

Ausdauer – Beurteilung der Leistungsfähigkeit im Spiegel physiologischer Anpassungen

von

Dr. med. Dr. Sportwiss. Thorsten Schiffer
Deutsche Sporthochschule Köln



Dr. med. Dr. Sportwiss. Thorsten Schiffer, geb. 1968 in Hamburg. Sport- und Medizinstudium in Köln mit Abschluss als Diplom-Sportlehrer 1998. Bis 2002 ärztlich klinisch tätig. Seit 2003 Facharzt für Chirurgie. Spezialisierung in Sport-, Tauch- und Rettungsmedizin. Seit 2003 Lehr- und Forschungstätigkeit als Studienrat im Hochschuldienst im Institut für Motorik und Bewegungstechnik – Leichtathletik, Schwimmen, Turnen an der Deutschen Sporthochschule Köln mit dem wissenschaftlichen Schwerpunkt im Bereich leistungsphysiologischer und anatomisch-struktureller Anpassungen an Kraft- und Ausdauertraining.



**Dr. med. Dr. Sportwiss. Thorsten
Schiffer**

Facharzt für Chirurgie
Tauchmedizin - Sportmedizin
Diplom-Sportlehrer

**Deutsche Sporthochschule Köln
Institut für Motorik und
Bewegungstechnik**

Carl-Diem-Weg 6
50933 Köln

Email: t.schiffer@dshs-koeln.de

- ① Definition Ausdauer
- ② Energiebereitstellung
- ③ Allgemeine aerobe dynamische Ausdauer
- ④ Leistungslimitierende Faktoren
- ⑤ Anpassungen an Ausdauertraining
- ⑥ Exkurs Laktat
- ⑦ Blutvolumen + Doping
- ⑧ Erythropoetin + Doping

Ausdauertraining

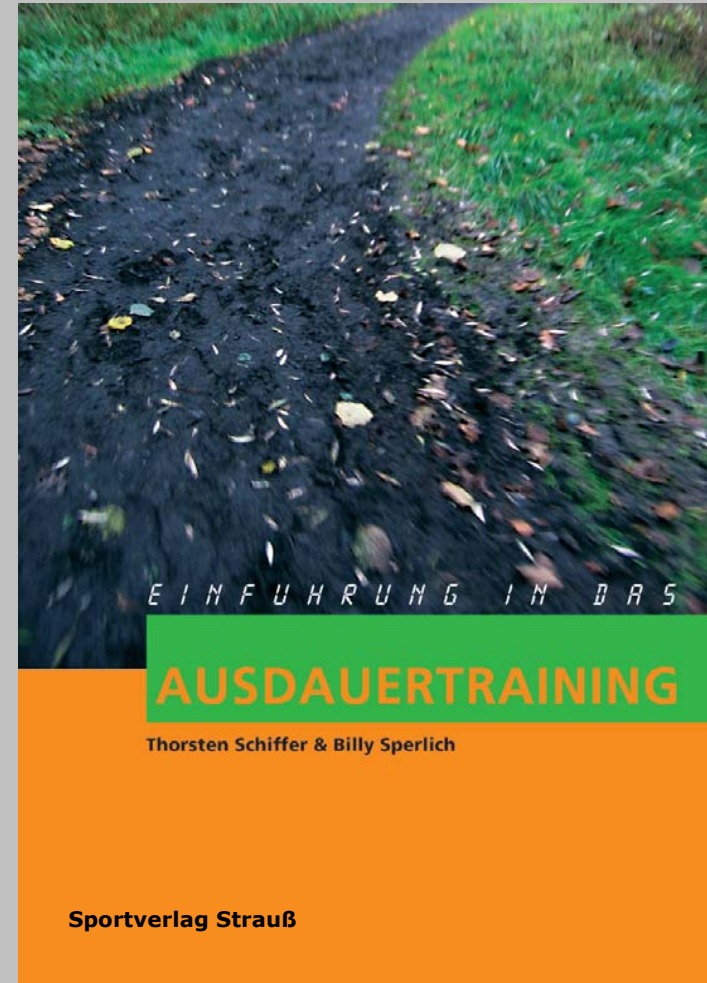
Wer oder was ist „ausdauernd“?

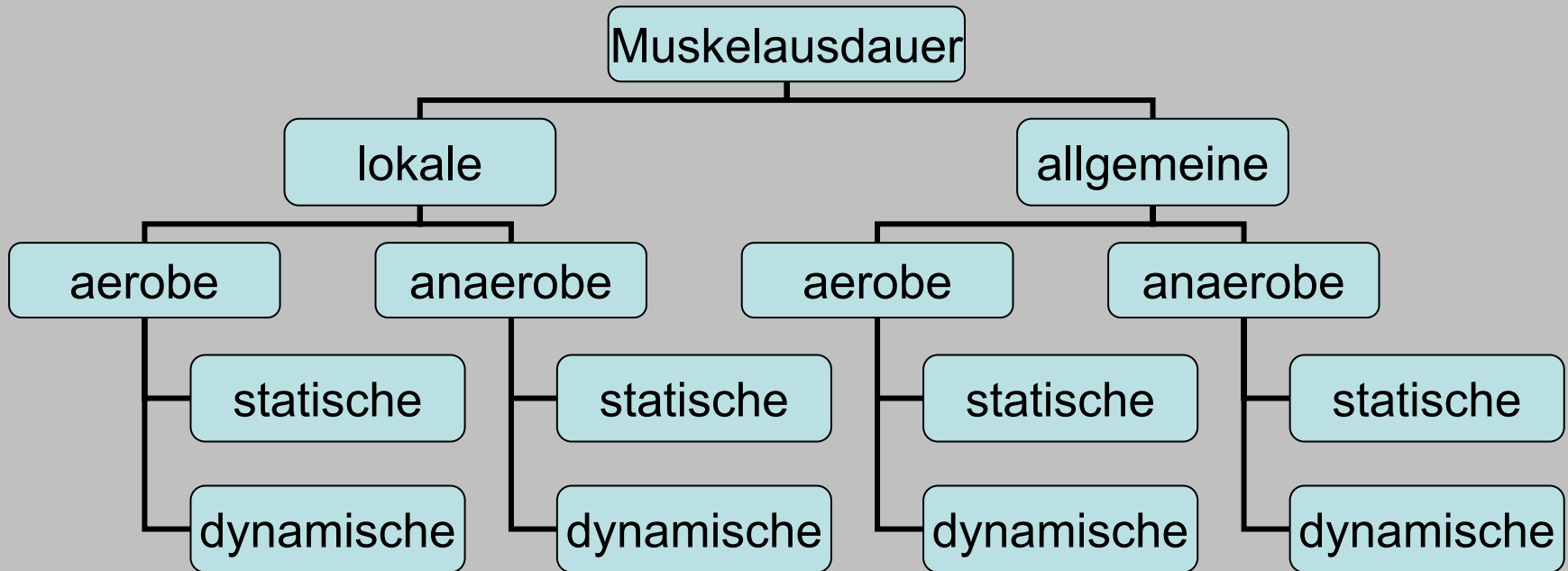
Bei einhergehender Betrachtung des Begriffs „Ausdauer“ sind darin mehrere Facetten zu erkennen. Wenn ein Hochleistungssportler 5000 Meter unter 13 Minuten läuft, ist er dann ausdauernd oder schnell? Hat Ausdauer etwas mit Schnelligkeit zu tun? Wenn Jan Ullrich ein Zeitfahren bei der Tour de France gewinnt und man seine definierte Oberschenkelmuskulatur betrachtet, ist er dann kräftig, schnell oder ausdauernd? Im Profifußball wird 90 Minuten lang abwechselnd gesprintet und getrabt. Ist das ausdauernd oder können sich Fußballspieler sehr gut erholen? Eines können wir jetzt schon festhalten. Selbst in den klassischen Ausdauersportarten, Laufen, Radfahren und Schwimmen gibt es „die“ Ausdauer nicht. Sie ist immer gepaart mit den konditionellen Fähigkeiten Koordination (Technik), Kraft (Kraftausdauer) und Schnelligkeit (Schnelligkeitsausdauer).

Definition

Auf Grund der Komplexität des Ausdauerbegriffs ist eine alle Gegebenheiten umfassende Definition schwierig. Daher sind in zahlreichen Lehrbüchern mehr oder weniger komplexe Definitionen zu finden.

Die meisten Definitionen beruhen auf den Kernaussagen der von Hollmann geprägten „Kölner Sportmedizin“. Demnach wird die Ausdauer als Ermüdungswiderstandsfähigkeit angesehen. Bei gegebenen muskulären Leistungen wird die Ausdauer aus didaktischen Gründen nach ihrer morphologischen (mehr oder weniger als 1/6 - 1/7 der benutzten Muskulatur), biochemischen (aerob - anaerob) und biophysikalischen (statisch - dynamisch) Beanspruchung des Organismus eingeteilt.





Einteilung nach Hollmann

Ein Hauptziel sämtlicher Anpassungen ist die Optimierung der zur Bewegungsausführung erforderlichen energetischen Prozesse.

1. ATP

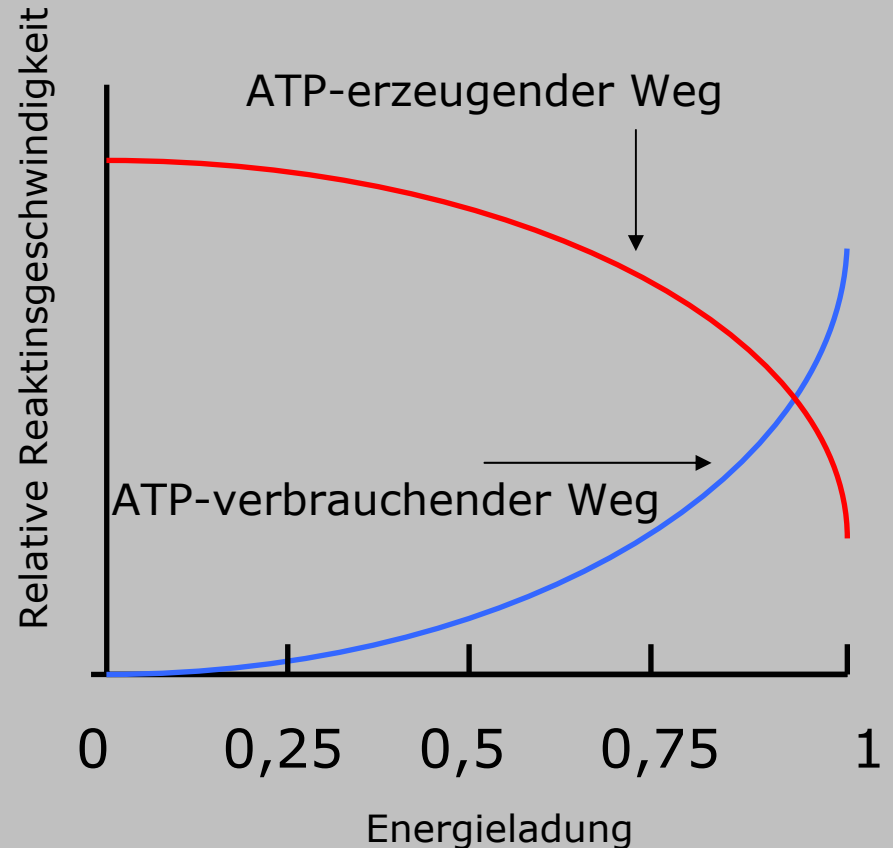
2. Resynthesewege

Energieladung in einer Zelle steuert die [ATP]

Energieladung:

Quotient aus $\text{ATP} + \frac{1}{2} \text{ADP}$ und
 $\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP}$

Wert ist zwischen 0 (nur AMP) und 1
(nur ATP)



Die **Resynthese** des ADP kann auf verschiedenen
Wege erfolgen:

ADP + Cr-phosphat --> ATP + Creatin (LOHMANN Reaktion)

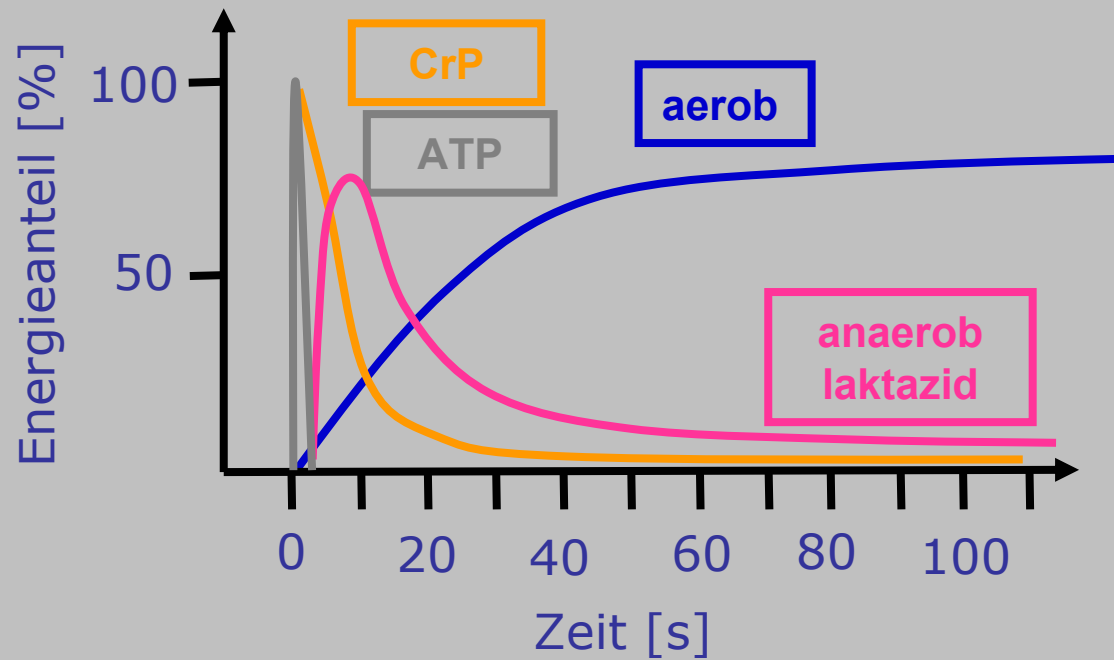
--> anaerob **alaktazide** Energiebereitstellung

ADP + Glukose (Glykogen) --> ATP + Laktat (anaerobe
Glykolyse)

--> anaerob **laktazide** Energiebereitstellung

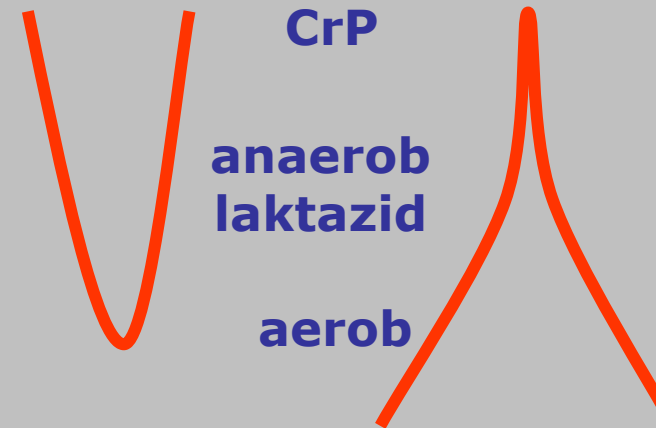
ADP + Glukose, Fettsäuren oder Proteine + Sauerstoff
--> ATP + CO₂ + H₂O (via Zitratzyklus/Atmungskette)

--> aerobe Energiebereitstellung



Leistung

Kapazität

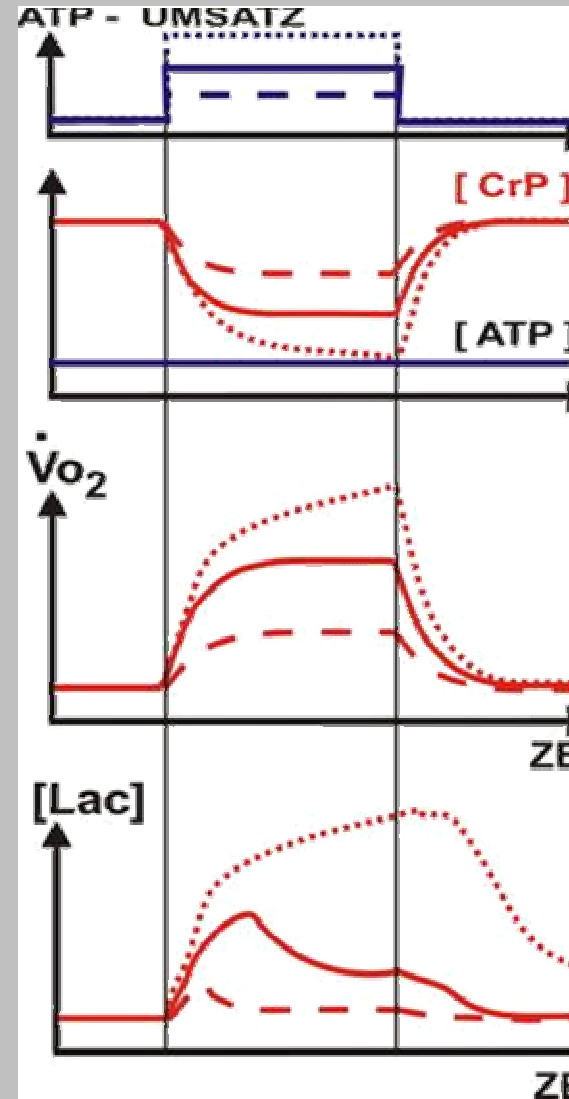
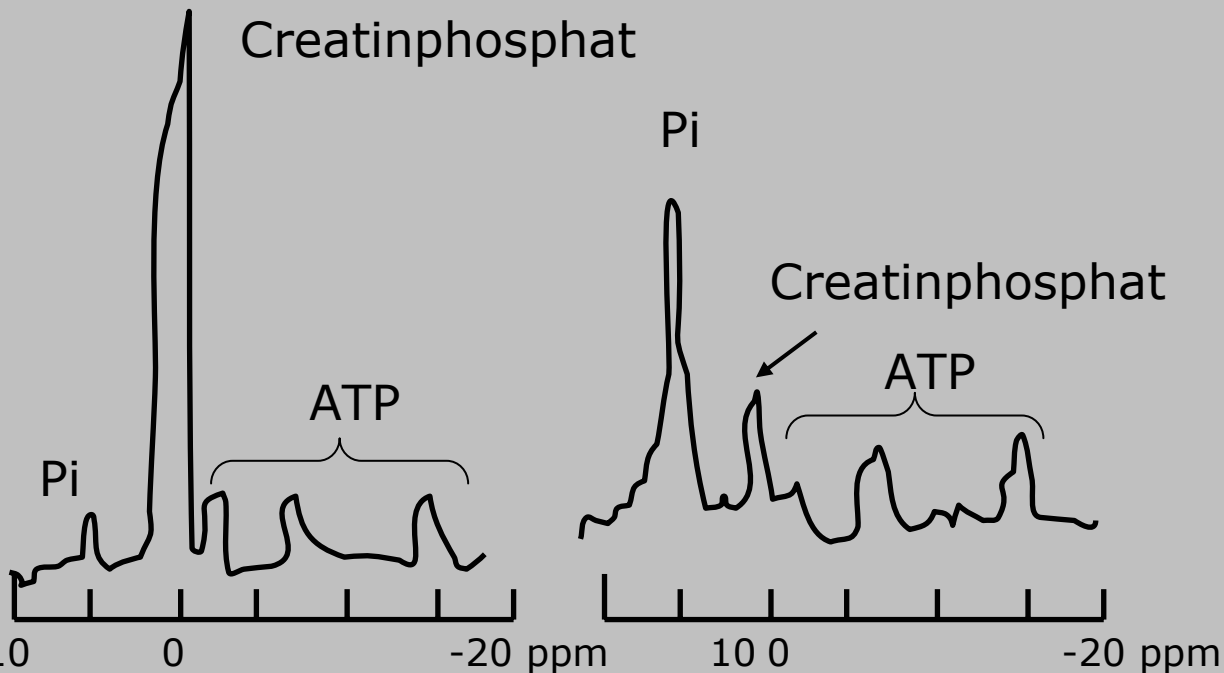


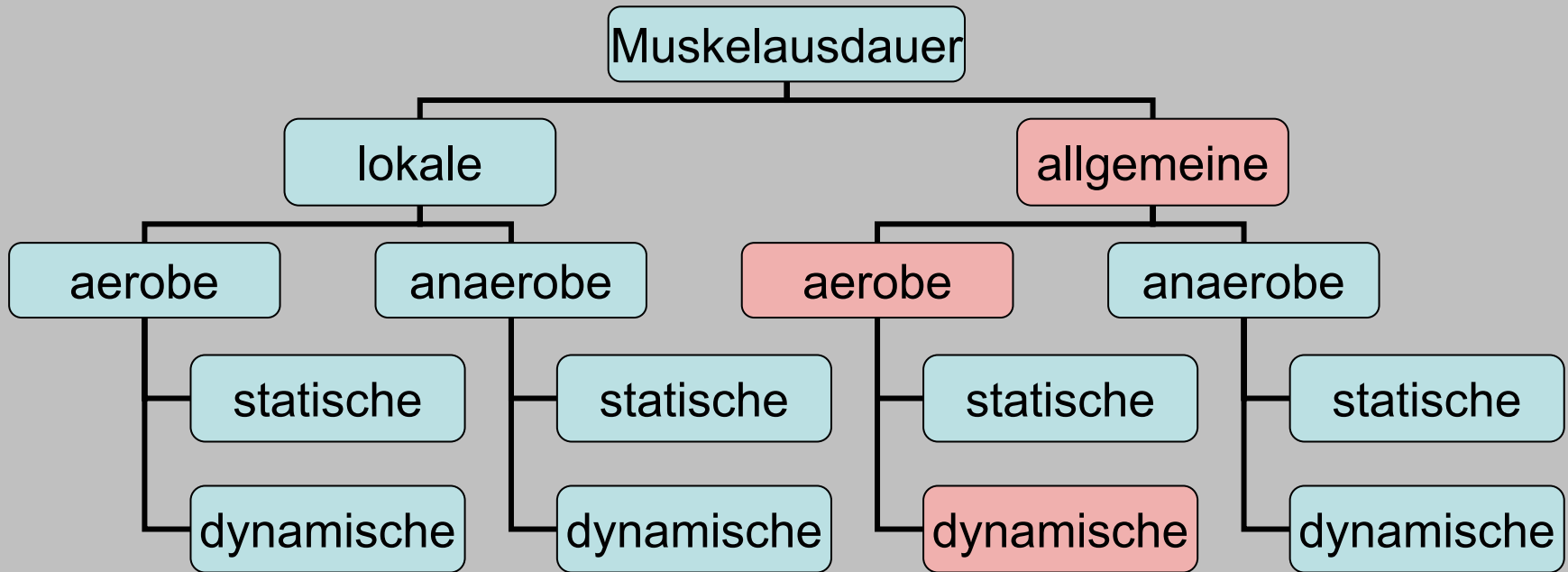
Fließender Übergang der
Stoffwechselprozesse

Darstellung zellulärer Prozesse

Vor der Arbeit

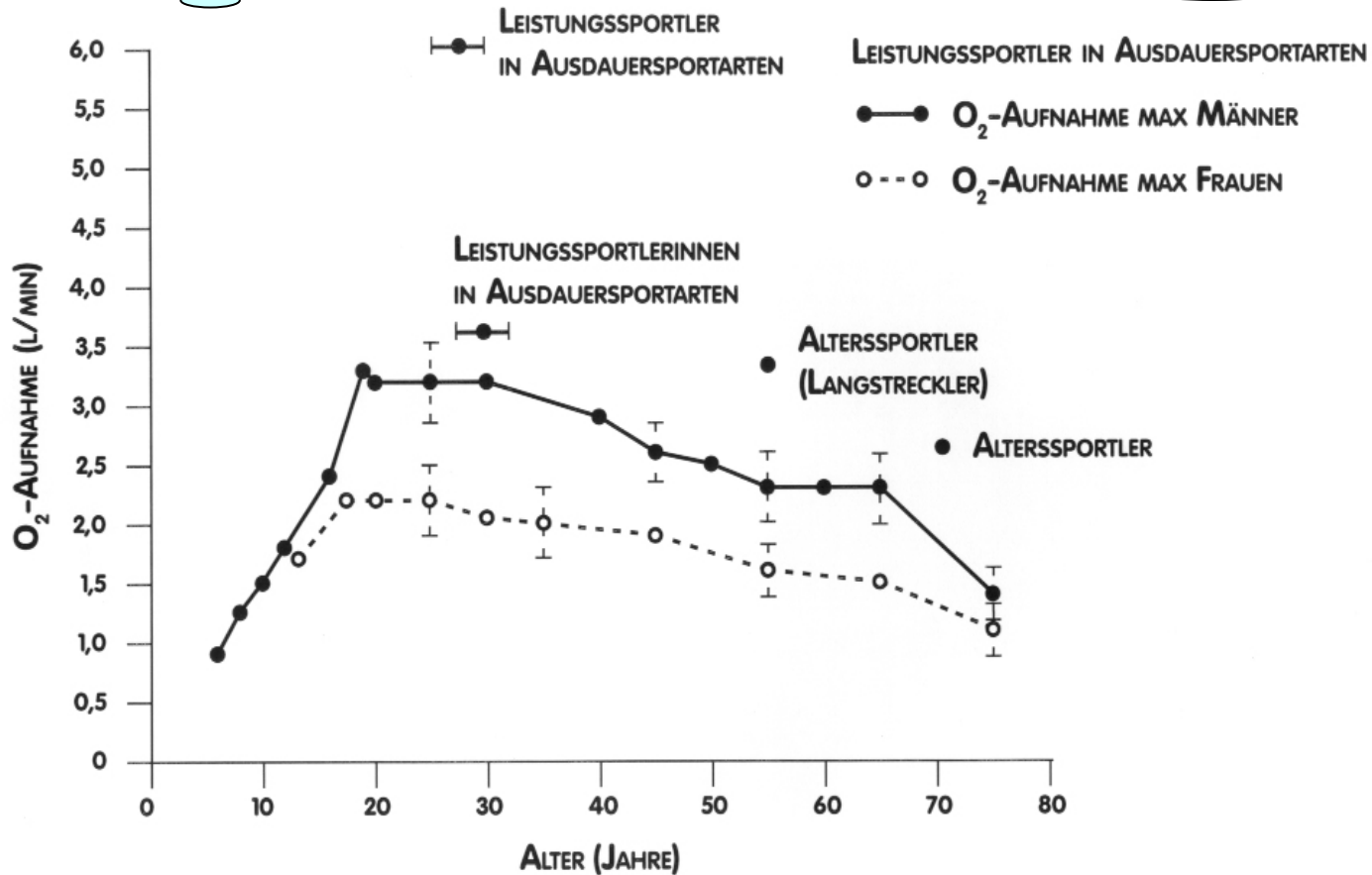
Nach der Arbeit



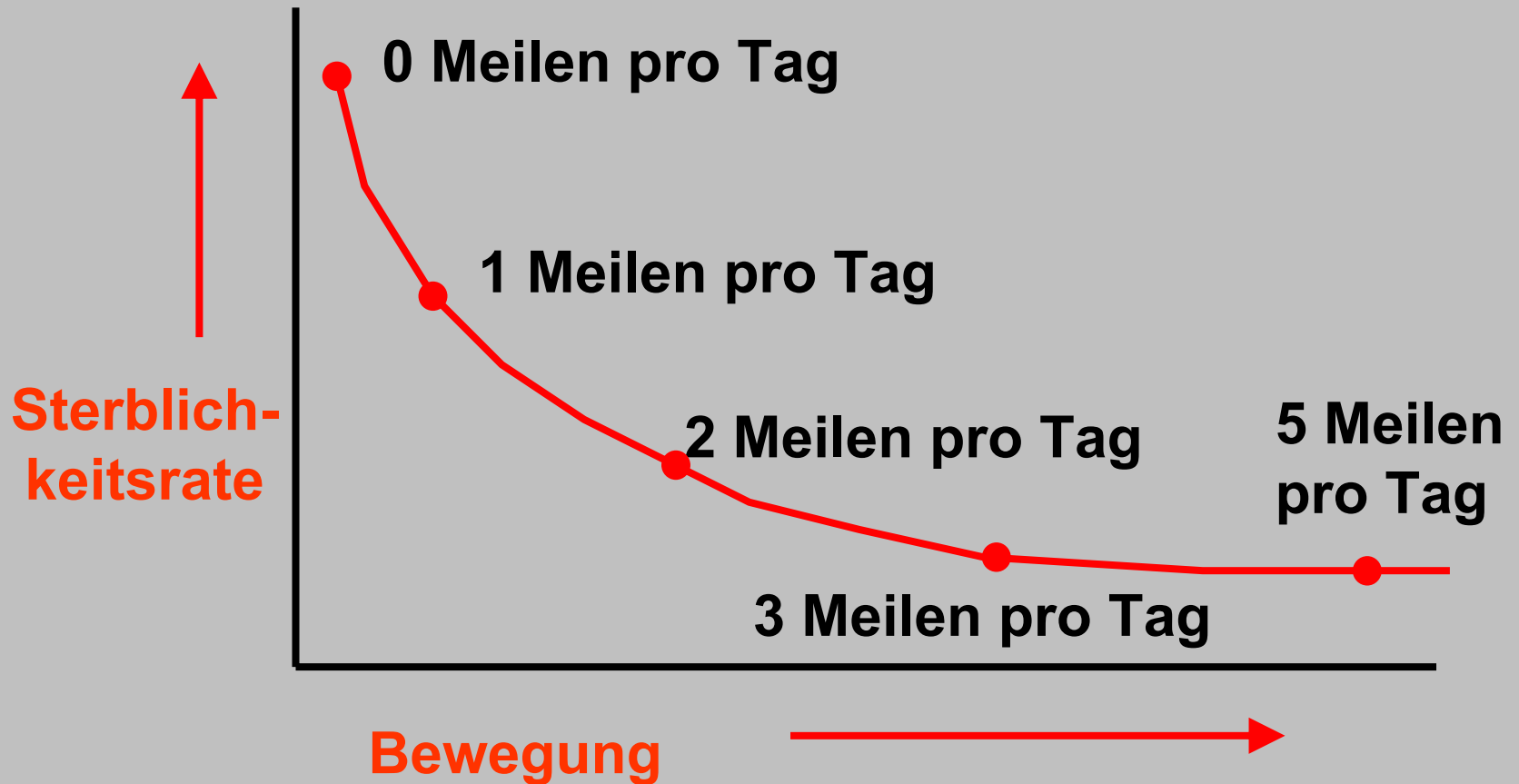


Einteilung nach Hollmann

**"20 Jahre lang 40
Jahre alt bleiben".**



Experimentell bestimmte Wachstums- und Alterungskurven für die $\text{VO}_{2\text{max}}$



Allgemeine aerobe dynamische Ausdauer

Unterteilung in KZA, MZA, LZA

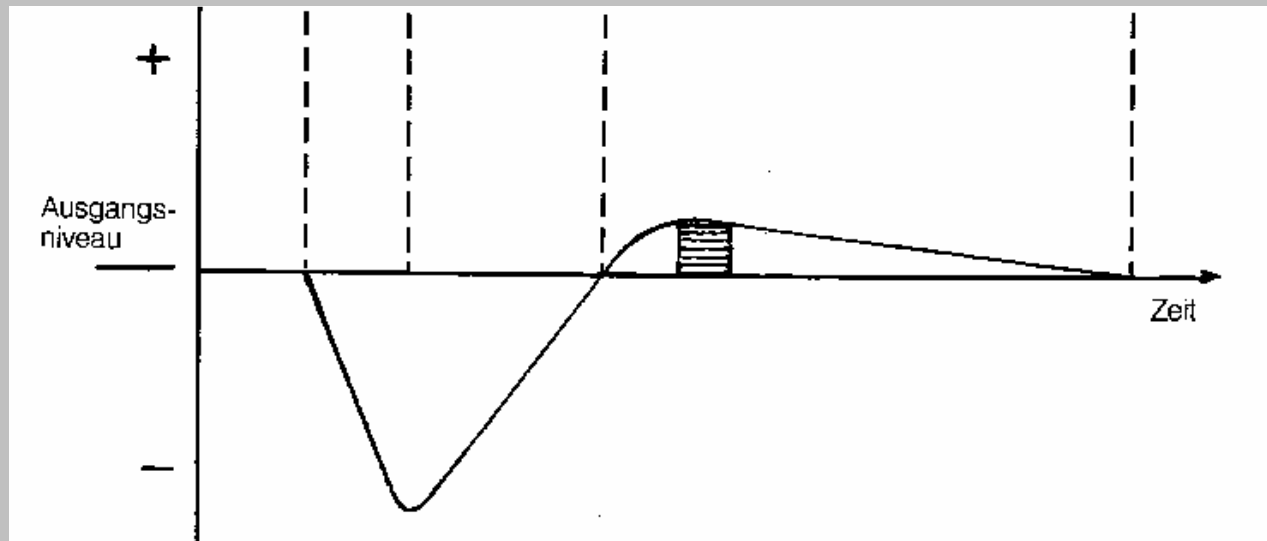
LLF: Absolute maximale Sauerstoffaufnahme
Relative maximale Sauerstoffaufnahme
Höhe der aerob-anaeroben Schwelle
Größe der Glykogendepots
Qualität der Stoffwechselfvorgänge



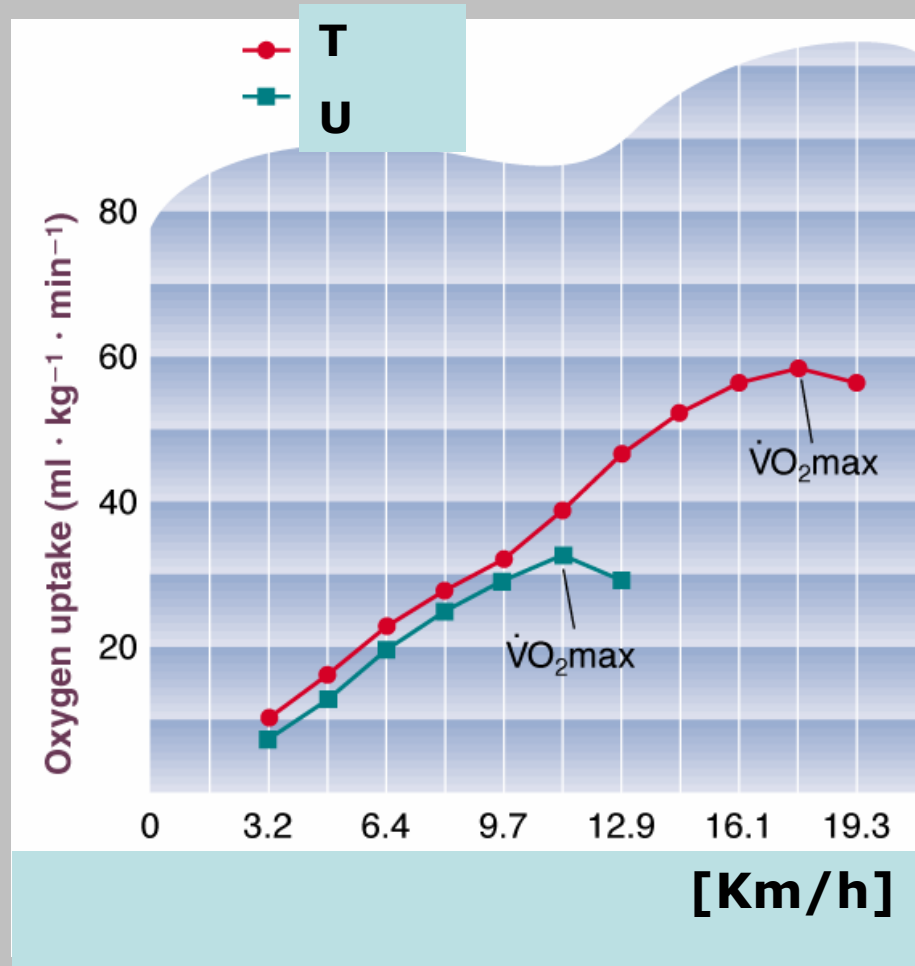
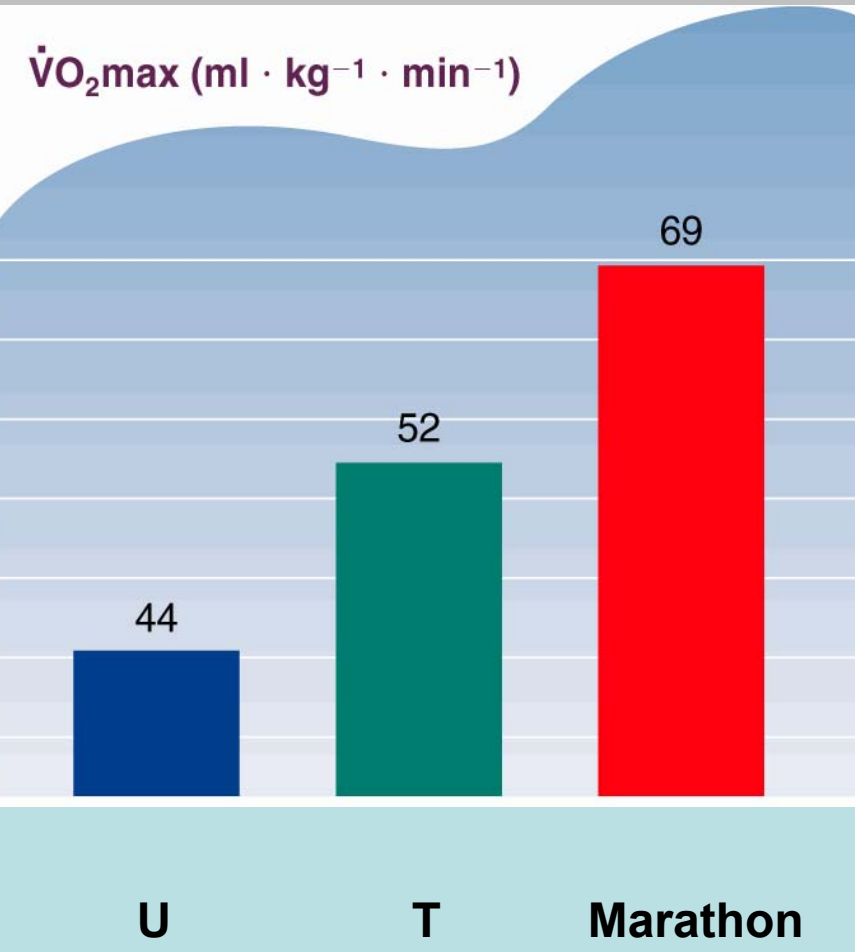
Allgemeine aerobe dynamische Ausdauer



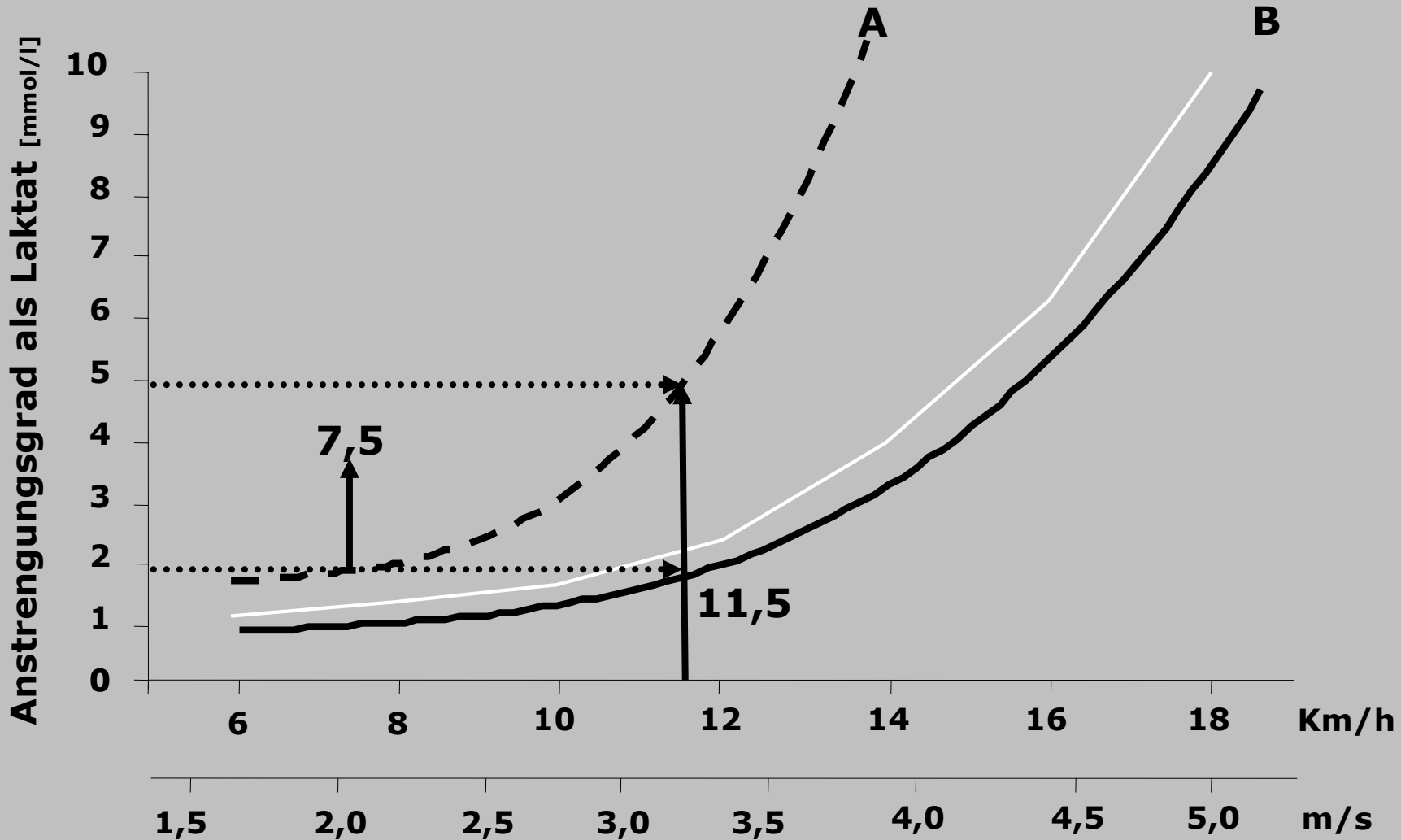
Anpassung



Anpassungseffekte durch Ausdauertraining



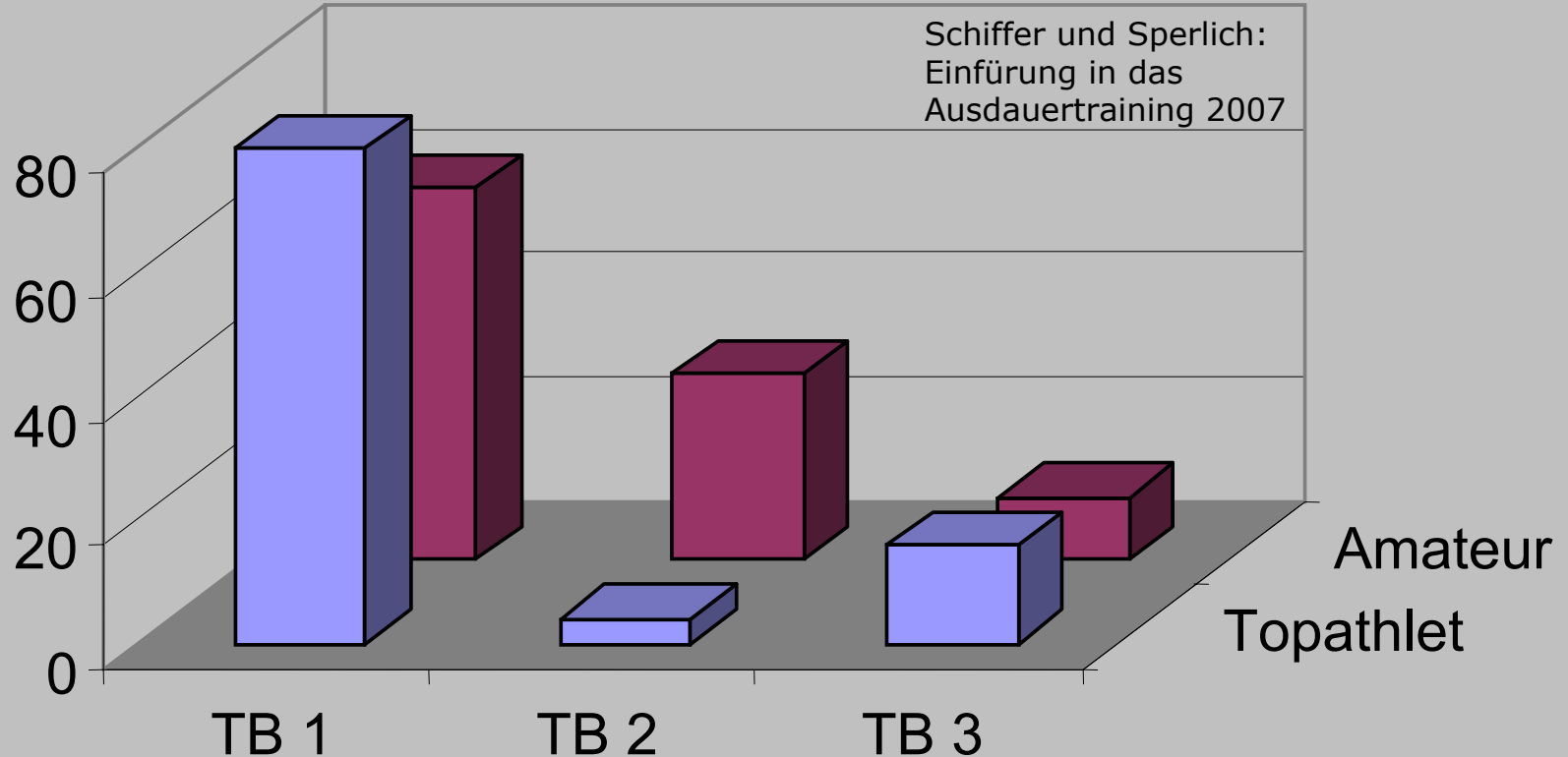
Anpassungseffekte durch Ausdauertraining



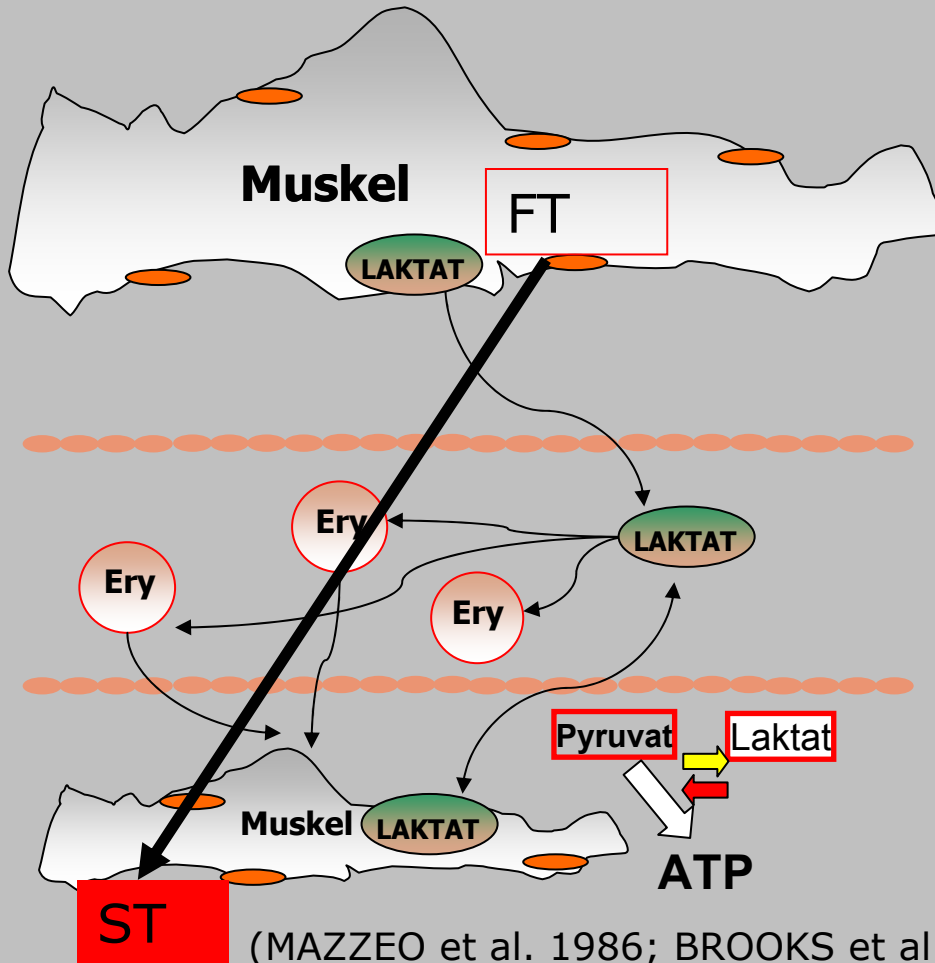
Training der Laktatelimination?

Höchste Laktatelimination durch Training bei 6-14% der aaS

Training im Intensitätsbereich 6-12mmol/L Laktat



Neues zur Laktatelimination



aktiver Transport (85 %)
spez. Monocarboxylat
Membrantransporter (**MCT**)

75% des gebildeten Laktat
werden der oxidativen
Energiegewinnung zugeführt.

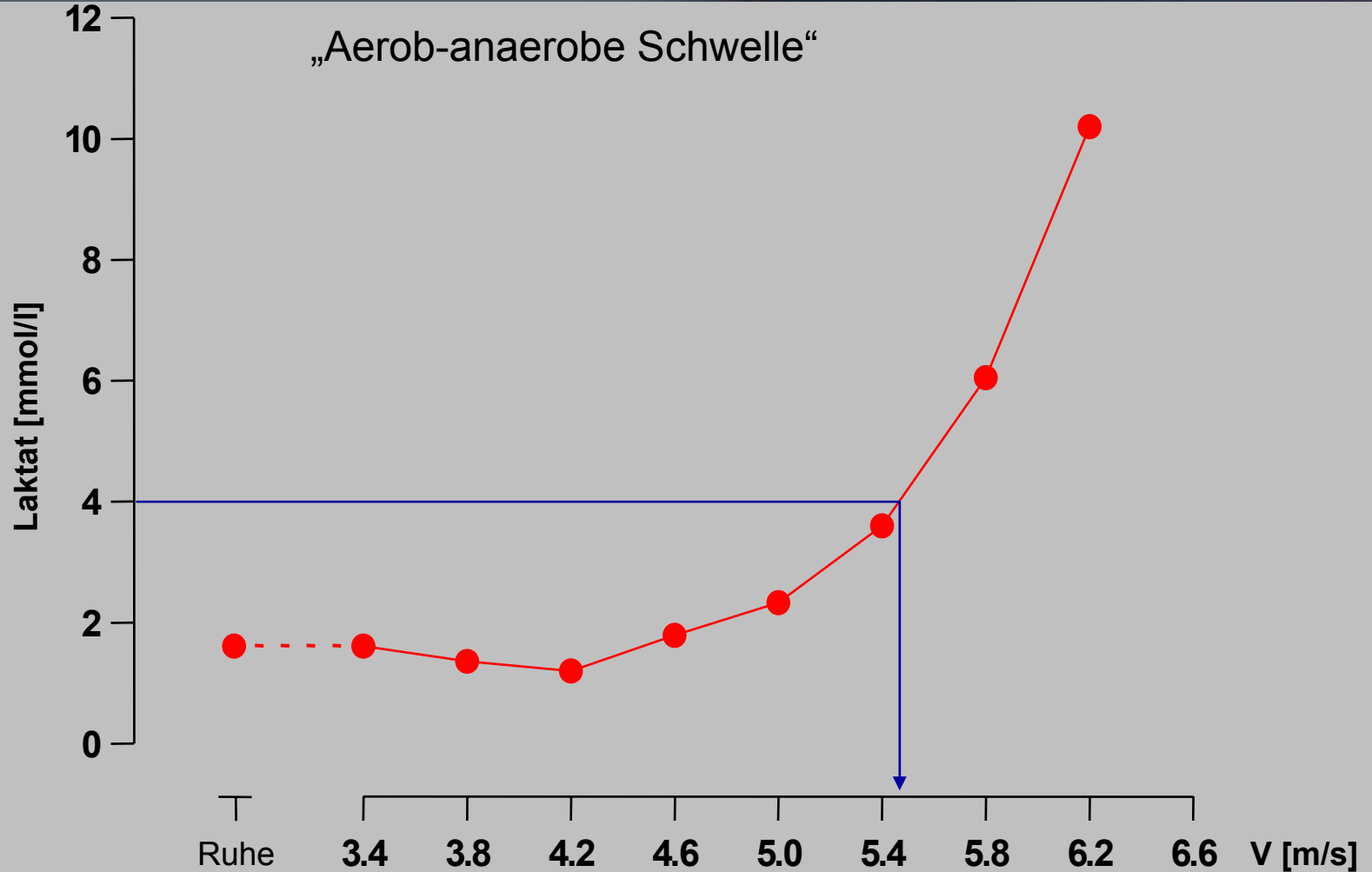
(MAZZEO et al. 1986; BROOKS et al. 1996; JUEL 1997; GLADDEN 2004).



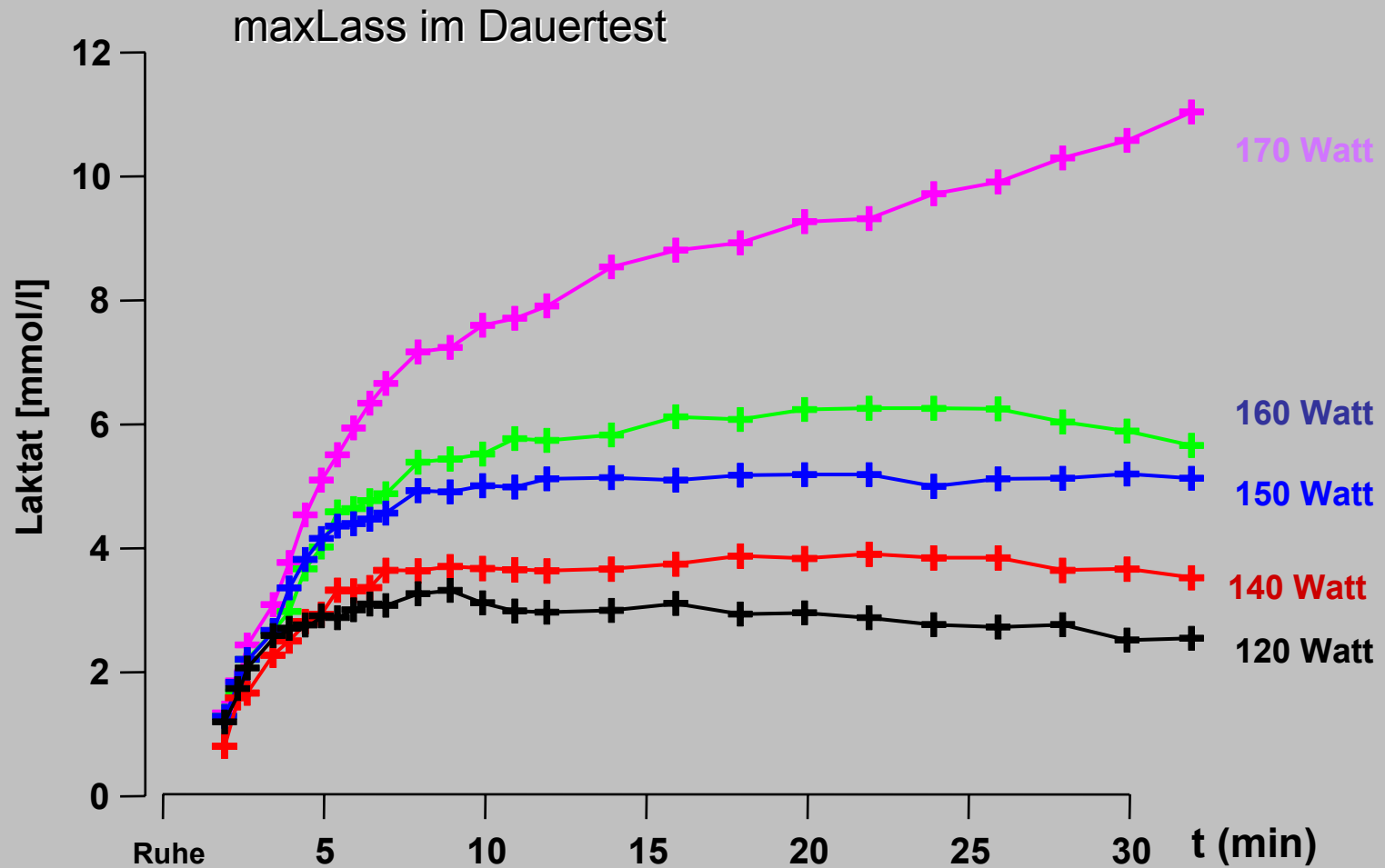
Exkurs: Trainingssteuerung mit Laktat



Einflüsse auf die Laktatmessung

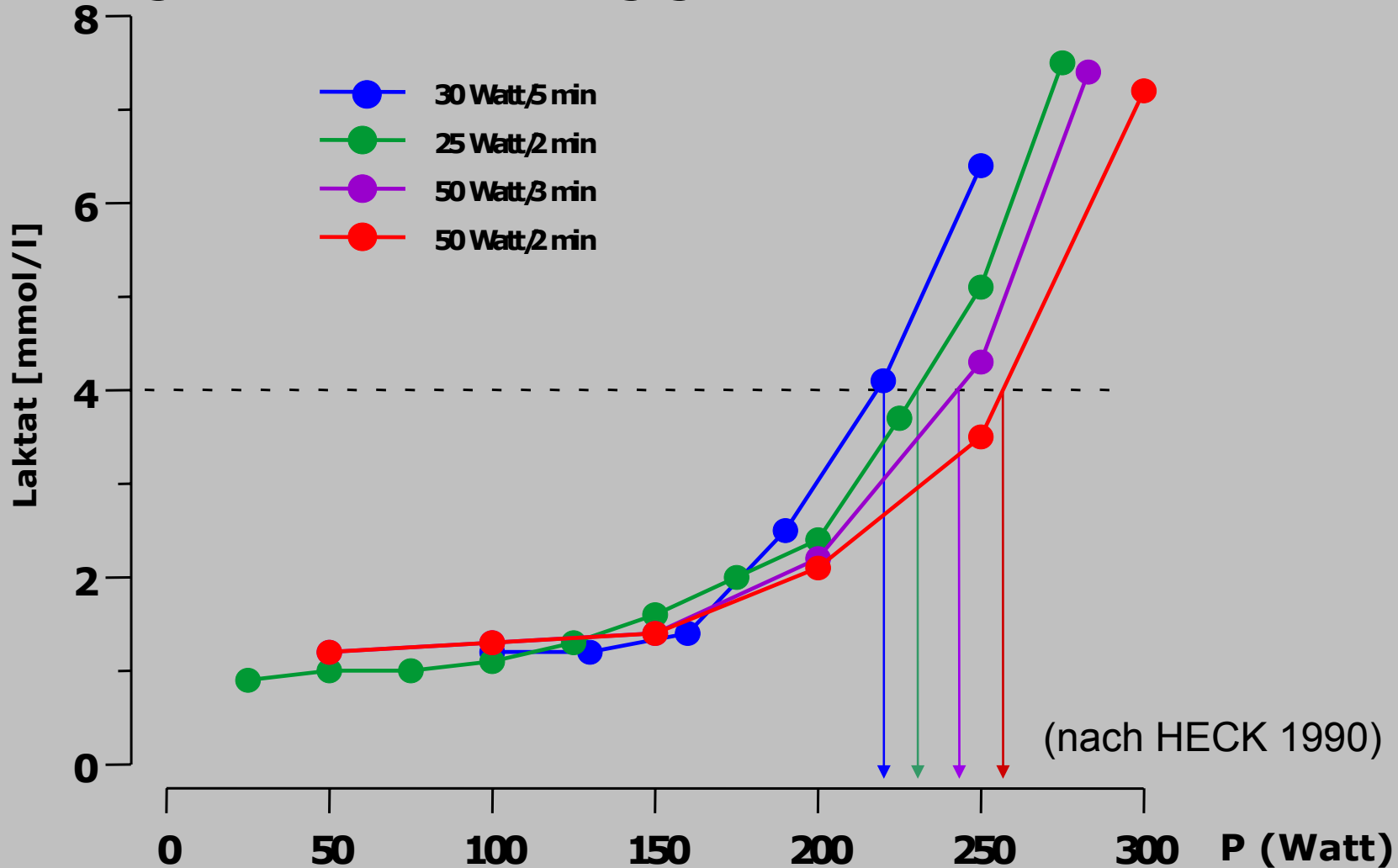


(nach MADER et al. 1976)

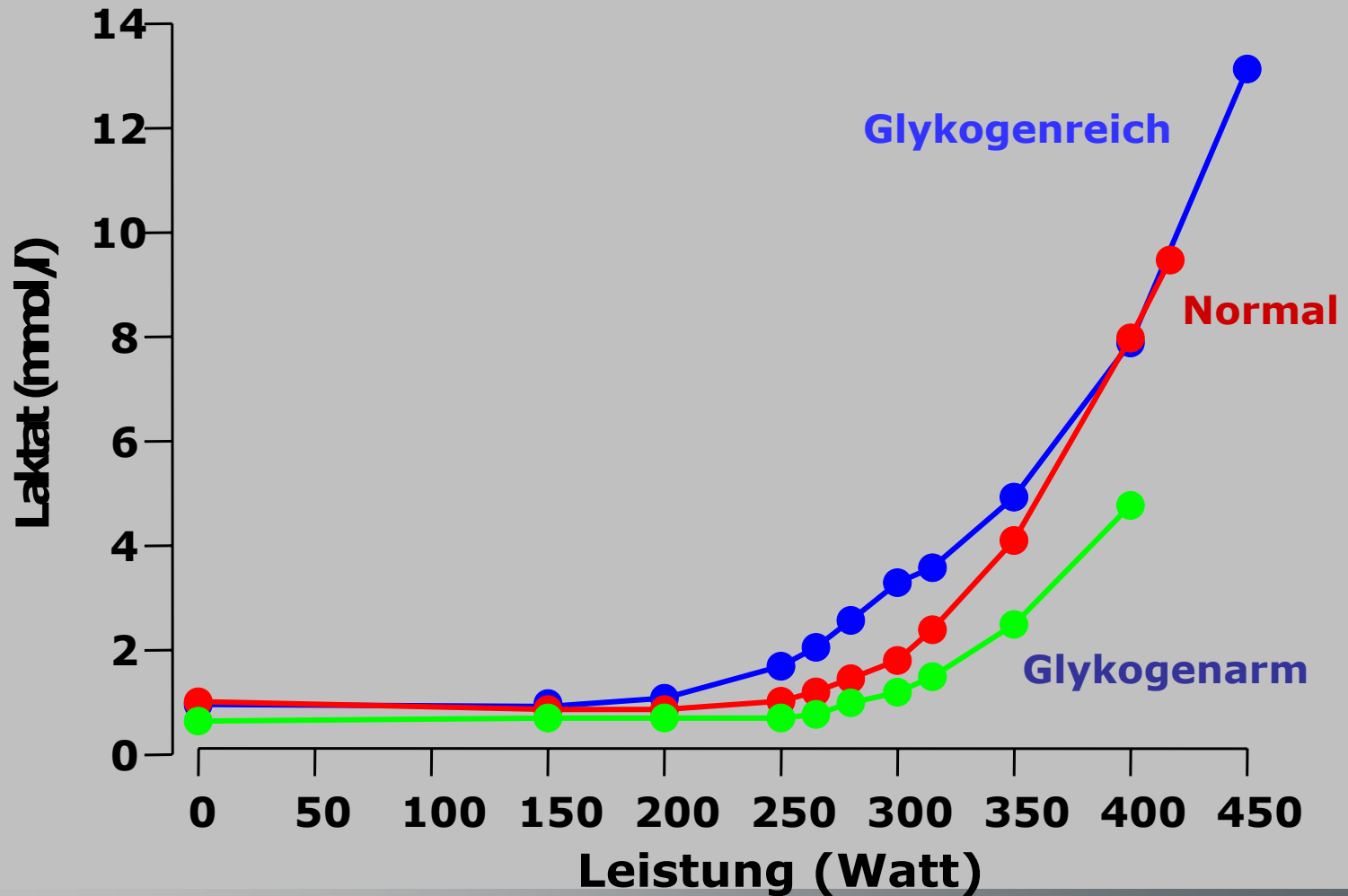


(nach HECK und ROSSKOPF 1994)

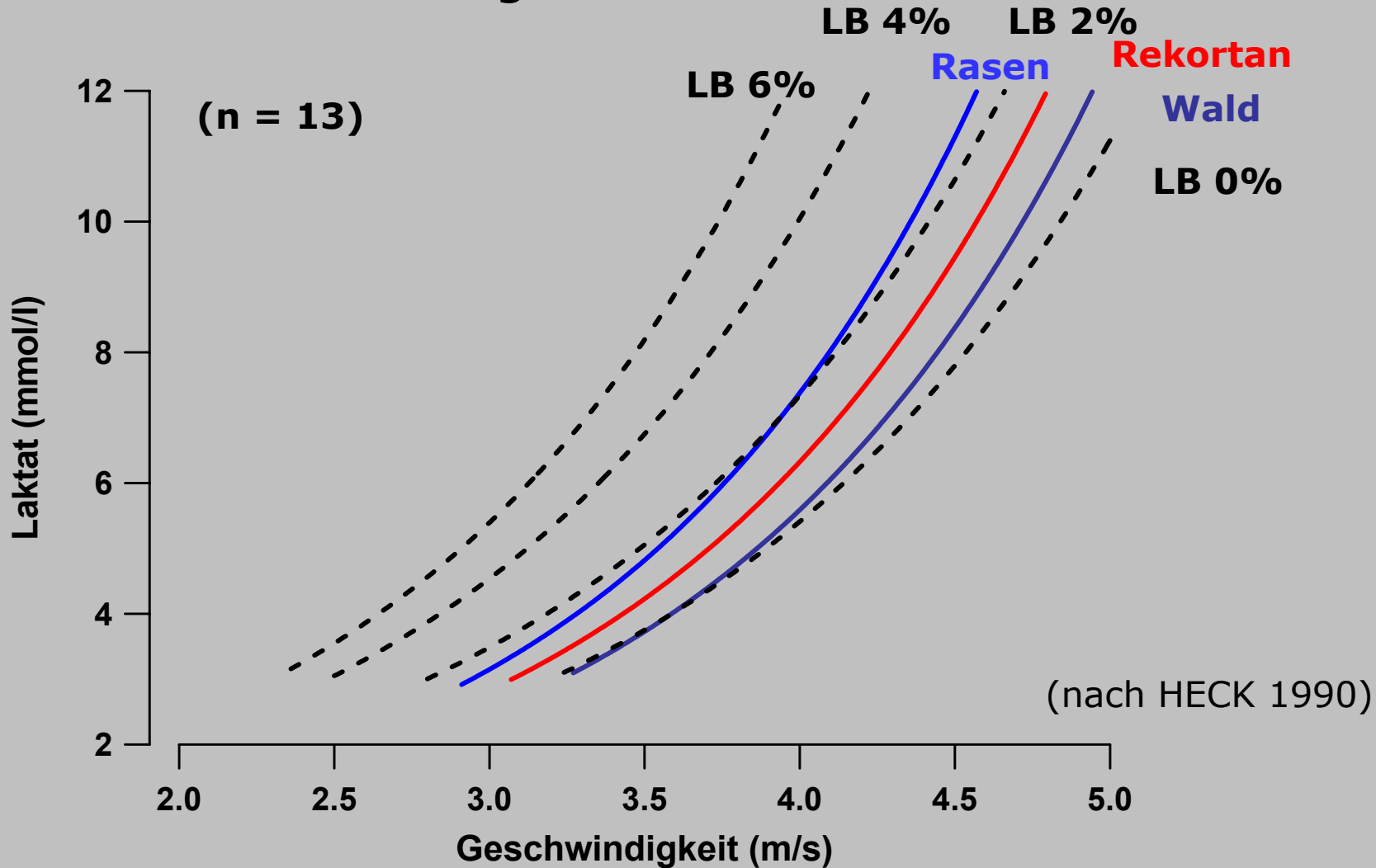
Leistungswerte in Abhängigkeit von Testschemata



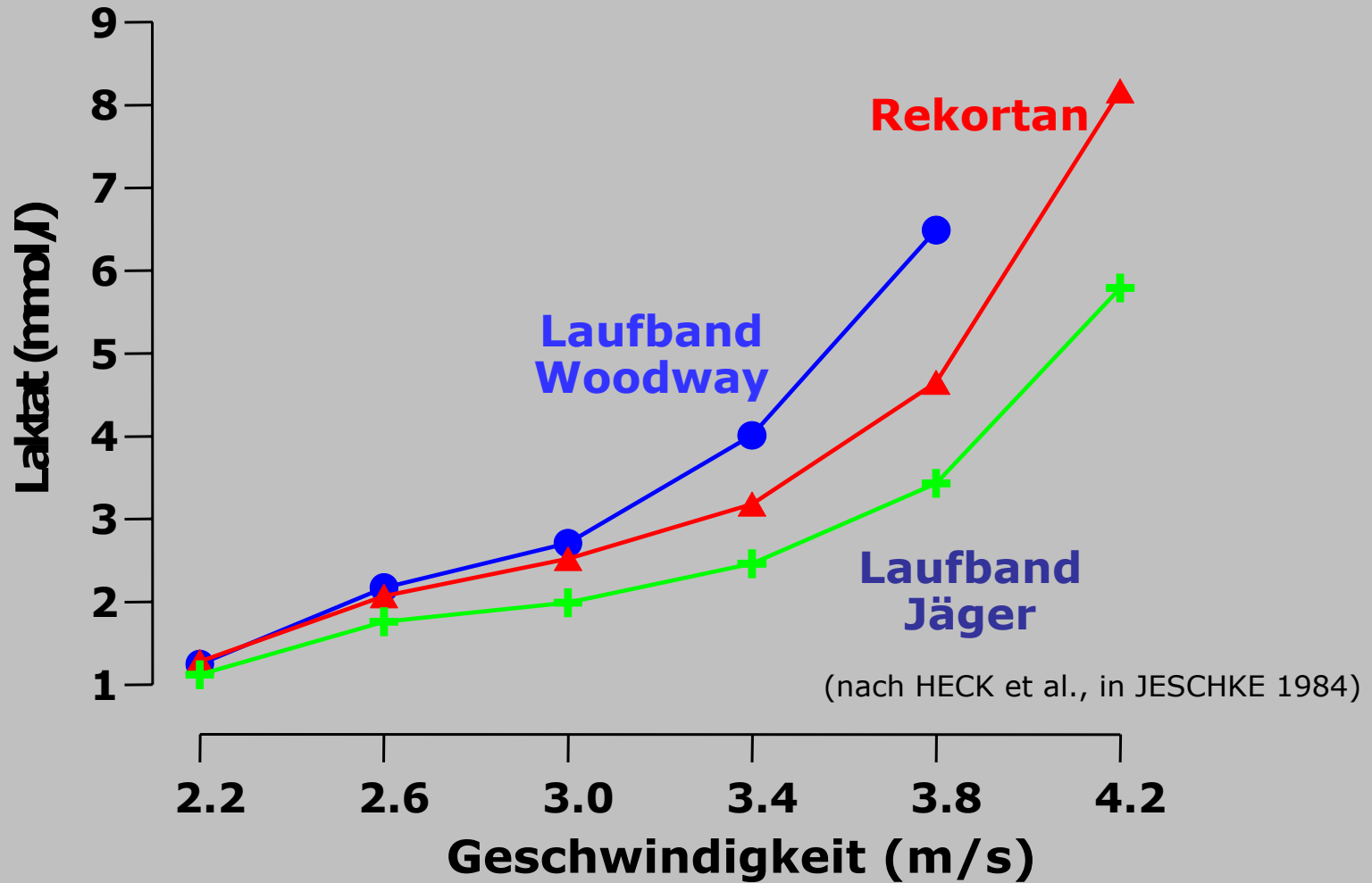
Laktat & Diäten



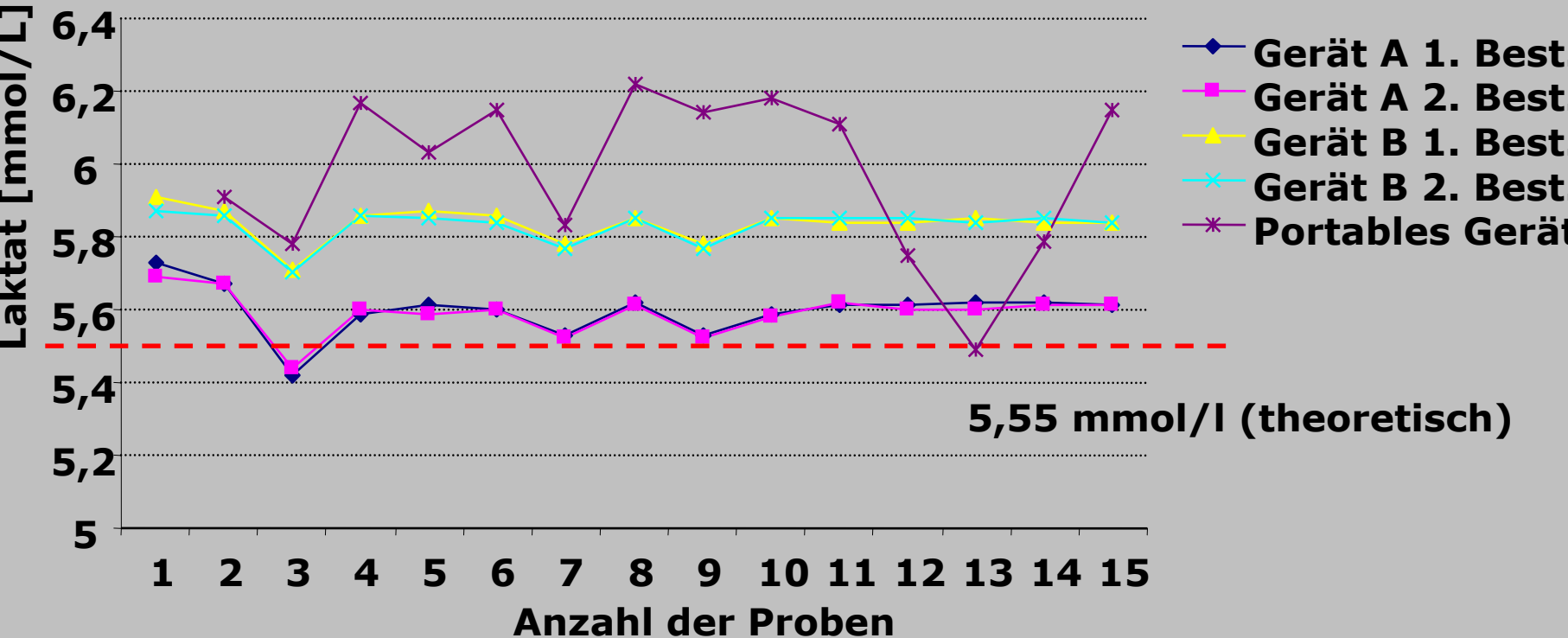
aufbandwinkel + Untergrund



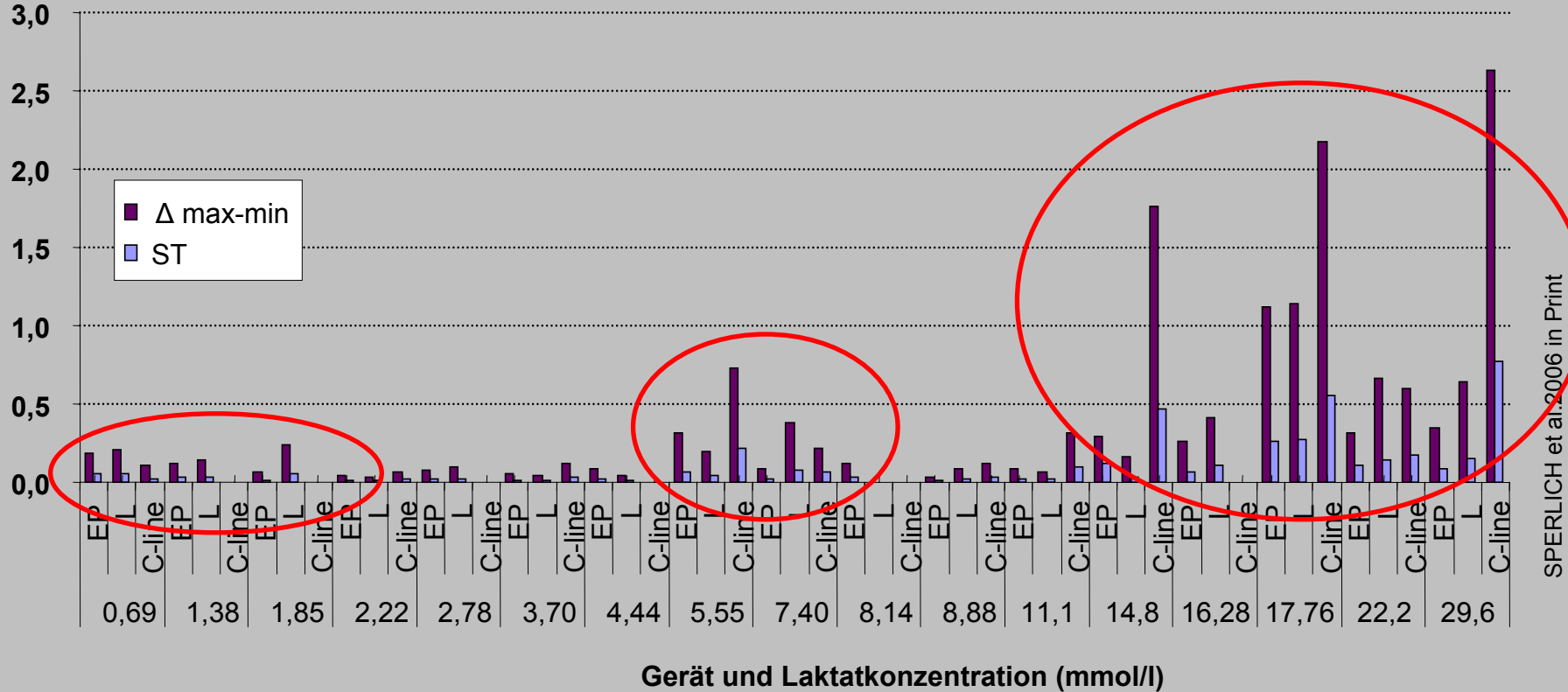
Laufbänder



Problem: Gerätevarianz



Δ max-min & Standardabweichung der ersten Bestimmung



SPERLICH et al. 2006 in Print

- ➔ Je höher die Laktatkonzentration umso größer der Messfehler
- ➔ Eine Trainingssteuerung bei hohen Laktatkonzentrationen nur bedingt möglich

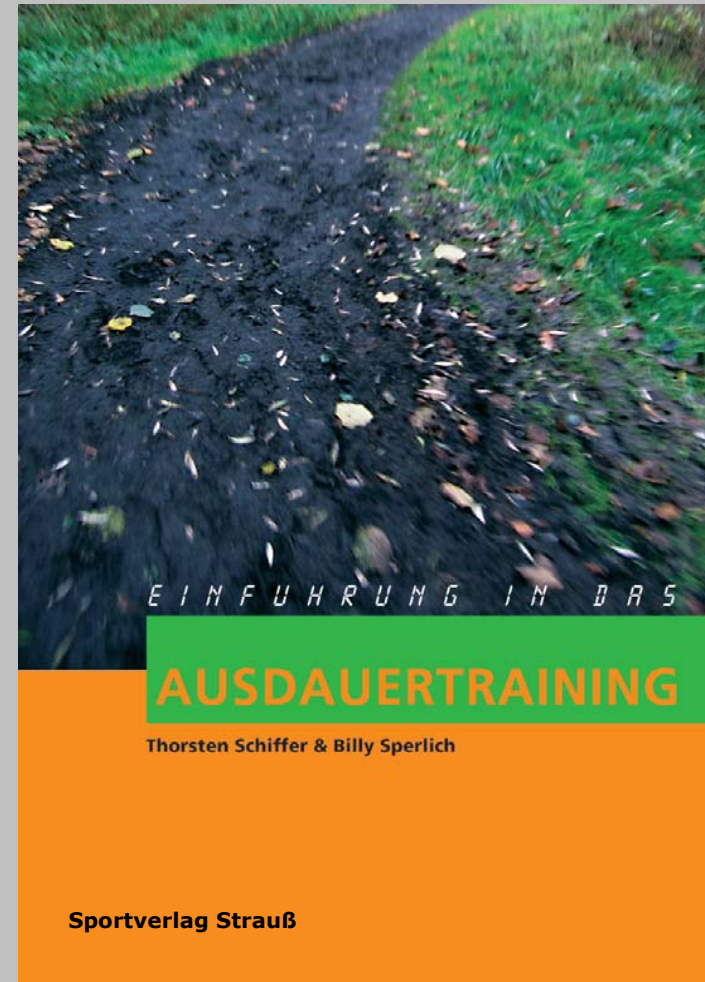
Es gibt nicht **die** Schwelle

- **Sämtliche „Schwellenkonzepte“ sind mathematisch-statistisch errechnete Bezugspunkte. Sie können im Einzelfall mit der maxLass zutreffen.**
- **Jedes „Schwellenkonzept“ ist gleich gut oder schlecht. Es kommt auf den/die Diagnostiker/in an und welche Erfahrung er/sie mit dem angewendeten Konzept gesammelt hat.**
- **Eine Überprüfung im Training ist unbedingt erforderlich!**

Exkurs Ende

Anpassungseffekte durch Ausdauertraining

1. Herz
2. Muskel
3. Blut
4. Lunge/Atmung
5. Fettstoffwechsel
6. Immunsystem
7. Körperformung
8. Psyche



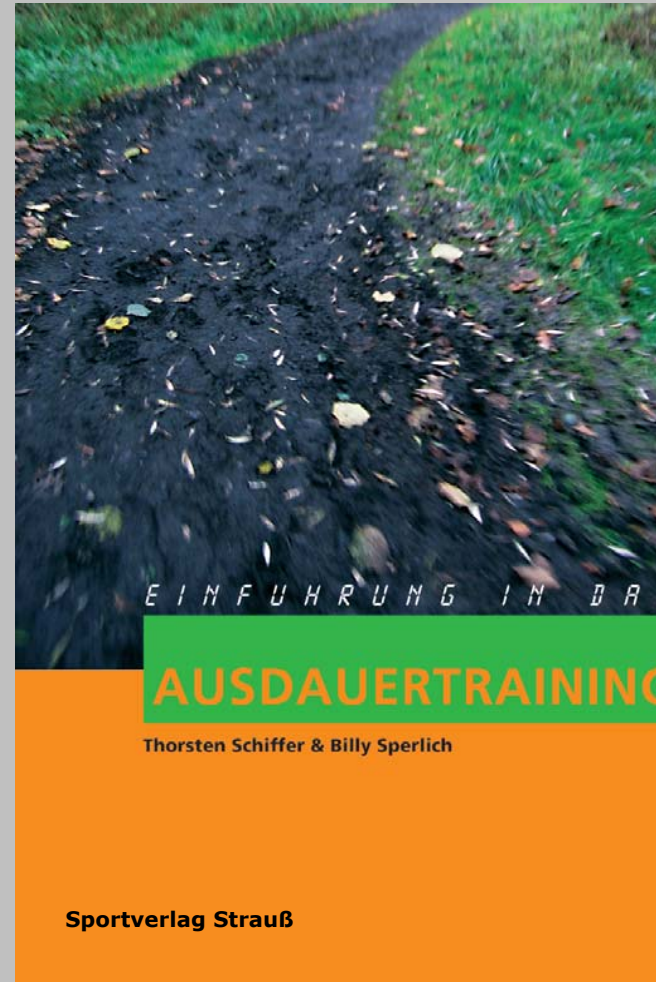
Physiologische Anpassungen

Anpassungen an aerobes Ausdauertraining erfolgen bei einer Beanspruchung von 40-80 % der $\dot{V}O_2\text{max}$ entsprechend eines Laktatwertes von ca. 1,5 bis 3,5 mmol/l, einer Herzfrequenz von 120–170 Schlägen pro Minute, einem 3er oder 4er Schrittrhythmus oder beim „Laufen ohne zu schnaufen“. Diese Intensitätsbereiche sind als Orientierungen zu verstehen. Sie schwanken zum Teil erheblich je nach Alter, Geschlecht und Trainingszustand der Trainierenden, aber auch in Abhängigkeit von der Sportart, den Witterungsbedingungen oder der Flüssigkeitsaufnahme. Um die individuelle Leistungsfähigkeit zu erheben, sollte vor dem Beginn eines Trainingsprogramms die medizinische Sporttauglichkeit attestiert und eine fachgerechte sportwissenschaftliche Leistungsdiagnostik durchgeführt werden.

Zentrale Anpassungen

Regelmäßige intensive Trainingsbelastungen im Bereich des aeroben Ausdauertrainings können zur wohl bekanntesten Trainingsanpassung, dem Sportherzen führen, wobei für den Auswurf einer festgelegten Blutmenge pro Zeiteinheit weniger Schläge benötigt werden. Dadurch schlägt das Herz in Ruhe (Herzminutenvolumen 5 Liter/min) in Ruhe ökonomischer und unter Belastung besteht eine Frequenzreserve, die letztendlich eine mehr als doppelt so große Leistungsfähigkeit des Herzmuskels des Trainierten (40 Liter/min) im Vergleich zum Untrainierten (20 Liter/min) ermöglicht.

Periphere Anpassungen



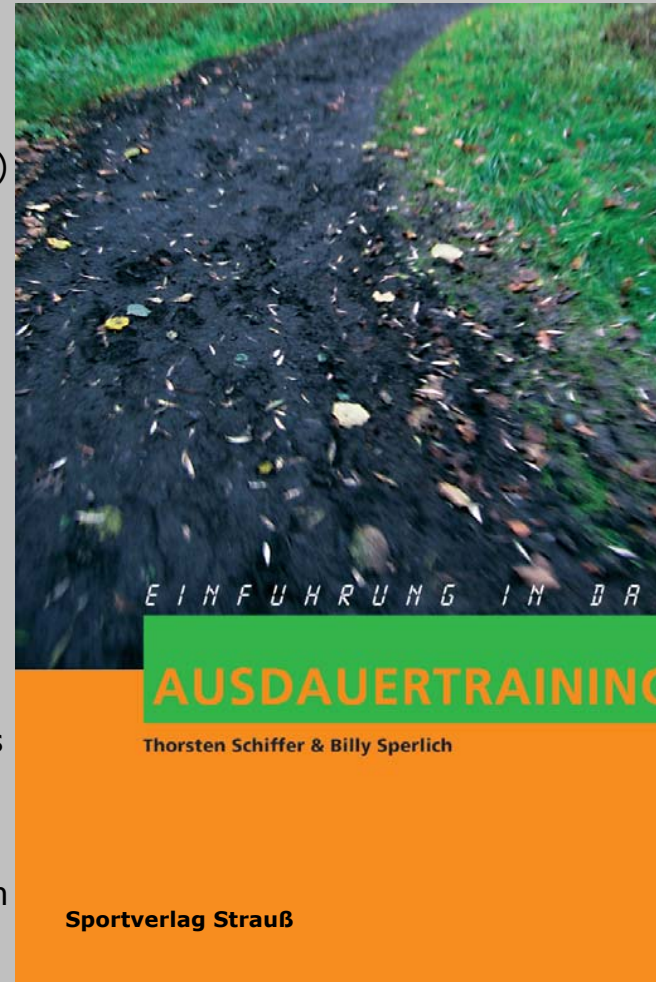
Die schnellsten auch durch extensives aerobes Ausdauertraining zu erzielenden **Anpassungen erfolgen in der beanspruchten Muskulatur:**

Verbesserung der Durchblutung, Erhöhung der Zuckerdepots im Muskel, leistungsfähigere und vermehrt vorhandene Enzyme und Mitochondrien (Orte der Energiegewinnung aus Zucker und Sauerstoff) zur aeroben Energiegewinnung, vermehrte Nutzung von Fettsäuren zur Energiegewinnung sowie ein erhöhter Gehalt an sauerstoffbindendem Myoglobin im Muskel.

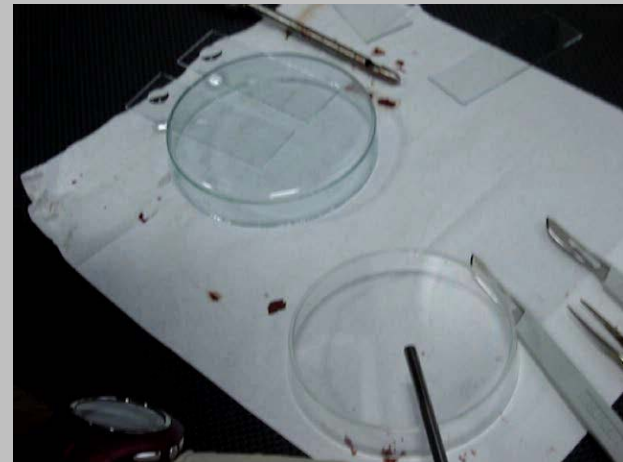
Die genannten Veränderungen führen zu einer höheren Ausdauerleistungsfähigkeit bei unveränderter kardiopulmonaler Kapazität. Diese Effekte kommen dem Leistungssportler zur Deckung seines Energiegrundbedarfs auch bei intensiverer Tätigkeit zu Gute. Herzranke und Untrainierte können durch die bessere Ausschöpfung des vorhandenen Sauerstoffs in der arbeitenden Muskulatur bei Alltagsbelastungen ohne eine unökonomische Aktivierung der Herztätigkeit über die Herzfrequenz auskommen.

Gehirn und Psyche

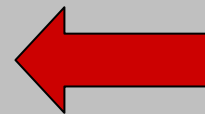
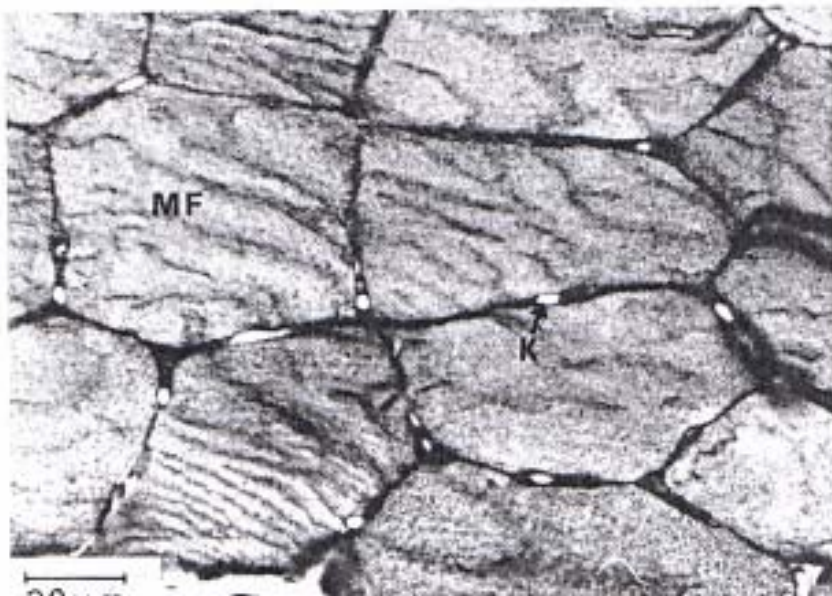
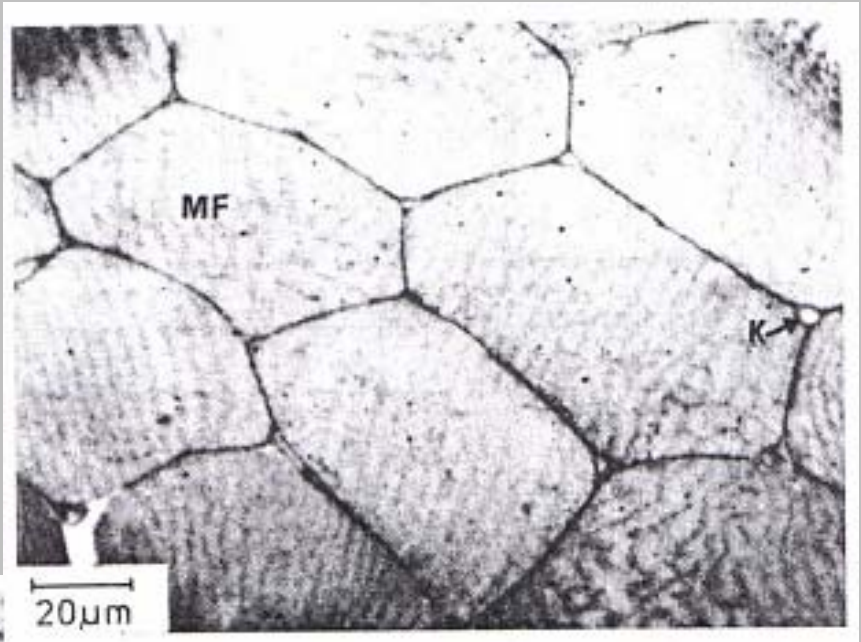
Körperliche Aktivität hat einen entscheidenden und prägenden Einfluss auf die Entwicklung des Gehirns und kann zu einer Verbesserung der Stimmung und des Wohlbefindens führen. Aerobes dynamisches Ausdauertraining kann die Gehirndurchblutung erhöhen und die Bildung von Nervenzellen über die Aktivierung von Wachstumsfaktoren fördern. Es existieren wissenschaftlich fundierte Untersuchungsergebnisse, die darauf hindeuten, dass strukturellen und psychiatrischen Gehirnerkrankungen durch dosierte körperliche Tätigkeit entgegengewirkt werden kann.



Wichtigste Untersuchungsmethode für die Erforschung muskulärer Anpassungen ist die Muskelbiopsie



Querschnitt durch
einen Muskel eines
Untrainierten mit
geringer
Kapillarisation



Querschnitt
durch einen
Muskel eines
Marathonläufers
mit starker
Kapillarisation

2 Muskulatur

verbesserte Durchblutung (Kapillarisation)

Zunahme des Mitochondrienvolumens

Zunahme der aeroben und anaeroben Enzymaktivität

Vergrößerung des Myoglobingehalts

Zunahme der intramuskulären Glykogendepots

Steigerung der muskulären Leistungsfähigkeit und
Verminderung des peripheren sympathischen
Antriebes auf das Herz

Anpassungseffekte durch Ausdauertraining

3 Blut

verbesserte Versorgung der Organe und der Muskulatur mit O₂ und Nährstoffen durch Hämatokrit- und Blutvolumenzunahme

4 Lunge und Atmung

vergrößertes Lungenvolumen und Atemfrequenz-
abnahme für vergleichbare Belastungen

Blutvolumen

70-80 ml pro kgKG, Männer 5-6 l, Frauen 4-4,5 l

Blutplasma (55%) enthält zu
95 % Wasser

Aminosäuren

Glucose

Fette, Cholesterin

Kreatin, Harnstoff

Laktat, Pyruvat

Mineralien

Erythropoetin, etc.



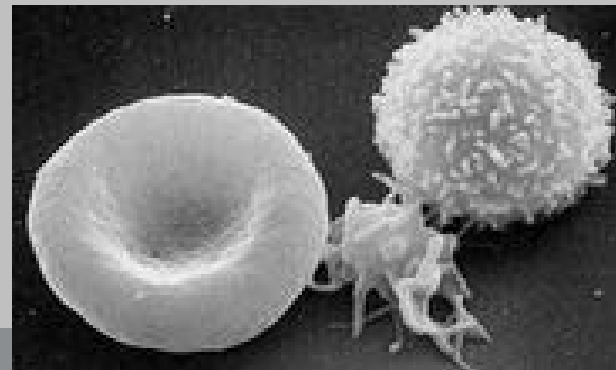
Zellen

Erythrozyten, davon

1% Retikulozyten

Leukozyten

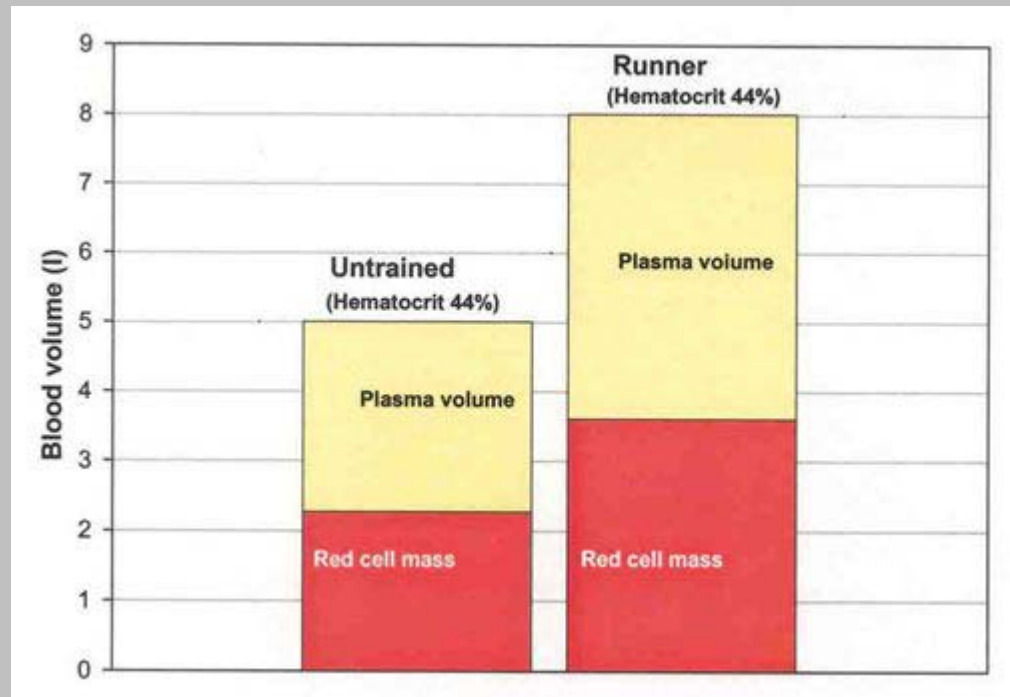
Thrombozyten



Erythrozyten, Retikulozyt, Hämoglobin, Hämatokrit???

- **Erythrozyten** entstehen aus Stammzellen im Knochenmark
- **Vorläuferzellen** lagern dabei zunehmend **Hämoglobin** ein
- Die Vorläuferzellen stoßen schließlich ihren Zellkern aus und werden als **Retikulozyten** bezeichnet (Dauer: 5 Tage)
- Retikulozyten treten in kleinen Mengen in das Blut über (1% der Blutzellen)
- Erythrozyten (5 Millionen/ μ l = 25 Billionen in 5 Litern) leben 100 Tage
- Sie binden an Hämoglobin (12-18 gr/dl) Sauerstoff, Kohlendioxid und Säuren (Pufferfunktion)
- Erythrozyten machen 99% der festen Bestandteile des Blutes aus

Veränderungen des Blutvolumens durch Sport



Wirkungen

erhöhte VO₂max

erhöhte Hämoglobinkonzentration

Erhöhung der „Wasserreserve“ im Blut (verbesserte Thermoregulation)

Steigerung der Pufferkapazität des Blutes

Veränderungen des Blutvolumens durch Sport

Durch eine Mittelzeitausdauerbelastung Verminderung des Blutvolumens um 10-20% (van Beaumont et al.)

-> Anstieg des Hämatokrits.

Ausdauertraining (10 Wo) -> Zunahme des Blutvolumens um 2,7% und Reduktion der Abnahme des Blutvolumens nach submaximaler Ergometerarbeit.

Veränderungen des Blutvolumens durch Sportmediziner

Artifizielle Verringerung des Blutvolumens um 430 ml

- > $VO_2\text{max}$ - 4,5%
 - 2,8% nach 1 Tag
 - 1% nach 2 Tagen (Hollmann et al.)
 - Ausgangsniveau nach 3 Tagen

Blutvolumen – 500 ml -> $VO_2\text{max}$ – 9%

Blutvolumen – 900 ml -> $VO_2\text{max}$ – 12%

Erythrozytenrücktransfusion

Nach 4 Wochen verbesserte $VO_2\text{max}$ bis + 9% (Ekblom et al. und Rost et al.)

Leigh-Smith. Blood boosting. Br. J. Sports Med 2004, 38, 99-101

Blutdoping

Hämoglobinerhöhung durch Infusion von Erythrozytenkonzentraten

Eigenblut

Fremdblut

Geschichte

Erforschung in den 60er und 70er Jahren

Anwendungshochzeit in den 70er Jahren

Ablösung durch Epo ab 1987

Mit Nachweismöglichkeit von Epo-Doping Wiedereinführung der Methode seit 2000

Blutdoping

Procedere:

Entnahme von 500ml Eigenblut mind. 3-4 Wochen vor dem Wettkampf

Rücktransfusion der restlichen Bestandteile

Verbleibendes Erythrozytenkonzentrat wird mit Gerinnungshemmer und Stabilisator versetzt und gekühlt gelagert

Rücktransfusion unmittelbar vor dem Wettkampf

Bei Fremdblutdoping geringere Beeinträchtigung des Betrügers, aber höheres Risiko

Nebenwirkungen

Septischer Schock durch infizierte Blutkonserven

Übertragungen von Krankheiten durch infizierte Blutkonserven (HIV
Hepatitis)

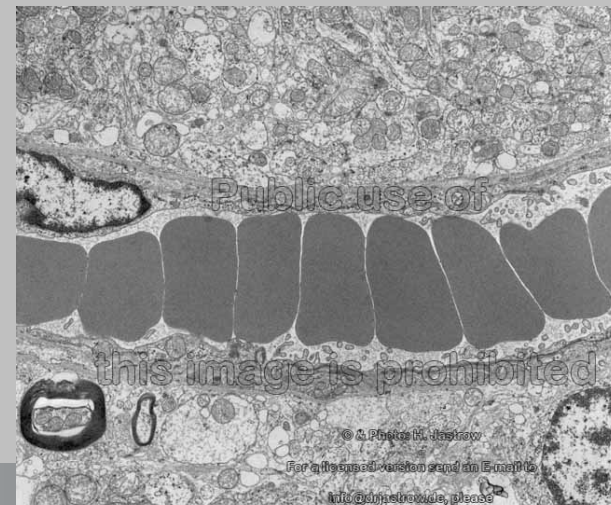
Blutmangel

Schwindelgefühle

Angstzustände

Erhöhtes Infarkttrisiko nach der Blutspende

Erhöhtes Thrombosen- und Embolierisiko durch eingedicktes Blut



Nachweisbarkeit des Fremdblutes mittels Durchflusszytometrie.
Detektion fremder Gene

Eigenblutdoping ist nicht nachweisbar. Hinweise durch Messung des
Stabilisators und indirekt durch erhöhte Hämatokritwerte



ABO, Rhesus, Kell, Duffy...

Erythropoetin



Zusammensetzung:

Glykoprotein

Bildungsort:

Niere 85-90%, Leber

Funktion:

Anwendung:

Wirkungseintritt:

HWZ:

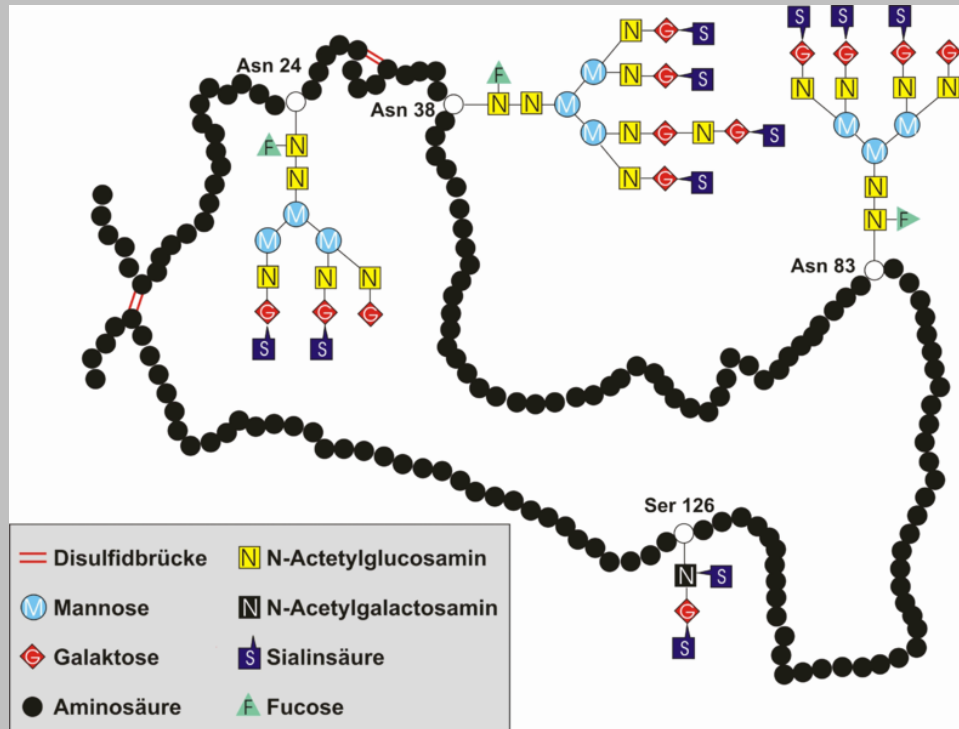
Toxisis:

maximale Dosis:

Eliminationszeit:

Contraindikationen:

Medikamenteneffekte:



e, SS

Anstieg Hkt, Hb, Erythrozytenzahl

-> verbesserte Sauerstoffutilisation

Carnot 1906: Blut anämischer Kaninchen wurde in gesunde Kaninchen transfundiert -> Anstieg der Erythrozyten

-> Vermutung: Existenz eines humoralen Faktors

Sandor 1930: Induktion einer Erythrozytenzunahme durch Transfusion von Blut aus Tieren, die in hypoxischer Umgebung gehalten wurden

Bonsdorff und Jalavisto 1948: Namensgebung: Erythropoetin

Erselev 1953: Nachweis des Proteins

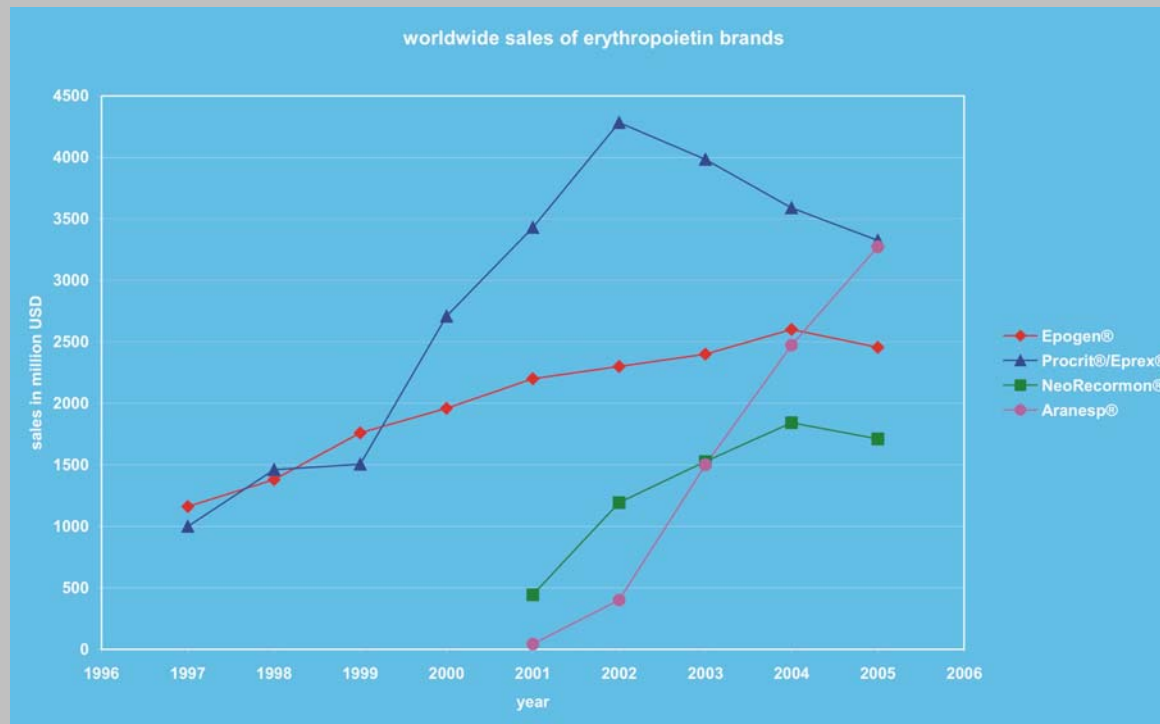
Jacobsen 1977: Isolierung des Proteins aus dem Urin

Fu-Kuen Lin 1982: Identifizierung des Epo-Gens

Sylvia Lee-Huang 1985: Expression von rekombinanten humanem EPO (rhEPO) in Escherichia coli und in Säugetierzellen

Amgen 1989: Vertrieb des ersten rekombinanten EPO-Präparates (Epogen, Epoetin a)

EMA (European Medicines Evaluation Agency) 1998: Entfernung von humanen Bestandteilen aus synthetischen Medikamenten -> Immunreaktionen mit Erythroblastopenie

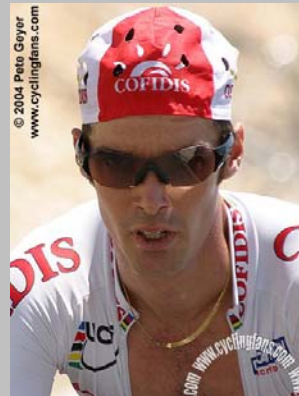


Marktsättigung für 350.000 Patienten wird bei 17 Milliarden USD erwartet

Der jährliche Absatz ist 5 x höher als der Bedarf bei Patienten
ermuteter Einsatz zum Doping bei: 500.000 Sport-Betrü gern



Richard Virenque 1998



David Millar
2004



Lance Armstrong 2004



Team Telekom



Nina Kraft Ironman 2004



Johann Mühlegg 2002

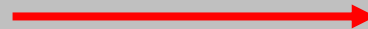


Marion Jones 2006 positive A-Probe

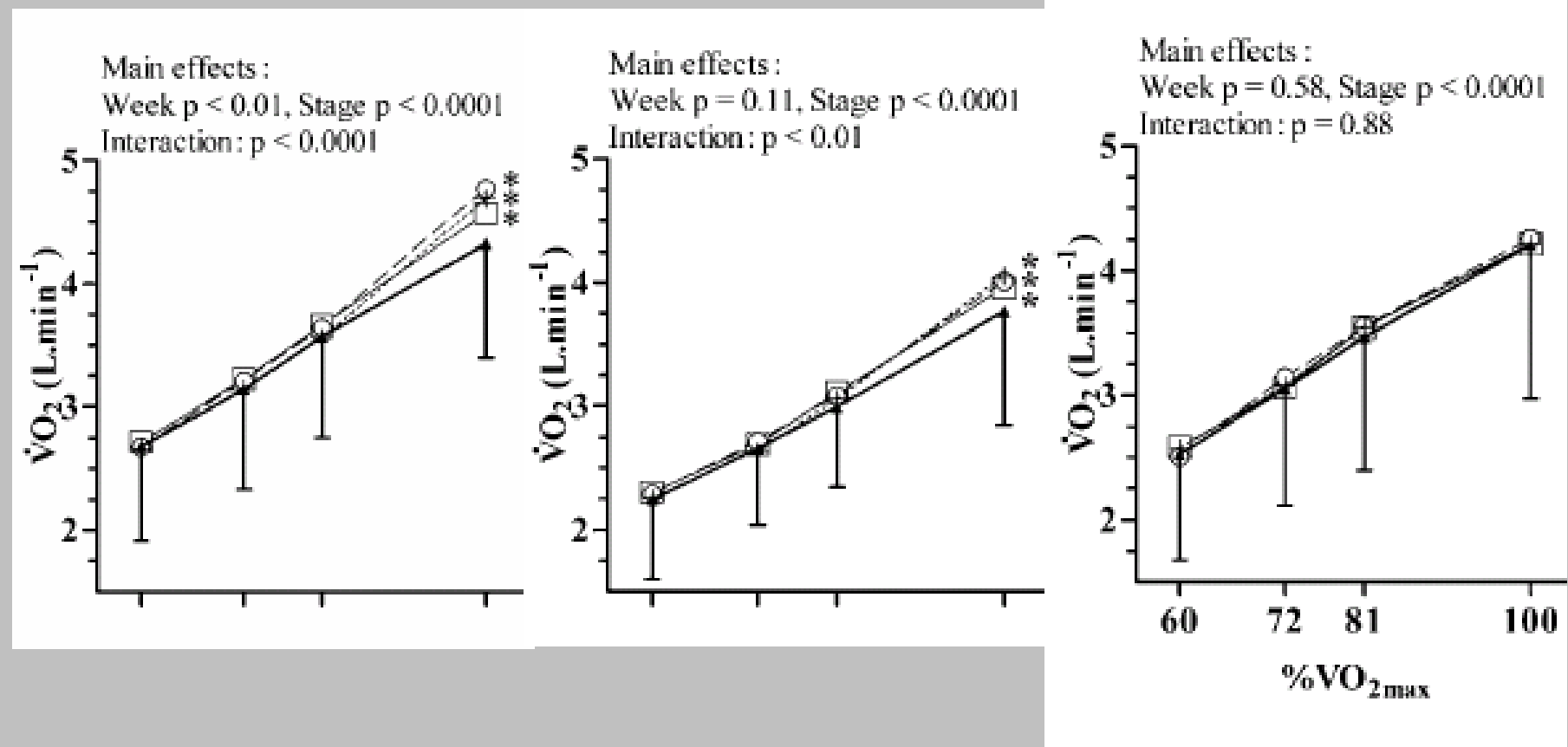


Jolanda Ceplak Hallenweltrekord 2002

2007 Epo +

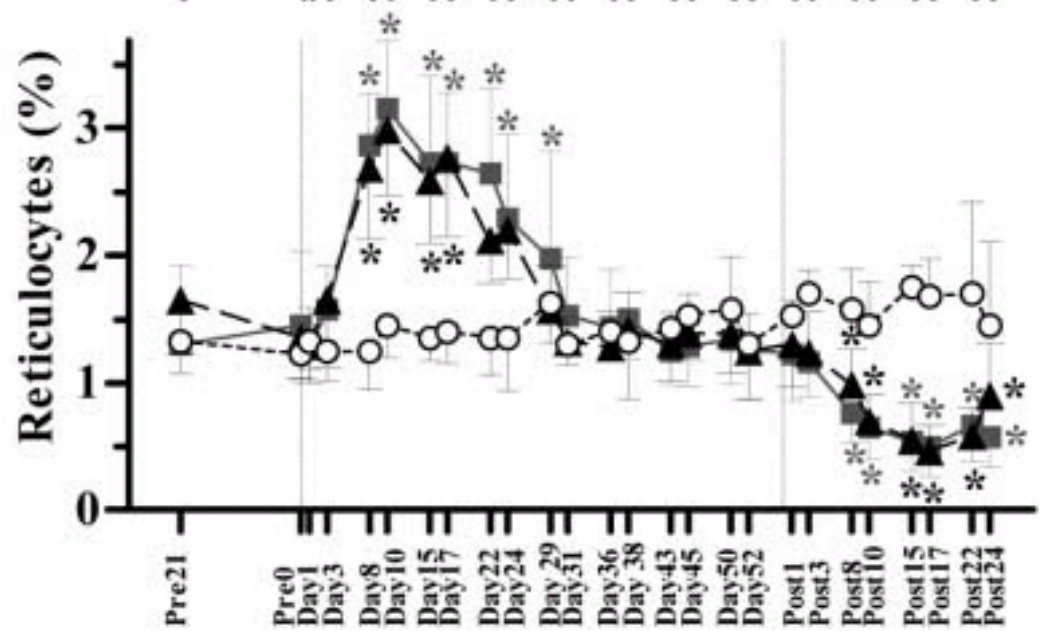
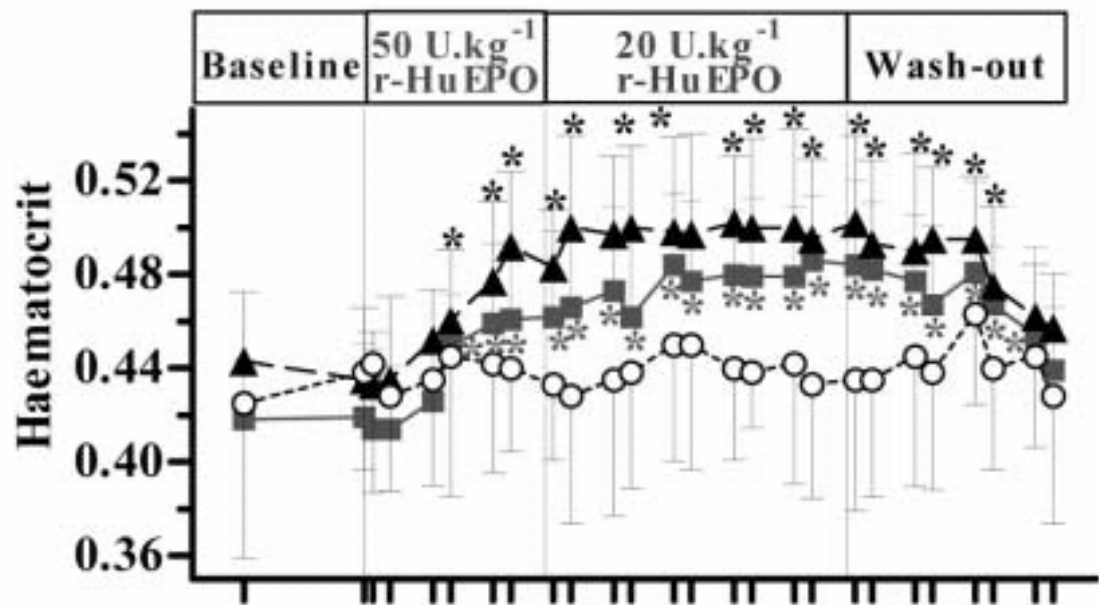


1:55,19 Minuten.

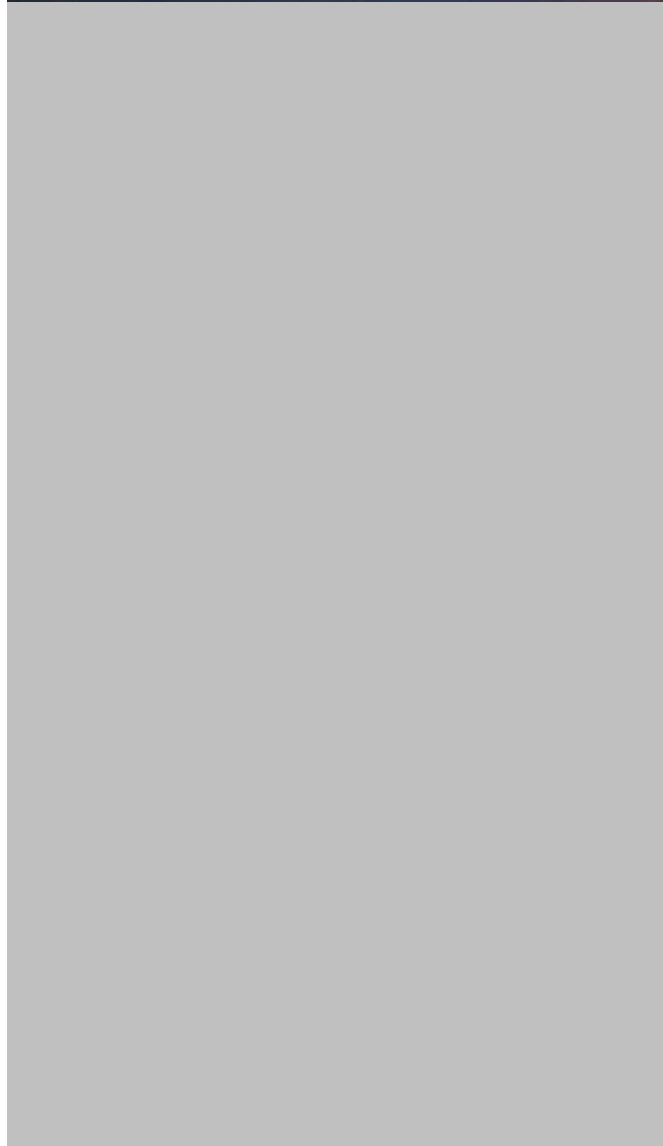


Russel et al. Effects of prolonged low doses of recombinant human erythropoietin during submaximal and maximal exercise. Eur. J. Appl. Physiol. 2002 86, 442-449

-▲- EPO+IV Iron -■- EPO+OR Iron -○- Placebo

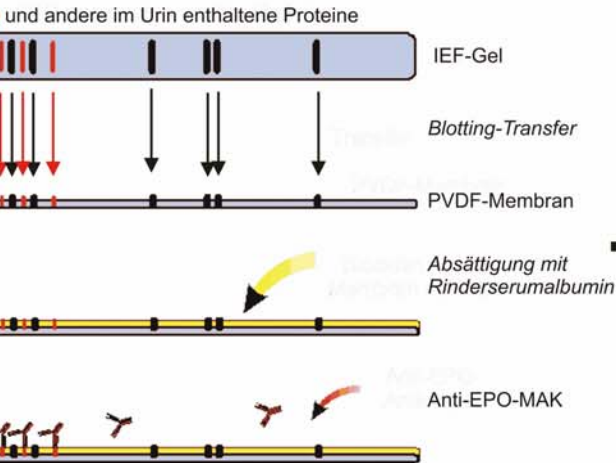


Days

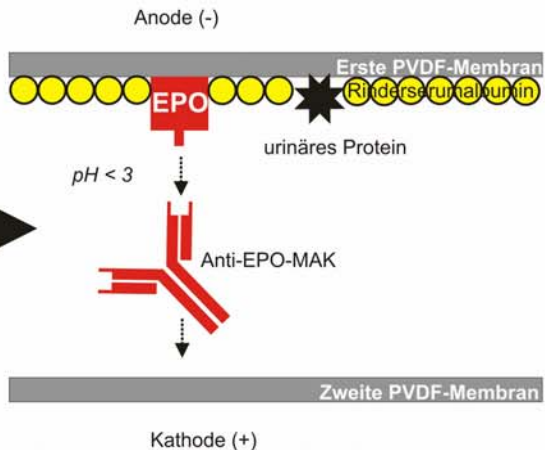


Direkter Erythropoetinnachweis im Urin

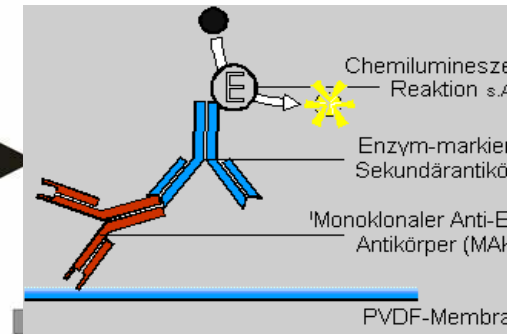
Primäres Blotting



Sekundäres Blotting



Chemolumineszenz



Indirekter Eponachweis im Blut durch charakteristische Änderungen nach kurz- und langfristiger EPO-Anwendung

- im Vollblut: Hämatokrit (Hkt), Retikulozyten-Hämatokrit (RetiHkt),
- im Serum: der lösliche (soluble) Transferrinrezeptor (sTfR) und das Serum-EPO.

erzeit wird der Bluttest aber nur als Screeningverfahren zugelassen