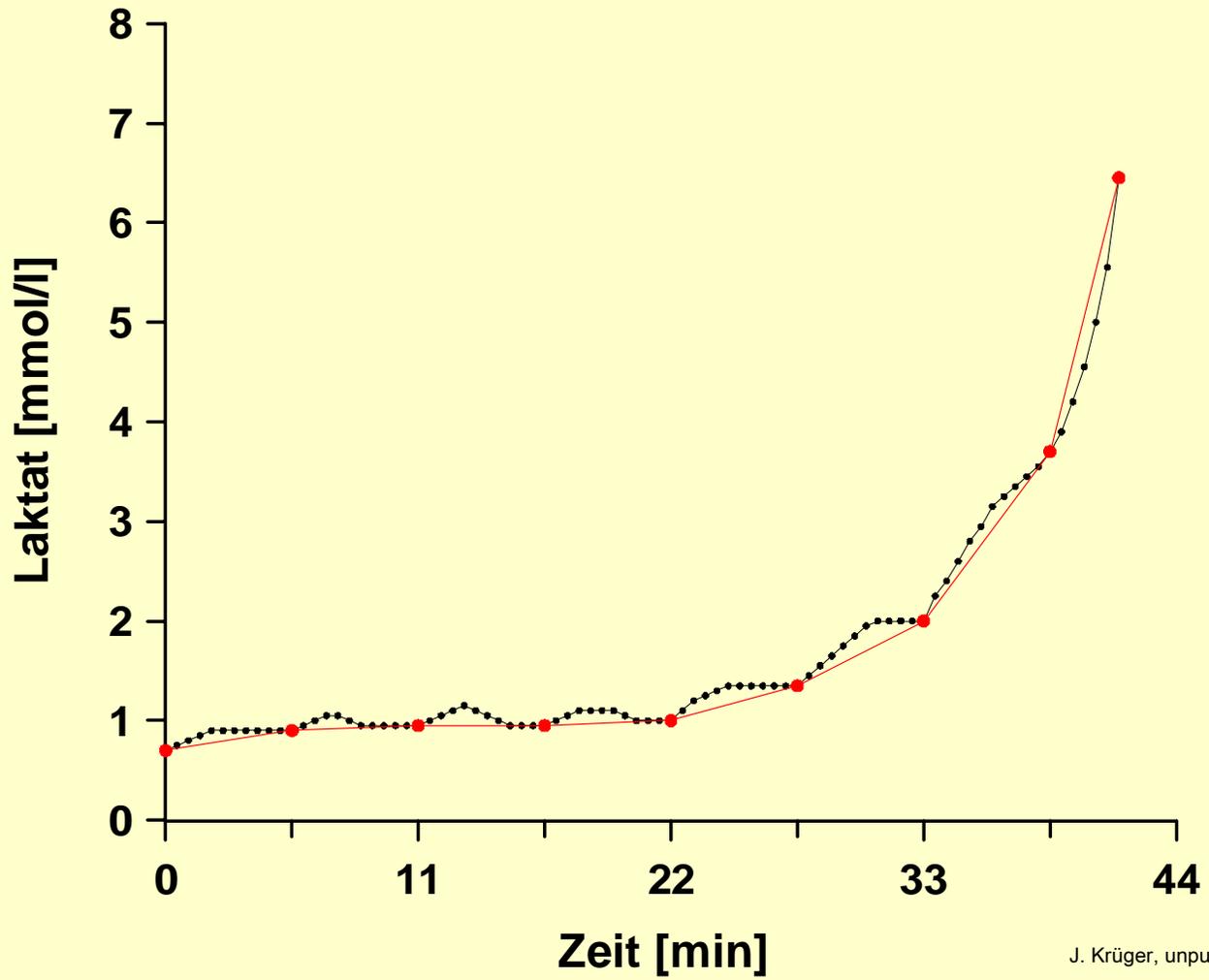


Glykolyse



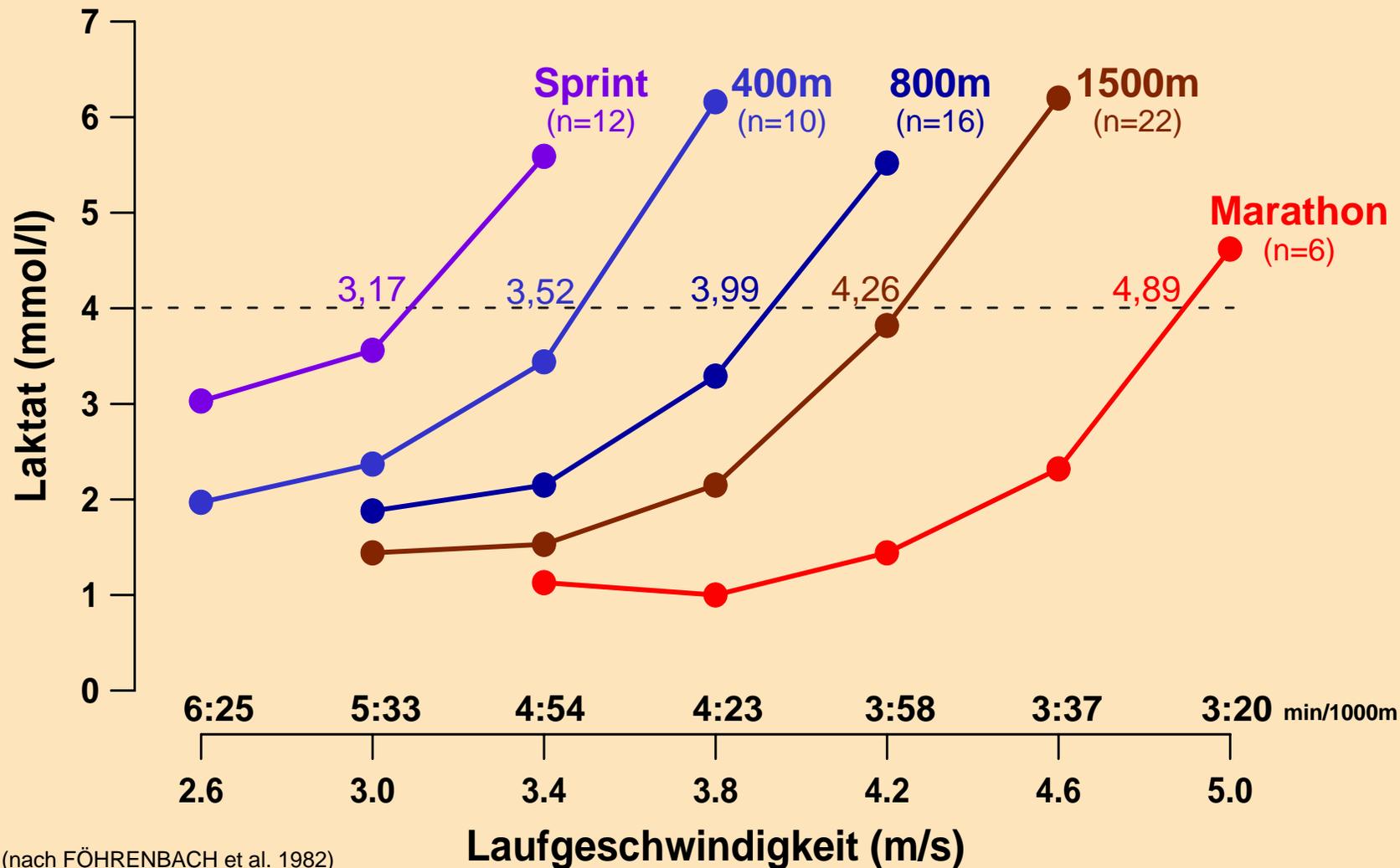
max. Laktat-steady-state beim Drehkurbel - Dauertest





J. Krüger, unpubliziert

Laktatwerte im Laufbandstufentest bei Läuferinnen unterschiedlicher Laufdisziplinen



(nach FÖHRENBACH et al. 1982)

Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi H, Rost R, Schürch P, Hollmann W:
Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor.
Sportarzt und Sportmedizin 27 (1976) 80-88, 109-112



1. Definition der **aerob-anaeroben Schwelle** als Kriterium zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit.
2. Empfehlungen zur Intensitätssteuerung des Trainings anhand der Laktat-Leistungs-Kurve.
3. Entwicklung einer Mikromethode der Laktatbestimmung aus dem Kapillarblut.

Definition der aerob-anaeroben Schwelle nach Mader et al. (1976)

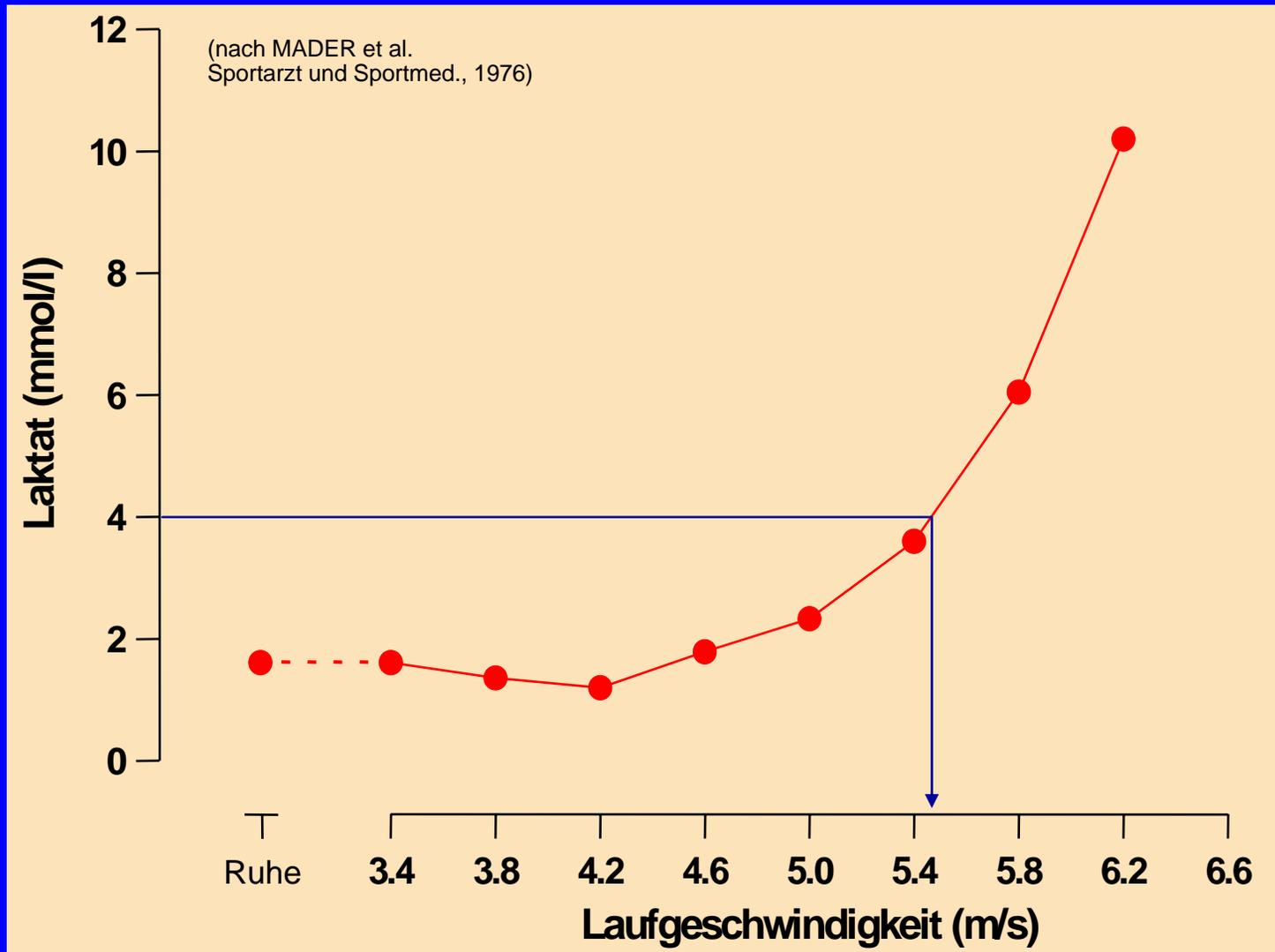
„Der Bereich des Übergangs zwischen der rein aeroben zur partiell anaeroben, laktazid gedeckten muskulären Energie-stoffwechselleistung wird als **aerob-anaerobe Schwelle** der Arbeitsmuskulatur unter den gegebenen Belastungsbedingungen bezeichnet. Dieser Bereich eignet sich zur Charakterisierung der Ausdauerleistungsfähigkeit, wenn man das Maximum der rein aerob abgedeckten energetischen Leistung mit dieser gleichsetzt.“

Definition der aerob-anaeroben Schwelle nach Mader et al. (1976)

„Der Bereich des Übergangs zwischen der rein aeroben zur partiell anaeroben, laktazid gedeckten muskulären Energie-stoffwechsellleistung wird als **aerob-anaerobe Schwelle** der Arbeitsmuskulatur unter den gegebenen Belastungsbedingungen bezeichnet. Dieser Bereich eignet sich zur Charakterisierung der Ausdauerleistungsfähigkeit, wenn man das Maximum der rein aerob abgedeckten energetischen Leistung mit dieser gleichsetzt. ...

...Als Kriterium zur Erfassung der aerob- anaeroben Schwelle bei spiroergometrischen Untersuchungen kann der Anstieg des Laktats auf **4mmol/l im peripheren Blut**, z.B. bei stufenweiser Belastungssteigerung gewertet werden.“

Aerob-anaerobe Schwelle

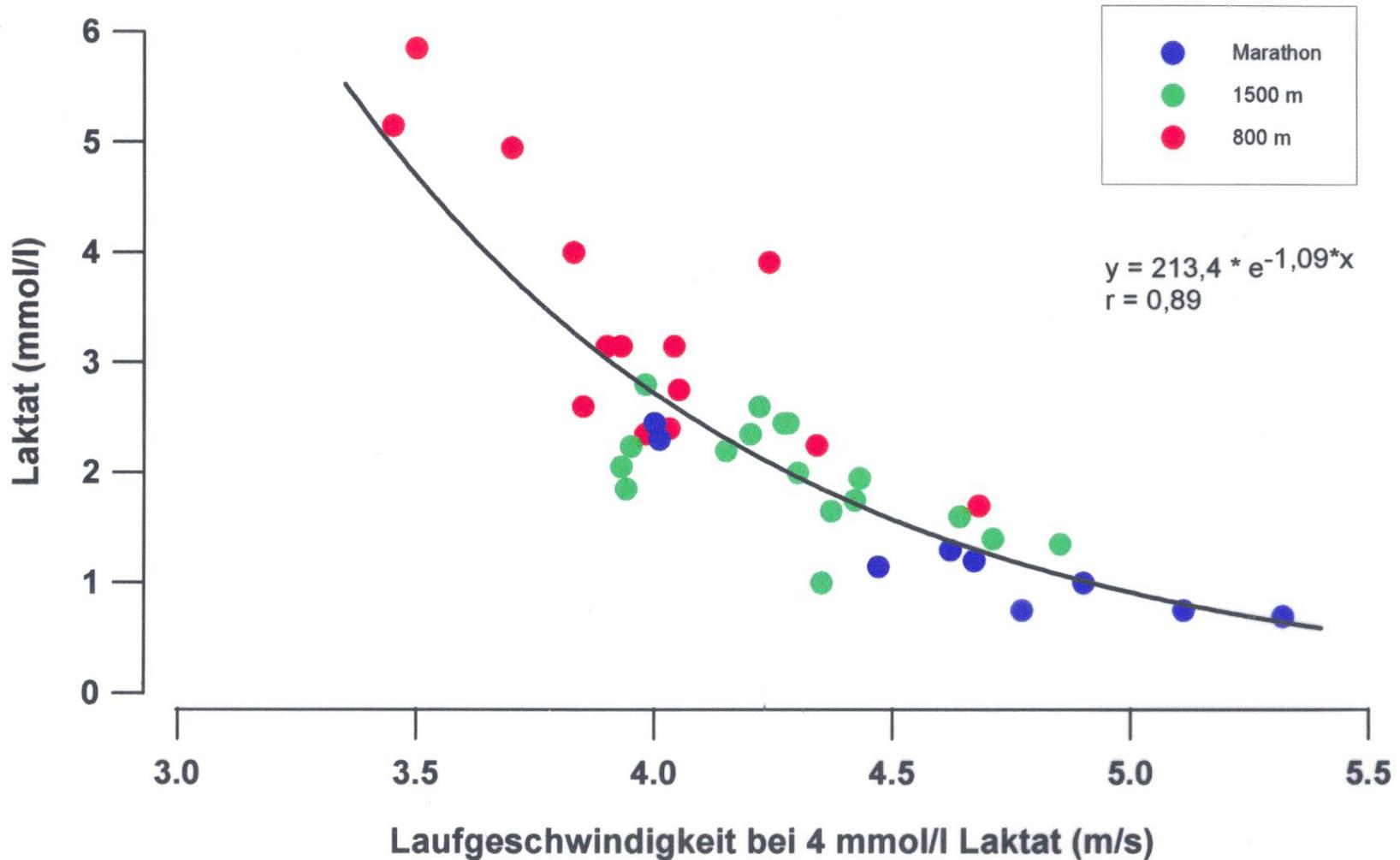


Aerob - Anaerobe Schwelle - Basis der laktatgestützten Trainingssteuerung

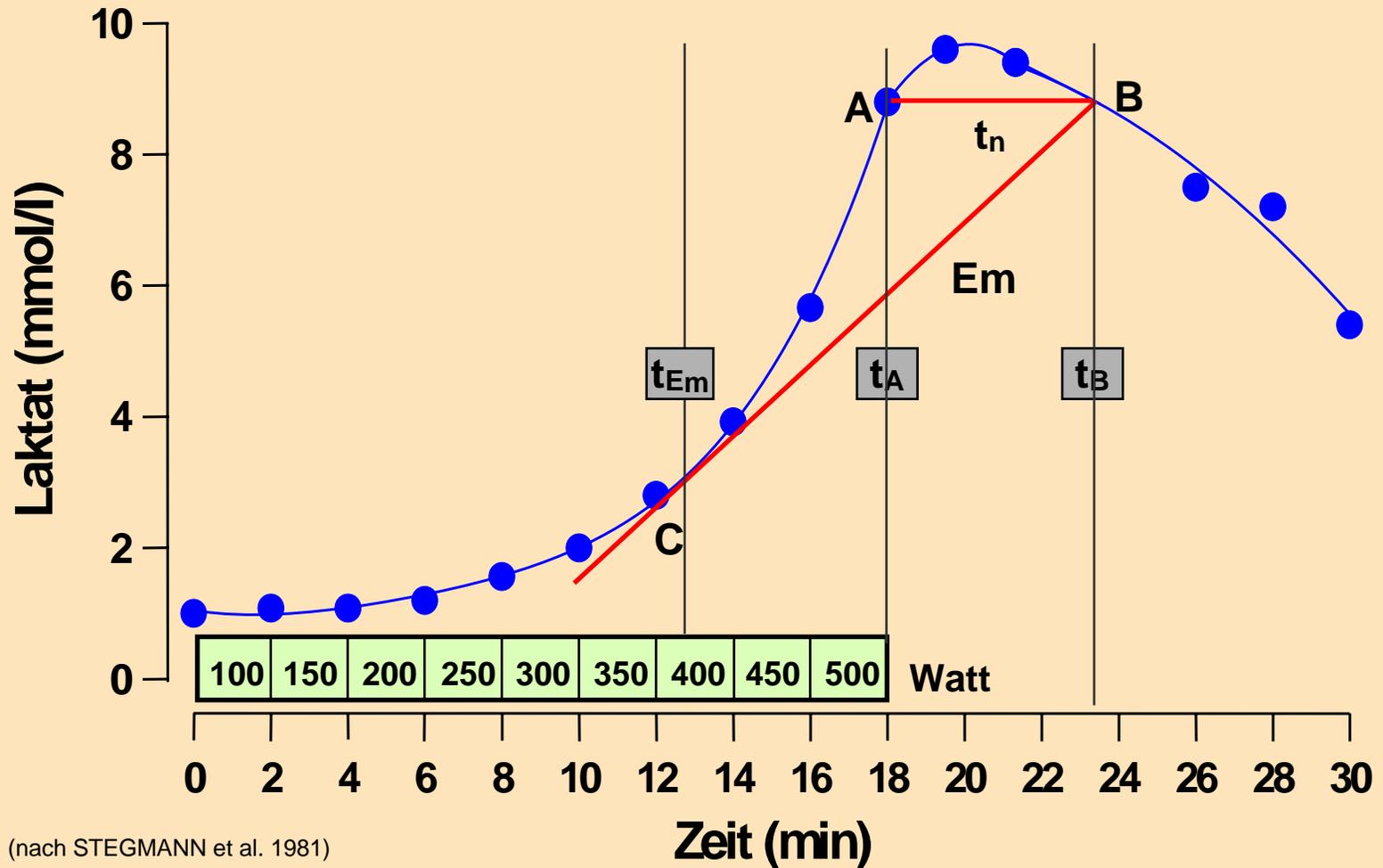
"Eine Untersuchung dieser Art erlaubt es ferner, klare Trainingshinweise zu geben. So können z. B. die Belastungsintensität in m/s, km/h oder in Zeit für 1000 m und der Bereich der Trainingspulsfrequenz

- 1. für extensives Dauerlauftraining unterhalb der aerob-anaeroben Schwelle mit Streckenlängen von mehr als 5 bis 8 km ($< 4,0$ mmol/l)**
- 2. für intensives Ausdauertraining im Bereich des aeroben-anaeroben Überganges mit Streckenlängen von 3 bis 10 km ($= 4,0$ mmol/l) und**
- 3. für intensive Laufbelastungen mit mittleren bis hohen metabolischen Azidosen durch Laktat angegeben werden ($> 4,0$ mmol/l)."**

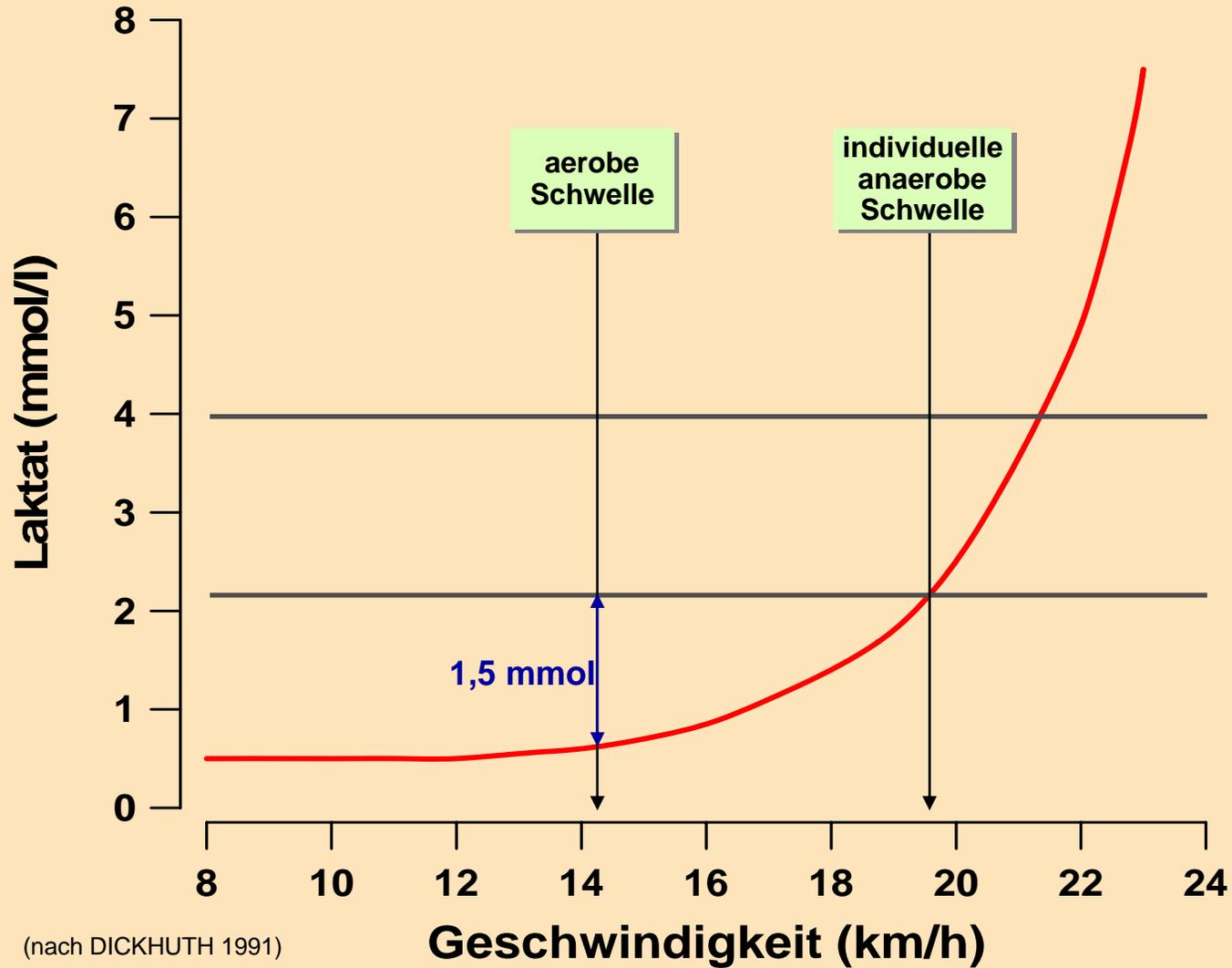
Trainingslaktat und Ausdauerleistungsfähigkeit bei Mittel- und Langstreckenläuferinnen



Individuelle anaerobe Schwelle

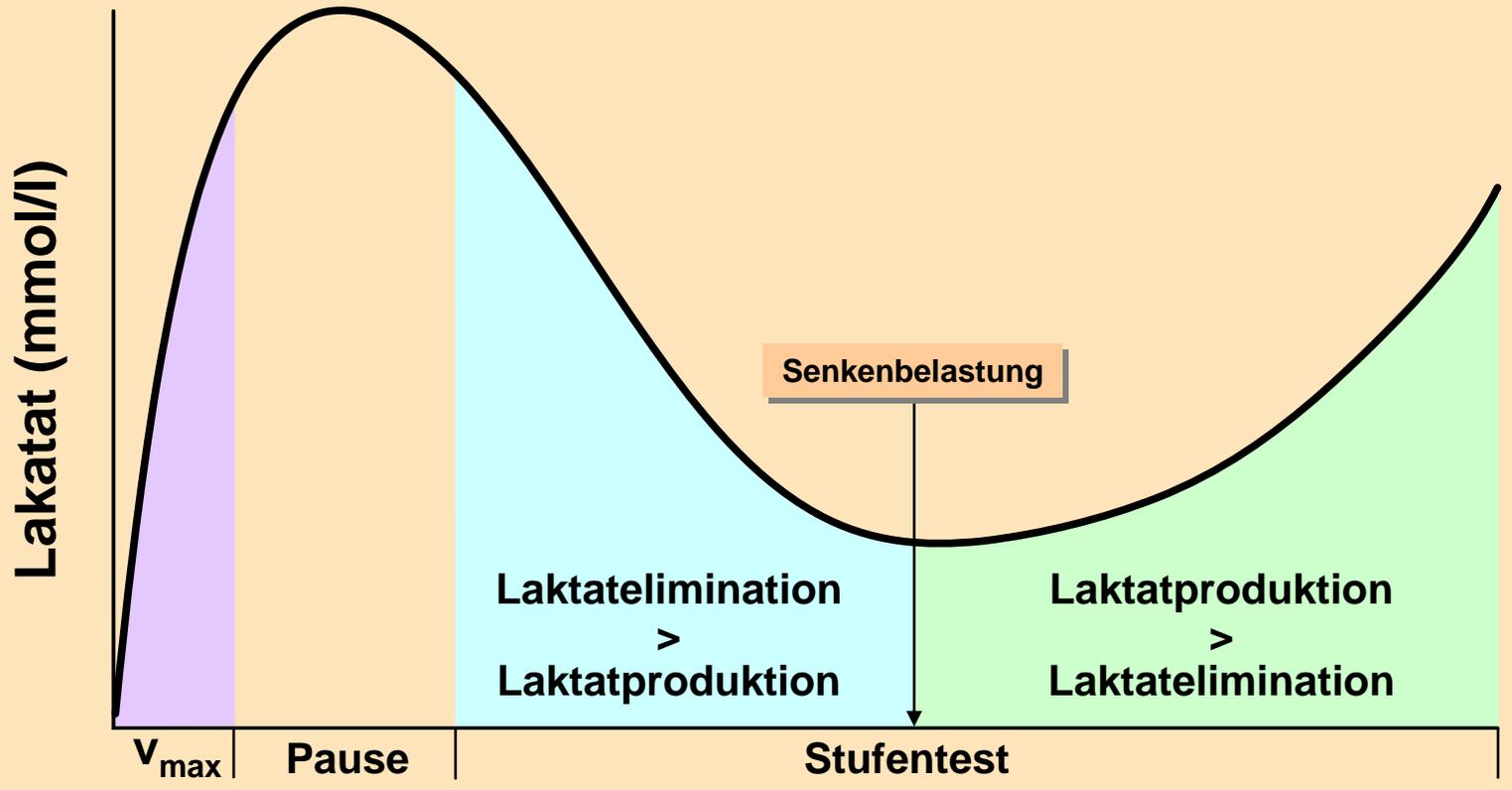


Schwellenbestimmung nach der +1,5mmol/l-Methode



Laktatsenke

(nach BRAUMANN et al., Dtsch Z Sportmed 42, 1991)



Einflussfaktoren auf die Laktat-Leistungskurve und die Schwellenwerte

Ausdauerleistungsfähigkeit

Belastungsschema

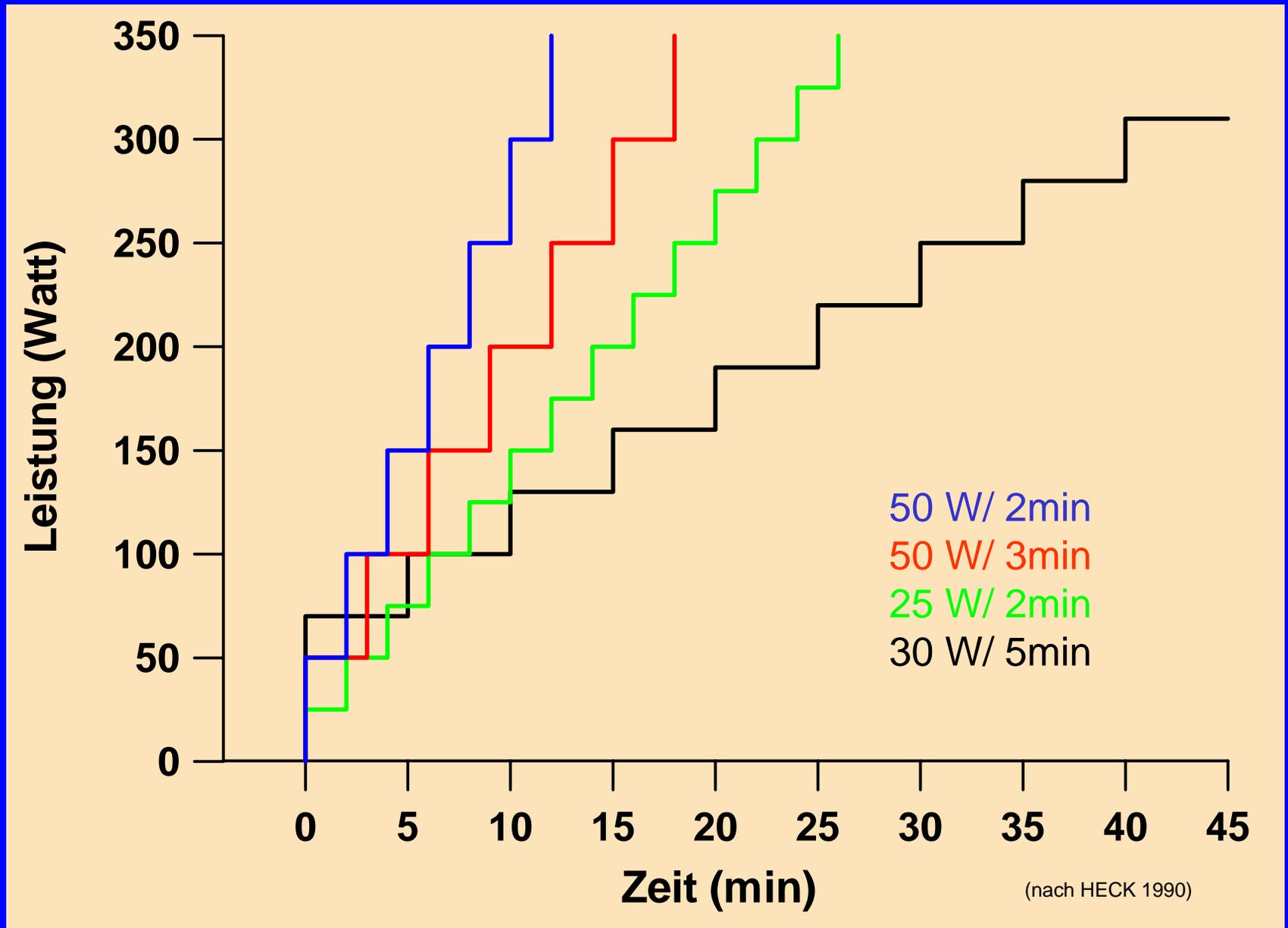
Glykogenzustand der Arbeitsmuskulatur

Blutabnahmeort

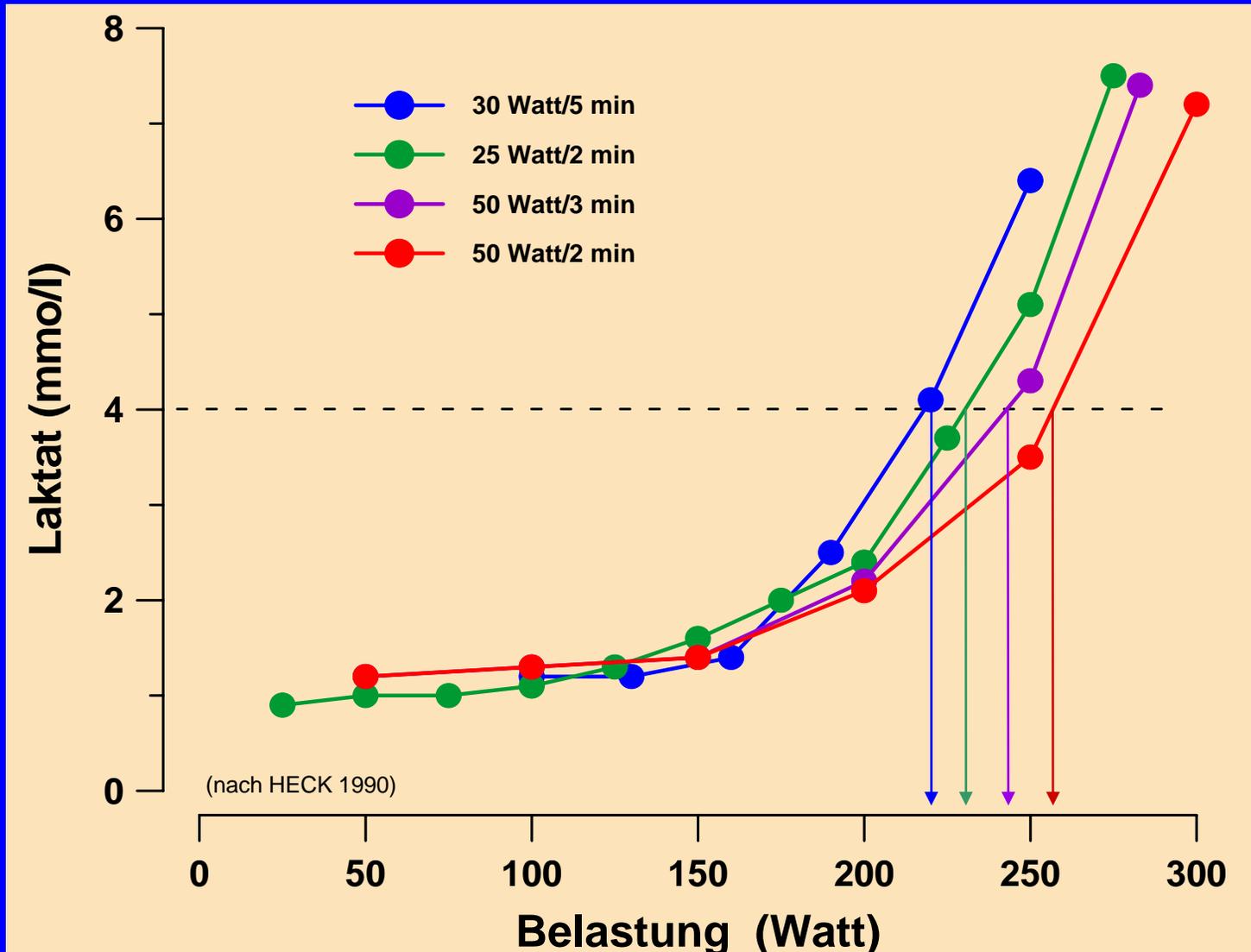
Analysekompartement des Blutes

Belastungsgerät

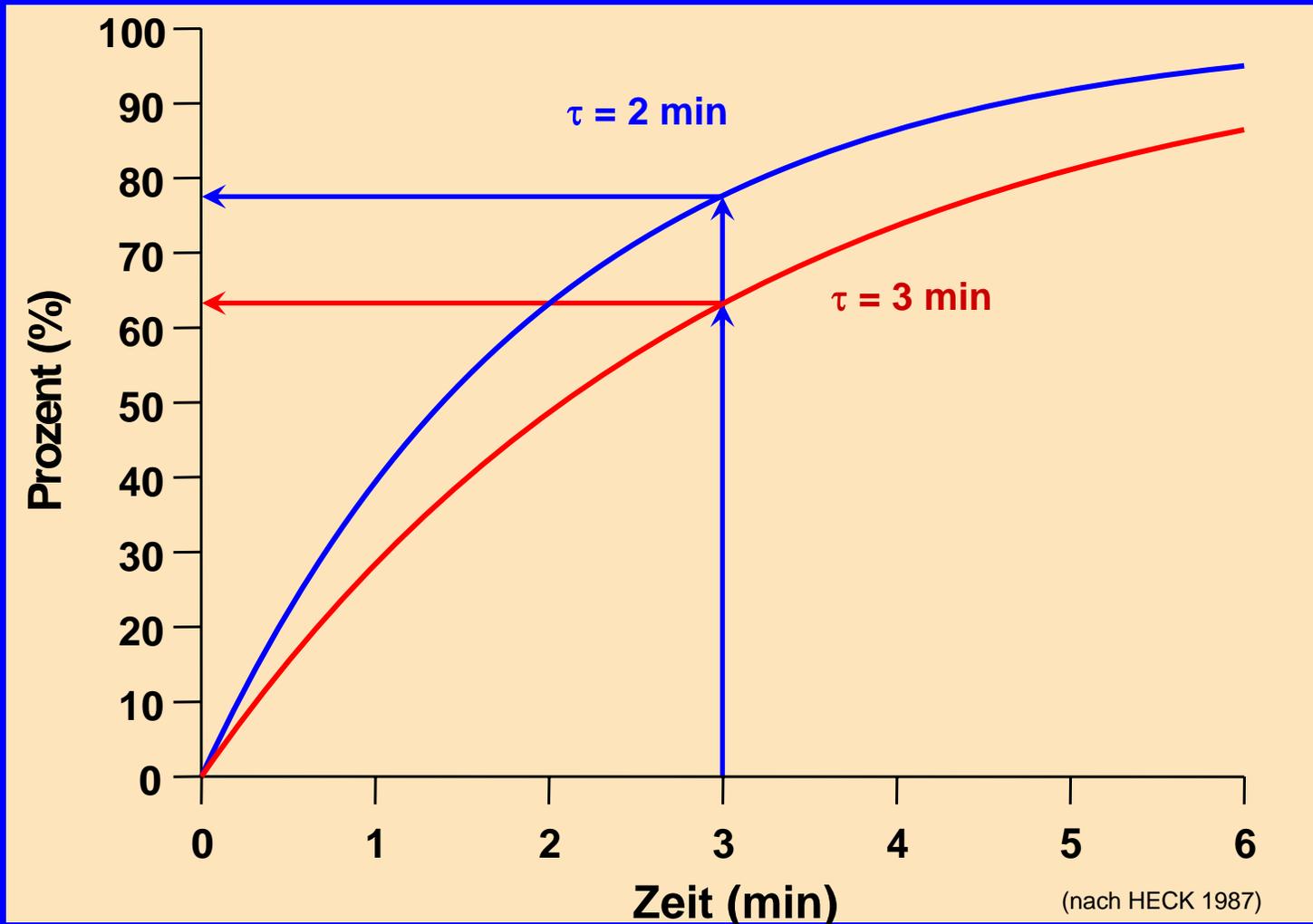
Verschiedene Testschemata für die Fahrradergometrie



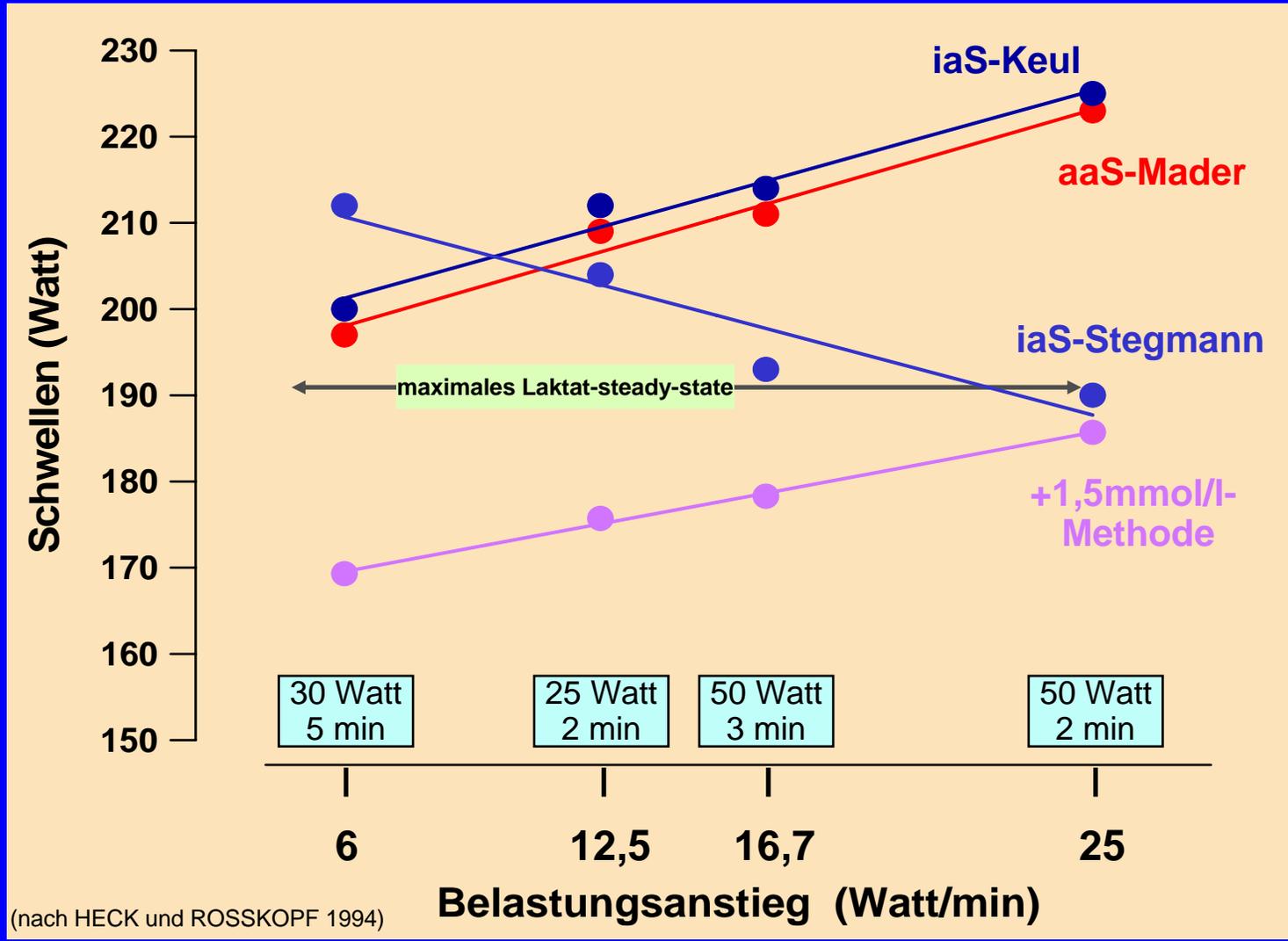
Laktatleistungswerte in Abhängigkeit von Testschemata



Anstieg der Exponentialfunktion $y=100 (1-e^{-t/\tau})$ für verschiedene Zeitkonstanten

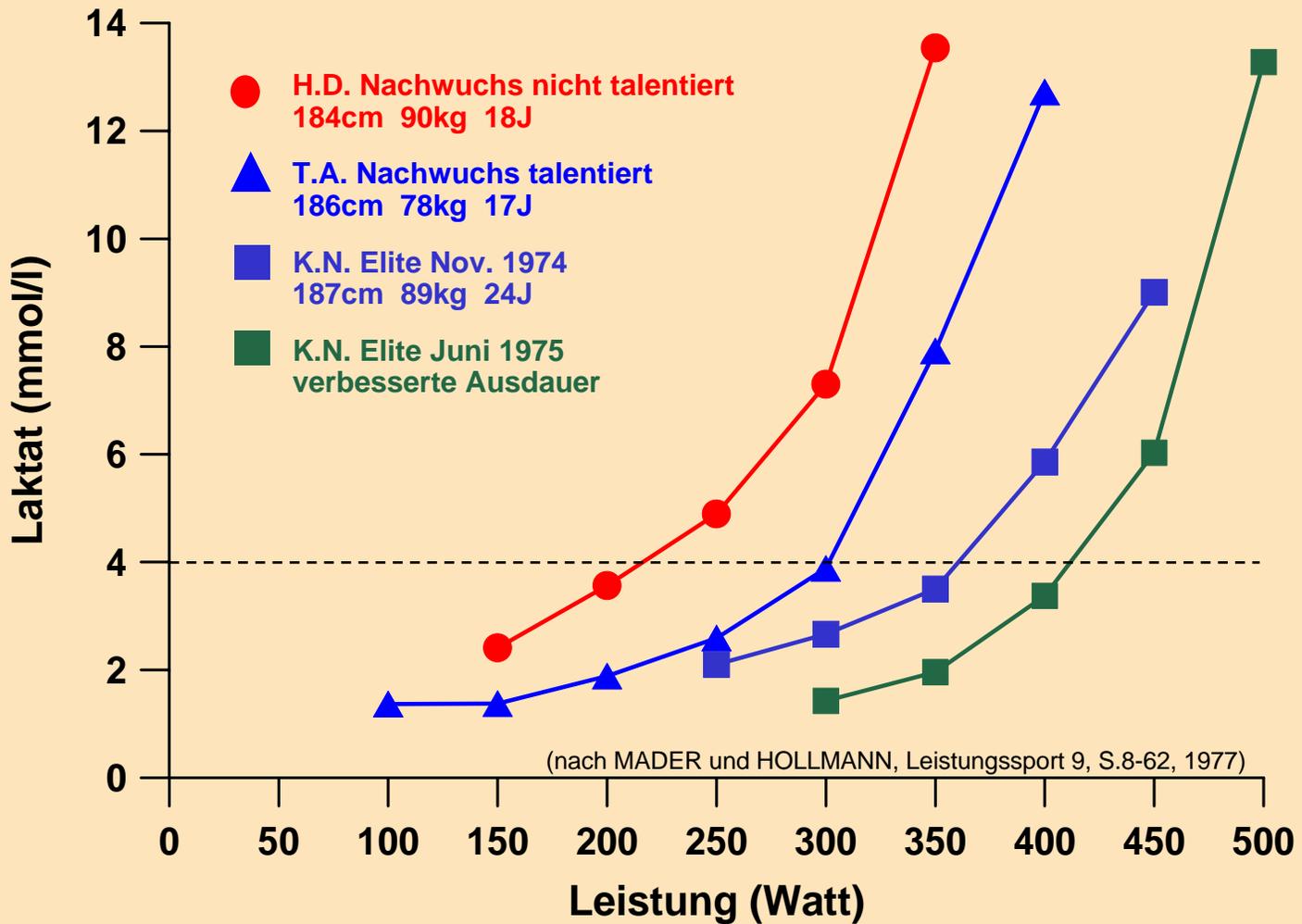


Schwellenkonzeppte



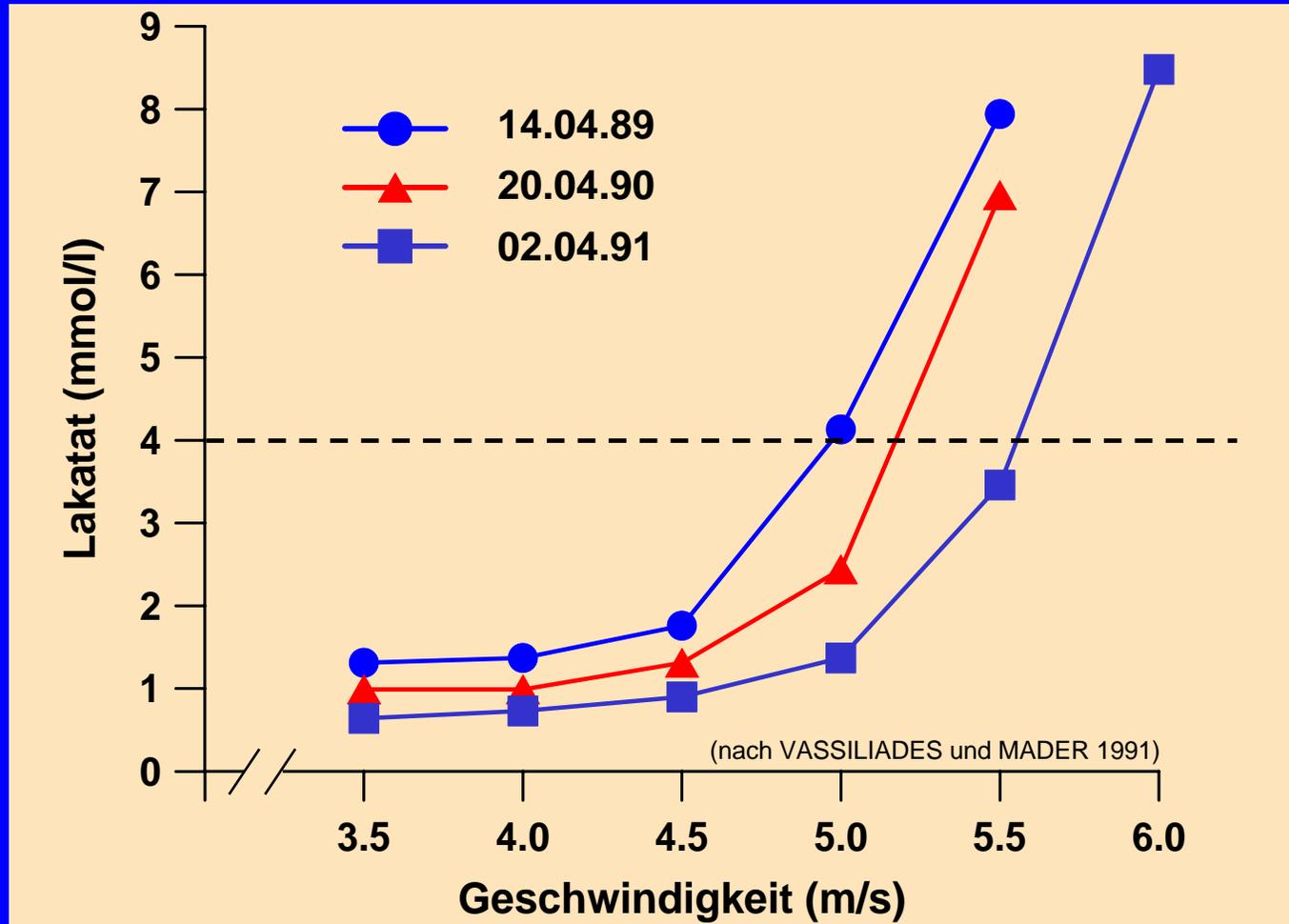
(nach HECK und ROSSKOPF 1994)

Laktatwerte bei Nachwuchs- und Eliteathleten

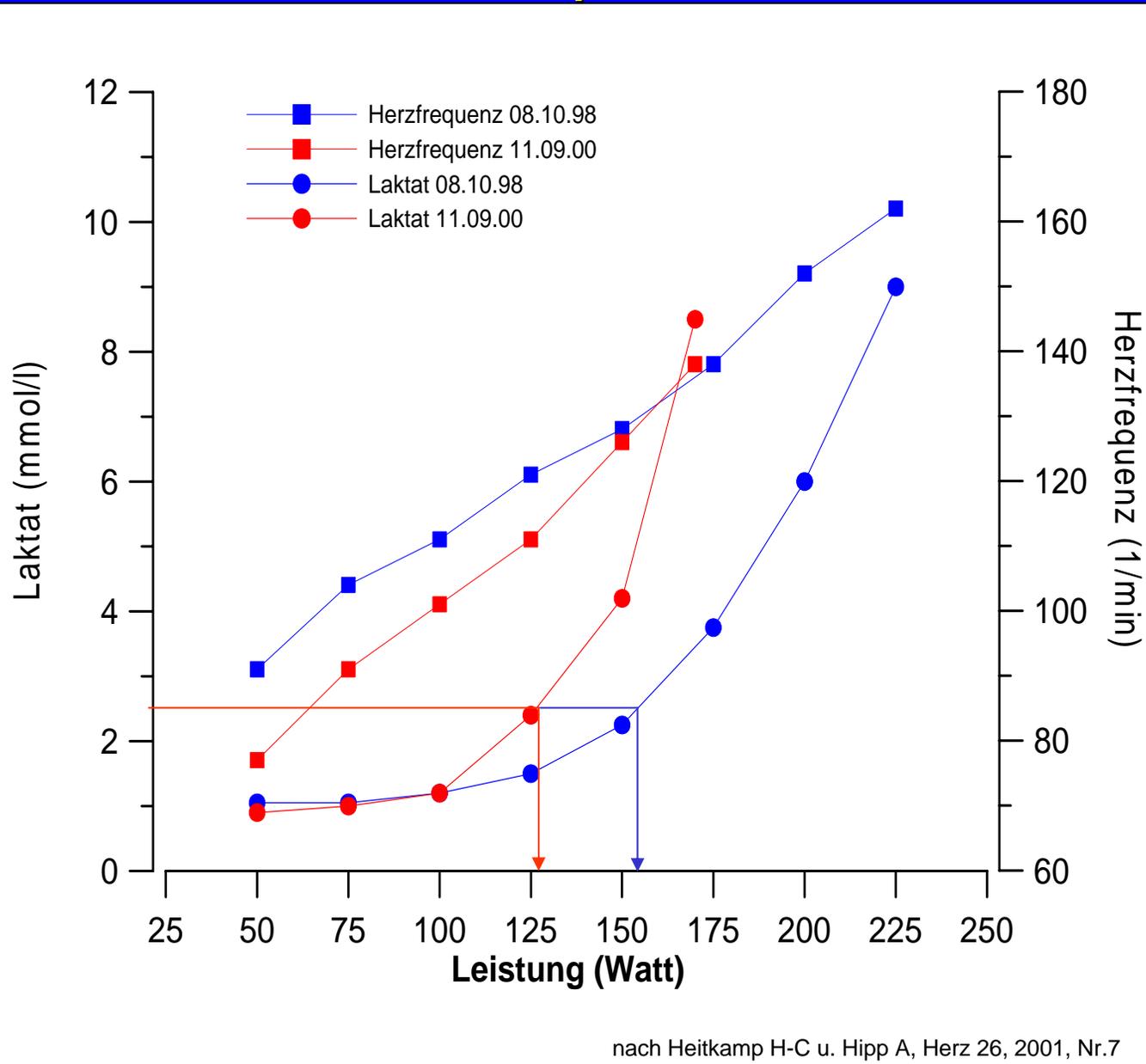


Beispiele für Laktatleistungskurven im Quer- und Längsschnitt

Trainingsbedingte Veränderung der Laktatleistungskurve

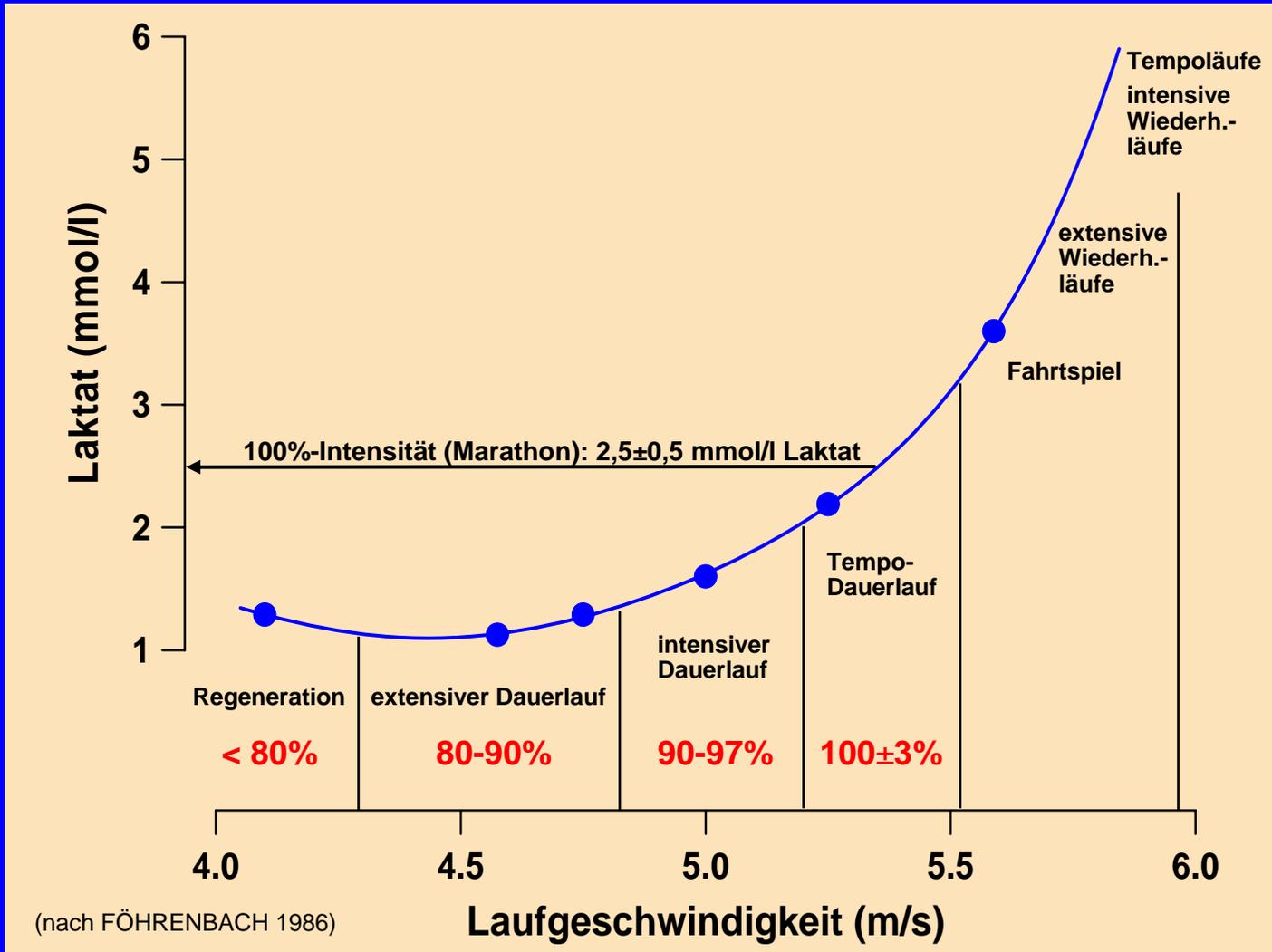


Verschlechterung der Belastbarkeit bei einem Herzinfarktpatienten

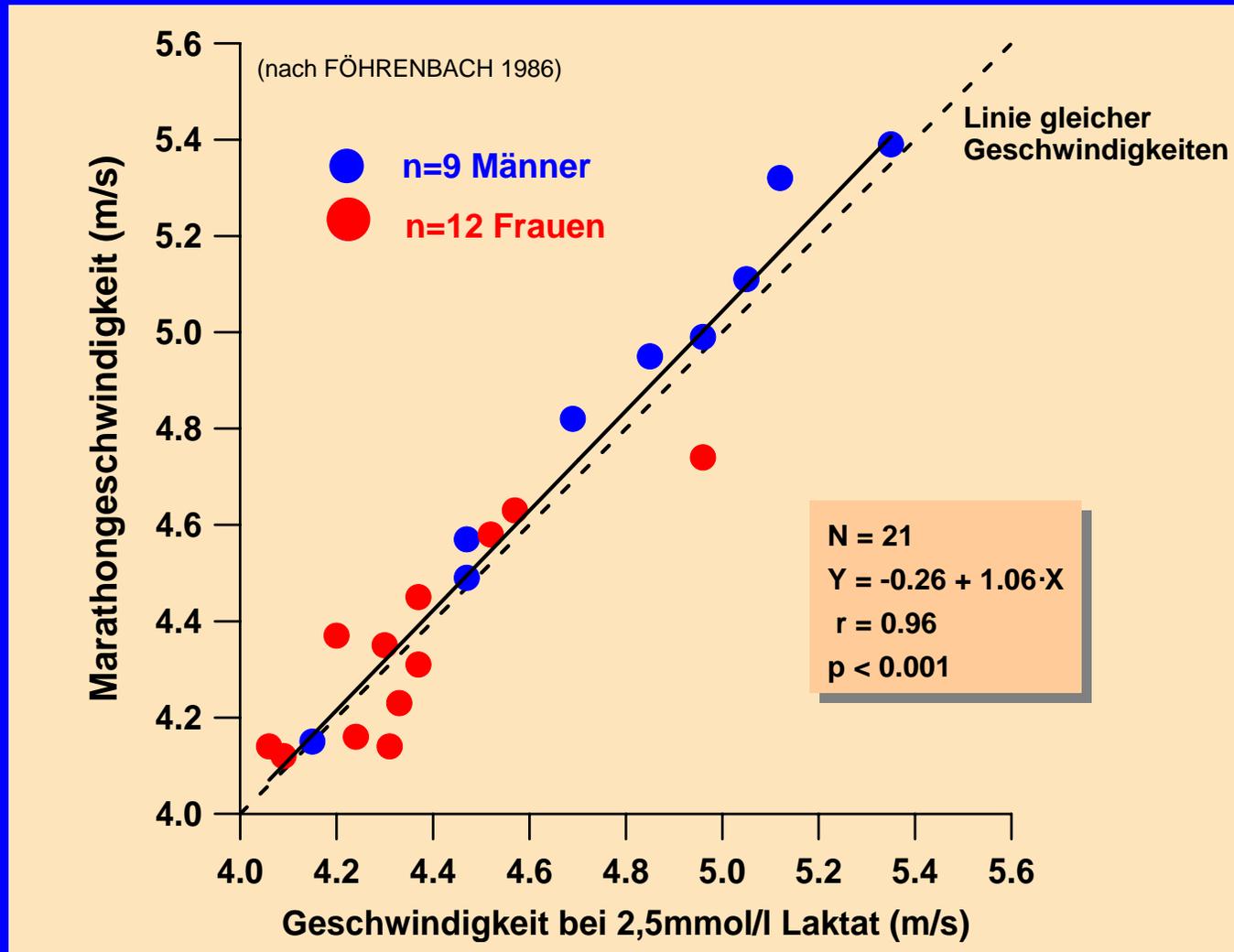


Trainings-/Belastungssteuerung mittels Laktat

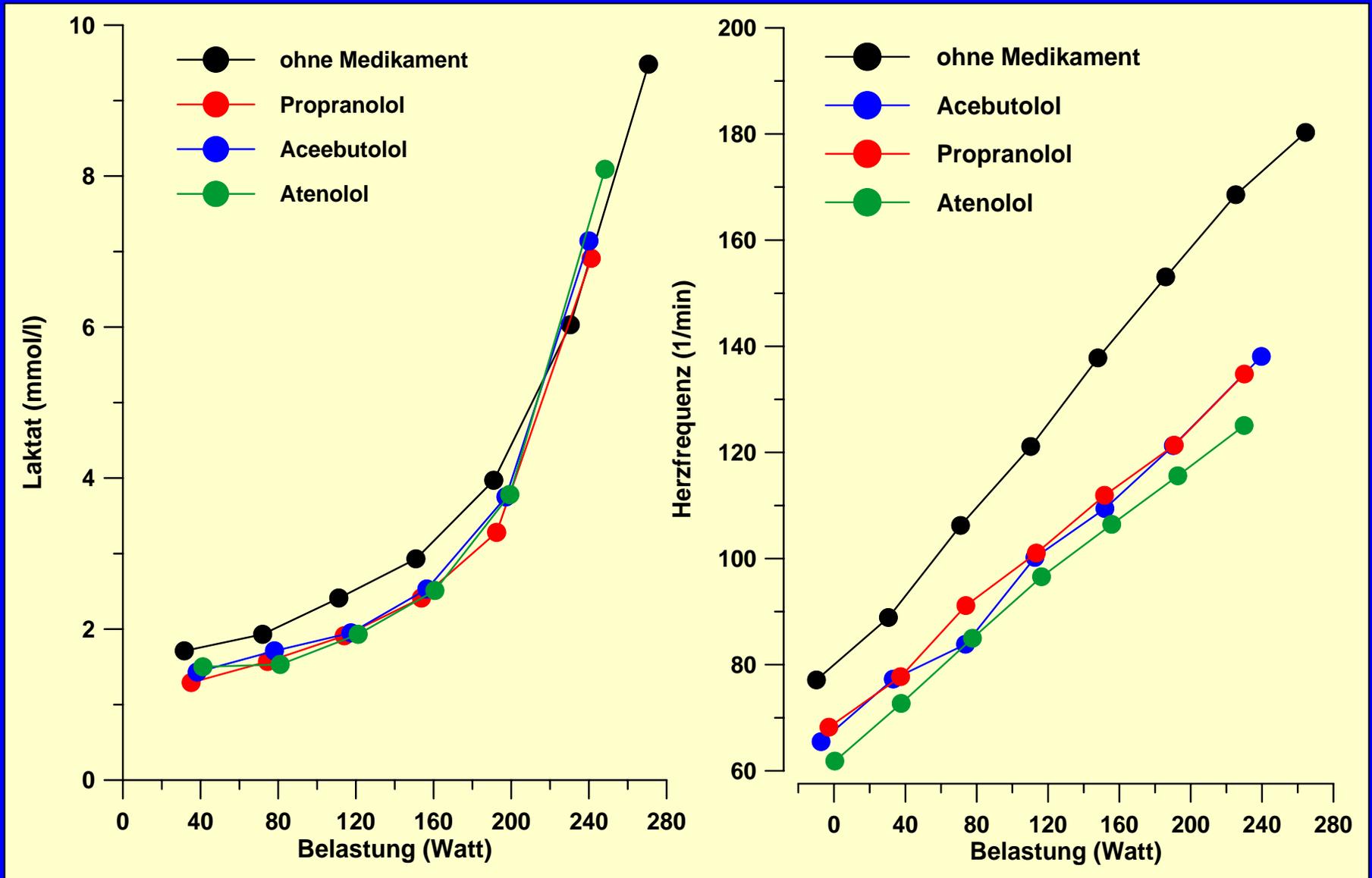
Trainingsempfehlung für Marathonläufer



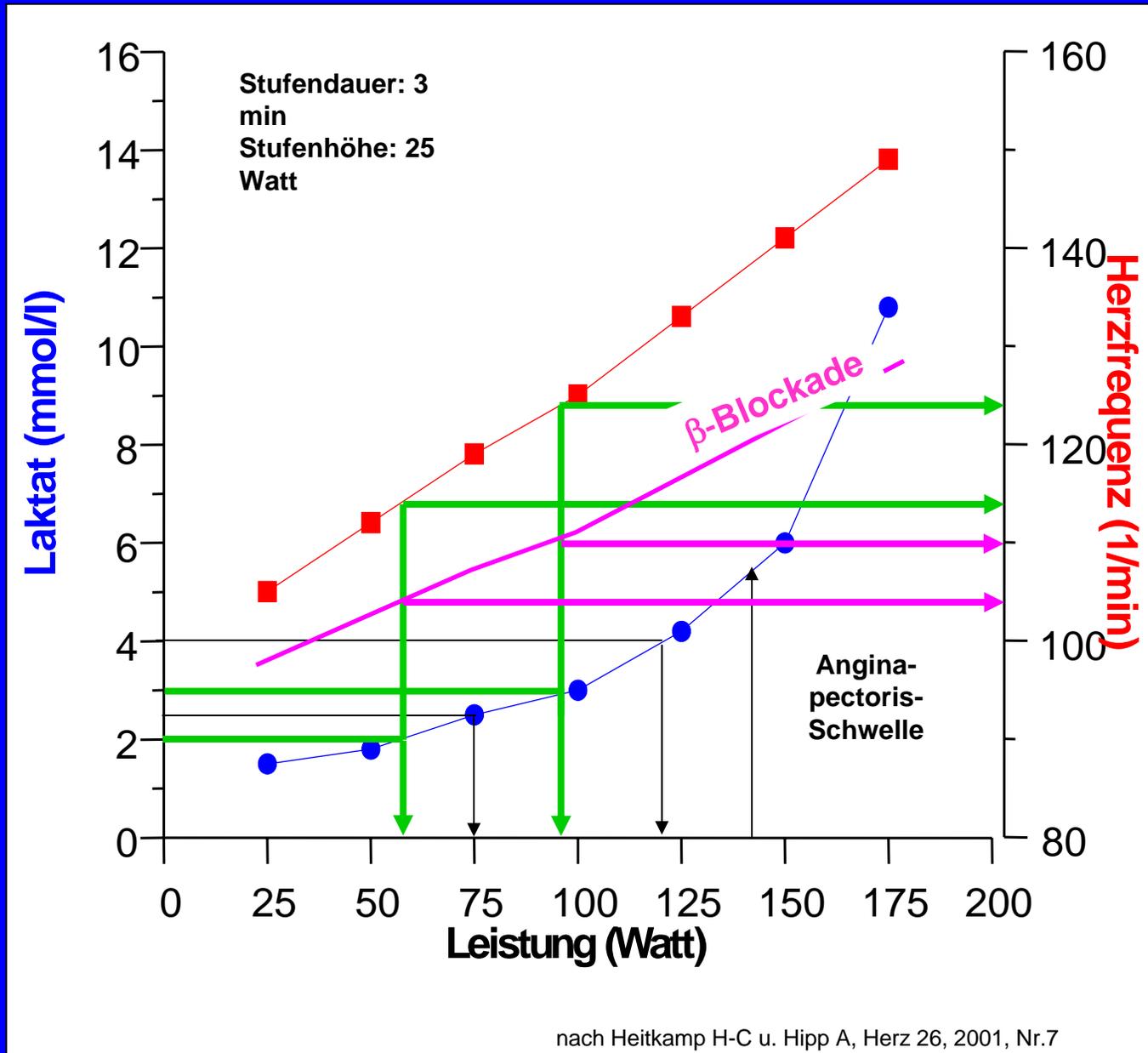
Vergleich zwischen der Marathongeschwindigkeit und der Geschwindigkeit bei 2,5mmol/l Laktat



Wirkung verschiedener Betarezeptorenblocker auf Laktat und Herzfrequenz während ansteigender Arbeit auf dem Fahrradergometer



Fahrradergometer-Test bei einem Herzinfarktpatienten



Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit