

AUSDAUER-DIAGNOSTIK
mittels Stoffwechselfparameter Laktat

Unter besonderer Berücksichtigung von Lauf/Spielsportarten

Kapitel-Verzeichnis

1.  Was ist Laktat ? Entstehung-Wirkung-Testung (Laktatstufentest)
2.  Laktatschwellenkonzepte
3.  Schwellenmodelle – ausgewählte Einzeldarstellung: Maderschwelle
4.  Meinungsstreit
5.  Stegmann-/Kindermann - Schwelle
6.  Ausgewählte Laktat- und Herzfrequenz-Leistungskurven
7.  Intervall-Lauf-Intensitäten (nach Stegmann-/Kindermann – u. Maderschwelle)
8.  Laktatstufentest – Sinn- und Defizit-Diskussion
9.  Ausgewählte Laktatstufentest - Auswertesoftware
10.  „Materialien“ zur Durchführung und Auswertung von Laktatstufentests
11.  Ausgewählte, laktatbezogene Ist – Soll - Daten
12.  Alternative Methoden zur Bestimmung und Abschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit

1

Was ist Laktat?-Entstehung-Wirkung-Testung (Laktat-Stufentest)

Teil 1

Laktat
Laktat-Diagnostik
Laktat-Stufentest

Grundlagen und ausgewählte Testvariationen / Testdiskussion

Weitere Inhalte / Informationen zu Laktat-Lauf-(Feld)Stufentest in Themendatei 6-Leistungs(fähigkeits)diagnostik Kapitel 13

LAKTAT

LAKTAT ist ein saures **Stoffwechsel-Zwischenprodukt** des Kohlenhydrat-Stoffwechsels (Abbau von Glukose und Muskelglykogen) über bzw. aus dem Zwischenprodukt Pyruvat (Glykolyse-Prozess), das als energiereiches Substrat wieder im Energiestoffwechsel genutzt werden kann.

Bei intensiver körperlicher Belastung stellt der Abbau von **Kohlenhydraten (KH)** die benötigte Energie im Muskel bereit. Dabei entsteht **Pyruvat**, das entweder in den oxidativen Stoffwechsel überführt wird, oder vermehrt zu **Laktat + H⁺** umgewandelt wird.

Hinweis: Neuere Erkenntnisse über Laktat minimieren Sauerstoffmangel als Laktat-Ursache und stellen Laktat als Ursache muskulärer Ermüdung bei hochintensiven Belastungen **infrage (!)**.

Zur Laktatbestimmung wird kapilläres Blut i.d.R. aus dem Ohrläppchen entnommen (Blutplasma hat eine systematisch höhere Laktatkonzentration)

Durch die gut reproduzierbare Beziehung zwischen der Höhe der Laktatkonzentration und der individuellen, relativen Leistung kann die individuelle **Veränderung** des Ausdauer- Trainingszustands bei gleichen Testbedingungen (z.B. Testprotokoll, äußeren Umgebungsbedingungen, Tageszeit, Regenerationszustand u.a.) gut beurteilt werden.

Die **Laktat-Elimination** geschieht in verschiedenen Organen wie Herz, Leber, Gehirn, sowie in ruhender und arbeitender Muskulatur in Abhängigkeit von der arteriellen Laktatkonzentration und der Durchblutung des Laktat abbauenden Organs.

In der **sportbezogenen** Ausdauer-Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung ist die Laktatdiagnostik der Spiroergometrie **klar überlegen**, da die „anaerobe Schwelle“ mit Laktat zuverlässiger im direkten Bezug zur Leistung bestimmt werden kann.

Neben der anaeroben Laktat-Schwelle ist die **VO_{2max}** [ml/min] bzw. relative gewichtsbezogene **rel VO_{2max}** [ml/kg/min] für interpersonellen Vergleich als Indikator zur Bewertung Ausdauerleistungsfähigkeit eine weitere, wesentliche Messgröße, die **exakt** mittels der Spiroergometrie ermittelt werden kann: je höher die rel VO_{2max}, desto besser die Leistungskonstanz und die Regenerationsfähigkeit. Für den (Leistungs)Sportler kann auch die bei weiteren Ausdauer tests mögliche, regressionsanalytische Berechnung der VO_{2max} genügen.

Ausgewählte (bisherige / 20. Jh.-Wende) traditionelle Betrachtungsweisen des Laktats

- Milchsäure – fälschlicherweise in Deutschland synonym mit Laktat – ist Stoffwechselendprodukt und Hauptfaktor der Muskelermüdung
- Milchsäure / Laktat ist Schlüsselfaktor von azidosebedingten Gewebsschäden (z.B. Zerstörung der Mitochondrien)
- Akkumulation von Milchsäure / Laktat im Blut bei körperlicher Arbeit ist Folge unzureichender Sauerstoffversorgung der aktiven Muskulatur mit Übergang zum anaeroben-laktaziden Stoffwechsel
- Laktat wird i.d.R. als einziger Parameter in der Ausdauer-Leistungsdiagnostik verwendet
- Verbesserungen/Verschlechterungen werden anhand von sog. „Laktatschwellen“ festgelegt; solche Schwellen sollten besser als Leistung definiert werden.
- (Ausdauer) Trainierte produzieren weniger Blutlaktat.
- Muskuläre Ermüdung ist die Ursache von Laktat-Akkumulation durch unzureichende Sauerstoffversorgung.
- Laktat verlässt den Muskel ausschließlich durch einfache Diffusion z.B. in den Blutkreislauf.
- Eine erhöhte (Blut-)Laktatkonzentration beruht ausschließlich auf einer gesteigerten Glykolyse. Richtig: nur eine Veränderung des Pyruvat/Laktat-Quotienten lässt auf eine anaerobe Energiebereitstellung schließen.
- Blutlaktatkonzentrationen sind das Resultat erhöhter Laktatbildung. Richtig: sie sind auch Ergebnis eines multifaktoriellen Laktat-Transportprozesses.

Literatur/Quelle: Wahl P., Bloch W., Mester J.: Moderne Betrachtungsweisen des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. In: Schweizerische Zeitschrift für „Sportmedizin und Sporttraumatologie“ 57 (3), 2009, 100-107

Ausgewählte erweiterte moderne Betrachtungsweisen des Laktats

- Laktat wird gebildet, wenn die Pyruvatproduktion den Bedarf übersteigt
- Laktat ist nicht zwangsläufig Resultat anaerober Bedingungen
- Laktat ist wichtiger Stoffwechselmetabolit mit Transport in diverse Zellen und Organe, wo es der oxidativen Energiebereitstellung zugeführt wird.
- Laktat hat steuernde Funktion bei Gewebsanpassungen (z.B. Muskelhypertrophie)
- Ausdauerdiagnostik im Spitzenbereich mit nur 1 Parameter Laktat wird den relativ geringen Verbesserungspotenzialen und den vielen möglichen endogenen Einflussfaktoren auf die Blutlaktatkonzentration nicht vollends gerecht.
- Ein gesteigerter muskulärer Laktatturnover kann auch bei niedrigen Intensitäten auftreten, bevor dies in einer gesteigerten Blutlaktatkonzentration erkennbar ist.
- Niedrige Blutlaktatkonzentrationen von (Ausdauer) Trainierten kommt nicht durch eine geringere Produktion zustande, sondern durch eine bessere Verwertung des Blutlaktats.
- Eine erhöhte Blutlaktatkonzentration erhöht gleichzeitig die Laktataufnahme und Verstoffwechselung inaktiver Muskeln.
- Laktat hat – wie Hypoxie - steuernden Einfluss auf die Blutgefäßneubildung und die Wundheilung. Schon geringe Laktatkonzentrationen haben gleiche Effekte wie Hypoxie.
- Laktat stimuliert auch die Gefäßneubildung aus Stammzellen.
- Laktat verbessert auch die oxidative Energiebereitstellung.

Literatur/Quelle: Wahl P., Bloch W., Mester J.: Moderne Betrachtungsweisen des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. In: Schweizerische Zeitschrift für „Sportmedizin und Sporttraumatologie“ 57 (3), 2009, 100-107

Ausgewählte erweiterte moderne Betrachtungsweisen des Laktats

- Laktat reguliert u. a. die Schmerzempfindung und die Sympathikusregulation.
- Die Laktatproduktion verbessert nicht nur die anaerobe, sondern auch die aerobe Energiebereitstellung über eine Gefäßerweiterung und erhöhte Muskeldurchblutung.
- Laktat ist nicht nur eine Reaktion auf Belastung, sondern reguliert auch die Energiebereitstellung und Anpassungsprozesse.
- Muskuläre Ermüdung wird nicht durch Akkumulation von Laktat / Milchsäure (infolge unzureichender Sauerstoffversorgung) erzeugt, sondern ist ein komplexes, multifaktorielles Phänomen und nicht die Ursache eines einzelnen Faktors.
- Laktat hat einen positiven Effekt auf die Leistung eines ermüdeten Muskels.
- Laktat beeinflusst indirekt die Aufrechterhaltung der Aktionspotenziale für die Muskelkontraktion.
- Extrazelluläre K^+ (Kaliumionen) werden als bedeutender Faktor der muskulären Ermüdung angenommen. Neben Störungen des Ionenhaushalts und damit der Erregbarkeit der Muskulatur wird auch der Anhäufung von freiem Phosphat (produziert während Kontraktion) eine muskelermüdende Wirkung zugeschrieben.
- Milchsäure dissoziiert zu 99% zu Laktat und H^+ - Ionen. Die H^+ -Ionenfreisetzung wird ebenfalls als Grund für Muskelermüdung angenommen. Die Laktatazidose wird als Grund für die Muskelermüdung **infrage** gestellt und generell überdacht.
- Laktat ist kein Stoffwechsel**end**produkt, sondern ein wichtiger Energieträger, der am Bildungsort, in benachbarten oder distalen Zellen via Laktat-Shuttle verstoffwechselt wird.
- Die Muskulatur ist sowohl Hauptproduktionsort als auch Haupteliminationsort.
- Unter Belastung werden ca. 83% des Laktats der oxidativen Energiebereitstellung zugeführt.

Literatur/Quelle: Wahl P., Bloch W., Mester J.: Moderne Betrachtungsweisen des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. In: Schweizerische Zeitschrift für „Sportmedizin und Sporttraumatologie“ 57 (3), 2009, 100-107

Ausgewählte **moderne** Betrachtungsweisen des Laktats Zusammenfassender Überblick 1

- Blutlaktatkonzentration (BLK) ist Ergebnis eines multifaktoriellen Prozesses.
- BLK wird nicht nur durch die Glykolyserate, sondern auch durch die Effizienz des Laktattransports reguliert.
- Training führt zur Verbesserung der Laktat- und H⁺-Transportkapazität unterschiedlicher Gewebe und verbessert deren pH-Regulation.
- Positive Ausdauer-Trainingsanpassungen müssen aufgrund der vielen Einflussfaktoren nicht immer im Laktat sichtbar werden und bedeuten nicht zwangsläufig Stagnation der Trainingseffekte.
- Laktatschwellen als spezielle Punkte der Laktatleistungskurve haben keine höhere Bedeutung für die Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung als andere Punkte der Kurve, d.h. Schwellenkonzepte sind daher zur Trainingssteuerung grundsätzlich zu hinterfragen (!).
- Beim Vergleich von Schwellen ist Vorsicht geboten. Dabei spielt das verwendete Belastungsprotokoll – bes. Stufendauer - eine große Rolle, da sich erst nach ca. 8 Minuten ein Laktatgleichgewicht (steady-state) einstellt.
- Laktatschwellen sind bekanntermaßen unterschiedlich definiert, z.B. im englischen Sprachraum: anaerobic threshold (Wassermann) = Punkt des ersten messbaren Laktatanstiegs; im deutschen Sprachraum 4mmol/l-Schwelle (Mader) als Bereich des Übergangs von rein aerober zur partiell anaerob-laktazider Energiebereitstellung. Es scheint ein größeres Zeitfenster zu existieren, in dem die Laktatproduktion die -elimination übersteigt, weniger eine spezielle Schwelle. Es wird empfohlen, den Begriff „anaerobe Schwelle durch eine funktionelle Beschreibung zu ersetzen, da weder eine eindeutige Schwelle existiert, noch die Muskulatur zu keinem Zeitpunkt komplett anaerob arbeitet“ (Wahl, Bloch, Mester 2009).
- Auch oberhalb der sog. anaeroben Schwelle ist der muskuläre Energiestoffwechsel überwiegend aerob. Bei einer Belastung nur knapp über dem max. Laktat-steady-state (maxLaSS) beträgt die anaerob-laktazide Energiebereitstellung nur ca. 2%.

Literatur/Quelle: Wahl P., Bloch W., Mester J.: Moderne Betrachtungsweisen des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. In: Schweizerische Zeitschrift für „Sportmedizin und Sporttraumatologie“ 57 (3), 2009, 100-107

Ausgewählte **moderne** Betrachtungsweisen des Laktats Zusammenfassender Überblick 2

- Ausdauerleistungsdiagnostik auf hohem Niveau sollte immer mehrere Parameter erheben (z.B. VO₂max oder die Zeit bis zur Erschöpfung (critical power oder timelimit).
- Laktat spielt eine wichtige Rolle als Signalmolekül bei Anpassungsprozessen. Je nach Zielsetzung sollte man im Training diese Wirkungen ausnutzen und z.B. auch passive Erholung zwischen intensiven Intervallen durchführen.
- Laktat ist ein wichtiger Energieträger und Energielieferant für die oxidative Energiebereitstellung.
- Laktat ist kein geeigneter Marker zur Erklärung von muskulärer Ermüdung und auch **nicht Hauptfaktor von Ermüdungserscheinungen**.
- Laktat wird die Rolle als „Pseudo-Hormon“ („Lactormon“) zugeschrieben.
- Die biologische Rolle von Milchsäure / Laktat eröffnet neue Aspekte zur Bedeutung und Bewertung von Laktat in der Trainingssteuerung.
- Laktat als **einzig**er diagnostischer Kennwert der Ausdauerleistungsfähigkeit ist im unteren und mittleren Leistungsbereich sicher ein gutes ausdauerdiagnostisches und –steuerndes Mittel; im oberen Leistungs- u. Spitzensport ist Laktat als einziger Kennwert zu wenig aussagekräftig. Hier wird die Aussagekraft von Laktat überschätzt.

Literatur/Quelle: Wahl P., Bloch W., Mester J.: Moderne Betrachtungsweisen des Laktats: Laktat ein überschätztes und zugleich unterschätztes Molekül. In: Schweizerische Zeitschrift für „Sportmedizin und Sporttraumatologie“ 57 (3), 2009, 100-107

Die LAKTAT-DIAGNOSTIK gilt als wichtige und verlässliche Methode zur **aeroben Ausdauer-Leistungsbestimmung**. Sie hat mit dem **Laktat-Stufentest** bes. im Rahmen einer Gruppendiagnostik von Mannschaftssportlern (z.B. Fußball) aufgrund praktischer und. theoretischer Vorteile bereits in den 1980er Jahren die „ältere“, klinische Spiroergometrie abgelöst.

Neben dem Hauptgegenstand der Ausdauer-Diagnostik unterstützt die sportmedizinische Laktat-Diagnostik in besonderen Fällen auch die klinische Differenzial- und Funktionsdiagnostik.

Die Laktat-Diagnostik (LaDi) beruht auf der Analyse des Anstiegs der Blut-Laktatkonzentration in Relation zur stufenförmig erbrachten Leistung zur Ermittlung der Ausdauerleistungsfähigkeit in Bezug zur metabolischen Beanspruchung.

Der LAKTAT-STUFENTEST als Haupttestverfahren der Laktat-Diagnostik ist ein wesentliches metabolisches Testinstrument zur Bestimmung der **Ausdauerleistungsfähigkeit** und daraus ableitbarer **Trainingsempfehlungen**.

Zielgröße des Laktatstufentests ist die Ermittlung der **individuell aerob-anaeroben Schwelle (IAAS)** als maximale Belastung/ Leistung (z.B. Laufgeschwindigkeit) mit gerade noch **rein aerober** Stoffwechselleistung. **IAAS** als höchste Belastung mit Gleichgewicht zwischen Laktatproduktion und Laktatabbau (maximales Laktat-Steady-State = maxLass) ist somit der bedeutendste Kennwert der **aeroben Ausdauerleistungsfähigkeit**. Belastungen oberhalb IAAS bewirken kontinuierlichen Laktatanstieg mit **partiell** anaerober Energiebereitstellung.

Die Bestimmung der Laktatkonzentration im Kapillarblut mittels trockenchemischer und enzymatischer Methoden ist einer der **bedeutendsten Indikatoren** für die aktuelle, metabolische Beanspruchung des Organismus während körperlicher Belastung.

Je höher die im Stufentest erbrachte Leistung in Relation zum Anstieg der Blutlaktatkonzentration, desto höher ist die aerobe Ausdauerleistung, repräsentiert durch die **aerob-anaerobe Schwelle**.

Diagnostische Referenzpunkte sind die **aerobe und anaerobe Schwelle** als numerisch erfasste **Kennwerte** und bedeutende **Prädiktoren** der Ausdauerleistung und als Positionen der Laktat-Leistungskurve gegen die erbrachte Leistung. Sie sind Grundlage für Empfehlungen von **Trainingsintensitätsbereichen** nach metabolischen Vorgaben.

Die simultane Herzfrequenz-Leistungskurve ordnet den Intensitätsbereichen entsprechende Herzfrequenzen (HF) zu, sodass Laktat, HF, Geschwindigkeit als Intensitäts-Kontrollgrößen gelten.

Laktatbestimmung ist unverzichtbar

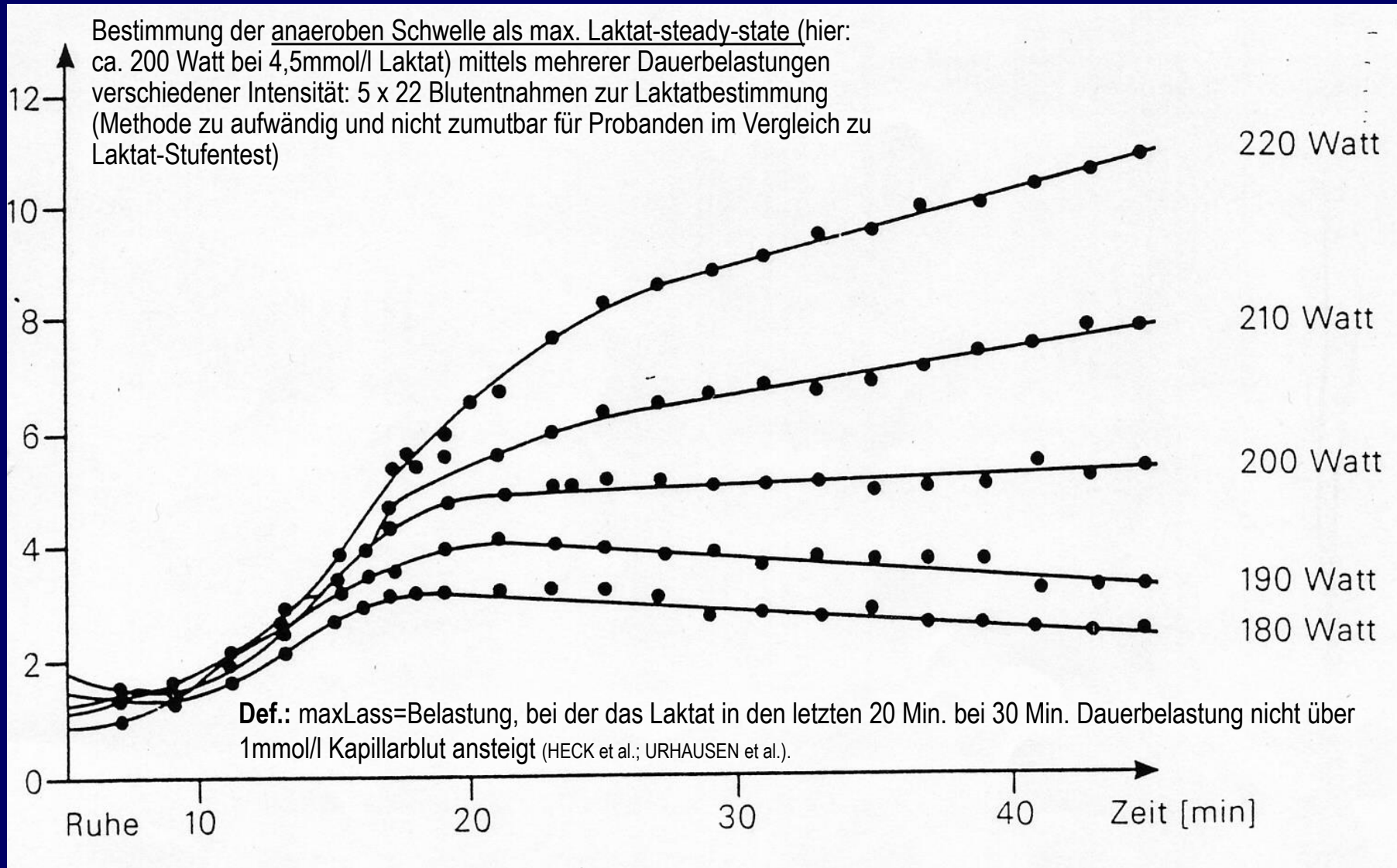
- ⇒ zur Quantifizierung der individuellen, aeroben Ausdauerleistung (Ist-Zustand)
- ⇒ zur Kontrolle des Leistungsfortschritts
- ⇒ zur Wirkungskontrolle verschiedener Trainingsmethoden
- ⇒ zur Festlegung / Steuerung der optimalen, individuellen Ausdauertrainingsbelastung für definierte Belastungsziele (regenerativ, extensiv, intensiv)
- ⇒ zur Vermeidung von Unter- und Überbelastungen
- ⇒ zur Stabilisierung des Immunsystems und somit der Gesundheit

Seit Mitte der 70iger Jahre Messung der belastungsabhängigen Konzentration des **Laktats im arteriellen Blut** als bedeutendster, biochemischer Indikator zur:

- ⇒ Beurteilung von Art und Höhe der Energiebereitstellung
- ⇒ objektiven Beurteilung der Belastungsintensität
- ⇒ objektiven Feststellung der individuellen Ausdauerleistungsfähigkeit
- ⇒ Steuerung des Ausdauertrainings

Laktatverhalten bei unterschiedlichen Belastungen

Bestimmungs- und Validierungsuntersuchungen zur aerob-anaeroben Schwelle = max. Laktat-Steady-State (höchste Laktatkonzentration bei konstanter Dauerleistung) mittels Dauerbelastungsuntersuchungen.



Anfangsproblem der Laktat-Diagnostik

aerobe und anaerobe Schwelle indirekt in einem einzigen Testverfahren verlässlich zu bestimmen.

Der von A. MADER et al. 1976 entwickelte Laktat-Stufentest mit der Definition der **aerob-anaeroben Schwelle** bei 4mmol/l Laktat als Bereich des Übergangs zwischen rein **aerob und partiell(!) anaerob** laktazid gedecktem Energiestoffwechsel und als Kriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit, sowie der aeroben Schwelle bei ca. 2 mmol/l Laktat, war der **Beginn der stoffwechseleoptimierten Laktatschwellenkonzepte zur Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung der Ausdauerleistung** und wird als stoffwechselspezifischer (!) Leistungssport-Gruppentest durch kein anderes Testverfahren übertroffen.

Die aerob-anaerobe Schwelle nach Mader et al. kennzeichnet im Mittel die höchste Dauerleistung, bei der die **Pyruvat-Laktatbildungsrate** und **oxidativer Pyruvat-Laktatabbau** gerade noch gleich sind. Diese Ausdauerleistung repräsentiert das sog. **maximale Laktat-steady-state**.

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

WeitereThemenbezogene Literatur

Mader A., Liesen H., Heck H., Philippi H., Rost R., Schürch P., Hollmann W., 1976
Mader A., 1984 (Habilitationsschrift)
Heck H., Mader A., Hess G., Mücke S., Müller R., Hollmann W., 1985
Heck H., 1991
Kindermann W., Simon G., Keul J., 1979
Schnabel A., Kindermann W., Schmitt W.M., Biro G., Stegmann H., 1982
Simon J., Young J.L., Blood D.K., Segal K.R., Case R.B., Gutin B., 1986
Stegmann H., Kindermann W., 1982
Weltman A., Snead D., Seip R., Schurrer R., Weltman J., Rutt R., Rogol A., 1990
Föhrenbach R., 1991
Föhrenbach R., Liesen H., Mader A., Heck H., Hollmann W., 1983
Föhrenbach R., Mader A., Hollmann W., 1981

LAKTAT-MEHRSTUFENTEST

bestimmt die Belastungsgrenze zwischen **rein aerober** und **partiell anaerob-laktazider** Energiebereitstellung der Arbeitsmuskulatur (aerob-anaerobe Schwelle) als

☛ KENNWERT der aktuellen Ausdauerleistungsfähigkeit und

☛ RICHTWERT der Belastungssteuerung für Trainingsintensitätsempfehlungen bzgl. definierter Trainingsziele und Intensitätsbereiche (z.B. regenerativ, extensiv, intensiv)

In der Leichtathletik relativ gute Prognose der Marathon-Laufzeit

Laktat-Stufentests von Mader et al. (1976) ergaben, dass im Mittel Belastungsintensitäten von **4mmol/l Laktat als Grenze von Ausdauerläufen** angenommen werden können, die über längere Zeit toleriert werden (Dauerleistungsgrenze).

Nur der aerobe Lauf-Mehrstufen-Test mit den Messparametern

- **Laufgeschwindigkeit**
- **Laktat**
- **Herzfrequenz**

erlaubt **objektive** Ausdauerbestimmung und stoffwechseleoptimierte, individuelle **Steuerung** des Laufausdauertrainings.

Laktat [Einheit] = Laktat [mmol/l]

x mmol/l Laktat = x mmol Laktat pro 1 Liter (l) Blut

mmol = millimol = 1tausendstel Mol (Mangeneinheit)

LAKTAT – EINZELMESSUNG

Methode zur (punktuellen) Ermittlung der Belastungsintensität und Art / Größe der belastungsinduzierten Energiebereitstellung
z.B. nach

- ☛ Fußball-Wettbewerb (Halbzeit, Spielende)
- ☛ verschiedenen Spielformen
- ☛ Lauftrainingsformen (Vorgabenkontrolle nach Dauerlauf, Intervallen u.ä.)
- ☛ Ausdauer-Testläufen, z.B. Coopertest (Anstrengungskontrolle)
- ☛ Laktat-Zeitverlauf nach Belastungsende u.a.m.

Messverfahren
Messparameter
Testbedingungen
Testprobanden
Testprotokolle
Testvergleiche

Arterielle Blutabnahme aus dem Ohrläppchen zur Laktatbestimmung



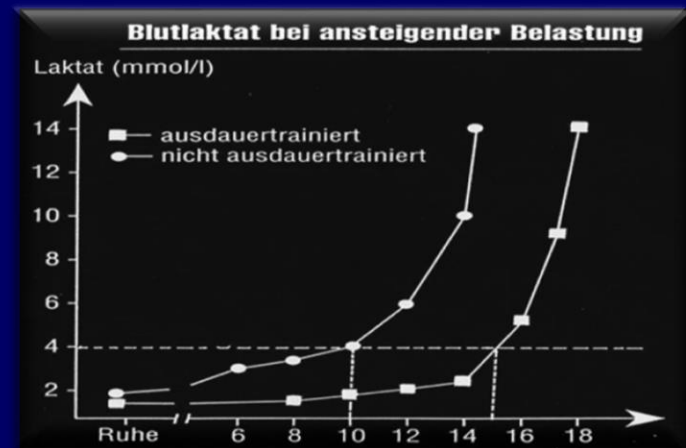
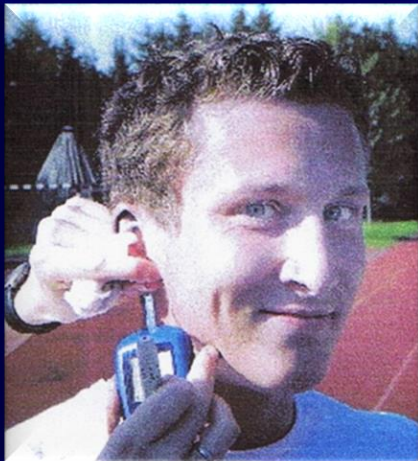
Laktat-Lauf-Stufentest

Kurzfassung

- ⇒ IAAS-Bestimmung mittels HF, Laktat und Laufgeschwindigkeit bzgl. Stufen
- ⇒ Erstellung HF- und Laktat-Leistungskurven aus den Stufenwerten
- ⇒ IAAS- Bestimmung mittels ausgewähltem Laktat-Schwellenmodell
- ⇒ Prozentuale Ableitung von IAAS für Belastungs-Intensitätsbereiche

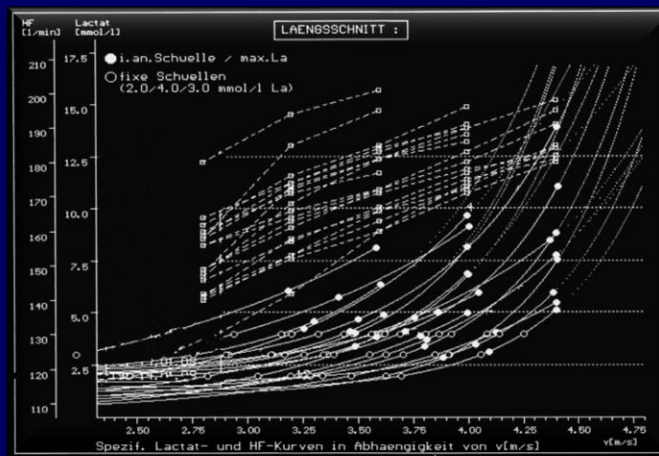
sehr gut: > 4,4 m/s
Gut: 4,1-4,4 m/s
befriedig.: 3,8-4,1 m/s
mäßig: 3,5-3,8 m/s
schwach: < 3,5 m/s

← z.B. Fußball



Laktat-Lauf-Stufentest

- ⇒ Bestimmung der aerob-anaeroben Schwelle als Kennwert der aeroben Ausdauerleistung
- ⇒ Test als Laufband-/ Fahrradergometer.- oder Feldtest erfüllt ausreichend die Hauptgütekriterien
- ⇒ Test-/Messparameter: Laufgeschwindigkeit, Laktat, Herzfrequenz
- ⇒ erlaubt individuelle Steuerung des Laufausdauertrainings verschiedener Intensitäten
- ⇒ erlaubt leistungshomogene Gruppenbildungen bei Mannschaften
- ⇒ Entscheidungsprobleme: Testmodell (Stufendauer, Stufenhöhe)?, Schwellenkonzept (fix oder indiv.)?
- ⇒ Einhaltung bestimmter (Vor-)Testbedingungen (probandenseitig, Tageszeit, Temperatur u.a.)
- ⇒ Trainingsbereiche mittels Schwellen-Prozentwerte
- ⇒ z.T. signifikante(!) Mittelwertsunterschiede im Vergleich **verschiedener** Schwellenkonzepte
- ⇒ ausgewählte Auswerteprogramme: WinLactat, neu 2023 = LC Lactat (mesics), FitnessPro Software (Dr. R. Föhrenbach)



Feldstufentest
Laktat- und
Herzfrequenz-
Leistungskurven einer
Regional-
Fußballmannschaft

Test: H. Allmann

Laktat-Mehrstufentest Lauf

Ort / Gerät: „Feld“ (Laufbahn); Labor (Laufband)

Belastungsmodus: stufenförmig

Anfangsgeschw.: z.B. 8-10 km/h (2,0-2,8 m/s); individuell

Geschw.Steigerung: 2/1,5 km/h (i.d.R.); 0,3 / 0,4 / 0,5 m/s

Stufenlänge: Feld: meist 800-2000m ; 10-5 Min.; auch gleiche Stufendauer gleiche Stufenstrecke: Verfälschung (?) der Messergebnisse und „Schwellen“; Laufband (1-1,5% Steigung): 3/5 Min. (Fahrradergometer: 3/5 Min.)

Stufenzahl: 4-6 bis subjektive Erschöpfung (nur für max. Laktat)

Pausendauer (Blutabnahme): ca.45 sec; möglichst kurz!

Laktatbestimmung: vor Test; nach jeder Stufe; evtl. mehrfach nach Testende (für max.Laktat; Stegmann-Schwelle)

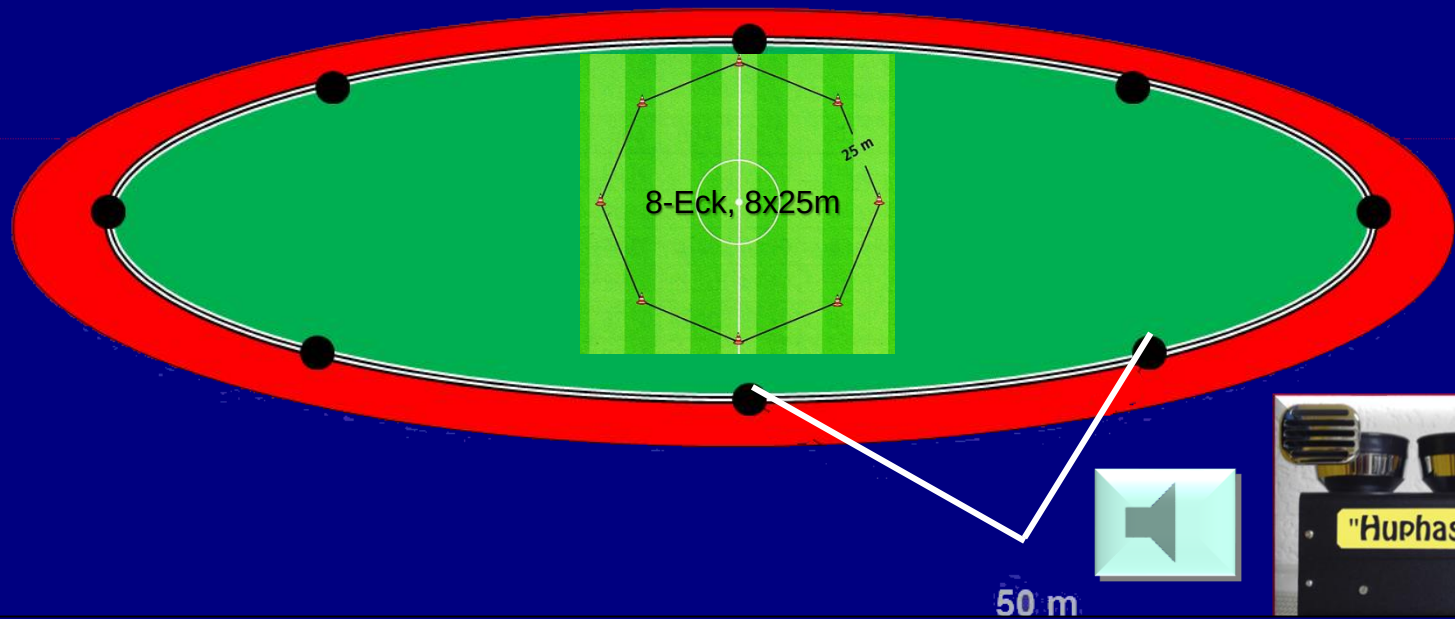
Herzfrequenzmessung: nach jeder Stufe

Graphisches Ergebnis: Laktat-Herzfrequenz-Leistungskurve

Ausdauerkriterien:

- aerobe und aerob-anaerobe Schwelle (fixe 2- und 4 mmol/l Laktat-Schwelle; Mader-Modell)
- Individuell-anaerobe Schwelle (verschiedene Modelle)

Lauf-Feld-Stufentest auf 400m-Bahn oder Spielfeld



Laufgeschwindigkeitssteigerung von Stufe zu Stufe

Stufentest-Temposteuerung

- Uhr mit Rücklaufmodus und Tonsignal
- Pfeife mit Tempotabelle
- „Huphase“ mit Doppelhorn-Hubsignal (softwaregesteuert)

30-45 sec Pause nach jeder Stufe mit Laktat – Herzfrequenzbestimmung u. Temposteigerung

Besser **gleiche Stufendauer** ≥ 3 Min statt gleiche Stufenstrecke

Alle Belastungsstufen pro Test sollten gleiche / konstante Dauer haben (wie Labor-Tests)

Die häufigsten Stufendauern sind 3 und 5 Minuten im Labor, im Feldtest **3 Min.** (Kindermann/Mayer, DFB; siehe Folie) und **länger**.

Die zeitabhängige Laktatproduktion und die Laktatverteilung erfordert **zeitlich gleichlange Belastungsstufen**.

Konstante Stufendauern, die durch 3 teilbar sind (z.B. 3,6,9...Min.) ergeben bei gleichen Stufenhöhen (z.B. 1,5; 2,0 km/h pro Testprotokoll) ganzzahlige, durch 50 bzw. 25 teilbare, Stufenlaufstrecken $x \cdot 50/25m$ entsprechend der (konstanten) Stufendauer und der jeweiligen Stufengeschwindigkeit.

Bei **50/25m** Zwischenmarkierungen auf 400m - Laufbahn bzw. Spielfeld sind diese konstanten Stufendauern bes. **praktikabel**, da die Stufenlaufstrecken an verschiedenen **Zwischenmarkierungen $x \cdot 50/25m$** für Herzfrequenz- und Laktatbestimmungen enden (Ortswechseländerung leicht möglich).

Nicht durch 3 teilbare Stufenzeiten ergeben **keine** durchweg ganzzahligen und praktikable Stufenstrecken (siehe Tabellen).

Feldtests mit konstanter Stufen-Streckenlänge und sich verkürzender Stufendauer „sind aufgrund schwer vorhersehbarer Beeinflussung der Messergebnisse nicht zu empfehlen“ (K. Röcker, Deut. Zschr. f. Sportmed. 12 (2013), 367-371).

Solche Testprotokolle verändern schwer kontrollierbar die Laktat-Leistungskurve (LLK) und folglich die Berechnung der aerob-anaerobe Schwelle gegenüber konstanten Stufenzeiten (Labor) durch Abflachung der LLK durch die kürzer werdenden Stufen-Laufzeiten bei gleicher Stufensteigerung.

Die **maximale** Laktatkonzentration ist belastungs- und intensitätsabhängig erst einige Minuten nach Belastungsende gegeben (Nachbelastungsmessungen 1., 3., 5., 10. Minute nötig; siehe STEGMANN-Schwelle)

Mindestens 4 Belastungsstufen mit Laktatmessung (auch in Ruhe vor 1. Stufe); Beginn mit probandenbezogenen **niedrigen** Belastungsstufen.

Da die Messung der Laktatkonzentration nicht am Produktionsort erfolgt, entspricht die Blutlaktatkonzentration nicht dem zeitgleichen Ausmaß der Laktatproduktion in den Muskelzellen.

In Deutschland sind Laktat-Stufen-Feldtests mit konstanten Stufenlaufstrecken (i.d.R. 1200m mit geringer Variation) und inkonstanten Stufenzeiten vielfach noch vorherrschend. Die daraus entstehenden Fehlinterpretationen der Testergebnisse sind bereits eingehend erklärt (s.o.)! Nur wenige (?) Diagnostiker testen richtigerweise mit gleichen Stufenzeiten und gleichen Stufenhöhen (i.d.R. 2km/h) bei unterschiedlichen Schwellenmodellen.

Populär ist das Saarbrücker 3-Minuten Stufenzeitmodell mit 2 km/h Stufenhöhe und je 100m Verlängerung der Stufenstrecke pro Stufe (siehe Testprotokoll 1/1a; W. Kindermann/T.Meyer für DFB). Anaerobe Schwelle = Stegmannschwelle.

In Annäherung an das original Mader-Testprotokoll mit der anaeroben 4mmol/l-Schwelle, Stufendauer ≥ 5 Min. und Stufenhöhe $0,4\text{m/s}=1,44\text{km/h} \sim 1,5\text{km/h}=0,417\text{m/s}$ empfiehlt sich die konstante Stufendauer von 6 Min. (bei $\Delta v=1,5\text{km/h}$ Stufenhöhe = Laufstreckensteigerung je Stufe um 150m; siehe Testprotoll 2a).

Die Laktat-Lauf-Feldstufentests werden i.d.R. wegen der guten Kontroll- und Messbarkeit auf einer 400m – Rundbahn durchgeführt

Berechnungsformel der Stufen-Laufstrecken für konstante Stufenzeiten und konstante Stufensteigerungen

$$\text{Laufstrecke/h [m]} \cdot (\text{konst.}) \text{ Stufendauer [sec]} \div 3600 [\text{sec}] = \text{Stufenlaufstrecke [m]}$$

Berechnungsformel der Stufenzeiten für bestimmte / konstante Stufenstrecken und Stufengeschwindigkeiten

$$3600 [\text{sec}] \cdot \text{Stufenstrecke [m]} \div \text{Laufstrecke/h [m]} = \text{Stufenzeit [sec]}$$

Ausgewählte Laktat-Feld-Laufstufentest Protokolle

Laufgeschwindigkeit [km/h]	Laufdauer [min:sec]	Laufstrecke [m]
8	3:00	400
10	3:00	500
12	3:00	600
14	3:00	700
16	3:00	800
18	3:00	900
20	3:00	1000

Saarbrücker 3-Minuten Stufen-Zeitmodell

(W. Kindermann, T. Meyer, DFB;
Stegmannschwelle)

Stufe 1: 500m in 2:58,6 min = 2,8 m/s = 10,08 km/h

Stufe 2: 600m in 3:01,8 min = 3,3 m/s = 11,88 km/h

Stufe 3: 700m in 2:59,5 min = 3,9 m/s = 14,04 km/h

Stufe 4: 800m in 3:01,8 min = 4,4 m/s = 15,84 km/h

Stufe 5: 900m in 3:00,0 min = 5,0 m/s = 18,00 km/h

Angewandtes Saarbrücker 3-Minuten Stufen-Zeitmodell

bei Laktat-Stufentest der Fußball-Nationalmannschaft
2005 während WM-Vorbereitung (W. Kindermann)

Laktat-Stufentest der Deutschen Fußball-Nationalmannschaft am 22. März 2005 im Rahmen der WM-Vorbereitung in Frankfurt/Main (Testprotokoll und Testdurchführung nach W. Kindermann)

Stufe 1: 500m in 2:58,6 min = 2,8 m/s = 10,08 km/h

Stufe 2: 600m in 3:01,8 min = 3,3 m/s = 11,88 km/h

Stufe 3: 700m in 2:59,5 min = 3,9 m/s = 14,04 km/h

Stufe 4: 800m in 3:01,8 min = 4,4 m/s = 15,84 km/h

Stufe 5: 900m in 3:00,0 min = 5,0 m/s = 18,00 km/h

- ⇒ 8 Spieler/Gruppe
- ⇒ Kegel alle 50m
- ⇒ 10 Messpersonen
- ⇒ Vorbelastungslaktat
- ⇒ Start an 200m-Marke der 400m-Laufbahn
- ⇒ 1 Läufer mit „Leituhr“ (unruhige Kontrolle)
- ⇒ Blutabnahmedauer: ca. 45 sec
- ⇒ Nachbelastungslaktat: nach 1.,3.,5.,7.,10. Minute
- ⇒ Schwellenmodell: nach Stegmann et al.
- ⇒ Stufenhöhe: 2 km/h

Die Stufenhöhe von 2 km/h verlängert die Laufstrecke bei ca. 3 Min. Laufzeit / Stufe um exakt 100 m

Laktat-Stufentest der Deutschen Fußball-Nationalmannschaft am 22. 03. 2005 in Frankfurt im Rahmen der Vorbereitung zur Fußball-WM 2006 (Tester T. Meyer / Kindermann)

	Torwart	Abwehr	Mittelfeld	Sturm	GESAMT
Anzahl Spieler	3	9	13	5	30
4 mmol/l-Schwelle (3 Min. Stufendauer) range	--	4,3 m/s 4,06-4,64 m/s	4,34 m/s 4,17- 4,50 m/s	4,19 m/s 3,94 - 4,5 ms	4,28 m/s 3,94–4,64 m/s (IAS + 8,6%)
4 mmol/l-Schwelle (5 Min. Stufendauer ~ v 3 Min. Stufendauer minus 0,13 m/s) range	--	4,17 m/s 3,93-4,51 m/s	4,21 m/s 4,04-4,37 m/s	4,06 m/s 3,81-4,37 m/s	4,15 m/s 3,81-4,51 m/s
Indiv.anaerobe S. Stegmann-Schwelle (3 Min. Stufendauer) range	3,76 m/s 3,5-3,92 m/s	3,94 m/s 3,83-4,17 m/s	3,95 m/s 3,83-4,11 m/s	3,92 m/s 3,67-4,14 m/s	3,94 m/s 3,67-4,17 m/s (ohne Torwart)
Differenz Δ vLa4 – IAS (3 Min. Stufendauer) Δ min / Δ max	--	0,36 m/s 0,14 / 0,50 m/s	0,39 m/s 0,33 / 0,48 m/s	0,32 m/s 0,25 / 0,44 m/s	0,36 m/s 0,14 / 0,50 m/s

Laktat-Feld-Laufstufentest-Protokoll für Anwendung 4mmol/l Maderschwelle

In Annäherung an das original **Mader-Testprotokoll** mit der anaeroben **4mmol/l-Schwelle**, **Stufendauer ≥ 5 Min.** und **Stufenhöhe $0,4\text{m/s}=1,44\text{km/h} \sim 1,5\text{km/h}=0,417\text{m/s}$** empfiehlt sich die konstante **Stufendauer von 6 Min.** Bei $\Delta v=1,5\text{km/h}$ Stufenhöhe=Lafstreckensteigerung je Stufe um **150m**; siehe Testprotoll.

Testprotokoll zur Anwendung der 4mmol/l-Maderschwelle

Laufgeschwindigk. [km/h]	Laufdauer [min:sec]	Lafstrecke [m]
8	6:00	800
9,5	6:00	950
11	6:00	1100
12,5	6:00	1250
14	6:00	1400
15,5	6:00	1550
17	6:00	1700
18,5	6:00	1850

Weitere ausgewählte konkurrierende Laktat-Feld-Laufstufentest-Protokolle

Laufgeschwindigk. [km/h]	Laufdauer [min:sec]	Laufstrecke [m]
8	6:00	800
10	6:00	1000
12	6:00	1200
14	6:00	1400
16	6:00	1600
18	6:00	1800
20	6:00	2000

Stufensteigerung um 2 km/h entspricht nicht der 4mmol/l-Maderschwelle

<u>Laufgeschwindigk.</u> [km/h]	<u>Laufdauer [min:sec]</u>	<u>Laufstrecke [m]</u>	<u>Laufgeschwindigk. [km/h]</u>	<u>Laufdauer [min:sec]</u>	<u>Laufstrecke</u>
8	5:00	666,67	8	5:00	666,67
10	5:00	833,33	9,5	5:00	791,67
12	5:00	1000,00	11	5:00	916,67
14	5:00	1166,67	12,5	5:00	1041,67
16	5:00	1333,33	14	5:00	1166,67
18	5:00	1500,00	15,5	5:00	1291,67
20	5:00	1666,67	17	5:00	1416,67

Die Feldtest-Stufendauer von 5 km/h erweist sich als sehr **unpraktikabel**! Bei 2 km/h Stufensteigerung verlängert sich der Messpunkt von Stufe zu Stufe bei „krummen“ Laufstrecken um je **166,67m**, bei 1,5 km/h Stufensteigerung um je **125m**, unabhängig vom Tempobeginn.

Ausgewählte weitere konkurrierende Laktat-Feld-Laufstufentest-Protokolle

Laufgeschwindigk. [km/h]	Laufdauer [min:sec]	Laufstrecke [m]
8	9:00	1200
10	9:00	1500
12	9:00	1800
14	9:00	2100
16	9:00	2400
18	9:00	2700
20	9:00	3000

Laufgeschwindigk. [km/h]	Laufdauer [min:sec]	Laufstrecke [m]
8	5:00	666,7
10	5:00	833,3
12	5:00	1000,0
14	5:00	1166,7
16	5:00	1333,3
18	5:00	1500,0
20	5:00	1666,7

Ausgewählte weitere Laktat-Feld-Laufstufentest-Protokolle mit **konstanten Stufenstrecken**

Häufig genutztes Protokoll mit konstanter Stufen-Laufstrecke, 2 km/h Stufenhöhe mit angefügten Varianten. Konstante Stufen-Laufstrecken führen aufgrund der absteigenden Stufendauer zu Verfälschungen der physiologischen und metabolischen Messdaten und sollten im Laktatstufentest keine Anwendung finden. Die Testmethode entspricht nicht dem klassischen Labortest mit konstanten Stufenzeiten.

Laufgeschwindigk. [km/h]	Laufdauer [min:sec]	Laufstrecke [m]
8	9:00	1200
10	7:12	1200
12	6:00	1200
14	5:09	1200
16	4:30	1200
18	4:00	1200
20	3:36	1200
8	7:30	1000
8	6:00	800
16	6:00	1600

In Deutschland konkurrierende Laktatstufentest-Konzepte

Testparameter	DFB <u>Stegmann-Schwelle</u>	<u>Mader-Schwelle</u>	<u>Dickhuth-Schwelle</u>
v-Start	8/9/10 km/h 2,2/2,5/2,8 m/s	8/9/10 km/h 2,2/2,5/2,8 m/s	8 km/h
Stufendauer	3 Min.	mindestens 5 Min.	3 Min.
Stufenhöhe	2 km/h = 0,56 m/s	0,4 m/s = 1,44 km/h	2 km/h
Anaerobe Schwelle	Stegmann Kindermann	Leistung bei 4mmol/l La	Aerobes Schwellen- laktat (1.Laktatanstieg) + <u>1,5 mmol/l Laktat</u>

Weitere ausgewählte Laktat-Feld-Laufstufentest - Protokolle

Häufig genutztes Protokoll mit **Laufstrecken-Varianten** zur Erzielung einer möglichst **geringen** Variation des Zeitfensters der Laufdauer. Laufgeschwindigkeit in [m/s]. Diese Stufentestmethode mit **angenäherter** gleicher Laufdauer und ähnliche Varianten **verfälschen ebenso das korrekte Testergebnis**.

<u>Laufgeschwindigk. [m/s]</u>	<u>Laufdauer [min:sec]</u>	<u>Laufstrecke [m]</u>	<u>Laufgeschwindigk. [km/h]</u>	<u>Laufdauer [min:sec]</u>	<u>Laufstrecke [m]</u>
2,5	5:20	800	8	9:00	833,33
2,5	6:40	1000	10	5:06	850
2,5	8:00	1200	10	6:00	1000
2,9	6:53,8	1200	12	6:00	1200
2,9	5:44,8	1000	14	5:09	1200
3,3	5:03	1000	14	6:00	1400
3,3	6:03,6	1200	16	6:00	1600
3,7	5:24,3	1200	18	5:20	1600
4,1	4:52,7	1200	18	6:00	1800
4,1	6:30,2	1600	20	6:00	2000
4,5	5:55,6	1600			
4,9	5:26,5	1600			
5,3	5:01,9	1600			

Weitere ausgewählte Laktat-Feld-Laufstufentest-Protokolle

Beispiel 1

Laktat-Feld-Laufstufentest nach R. Föhrenbach (Institut für Leistungsdiagnostik)

1000m-Zeit	Stufen-Geschwindigkeit	Stufen-Strecke	400m-Runden	Stufendauer	Stufensteigerung
6:50 min	2,44 m/s	1200 m	3	8:12 min	0,26 m/s
6:10 min	2,70 m/s	1600 m	4	9:52 min	0,33 m/s
5:30 min	3,03 m/s	1600 m	4	8:48 min	0,30 m/s
5:00 min	3,33 m/s	2000 m	5	10:00 min	0,37 m/s
4:30 min	3,70 m/s	2000 m	5	9:00 min	0,47 m/s
4:00 min	4,17 m/s	2000 m	5	8:00 min	

Die Stufen-Geschwindigkeitssteigerung erfolgt über eine Reduzierung der 1000m–Laufzeit (t_{1000}) und nicht - wie meist üblich – über ein konstantes Δv . Die jeweils zu laufende Stufenstrecke bestimmt die Größe des Zeitfensters der Stufendauer und steht in Konkurrenz zu Laktatstufentests andere Autoren.

Modifizierter Lauf-Feld-Laktatstufentest nach R. Föhrenbach mit konstantem $\Delta v = 0,2 \text{ m/s}$, $V_0 = 2,6 / 2,8 / 3,0 \text{ m/s}$ Stufenlaufzeit $> 5 \text{ min}$ über 1200 m, 1600 m und 2000 m Stufenstrecke

Empfehlung für Spielsportler (Fußball): 1600 m Stufenstrecke.

Modifiziert: H.. Allmann

VStufe	t ₁₂₀₀	t ₁₆₀₀	t ₂₀₀₀ (Föhrenbach)
2,6 min	7:41 min.	10:15 min	12:49 min
2,8 m/s	7:09 min	9:31 min	11:54 min
3,0 m/s	6:40 min	8:53 min	11:07 min
3,2 m/s	6:15 min	8:20 min	10:25 min
3,4 m/s	5:53 min	7:50 min	9:48 min
3,6 m/s	5:33 min	7.24 min	9:16 min
3,8 m/s	5:16 min	7:01 min	8:46 min

Weitere Protokollvarianten Laktat-Laufstufentest

1. Laktat-Lauf-Feldstufentest-Protokoll für (sehr) gut ausdauertrainierte Sportler (R. Föhrenbach)

- ⇒ V_0 : 3,3 - 3,8 m/s (entsprechend Leistungsfähigkeit)
- ⇒ Δv – Stufe: 0,30 – 0,35 m/s
- ⇒ Stufenstrecke: 2000 m (konstant)
- ⇒ Stufenzeit: 9 – 6 Minuten
- ⇒ Testgesamtzeit: $\approx$ 45 Minuten
- ⇒ Stufenzahl: 4-6
- ⇒ Laktatbestimmung: vor Test und 1. 3. 5. 7. Minute nach Testende
- ⇒ Laufkontrolle: alle 100m mittels Uhr mit Zeitsollfunktionsmodus
- ⇒ aerobes Leistungskriterium: Leistung (Laufgeschwindigkeit) bei 4 mmol/l Blutlaktat ($v_{La4} = v_4$)
- ⇒ Laktat-Leistungskurve (LLK): Polynom 3.Grades
- ⇒ Trainingssteuerung: $v_{La4} = v_4 = 100\%$ Intensität. Die im Training realisierten Geschwindigkeiten bzgl. der jeweiligen Trainingsmethode werden zu v_4 in Beziehung gesetzt

2. Laktat-Stufentest **Laufband** (R. Föhrenbach). In Anlehnung an theoretische u. methodische Begründung von MADER et al. (1976, 1978), LIESEN et al. (1977), HECK et al. (1982).

- ⇒ v_0 : 2,7 - 2,9 m/s (nach Leistungserwartung, z.B. Fußball obere Ligen: 3,0 m/s)
- ⇒ Δv -Stufe: 0,4 m/s (P. Platen et al.: 0,5 m/s)
- ⇒ Stufendauer: 5 Minuten
- ⇒ Stufenzahl: 4-6
- ⇒ Laufband: 1% Steigung
- ⇒ Stufenpause: 30-45 sec

Laktat-Stufentest Laufband

nach HECK H., MADER A., LIESEN H., HOLLMANN W. (1982)

Ziel: als Reaktion auf die großen Laktat-Stufentest-Protokoll- und Durchführungsvariationen, und der daraus resultierenden mangelnden Vergleichbarkeit der Ergebnisse trafen sich o.g. Sportwissenschaftler und Autoren zahlreicher Laktat-Sachpublikationen zur Schaffung eines einheitlichen Untersuchungsschemas zur validen Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse von Laufband- und Feld-Laktat-Stufentests.

Basis: mehr als 3000 Laufbandtests. Diskussion zwischen Sportmedizinischen Instituten Freiburg und Saarbrücken

Testmodell: V_0 : 2,5 m/s: wenig ausdauertrainiert

3,0 m/s: mittlere Ausdauerleistung (u.a. Fußball)

3,5 m/s: gut/sehr gut ausdauertrainiert

Δv : 0,5 m/s (entspricht einer Sauerstoff-Mehraufnahme von ca. 6 ml /min x kg; bei 75 kg KG ~ 450 ml / min)

Diese Belastungsstufe entspricht der Fahrradergometrie

Stufendauer (tSt): 3 Min. Kompromiss aus testpraktischen u. zeitökonomischen Gründen. Versuche mit 3 Min. und 5 Min.

Stufendauer: v_4 (5 Min) ~ v_4 (3 Min) minus 0,1 m/s ($\emptyset$)

v_4 (5,5 Min) ~ v_4 (3,5 Min) minus 0,16 m/s ($\emptyset$)

Fazit: 1. Das max. Laktat-steadystate (MaxLass) bei Dauerbelastung wird **von v_4 (5 Min) wesentlich besser ermittelt als von v_4 (3 Min)**

2. Test mit tSt = 5 Min dauert ca. 10 Min. länger als Test mit tSt = 3 Min.

3. V_4 (3 Min) muss gegenüber v_4 (5 Min) um ~0,1 m/s verringert werden

4. Bei Tests mit tSt = 3 Min. sollte stets angegeben werden, ob v_4 (nicht) korrigiert ist. Unkorrigiertes v_4 ergibt falsche Trainingsempfehlungen. **Bei tSt = 5 Min. ist keine Korrektur nötig!**

Pausendauer (PD): 30 sec (Normalfall); Forderung: Pause so kurz wie möglich

Laufband-Anstiegswinkel: $\emptyset$ 1,5%. Abhängig von LB-Typ (1-2%) und „Feld“-Bedingungen. Für korrekten Anstiegswinkel auch Vergleichsversuch LB - Laufbahn; Fehlen diese Informationen, kleinster möglicher Fehler: 1,5%

Sprint-Laktat-Test

1. Belastung/Methode: 3 x (5 x 30m maximaler Lauf-Sprint)
2. Pause nach jedem Sprintlauf: 3 Minuten
3. Serienpause: 6 Minuten
4. Laktatbestimmung: ⇨ nach jeder Serie
⇨ nach 1., 3. und 5. Nachbelastungsminute
5. Ort: Kunststofflaufbahn
6. Zeitmessung: aus Hochstart mit hinterem Bein an Lichtschranke Startlinie

Korrelationsstatistik

1. $r(v \text{ La4} / v \text{ 30m}) = -0,78; p < 0,001$ (hochsignifikant)
2. $r(v \text{ La4} / \text{La } 15 \times 30\text{m}) = -0,42; p < 0,05$ (signifikant)

Interpretation: ad 1: hohe (geringe) aerobe Kapazität ↔ geringe (hohe) 30m max. Sprintleistung
ad 2: hohe (geringe) aerobe Kapazität ↔ geringe (hohe) Blutlaktatkonzentration
nach 15 x 30m (allg. nach Intervall-Sprintbelastungen)

3. $r(v \text{ 30m} / \text{La } 15 \times 30\text{m}) = 0,78; p < 0,001$ (hochsignifikant) bei Fußball 1. BL
= 0,76; $p < 0,001$ (hochsignifikant) bei Fußball Landesliga

Interpretation: ad 3: hohe (geringe) 30m Sprintleistung (v 30m) ↔ hohe (geringe) Blutlaktatkonzentration nach 15 x 30m

Exkurs

Ausgewählte Lauftempo-Laufstrecken-Zeit-Tabellen für Laktat-Feldstufentests

Tabelle 1 (Laufgeschwindigkeits-Zeit-Tabelle)

Laufgeschwindigkeit		m/sec	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,8	5,9	6,0
km/h			9,0	9,36	9,72	10,08	10,44	10,8	11,16	11,52	11,88	12,24	12,6	12,96	13,32	13,68	14,04	14,4	14,76	15,12	15,48	15,84	16,2	16,56	16,92	17,28	17,64	18,0	18,36	18,72	19,08	19,44	19,8	20,16	20,52	20,88	21,24	21,6
Laufzeit 50m [sec]			20,00	19,23	18,52	17,86	17,24	16,67	16,13	15,63	15,15	14,71	14,29	13,89	13,51	13,16	12,82	12,50	12,20	11,90	11,63	11,36	11,11	10,87	10,64	10,42	10,20	10,00	9,80	9,62	9,43	9,26	9,09	8,93	8,77	8,62	8,47	8,33
1. RUNDE	50 m	0:20,0	0:19,2	0:18,5	0:17,9	0:17,2	0:16,7	0:16,1	0:15,6	0:15,2	0:14,7	0:14,3	0:13,9	0:13,5	0:13,2	0:12,8	0:12,5	0:12,2	0:11,9	0:11,6	0:11,4	0:11,1	0:10,9	0:10,6	0:10,4	0:10,2	0:10,0	0:9,8	0:9,6	0:9,4	0:9,3	0:9,1	0:8,9	0:8,8	0:8,6	0:8,5	0:8,3	
	100 m	0:40,0	0:38,5	0:37,0	0:35,7	0:34,5	0:33,3	0:32,3	0:31,3	0:30,3	0:29,4	0:28,6	0:27,8	0:27,0	0:26,3	0:25,6	0:25,0	0:24,4	0:23,8	0:23,3	0:22,7	0:22,2	0:21,7	0:21,3	0:20,8	0:20,4	0:20,0	0:19,6	0:19,2	0:18,9	0:18,5	0:18,2	0:17,9	0:17,5	0:17,2	0:16,9	0:16,7	
	150 m	1:00,0	0:57,7	0:55,6	0:53,6	0:51,7	0:50,0	0:48,4	0:46,9	0:45,5	0:44,1	0:42,9	0:41,7	0:40,5	0:39,5	0:38,5	0:37,5	0:36,6	0:35,7	0:34,9	0:34,1	0:33,3	0:32,6	0:31,9	0:31,3	0:30,6	0:30,0	0:29,4	0:28,8	0:28,3	0:27,8	0:27,3	0:26,8	0:26,3	0:25,9	0:25,4	0:25,0	
	200 m	1:20,0	1:16,9	1:14,1	1:11,4	1:09,0	1:06,7	1:04,5	1:02,5	1:00,6	0:58,8	0:57,1	0:55,6	0:54,1	0:52,6	0:51,3	0:50,0	0:48,8	0:47,7	0:46,5	0:45,5	0:44,4	0:43,3	0:42,6	0:41,9	0:41,3	0:40,6	0:39,9	0:39,2	0:38,5	0:37,7	0:37,0	0:36,4	0:35,7	0:35,1	0:34,5	0:33,9	0:33,3
	250 m	1:40,0	1:36,2	1:32,6	1:29,3	1:26,2	1:23,3	1:20,6	1:18,1	1:15,8	1:13,5	1:11,4	1:09,4	1:07,6	1:05,8	1:04,1	1:02,5	1:01,0	0:59,5	0:58,1	0:56,8	0:55,6	0:54,3	0:53,2	0:52,1	0:51,0	0:50,0	0:49,0	0:48,1	0:47,2	0:46,3	0:45,5	0:44,8	0:43,9	0:43,1	0:42,4	0:41,7	
	300 m	2:00,0	1:55,4	1:51,1	1:47,1	1:43,4	1:40,0	1:36,8	1:33,8	1:30,9	1:28,2	1:25,7	1:23,3	1:21,1	1:18,9	1:16,9	1:15,0	1:13,2	1:11,4	1:09,8	1:08,2	1:06,7	1:05,2	1:03,8	1:02,5	1:01,2	1:00,0	0:58,8	0:57,7	0:56,6	0:55,6	0:54,5	0:53,4	0:52,6	0:51,7	0:50,8	0:50,0	
	350 m	2:20,0	2:14,6	2:09,6	2:05,0	2:00,7	1:56,7	1:52,9	1:49,4	1:46,1	1:42,9	1:40,0	1:37,2	1:34,6	1:32,1	1:29,7	1:27,5	1:25,4	1:23,3	1:21,4	1:19,5	1:17,8	1:16,1	1:14,5	1:12,9	1:11,4	1:10,0	1:08,6	1:07,3	1:06,0	1:04,8	1:03,6	1:02,5	1:01,4	1:00,3	0:59,3	0:58,3	
	400 m	2:40,0	2:33,8	2:28,1	2:22,9	2:19,9	2:13,3	2:09,0	2:05,0	2:01,2	1:57,6	1:54,3	1:51,1	1:48,1	1:45,3	1:42,6	1:40,0	1:37,6	1:35,2	1:33,0	1:30,9	1:28,9	1:27,0	1:25,1	1:23,3	1:21,6	1:20,0	1:18,4	1:16,9	1:15,5	1:14,1	1:12,7	1:11,4	1:10,2	1:09,0	1:07,8	1:06,7	
2. RUNDE	450 m	3:00,0	2:53,1	2:46,7	2:40,7	2:35,2	2:30,0	2:25,2	2:20,6	2:16,4	2:12,4	2:08,6	2:05,0	2:01,6	1:58,4	1:55,4	1:52,5	1:49,8	1:47,1	1:44,7	1:42,3	1:40,0	1:37,8	1:35,7	1:33,8	1:31,8	1:30,0	1:28,2	1:26,5	1:24,9	1:23,3	1:21,8	1:20,4	1:18,9	1:17,6	1:16,3	1:15,0	
	500 m	3:20,0	3:12,3	3:05,2	2:58,6	2:52,4	2:46,7	2:41,3	2:36,3	2:31,5	2:27,1	2:22,9	2:18,9	2:15,1	2:11,6	2:08,2	2:05,0	2:02,0	1:59,0	1:56,3	1:53,6	1:51,1	1:48,7	1:46,4	1:44,2	1:42,0	1:40,0	1:38,0	1:36,2	1:34,3	1:32,6	1:30,9	1:29,3	1:27,7	1:26,2	1:24,7	1:23,3	
	550 m	3:40,0	3:31,5	3:23,7	3:16,4	3:09,7	3:03,3	2:57,4	2:51,9	2:46,7	2:41,8	2:37,1	2:32,8	2:28,6	2:24,7	2:21,0	2:17,5	2:14,1	2:11,0	2:07,9	2:05,0	2:02,2	1:59,6	1:57,0	1:54,6	1:52,2	1:50,0	1:47,8	1:45,8	1:43,8	1:41,9	1:40,0	1:38,2	1:36,5	1:34,8	1:33,2	1:31,7	
	600 m	4:00,0	3:50,8	3:42,2	3:34,3	3:26,9	3:20,0	3:13,5	3:07,5	3:01,8	2:56,5	2:51,4	2:46,7	2:42,2	2:37,9	2:33,8	2:30,0	2:26,3	2:22,9	2:19,5	2:16,4	2:13,3	2:10,4	2:07,7	2:05,0	2:02,4	2:00,0	1:57,6	1:55,4	1:53,2	1:51,1	1:49,1	1:47,1	1:45,3	1:43,4	1:41,7	1:40,0	
	650 m	4:20,0	4:10,0	4:00,7	3:52,1	3:44,1	3:36,7	3:29,7	3:23,1	3:17,0	3:11,2	3:05,7	3:00,6	2:55,7	2:51,1	2:46,7	2:42,5	2:38,5	2:34,8	2:31,2	2:27,7	2:24,4	2:21,3	2:18,3	2:15,4	2:12,7	2:10,0	2:07,5	2:05,0	2:02,6	2:00,4	1:58,2	1:56,1	1:54,0	1:52,1	1:50,2	1:48,3	
	700 m	4:40,0	4:29,2	4:19,3	4:10,0	4:01,4	3:53,3	3:45,8	3:38,8	3:32,1	3:25,9	3:20,0	3:14,4	3:09,2	3:04,2	2:59,5	2:55,0	2:50,7	2:46,7	2:42,8	2:39,1	2:35,6	2:32,2	2:28,9	2:25,8	2:22,9	2:20,0	2:17,3	2:14,6	2:12,1	2:09,6	2:07,3	2:05,0	2:02,8	2:00,7	1:58,6	1:56,7	
	750 m	5:00,0	4:48,5	4:37,8	4:27,9	4:18,6	4:10,0	4:01,9	3:54,4	3:47,3	3:40,6	3:34,3	3:28,3	3:22,7	3:17,4	3:12,3	3:07,5	3:02,9	2:58,6	2:54,7	2:50,5	2:46,7	2:43,0	2:39,6	2:36,3	2:33,1	2:30,0	2:27,1	2:24,2	2:21,5	2:18,9	2:16,4	2:13,9	2:11,6	2:09,3	2:07,1	2:05,0	
	800 m	5:20,0	5:07,7	4:56,3	4:45,7	4:35,9	4:26,7	4:18,1	4:10,0	4:02,4	3:55,3	3:48,6	3:42,3	3:36,2	3:30,5	3:25,1	3:20,0	3:15,1	3:10,5	3:06,3	3:01,8	2:57,8	2:53,9	2:50,2	2:46,7	2:43,3	2:40,0	2:36,9	2:33,8	2:30,9	2:28,1	2:25,5	2:22,9	2:20,4	2:17,9	2:15,6	2:13,3	
3. RUNDE	850 m	5:40,0	5:26,9	5:14,8	5:03,6	4:53,1	4:43,3	4:34,2	4:25,6	4:17,6	4:10,0	4:02,9	3:56,1	3:49,7	3:43,7	3:37,9	3:32,5	3:27,3	3:22,4	3:17,7	3:13,2	3:08,9	3:04,8	3:00,9	2:57,1	2:53,5	2:50,0	2:46,7	2:43,5	2:40,4	2:37,4	2:34,5	2:31,8	2:29,1	2:26,6	2:24,1	2:21,7	
	900 m	6:00,0	5:46,2	5:33,3	5:21,4	5:10,3	5:00,0	4:50,3	4:41,3	4:32,7	4:24,7	4:17,1	4:10,0	4:03,2	3:56,8	3:50,8	3:45,0	3:39,5	3:34,3	3:29,3	3:24,5	3:20,0	3:15,7	3:11,5	3:07,5	3:03,7	3:00,0	2:56,5	2:53,1	2:49,8	2:46,7	2:43,6	2:40,7	2:37,9	2:35,2	2:32,5	2:30,0	
	950 m	6:20,0	6:05,4	5:51,9	5:39,3	5:27,6	5:16,7	5:06,9	4:56,9	4:47,4	4:39,4	4:31,4	4:23,9	4:16,8	4:10,0	4:03,6	3:57,5	3:51,7	3:46,2	3:40,9	3:35,9	3:31,1	3:26,5	3:22,1	3:17,9	3:13,9	3:10,0	3:06,3	3:02,7	2:59,2	2:55,9	2:52,7	2:49,6	2:46,7	2:43,8	2:41,0	2:38,3	
	1000 m	6:40,0	6:24,6	6:10,4	5:57,1	5:44,8	5:33,3	5:22,6	5:12,5	5:03,0	4:54,1	4:45,7	4:37,8	4:30,3	4:23,2	4:16,4	4:10,0	4:03,9	3:58,1	3:52,6	3:47,3	3:42,2	3:37,4	3:32,8	3:28,3	3:24,1	3:20,0	3:16,1	3:12,3	3:08,7	3:05,2	3:01,8	2:58,6	2:55,4	2:52,4	2:49,5	2:46,7	
	1050 m	7:00,0	6:43,8	6:28,9	6:15,0	6:02,1	5:50,0	5:38,7	5:28,1	5:18,2	5:08,8	5:00,0	4:51,7	4:43,8	4:36,3	4:29,2	4:22,5	4:16,1	4:10,0	4:04,2	3:58,6	3:53,3	3:48,3	3:43,4	3:38,8	3:34,3	3:30,0	3:25,9	3:21,9	3:18,1	3:14,4	3:10,9	3:07,5	3:04,2	3:01,0	2:58,0	2:55,0	
	1100 m	7:20,0	7:03,1	6:47,4	6:32,9	6:19,3	6:06,7	5:54,8	5:43,8	5:33,3	5:23,5	5:14,3	5:05,6	4:57,3	4:49,5	4:42,1	4:35,0	4:28,3	4:21,9	4:15,8	4:10,0	4:04,4	3:59,1	3:54,0	3:49,2	3:44,5	3:40,0	3:35,7	3:31,5	3:27,5	3:23,7	3:20,0	3:16,4</					

Tabelle 2

Anfangsgeschwindigkeit

8 km/h

Steigerung

2 km/h

Entfernung

1200 m

mm:ss,00	8	10	12	14	16	18	20
50	00:22,50	09:18,00	16:27,00	22:24,86	27:31,82	32:00,57	35:59,57
100	00:45,00	09:36,00	16:42,00	22:37,71	27:43,07	32:10,57	36:08,57
150	01:07,50	09:54,00	16:57,00	22:50,57	27:54,32	32:20,57	36:17,57
200	01:30,00	10:12,00	17:12,00	23:03,43	28:05,57	32:30,57	36:26,57
250	01:52,50	10:30,00	17:27,00	23:16,29	28:16,82	32:40,57	36:35,57
300	02:15,00	10:48,00	17:42,00	23:29,14	28:28,07	32:50,57	36:44,57
350	02:37,50	11:06,00	17:57,00	23:42,00	28:39,32	33:00,57	36:53,57
400	03:00,00	11:24,00	18:12,00	23:54,86	28:50,57	33:10,57	37:02,57
450	03:22,50	11:42,00	18:27,00	24:07,71	29:01,82	33:20,57	37:11,57
500	03:45,00	12:00,00	18:42,00	24:20,57	29:13,07	33:30,57	37:20,57
550	04:07,50	12:18,00	18:57,00	24:33,43	29:24,32	33:40,57	37:29,57
600	04:30,00	12:36,00	19:12,00	24:46,29	29:35,57	33:50,57	37:38,57
650	04:52,50	12:54,00	19:27,00	24:59,14	29:46,82	34:00,57	37:47,57
700	05:15,00	13:12,00	19:42,00	25:12,00	29:58,07	34:10,57	37:56,57
750	05:37,50	13:30,00	19:57,00	25:24,86	30:09,32	34:20,57	38:05,57
800	06:00,00	13:48,00	20:12,00	25:37,71	30:20,57	34:30,57	38:14,57
850	06:22,50	14:06,00	20:27,00	25:50,57	30:31,82	34:40,57	38:23,57
900	06:45,00	14:24,00	20:42,00	26:03,43	30:43,07	34:50,57	38:32,57
950	07:07,50	14:42,00	20:57,00	26:16,29	30:54,32	35:00,57	38:41,57
1000	07:30,00	15:00,00	21:12,00	26:29,14	31:05,57	35:10,57	38:50,57
1050	07:52,50	15:18,00	21:27,00	26:42,00	31:16,82	35:20,57	38:59,57
1100	08:15,00	15:36,00	21:42,00	26:54,86	31:28,07	35:30,57	39:08,57
1150	08:37,50	15:54,00	21:57,00	27:07,71	31:39,32	35:40,57	39:17,57
1200	09:00,00	16:12,00	22:12,00	27:20,57	31:50,57	35:50,57	39:26,57

Tabelle 3

Anfangsgeschwindigkeit 8 km/h 2,22222222 m/s
 Steigung 1,5 km/h 0,41666667 m/s
 Entfernung 1200 m

mm:ss,00	8	9,5	11	12,5	14	15,5	17
50	00:22,50	09:18,95	16:51,10	23:21,86	29:05,92	34:13,25	38:50,93
100	00:45,00	09:37,89	17:07,46	23:36,26	29:18,78	34:24,86	39:01,52
150	01:07,50	09:56,84	17:23,83	23:50,66	29:31,64	34:36,47	39:12,11
200	01:30,00	10:15,79	17:40,19	24:05,06	29:44,49	34:48,09	39:22,70
250	01:52,50	10:34,74	17:56,56	24:19,46	29:57,35	34:59,70	39:33,29
300	02:15,00	10:53,68	18:12,92	24:33,86	30:10,21	35:11,31	39:43,87
350	02:37,50	11:12,63	18:29,28	24:48,26	30:23,06	35:22,93	39:54,46
400	03:00,00	11:31,58	18:45,65	25:02,66	30:35,92	35:34,54	40:05,05
450	03:22,50	11:50,53	19:02,01	25:17,06	30:48,78	35:46,15	40:15,64
500	03:45,00	12:09,47	19:18,37	25:31,46	31:01,64	35:57,76	40:26,23
550	04:07,50	12:28,42	19:34,74	25:45,86	31:14,49	36:09,38	40:36,82
600	04:30,00	12:47,37	19:51,10	26:00,26	31:27,35	36:20,99	40:47,40
650	04:52,50	13:06,32	20:07,46	26:14,66	31:40,21	36:32,60	40:57,99
700	05:15,00	13:25,26	20:23,83	26:29,06	31:53,06	36:44,22	41:08,58
750	05:37,50	13:44,21	20:40,19	26:43,46	32:05,92	36:55,83	41:19,17
800	06:00,00	14:03,16	20:56,56	26:57,86	32:18,78	37:07,44	41:29,76
850	06:22,50	14:22,11	21:12,92	27:12,26	32:31,64	37:19,05	41:40,35
900	06:45,00	14:41,05	21:29,28	27:26,66	32:44,49	37:30,67	41:50,93
950	07:07,50	15:00,00	21:45,65	27:41,06	32:57,35	37:42,28	42:01,52
1000	07:30,00	15:18,95	22:02,01	27:55,46	33:10,21	37:53,89	42:12,11
1050	07:52,50	15:37,89	22:18,37	28:09,86	33:23,06	38:05,51	42:22,70
1100	08:15,00	15:56,84	22:34,74	28:24,26	33:35,92	38:17,12	42:33,29
1150	08:37,50	16:15,79	22:51,10	28:38,66	33:48,78	38:28,73	42:43,87
1200	09:00,00	16:34,74	23:07,46	28:53,06	34:01,64	38:40,35	42:54,46

Tabelle 4

Testform: 5 x 1200 m Laufen

Laufzeit 50m (sec.)		20,00	16,67	14,29	12,50	11,11	10,00	9,09	8,33
Lauf temp	m /sec.	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
	km / h	9,0	10,8	12,6	14,4	16,2	18,0	19,8	21,6
1.	5 0 m	0:20,0	0:16,7	0:14,3	0:12,5	0:11,1	0:10,0	0:09,1	0:08,3
	1 0 0 m	0:40,0	0:33,4	0:28,6	0:25,0	0:22,2	0:20,0	0:18,2	0:16,7
R	1 5 0 m	1:00,0	0:50,0	0:42,9	0:37,5	0:33,3	0:30,0	0:27,3	0:25,0
U	2 0 0 m	1:20,0	1:06,7	0:57,2	0:50,0	0:44,4	0:40,0	0:36,4	0:33,3
N	2 5 0 m	1:40,0	1:23,4	1:11,5	1:02,5	0:55,5	0:50,0	0:45,5	0:41,7
D	3 0 0 m	2:00,0	1:40,0	1:25,7	1:15,0	1:06,7	1:00,0	0:54,5	0:50,0
E	3 5 0 m	2:20,0	1:56,7	1:40,0	1:27,5	1:17,8	1:10,0	1:03,6	0:58,3
	4 0 0 m	2:40,0	2:13,4	1:54,3	1:40,0	1:28,9	1:20,0	1:12,7	1:06,6
2.	4 5 0 m	3:00,0	2:30,0	2:08,6	1:52,5	1:40,0	1:30,0	1:21,8	1:15,0
	5 0 0 m	3:20,0	2:46,7	2:22,9	2:05,5	1:51,1	1:40,0	1:30,9	1:23,3
R	5 5 0 m	3:40,0	3:04,4	2:37,2	2:17,5	2:02,5	1:50,0	1:40,0	1:31,6
U	6 0 0 m	4:00,0	3:20,0	2:51,4	2:30,0	2:13,4	2:00,0	1:49,1	1:40,0
N	6 5 0 m	4:20,0	3:36,7	3:05,7	2:42,5	2:24,5	2:10,0	1:58,2	1:48,3
D	7 0 0 m	4:40,0	3:53,4	3:20,0	2:55,0	2:35,6	2:20,0	2:07,3	1:56,6
E	7 5 0 m	5:00,0	4:10,0	3:34,3	3:07,5	2:46,7	2:30,0	2:16,4	2:05,0
	8 0 0 m	5:20,0	4:26,7	3:48,6	3:20,0	2:57,8	2:40,0	2:25,4	2:13,3
3.	8 5 0 m	5:40,0	4:43,4	4:02,9	3:32,5	3:08,9	2:50,0	2:34,5	2:21,6
	9 0 0 m	6:00,0	5:00,0	4:17,1	3:45,0	3:20,0	3:00,0	2:43,6	2:29,9
R	9 5 0 m	6:20,0	5:16,7	4:31,4	3:57,5	3:31,2	3:10,0	2:52,7	2:38,3
U	1 0 0 0 m	6:40,0	5:33,4	4:45,7	4:10,0	3:42,3	3:20,0	3:01,8	2:46,6
N	1 0 5 0 m	7:00,0	5:50,0	5:00,0	4:22,5	3:53,4	3:30,0	3:10,9	2:54,9
D	1 1 0 0 m	7:20,0	6:06,7	5:14,3	4:35,0	4:04,5	3:40,0	3:20,0	3:03,3
E	1 1 5 0 m	7:40,0	6:23,4	5:28,6	4:47,5	4:15,6	3:50,0	3:29,1	3:11,6
	1 2 0 0 m	8:00,0	6:40,0	5:42,9	5:00,0	4:26,7	4:00,0	3:38,2	3:19,9
4.	1 2 5 0 m	8:20,0	6:56,7	5:57,1	5:12,5	4:37,8	4:10,0	3:47,3	3:28,3
	1 3 0 0 m	8:40,0	7:13,4	6:11,4	5:25,0	4:48,9	4:20,0	3:56,3	3:36,6
R	1 3 5 0 m	9:00,0	7:30,0	6:25,7	5:37,5	5:00,0	4:30,0	4:05,4	3:44,9
U	1 4 0 0 m	9:20,0	7:46,7	6:40,0	5:50,0	5:11,1	4:40,0	4:14,5	3:53,2
N	1 4 5 0 m	9:40,0	8:03,4	6:54,3	6:02,5	5:22,2	4:50,0	4:23,6	4:01,6
D	1 5 0 0 m	10:00,0	8:20,0	7:08,6	6:15,0	5:33,4	5:00,0	4:32,7	4:09,9
E	1 5 5 0 m	10:20,0	8:36,7	7:22,9	6:27,5	5:44,4	5:10,0	4:41,8	4:18,2
	1 6 0 0 m	10:40,0	8:53,4	7:37,2	6:40,0	5:55,5	5:20,0	4:50,9	4:26,6

Anzahl der 400-m-Runden			1		2		3		4		5	
50	100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	m m/s
20	40	01:20	02:40	04:00	05:20	06:40	08:00	09:20	10:40	12:00	13:20	2,50
19,5	39	01:18	02:36	03:54	05:12	06:30	07:48	09:06	10:24	11:42	13:00	2,56
19	38	01:16	02:32	03:48	05:04	06:20	07:36	08:52	10:08	11:24	12:40	2,63
18,5	37	01:14	02:28	03:42	04:56	06:10	07:24	08:38	09:52	11:06	12:20	2,70
18	36	01:12	02:24	03:36	04:48	06:00	07:12	08:24	09:36	10:48	12:00	2,78
17,5	35	01:10	02:20	03:30	04:40	05:50	07:00	08:10	09:20	10:30	11:40	2,86
17	34	01:08	02:16	03:24	04:32	05:40	06:48	07:56	09:04	10:12	11:20	2,94
16,5	33	01:06	02:12	03:18	04:24	05:30	06:36	07:42	08:48	09:54	11:00	3,03
16	32	01:04	02:08	03:12	04:16	05:20	06:24	07:28	08:32	09:36	10:40	3,13
15,5	31	01:02	02:04	03:06	04:08	05:10	06:12	07:14	08:16	09:18	10:20	3,23
15	30	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	3,33
14,5	29	00:58	01:56	02:54	03:52	04:50	05:48	06:46	07:44	08:42	09:40	3,45
14	28	00:56	01:52	02:48	03:44	04:40	05:36	06:32	07:28	08:24	09:20	3,57
13,5	27	00:54	01:48	02:42	03:36	04:30	05:24	06:18	07:12	08:06	09:00	3,70
13	26	00:52	01:44	02:36	03:28	04:20	05:12	06:04	06:56	07:48	08:40	3,85
12,5	25	00:50	01:40	02:30	03:20	04:10	05:00	05:50	06:40	07:30	08:20	4,00
12	24	00:48	01:36	02:24	03:12	04:00	04:48	05:36	06:24	07:12	08:00	4,17
11,5	23	00:46	01:32	02:18	03:04	03:50	04:36	05:22	06:08	06:54	07:40	4,35
11	22	00:44	01:28	02:12	02:56	03:40	04:24	05:08	05:52	06:36	07:20	4,55
10,5	21	00:42	01:24	02:06	02:48	03:30	04:12	04:54	05:36	06:18	07:00	4,76
10	20	00:40	01:20	02:00	02:40	03:20	04:00	04:40	05:20	06:00	06:40	5,00
9,5	19	00:38	01:16	01:54	02:32	03:10	03:48	04:26	05:04	05:42	06:20	5,26
9	18	00:36	01:12	01:48	02:24	03:00	03:36	04:12	04:48	05:24	06:00	5,55
8,5	17	00:34	01:08	01:42	02:16	02:50	03:24	03:58	04:32	05:06	05:40	5,88

Tabelle 5

modif. nach E. Wienecke, 2007: Fit gewinnt, Philippka-Verlag

Tabelle 6

Strecke \ m/s	3.03	3.125	3.22	3.33	3.44	3.57	3.70	3.84	4.0 →
500 m	2:45	2:40	2:35	2:30	2:25	2:20	2:15	2:10	2:05
1000m	5:30	5:20	5:10	5:0	4:50	4:40	4:30	4:20	4:10
1500m	8:15	8:0	7:45	7:30	7:15	7:0	6:45	6:30	6:15
2000m	11:0	10:40	10:20	10:0	9:40	9:20	9:0	8:40	8:20
2323m	12:47	12:23	12:0	11:37	11:14	10:50	10:27	10:04	9:41
Strecke \ m/s	4.16	4.34	4.55	4.76	5.0	5.26	5.55	5.88	6.25
500 m	2:0	1:55	1:50	1:45	1:40	1:35	1:30	1:25	1:20
1000m	4:0	3:50	3:40	3:30	3:20	3:10	3:0	2:50	2:40
1500m	6:0	5:45	5:30	5:15	5:0	4:45	4:30	4:15	4:0
2000m	8:0	7:40	7:20	7:0	6:40	6:20	6:0	5:40	5:20
2323m	9:18	8:54	8:31	8:08	7:45	7:21	6:58	6:35	6:12

Laktat wird aus beanspruchter Muskulatur nicht nur zur rechten Herzkammer, sondern auch zur Leber, Gehirn, Nieren und nichtbeanspruchter Muskulatur umverteilt und z.T. während der Belastung per Oxidation wieder abgebaut. Die venöse Laktatkonzentration ist somit nicht mit der metabolischen Beanspruchung identisch.

Vor Messung **hyperämisierende Salbe** (z.B. Finalgon) auf Blut-Entnahmestelle, „um möglichst hohe Angleichung der Laktatkonzentration an die gemischt-venösen bzw. arteriellen Verhältnisse zu erzielen“ (K. Röcker, 2013).
Eine Blutentnahme aus der Fingerkuppe kann durch eine höhere Beimengung von Venenblut die gemessene Laktatkonzentration verfälschen (kontroverse Diskussion!).

Genaue Laktatmessung muss aus gemischt-venösem Blut entnommen werden. Deshalb **Abnahme aus Kapillarblut aus Ohrläppchen (Standard!)**, welches einer gemischt-venösen vergleichbaren Laktatkonzentration entspricht.

Die Blutkonzentration des Laktats entspricht nicht der zeitgleichen Laktatproduktion in der Muskelzelle.

Laktatkonzentrationsdifferenzen bestehen auch bei hohen Belastungen zwischen dem intra- und extraerythrozytären Blutanteil bis zu 3mmol/l.

Die maximal messbare Laktatkonzentration erfolgt erst einige Minuten nach Belastungsende in Abhängigkeit von Belastungsdauer und -intensität (z.B. nach 1, 3, 5, 10 Minuten Mess-Intervallen).

Trittfrequenz (Fahrradergometer) und Schrittlänge (Laufband) möglichst standardisieren und im Test konstant halten.
Standardtrittfrequenz: 80 rpm; < 80 rpm = Rechtsverschiebung, > 80 rpm = Linksverschiebung der Laktat-Leistungskurve

Infoblatt für Laktatdiagnostik – auch für Nichtleistungssportler

Zur optimalen Erhebung der Testdaten sind kleine Verhaltensregeln im Vorfeld des Tests zu beachten. Abweichungen von diesen Empfehlungen können ggf. zu veränderten Testwerten führen und somit ein falsches Bild des Leistungszustandes aufzeigen.

Wie verhalte ich mich vor dem Test?

Training

- 1 Tag vorher kein intensives Kraft- oder Ausdauertraining (Vermeidung von Muskelkater und Ermüdungserscheinungen)
- keinesfalls Training am Testtag (Trainingseinheiten nach dem Test sind möglich)
- Warm-Up vorher gering möglich

Ernährung

- am Vorabend Glykogenspeicher aufladen z.B. mit Nudeln, Kartoffeln, Reis etc.
- 2 Stunden vorher eine letzte, leichte und kohlenhydratreiche Mahlzeit zuführen; auf keinen Fall nüchtern oder mit Hunger den Test absolvieren
- stark zuckerhaltige Produkte 2 Stunden vor dem Test meiden (Süßigkeiten, Traubenzucker, Energieriegel, Cola etc.)
- geeignet sind (Nudeln, Kartoffeln, Reis, Brot, Brötchen, Obst, Gemüse usw.)
- ausreichend trinken z.B. Wasser, Tee, Saftschorlen (ca. 1,0 Liter in den letzten 2 Stunden vor Testbeginn)
- Kein Kaffee- oder Alkoholkonsum am Vortag und am Testtag

Hinweis

Ein Mehrstufen-Laktattest stellt eine intensive Belastung für den Körper dar. Ein optimaler Gesundheitszustand ist Grundvoraussetzung. Aus diesem Grund wird allen Probanden, insbesondere ab dem 40. Lebensjahr, eine kardiologische Untersuchung beim Facharzt zum Ausschluss von gesundheitlichen Risiken empfohlen.

Der Mehrstufen-Laktattest umfasst die Analyse (Pulswerte, Laktatwerte) und eine Auswertung der vorliegenden Testdaten (über PC-Software) hinsichtlich verschiedener Trainingsintensitätsbereiche und der angestrebten Trainingsziele.

Bei vergleichenden (Re-)Tests: möglichst identische Testbedingungen bzgl. aller testbeeinflussender Faktoren

Einflussfaktoren auf Blutlaktatkonzentration und den Messwert

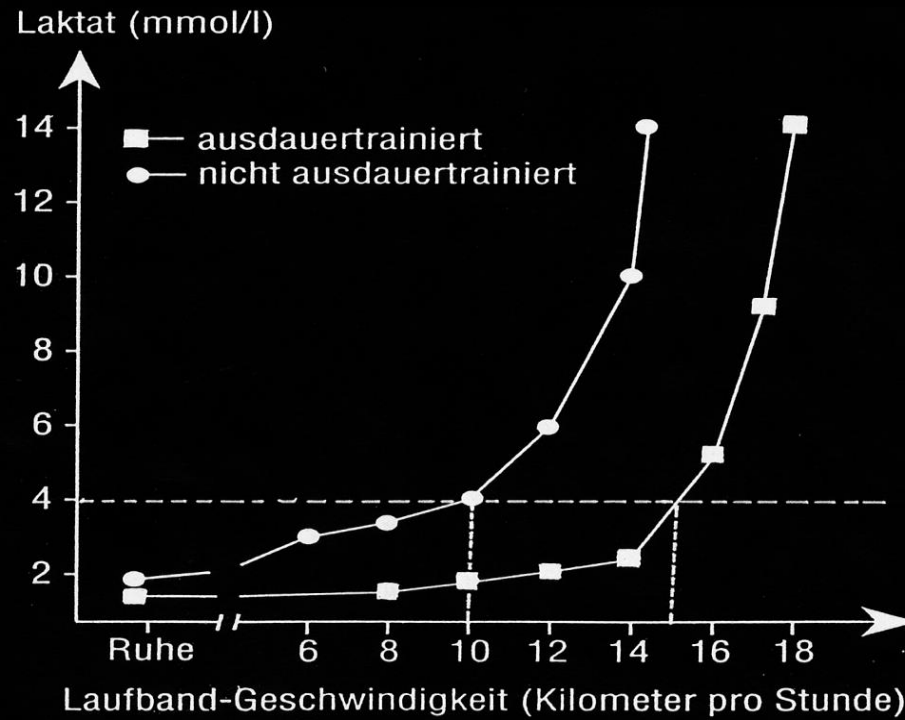
- Ernährungszustand (kohlenhydratreich bzw. -arm); bei Glykogenverarmung Verschiebung der Laktatleistungskurve (LLK) nach unten
- 24h keine intensiven Belastungen; mindestens 2h Abstand zur letzten Mahlzeit
- Individuelle (genetische) Besonderheiten (z.B. Muskelfaserspektrum, Enzymbesatz)
- aktueller Trainingszustand (z.B. Kapillarisation, Mitochondrienzahl)
- Blutentnahmemethode (arteriell oder venös = niedrigeres Blutlaktat)
- Blutentnahmequalität: genaues Probevolumen; Schweiß in Blutprobe 2-15x höhere Laktatkonzentration; möglichst schnelle Blutentnahme
- Blutentnahmeort: keine Fingerbeere: größere Werte als Ohrläppchen (Literatur: +0,3 bis +1,8 mmol/l je nach Belastungsart)
- Analysemethode (spektro-photometrisch, enzymatisch-amperometrisch)
- Testschema / Testprotokoll
- Testprobennehmer (Lit.: mittlerer Unterschied 3% bzw. 0,2mmol/l)
- Test-Tageszeitpunkt, Temperatur(18-24°), Luftfeuchtigkeit (30-60%), Höhe
- Stufendauer / Belastungsdauer vor Blutentnahme (Testprotokoll)
- Belastungsgerät (Laufband, LB-Anstieg 1-1,5 %, Fahrradergometer **drehzahlunabhängig (!)**)
- Probenstabilität: hämolysiertes und konserviertes Kapillarblut bis 20 Std. bei Raumtemperatur (~20°) stabil
- (Portable) Messgeräte: Übereinstimmung untereinander und mit Labor-Referenzgeräten z.T. unbefriedigend (HECK, 2004)
- Laufbandsteigung von 1,5% simuliert den Luftwiderstand für v=17-18 km/h. Für niedrigere max. Geschwindigkeiten besser 1% Steigung.

Alle Einflussfaktoren können zu einer intra- bzw. interindividuellen Variabilität der Laktatkonzentration von bis zu 20% führen.

Blutlaktat bei ansteigender Belastung

Vereinfachte Darstellung

LAKTAT-DIAGNOSTIK

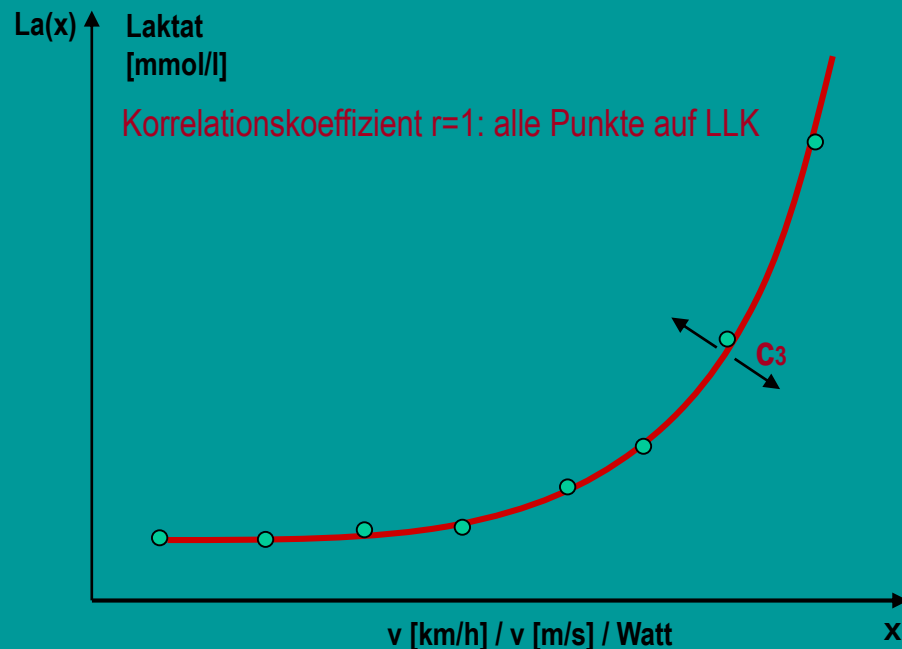


Allgemeine Darstellung einer Laktat-Leistungskurve (LLK) als Interpolationsalgorithmus

LLK bei stetig steigendem Beginn durch
EXPONENTIALFUNKTION mit additiver KONSTANTE
mathematisch-biologisch sinnvoll am besten beschreibbar.

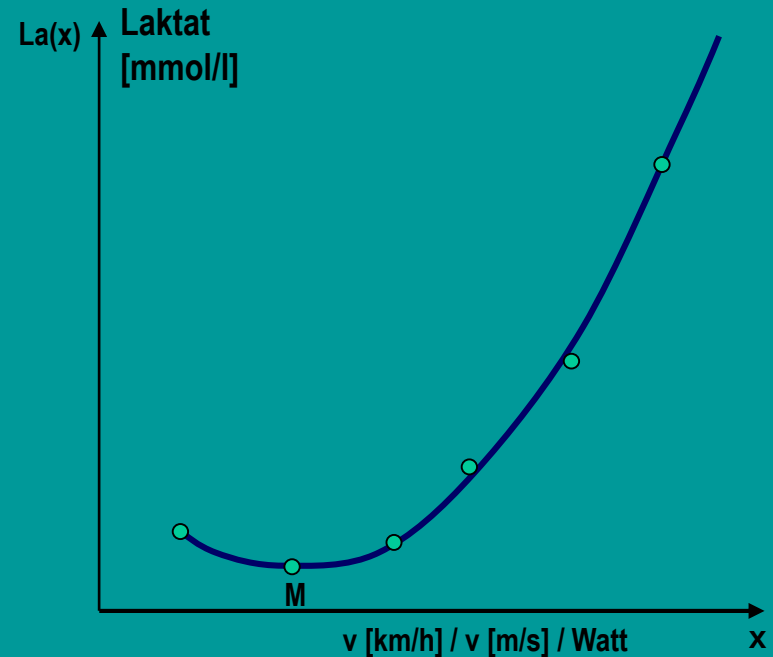
$$La(x) = c_1 + c_2 \cdot e^{c_3 x}$$

x= Leistung (km/h, m/s, Watt); **c₁** = b/a: Verhältnis aus Laktat-Eliminationskonstante b zu Bildungskonstante a. (hoher Wert b bedingt niedrigen Basis-Laktatspiegel); **c₂**=Ruhelaktat La₀ minus **c₁**; **c₃** = Regressionskoeffizient (y x) ist Kenngröße des Kurvenanstiegs (Einflußgrößen: Muskelfaserverteilung, Trainingszustand u.a.)



LLK mit deutlichem Minimum = Laktatsenke (Pkt. „M“) kann mit **POLYNOM 3. GRADES** besser interpoliert werden als mit exponentieller Interpolation (**Nachteil**: in Randbereichen biologische Unsinnigkeiten möglich):

$$La(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$$



Exkurs

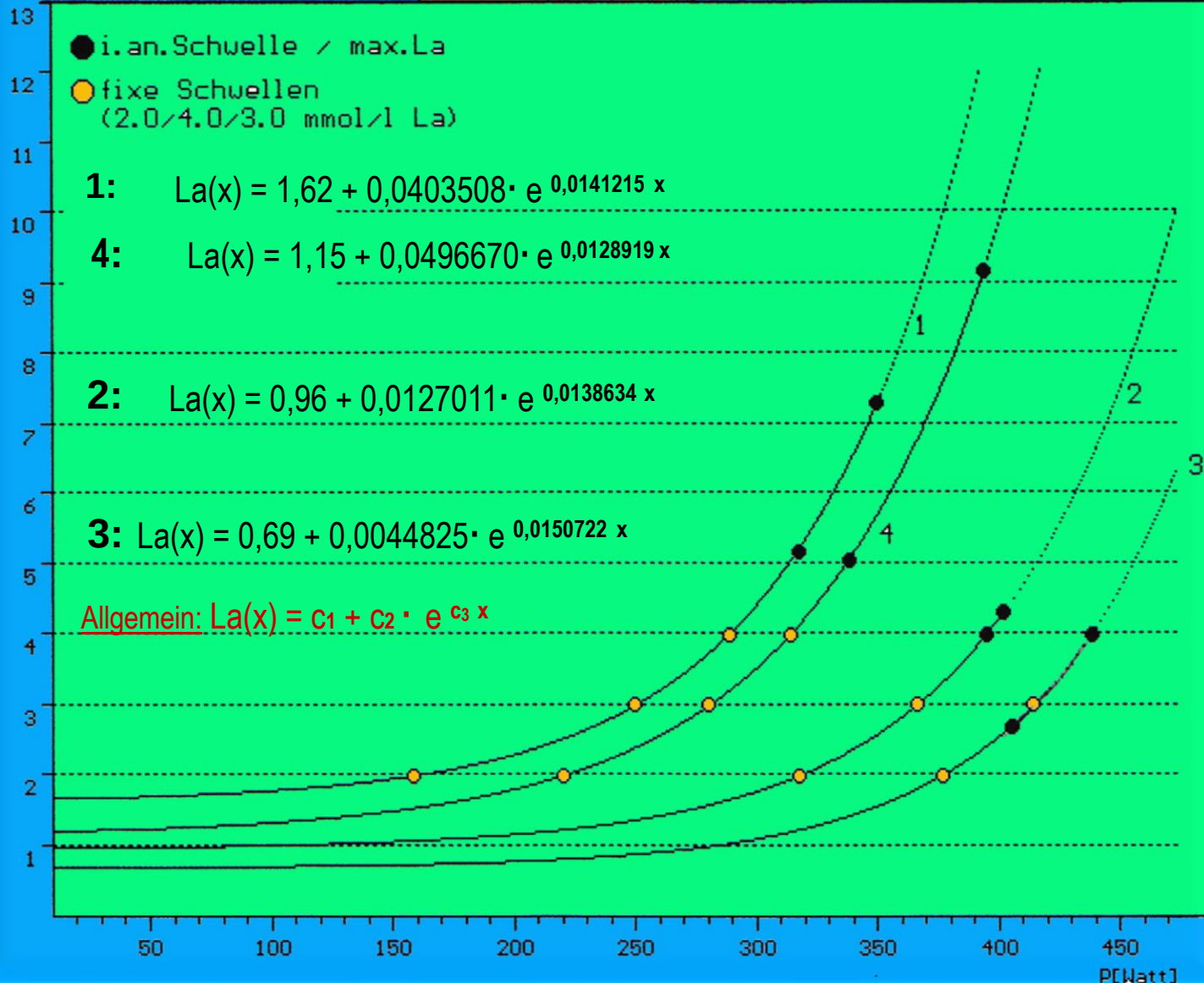
Laktat-Leistungskurve für Interessierte

- Wird pro Stufe mehr Laktat gebildet als abgebaut, so gilt:
$$\underline{La(x+dx) = La(x) + a La(x)dx - b dx}$$
- **La**: Laktatkonzentration (mmol/l); **x**: Leistung (Watt, km/h, m/s u.a.); **dx**: differenzielle Leistungsänderung; **a**: Produktionskonstante des Körpers; **b**: Eliminationskonstante des Körpers; **La(x+dx)**: Laktatwert der nächst höheren Leistung; **La(x)**: momentaner Laktatwert; **b dx**: um Eliminationskonstante b verringertes Momentanlaktat = Eliminationsrate = bei genügender Belastung leistungsunabhängige Konstante; **a La(x) dx**: Laktatbildungsrate = linear konzentrationsabhängig
- Übergang zum Differential ergibt inhomogene Differentialgleichung 1. Ordnung:
$$\underline{d/dx \text{ Laktat}(x) = a La(x) - b}$$
- Mit der Anfangsbedingung $La(x=0) = La_0$ (Ruhelaktat) ergibt sich als allgem. Lösung:
$$La(x) = b/a + c \cdot e^{ax} \text{ mit } c = La_0 - b/a$$
- bzw:
$$La(x) = c_1 + c_2 \cdot e^{c_3 x}$$
- mit den Körperkonstanten **c1**, **c2**, **c3**. Die Konstante (Offset) **c1** der exponentiellen Kurve entspricht dem Verhältnis aus Eliminationskonstante **b** zu Bildungskonstante **a**. Dies bedeutet, dass eine hohe Eliminationsfähigkeit des Körpers einen niedrigen Basis-Laktatspiegel bedingt.

Laktat-Leistungs-Kurven als Exponentialfunktionen $La(x) = c_1 + c_2 \cdot \exp(c_3 x)$

QUERSCHNITT :

Lactat
[mmol/l]



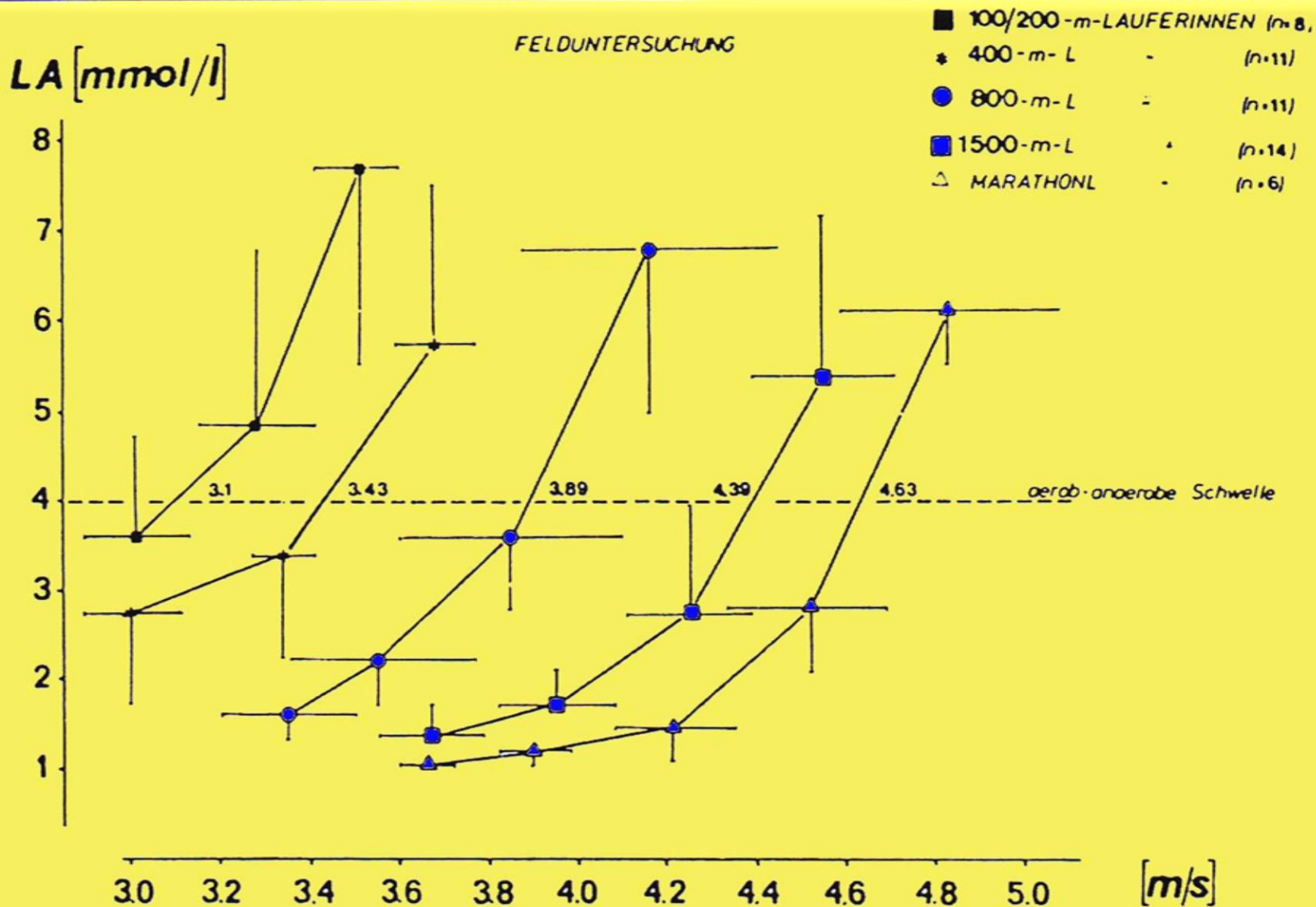
Erläuterungen:

C₁ = Schnittpunkt LLK mit La-Achse (Achsen-schnittpunkt = 0-Punkt)

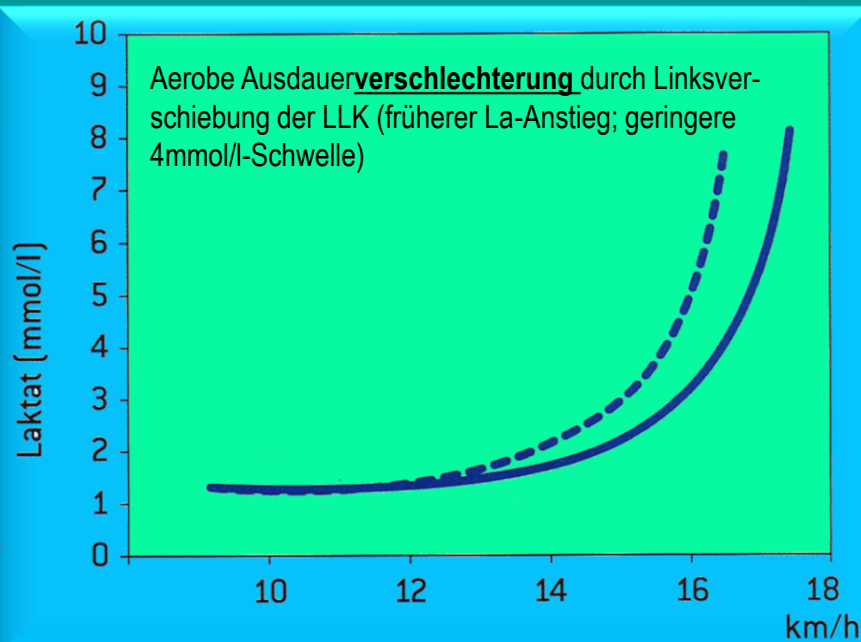
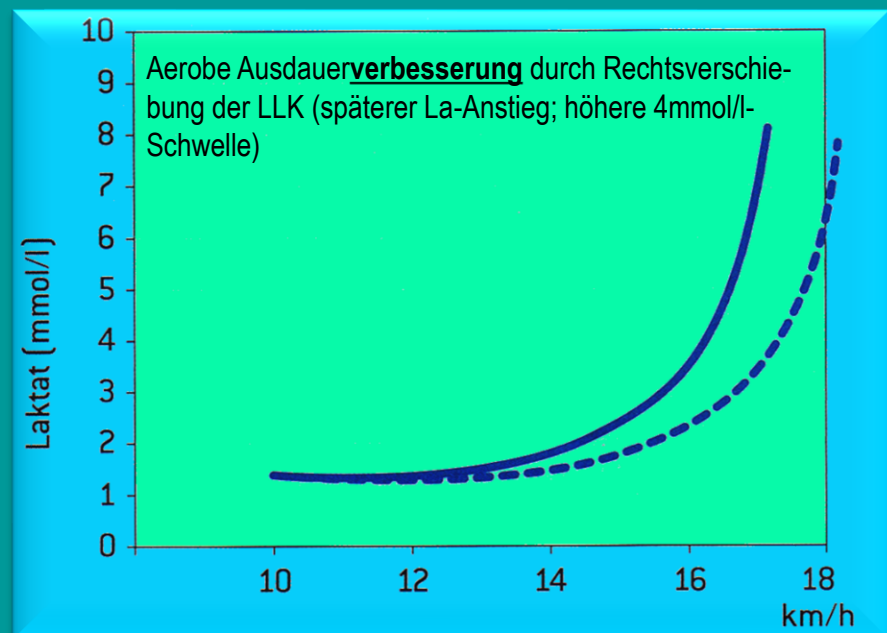
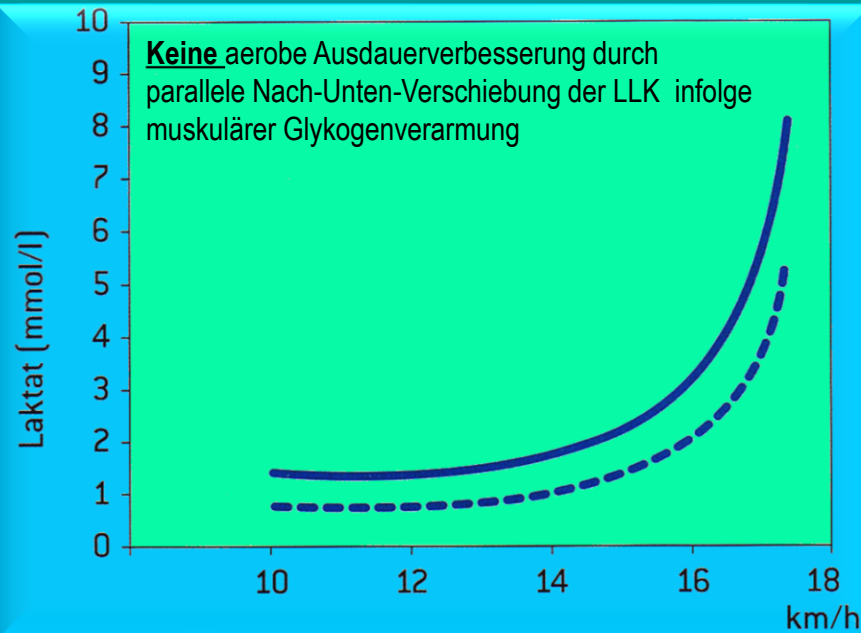
C₂ = Kennwert für La-Anstiegsbeginn (steiler bzw. flacher Anfangsverlauf; flacher Verlauf = kleiner Wert und umgekehrt)

C₃ = Kennwert für (oberen) Kurvenanstieg

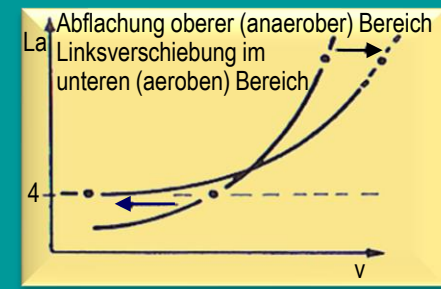
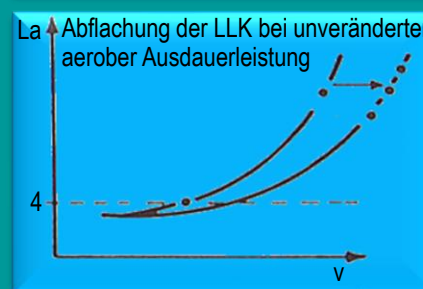
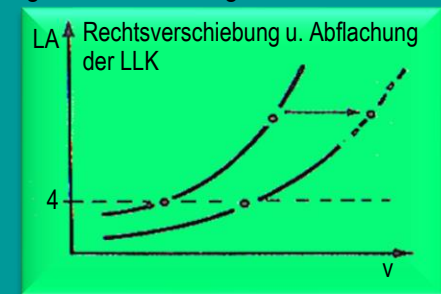
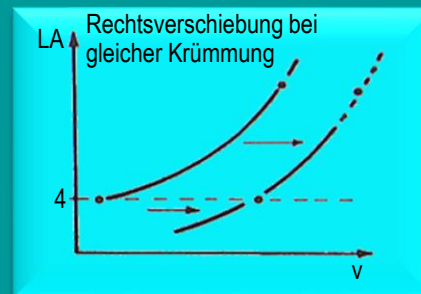
Laktat-Leistungskurven von Leistungsläuferinnen verschiedener Laufstrecken

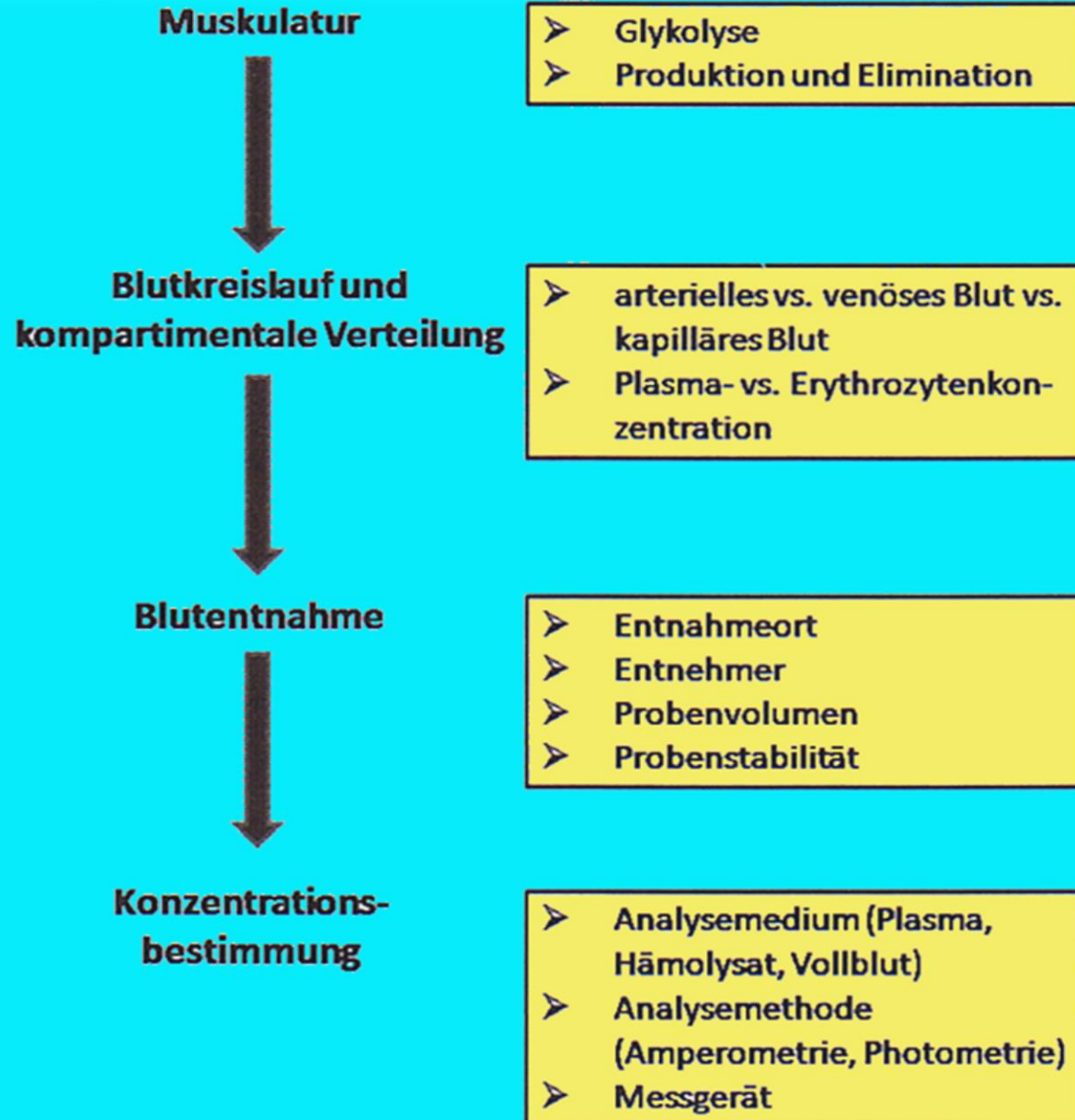


Veränderung von Lage und Form der LLK durch Training bei gleichbleibenden Test-Randbedingungen



Weitere Varianten der Veränderung von Form u. Lage der LLK





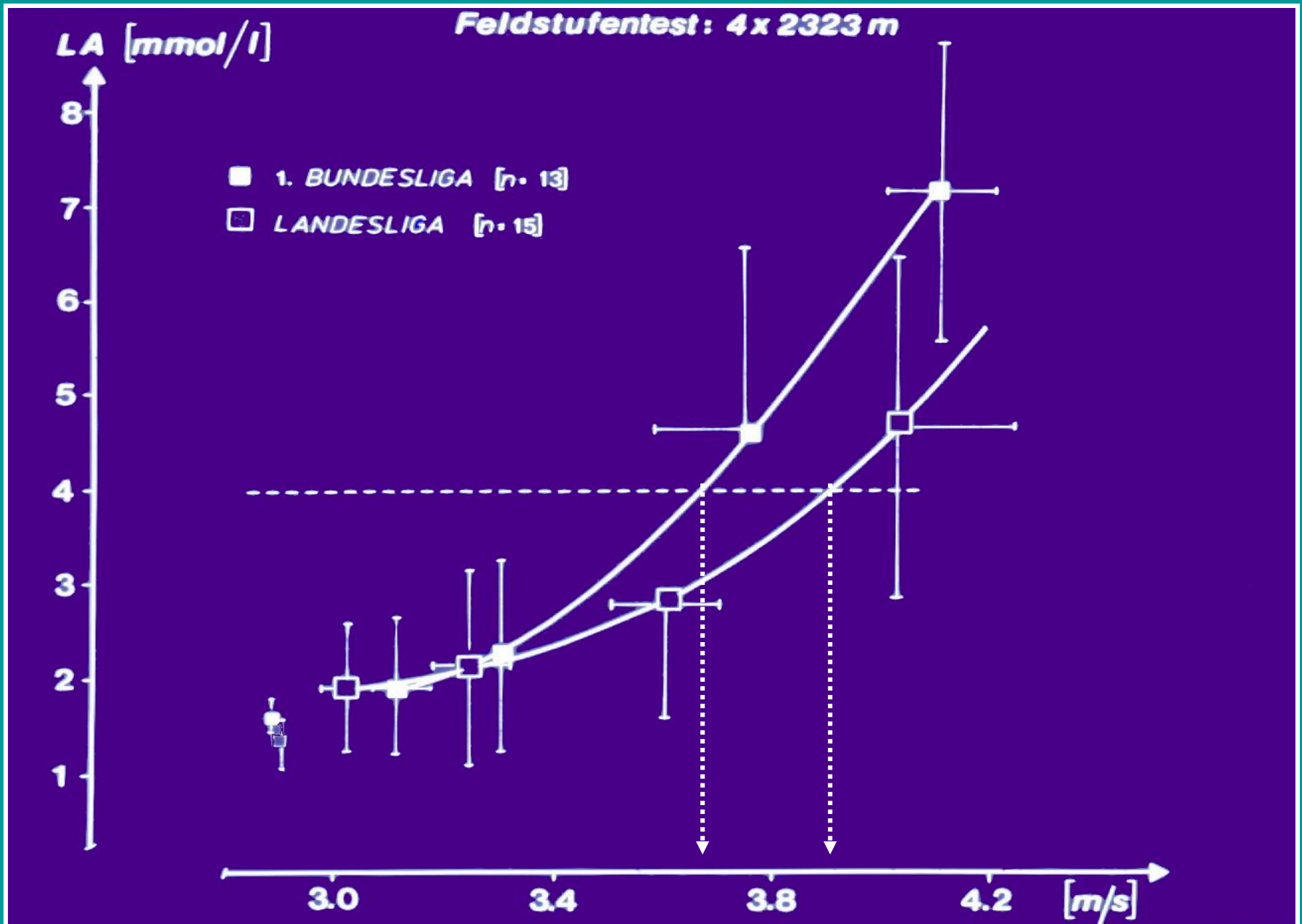
LA (mmol/l)

- 1: Laufband 4°
- 2: Laufband 2°
- 3: Laufband 0°
- 4: Rasen
- 5: Kunststoffbahn

Tests mit **gleichem** Laufband
Kunststoff: Rekortan

Annäherung: Kunststoffbahn – Laufband ca. 1°-1,5 % Anstieg je nach LB-Typ; genaue Eichung LB
sinnvoll: Rasen – Tartan (Kunststofflaufbahn) – Straße – Laufband (1°/1,5% Anstieg)

2.0 3.0 4.0 5.0 V (m/s)





Laktat-Schwellenkonzepte
auch
Laktat-Schwellenmodelle

LAKTAT-SCHWELLENKONZEPTE (LSK)

Jedes Schwellenkonzept erhebt den Anspruch, die Belastung zu bestimmen, bei der der Energiestoffwechsel **gerade noch voll aerob** erfolgt und bei der das (individuelle) „maximale Laktat-steady-state“ erreicht wird.

Jede höhere Belastung führt zu einer partiell (!) **anaeroben, laktaziden** Deckung des Energiebedarfs der Arbeitsmuskulatur. Der muskuläre Energiestoffwechsel **oberhalb** der aerob-anaeroben Schwelle ist nur partiell aber **nicht überwiegend** anaerob.

LSK versuchen, Ausdauerleistungsentwicklungen anhand von Veränderungen der Laktatleistungskurve (LLK) zu quantifizieren und die aktuelle Ausdauerleistung quantitativ zu beurteilen.

Dabei werden zwei physiologisch bedeutsame Schwellen überschritten:

1. **aerobe Schwelle** = erster Anstieg der Blutlaktatkonzentration über den Basiswert

2. **anaerobe Schwelle** = Bereich der höchsten Belastungsintensität mit Gleichgewicht Laktatproduktion und Laktatabbau = max. Laktat-steady-state = „maxLass“.

Erstes Laktat-Schwellenkonzept von A. MADER et al.(1976) als sog. fixe 4mmol/l Laktat-Schwelle.

Danach entwickelten sich zahlreiche, konkurrierende, individuelle Schwellenkonzepte.

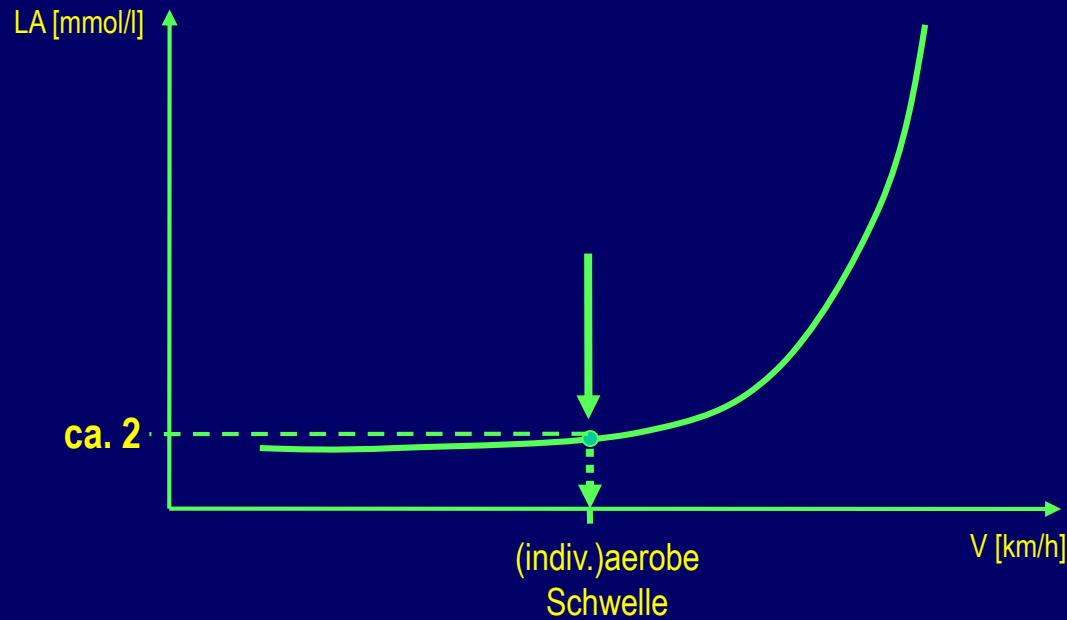
Der Bereich zwischen aerober u. anaerober Schwelle = aerob-anaerober Übergang. Konstante Belastungen in diesem Bereich führen stets zu zwar erhöhten, aber konstanten Blutlaktatkonzentrationen (Laktat-steady-state)

Belastungen über der (individuell-)anaeroben Schwelle führen zu weiter steigenden Blutlaktatwerten bis zu Belastungsabbruch

Als stoffwechselbezogenes **Maß der Ausdauerleistungsfähigkeit** gilt das Maximum der rein aerob abgedeckten, energetischen Leistung = (individuell) anaerobe Schwelle, die nicht abrupt, sondern gleitend überschritten wird.

Stellt sich z.B. nach 5-15 min Dauerlauf ein Laktat-steady-state (Gleichgewicht zwischen Laktatbildung und Laktatabbau) oder ein Abfall der Laktatkonzentration ein, ist der Energiestoffwechsel des Gesamtkörpers **aerob**. Das max. Laktat-steady-state (maxLass) entspricht der Belastungsintensität, bei der das Laktat in den letzten 20 Min. eines 30 Min.-Laufs um weniger als 1mmol/l ansteigt.

(Individuell-)aerobe Schwelle; IAS; AS



1. **IAS:** Erster Anstieg der Blutlaktatkonzentration über den „Basiswert“ =

a) Minimum Laktat ÷ Leistung = minimales Laktatäquivalent

b) Mittelwert der ersten maximal 4, jeweils $\leq 0,5$ mmol/l voneinander abweichenden Laktatwerte

2. **IAS:** „Anaerobic Threshold“ = Beginn Laktatanstieg über den Ruhewert = aerobe Schwelle; Beginn des anaeroben Metabolismus (Wassermann et al., 1964)

3. **IAS:** „Onset of Plasma Lactate Accumulation“ (OPLA): visuelle Bestimmung bei Anstieg des Laktats über den Ruhewert bzw. Schnittpkt. zweier Regressionsgeraden (Farrell et al., 1979)

4. **AS:** aerobe Schwelle = Belastung bei ca. 2mmol/l Laktat („fixe“ 2mmol/l-Schwelle) = „signifikanter Anstieg der Laktatkurve“ (Kindermann et al., 1978)

Exkurs

Verschiedene fixe anaerobe und Individuell anaerobe Schwellenmodelle

Ausgewählte Übersicht

Exemplarische Auswahl „individueller Laktatschwellenkonzepte“

In der Literatur finden sich eine Reihe **verschiedener Laktat-Testprotokolle** mit verschiedenen (numerischen) Definitionen der „anaeroben Schwelle“, die untereinander nicht vergleichbar sind. In Deutschland gibt es kein einheitliches Laktat-Stufentest-Protokoll und damit keine interinstitutionelle Vergleichbarkeit! (2016). In einigen Fällen werden zur besseren Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit auch Messdaten aus der historisch älteren Spiroergometrie herangezogen.

1. „Individuelle anaerobe Schwelle“ nach **KEUL et al. (1979)**: Bestimmung des mittleren Tangentenwinkels von $\tan \alpha = 1,26 \text{ mmol/l (km/h)}$ bei 4mmol/l Laktat an 60 Laufbandlaktatkurven

2. „Senkentest“ nach **Tegtbur et al. (1989)**: 3 Phasen: **1 Ph.**: kurze hochintensive Vorbelastung; **2.Ph.**: 8min Pause; **3.Ph.**: Stufentest. Die Belastung am tiefsten Punkt des muldenförmigen Kurvenverlaufs soll als anaerobe Schwelle gelten.

3. **Davis et al. (1983)**: **1.** Ermittlung von AT = anaerobic threshold („erster breakpoint“ der LLK; **2.** LTP = „Lactate turnpoint“ („zweiter breakpoint“ der LLK kurz vor 2. scharfer Erhöhung des Anstiegs der LLK.

4. **Sjödín et al. (1981)**: Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA): OBLA = 4mmol/l-Schwelle bei widersprüchlicher Definition als Punkt des ersten Laktatanstiegs.

5. **Stegmann/Kindermann (1981)**: „Individuelle anaerobe Schwelle“ (IAS): siehe an anderer Stelle!

6. **Dickhuth und Simon et al. (1988/1986)**: + 1,5 mmol/l Laktat oberhalb aerobem Schwellenlaktat (= Basislaktatkonzentration); Beobachtung aus Trainingslaktatwerten. Siehe auch an anderer Stelle!

7. **Mader et al.(1976)**: aerob-anaerobe Schwelle bei 4mmol/l Laktat

Autoren	Jahr	Schwellen-Parameter	Bestimmungsmethode	Schwellenbezeichnung
KARRASCH MÜLLER	1951	Herzfrequenz	max. steady state der HF	Dauerleistungsgrenze
HOLLMANN	1959	$\dot{V}_E$, $\dot{V}O_2$	nichtlinearer Anstieg der Ventilation	Punkt des optimalen Wirkungsgrades der Atmung
WASSERMAN et al.	1964	$\dot{V}O_2$, $\dot{V}_E$, $\dot{V}CO_2$	nichtlinearer Anstieg der Ventilation	anaerobic threshold
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 $\tan\alpha = 1.26$	individuell anaerobe Schwelle
SJÖDIN et al.	1979	Laktat	identisch mit der MADER-Methode	onset of blood lactate accumulation
FARRELL et al.	1979	Laktat	Anstieg des Plasmalaktats über Ruhewert	onset of plasma lactate accumulation
PESSENHOFER et al.	1981	Laktat	Minimum einer quadr. Funktion der Laktatleistungskurve	individuell aerob-anaerober Übergang

Autoren	Jahr	Schwellen-Parameter	Bestimmungsmethode	Schwellenbezeichnung
STEGMANN et al.	1981	Laktat	Tangente an die Laktatleistungskurve	individuell anaerobe Schwelle
BERG et al.	1980	Laktat rel. $\dot{V}O_2$	Minimum des Quotienten La/rel. $\dot{V}O_2$	La $\dot{V}O_2$ -Quotient bzw. Laktat-äquivalent
SIMON et al.	1981	Laktat	identisch mit KEUL-Methode $\tan\alpha = 1$	individuell anaerobe Schwelle
BACHL	1981	$\dot{V}_E$, $\dot{V}CO_2$	Abknickpunkt der $\dot{V}CO_2$ - $\dot{V}_E$ -Kurve	Schwelle der respirator. Kompensation
BUNC et al.	1982	Laktat	Schnittpunkt der Winkelhalbierung mit Laktatleistungskurve	individual anaerobic threshold
CONCONI et al.	1982	Herzfrequenz	„deflection velocity“ der Herzfrequenz	anaerobic threshold
JAMES et al.	1985	Atemfrequenz	disproportionaler Anstieg der Atemfrequenz	anaerobic threshold

Übersicht über weitere verschiedene Schwellenkonzepte

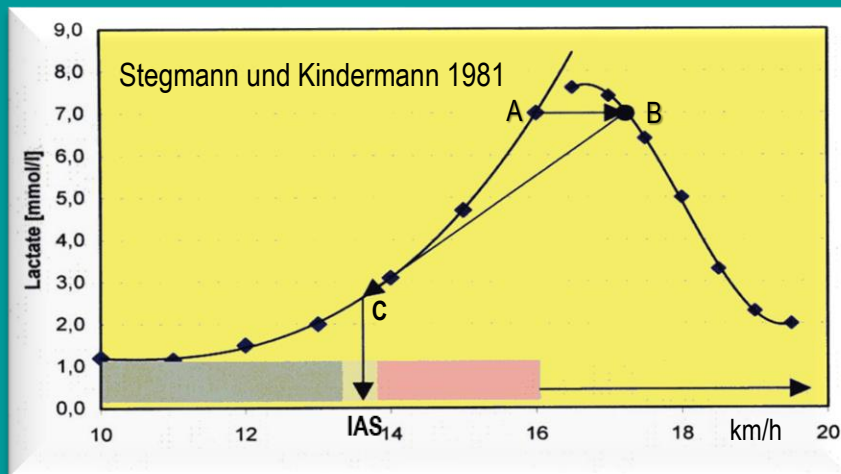
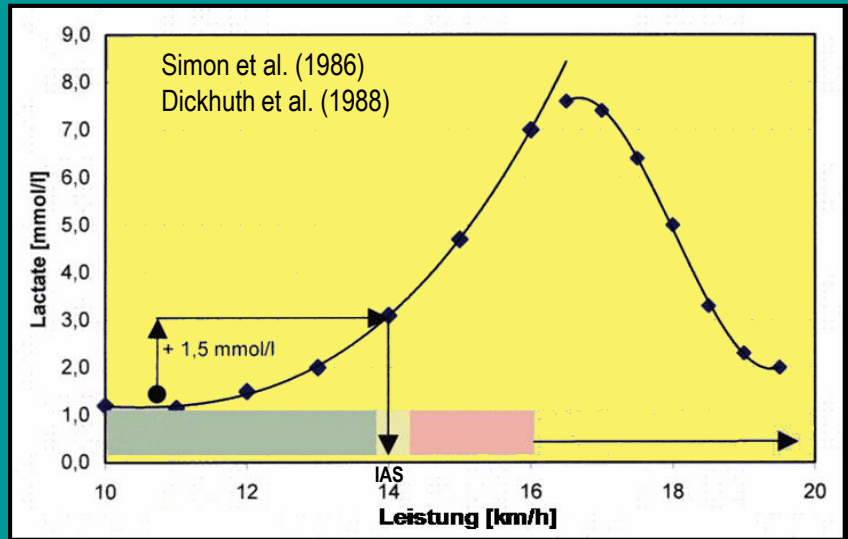
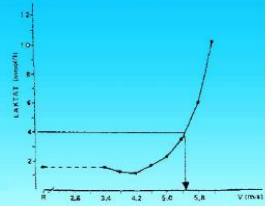
In Deutschland konkurrierende Laktatstufentest-Konzepte

Testparameter	DFB <u>Stegmann-Schwelle</u>	<u>Mader-Schwelle</u>	<u>Dickhuth- Schwelle</u>
v-Start	8/9/10 km/h 2,2/2,5/2,8 m/s	8/9/10 km/h 2,2/2,5/2,8 m/s	8 km/h
Stufendauer	3 Min.	mindestens 5 Min.	3 Min.
Stufenhöhe	2 km/h = 0,56 m/s	0,4 m/s = 1,44 km/h	2 km/h
Anaerobe Schwelle	Stegmann Kindermann	Leistung bei 4mmol/l La	Aerobes Schwellen- laktat (1.Laktatanstieg) + 1,5 mmol/l Laktat

Verschiedene Bestimmungen der aerob-anaeroben Laktatschwelle

Anaerobe Schwelle: Mader (1976)

- Laufband, Stufendauer 5 min., Steigerung von 0,4 m/s (=1,44 km/h)
- Reduktion der Stufendauer von 5 auf 3 min hat eine Minderung des Schwellenlaktatwerts von 4 auf 3,5 mmol/l zur Folge (Heck 1990)



Bestimmung des Basislaktats = individ. aerobe Schwelle plus frei wählbares Fixum in mmol/l Laktat (Standard 1,5 mmol/l).

Basislaktat Dickhuth = Leistung bei minimalem Laktat/Leistungsverhältnis.

Basislaktat Simon = Leistung bei Mittelwert der max. ersten 4 Laktatwerte mit höchstens 0,5 mmol/l Differenz (Simon-Schwelle = Freiburgschwelle)

● = Zeitpunkt an dem die maximale Eliminationsrate und die maximale Diffusionsrate im Gleichgewicht stehen.

A= Laktatwert am Ende der Belastung

B= entsprechender Erholungslaktatwert

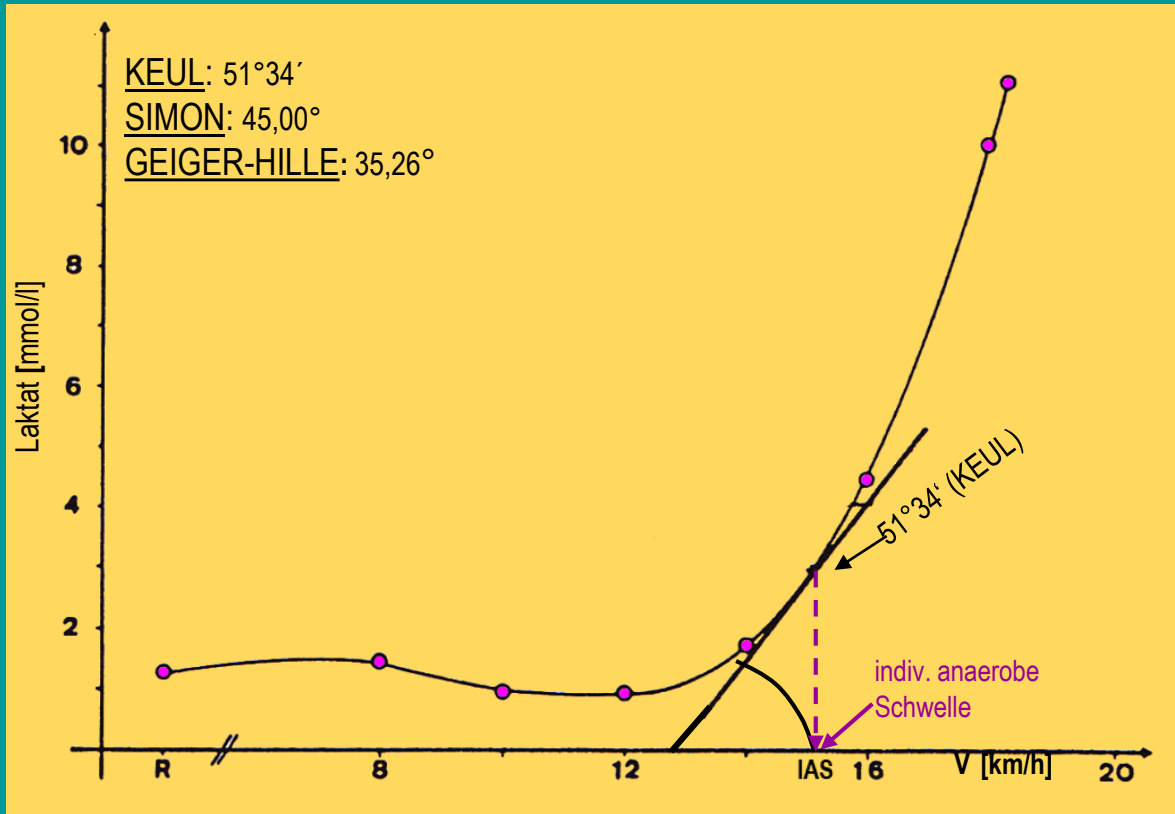
C= Schnittpunkt mit der angelegten Tangente

Steigung der Tangente = maximale Eliminationsrate

Mehrere Nachbelastungswerte (1., 3., 5.,... 10. Minute)

Tangenten-Winkel-Modelle

Beispiel KEUL



Individuell-anaerobe Schwelle = Leistung an einem definierten Anstieg der Blutlaktatkonzentration bzw. der Laktat-Leistungskurve. Der Anstiegswinkel ist abhängig von der physikalischen Leistungseinheit.

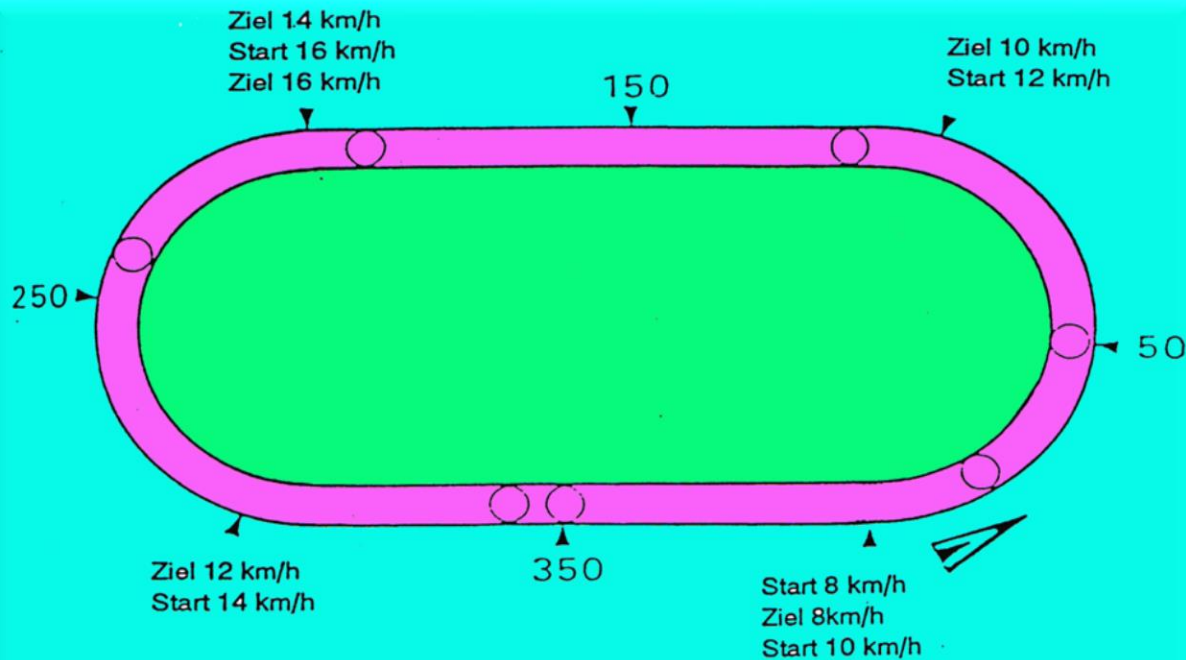
KEUL-Winkel = $51^{\circ}34'$ als Mittel aus 60 Tangentenwinkel an 60 LLK bei 4 mmol/l Laktat.

Test: Laufband 5% Anstieg; v_0 : 8 km/h; Stufe: 2 km/h; Stufendauer: 3 Min.

Def.: „kritische Steigung der Laktatkurve“

SIMON-Winkel = 45° , Test wie KEUL; anderes Test-Kollektiv

G.Simon et al., 1981



Start- und Zielorte auf der 400-Meter Bahn

Durchführung eines Lauf-Laktatstufentests auf einer 400m-Laufbahn nach Dickhuth et al.

Testprotokoll:

v₀ (Beginn): 8 km/h

Stufensteigerung: 2 km/h

Stufendauer: 3 Min.

Vor Test und nach jeder Stufe
Laktatbestimmung (30 sec)

Marschtabelle

Geschw.-Stufe	Durchgangszeiten				Gesamt-laufstrecke
	100m	200m	300m	400m	
8 km/h	0:45	1:30	2:15	3:00	400m
10 km/h	0:36	1:12	1:48	2:24	500m
12 km/h	0:30	1:00	1:30	2:00	600m
14 km/h	0:25,71	0:51,43	1:17,13	1:42,84	700m
16 km/h	0:22,50	0:45	1:07,50	1:30	800m

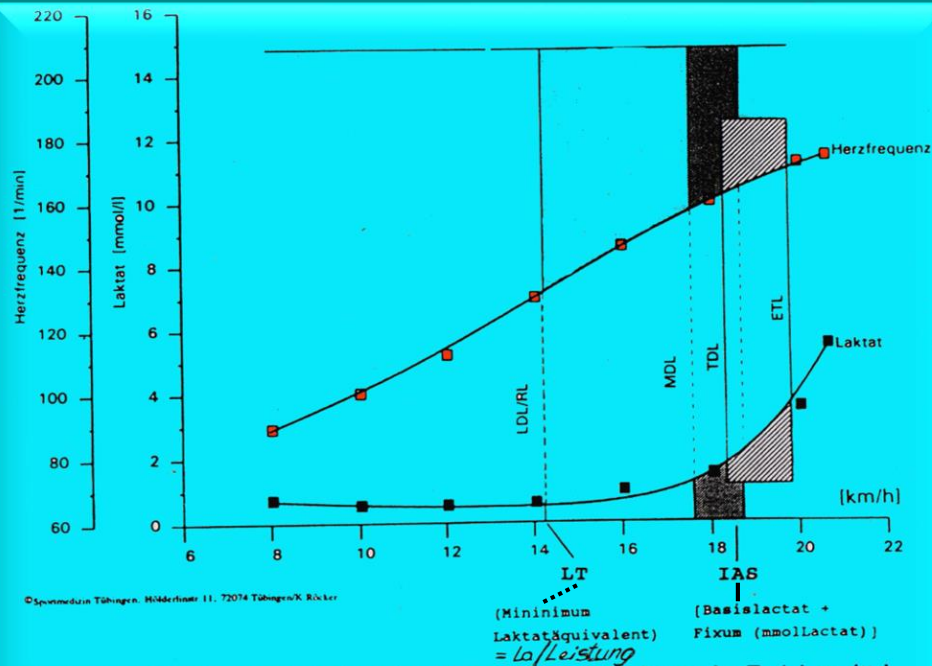
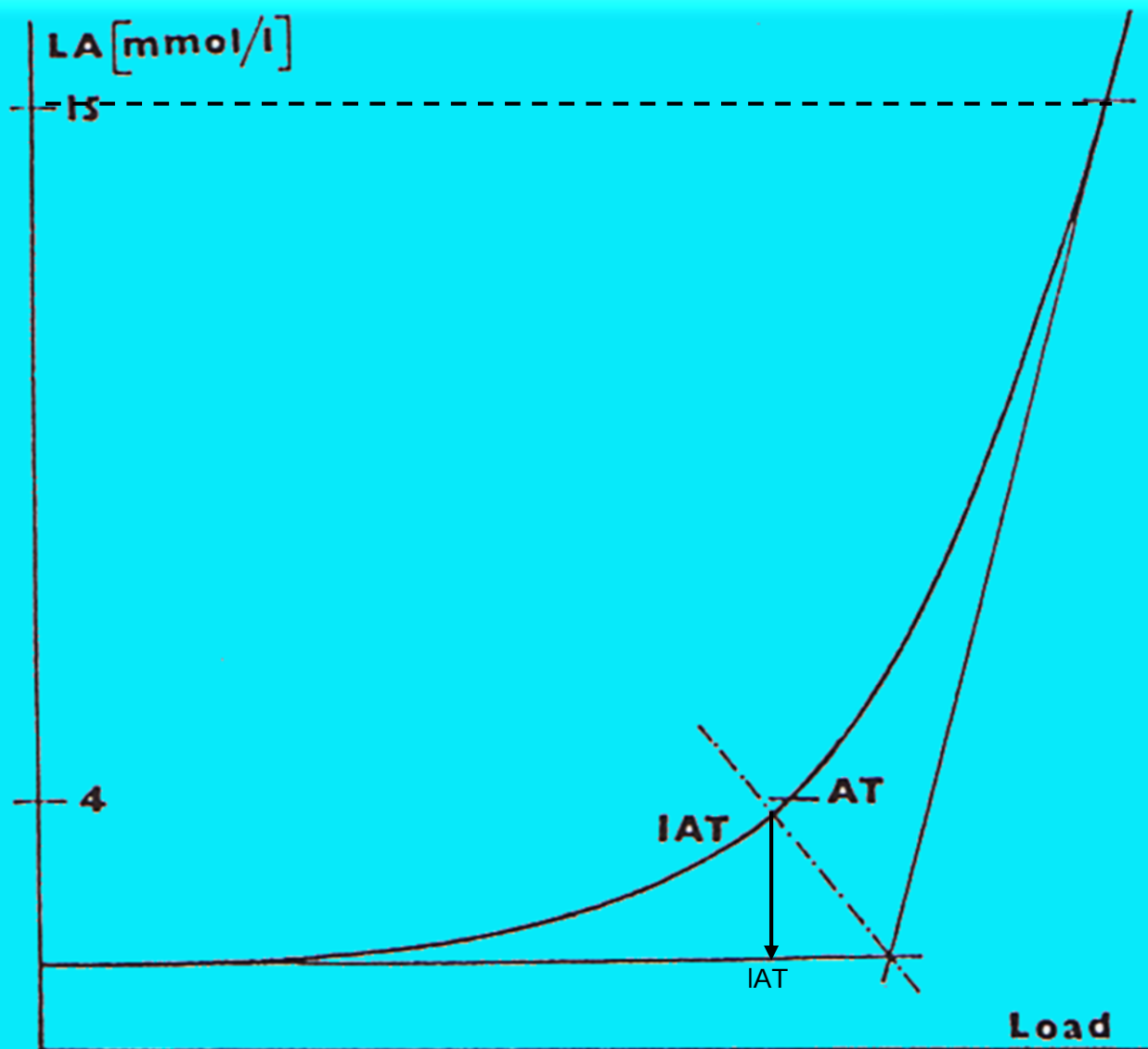


Abbildung : Herzfrequenz-Laktat-Leistungskurve und Kategorisierung der Trainingsmittel (LDL=langsamer Dauerlauf, MDL=mittlerer Dauerlauf, TDL=Tempodauerlauf, ETL= extensiver Tempolauf)

Grafische Darstellung von Herzfrequenz und Laktat eines Lauf-Laktatstufentests mit Lauf-Intensitätsbereiche nach Dickhuth et al. (hier: „+ 1,5 mmol/l Laktat-Schwelle“)

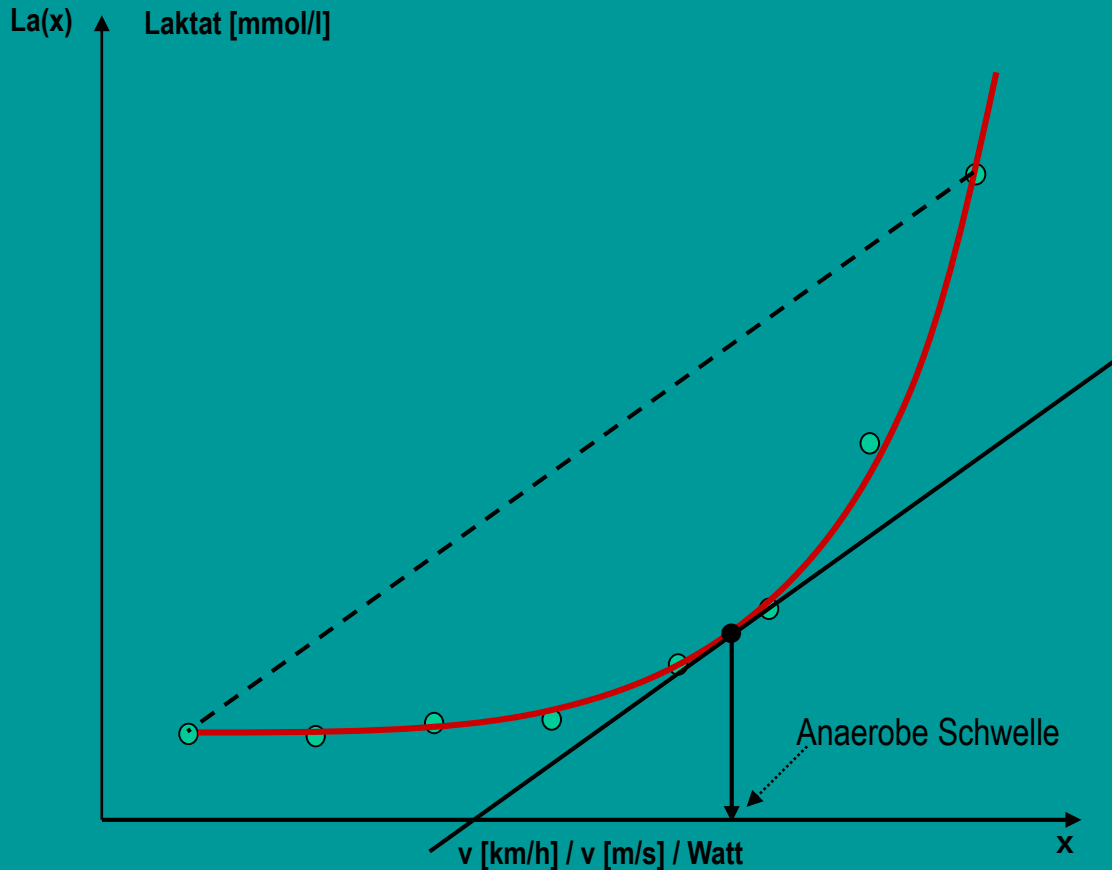


IAT (individual anaerobic threshold) = Belastung, bei der sich die Neigung der exponentiellen LLK maximal ändert.

Im Punkt der niedrigsten Belastung u. bei einem Laktatwert von 15 mmol/l werden die Tangenten an die Exponentialfunktion gelegt.

Die Winkelhalbierende durch den Schnittpunkt der Tangenten schneidet die LLK im Laktatwert der indiv. anaeroben Schwelle (IAT).

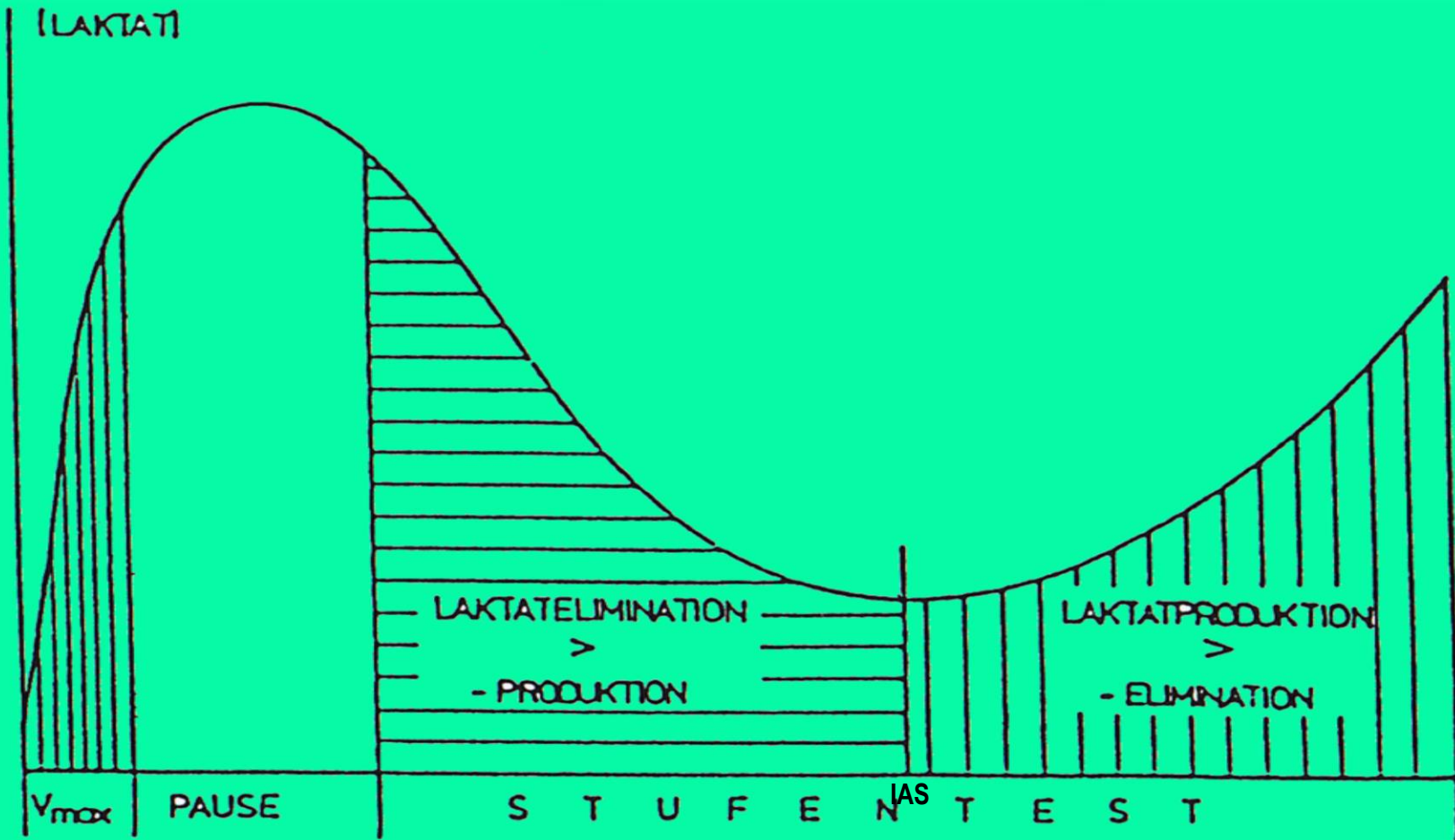
Dmax - Schwelle



Die individuell anaerobe Schwelle Dmax (max. Krümmung) wird bestimmt über den Punkt der größten Kurvenkrümmung mittels Tangente an die LLK als Parallele zur Verbindung des ersten und letzten Laktatwertes. Schwellenmodell überwiegend in Australien.

„SENKENTEST“ (ST)

Gries et al. und Tegtbur et al. (1988):



Der ST besteht aus drei Phasen: 1. eine kurzdauernde hochintensive Belastung; 2. mehrminütige Pause; 3. anschließende stufenförmige Belastung. Die Laktat-Belastungskurve zeigt einen muldenförmigen Verlauf. Die Belastung am tiefsten Punkt der Kurve soll mit dem maxLass (anaerobe Schwelle) identisch sein.



Schwellenmodelle – ausgewählte Einzeldarstellung Maderschwelle

Literaturhinweis: Die theoretische Begründung der Laktatschwelle von A. MADER einschließlich experimenteller Belege wird in der Habilitationsschrift von H. HECK ausführlich dargestellt: H. Heck: Laktat in der Leistungsdiagnostik, Wissenschaftliche Schriftenreihe des Deutschen Sportbundes, Hrsg.: O.Grupe, K.Heinemann, H.Lenk, F.Lotz, H.Weicker; Hofmann Schorndorf, Bd. 22, 1990

MADER-SCHWELLE fixe 4mmol/l Laktat-Schwelle 1976

Die von A. MADER et al. 1976 definierte aerob-anaerobe Schwelle bei einer fixen, arteriellen Blutlaktatkonzentration von 4mmol/l gilt für viele Laktatdiagnostiker als Maß für die aerobe Ausdauerleistungsfähigkeit, bzw. als Dauerleistungs- und Fettstoffwechselgrenze und als Bereich des maximalen Laktat-steady-state. Es ist der **Beginn der stoffwechseleoptimierten, laktatbasierten Trainingssteuerung**.

Die 4 mmol/l-Laktatschwelle wurde von MADER et al. nur für **Laufbandbelastung** mit definiertem Belastungsschema (Stufenhöhe: 0,4m/s, Stufendauer: 5 Min.) angegeben.

Bei schnellerem Belastungsanstieg (z.B. 2/3 Min.Stufendauer) erhöht sich der 4mmol/l-Schwellenwert und der Tangentenwert der KEUL-Schwelle, da die Laktatwerte zu niedrig ausfallen. Gleiches gilt auch für die anderen Schwellenkonzepte. Die Ausdauerleistungsfähigkeit wird **überschätzt**.

Eine Stufenbelastungsdauer von **3 Min.** führt zu einer deutlichen **Überschätzung** von >0,4m/s an der aerob-anaeroben Schwelle im Vergleich zu längeren Belastungszeiten (≥5Min.). Hauptgrund ist die zeitabhängige Laktatbildungsrate.

Durch den flacheren Verlauf der LLK bei **3 Min.** Stufendauer liegt im Mittel die fixe aerob-anaerobe Schwelle bei **3,5mmol/l**, nicht bei 4mmol/l (HECK, 1990).

„3 Min.-Stufentests“ sind nur **retestgeeignet** zur Feststellung der Ausdauer-**Veränderung**, nicht zur Trainingssteuerung.

Schwellenwerte können nur bei **gleichem** Belastungsschema verglichen werden.

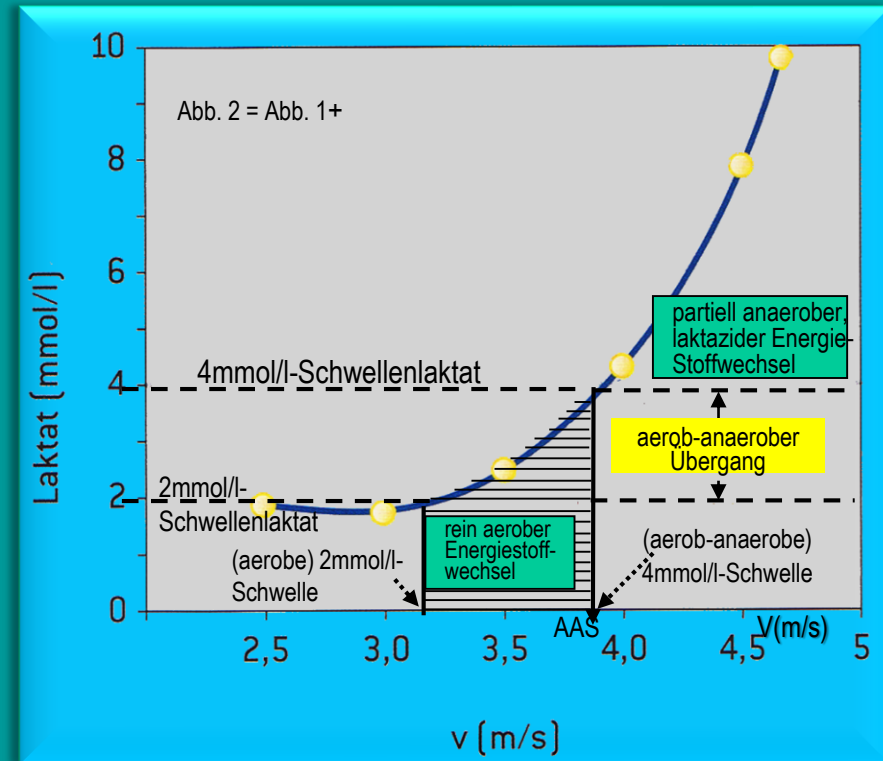
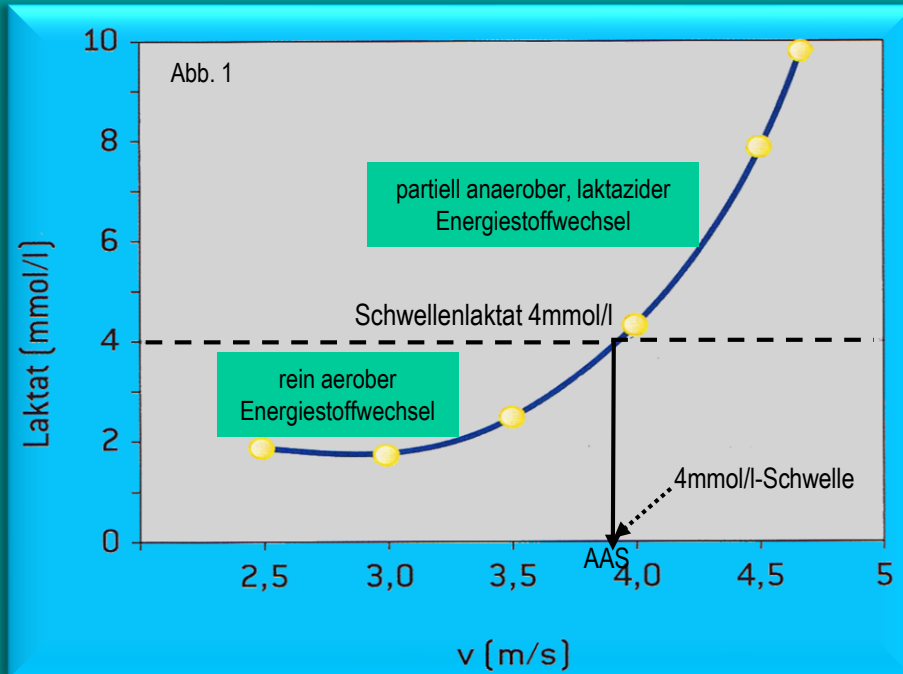
Mader A., Liesen H., Heck H., Philippi H., Rost R., Schürch P., Hollmann W., 1976
Mader A., 1984 (Habilitationsschrift)
Heck H., Mader A., Hess G., Mücke S., Müller R., Hollmann W., 1985
Föhrenbach R., Liesen H., Mader A., Heck H., Hollmann W., 1983
Föhrenbach R., Mader A., Hollmann W., 1981 .

Aerob-anaerobe Schwelle (AAS) nach MADER et al. (1976)

Bestimmung der Schwellenleistung bei der 4 mmol/l Laktatschwelle

Test Laufband: Stufendauer 5 Min., Steigerung 0,4 m/s = 1.44 km/h

Reduktion Stufendauer von 5 auf 3 Min. hat eine Minderung des Schwellenlaktatwerts von 4 auf 3,5 mmol/l zur Folge (Heck, 1990)

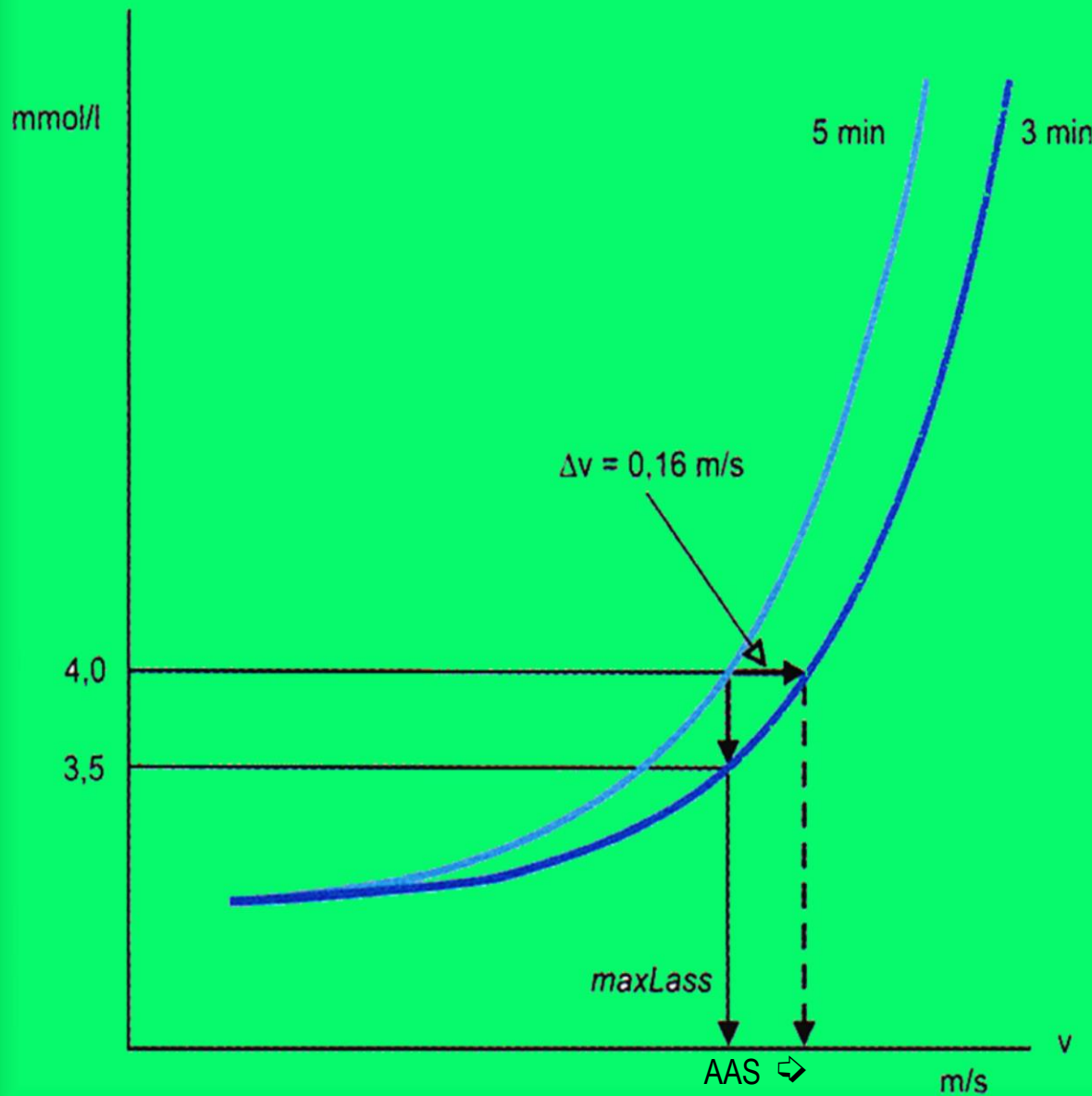


Def.: Die AAS = gleitender Übergang zwischen dem rein aeroben zum **partiell** anaeroben, laktazid gedeckten Energiestoffwechsel der Arbeitsmuskulatur (= Maximum der rein aerob abgedeckten energet. Leistung)
AAS = Max. Belastungsintensität mit Gleichgewicht Laktatbildung und Laktatabbau (max. Laktat-steady-state)

- ⇒ erstes, bedeutendes Laktat-Schwellenkonzept.
- ⇒ als aerob-anaerobe Schwelle wird die Belastung bei einem Laktatwert von **4 mmol/l** im arteriellen Blut definiert.
- ⇒ AAS ist Kenn- und Richtwert zur
 - a) Beurteilung Ausdauerleistung
 - b) Steuerung Ausdauertraining

Belastung bei 4mmol/l Laktat wird im Mittel über längere Zeit toleriert

Laktat



Laktatleistungskurven Laufband-ergometrie mit 5 bzw. 3 Minuten Stufendauer.

Verschiebung der aerob- anaeroben Schwelle um 0,16m/s nach rechts bei von 5 auf 3 min reduzierter Stufendauer.

Verschiebung des Schwellenlaktatwertes bei gleicher Leistung von 4 auf 3,5 mmol/l.

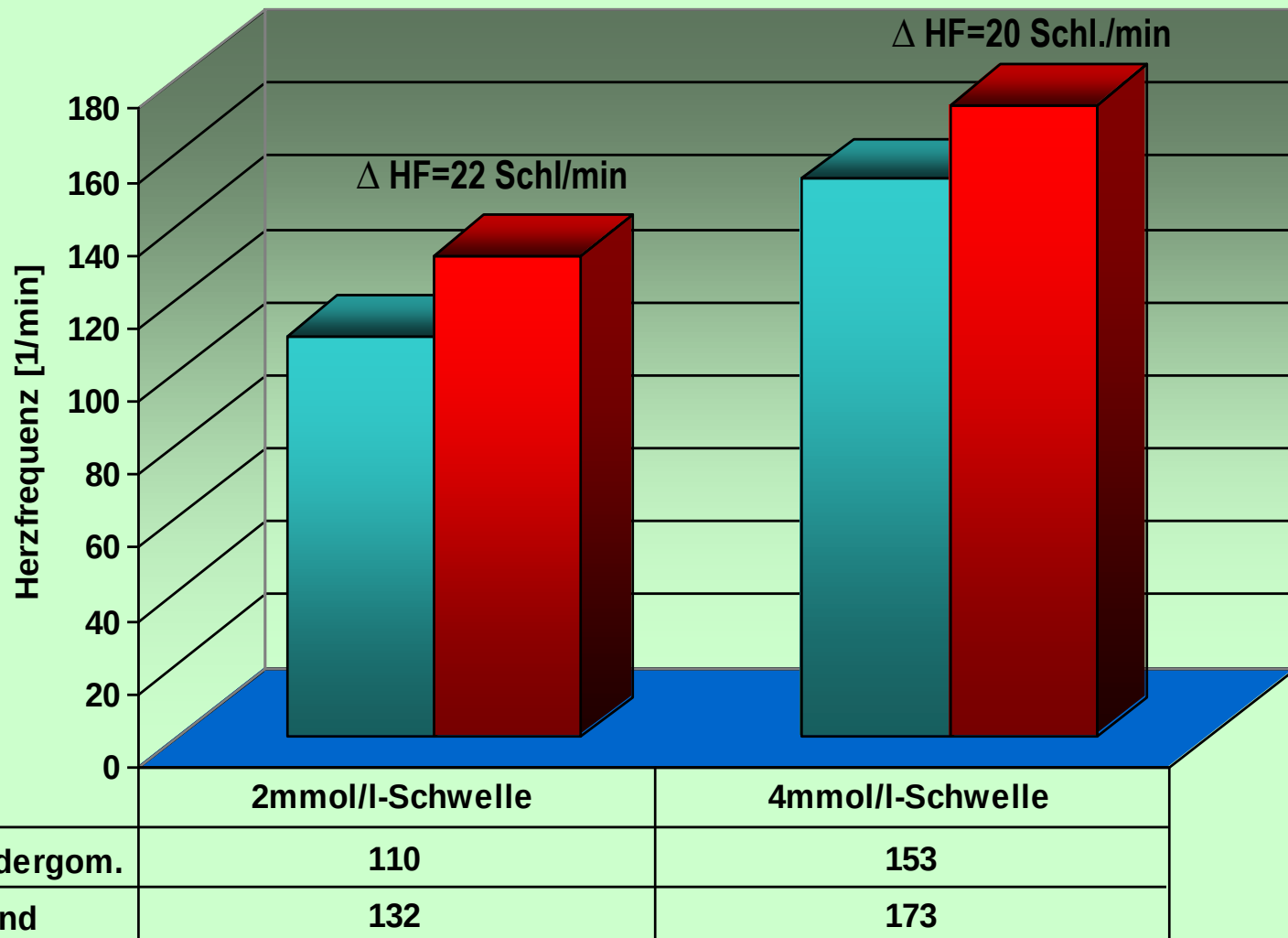
Schwellenverhalten bei Laufband-Stufentests mit unterschiedlicher Stufendauer

Testart LB, 1% Anstieg, 0,5m/s Stufenhöhe Stufendauer	Links-/Rechts-Verschiebung von vLa4 in m/s links:- rechts:+	Statistik
3 Min.	+ 0.1 bis + 0,16	n.s.
5 Min.	± 0	
8 Min.	- 0,16	n.s. p=0,17
10 Min.	- 0,21	schwach s. p=0,04
15 Min.	- 0,34	sign. p=0,01
20 Min.	- 0,37	sign. p=0,01

Ergänzung:1. vLa4 (5,5 min) ~ vLa4 (3,5min) – 0,16m/s (Heck, Mader, Liesen, Hollmann) -

2. LB, 5min St.Dauer, 0,4 St.Höhe,1% Anstieg ~ Feldtest 4 x 2323m, vStufen: 3,02-3,24-/3,60-/4,02 m/s, St.Dauer: 12,8/12,0/10,75/9,63 Min. Vergleich: keine Differenz von vLa4 im Bereich von 3,8 m/s (R. Föhrenbach, unpubl. Befund)

Herzfrequenzen bei fixer aerober 2mmol/l-Schwelle und fixer anaerober 4mmol/l-Schwelle
bei **Fahrradergometer-** und **Laufband-Stufentest** (n = 12 männlich)





Kritik an der 4mmol/l-MADER-Schwelle

- Dauerbelastung bei 4mmol/l Laktat oft zu hoch, bes. bei hoher Ausdauerleistung
- Angeblich(!) Abnahme des Schwellenlaktats mit zunehmender Ausdauerleistungsfähigkeit und max. Laktat-steady-state niedriger als 4mmol/l Laktat bes. bei hoher Ausdauerleistung; durch experimentelle Befunde nicht belegt !
- Interindividuelle Variation der anaeroben Schwelle
- Zu geringe Beachtung der genetischen und trainingsbedingten Individualität des Stoffwechsels
- Höhere Empfindlichkeit gegenüber Ernährung und Trainingsintensität vor Laktatstufentest
- Nichtbeachtung des MADER'schen Testprotokolls mit spezifischen Testbedingungen u.a. führte nachfolgend zur Entwicklung zahlreicher

Individueller, anaerober Schwellenkonzepte mit variablen Schwellenlaktatwerten

Dickhuth H.H., Huonker M., Münzel T., Drexler H., Berg A., Keul J.; Berlin 1991
Dickhuth H.H., Wohlfahrt B., Hildebrand D., Rokitzki L., Huonker M., Keul, J.; 1988
Gries M., Tegtbur U., Braumann K.-M., Busse M., Maassen N.; Köln 1989
Keul J., Simon G., Berg A., Dickhuth H.-H., Goertler I., Kübel R.; 1979
Simon G., Berg A., Dickhuth H.-H., Simon-Alt A., Keul J.; 1981
Simon G.; 1986
Stegmann H., Kindermann W.; 1982
Tegtbur U., Gries M., Braumann K.-M., Busse M., Maassen N.; Köln 1989
Mognoni P., Sirtori M.D., Lorenzelli F., Cerretelli P.; 1990
Stegmann H., Kindermann W., Schnabel A.; 1981
Bunc, V., Heller J., Leso, J., Sprynarova, S., Zdanowicz, R. (1987)



Meinungsstreit

MEINUNGSSTREIT

Fixe aerob-anaerobe (4mmol/l-)Schwelle (AAS)
vs.
individuelle anaerobe Schwellen (IAS)

Exemplarische Aussagen:

Prof. Dr. H. Heck, Univ. Bochum

Dr. R. Föhrenbach, Inst. für Sportdiagnostik, Offenbach

Prof. Dr. W. Kindermann, Univ. Saarbrücken

Prof. Dr. H.-H. Dickhuth, Univ. Tübingen/Freiburg

Prof. Dr. T. Meyer, Univ. Saarbrücken

Die INDIVIDUELL - ANAEROBE SCHWELLE (IAS) als physiologischer Umschlagpunkt und Kennwert der allgemeinen Ausdauer repräsentiert das max. Laktat-steady-state (höchste Dauerbelastung mit konstantem Laktat) **physiologisch besser** als die 4 mmol/l Laktat-Schwelle nach Mader.

Vorteile: • beachtet genetische Individualität des Stoffwechsels

• geringe Empfindlichkeit gegenüber Ernährung (z.B. geringer muskulärer Glykogenspeicher) und Trainingintensität vor

Laktat-Stufentest

W. Kindermann, 2001

Aufgrund der hohen biologischen und methodischen Variabilität ist die Bewertung von absoluten Laktatkonzentrationen in der Leistungsdiagnostik nicht unproblematisch.

Laktatschwellen, die relative Veränderungen der Laktatkonzentrationen (Laktat-Leistungsverlauf) berücksichtigen, werden durch die methodisch bedingte Variabilität weniger beeinflusst als fixe Laktatschwellen.

T. Meyer, O. Faude: Methodische Aspekte der Laktatbestimmung. Dt. Zschr. f. Sportmedizin 12 (2008) 305-309)

„Inzwischen besteht immerhin Einigkeit darüber, dass die Laktatschwelle nicht bei einer fixen Laktatkonzentration wie 2 oder 4 mmol/l angegeben werden kann, sondern **individuell** berechnet werden muß.

Der Hauptgrund hierfür ist, dass die Laktatkonzentration bereits in **körperlicher Ruhe großen Schwankungen** unterliegen kann“.

H.-H. Dickhuth in „Runners World“, 7/99, S.38

„Die nahrungsbedingt unterschiedliche (Ruhe-)Laktatkonzentration im Blut hat absolut nichts mit irgendeiner Laktatschwelle zu tun“. Höhere Ruhewerte sinken bei gut trainierten Läufern bei anfänglich niedrigen Belastungsstufen und hinreichender Dauer (>5min) i.d.R. auf Laktatkonzentrationen von nur 1-1,5 mmol/l ab.

R. Föhrenbach; In: www.sportdiagnostik.de, Märchen aus der Sportmedizin, Sportwissenschaft und Medienlandschaft

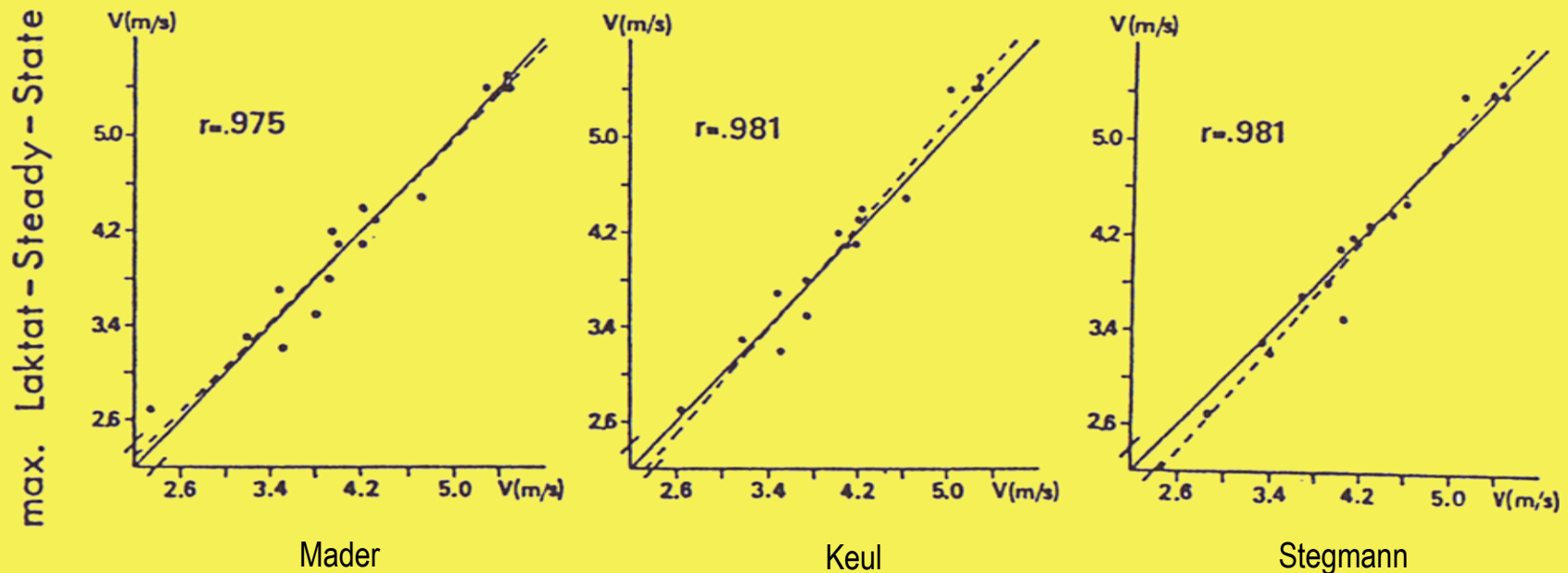
„Vergleichende Untersuchungen auf Laufband und Fahrradergometer bei 5minütiger Stufendauer zeigen, dass die individuell-anaeroben Schwellen das maximale Laktat-steady-state **nicht** besser abschätzen als die fixe 4-mmol/l-Schwelle“.

H. Heck / G. Hess / A. Mader: Vergleichende Untersuchung zu verschiedenen Laktat-Schwellenkonzepten. Dtsch. Zschr. für Sportmed. 36 (1985), 19-25 und 36, 2, 40-52

H. Heck: Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik. Studienbrief 8 der Trainerakademie Köln des Deutschen Sportbundes, 1990, S.164

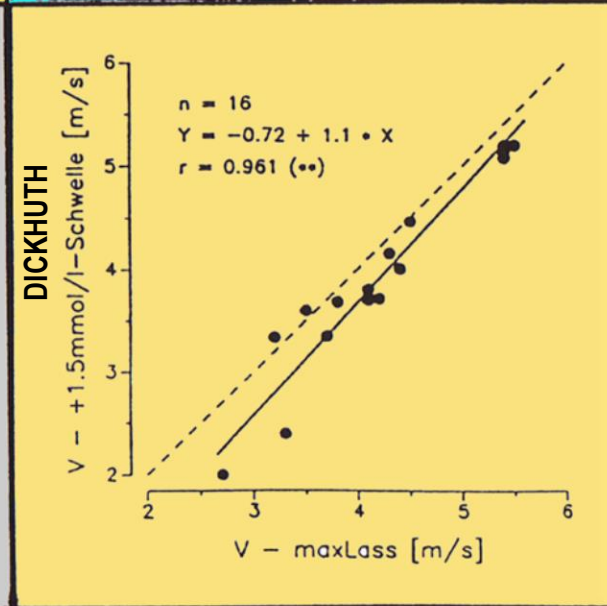
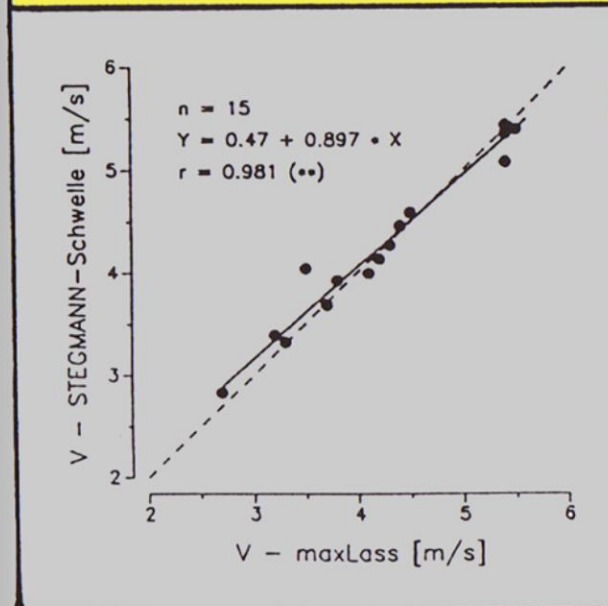
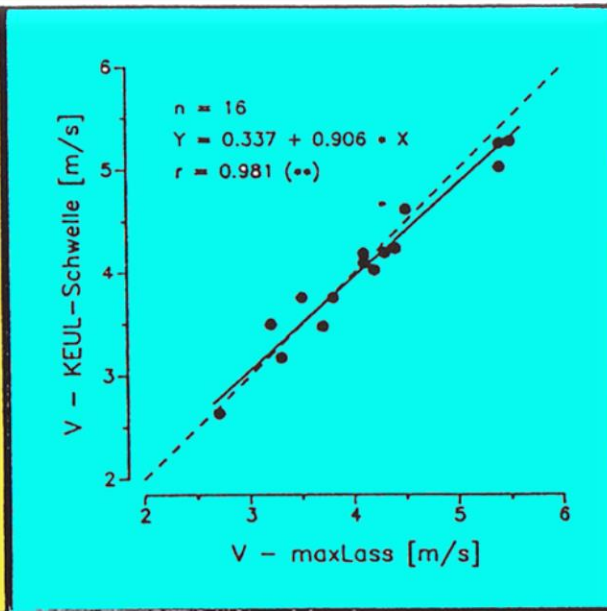
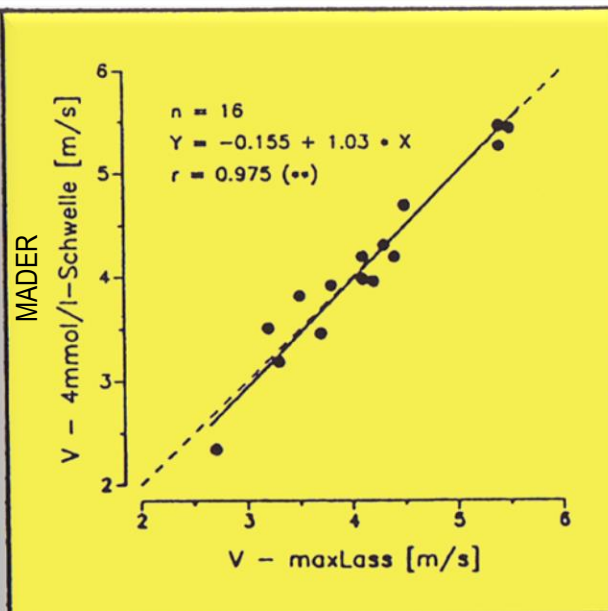
Die anaerobe = aerob-anaerobe Schwelle = Leistung bei 4mmol/l Laktat = max. Laktat-steady-state (maxLass) ist bei Ausdauertrainierten **NICHT** niedriger als beim Ausdaueruntrainierten.

Orthogonale Regression zwischen „max. Laktat-steady-state“ und den anaeroben Schwellen nach MADER, KEUL und STEGMANN für Laufbandbelastung bei 5minütiger Stufendauer und 0,4m/s Stufenhöhe (=Belastungsschema nach MADER); durchgezogene Linie ist die Linie gleicher Werte (Identitätslinie).



Individuelle und 4mmol/l-Laktatschwellen schätzen das max. Laktat-steady-state **gleich gut** ab

Orthogonale Regression zwischen „max. Laktat-steady-state“ und den anaeroben Schwellen nach MADER, KEUL, STEGMANN und „+1,5 mmol/l-Methode“ für Laufbandbelastung bei 5minütiger Stufendauer und 0,4m/s Stufenhöhe (=Belastungsschema nach MADER); gestrichelte Linie ist die Linie gleicher Werte.



Validierungsuntersuchung nach H. Heck (1990):

maxLass im Mittel: 4,21m/s

⇒ MADER-Schwelle: 4,20m/s

⇒ Keul-Schwelle: 4,15m/s

⇒ Stegmann-Schwelle: 4,26m/s

⇒ +1,5mmol/l-Schwelle: 3,93m/s

(=hochsignifikant unter dem maxLass-Wert)

Bei Keul- und Stegmann-Schwelle: mit steigender Ausdauer wird maxLass zu niedrig bei niedriger Ausdauer wird maxLass zu hoch geschätzt

modif. nach H. Heck, P. Roskopf in:
Clasing, Weicker, Böning (Hrsg.): Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik, Stuttgart, 1994

Orthogonale Regressionen

Die orthogonalen Regressionen von H. HECK dokumentieren, dass die „individuell anaeroben Schwellen“ das maxLass **nicht besser** repräsentieren als die Schwelle bei einem fixen Wert von 4mmol/l Laktat.

Die Schwellen nach KEUL et al. und STEGMANN et al. messen tendenziell mit zunehmender Ausdauerleistungsfähigkeit das maxLass zu niedrig, bei geringer Ausdauerleistungsfähigkeit das maxLass zu hoch. Die Ursache liegt in den Schwellenkonzepten.

Die Schwellenwerte nach der „+1,5 mmol/l-Methode“ liegen sogar signifikant unter den maxLass-Werten.

Nach Untersuchungen von H. HECK kommen im Vergleich alle individuelle Schwellenkonzepte (IAS=IANS) zu **unterschiedlichen** Ergebnissen, weshalb sie das physiologische, individuelle maximale Laktat-steady-state **nicht** mit Sicherheit angeben können.

H. Heck, P. Roskopf in: Clasing, Weicker, Böning (Hrsg.): Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik, Stuttgart, 1994

Es ist weltweit anerkannt, dass bei 4mmol/l Laktat ein (max.) Laktat-steady-state besteht und die korrespondierende Leistung in einem Halbmarathonlauf durchgehalten werden kann.

R. Föhrenbach,



Eine Studie untersuchte **analytische und/oder biologische Variationen** der anaeroben Laktat-Schwellengeschwindigkeiten und somit zu Aussagen über Änderung der aeroben Leistungsfähigkeit mittels Quantifizierung der **Test-Retest-Reliabilität** der anaeroben Laktat-Lauf-Schwellenkonzepte der fixen 4mmol/l-Schwelle nach MADER et al. (1976; AT-4mmol) und der individuellen Laktat-Schwelle nach STEGMANN et al. (1981; IAT-ST), sowie des Netto-Laktatanstiegs nach COYLE et al. (1983; IAT-NL) .

59 Probanden (40m/19w) absolvierten innerhalb von 7 Tagen 3 Laufband-Stufentests (6km/h-2km/h-3Min.) bis Ausbelastung. Laktatbestimmung erfolgte zusätzlich nach 2,3,5,10 Min. nach Testende (Konzept Stegmann). Berechnet wurden die typischen Fehler (TE) der Schwellengeschwindigkeiten nach HOPKINS et al. (2001).

Ergebnis

Ø v 4mmol/l-„Mader“-Schwellen:	13,3 ± 2,0 km/h; TE (Fehler): 2,4%
Ø v „Stegmann“-Schwellen:	12,3 ± 1,9 km/h; TE (Fehler): 5,4%
Ø v an IAT-NL:	12,4 ± 1,8km/h; TE: (Fehler): 2,3%

Fazit

Der höhere, typische Fehlerwert für die individuelle Stegmann-Schwelle zeigt eine **deutlich geringere Reliabilität**. Die 4mmol/l-Mader-Schwelle hat gegenüber der Stegmann-Schwelle eine höhere Sensitivität bei der Identifikation **wahrer** Änderungen der aeroben Leistungsfähigkeit.

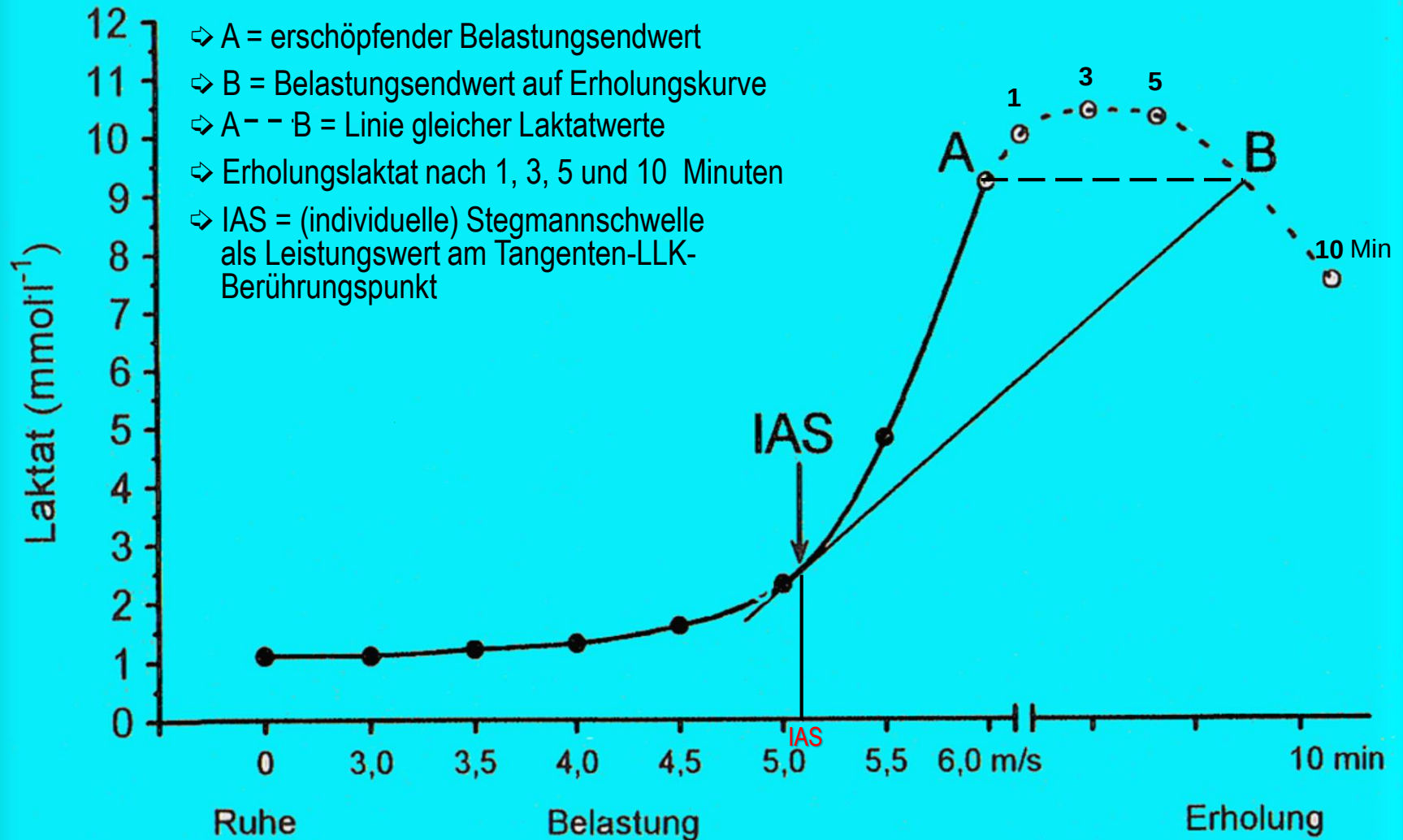
Bei Aussagen über Veränderung der aeroben Leistungsfähigkeit sollte die Reliabilität einer Messmethode berücksichtigt werden.

Kritische Anmerkung: Die Bestimmung der „Mader“-Schwelle sollte sich am originären Mader-Konzept mit Stufenhöhe 0,4m/s ~ 1,5km/h und mindestens 5 Min. Stufendauer orientieren.



Stegmann-/Kindermann - Schwelle

Schwelle nach Stegmann und Kindermann (Saarbrücker Schwelle) 1981

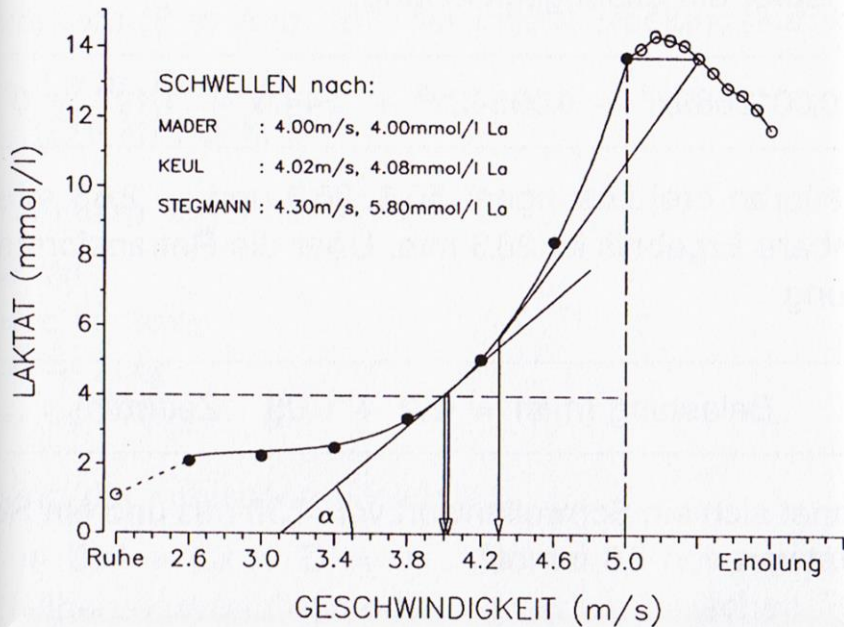


IAS = Zeitpunkt des Gleichgewichts zwischen maximaler Eliminationsrate und Diffusionsrate des Laktats aus der Laktatkinetik des Stufentests einschließlich der Erholungsphase.

Laktatleistungskurven mit Schwellenbestimmungen nach Mader, Keul und Stegmann

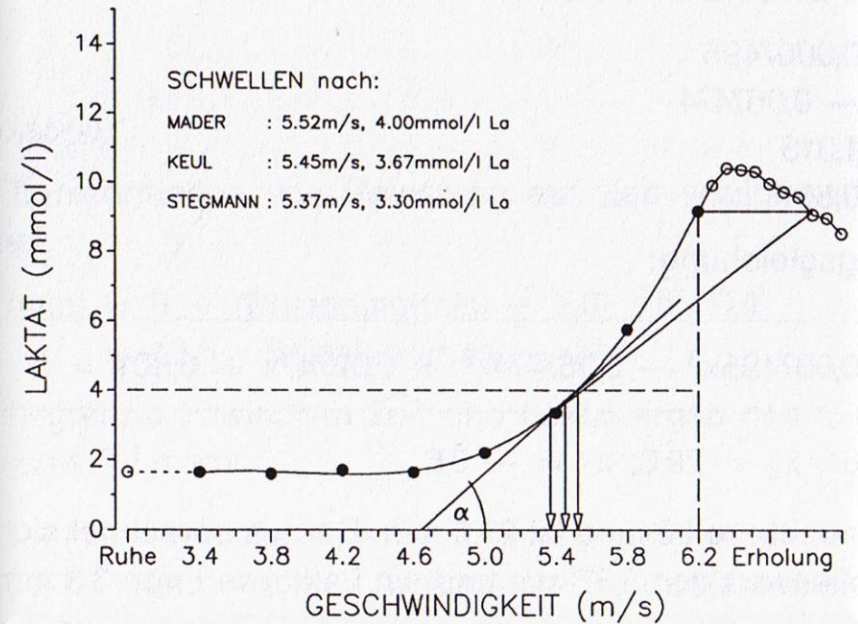
LLK eines Sportstudenten

LAKTAT-LEISTUNGSKURVE eines Sportstudenten



LLK eines Langstreckenläufers

LAKTAT-LEISTUNGSKURVE eines Langstreckenläufers



Standard-Laktat-Mehrstufentest Feld/Laufband des Saarbrücker Arbeitskreises für Laufsportarten mit Bestimmung der Stegmann- Schwelle:

$V_0 = 8 / 9 / 10 \text{ km/h}$ bzw. $2,2 / 2,5 / 2,8 \text{ m/s}$ je nach Leistungszustand Stufenhöhe: 2 km/h ($= 0,56 \text{ m/s}$) bzw. $0,5 \text{ m/s}$
Stufendauer: 3 Minuten

Testbedingungen

- ⇒ erschöpfende, Ausbelastung
- ⇒ „volle Ausbelastung nicht notwendig“ zur Berechnung der IAS-S; Abbruchlaktat mindestens 6 mmol/l , bei Ausdauertrainierten 5 mmol/l (Kindermann); Widerspruch H. Heck (!)
- ⇒ möglichst schnelle Blutentnahme nach Gesamtelastungsende, da sonst Überschätzung der IAS-S
- ⇒ für Erholungslaktatbestimmungen kein körperliche Beanspruchung (Ruhe)
- ⇒ Stufenhöhe von 2 km/h auf 1 km/h erhöht $v(\text{IAS-S})$ um ca. 6%
- ⇒ $v(\text{IAS-S}), 2 \text{ km/h}, 3 \text{ Min.}, \text{Laufband} = v(\text{IAS-S}), 3 \text{ Min.}, 2 \text{ km/h}, \text{Feld} - \text{ca. } 0,4 \text{ km/h}$

A. Urhausen et al. (Saarbrücker Arbeitskreis), 1994

Für die Arbeitsgruppe **W. KINDERMANN et al.** ist – unter Anwendung des Saarbrücker Testmodells für Laktatstufentests (bei Stufendauer 3 Min.!) – der Bereich der individuellen **Stegmann-Schwelle (IAS-S)** eine tatsächliche, physiologische „Schwelle“. Als Maß für den Bereich des maxLass gilt sie – wie auch für jede andere Schwelle – nicht als streng punktueller Übergang von aerober zu anaerober Energiebereitstellung. Sie ist lediglich **Orientierungsmaß** in einem sog. „aerob-anaeroben Übergangsbereich“ mit fast ausschließlich aerober Energiebereitstellung bei niedrigen Belastungsintensitäten und zunehmend anaerober Komponente, wobei $100\% \text{ IAS}$ nicht immer exakt einem maxLass entspricht. Ausdauerbelastungen mit einer Intensität unterhalb der IAS-S führen quasi immer zu einem Laktat-steady-state (Lass).

Weitere Aussagen aus Arbeitskreis Kindermann et al. zur Saarbrücker Laktatdiagnostik

Stegmann-/Saarbrücker Laktatschwelle (IAS-S) ist obere Grenze einer nahezu ausschließlich **aeroben** Energiebereitstellung und gilt als Maß für den Bereich des max. Laktat-steady-state (maxLass).

Der Bereich der IAS-S ist **tatsächliche** physiologische „Schwelle“ und für den **Laufbereich** vom Saarbrücker Arbeitskreis **validiert**.

100% IAS-S ist **nicht immer** exakt das maxLass.

IAS-S ist relativ **unempfindlich** gegenüber schwellenwertbeeinflussender Faktoren: z.B. niedrige Ausbelastung, geringe Test-Vorbelastungen bis ca. 4mmol/l Laktat, Stufenhöhe, Stufendauer von z.B. 3 und 5 Min. (Differenz 1-2%) u.a.

Steigende internationale Akzeptanz und Verwendung der IAS-S.

B. Coen (Saarbrücker Arbeitskreis), 1997

Nachteile des Saarbrücker Laktat-Mehrstufentests

Maximale Ausbelastung notwendig (Nachweis H. Heck); nicht immer möglich !

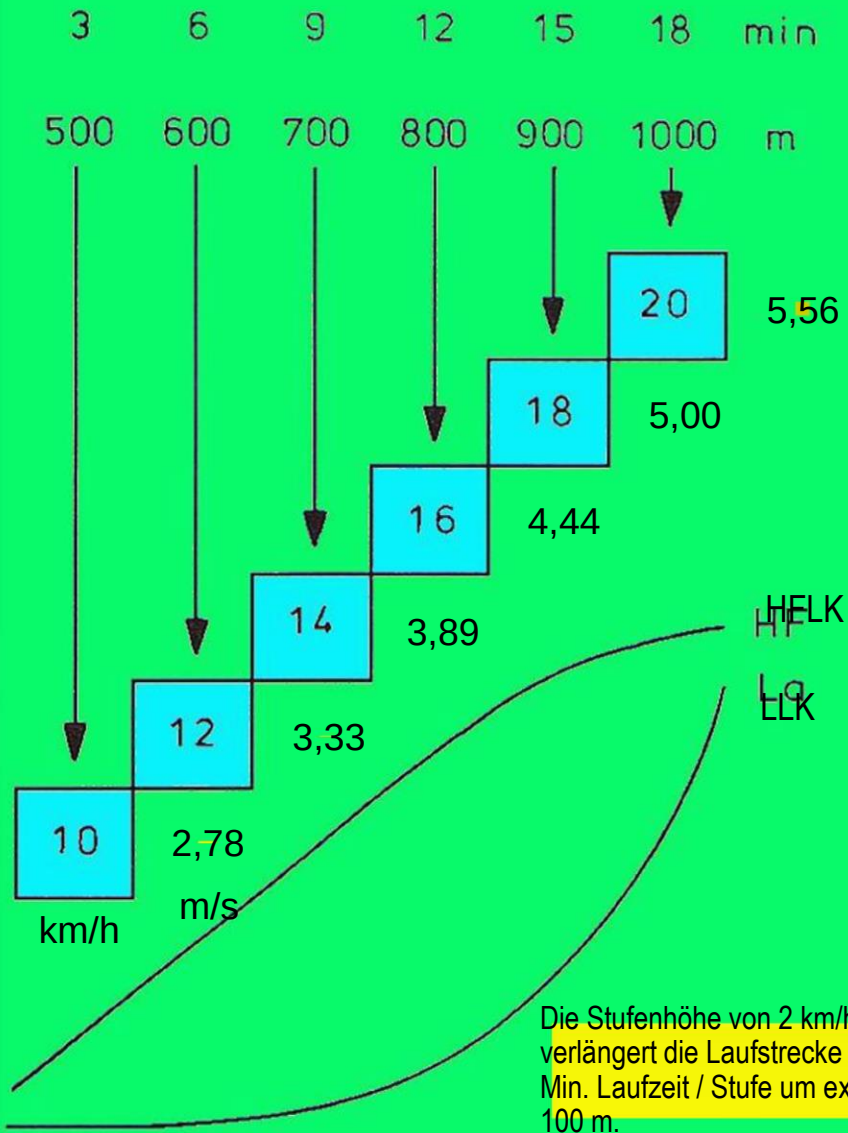
Bis zu 5 Laktatmessungen nach Belastungsende (kosten- und zeitintensiv)

Zeitvorteil der „kurzen“ Stufendauer wird aufgehoben und überschritten

Keine Vergleichbarkeit mit anderen Schwellenmodellen

Oft gegebene Zusatzinformation 4mmol/l-Schwelle bei 3 Min. Stufendauer ist nicht korrekt; genauer wäre die 3,5mmol/l-Schwelle (s. H. Heck)

Ausdauerertest



Ausdauer-Feldtest als Laktatstufentest nach W. Kindermann et al.

Berechnung

Laktatleistungskurve (LLK)

Herzfrequenzleistungskurve (HFLK)

individuell-anaerobe Schwelle nach **Stegmann**
zur Beurteilung der aeroben Ausdauerleistungsgrenze

4mmol/l-“Mader“-Schwelle

Belastung bis zur subjektiven Erschöpfung

Testmodell der Deutschen Fußball-Nationalmannschaft

Durchführung „Saarbrücker“ Feld-Laktat-Stufentest mit Stegmann-Schwelle

- Markierungskegel alle 50m
- Bis 8 Spieler / Testgruppe; 10 Messpersonen
- Messung Vorbelastungslaktat
- Start bei 200m-Marke auf 400m-Laufbahn
- 1 Läufer mit „Leituhr“ oder akustisches Signal alle 50m
- Blutentnahmedauer ca. 45 sec.
- Nachbelastungslaktat mehrfach bis 10. Minute
- Stufenzahl: 5-6; Gesamtlaufzeit; 15-18 Min.
- Beginn: 10 km/h bis 18 / 20 km/h bzw. 5,0 / 5,5 m/s
- Gesamtdistanz: 3500 – 4500m bis „nahe“ Ausbelastung
- kontinuierliche Pulsfrequenz-Messung
- **Stegmann-Schwelle zur Beurteilung der aeroben Ausdauer**

Die Stufenhöhe von **2 km/h** verlängert die Laufstrecke bei 3 Min. Laufzeit / Stufe um exakt **100 m**.

Laktat-Stufentest der Deutschen Fußball-Nationalmannschaft am 22. März 2005 im Rahmen der WM-Vorbereitung im Riederaldstadion Frankfurt/Main

Stufe 1: 500m in 2:58,6 min = 2,8 m/s = 10,08 km/h

Stufe 2: 600m in 3:01,8 min = 3,3 m/s = 11,88 km/h

Stufe 3: 700m in 2:59,5 min = 3,9 m/s = 14,04 km/h

Stufe 4: 800m in 3:01,8 min = 4,4 m/s = 15,84 km/h

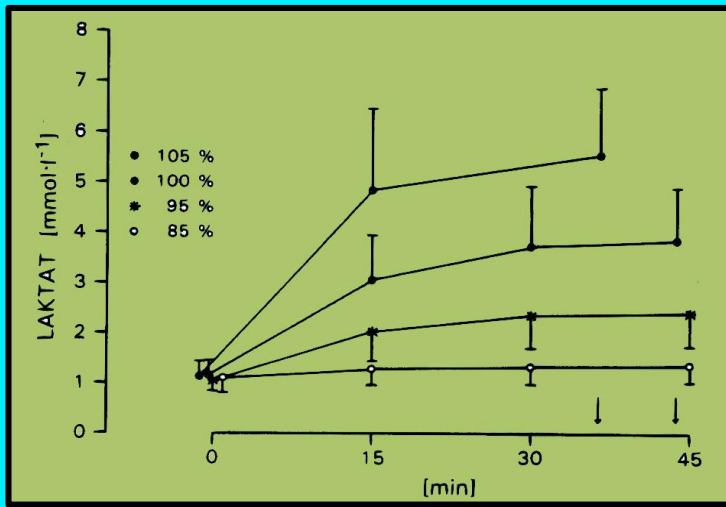
Stufe 5: 900m in 3:00,0 min = 5,0 m/s = 18,00 km/h

Testablauf:

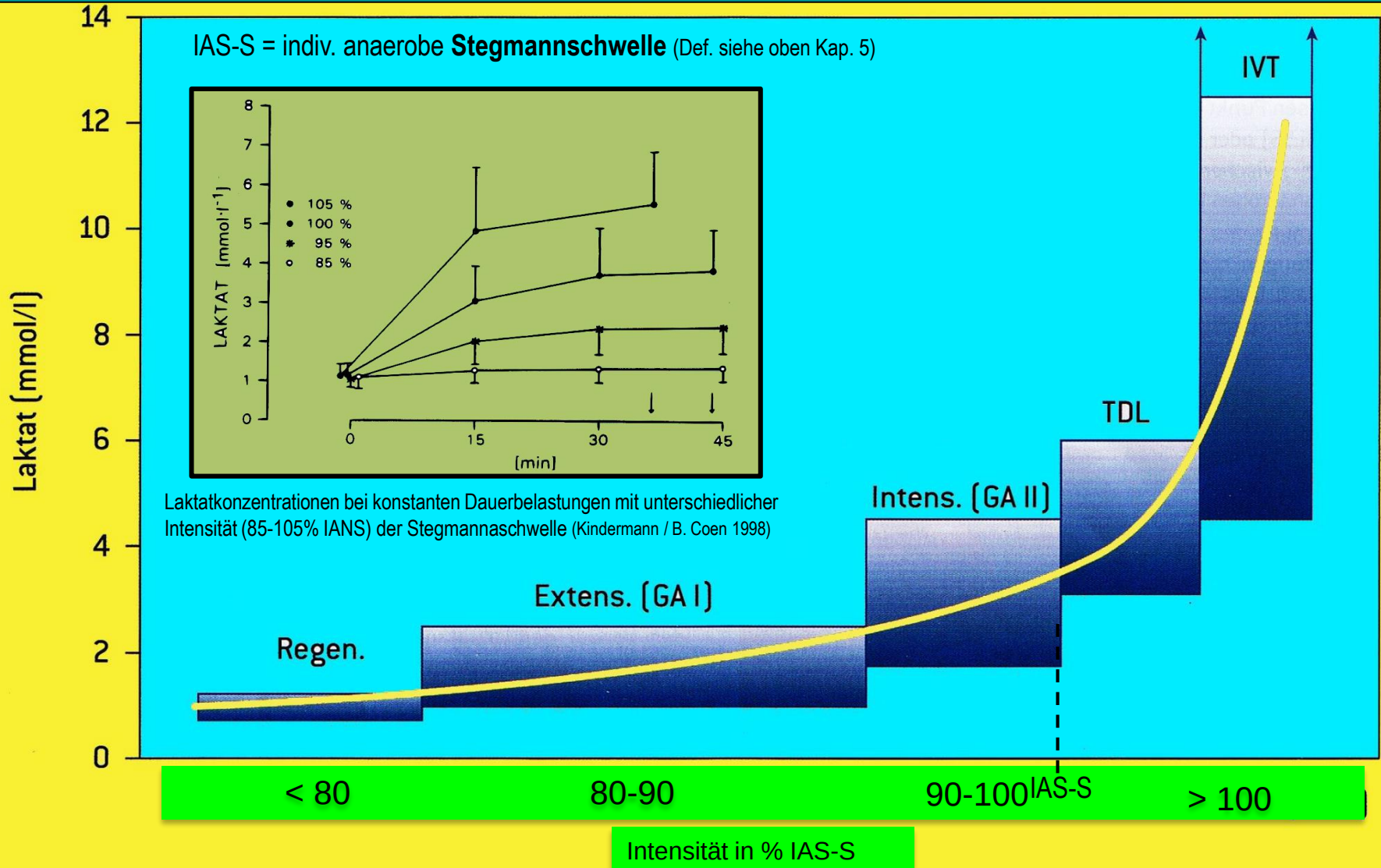
- ⇒ Kegel alle 50m
- ⇒ 8 Spieler/Gruppe
- ⇒ 10 Meßpersonen
- ⇒ Vorbelastungslaktat
- ⇒ Start an 200m-Marke der 400m-Laufbahn
- ⇒ 1 Läufer mit „Leituhr“ (unruhige Kontrolle)
- ⇒ Blutabnahmedauer: ca. 45 sec
- ⇒ Nachbelastungslaktat: nach 1., 3., 5., 7., 10. Minute
- ⇒ **Schwellenmodell: nach Stegmann et al.**
- ⇒ Stufenhöhe: 2 km/h

Ableitung von Intensitätsbereichen im Ausdauertraining in % der IAS-S nach Kindermann

IAS-S = indiv. anaerobe **Stegmannschwelle** (Def. siehe oben Kap. 5)



Laktatkonzentrationen bei konstanten Dauerbelastungen mit unterschiedlicher Intensität (85-105% IANS) der Stegmannaschwelle (Kindermann / B. Coen 1998)



Regen. = Regenerative Belastung; Extens. (GA I) = Extensive Belastung (Grundlagenausdauer I); Intens. (GA II) = Intensive Belastung (Grundlagenausdauer II); TDL = Tempodauerlauf; IVT = Intervalltraining

A. Testprotokoll

Eingangsstufe: $v_0 = 8-10 \text{ km/h}$ bzw. $2,0$ oder $2,5 \text{ m/s}$

Stufenhöhe i.d.R.: 2 km/h ($= 0,56 \text{ m/s}$) oder $0,5 \text{ m/s}$ (im Test konstant)

Stufendauer: 3 Minuten (im Test konstant)

Stufenzahl: mindestens 4

Blutlaktatanstieg: auf ersten Stufen im Ruhewertbereich (niedrige Intensität)

B. Trainingsbereiche

1. Regenerativer Dauerlauf (DL) / Intensität: **ca. 70% IAS-S**
☞ aktive Regeneration, sehr niedrige Belastung: Dauer 30-45 Min.; HF-Kontrolle
2. Regenerativer bzw. langer, niedrig extensiver DL / Intensität: **70-80% IAS-S**
☞ Regeneration "lang" mit Ausdauertrainingseffekt: 60-70 Min.; HF-Kontrolle
3. Niedrig extensiver DL / Intensität: **ca. 80% IAS-S**; HF-Kontrolle
4. Extensiver DL / Intensität (Grundlagenausdauer 1 = GA1): **80-90% IAS-S**;
☞ Laktatkonzentration im Basisbereich bis maximal 2 mmol/l ; HF-Kontrolle
5. Intensiver DL / Intensität (Grundlagenausdauer 2 = GA2): **90-95/100% IAS-S**
☞ (Mittel: **95% IAS-S** bzw. **2-4 mmol/l Laktat**)
6. Tempo-DL (TDL): **100% IAS-S** bzw. ca. **3-6 mmol/l Laktat**
7. Intervalltraining / Tempoläufe: **> 100% IAS-S**

Saarbrücker Laktat-Stufentest

Trainingsbereiche - Herzfrequenzen - Laktat - Trainingskontrolle

Herzfrequenz: regenerativer DL / Intensität: HF $\approx$ 30 Schl/min unter HF an IAS-S (flaches Gelände)
extensiver DL / Intensität: HF $\approx$ 15 Schl/min unter HF an IAS-S (flaches Gelände)

Laktat: extensiver DL / Intensität: ausdauertrainiert: $\leq 2 - 2,5$ mmol/l Laktat
nicht ausdauertrainiert: $\geq 2,5$ mmol/l Laktat
intensiver DL / Intensität: ausdauertrainiert: ca. 2 – 5 mmol/l Laktat
nicht ausdauertrainiert: ca. 2,5 – 5,5 mmol/l Laktat

Herzfrequenzsteuerung

- ⇒ regenerativer bis extensiver Intensitätsbereich: Kontrolle über HF geeignet, da HF noch sensibel auf Intensitätsänderungen reagiert
- ⇒ bei extensivem DL und Anstiegen sollte HF an IAS-S oberer Grenzwert sein
- ⇒ bei abfallendem Gelände ist Geschwindigkeitsvorgabe die Orientierung
- ⇒ intensiver Intensitätsbereich: Kontrolle über HF durch geringere HF- Reaktion ungünstig
- ⇒ Allgemeine Nachteile von HF-Intensitätskontrolle: externe und interne Einflussfaktoren der HF mit z.T. großen Schwankungen von Tag zu Tag

„Saarbrücker“ Laktat-Feldstufentest (FST3/2) im Vergleich mit Testvariationen und Laufband-Stufentest (LBST3/0,5)

Referenztest: FST3/2: Stufendauer: 3Min., Stufenhöhe: 2km/h, v0: 10-12km/h, bis Erschöpfung

Variationen

FST5/2 : Stufendauer: 5 Min., Stufenhöhe: 2 km/h, v0: 10-12 km/h, bis Erschöpfung

FST3/1: Stufendauer: 3 Min., Stufenhöhe: 1 km/h, v0: 10-12 km/h, bis Erschöpfung

FST3/2-90sec : Stufendauer: 3 Min., Stufenhöhe: 2 km/h, v0: 10-12 km/h, Abbruch 90 sec verkürzt

3/2-180sec : Stufendauer: 3 Min., Stufenhöhe: 2 km/h, v0: 10-12 km/h, Abbruch 180 sec verkürzt

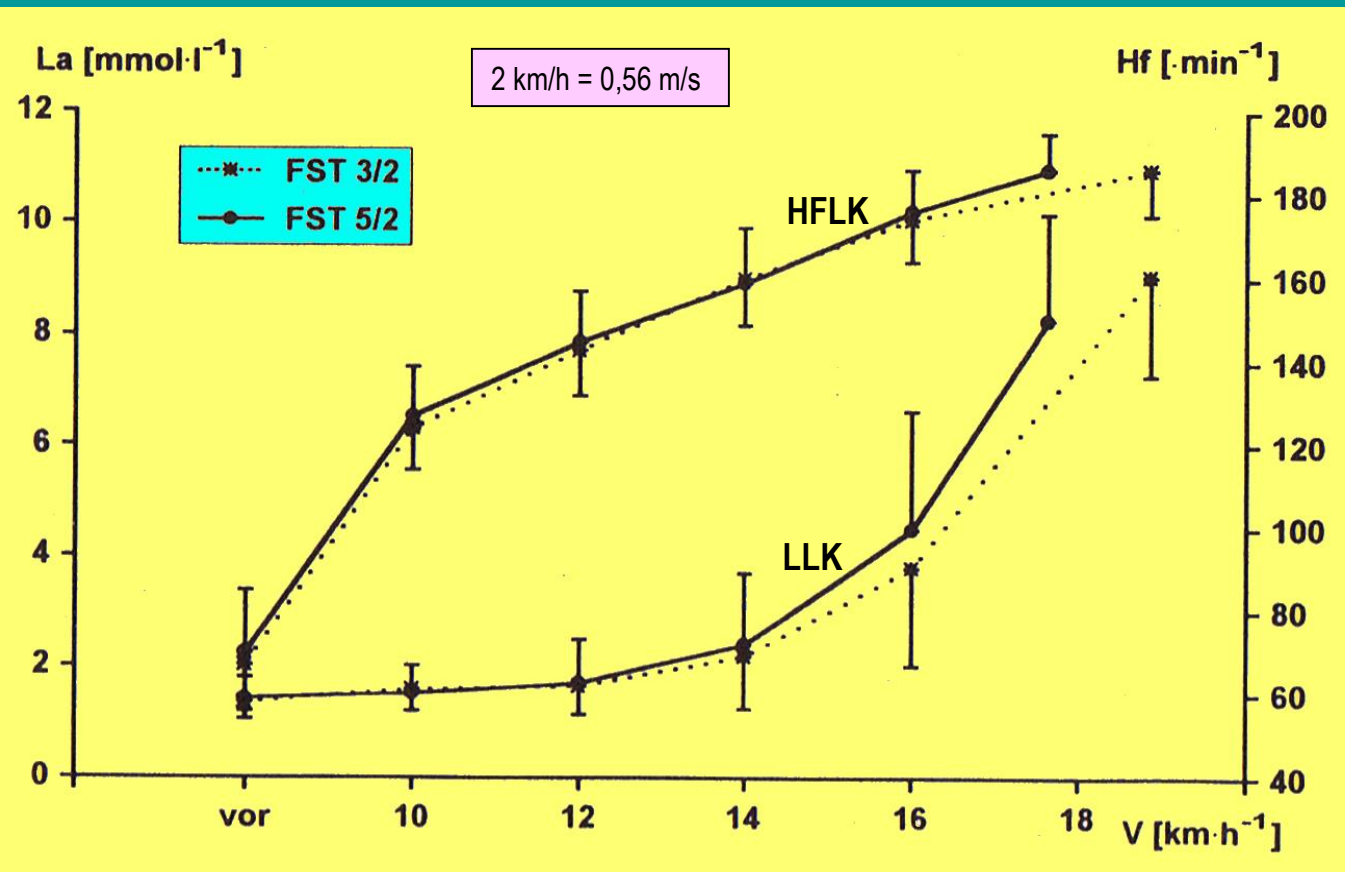
FST3/2-VB : Stufendauer: 3 Min., Stufenhöhe: 2 km/h, v0: 10-12 km/h, Test-Vorbelastung (VB): 12 Min. Einlaufen, 10 Min. Stretching, 5 moderate + 5 schnelle Steigerungsläufe über 60m

FST5 x 800/1 : 5 x Stufenlänge: 800m (Laufbahn), Stufenhöhe: 1 km/h, v0: 10-12 km/h

LBST3/0,5 : Stufendauer: 3 Min., Stufenhöhe: 0,5 m/s, v0: 2,5 m/s, LB-Steigung: 1,5%, bis Erschöpfung.

Referenztest und Variationstest innerhalb von 3 -10 Tagen

Laktat- (LLK) und Herzfrequenz-Leistungskurven (HFLK) von Referenztest FST3/2 und Vergleichstest FST5/2 (Def. siehe Folie zuvor)



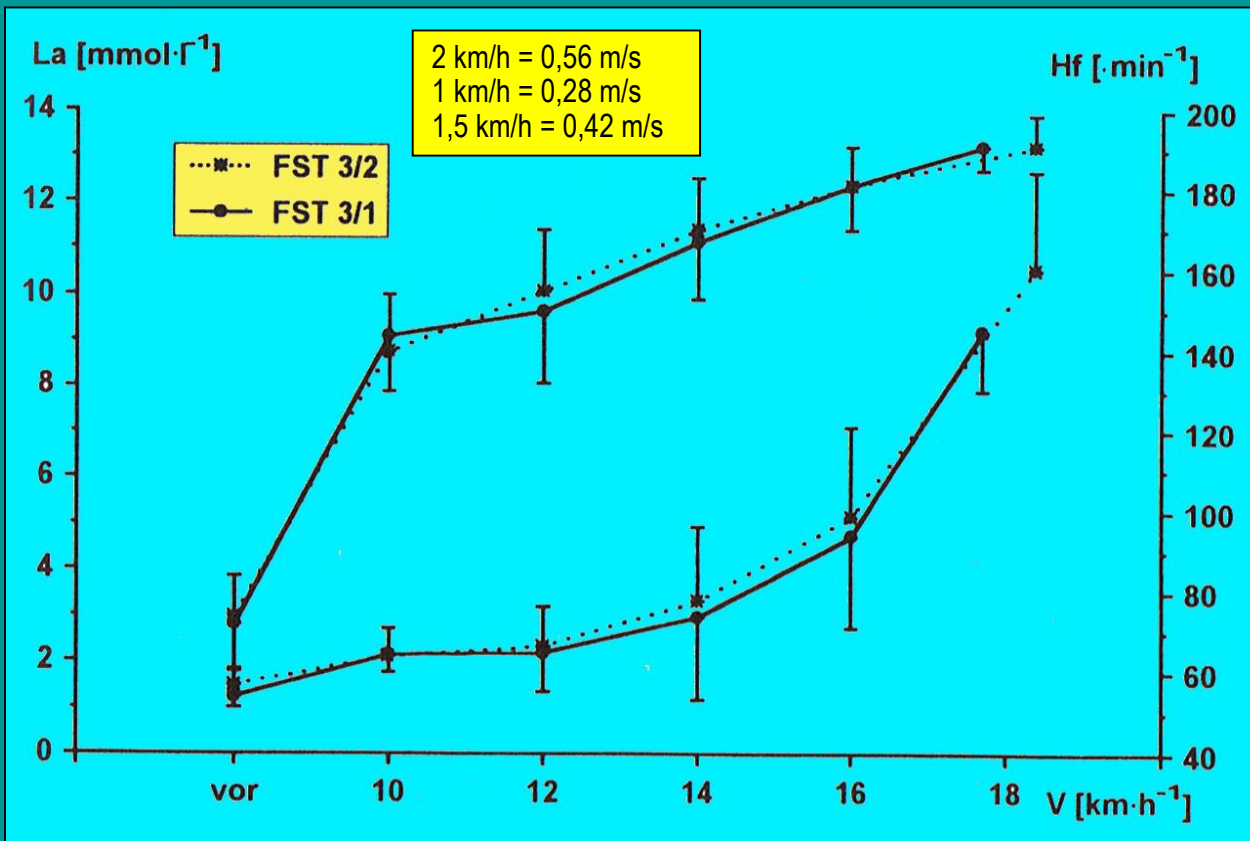
n = 23
Mittel- u. Langstreckenläufer +
Triathleten

Beide Tests bis subjektive
Erschöpfung innerhalb 3-10
Tagen

mod. nach B. Coen, 1997

1. LLK und HFLK zeigen keine signifikanten Unterschiede; LLK von FST5/2 verläuft im höheren Intensitätsbereich steiler
2. Beide HFLK nahezu deckungsgleich
3. An IAS-S keine signifikanten Unterschiede von Geschwindigkeit v , Herzfrequenz HF und Laktat La
4. Keine Veränderung der Herzfrequenz HF; 4mmol/l-Schwelle verringert sich bei längerer Stufendauer hochsignifikant

Laktat- und Herzfrequenz-Leistungskurven von Referenztest FST3/2 und Vergleichstest FST3/1



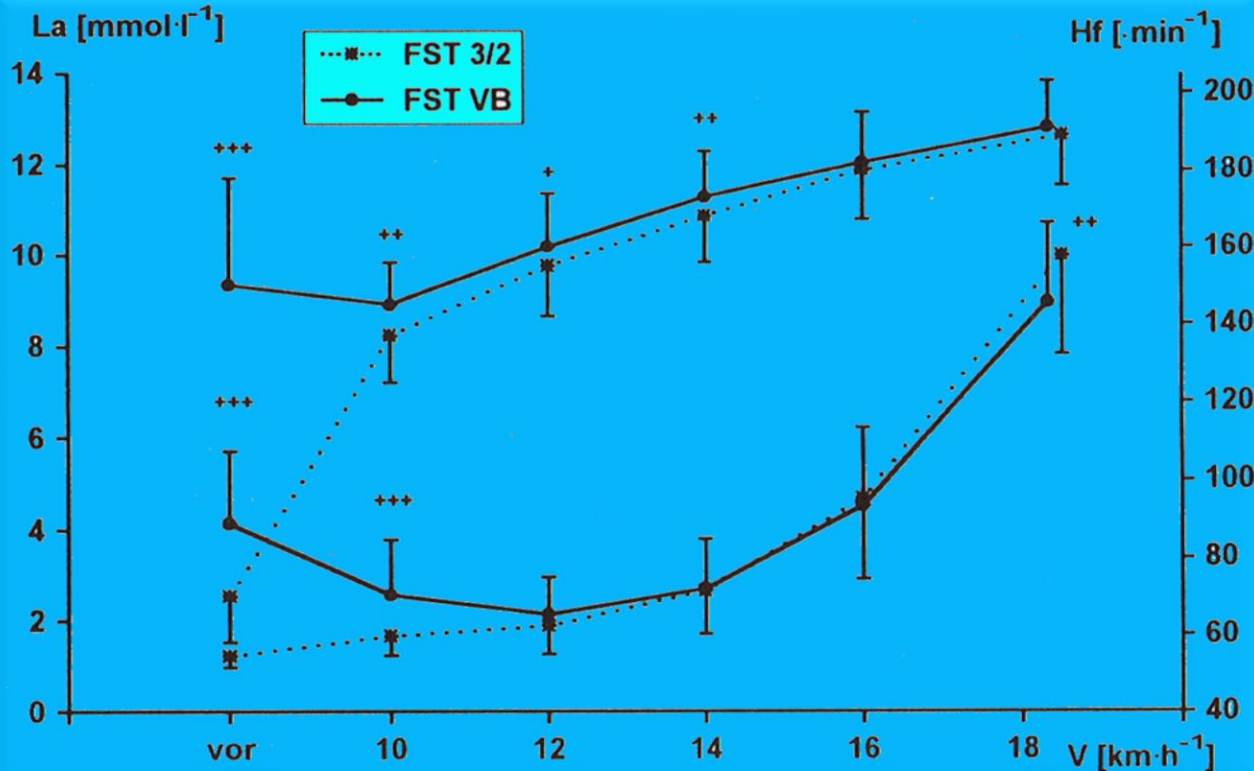
n = 17
Mittel- u. Langstreckenläufer
+ Triathleten

Beide Tests bis subjektive
Erschöpfung innerhalb 3-10 Tagen

mod. nach B. Coen, 1997

1. An IAS-S liegen in FST 3/1 HF und Laktat (hoch-) **signifikant höher**
2. Bei L3 liegen in FST3/1 v(++) und HF(++) **signifikant höher**
3. Bei L4 liegt in FST3/1 v(+) = **4mmol/l-Schwelle** **signifikant höher**
4. Die Maximalwerte liegen in FST3/1 bei fast identischer HF die Werte für v(++) und Laktat(+) **signifikant niedriger**

Laktat- und Herzfrequenz-Leistungskurven von Referenztest FST3/2 und Vergleichstest FST3/2-VB



n = 24

Mittel- u. Langstreckenläufer
+ Triathleten

Beide Tests bis subjektive
Erschöpfung innerhalb 3-10 Tagen

Test-Vorbelastung:

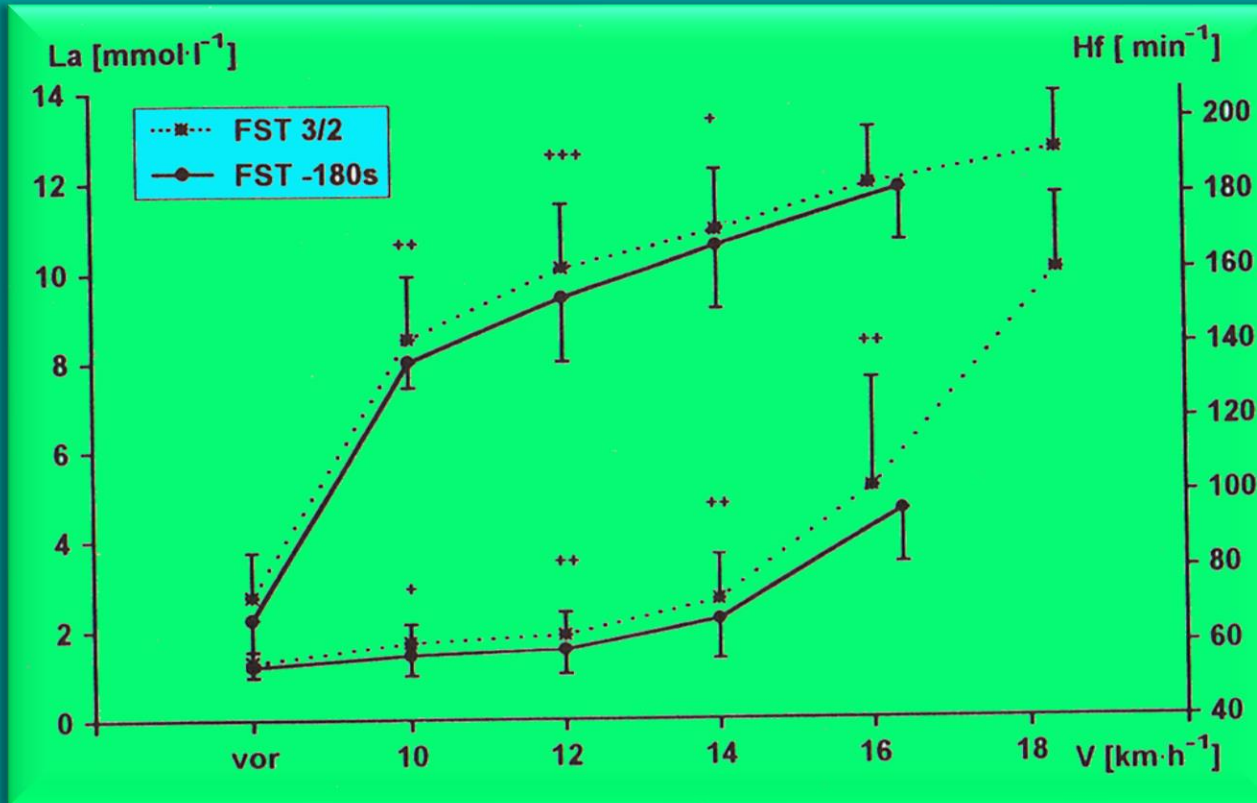
12 Min. Einlaufen,
10 Min. Stretching,
5 moderate + 5 schnelle
Steigerungsläufe über 60m

mod. nach B. Coen, 1997

1. LLK (++) und HFLK (+++) des FST3/2-VB zeigen signifikanten Unterschied (HF liegen höher)
2. Hochsignifikant höhere Laktatwerte zu Beginn gleichen sich im Testverlauf an FST3/2 an
3. An IAS-S liegt bei FST3/2-VB die HF(+++) **hochsignifikant höher**, v und La liegen tendenziell niedriger
4. Bei L3, L4 und L6 liegt die HF bei FST3/2-VB (hoch-) **signifikant höher**; Geschwindigkeiten sind bei L3, L4, L6 nahezu unverändert, d.h. 4mmol/l-Schwelle bleibt unverändert

Hinweis: FST3/2-VB = Test mit Vorbelastung (VB): 12 Min. Einlaufen, 10 Min. Stretching, 5 moderate Steigerungsläufe über 60m

Laktat- und Herzfrequenz-Leistungskurven ($x \pm SD$) von Referenztest FST3/2 und Vergleichstest FST3/2-180s



n = 13
weibliche Langstreckenläufer
+ Triathleten

Beide Tests innerhalb 3-10 Tagen;
FST3/2-180s = FST3/2 um 180sec u.
damit um eine komplette Stufe
verkürzt.

Häufig durchgeführter submaximaler
Stufentest mit max. Laktatkonzentra-
tion unwesentlich über 4 mmol/l.

mod. nach B. Coen, 1997

1. Für LLK (++) und HFLK (+++) Rechtsverschiebung mit signifikantem Effekt bei FST3/2-180s
2. An der IAS-S für v(+), HF(+) und La(++) **signifikante Verringerungen**
3. An L3 und L4 für v nur **tendenzielle**, nicht signifikante Erhöhungen; für HF **unwesentliche Veränderung**
4. Bei FST3/2-180s erhöht sich die 4mmol/l-Schwelle nicht signifikant gering; HF bleibt nahezu gleich
5. Für FST3/2-90s gibt es ähnliche Veränderungen – weniger ausgeprägt – wie bei FST3/2-180s

Vergleich der Laktat-Feldstufentests FST3/2 und FST5x800m/1

FST3/2: St.-Dauer: 3 Min.; St.-Höhe: 2km/h; Beginn: 10-14km/h; Abbruch: subjekt. Erschöpfung

FST5x800m/1: Beginn: 10-14km/h; Stufenstrecke: 800m; St.-Höhe: 1km/h; Abbruch nach 5 Stufen

Ergebnis: **an IAS-S und L4 (4mmol/l Laktat) keine sign. Unterschiede für Geschwindigkeit und Herzfrequenz**

Hinweis: FST5x800m/1 eignet sich gut als submaximalen „Schnelltest“ z.B. im Trainingslager

Vergleich Laufband-Stufentest LBST mit Feld-Stufentest FST5x800m/1

LBST3/0,5: St.-Dauer: 3 Min.; St.-Höhe: 0,5m/s; Beginn: 2,5m/s; LB-Steigung: 1,5%; bis Erschöpfung.

FST5x800m/1: Beginn: 10-14km/h; Stufenstrecke: 800m; St.-Höhe: 1km/h; Abbruch nach 5 Stufen

Ergebnis:

Bei FST5x800m/1 an IAS-S und L4 (4mmol/l Laktat) nur für die Geschwindigkeit hochsignifikante (+++; $p \leq 0,001$) Erhöhungen; HF bleibt nahezu gleich

LB-Steigung von 1,5% simuliert den Luftwiderstand für $v = 17-18 \text{ km/h}$; für niedrigere max. Geschwindigkeiten besser 1% LB-Steigung

B. Coen, 1997

Validitäts-Test der individuell-anaeroben **Stegmann-Schwelle (IAS-S)** – bestimmt mittels Laufband-Stufentest (LBST3/0,5) – als Maß und Bereich des maximalen Blutlaktat-steady-state (maxLass).

Test 1: LBST3/0,5 Beginn: 2,5-3,0m/s, St.-Höhe: 0,5m/s, LB-Steigung: 1,5%, Abbruch: subjektive Erschöpfung

Test 2-5: ➔ 45 min. Dauerlauf (DL) auf Laufband mit 85%, 95%, 100%, 105% IAS-S

➔ 4 Tage Testabstand, alle 15 Min. Laktatbestimmung

➔ Def. „Lass“: Differenz Laktat 15-45 Min. < 1,0 mmol/l

Differenz Laktat 30-45 Min. < 0,5 mmol/l

IAS bei LBST3/0,5: $4,29 \pm 0,43$ m/s; **HF:** 165 ± 8 Schl./min

4mmol/l-Schwelle: $4,71 \pm 0,47$ m/s; **HF:** 175 ± 6 Schl./min. 4mmol/l-Schwelle = 110% IAS-S

Probanden: n=14 Triathleten+Langstreckenläufer

Ergebnis IAS-S-Validitätstest

Laktatkonzentrationen vor, während und nach Dauerläufen mit 85-105% IAS-S Geschwindigkeit

%IAS	Ruhe	15 min	30 min	Ende
85	$1,10 \pm 0,29$	$1,27 \pm 0,32$	$1,32 \pm 0,34$	$1,36 \pm 0,35$
95	$1,04 \pm 0,21$	$2,02 \pm 0,57$	$2,36 \pm 0,66$	$2,42 \pm 0,68$
100	$1,15 \pm 0,31$	$3,05 \pm 0,90$	$3,72 \pm 1,20$	$3,85 \pm 1,05$
105	$1,08 \pm 0,31$	$4,83 \pm 1,62$		$5,55 \pm 1,32$

Bei DL85, DL95 und DL100 im Mittel ➡ Lass für alle

Bei DL85-95 ➡ alle 14 Läufer mit Lass

Bei DL100 bei 2 Läufern ➡ kein Lass

Bei DL105 im Mittel ➡ kein Lass; starker Laktatanstieg über IAS-S

Bei DL105 bei 6 Läufern ➡ Lass; 8 Läufer ➡ oberhalb maxLass

Bei 11 Läufern Laktatkonzentration an IAS-S ➡ unterhalb 3mmol/l

Bei 5 Läufern bei 3mmol/l Laktat ➡ kein Lass

HF steigt bei allen Intensitäten bis 45 Min. thermoregulatorisch hochsignifikant (+++) an

modifiziert nach B. Coen, 1997

Wesentliche Einflussfaktoren und Grad ihrer Einwirkung auf die Bestimmung der (individuellen) anaeroben Schwelle

- Niedrigere Ausbelastung im Stufentest:
IAS-S schwach signifikant verringert; wird geringgradig unterschätzt
4mmol/l-Schwelle keine signifikante Änderung; HF bleibt unverändert
- Vorbelastung durch Aufwärmen mit La-Konzentrationen um 4mmol/l:
IAS-S tendenziell niedriger; HF hochsignifikant höher
4mmol/l-Schwelle unbeeinflusst; HF (hoch)signifikant höher
- Verlängerung Stufendauer von 3 auf 5 Minuten:
IAS-S im Mittel keine signifikante, jedoch tendenzielle Verringerungen möglich
4mmol/l-Schwelle: (hoch)signifikante Verringerung; HF unverändert
Empfehlung: lange Stufendauer $\geq 5\text{Min.}$ und niedrige Stufenhöhe $\leq 0,4\text{m/s} = \leq 1,5\text{km/h}$ gibt sicherste Resultate zur Bestimmung der physiologischen Schwellen; metabolisches Gleichgewicht auf allen Stufen eher möglich; genauere Beurteilung der Parameter Laktat, Herzfrequenz, Leistung)
- Reduktion der Stufenhöhe von 2 km/h = 0,56m/s auf 1 km/h = 0,28m/s:
IAS-S hochsignifikant höher; HF signifikant höher (Bestätigung H. HECK, 1991)
4mmol/l-Schwelle schwach signifikant höher; HF bleibt unverändert (Je kleiner die Stufenhöhe und je kürzer die Stufendauer, desto größer der Schwellenwert = Rechtsverschiebung)

Allgemeine Testempfehlung

- ⇒ lange Stufendauer ($\geq 5\text{Min.}$)
- ⇒ niedrige Stufenhöhe ($\leq 0,4\text{m/s} = \leq 1,5\text{km/h}$)
- ⇒ niedriger Belastungsbeginn bewirkt
- ⇒ sicherste Resultate zur Bestimmung der physiologischen Schwellen
- ⇒ ein möglichst metabolisches Gleichgewicht auf allen Stufen
- ⇒ genauere Beurteilung der Parameter Laktat, Herzfrequenz und Leistung

Laktat-Stufentests unterschiedlicher Stufendauer und. Veränderung der anaeroben Schwelle

Testart Laufb./1% Anst./ 0,5 m/s Stufe	Links (-) /Rechts (+)Verschiebung von vLa4 in m/s	Statistik	Autor
3 Min.	+0,1 bis +0,16	n.s.	H. Heck et al.
5 Min.	± 0		
8 Min.	- 0,16	n.s. $p=0,17$	Vassiliadis et al.
10 Min.	- 0,21	schwach sign. $p=0,04$	Vassiliadis et al.
15 Min.	- 0,34	signifikant $p=0,01$	Vassiliadis et al.
20 Min.	- 0,37	signifikant $p=0,01$	Vassiliadis et al.

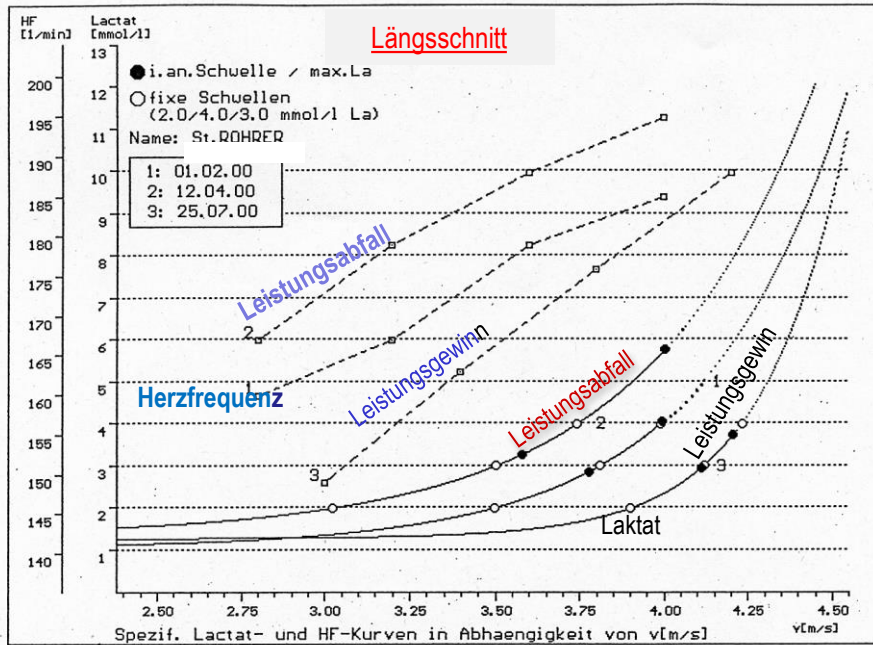
aus H. Heck: Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik, Studienbrief 8, Schorndorf , 1990

Die Halbwertszeit für den Laktateintritt in die Erythrozyten liegt bei ca. 2 Minuten; ein voller Konzentrationsausgleich ist nach ungefähr 10 Minuten gegeben. (O..Faude, T.Meyer: Methodische Aspekte der Laktatbestimmung. Dt. Zschr. f. Sportmedizin, 12 (2008) 305-303)

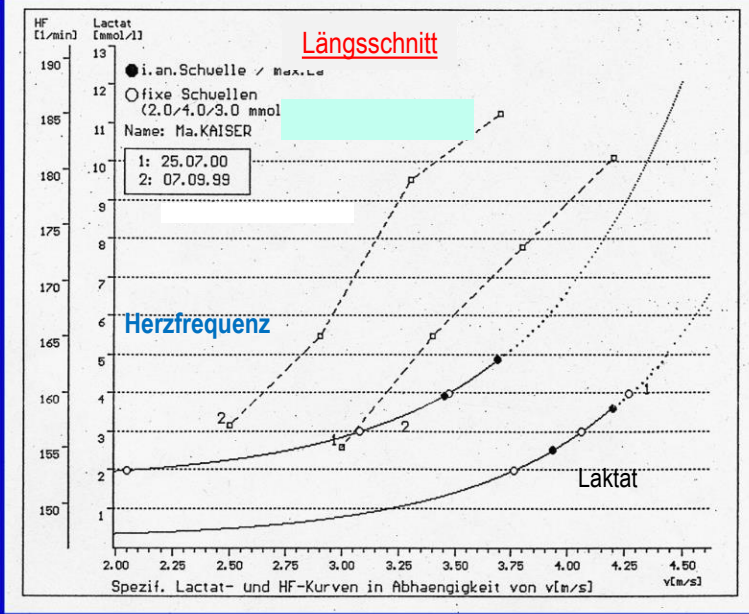
6

Ausgewählte Laktat- und Herzfrequenz-Leistungskurven nach Laktat-Stufentest

Mannschaftsgruppenbildung

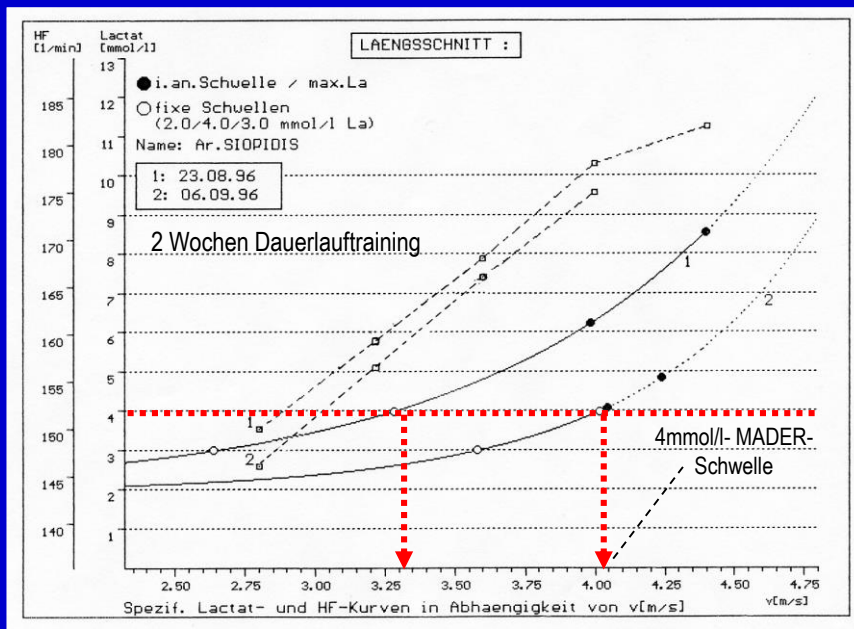


Spieler mit Leistungsabfall (Verletzung) und nachfolgender, deutlicher Verbesserung



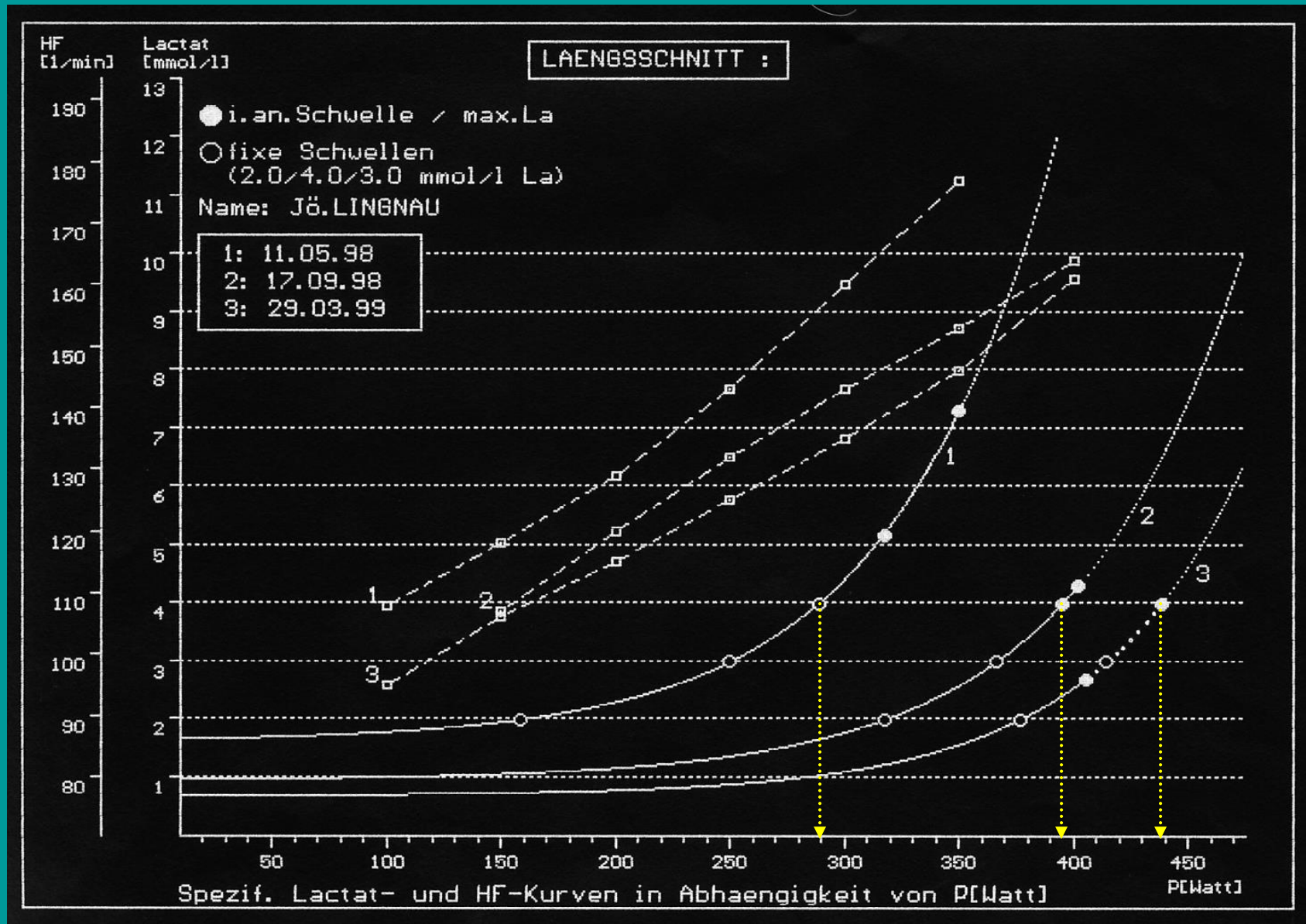
Spieler mit drastischer Ausdauerverbesserung in 11 Monaten

H. Allmann

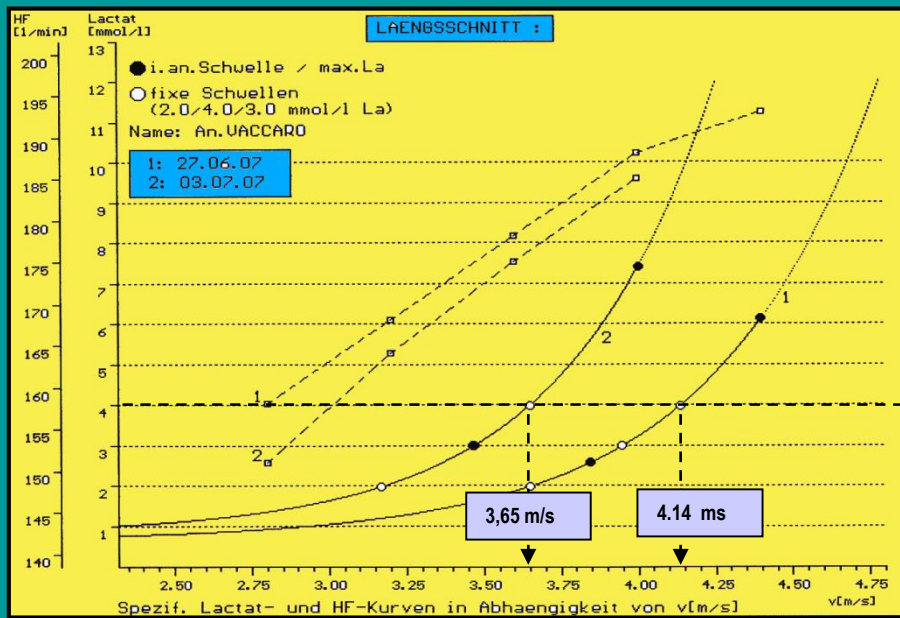
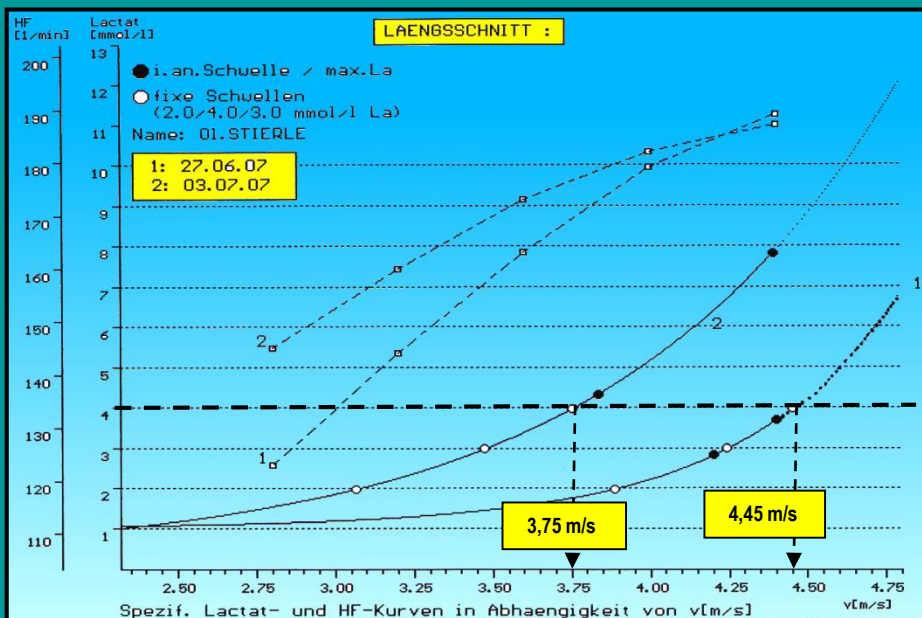
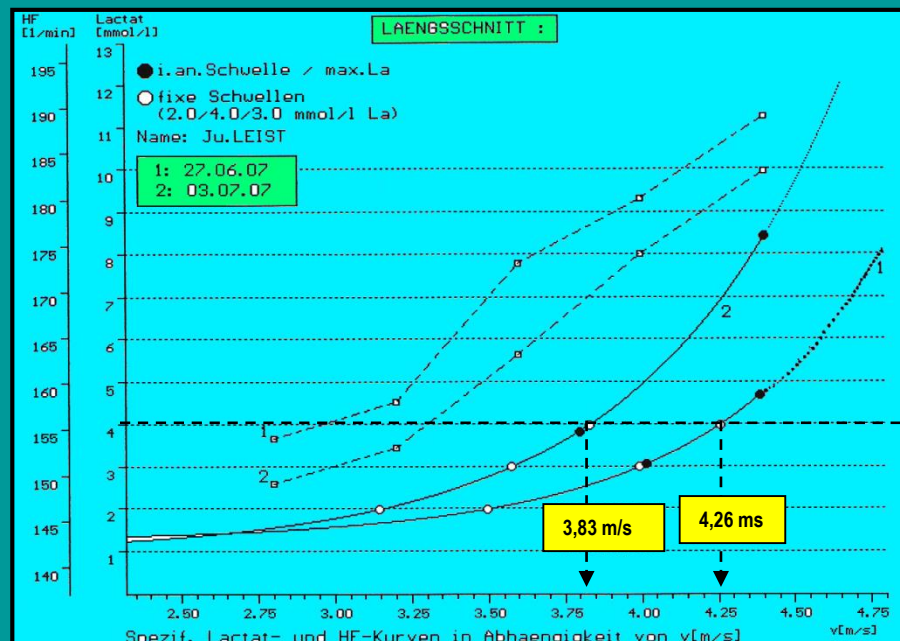
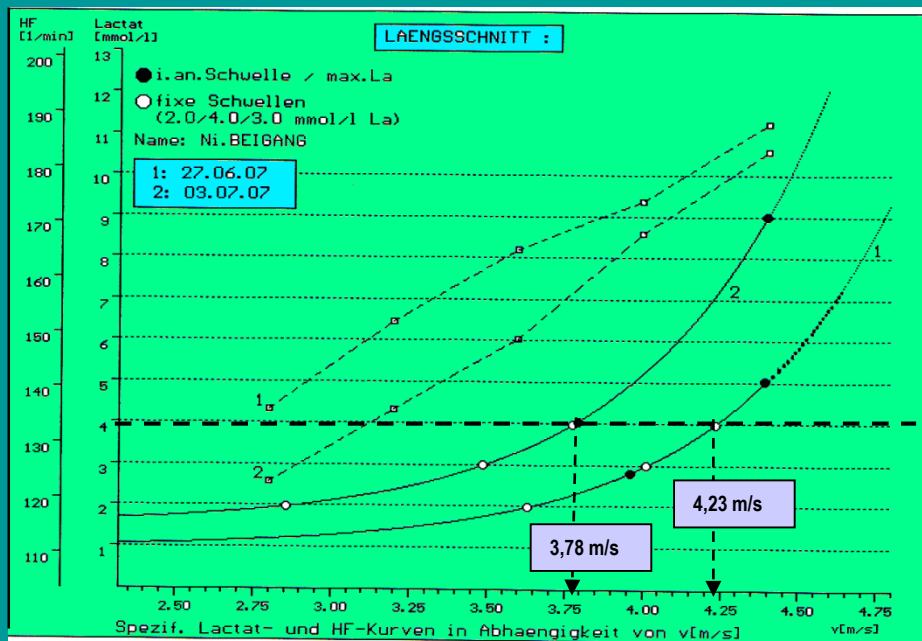


Ausdauerentwicklung eines Profi-Fußballspielers nach 6x60 Min. Dauerlauf

Mountainbiker in der Vorbereitung für die australische Crocodile-Trophy 1999

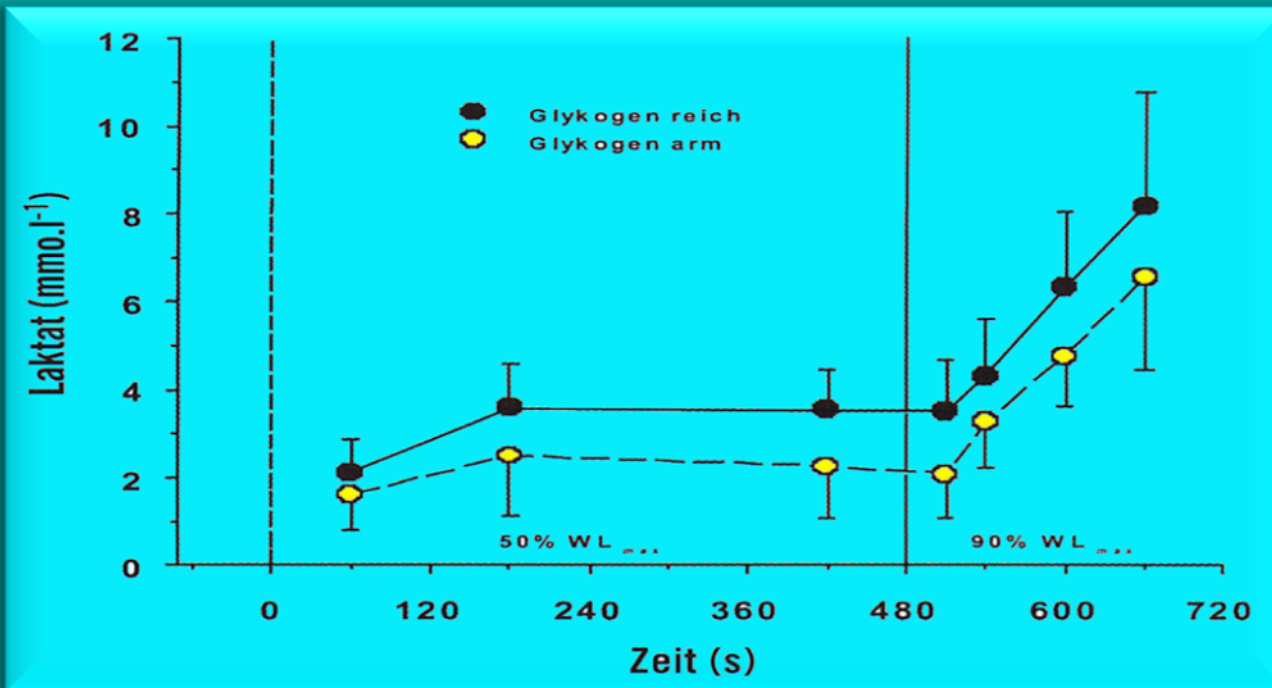


Veränderung der 4mmol/l-Laktat-Schwelle mit und ohne Training vor Laktat-Stufentest. Durch die Vorbelastung am Vortage und Vormittag mit Laktattest am Nachmittag deutliche Rechtsverschiebung der Laktatleistungskurve



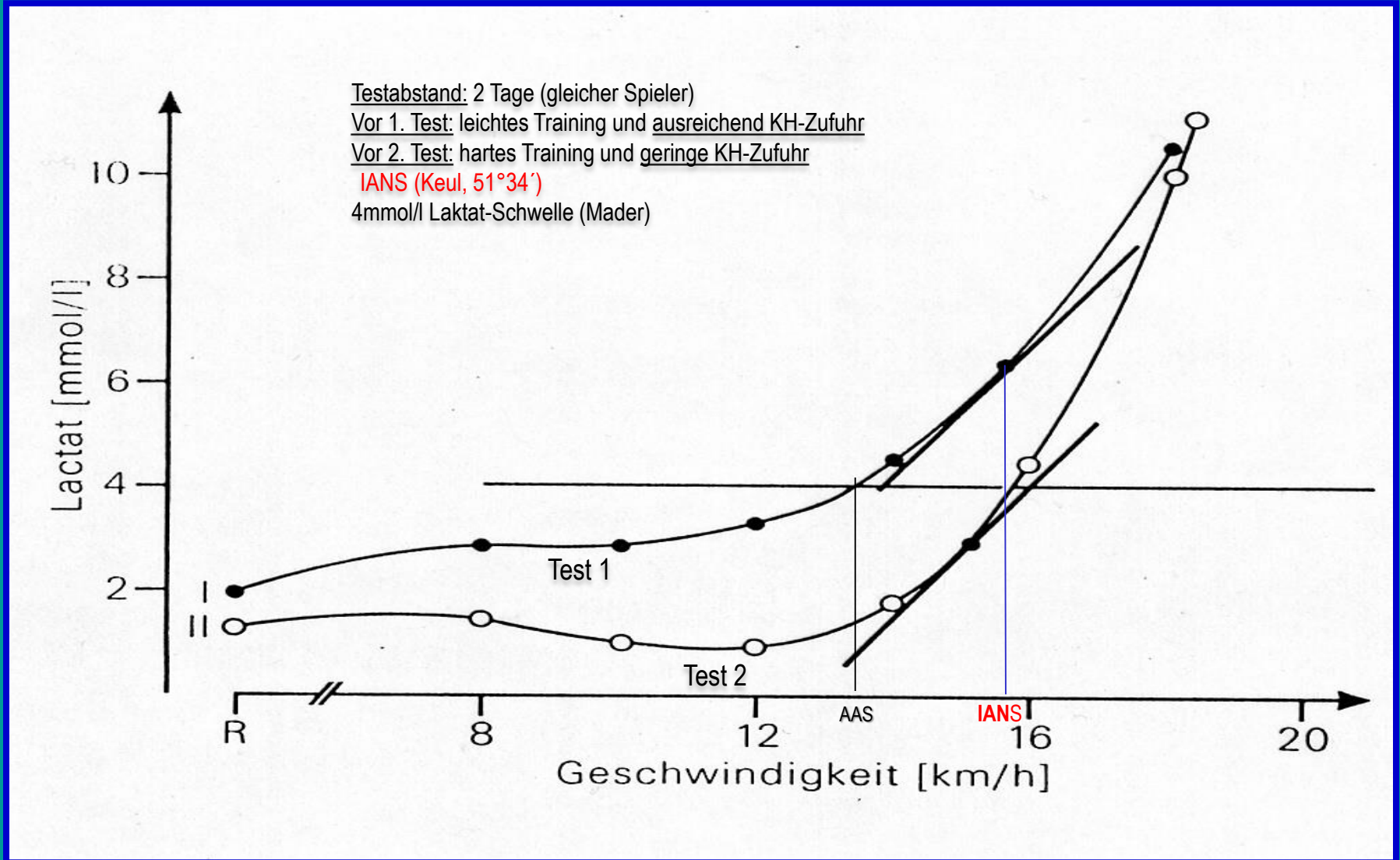
(Individuell) anaerobe Schwelle und muskulärer Glykogenspeicher

Beurteilung von leistungsdagnostischen Laktat-Stufentests erfordert Ernährungs- und Trainingsanamnese
Bei muskulärer **Glykogenverarmung** geringere muskuläre Laktat-Produktion mit rechtsverschobener bzw. nach unten versetzter Laktat-Leistungskurve und eingeschränkter anaerober Leistungsfähigkeit
Verlauf bzw. Steigung der Laktat-Leistungskurve scheint sich nicht zu verändern
Bei fixer 4 mmol/l-Schwelle wird die Ausdauerleistungsfähigkeit **überschätzt!**
Bei Individueller Stegmann-Schwelle (IAS-S) **keine** Beeinflussung der Schwellenleistung und der daraus berechneten Trainingsempfehlungen



Auswirkungen von muskulärer Glykogenbeladung und -verarmung auf die Laktatkonzentration
(Test: Fahrradergometer-Test, n=12 Männer, Mittelwerte und Standardfehler)

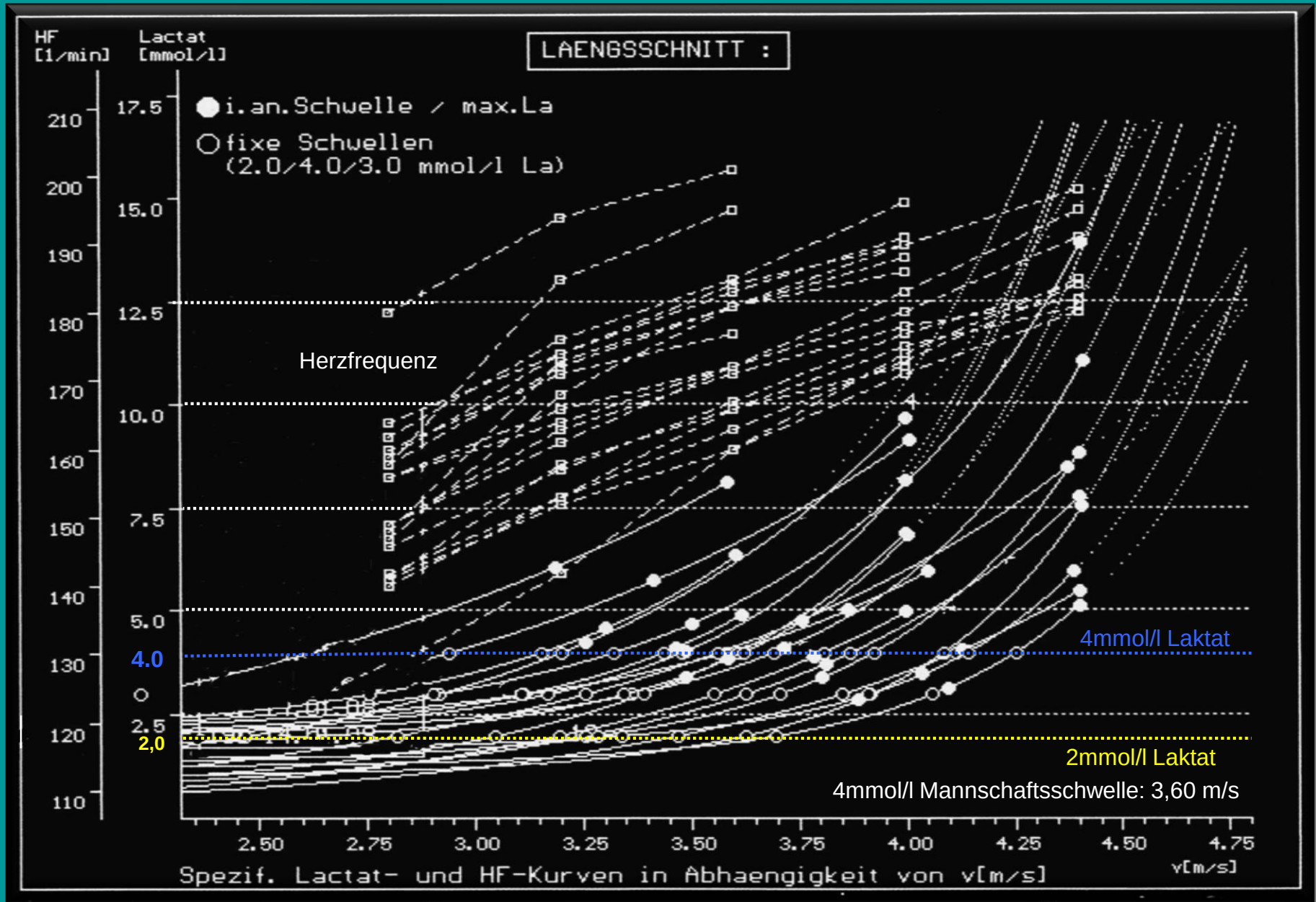
Vergleich individuelle Tangentenschwelle (KEUL, 51°34') und 4mmol/l-Schwelle bei ausreichender und geringer Kohlenhydratzufuhr



H. Allmann

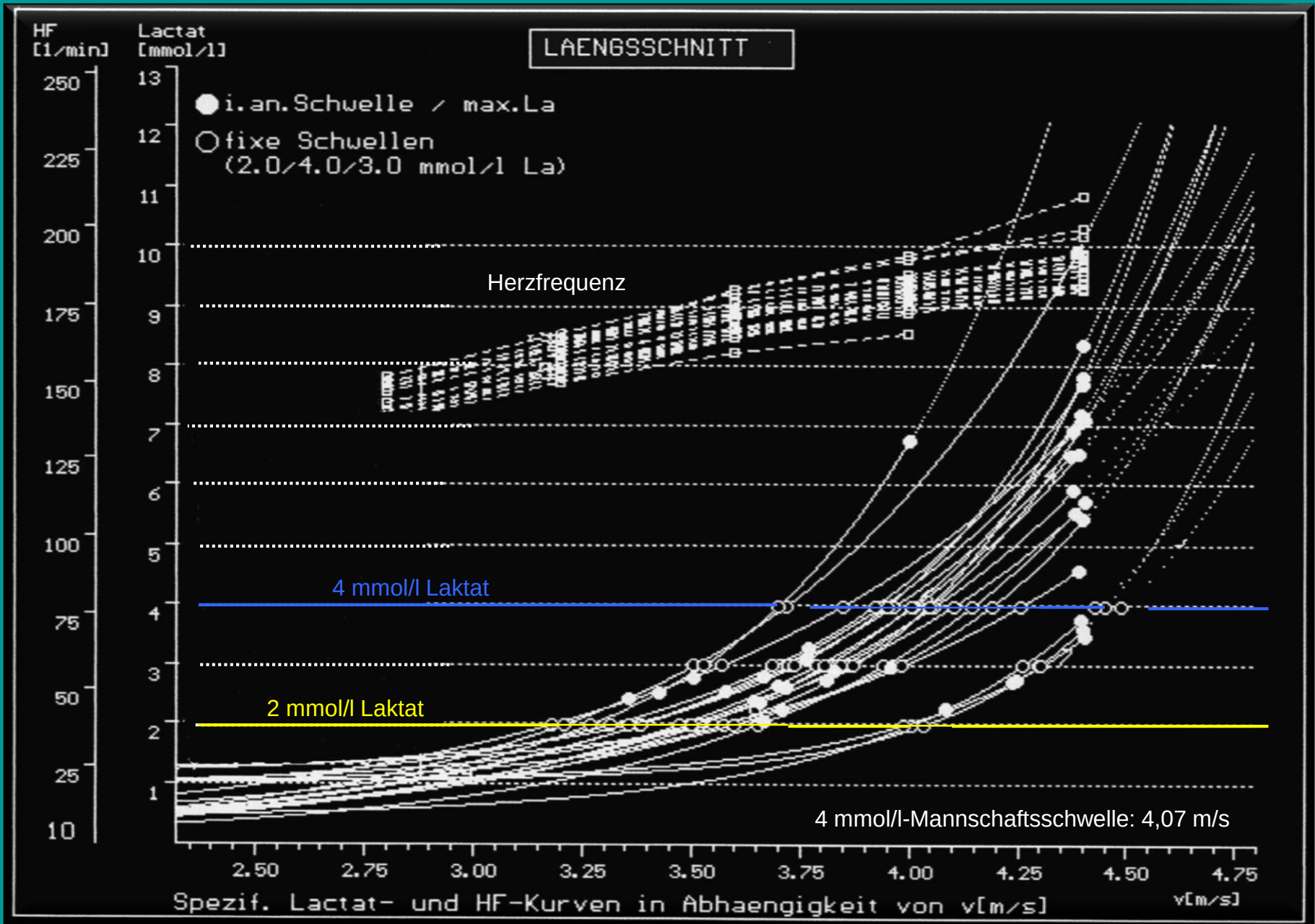
Im Gegensatz zu MADER-4mmol/l-Schwellen (AAS) mit deutlicher Rechtsverschiebung von Test 1 nach Test 2 ist die vergleichende KEUL-Schwelle zwischen ausreichender und geringer Kohlenhydrat-Zufuhr lactatabegesenkt numerisch rückläufig sehr gering.

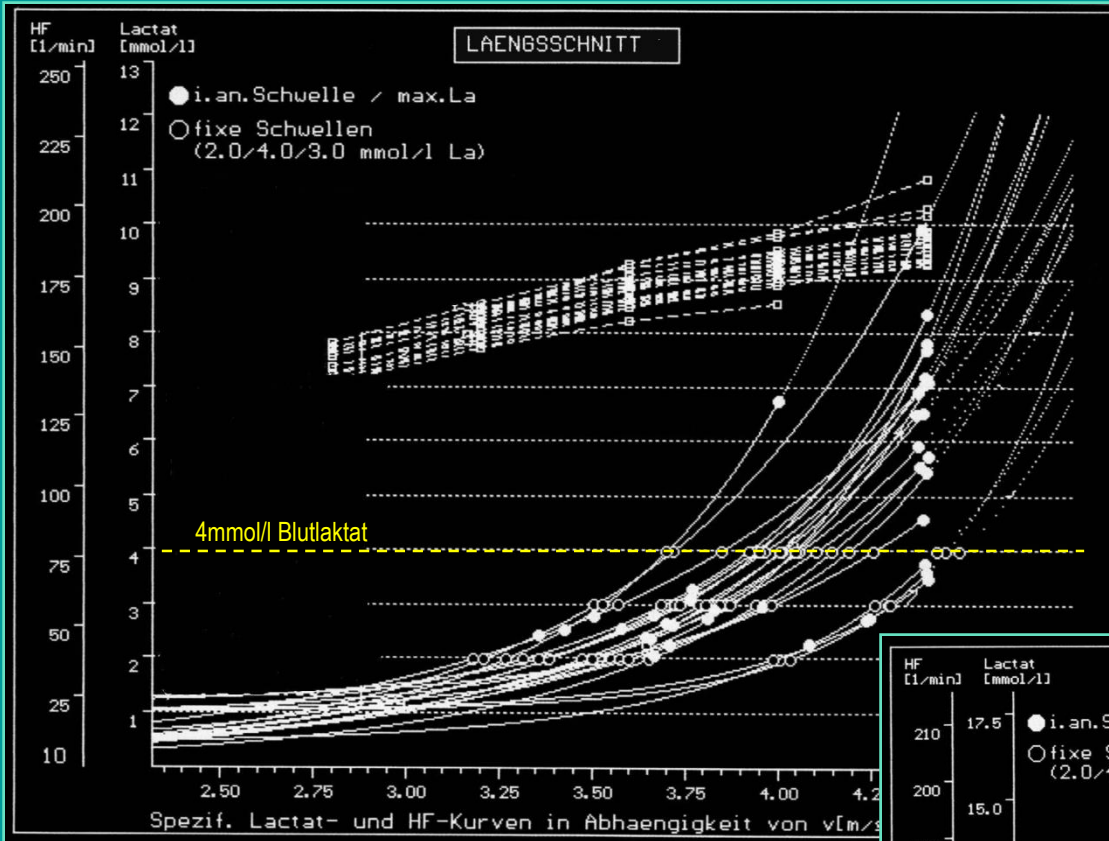
Laktattests mit Fußballmannschaften mit vergleichender Darstellung der Laktat- und Herzfrequenz-Leistungskurven
 Hier **schlechte, heterogene** Mannschaftsleistung einer Regionalligamannschaft (Messzeitpunkt: Beginn VP 2. Hälfte Wintersaison)



Laktattests mit Fußballmannschaften mit vergleichender Darstellung der Laktat- und Herzfrequenz-Leistungskurven

Hier **sehr gute** Mannschaftsleistung einer Regionalligamannschaft (Messzeitpunkt: Beginn VP 2. Hälfte Wintersaison)



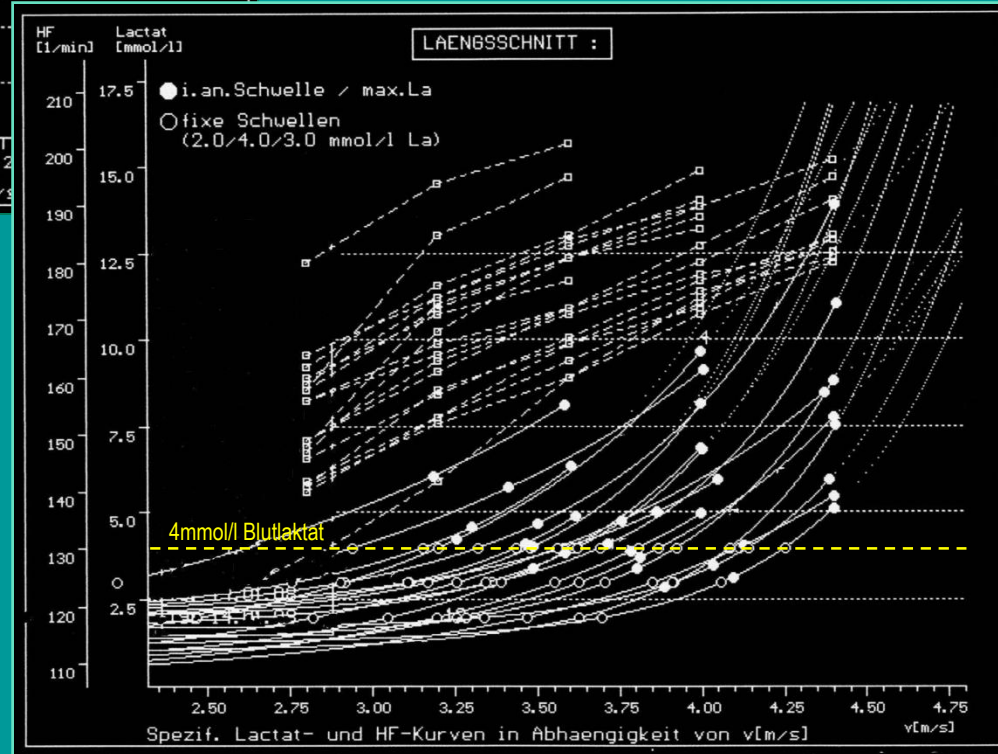


LAKTAT-FELDSTUFENTEST

Querschnitt
Laktat- Herzfrequenz Leistungskurven
von 2 Fußballmannschaften der Regionalliga

Relativ **homogene**, aerobe Mannschafts-
Ausdauerleistung u. Herzfrequenzverhalten

Heterogene, aerobe Mannschafts-Ausdauerleistung und
Herzfrequenzverhalten

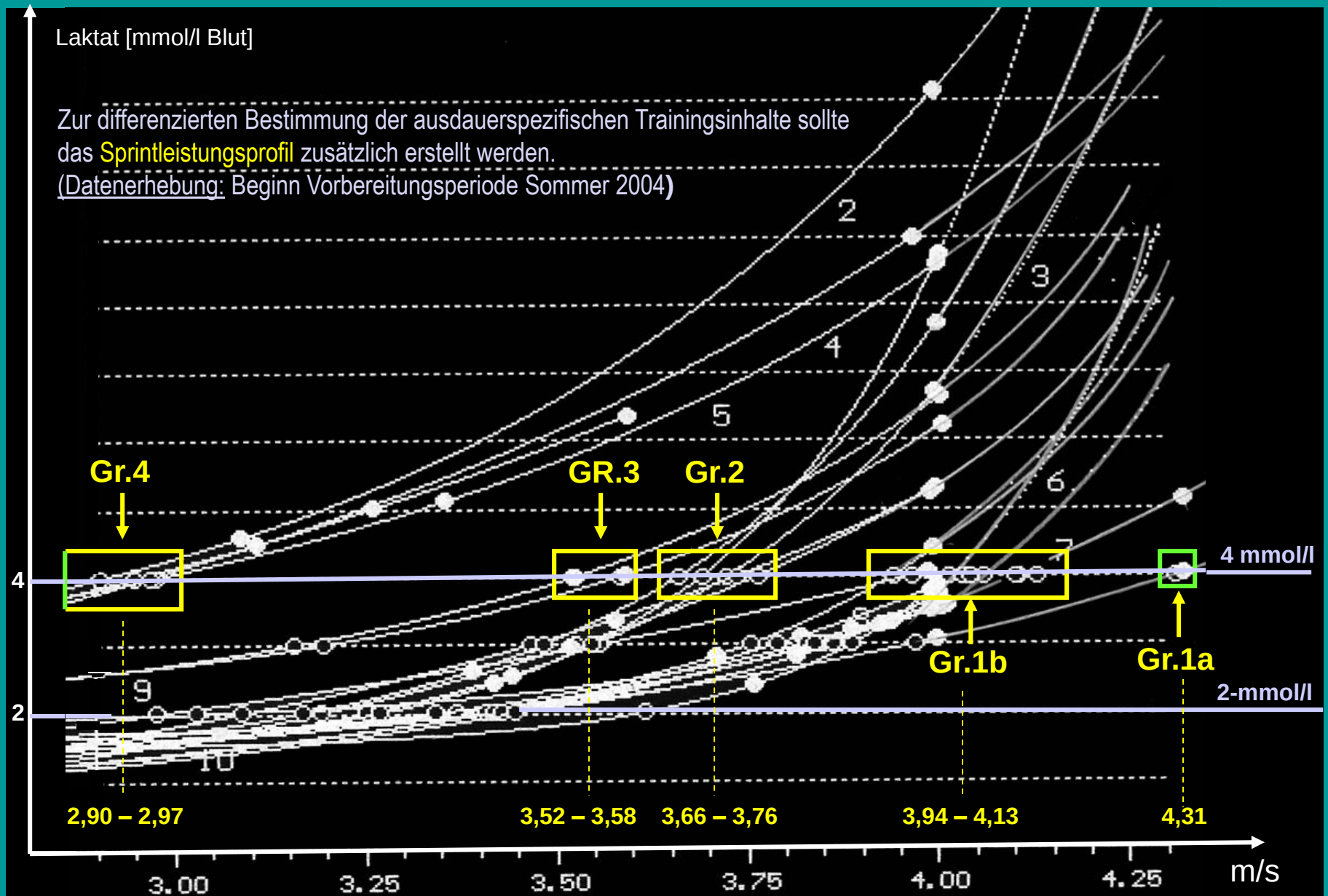


Laktatstufentest mit Laufgruppenbildung an der 4 mmol/l-Schwelle einer Fußball-Regionalligamannschaft

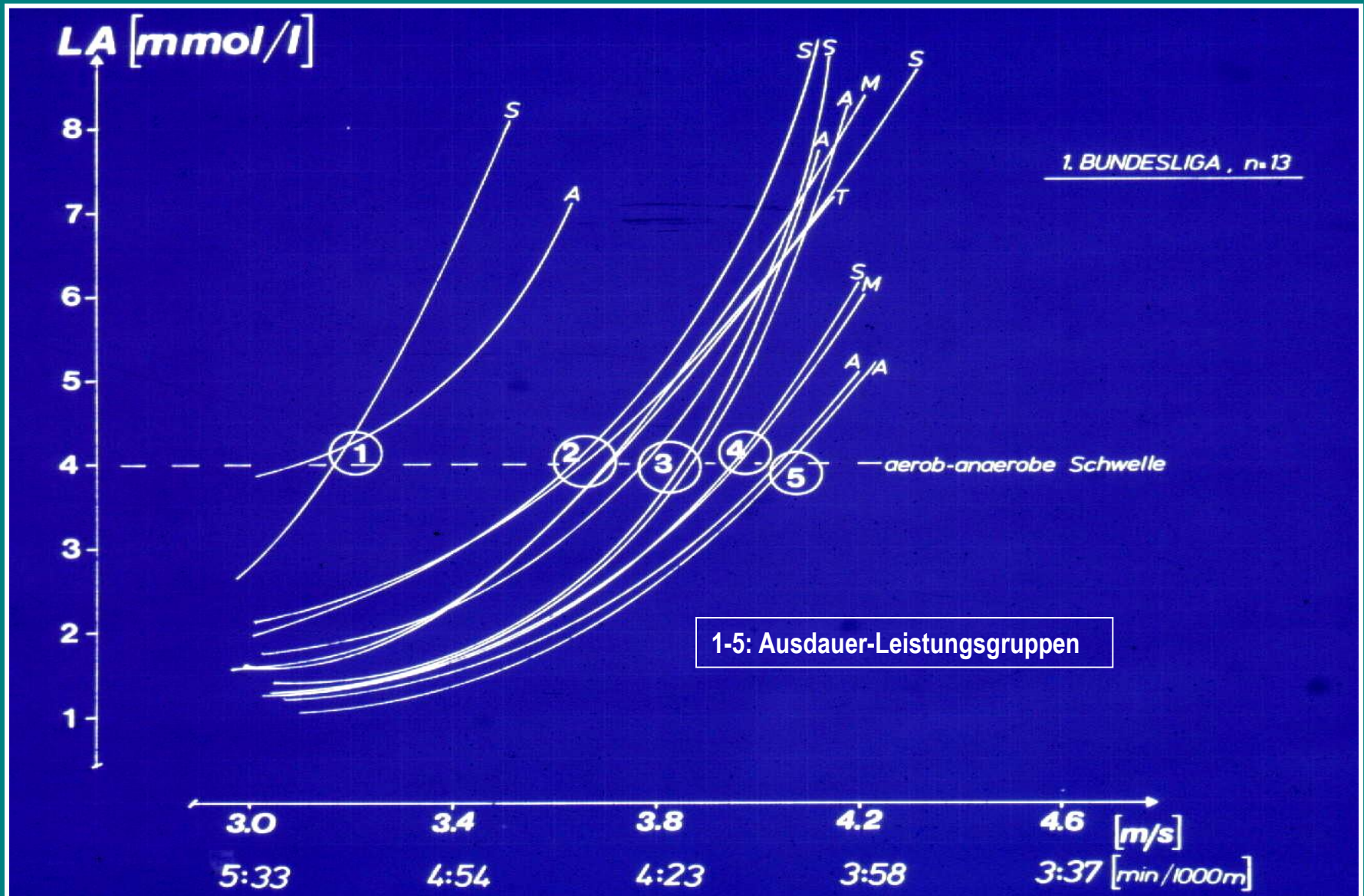
Laktat [mmol/l Blut]

Zur differenzierten Bestimmung der ausdauerspezifischen Trainingsinhalte sollte das **Sprintleistungsprofil** zusätzlich erstellt werden.

(Datenerhebung: Beginn Vorbereitungsperiode Sommer 2004)



Laktat-Leistungs-Kurven einer 1. Bundesligamannschaft Fußball

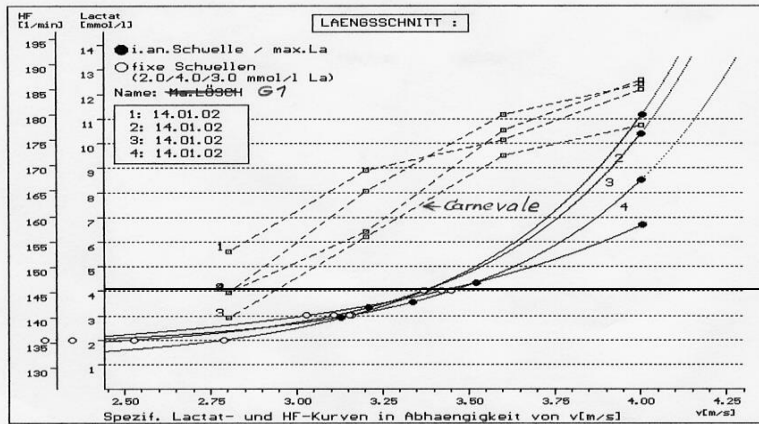


Name	4mmol/l-S.	1000m,extens.	Herzfrequenz	Laktat,mmol/l	Bemerkung
Gruppe 1:					
	4,36	4:46-4:30	144-149	1,45-1,67	
	4,23	4:55-4:38	150-157	1,47-1,78	
	4,17	5:00-4:42	142-150	1,78-2,09	
	4,19	4:58-4:40	146-155	1,81-2,03	
	4,32	4:49-4:30	148-155	1,42-1,78	
	4,12	5:00-4:45	145-151	1,50-1,73	
	4,22	4:56-4:35	149-159	1,77-2,16	
	3,98	5:05-4:50	147-153	1,83-1,90	
	4,07	5:03-4:46	142-147	1,82-2,10	
	4,56	4:40-4:25	147-156	1,30-1,51	zu gering belastet!!
4,36	4:50-4:30	120-125	1,15-1,32	zu gering belastet!!	
4,03	5:05-4:50	130-136	1,75-2,05		
Mittelwerte	4,22	4:56-4:38		1,59-1,84	
80m extens.Intervalle:			11,9-12,2 Sek		
Gruppe 2					
	3,88	5:32-5:03	134-144	2,00-2,37	
	3,86	5:35-5:04	132-146	2,15-2,56	
	3,88	5:25-5:04	133-142	2,16-2,35	
Mittelwete	3,87	5:31-5:04		2,10-2,43	
80m extens. Intervalle:			12,7-12,9 Sek		
Gruppe 3					
	3,58	5:55-5:30	148-153	2,31-2,62	
	3,6	5:58-5:30	129-138	2,30-2,58	
	3,66	5:41-5:21	135-144	2,03-2,25	
	3,68	5:45-5:25	130-137	2,35-2,51	
Mittelwerte	3,63	5:50-5:27		2,25-2,49	
80m extens. Intervalle:			13,5-13,7 Sek		
Gruppe 4; Sondertraining ?					
	3,3	6:30-6:00	keine Berechn.	2,40-2,80	
	3,47	6:15-6:00	keine Berechn.	2,38-2,52	
Mittelwerte	3,39	6:23-6:00		2,39-2,70	
80m extens. Intervalle:			14,4-14,6 Sek		
<u>Bemerkung / Beurteilung:</u> Gruppe 1 besitzt eine gute bis sehr gute aerobe Ausdauer.Diese Spieler sollten bei nächsten Tests mindestens 1 Stufe höher belastet werden! Vermutlich reduzieren sich dann einige numerisch sehr hohe Schwellenwerte (siehe "Bemerkung",oben).Für diese Gruppe bietet sich aerob nur regenerative TE und extensive Intervalle an.					
Gruppe 2 und 3 sollten eine längere extens.Dauerlaufeinheit (Gr.2:30-40 Min; Gr.3: 40-60 Min), wenn nötig als "Hausaufgabe" und ebenfalls extensive Intervalle durchführen.Nach dem längeren Lauf 2x 3-5 leichte Sprintläufe (spielerisch).					

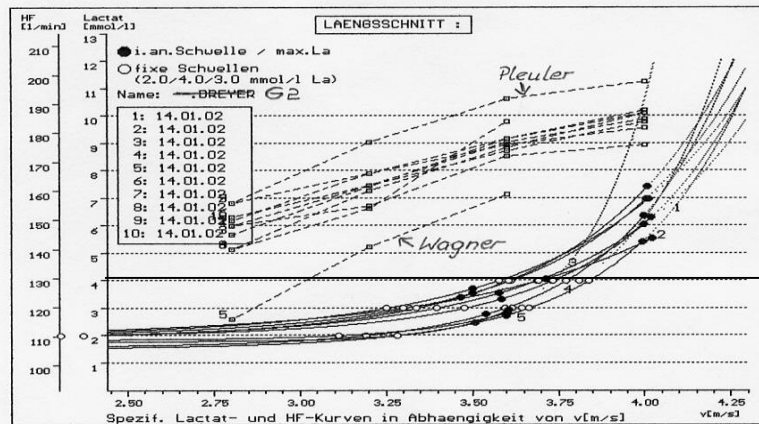
Ausdauer- Trainingsgruppen einer Regionalliga-Mannschaft nach Laktatstufentest

LAKTATSTUFENTEST, 31.01.2001, .STUTT. KICKERS, B1-JUGEND, GRUPPENEINTEILUNG					
Name	Schwelle	Extens.TB,1000m	Herzfrequenz	Intens.TB, 1000m	Herzfrequenz
Gruppe 1:					
	4,13	5:00 - 4:45 Min	175 - 182	4:45 - 4:29 Min	182 - 187
	4,08	5:05 - 4:47 Min	160 - 165	4:47 - 4:30 Min	165 - 170
	3,96	5:20 - 5:00 Min	176 - 180	5:00 - 4:45 Min	180 - 185
	4,3	4:51 - 4:34 Min	173 - 179	4:34 - 4:18 Min	179 - 183
	3,97	5:15 - 4:56 Min	155 - 160	4:56 - 4:40 Min	160 - 165
	4,15	5:00 - 4:43 Min	159 - 166	4:43 - 4:28 Min	166 - 172
	3,99	5:13 - 4:55Min	153 - 160	4:55 - 4:35 Min	160 - 168
Mittelwerte:	4,08	5:06 - 4:49 Min		4:49 - 4:32 Min	
	Laktat:	1,62 - 1,90 mmol/l		1,90- -2,35 mmol/l	
	80m extensive Intervalle: 12,1 - 12,3 sec				
Gruppe 2:					
	3,75	6:00 - 5:30 Min	165 - 172	5:30 - 5:10 Min	172 - 179
	3,74	5:34 - 5:15 Min	154 - 158	5:15 - 4:57 Min	158 - 162
	3,86	5:24 - 5:00 Min	150 - 157	5:00 - 4:48 Min	157 - 162
	3,61	5:55 - 5:30 Min	153 - 160	5:30 - 5:10 Min	160 - 165
	3,84	5:25 - 5:05 Min	156 - 161	5:05 - 4:49 Min	161 - 166
	3,53	5:55 - 5:34 Min	155 - 158	5:34 - 5:15 Min	158 - 162
	3,54	6:00 - 5:45 Min	165 - 172	5:45 - 5:20 Min	172 - 176
	3,6	5:47 - 5:27 Min	158 - 163	5:27 - 5:08 Min	163 - 168
Mittelwerte:	3,68	5:45 - 5:23 Min		5:23 - 5:05 Min	
	Laktat:	1,84 - 2,13 mmol/l		2,13 - 2,50 mmol/l	
	80m extensive Intervalle: 13,2 - 13,4 sec				
Gruppe 3:	Sondertraining empfohlen!				
	3,44	6:20 - 6:00 Min	150 - 155	6:00 - 5:40 Min	155 - 162
	Laktat:	bis 2,38 mmol/l		2,38 - 2,60 mmol/l	

Ausdauerläufe
Gruppenbildung
einer B1-Jugend nach
Laktatstufentest

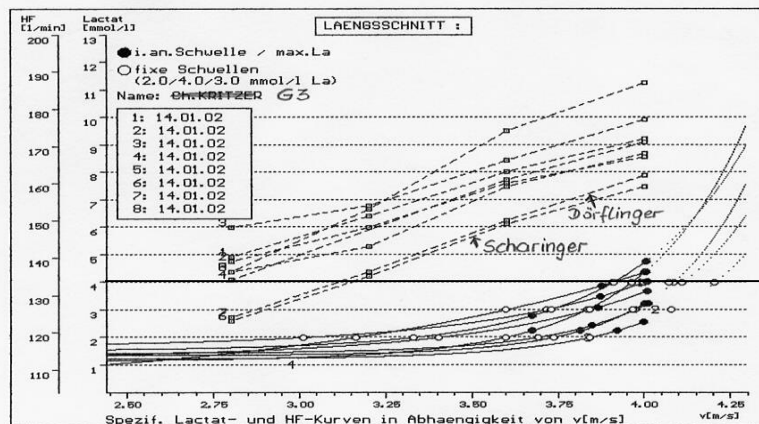


GRUPPE 1



GRUPPE 2

Ausdauer-Leistungsgruppen
einer Profi-Fußballmannschaft



GRUPPE 3

Für **Mannschaftssportarten** wird ein Ausdauertraining in möglichst homogenen Leistungsgruppen empfohlen, um Über- und Unterbelastungen zu vermeiden.

Der vorliegende Laktatstufentest:

U-Datum/Sportart/Verein: 29.06.1998; Fußball; Stuttgarter Kickers, 2. BL
ergibt folgende Leistungsgruppen und methodenorientierte Belastungsintensitäten:

Leistungsgruppe: 1

Die durchschnittliche aerob - anaerobe Schwelle von 4,04 m/s weist zum Untersuchungszeitpunkt eine gute Ausdauerleistungsfähigkeit aus.

Belastungsintensität der verschiedenen Ausdauertrainingsformen (s. Rückseite):

1. Regenerativer Dauerlauf: 2,8 - 3,2 m/s ; 1000m-Zeit: 5:50 - 5:15 Min.

2. Extensiver Dauerlauf: 3,2 - 3,4 m/s ; 1000m-Zeit: 5:15 - 4:55 Min.

3. Intensiver Dauerlauf: 3,4 - 3,7 m/s ; 1000m-Zeit: 4:55 - 4:30 Min.

4. Tempodauerlauf: 3,8 - 3,9 m/s ; 1000m-Zeit: 4:23 - 4:15 Min.

5. Extensive Whlg.-Läufe: 1000m ; t 1000: 3:51 - 3:55 Min
2000m ; t 1000: 4:05 - 4:09 Min
3000m ; t 1000: 4:13 - 4:17 Min

6. Extensive Intervalle: 300m : 48 - 50 sec 200m : 30 - 32 sec
100m : 15,1 - 15,3 sec 80m : 11,9 - 12,1 sec

7. Intervalldauerlauf: 300m : 62 - 64 sec 200m : 38 - 40 sec
100m : 19 - 20 sec 80m : 15 - 16 sec

8. Fahrtspiel: _____

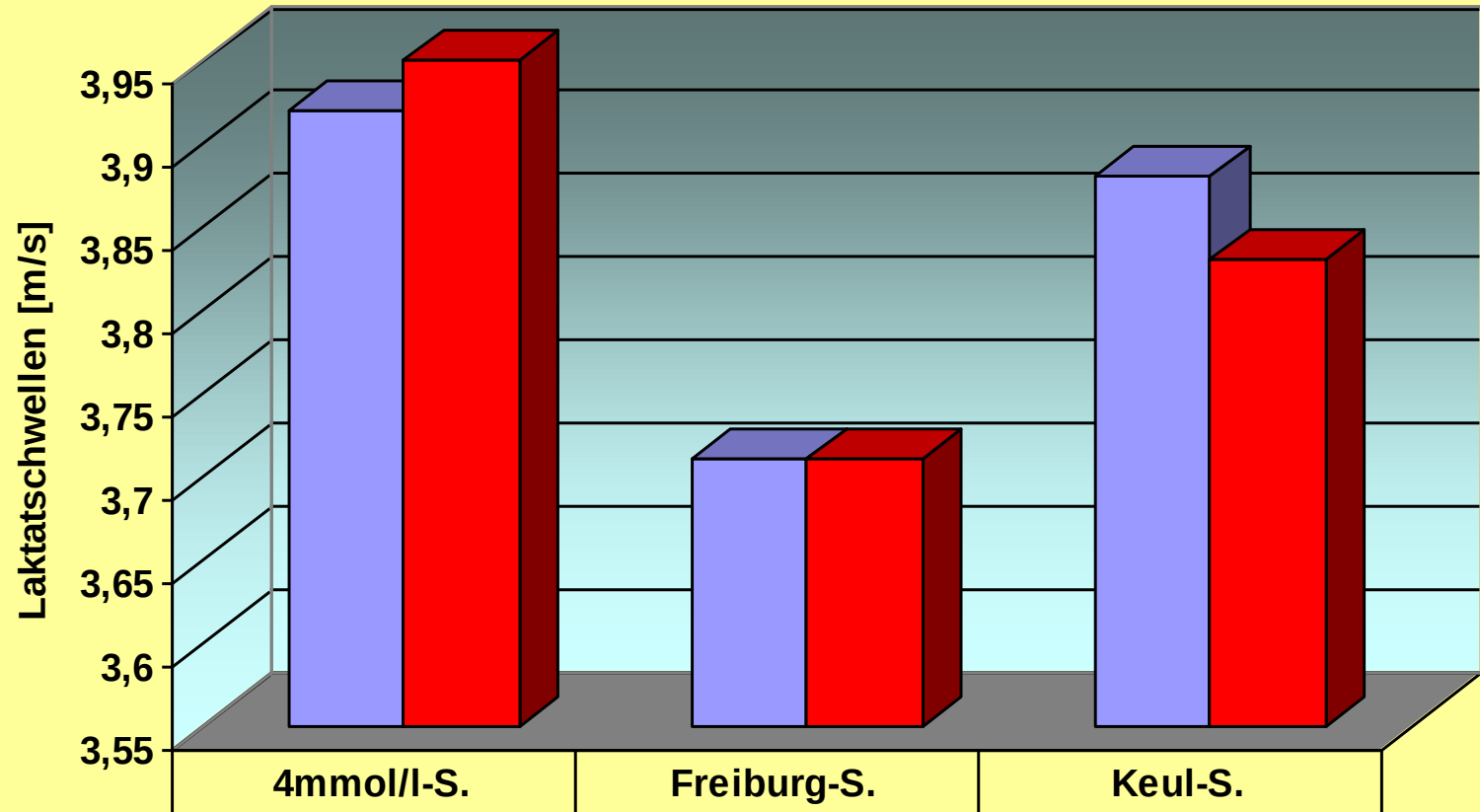
Bemerkungen / Hinweise / besondere Trainingsempfehlungen:

Dieser Leistungsgruppe werden Schwerpunktmäßig → Extensive Intervalle mit großem Anteil an 80m- u. 100m-Läufen empfohlen.

Laktatschwellenänderung einer Regionalliga-Mannschaft in der Vorbereitungsperiode mit überwiegenden Spielformen (!)



Verleich Laktat-Testdaten und Laktat-Schwellen



03.07.2007	3,92	3,71	3,88
21./28.08.2007	3,95	3,71	3,83

FAZIT: Überwiegend Spielformen über 6-7 Wochen in der Vorbereitungsperiode einer Regionalmannschaft verbesserte die aerob-anaeroben Schwellen je nach Schwellenmodell unterschiedlich positiv bis „negativ“



Intervall-Lauf-Intensitäten (nach Stegmann-/Kindermann – und Maderschwelle)

Weitere Ausführungen zu Lauftrainingsmethoden in den Dateien:

„*Ausdauertraining für Fußballspieler*“

„*HIIT-Hochintensives Intervalltraining*“

Fußball-Intervallprogramme und Laktat

Intervall-Läufe

extensiv / intensiv

regelmäßig

Wiederhlg.-Läufe

regelmäßig

Fahrtspiel

ausdauer-/
schnelligkeits-orientiert

Intervallart

unregelmäßig

Intervall-Spielformen

regelmäßig

Intervall Parcours

regelmäßig

definierbar / steuerbar / kontrollierbar über
% (indiv.) anaerobe Schwelle u. abgeleitete
Laufgeschwindigkeit, Laufzeit und Laktat

definierbar über Laktatbereiche
und zugeordnete Herzfrequenz
(z.T. schwer kontrollierbar)

Grundlage der Laktatbestimmung ist der Laktat-Mehrstufentest

Extensive / Intensive Wiederholungsläufe

Tempoläufe mit **fußballgeeigneten Laufstrecken 100m – 300m** im Grundlagenausdauer 2 - Bereich (GA2) oberhalb des Tempodauerlaufs liegend als Intervall-Läufe unter (leicht) anaerober Energiebereitstellung ($\geq 4\text{mmol/l}$ Laktat).

Wiederholungsläufe über 100m und 200m

Berechnung der Laufzeit $t[\text{sec}]$ für Laufweg $s[\text{m}]$ bei Vorgabe der aerob-anaeroben Schwelle $v_4/\text{IANS} [\text{m/s}]$ und $\% v_4/\text{IANS}$

$$t[\text{sec}] \text{ Laufweg} = \frac{\text{Laufweg}}{(\text{IANS}/v_4 [\text{m/s}] \cdot x\%) \div 100}$$

Hinweis: $v_4 = v_{La4}$

Beispiel Fußball 1	2-3x (8x100m)		2x (7x200m)	
$v_4 \text{ m/s}$ / $\% v_4$	162 $\%v_4$		160 $\%v_4$	
3,5 m/s	17,6 sec	20,3 km/h	35,7 sec	20,0 km/h
3,6 m/s	17,1 sec	20,9 km/h	34,7 sec	20,6 km/h
3,7 m/s	16,7 sec	21,4 km/h	33,8 sec	21,1 km/h
3,8 m/s	16,2 sec	22,0 km/h	32,9 sec	21,7 km/h
3,9 m/s	15,8 sec	22,6 km/h	32,1 sec	22,3 km/h
4,0 m/s	15,3 sec	23,3 km/h	31,3 sec	22,8 km/h
4,1 m/s	14,9 sec	24,0 km/h	30,5 sec	23,4 km/h
4,2 m/s	14,4 sec	24,8 km/h	29,8 sec	24,0 km/h

Berechnung der Laufweg-Geschwindigkeit

$v[\text{km/h}]$

$$V [\text{km/h}] \text{ Laufweg} = \frac{\text{Laufweg} [\text{m}]}{\text{Laufzeit} [\text{sec}]} \div 0,28$$

Def: $0,28 \text{ m/s} = 1 \text{ km/h}$

Mittels solcher v_4 - bzw. IANS-Tabellen der Spieler einer Fußballmannschaft lassen sich laktatschwellenbezogene Leistungsgruppen mit entsprechenden $\%v_4 / \text{IANS}$ -Werten zusammenstellen (je höher $\% v_4$ -Wert, desto kürzer die Laufzeit für eine bestimmte Laufstrecke).

Wiederholungsläufe über 300m

Berechnung der Laufzeit t[sec] für Laufweg s[m] bei Vorgabe der aerob-anaeroben Schwelle v4 / IANS [m/s] und % v4 / IANS

$$t[\text{sec}] \text{ Laufweg} = \frac{\text{Laufweg}}{(\text{IANS}/v4 [\text{m/s}] \cdot x\%) \div 100}$$

Hinweis: $v4 = vLa4$

Beispiel Fußball 2		2x (5x300m)	
V4 m/s \ % v4	% v4	150 %v4	155 %v4
3,5 m/s		57,1 sec 18,8 km/h	55,3 sec 19,4 km/h
3,6 m/s		55,6 sec 19,3 km/h	53,8 sec 19,9 km/h
3,8m/s		52,6 sec 20,4 km/h	50,9 sec 21,0 km/h
3,9 m/s		51,3 sec 20,9 km/h	49,6 sec 21,6 km/h
4,0 m/s		50,0 sec 21,4 km/h	48,4 sec 22,1 km/h
4,2 m/s		47,6 sec 22,5 km/h	46,1 sec 23,2 km/h

Berechnung der Laufweg-Geschwindigkeit
v[km/h]

$$V [\text{km/h}] \text{ Laufweg} = \frac{\text{Laufweg [m]}}{\text{Laufzeit [sec]}} \div 0,28$$

Def: 0,28 m/s = 1 km/h

Mittels solcher v4- bzw. IANS-Tabellen der Spieler einer Fußballmannschaft lassen sich laktatschwellenbezogene Leistungsgruppen mit entsprechenden %v4 / IANS-Werten zusammenstellen (je höher der %-Wert von v4, desto kürzer die Laufzeit und höher die Laugeschwindigkeit für eine bestimmte Laufstrecke).

Extensive Wiederholungsläufe

Extensive Wiederholungsläufe

Beispiele

10 x 400m

8 x 600m

5 x 1000m

3 x 2000m

2 x 3000m

Formel 1: Berechnung der Laufzeit des Laufwegs

$$t[\text{sec}] \text{ Laufweg} = \frac{\text{Laufweg}}{(\text{IANS} / v_{\text{La4}}[\text{m/s}] \cdot x\%) \div 100}$$

Formel 2: Berechnung der Laufgeschwindigkeit über Laufweg

$$v[\text{km/h}] \text{ Laufweg} = \frac{\text{Laufweg} [\text{m}]}{\text{Laufzeit} [\text{sec}]} \div 0,28$$

Mittels der Formeln 1 und 2 können die Laufzeiten $t[\text{sec}]$ und Laufgeschwindigkeiten $v[\text{km/h}]$ über die einzelnen Laufwege berechnet werden.

8 x 600m (200m Trabpause)

Laktaterwartung: 2-4 mmol/l

V600m: 105-110% IANS
ca. 95-100% vLa4

Laktaterwartung: 4-6 mmol/l

V600m: 110-115% IANS
ca. 100-105% vLa4

4 x 2000m (2 Min. Gehpause)

Laktaterwartung: 2-4 mmol/l

V2000m: 100-104% IANS
ca. 90-95% vLa4

Laktaterwartung: 4-6 mmol/l

V2000m: 104-108% IANS
ca. 97-100% vLa4

Laktaterwartung: 6-8 mmol/l

V2000m: 108-112% IANS
ca. 104-108% vLa4

5 x 1000m (200m Trabpause)

Laktaterwartung: 2-4 mmol/l

V1000m: 100-105% IANS)
ca. 90-95% vLa4

Laktaterwartung: 4-6 mmol/l

V1000m: 105-110% IANS
ca. 95-100% vLa4

Laktaterwartung: 6-8 mmol/l

V1000m: 110-116% IANS
ca. 100-106% vLa4

Formel für die Laufweg-Zeiten t[s]:

$$t[s] \text{ Weg} = \frac{\text{Laufweg}}{(\text{IANS}/v_4 [\text{m/s}] \cdot x\%) \div 100}$$

Intervall(IV)-Laufprogramme in Ableitung nach Saarbrücker Laufband(LB)-Laktatstufentest und %-Stegmannschwelle

Annahme und Bestätigung

Signifikanter Zusammenhang zwischen Laktat und %IAS-S (S=Stegmannschwelle) für ausgewählte Intervall-Lauf-programme mittels **linearer Regressionsanalyse**

- **LB-StuTest: Laufband und Intervall-Lauf-Programme**test: LB-Steigung:1,5%; $V_0 = 3,0$ m/s; Stufendauer: 3 Min.; Stufenhöhe: 0,5 m/s; Abbruch: subjektive Erschöpfung; 20sec Blutabnahme
- Laufzeit bzw. Geschwindigkeit auf 400m Kunststoff-Laufbahn als %IAS
- Konstantes Lauftempo; max. Laufzeitdifferenz innerhalb Serie: 3 sec
- Zeit zwischen LB-Test und IV-Läufe: mindestens 4 Tage, höchstens 4 Wochen
- Laktatanstieg bis Programmhälfte, danach Laktat konstant
- Ausdauerorientierte, niedrig extensive Intervalle: 2-3 mmol/l Laktat
- Intensive Wiederholungsläufe: bis 15 mmol/l Laktat und höher

B. Coen, 1997 in: Bd 8, Bundesinstitut f. Sportwissenschaft

Extensive Wiederholungsläufe

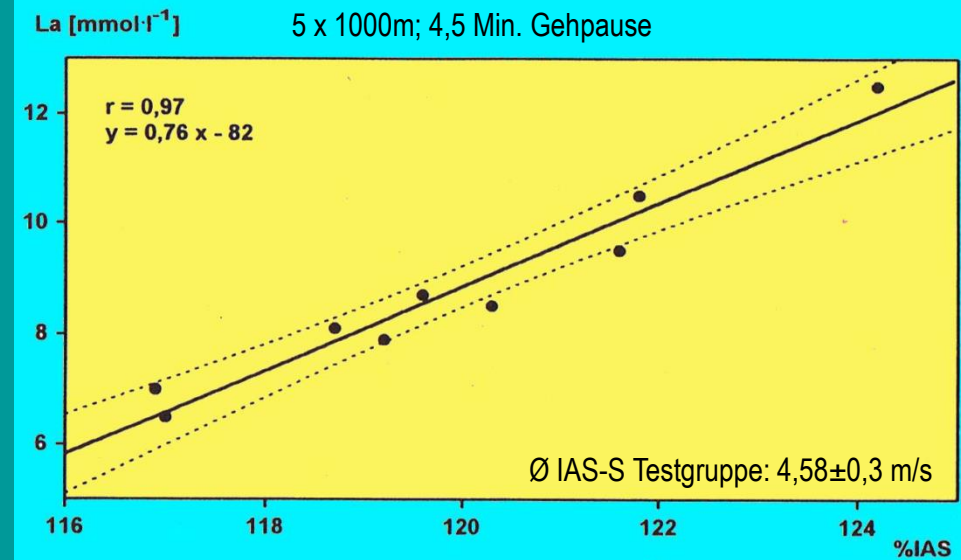
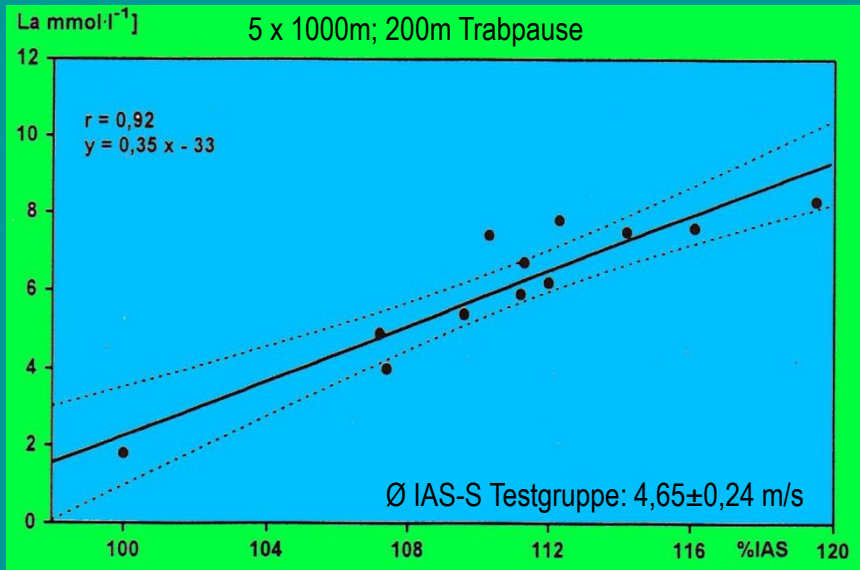
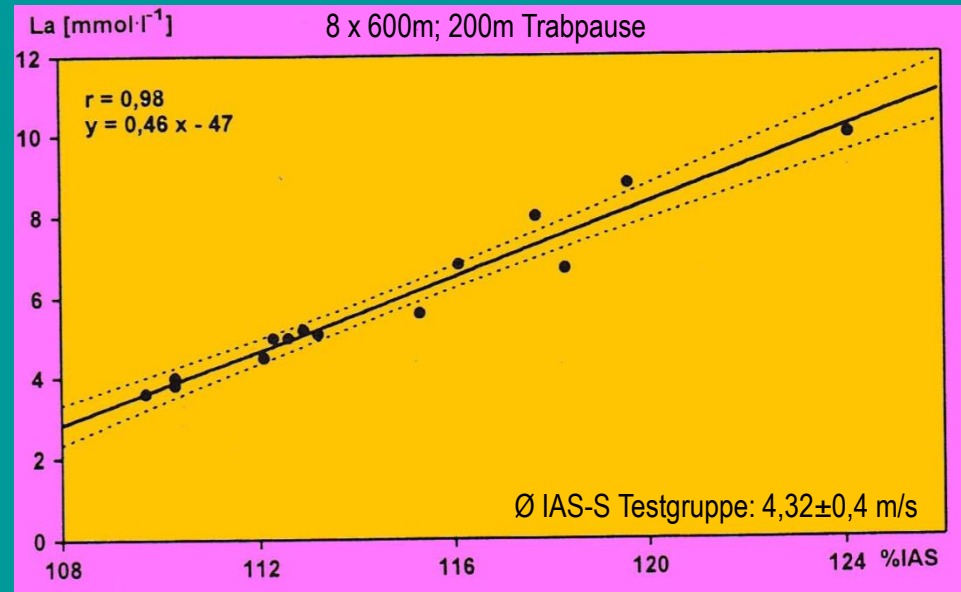
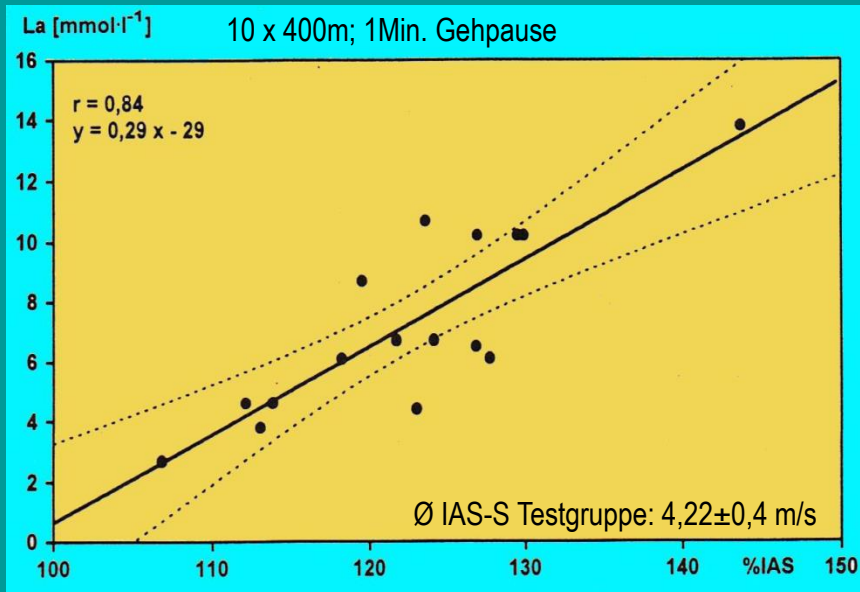
Als gute Alternative zu Dauerläufen im Fußball haben sich **5 x 1000m** bei 110-115 % der IANS (bzw. 101-106% vLa4), 4 Min. Trabpause und Laktat-Werten von 4-6 mmol/l besonders bewährt (z.B. im Ausdauererhaltungs-training)

W. Kindermann 2002

Die empirische Regressionsformel **$y = 0,76x - 82$** zwischen %IANS (x) und Blutlaktat (y) für 1000m-Läufe berechnet für Ziellaktat 4-6 mmol/l die 1000m-Laufgeschwindigkeit mit 110-115% IANS (ca. 101-106% v4).

W. Kindermann 1998

Lineare Regressionsanalyse zwischen Laktatkonzentration und % IAS-S folgender Intervall-Laufprogramme



Laktatbereiche und %-Bereiche IAS-S verschiedener Intervall-Laufprogramme

Laktat [mmol·l⁻¹]	Intervallprogramme				
	4 x 2000m 2 min Rp [%IAS]	5 x 1000m 200m Lp [%IAS]	5 x 1000m 4,5 min Rp [%IAS]	8 x 600m 200m Lp [%IAS]	10 x 400m 1 min Rp [%IAS]
2 - 4	100 - 104	100 - 105			
4 - 6	104 - 108	105 - 110	113 - 116	110 - 115	112 - 116
6 - 8	108 - 112	110 - 116	116 - 119	115 - 120	116 - 120
8 - 10			119 - 122		120 - 124
10 - 12			122 - 125		124 - 128
12 - 14					128 - 132

In Einzelfällen können deutliche Abweichungen vorkommen, sodass in der Trainingspraxis die Tabellenrichtwerte zur Ansteuerung bestimmter Laktatbereiche nur der Orientierung dienen und im Einzelfall überprüft werden sollten.

modif. nach B. Coen, 1997 in: Bd 8, Bundesinstitut f. Sportwissenschaft

Extensive Intervalle

Wiederholungsläufe über Niedrigdistanzen **80-300m** mit ruhigem bis mittlerem Tempo und niedrigem bis mittlerem Laktat als gezielt eingesetzte **Alternative zu Dauerläufen**. Die Laufintensität /-geschwindigkeit lässt sich mittels Prozentwerte der (individuellen) anaeroben Schwellenwerte - im Beispiel der 4mmol/l-Maderschwelle (v_4) - bestimmen.

- ⇒ 2x (5x300m): $v_{300m} = 150-155\% v_4$
Pause: Lauf: 2:30-2:40 Min.
- ⇒ 2x (6x200m): $v_{200m} = 158-160\% v_4$
Pause: Traben; Serie: 7-8 Min. aktiv mit Ball
- ⇒ 2-3x (8x100m): $v_{100m} = 162-164\% v_4$ (Platzdiagonale ?)
Pause: Lauf: 1:00-1:15 Min. Traben; Serie: 5 Min. aktiv mit Ball
- ⇒ 2-3x (10x80m): $v_{80m} = 164-165\% v_4$ (Platzdiagonale?)
Pause: Lauf: 1:00 Min. Traben; Serie: 5 Min. aktiv mit Ball

Laktaterwartung: **4 - 8 mmol/l Laktat**

Formel für die jeweiligen Laufzeiten $t[s]$

$$t[s] = \frac{\text{Laufweg}}{(AAS(v_4) [m/s] \cdot x\%) : 100}$$

Extensive Intervalle

Wiederholungsläufe über Niedrigdistanzen **80-300m** mit ruhigem bis mittlerem Tempo und niedrigem bis mittlerem Laktat als gezielt eingesetzte **Alternative zu Dauerläufen**. Die Laufintensität /-geschwindigkeit lässt sich mittels Prozentwerte der (individuellen) anaeroben Schwellenwerte - im Beispiel der 4mmol/l-Maderschwelle (v_4) - bestimmen.

- ⇒ **2x (5x300m):** $v_{300m} = 150-155\% v_4$
Pause: Lauf: 2:30-2:40 Min.
- ⇒ **2x (6x200m):** $v_{200m} = 158-160\% v_4$
Pause: Traben; Serie: 7-8 Min. aktiv mit Ball
- ⇒ **2-3x (8x100m):** $v_{100m} = 162-164\% v_4$ (Platzdiagonale ?)
Pause: Lauf: 1:00-1:15 Min. Traben; Serie: 5 Min. aktiv
- ⇒ **2-3x(10x80m):** $v_{80m} = 164-165\% v_4$ (Platzdiagonale?)
Pause: Lauf: 1:00 Min. Traben; Serie: 5 Min. aktiv mit Ball

Laktaterwartung: 4 - 8 mmol/l Laktat

Formel für die jeweiligen Laufzeiten $t[s]$

$$t[s] = \frac{\text{Laufweg}}{(AAS(v_4) [m/s] \cdot x\%) : 100}$$

Extensive Wiederholungsläufe:

Laktaterwartung: 4-6mmol/l Laktat

$$\underline{1000m}: t_{1000} = 1000 : (v_4 \times 1,03... \underline{1,06}) [sec]$$

$$\underline{2000m}: t_{1000} = 1000 : (v_4 \times 0,97... \underline{1,00}) [sec]$$

$$\underline{3000m}: t_{1000} = 1000 : (v_4 \times 0,94... \underline{0,97}) [sec]$$

Extensive Intervalle:

$$t_{300m} = 300 : (v_4 \times 1,55...1,50) [sec]$$

$$t_{200m} = 200 : (v_4 \times 1,60...1,58) [sec]$$

$$t_{100m} = 100 : (v_4 \times 1,64...1,62) [sec]$$

$$t_{80m} = 80 : (v_4 \times 1,65...1,64) [sec]$$

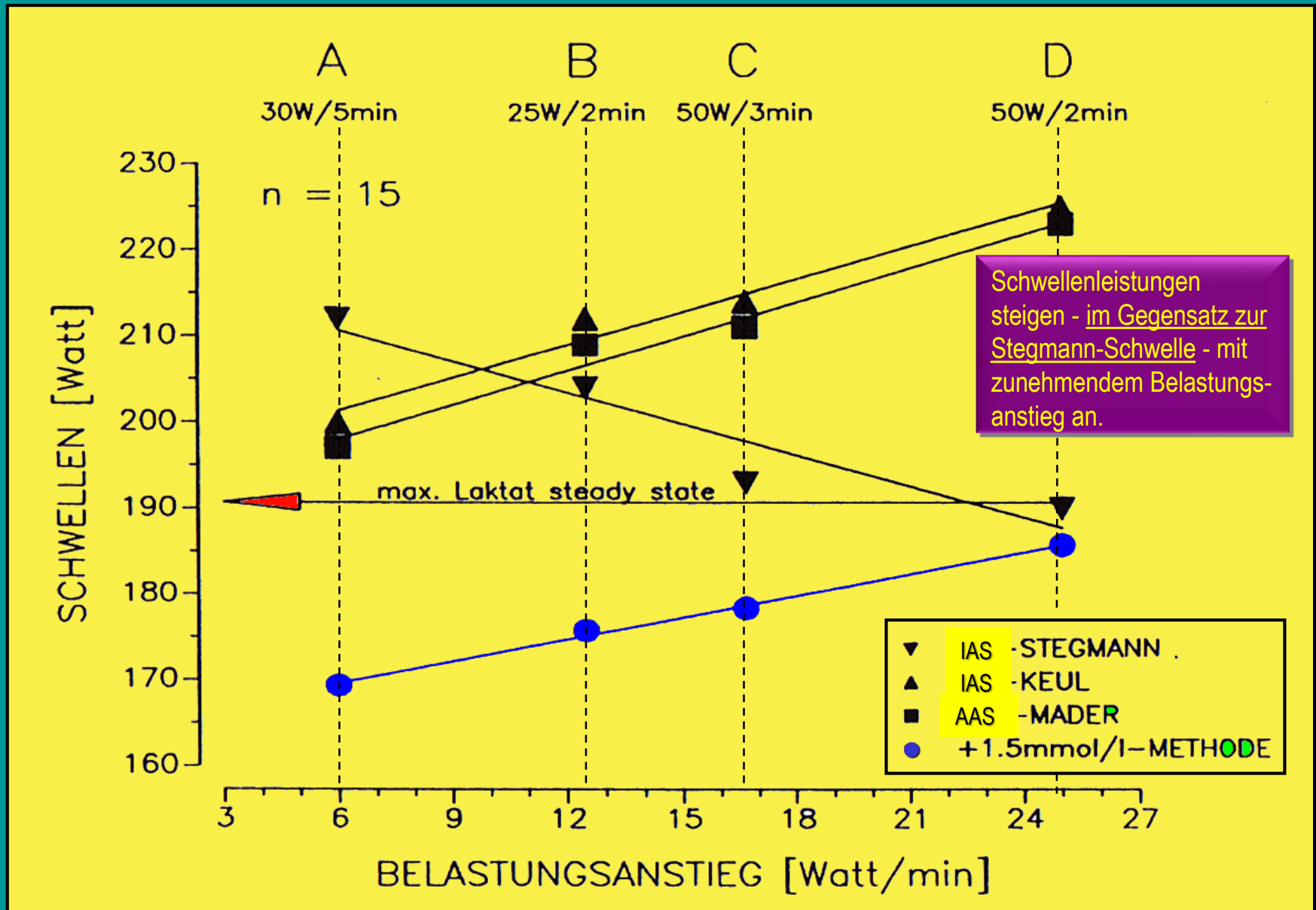
(v_4 = Laufgeschwindigkeit bei 4mmol/l Laktat)



Laktatstufentest – Sinn- und Defizit-Diskussion

Argumente zur Sinn- und Defizit - Diskussion zu
Laktat-Leistungsdiagnostik - Laktat-Stufentest - Laktat-Schwellenkonzepte

Mittelwerte verschiedener Laktatschwellenkonzepte in Abhängigkeit vom Belastungsanstieg im Vergleich zum maxLass



Mittelwertvergleich aerob-anaeober Laktatschwellen häufig genutzter Laktat-Schwellenkonzepte nach Mader, Stegmann und Dickhuth

Test: 12 männl. Ausdauerleistungssportler; je 2 Laufband-Stufentests im Abstand von 72 Stunden

Testmodell: MADER (modif. nach BAL): 2,5 m/s – 0,5 m/s - 5 Min. LB-Anstieg: 1%
STEGMANN: 2,5 m/s - 0,5 m/s – 3 Min. LB-Anstieg: 1,5%
DICKHUTH: 2,5 m/s - 0,5 m/s - 3 Min. LB-Anstieg: 1,5%

Ergebnis:

Schwellen- konzept	Schwellen- geschwindigkeit	Herzfrequenz [Schl./min]
MADER	4,28 ± 0,28 m/s	179,67 ± 8,82
STEGMANN	4,07 ± 0,19 m/s	169,92 ± 9,89
DICKHUTH	3,82 ± 0,19 m/s	163,92 ± 9,67

Signifikante Unterschiede der Mittelwertvergleiche !

Forderung: methodische Standardisierung

Vergleich der aerob-anaeroben Laktatschwellen mit dem maximalen Laktat-Steady-State verschiedener Laktatschwellenkonzepte und Belastungsmodelle

Test: Feldtest, 16 gut trainierte Läufer, 3 Feld-Stufentests

Test A: 8 km/h – 2 km/h – 3 Min. für Schwellen nach Stegmann, Dickhuth (+1,5 mmol/l), Cheng (Dmax), Simon (45° Tangentenwinkel)

Test B: 10,8 km/h – 1,8 km/h – 2000m für Schwelle nach Mader (4 mmol/l)

Test C: Vorbelastung + Stufentest: 12 km/h – 1,2 km/h – 800m für Laktat-Senkenschwelle nach Tegtbur

Anschließend konstante Dauerläufe mit der jeweiligen Schwellengeschwindigkeit. Zusätzliche Dauerläufe zur Bestimmung von maxLass. MaxLass = $\Delta La \leq 1,0$ mmol/l zwischen 15. und 60.Min. bzw. $\leq 0,5$ mmol/l in den letzten 15 Min.

Ergebnis: Schwellengeschwindigkeiten. Referenzgeschwindigkeit maxLass = $15,4 \pm 0,9$ km/h

Dickhuth	$15,3 \pm 0,9$ km/h	nicht signif.
Stegmann	$15,2 \pm 0,8$ km/h	nicht signif.
Simon	$15,5 \pm 0,9$ km/h	nicht signif.
Cheng	$14,8 \pm 0,8$ km/h	hoch signif. unter maxLass
Tegtbur	$14,6 \pm 0,3$ km/h	hoch signif. unter maxLass
Mader	$15,8 \pm 1,0$ km/h	signif. über maxLass

Fazit: Bestimmung des maxLass mittels verschiedener, gängiger Laktatschwellenkonzepte ist „**nicht hinreichend präzise**“.

Dickhuth-, Stegmann- u. Simon-Modelle ermöglichen in dieser (!) Untersuchung die beste Vorhersage des maxLass (in Einzelfällen starke Abweichungen).

Vorschlag: Mittelwertbildung verschiedener Modelle

Dörr C., Meyer T., Reiser M., Faude O.: Untersuchung der Validität verschiedener Laktatschwellenkonzepte an Ausdauersportlern. Referat Nr.38 (Poster), 41. Dt. Sportärztetag, Ulm 2009

Vergleich 4 mmol/l-Mader-Schwelle mit Freiburg-/ Dickhuth-Schwelle (+1.5 mmol/l) und Keul-Schwelle (Tang.
Winkel 77,56° bei Meßeinheit m/s)

Laktat-Feldstufentest Fußballregionalliga-Mannschaft			Fixe Schwelle X-Größen bei		indiv. an. Schwelle		Einheit
Nr.	Name	Datum	2,0	4,0	+ 1,5 mmol/l S.	Keul- Schwelle	
1			3.43	4.13	3.89	4.10	v[m/s]
2			2.95	3.76	3.69	3.66	v[m/s]
3			3.60	4.07	3.90	3.89	v[m/s]
4			3.57	4.09	3.95	3.91	v[m/s]
5			3.02	3.68	3.47	3.63	v[m/s]
6			-0.09	3.17	3.41	3.50	v[m/s]
7			3.19	4.11	3.89	4.36	v[m/s]
8			2.65	3.22	3.17	3.16	v[m/s]
9			3.41	4.04	3.76	4.02	v[m/s]
10			2.62	3.25	3.23	3.28	v[m/s]
11			3.21	4.01	3.89	3.89	v[m/s]
12			0.30	3.16	3.36	3.37	v[m/s]
13			3.73	4.21	4.07	4.02	v[m/s]
14			3.18	3.73	3.58	3.58	v[m/s]
15			1.60	3.80	3.76	3.83	v[m/s]
16			3.44	4.02	3.80	3.90	v[m/s]
17			3.28	4.02	3.95	3.88	v[m/s]
18			3.06	3.76	3.62	3.69	v[m/s]
19			2.71	3.50	3.42	3.42	v[m/s]

Kritische Argumente zur Laktat-Diagnostik

- Bei verschiedenen Belastungsprogrammen ändert sich die Form der LLK und die Schwellenwerte sowohl bei gleichem, als auch im Vergleich zu anderen Schwellenkonzepten bei gleichem Probanden. Folgerichtig zeigen alle diese aerob-anaeroben Schwellenwerte eine unterschiedliche „Nähe“ zum tatsächlichen max. Laktat-steady-state und zeigen erhebliche Validitätsmängel !
- Eine Vergleichbarkeit laktatdiagnostischer Befunde aufgrund unterschiedlicher Schwellenkonzepte und Belastungsprogrammen ist unzureichend !
- Datenbestände von Untersuchungszentren sollten zur Schaffung von Referenzwerten u. Transferfunktionen für unterschiedliche Untersuchungsmethoden und Schwellenkonzepte zur besseren Vergleichbarkeit (!) von laktatdiagnostischen Daten, zur Angleichung an Standards der klinischen Diagnostik und zur Vereinheitlichung von Laktattests genutzt werden.
- Retrospektive Analysen von Trainings- u. Wettkampflaktatkonzentrationen erfolgreicher Sportler sollten häufiger erfolgen.
- Die Wirkung von Krafttraining auf das Laktatverhalten ist weitgehend unerforscht.
- Neue Erkenntnisse zum Energiestoffwechsel und Laktat auf zellulärer und molekularer Ebene finden kaum Eingang in die (Laktat-) Leistungsdiagnostik.
- Das fragmentale Wissen bzgl. Laktat und der spezifischen Wirkungen sollte durch prozessbegleitende Trainingsstudien verbessert werden. (Stand 2008)

„Kritische“ alternative Argumente und Positionen zur Laktat-Diagnostik

Zur Geschichte der „anaeroben Schwelle“ in der internationalen Literatur (Auswahl)

WASSERMANN et al., 1978: erste Beschreibung der anaeroben Schwelle als „anaerobic threshold“, „oberhalb derer die oxidative Energieproduktion von anaeroben Mechanismen unterstützt wird. Diese Belastungsintensität wird von einem Anstieg von Laktat und des Verhältnisses von Pyruvat/Laktat im Körper begleitet“.

„Anaerobic threshold“ (=anaerobe Schwelle als erster messbarer Laktatanstieg über den Ruhewert) = **aerobe Schwelle**

ATEMGASANALYSE: „ventilatorische anaerobe Schwelle“ (als anaerobe Schwelle) = **aerobe Schwelle**

ANGELSÄCHSISCHE LITERATUR: „anaerobic threshold“ = „lactate threshold“ = **aerobe Schwelle**

MADER et al., 1976: „aerob-anaerobe Schwelle“ (Bereich des Übergangs zwischen dem rein aeroben zum partiell anaeroben, laktazid gedeckten Muskelstoffwechsel der Arbeitsmuskulatur; als anaerobes Schwellenkriterium wird der Laktatanstieg auf 4mmol/l im arteriellen Blut definiert)

KINDERMANN et al., 1978: „aerobe Schwelle“ (als signif. Anstiegsbeginn der LLK, def. bei 2mmol/l Laktat; gleich „anaerobic threshold“ nach WASSERMANN et al.); „anaerobe Schwelle“ = **aerob-anaerobe Schwelle** (nach MADER et al.)

FARRELL et al., 1979: „Onset of Plasma Lactate Accumulation (OPLA“ (Beginn La-Anstieg im Plasma) ~ **anaerobic threshold** (Wassermann) ~ **aerobe Schwelle** (Kindermann)

SJÖDIN et al., 1979: „Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA)“ ~ **anaerobic threshold** (Wassermann), **aerobe Schwelle** (Kindermann) (wird bei 4mmol/l Laktat bestimmt = Widerspruch zur Definition)

BUNC et al., 1982: „individual anaerobic threshold (IAT“ = **aerob-anaerobe Schwelle** (AAS = Mader)

CONCONI et al., 1982: „anaerobic threshold“ = (aerob-)anaerobe Schwelle (Mader, Kindermann; Ermittlung über stufenförmige Herzfrequenz-Geschwindigkeitskurve; Schwellenkriterium: Kurvenknickpunkt bzw. „deflection velocity“

FAZIT

Die Form der Laktat-Leistungskurve u. die Schwellenwerte ändern sich bei verschiedenen Belastungsprogrammen (Testprotokollen) sowohl bei gleichem, als auch im Vergleich zu anderen Schwellenkonzepten.

Eine Vergleichbarkeit laktat- / leistungsdagnostischer Befunde aufgrund unterschiedlicher Schwellenkonzepte und Belastungsprogrammen ist **unzureichend!!**

Datenbestände von Untersuchungszentren sollten zur Schaffung von Referenzwerten und Transferfunktionen für unterschiedliche Untersuchungsmethoden und Schwellenkonzepte zur besseren Vergleichbarkeit (!) von laktatdiagnostischen Daten genutzt werden.

Das fragmentare Wissen bzgl. Laktat u. der spezif. Wirkungen sollte durch prozessbegleitende Trainingsstudien verbessert werden.

Die begriffliche Verwechselbarkeit fordert eine Standardisierung der Begrifflichkeiten – „*idealerweise unter Beibehaltung der schlüssigen und weltweit besser etablierten **Terminologie von Wassermann**. Nur auf dieser Basis könnten wir einem weiteren Ziel näher kommen zur Etablierung allgemein akzeptierter Vergleichswerte*“. (K. Röcker, 2008)

K. Röcker: Streit um des Kaisers Bart: Welche Laktatschwelle ist die Beste?. Dt. Zschr. f. Sportmedizin, 12 (2008), 303-304



Ausgewählte Laktatstufentests - Auswertesoftware

WinLactat bis Ende 2022 **LC Lactat** neu ab 2023

Firma „mesics“ Software für Laktatdiagnostik und Laborsteuerung, GmbH, www.mesics.de

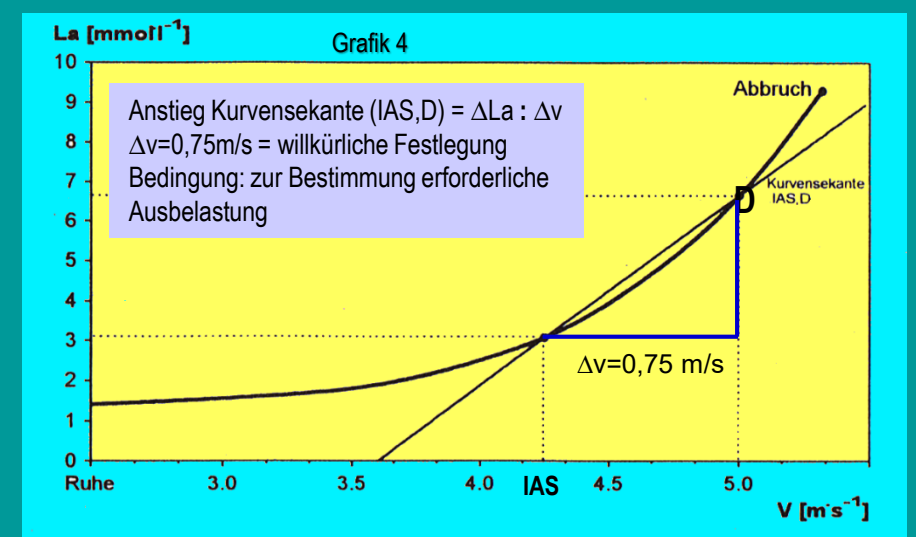
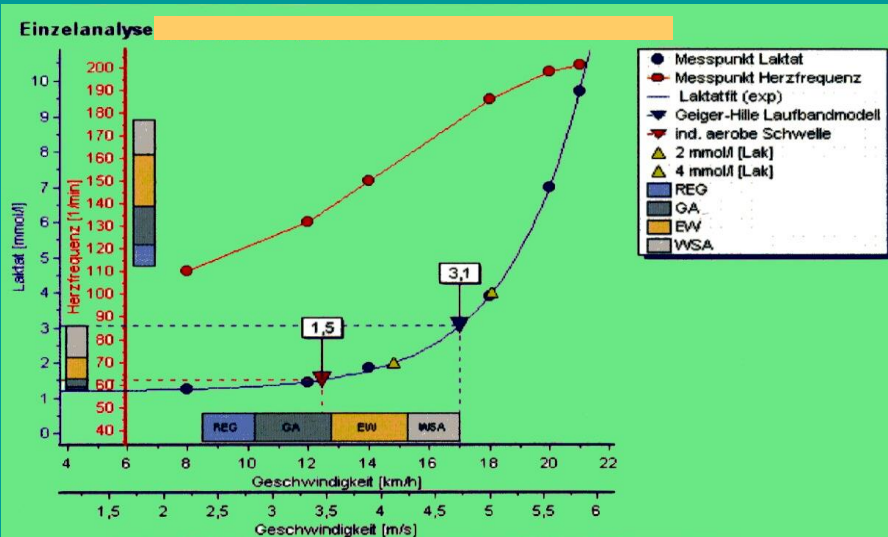
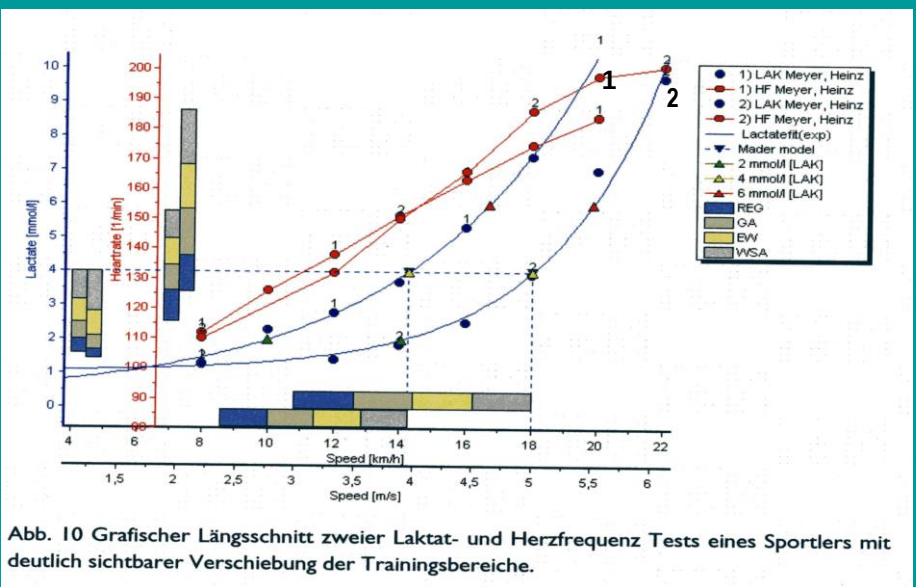
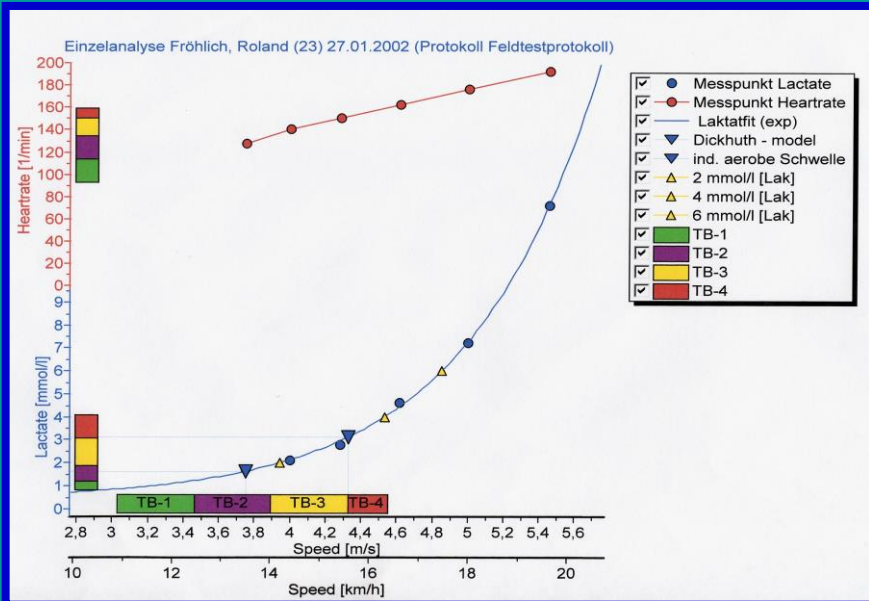
Eine moderne Software zur Auswertung von Laktatstufentests

Grafische und numerische Ergebnisdarstellung eines Laktatstufentests

Die Laktatstufentest-Auswertesoftware **WinLactat** (Mesics GmbH, www.mesics.de) zeichnet sich durch einen großen Freiheitsgrad und Entscheidungsvielfalt in der Wahl, Eingabe und Berechnung nahezu aller Ziel- und Berechnungsparameter aus.

Damit ist ein Höchstmaß an individueller Berechnungsgestaltung z.B. in der Schwellenwahl (10 verschiedene Schwellen), der an den Schwellen orientierten Festlegung von Trainingsintensitätsbereichen, der Grafikgestaltung und der Druckausgabe gegeben.

Graphische Testdarstellung mit WinLactat



Zu Grafik 4:

1. Sekantensteigung alleine hat nur geringe Aussagekraft. Leistungsbeurteilung über Sekantenanstieg oberhalb IAS schwierig.
2. Längsschnittsuntersuchungen zeigen große Variabilität der Sekantensteigung ohne bestimmten Trend.
3. Sekantensteigung kann neben IAS, AANS nur ergänzende Informationen über leistungsphysiologische Voraussetzungen geben.
4. Sekantenanstieg sagt wenig über Qualität der LLK aus; eine geringere Steigung bedeutet nicht zwangsläufig günstigere LLK.
5. Weitere Studien nötig zur Frage: Steigung als Indikator der Leistungsfähigkeit oberhalb der IAS bzw. AANS?

Numerische Ergebnisdarstellung eines Laktatstufentests mit WinLactat

Ergebnisse (1): Schwellen

Berechnung: Mader - Modell

	AS	ind. aerobe Schwelle	Mader - Modell	Dickhuth - Modell	Max
Laktat [mmol/l]	2,0	1,4	4,0	2,9	6,4
Herzfrequenz [1/min]	143	127	161	153	172
Geschwindigkeit [km/h]	12,2	10,1	14,6	13,6	15,8
Geschwindigkeit [m/s]	3,4	2,8	4,1	3,8	4,4
Energieverbrauch [kcal/h]	977	806	1167	1087	1267
1000-m-Zeit	04:54	05:57	04:06	04:24	03:47
Marathon-Zeit	03:27	04:11	02:53	03:06	02:39
VO2 [ml/min/kg]	40,7	33,6	48,6	45,3	52,7
max. Leistung [%]	77,1	63,6	92,1	85,8	100,0

VO2 max Leistungsergometrie:

0,00 ml/min (kein aktives Modell)

VO2 max Geschwindigkeitsergometrie:

52,75 ml/min/kg (Haas, W. - Laufband (1,5% Steigung))

Ergebnisse (2): Trainingsbereiche

Prozentuale Orientierung an einer Fixen Schwelle bezogen auf die Leistung

Bezeichnung	Regenerativ	Extensiv	Intensiv	Tempo-DL
Prozentbereiche	<=75 %	80 - 85 %	85 - 90 %	92 - 95 %
Intensität				
Laktat [mmol/l]	< 1,6	1,8 - 2,1	2,1 - 2,5	2,7 - 3,1
Herzfrequenz [1/min]	< 134	139 - 145	145 - 150	152 - 155
Geschwindigkeit [km/h]	< 10,9	11,7 - 12,4	12,4 - 13,1	13,4 - 13,9
Geschwindigkeit [m/s]	< 3,0	3,2 - 3,4	3,4 - 3,6	3,7 - 3,8
Energieverbrauch [kcal/h]	< 875	933 - 992	992 - 1050	1073 - 1108
1000-m-Zeit	> 05:29	05:08 - 04:50	04:50 - 04:34	04:28 - 04:19
Marathon-Zeit	> 03:51	03:37 - 03:24	03:24 - 03:12	03:08 - 03:02

Numerische Ergebnisdarstellung eines Laktatstufentests

Ergebnisse (1): Schwellen Schwellenmodell (Si): Geiger-Hille Laufbandmodell

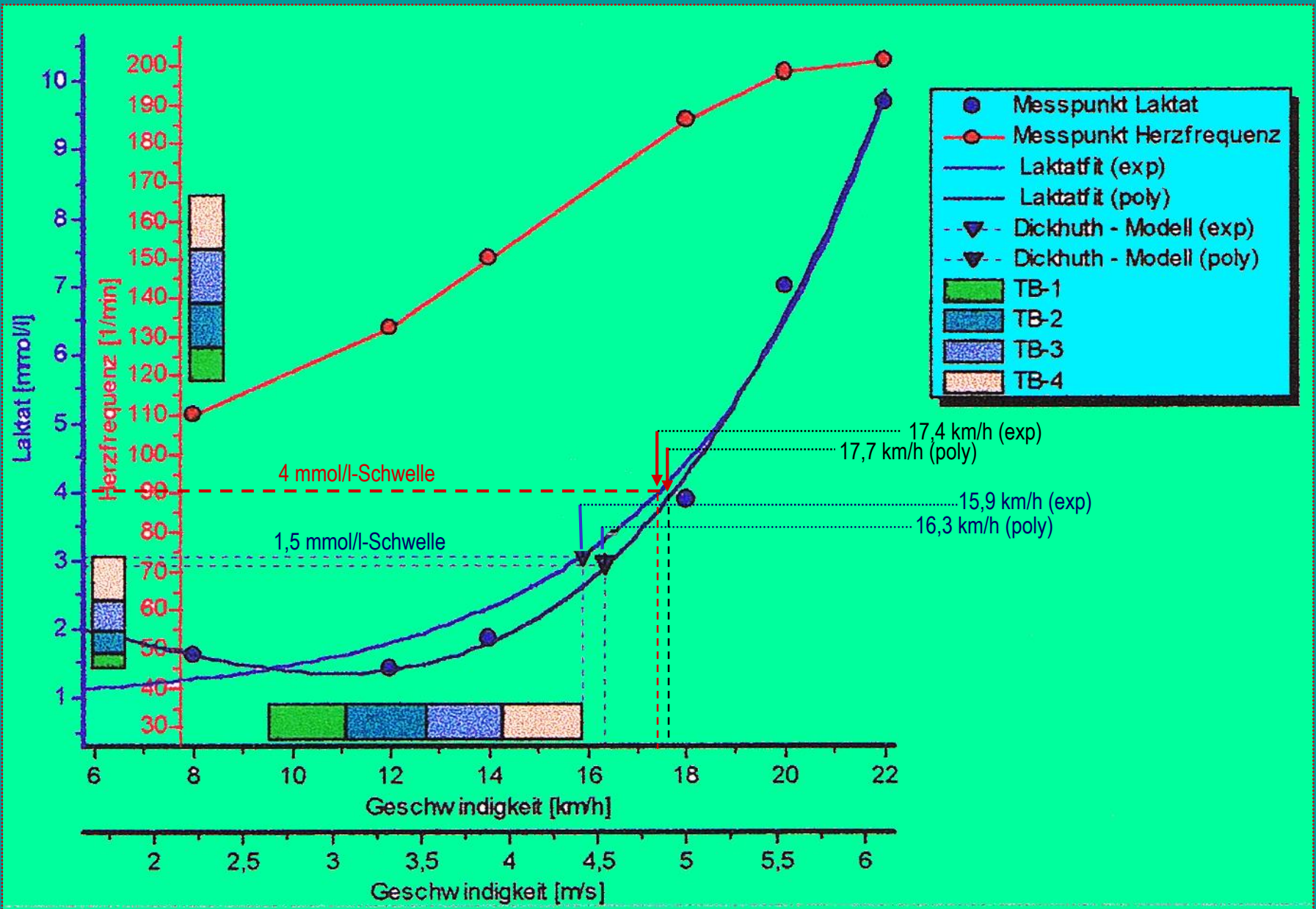
	2 mmol Schwelle	4 mmol Schwelle	6 mmol Schwelle	IANS	Max
Lactat [mmol/l]	2,0	4,0	6,0	2,6	10,7
Herzfrequenz [1/min]	171	182	186	176	190
Geschwindigkeit [km/h]	15,4	17,8	19,0	16,4	20,7
Geschwindigkeit [m/s]	4,3	5,0	5,3	4,5	5,7
Marathon-Zeit	02:45:08	02:22:20	02:13:15	02:35:11	02:02:47
1000 m -Zeit	00:03:54	00:03:21	00:03:09	00:03:40	00:02:54
max. Leistung [%]	74,3	86,3	92,1	79,1	100,0

Ruhewerte: 1,1 mmol/l LAC, 65 1/min HF

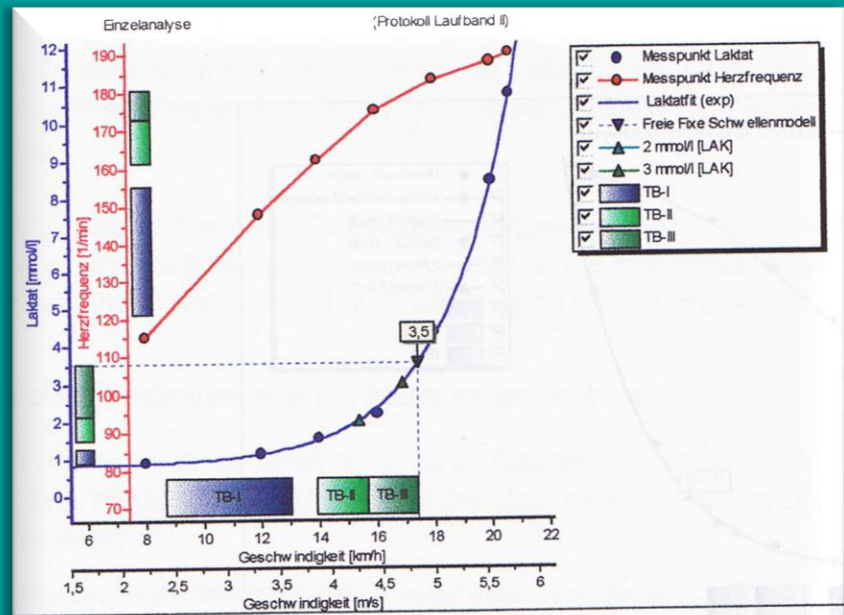
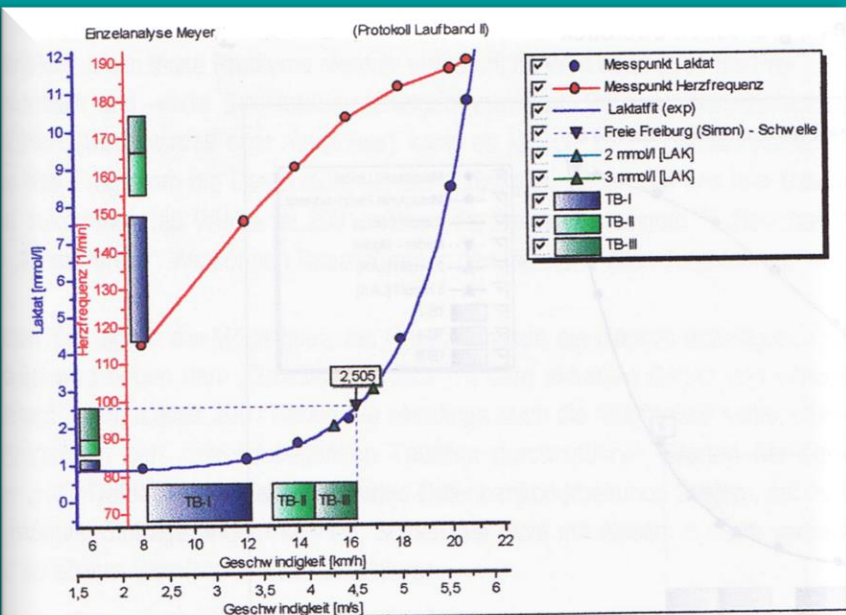
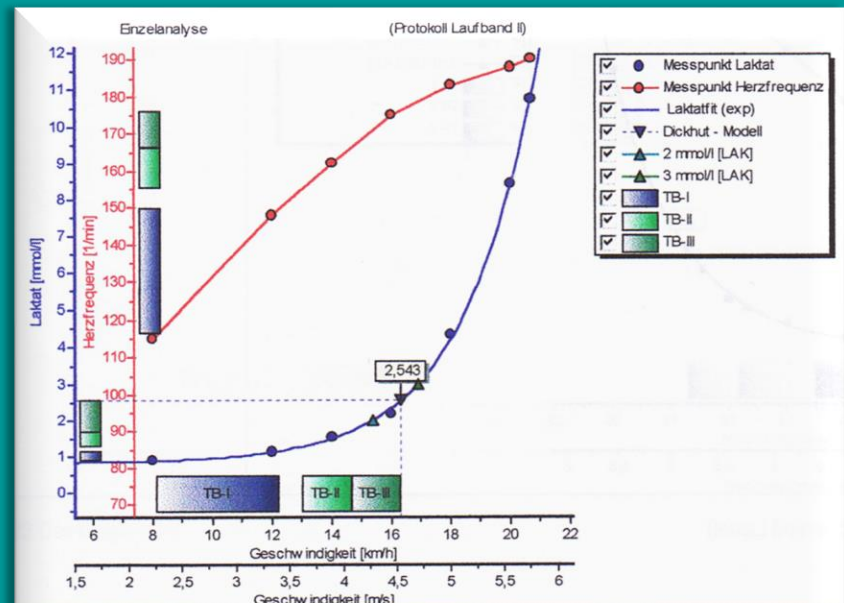
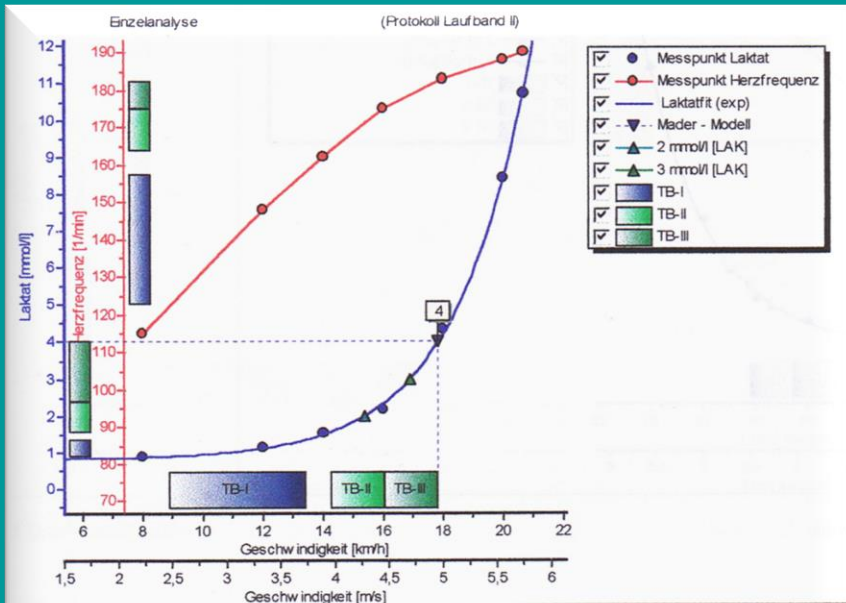
Ergebnisse (2): Trainingsbereiche TB-Einteilung: Relative Orientierung an der IANS bezüglich der Leistung

Name	reg. DL	ext. DL (unten)	ext. DL (oben)	Int. Ausdauer
Bereiche	40 - 70 %	70 - 80 %	80 - 90 %	90 - 100 %
Dauer/Umf.	10-20 min	30-50 min	6-8 km	800 - 3000 m
Lactat [mmol/l]	0,8 - 1,1	1,1 - 1,3	1,3 - 1,7	1,7 - 2,6
Herzfrequenz [1/min]	103 - 143	143 - 156	156 - 167	167 - 176
Geschwindigkeit [km/h]	6,5 - 11,4	11,4 - 13,1	13,1 - 14,7	14,7 - 16,4
Geschwindigkeit [m/s]	1,8 - 3,2	3,2 - 3,6	3,6 - 4,1	4,1 - 4,5
Marathon-Zeit	06:27:59 - 03:41:42	03:41:42 - 03:13:59	03:13:59 - 02:52:26	02:52:26 - 02:35:11
1000 m -Zeit	00:09:10 - 00:05:14	00:05:14 - 00:04:35	00:04:35 - 00:04:04	00:04:04 - 00:03:40

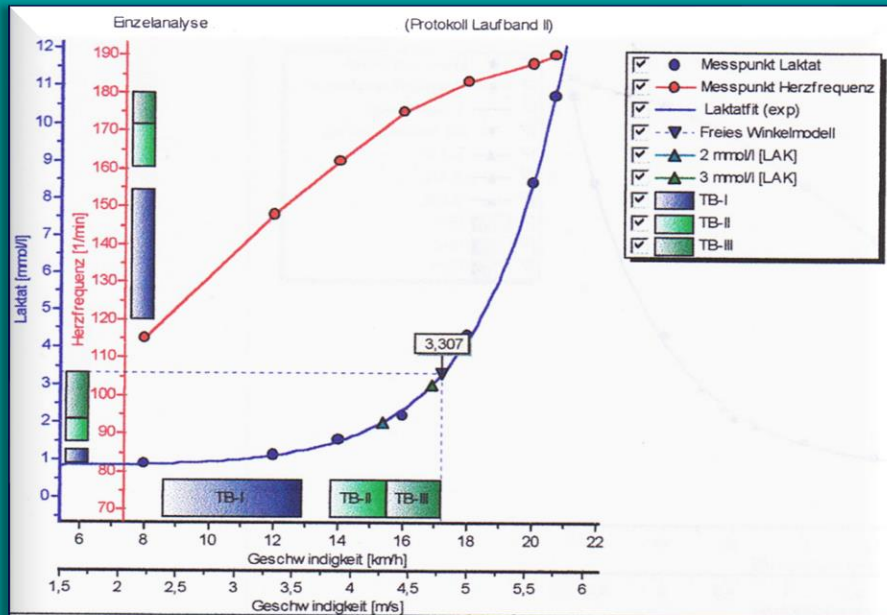
Laktat-Stufentest mit exponentieller und polynomischer LLK mit jeweiliger Bestimmung der „+1,5-mmol/l-Schwelle“ (Basislaktat + 1,5 mmol/l Laktat) und der Mader-Schwelle (4mmol/l-Schwelle)



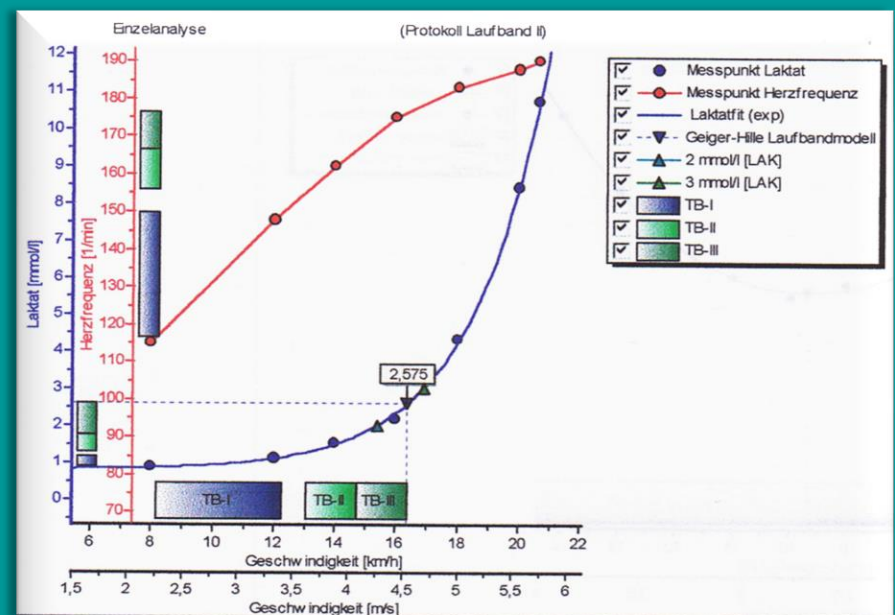
Schwellenmodelle in WinLactat



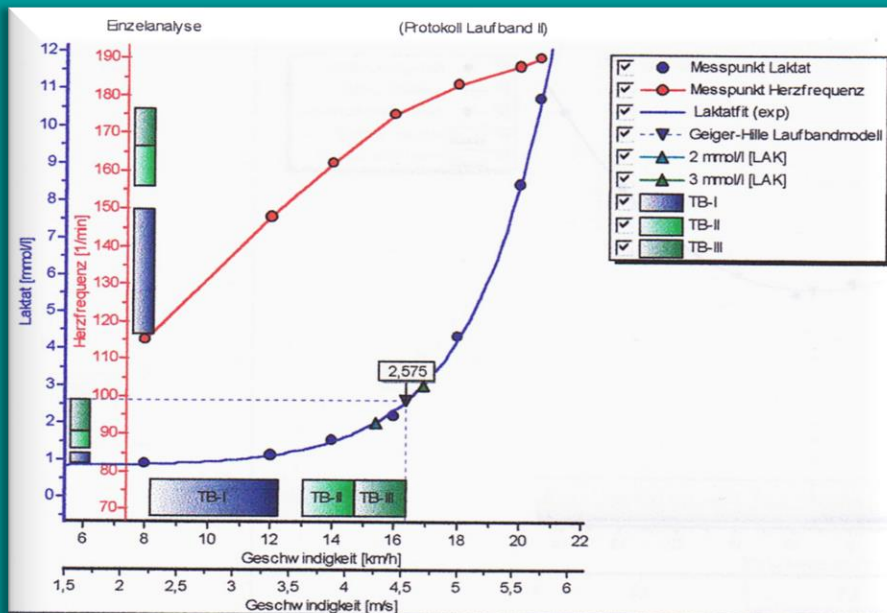
Schwellenmodelle in WinLactat



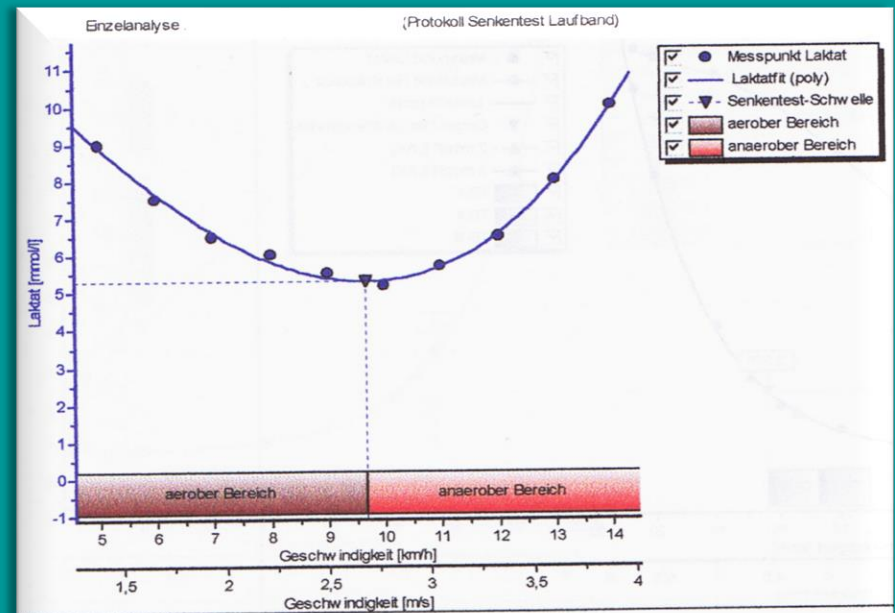
Das Freie Winkelmodell (45 Grad an km/h)



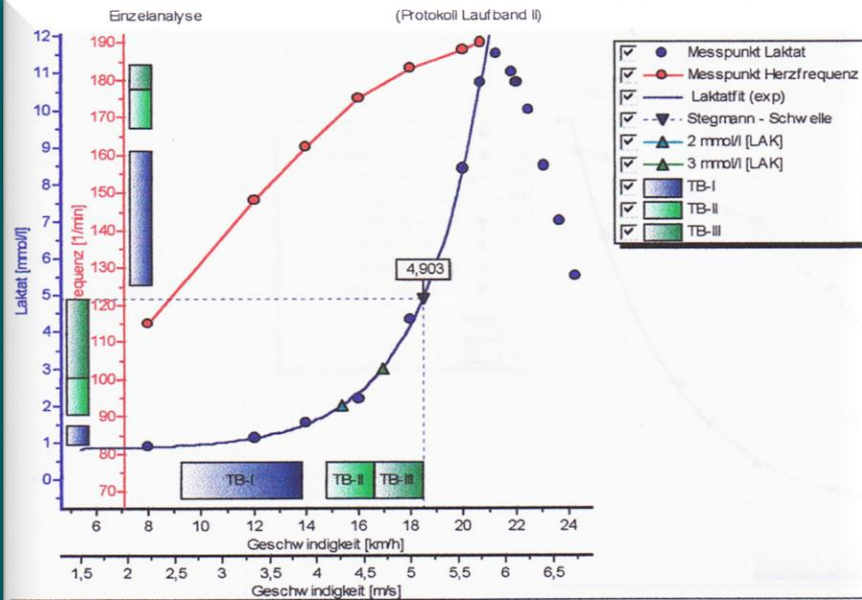
Geiger – Hille Modell (Laufband)



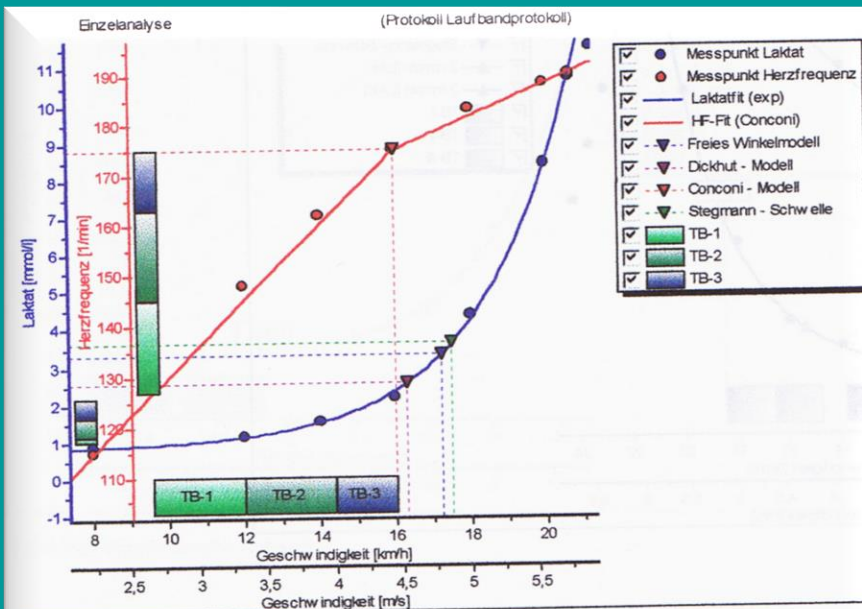
Geiger – Hille Modell (Laufband)



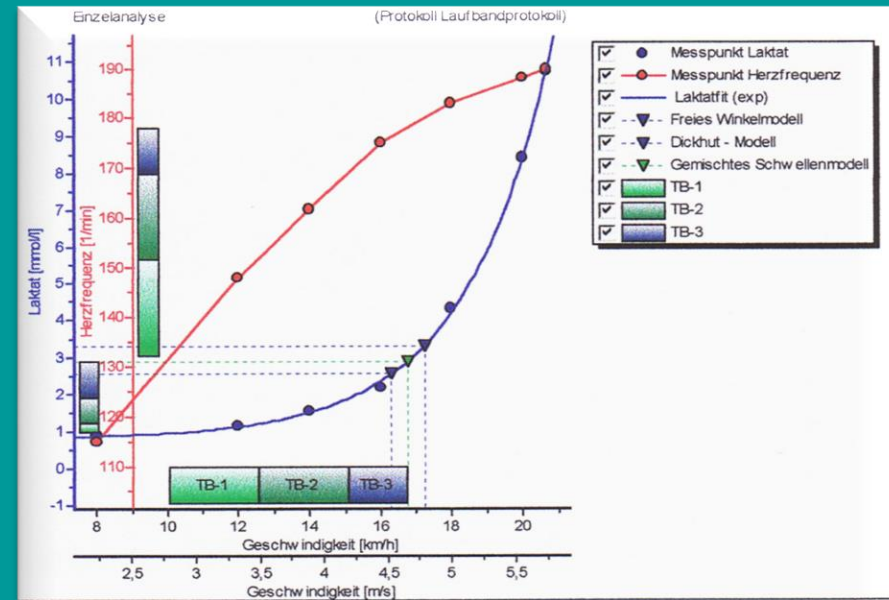
Das Senkertest Modell



Die Stegmannschwelle



Typische Multischwellenwertanalyse



Die gemischte Schwelle (grün, gemischt aus freiem Winkelmodell und Dickhuth Schwelle)

„Gemischte“ Schwellen sind Schwellen-Mittelwerte aus frei wählbaren, (individuell) anaeroben Schwellenmodellen.
Der Winkelgrad der Tangentenwinkelmodellen ist frei wählbar.

10

„Materialien“ zur Durchführung und Auswertung von Laktatstufentests

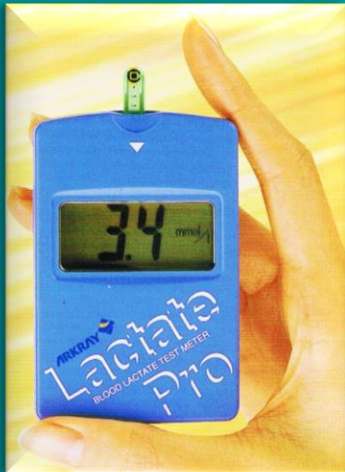
Analyseverfahren zur Messung der Laktat-Konzentration

1. **Polarographie** (i.d.R. in Standgeräten) 2. **Photometrie** (in portablen Handmessgeräten)

Photometrische Reflexionsmessungen werden in **Handmessgeräten** unter Verwendung von **Teststreifen** mit integrierter Chemie verwendet. **Polarographische** Laktatbestimmung werden i.d.R. in Standgeräten verwendet.

Ausgewählte Laktat – Mess - / Bestimmungsgeräte

Stand 2015)



Handmeßgerät Lactate Pro



Handmeßgerät Scout

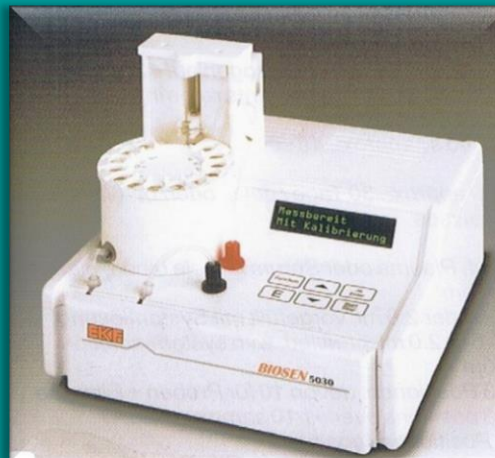
Labor-Geräte
für Mehrfach-
bestimmungen



Miniphotometer LP2 (Fa. Dr. Lange)



EKF Biosen



Biosen 5030



Biosen 5040

Geschwindigkeit / Zeit Steuerprogramm mit Doppelhorn- Hupsignal variabler Lautstärke für Laktat-Feldstufentest

METIOR.EXE

Datei

Feldstufentest

Einheit von v : km/h **m/s**
 v Anfang : 2.8 m/s
 erhöhen um : 0.4 m/s
 alle : 1200 m
 'v' eingeben, falls die Längen verschieden sind. Danach C/R drücken.
 Signal alle : **50 m**



Test

momentane Geschw. : 2.8 m/s
 bisherige Zeit : 00:18.07 Strecke: 50 m
 nächstes Signal : 00:35.71 100 m

ctrl-e beendet den Test

Hupe an!

Test läuft **ctrl-e Test beenden**

METIOR.EXE

Datei

Feldstufentest

Einheit von v : km/h **m/s**
 v Anfang : 2.8 m/s
 erhöhen um : 0.4 m/s
 alle : 1200 m
 'v' eingeben, falls die Längen verschieden sind. Danach C/R drücken.
 Signal alle : **50 m**



Nächste Stufe
 Geschwindigkeit der nächsten Stufe: 3.2 m/s
 ctrl-s startet die nächste Stufe!
 ctrl-e beendet den gesamten Test!

ctrl-s nächste Stufe ctrl-e Test beenden

ctrl-e beendet den Test

Test läuft **ctrl-e Test beenden**

Datei

Feldstufentest

Einheit von v : km/h **m/s**
 v Anfang : 3.2 m/s
 erhöhen um : 0.4 m/s
 alle : 1200 m
 'v' eingeben, falls die Längen verschieden sind. Danach C/R drücken.
 Signal alle : **50 m**



Test

momentane Geschw. : 3.2 m/s
 bisherige Zeit : 01:34.50 Strecke: 300 m
 nächstes Signal : 01:49.38 350 m

ctrl-e beendet den Test

Hupe an!

Test läuft **ctrl-e Test beenden**

Relative maximale SOLL-Leistungsfähigkeit [Watt] auf dem Fahrradergometer bei max. Ausbelastung

(Richtwerte nach H. HECK)

1. Untrainierte Männer

a) bis 30 Jahre: Sollleistung [Watt] = 3,0 Watt x kg Körpergewicht (KG)

b) ab 30 Jahre: Sollleistung [Watt] = 3,0 Watt x KG x (130 – Alter):100

Sollleistung [Watt] / kg = 3,0 Watt/kg x (130 -

Alter):100

Sollleistung [Watt] = 3,0 Watt/kg minus 1,0% für jedes Lebensjahr > 30 Jahre

(d.h. Abnahme der max. aeroben Leistungsfähigkeit ab 30 Jahre um 1% pro Lebensjahr)

2. Hochausdauertrainierte Sportler

Maximale Sollleistung [Watt/] = 7,81-0,027 x KG

Davon: 100% für LA (Langstrecke), Rad (Straße), Skilanglauf u.ä.

87,7% für LA (Mittelstrecke), Rad (Bahn), Kanu-Rennsport

80% für Fußball, Handball, Basketball, Hockey, Volleyball

73,3% für LA (Zehnkampf), Tennis, Schwimmen, Boxen

60,0% für LA (Sprint, Sprung), Ski alpin, Turnen, Bob, Gewichtheben

50,0% für gesunde Untrainierte

nach Szögy et al.

3. Untrainierte Frauen

a) bis 30 Jahre: Sollleistung [Watt] = 2,5 Watt x kg KG

b) ab 30 Jahre: Sollleistung [Watt] = 2,5 Watt x KG x (124 – 0,8 x Alter):100

4. Hochausdauertrainierte Sportlerinnen

Maximale Sollleistung [Watt] = 7,81-0,027 x KG minus 20%

Davon %-Werte für die einzelnen Sportarten (siehe Männer)

Stufentestmodelle Laufband und fixe, aerob-anaerobe Schwellen

1. Beginn: individuell
2. Stufe: 0,4 m/s = 1,44 km/h
3. Stufendauer: 5 Min. / 3 Min.
4. fixe, aerob-anaerobe Schwelle: **4 mmol/l / 3,5 mmol/l**

Stufentestmodelle Fahrradergometer und annähernde, fixe, aerob-anaerobe Schwellen

- A.**
1. Beginn: individuell
 2. Stufe: 30 Watt (Männer); 25 Watt (Frauen)
 3. Stufendauer: 5 Min. (Männer + Frauen)
 4. fixe, aerob-anaerobe Schwelle: **4 mmol/l**
- B.**
1. Beginn: individuell
 2. Stufe / Dauer: 50 Watt / 3 Min. (BAL-Empfehlung für Leistungsstarke, $W_0=50$ Watt)
25 Watt / 2 Min. (Leistungsschwache u. Patienten, $W_0=25$ Watt)
 3. fixe, aerob-anaerobe Schwelle: **ca. 3 mmol/l**
- C.**
1. Beginn: individuell
 2. Stufe: 50 Watt
 3. Stufendauer: 5 Min.
 4. fixe, aerob-anaerobe Schwelle: **ca. 3,5 mmol/l**

Nach Hermann HECK

Umrechnungen

①

2,5 m/s	=	9 km/h	2,8 m/s	=	10,08 km/h
3,0 m/s	=	10,8 km/h	3,2 m/s	=	11,52 km/h
3,5 m/s	=	12,6 km/h	3,6 m/s	=	12,96 km/h
4,0 m/s	=	14,4 km/h	4,0 m/s	=	14,40 km/h
4,5 m/s	=	16,2 km/h	4,4 m/s	=	15,84 km/h
5,0 m/s	=	18,0 km/h			
5,5 m/s	=	19,8 km/h			
6,0 m/s	=	21,6 km/h			

②

6 km/h	=	1,67 m/s	(1000 m : 7:30 Min.)
8 km/h	=	2,22 m/s	(1000 m : 6:40 Min.)
9 km/h	=	2,50 m/s	(1000 m : 6:00 Min.)
10 km/h	=	2,77 m/s	(1000 m : 5:27 Min.)
11 km/h	=	3,05 m/s	(1000 m : 5:00 Min.)
12 km/h	=	3,33 m/s	(1000 m : 4:37 Min.)
13 km/h	=	3,61 m/s	(1000 m : 4:17 Min.)
14 km/h	=	3,88 m/s	(1000 m : 4:00 Min.)
15 km/h	=	4,16 m/s	(1000 m : 3:45 Min.)
16 km/h	=	4,44 m/s	(1000 m : 3:32 Min.)
17 km/h	=	4,72 m/s	(1000 m : 3:20 Min.)
18 km/h	=	5,00 m/s	(1000 m : 3:09 Min.)
19 km/h	=	5,27 m/s	(1000 m : 3:00 Min.)
20 km/h	=	5,55 m/s	

③

1 km/h	=	0,28 m/s
2 km/h	=	0,56 m/s
1,5 km/h	=	0,42 m/s (0,466666 m/s)
3,6 km/h	=	1 m/s

Adrenalin- / Noradrenalinanstieg im Blutplasma unter Belastung

Sportliche Aktivität ist ein hoch stresshafter Reiz u. physiologischer Stimulus zur Aktivierung des vegetativen, sympathischen Systems mit einer **exponentiellen** Zunahme des **Adrenalin-** und **Noradrenalin**-Gehalts im Blutplasma unter ansteigender Belastungsintensität.

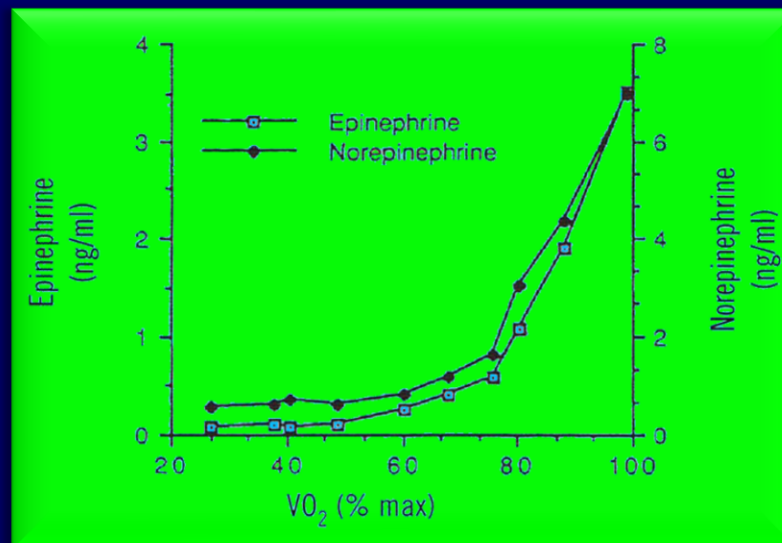
Beide korrelieren bei stufenweise ansteigender Belastung mit dem exponentiellen Laktatanstieg. Die höchste Plasmakonzentration ist bei kürzeren, hochintensiven, anaerob-laktaziden Belastungen (Kindermann, W. et al., 1982; Kindermann, W., 1987; Kjaer, M., 1989) oberhalb des maxLass als Zeichen verstärkter sympathischer Aktivierung.

Bei moderaten Ausdauerbelastungen nimmt die Noradrenalin- und Adrenalinkonzentration linear zu; zunehmende Aktivität – ab etwa 50-60% VO_2max – bewirkt einen **exponentiellen** Anstieg und kann bis zum **50fachen** ansteigen (Dishman, R.K, Jackson E.M., 2000; Kjaer, M., 1992; Mazzeo, R.S., 1991; Peronnet, F., Szabo, A., 1993; Strobel, G., 2002).

Intensive Belastungen (Gewichtheben, Sprints u.ä.) bewirken Blutplasma-Anstieg des Katecholaminniveaus (Adrenalin, Noradrenalin) bereits nach wenigen Sekunden. Schnelle Normalisierung nach Belastungsende (Jackson, E.M., 2000).

Der Anstieg ist zeit- und intensitätsabhängig und vermutlich abhängig von der Thermoregulation und dem muskulären Glykogenvorrat (Pequignot, J.M. et al., 1980; Schnabel, A. et al., 1982).

Unter Maximalbelastungen haben trainierte Sportler eine gesteigerte Katecholaminausschüttung (Dishman, R.K, Jackson E.M., 2000; Kjaer, M., 1992; Mazzeo, R.S., 1991).





Ausgewählte, laktatbezogene Ist – Soll – Daten von Fußball-Spitzen Spielern

Ist-Soll-Laktat-Schwellenwerte bei Profifußballern

- ⇒ v_4 -Streubereich: $v_4 = 3,5 - 4,7 \text{ m/s}$
- ⇒ $V_4 < 3,7 \text{ m/s}$: niedrige aerobe Ausdauer
- ⇒ $V_4 = 3,8 - 4,3 \text{ m/s}$: gute aerobe Ausdauer
- ⇒ $V_4 = > 4,3 \text{ m/s}$: sehr gute aerobe Ausdauer
- ⇒ $IANS = > 4,2 \text{ m/s}$: sehr gute aerobe Ausdauer
- ⇒ $V_4 \geq 4,5 \text{ m/s}$: hervorragende aerobe Ausdauer
- ⇒ $IANS \geq 4,4 \text{ m/s}$: hervorragende aerobe Ausdauer
- ⇒ Laktatmax (Stufentest): $6,0 - 11,5 \text{ mmol/l}$ (Nat.Spieler)
- ⇒ $VO_{2\max}$: $60 - 65 \text{ ml / kg / min}$

V_4 = Laufgeschwindigkeit bei 4 mmol/l Laktat

$IANS$ = Laufgeschwindigkeit an individ. Laktatschwelle

Laktat nach Sprint-Tests

Nationalspieler: 5 x 30m

langsame Spieler: bis $4,3 \text{ mmol/l}$

schnelle Spieler : bis $11,2 \text{ mmol/l}$

Literatur: 5 x 30m: $4 - 12 \text{ mmol/l}$ Laktat

Leichtathl. Sprinter: 100m: bis 12 mmol/l La

„Typ“-positionsbezogene (gute) Ausdauer-Leistungsfähigkeit im Fußball

Stürmer (Sprinttyp): v_4 : $3,8 - 4,1 \text{ m/s}$ (dominant Typ IIa / x –Muskelfasern; aerob begrenzt trainierbar)

Mittelfeld- und offensive Abwehrspieler: $v_4 > 4,3 \text{ m/s}$ (i.d.R. aerob gut trainierbar)

v_4 - Mittelwert einer Fußball - Spitzenmannschaft: $v_4 = 4,1 \text{ m/s}$

H. Allmann

12

Alternative Methoden zur Bestimmung und Abschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit

Kurzdarstellungen (siehe auf Verweise auf anderen Ort)

Teil 2

Alternative Methoden
der Ausdauer - Diagnostik

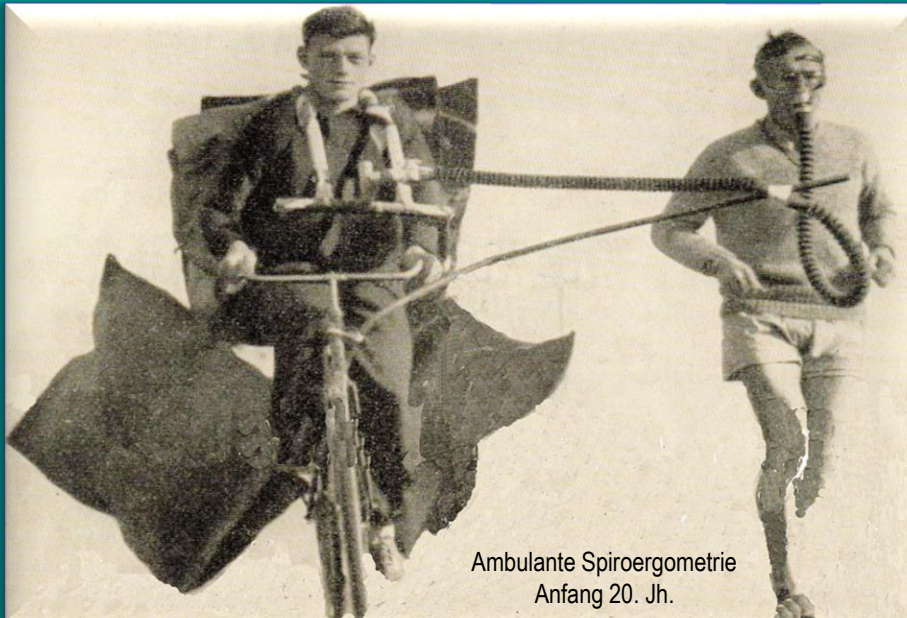
Kurzdarstellung und Validitätskritik

Spiroergometrie

Atemgasanalyse

Die **Spiroergometrie** zur belastungsinduzierten Ermittlung metabolischer Energie und Quantifizierung der dynamischen Beanspruchung war in den geschichtlichen Anfängen mit hohem methodischem Aufwand verbunden und in der heutigen Entwicklung immer noch messmethodisch aufwändiger als ein moderner Laktatstufentest bei gleichem Messziel. So hat sich die Spiroergometrie heute überwiegend in der klinischen (Leistungs)Diagnostik etabliert, während die Laktatdiagnostik mit heute relativ einfachem Handling in direkter Zeitnähe „am Tatort“ die belastungsinduzierten Kriterien des Energiestoffwechsel darstellen kann.

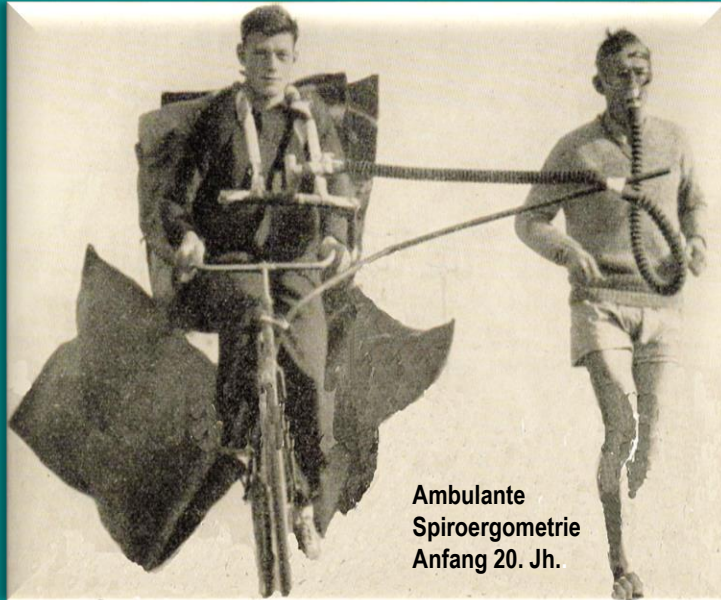
In der Bestimmung der submaximalen und maximalen Ausdauerleistung und der Trainingsbereiche konkurrieren der **Laktatstufentest** (metabolische Schwellenbestimmung) und der **spiroergometrische Test** (ventilatorische Schwellenbestimmung). Vergleichende Fahrradergometrietests mit beiden Testprotokollen (Laktatstufentest und Rampentest) zeigten in Studien deutliche Unterschiede in der maximalen Leistung, aber keine Unterschiede in der maximalen Herzfrequenz. **Zur Bestimmung der Ausdauerleistung und der Trainingsbereiche im Fußball sollte der schnellere und weniger aufwändige Laktatstufentest bevorzugt werden.** Spiroergometrische Tests (Spiroergometrie) haben sich überwiegend als klinische (Masken-)Atemgas-Einzeltests etabliert.



Ambulante Spiroergometrie
Anfang 20. Jh.

Spiroergometrische Sammlung von Atemgas eines Läufers zur Bestimmung der Sauerstoffaufnahme-fähigkeit Anfang des 20. Jahrhunderts (ambulante Spiroergometrie)

Spiroergometrische Bestimmung der (maximalen) Sauerstoffaufnahme



Spiroergometrische Bestimmung der (maximalen) Sauerstoffaufnahme

Neue portable $\text{VO}_{2\text{max}}$ -Messgeräte (2020) erlauben mittels „Breath-by-Breath“ (**BBB**, Atemzug für Atemzug) oder eine „Dynamic Micro Mixing Chamber“ (**DMC**, Mischkammertechnik) eine schnelle Messung der $\text{VO}_{2\text{max}}$. (siehe Abb.).

Der Unterschied liegt in der Messung der Fraktionen der Atemgase mit Berechnung der VO_2 und VCO_2 . **BBB**-Analysen haben eine hohe aber zeitlich verzögerte Auflösung.

Die **DMC**-Methode sammelt ausgeatmete Luft in einer Mischkammer und analysiert die O_2 - und CO_2 -Konzentration in der Kammer. Danach werden VO_2 und VCO_2 als Durchschnittswerte des Mess-Zeitraums berechnet.

Sportwissenschaftler der Universitätsklinik Ulm haben an 16 Sport-Leistungsprobanden mit einem bis zur Erschöpfung ansteigenden Fahrradergometer-Belastungstest beide Messmethoden simultan mit der BBB- und DMC-Methode gemessen.

Die Ergebnisse zeigten mit der BBB-Messung für die $\text{VO}_{2\text{max}}$ - und VCO_2 -Werte um 4,44% bzw. 2,71 % niedrigere Werte im Vergleich zur DMC-Messung. Die Autoren bestätigen damit auch frühere Messungen mit geringeren VO_2 -Werten mit der BBB-Messmethode bei hohen Belastungen.

Sie empfehlen zur möglichst genauen Messung der $\text{VO}_{2\text{max}}$ bei Leistungssportlern die **DMC-Mischkammer-Messmethode**.



Spiroergometrie (Atemgasanalyse)

Direkte, valide Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme

- Besonders in anglo-amerikanischen und skandinavischen Ländern beliebt zur Berechnung der Ausdauerleistung und Trainingsbereiche über die **max. O₂ Aufnahme** (= VO₂max [ml/min] bzw. rel. VO₂max [ml/kg/min])
- In Deutschland durch Laktatmessungen verdrängt
- Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme VO₂max = Bruttokriterium der aeroben Kapazität
- VO₂max mit **hoher** Trennschärfe „gute – schlechte“ Ausdauer in heterogenen Personengruppen, **geringe** Trennschärfe in homogenen Gruppen
- Ausbelastung notwendig; VO₂max = 15sec-Mittel der O₂-Aufnahme vor Belastungsabbruch
- Test nahezu ausschließlich im Labor; sehr teure Mobilgeräte selten (siehe Abb. oben)
- Test verläuft unter standardisierten und reproduzierbaren Durchführungsbedingungen
- Analog Laktatdiagnostik 2 spiroergometrische Schwellen: **ventilatorische Schwelle** ~ aerobe Schwelle
respiratorischer Kompensationspunkt ~ anaerobe Schwelle
- Bestimmung der Ausdauerleistung über den **respiratorischen Quotienten (RQ)** aus **Kohlendioxidabgabe** und **O₂-Aufnahme** (**valide Aussage über Stoffwechsel und muskulären Ausbelastungsgrad**)
- Berechnung der anaeroben Schwelle über das **Atemäquivalent**
- Genauere Beurteilung von Stoffwechselvorgängen möglich mittels **indirekter Kalorimetrie** (Energieumsatzmessung) mit Messung Verhältnis Kohlenhydrat- zu Fettstoffwechsel bei einer stufenbezogenen und herzfrequenzkorrelierten Belastung. Definition von Trainingsbereichen ohne Schwellenmodelle möglich.
- Standardisierter u. reproduzierbarer Testablauf bei stufenförmig ansteigender Belastung von 1 km/h pro Minute bis Ausbelastung. Anfangstempo leistungsabhängig 5 bis 8 km/h (z.B. Fußball) und Endgeschwindigkeiten bis ≥ 18 km/h. Herzfrequenzaufzeichnung bis Ausbelastung.

Spiroergometrie (Atemgasanalyse)

Nachteile für „schnelle“ und einfache Nutzung im (Leistungs)Sport

- ⇒ sehr aufwändig und teuer ! Starke Behinderung beim Laufen mit Mobilgerät
- ⇒ kaum zusätzlich relevante Aussagen über Laktatdiagnostik hinaus mit wenig Informationsgewinn; Trainingssteuerung bedingt möglich
- ⇒ Ausbelastung zur VO_{2max} -Bestimmung notwendig und motivationsabhängig
- ⇒ mobile Geräte mit Maske und “Rucksäckchen” meßfehleranfällig
- ⇒ Für allgemeine und nicht labormäßige Nutzung zur Bestimmung der Ausdauerleistungsfähigkeit im (Leistungs)Sport zu kompliziert, kaum umsetzbar und unrentabel
- ⇒ Analog Laktatdiagnostik (über 10 Schwellenmodelle) auch Schwellendiskussion in der Spiroergometrie (V-Slopemethode, respiratorischer Kompensationspunkt, Atemäquivalent)

Schätzung der maximalen Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_{2\text{max}}$) über die **Borg-Skala=RPE-Skala** (ratings of perceived exertion) zum subjektiven Belastungsempfinden.

Die **Borg-Skala** von 6-19 ist eine Methode zur **Operationalisierung der subjektiven Beanspruchung und der Ausbelastung**. Das Anstrengungsempfinden ist die subjektive Antwort auf die Reizintensität einer physikalischen Leistung, die mit einer numerischen Skala (Borg-Skala „rate of perceived exertion“, RPE) erfasst wird. Die $\text{VO}_{2\text{max}}$ als Goldstandard zur Bestimmung der kardiorespiratorischen Fitness wird valide über die etwas aufwändige Spiroergometrie bestimmt. In einer Studie von Lambrick et al. wurde die einfache Abschätzung der $\text{VO}_{2\text{max}}$ und der submaximalen Herzfrequenz über die **Borg-Skala bei 13** („etwas anstrengend“; siehe Tabelle) überprüft.

6
7 Sehr, sehr leicht
8
9 Sehr leicht
10
11 Recht leicht
12
13 Etwas anstrengend
14
15 Anstrengend
16
17 Sehr anstrengend
18
19 Sehr, sehr anstrengend

Testintervention: 11 gering trainierte Frauen wurden auf einem Fahrradergometer mittels *Rampenprotokoll* (alle 4sec +1Watt) bis zur $\text{VO}_{2\text{max}}$ ausbelastet mit Protokoll ventilatorischer Parameter und Herzfrequenz. Die **Borg-Skala** wurde während des Tests alle 2 Min. abgefragt. Ventilatorische Schwellen wurden nach der V-Slope-Methode erstellt. Zudem wurde die $\text{VO}_{2\text{max}}$ über Borg/RPE 13 und über die Herzfrequenz an Borg/RPE 13 mittels Extrapolation abgeschätzt.

Ergebnis: keine signifikanten Unterschiede zwischen Borg/RPE 13 und der ventilatorischen Schwelle hinsichtlich der Leistung und Herzfrequenz, sowie keine signifikanten Unterschiede zwischen der gemessenen $\text{VO}_{2\text{max}}$ und der über submaximale Parameter abgeschätzten $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Borg/RPE und Herzfrequenz bei Borg/RPE 13). Es wurde gezeigt, dass die gemessene $\text{VO}_{2\text{max}}$ neben anderen submaximalen Parametern bei moderaten Intensitäten und gering trainierten Probanden am besten über die Leistung an der Borg/RPE 13 abgeschätzt werden konnte.

Fazit: Ob eine ähnliche Abschätzung von $\text{VO}_{2\text{max}}$ und korrespondierende Herzfrequenz für Leistungssportler über einen bestimmten, individuell-subjektiven Anstrengungsgrad möglich ist, wäre Gegenstand weiterer Studien.

Bewertung der maximalen Sauerstoffaufnahme in ml/min/kg (nach POLAR)

Alter	SCHWACH	NIEDRIG	NA JA	MITTEL	GUT	SEHR GUT	EXZELLENT
20-24	<32	32-37	38-43	44-50	51-56	57-62	>62
25-29	<31	31-35	36-42	43-48	49-53	54-59	>59
30-34	<29	29-34	35-40	41-45	46-51	52-56	>56
35-39	<28	28-32	33-38	39-43	44-48	49-54	>54
40-44	<26	26-31	32-35	36-41	42-46	47-51	>51
45-49	<25	25-29	30-34	35-39	40-43	44-48	>48
50-54	<24	24-27	28-32	33-36	37-41	42-46	>46
55-59	<22	22-26	27-30	31-34	35-39	40-43	>43
60-65	<21	21-24	25-28	29-32	33-36	37-40	>40
20-24	<27	27-31	32-36	37-41	42-46	47-51	>51
25-29	<26	26-30	31-35	36-40	41-44	45-49	>49
30-34	<25	25-29	30-33	34-37	38-42	43-46	>46
35-39	<24	24-27	28-31	32-35	36-40	41-44	>44
40-44	<22	22-25	26-29	30-33	34-37	38-41	>41
45-49	<21	21-23	24-27	28-31	32-35	36-38	>38
50-54	<19	19-22	23-25	26-29	30-32	33-36	>36
55-59	<18	18-20	21-23	24-27	28-30	31-33	>33
60-65	<16	16-18	19-21	22-24	25-27	28-30	>30

Ausdauer-Diagnostik – „Streit“ im Fußball Laktat-Stufentest vs. Spiroergometrie (Atemgasanalyse)*

In der sportmedizinischen Ausdauer-Leistungsdagnostik ist unter trainingssteuerndem Aspekt die **LAKTAT-DIAGNOSTIK** der **SPIROERGOMETRIE** zweifelsfrei überlegen, und besonders im höheren Fußball-Leistungsbereich unverzichtbar.

*: Messung der Sauerstoff-Aufnahme und. Kohlendioxid-Abgabe (VCO_2) der Atemluft unter ansteigender Belastung

ARGUMENTE

1

Da die VO_2max anpassungsdynamisch an verschiedene Ausdauer-Trainingsmethoden ein relativ **träges** Merkmal ist, muss eine hohe fußball-spezifische Testleistung nicht zwangsläufig mit hohen VO_2max -Werten korrelieren.

Zur Ableitung intensitätsbezogener Trainingsempfehlungen ist VO_2max wenig geeignet, da bestimmte %-Werte von VO_2max die metabolische Beanspruchung nur ungenau vorhersagen kann (39).

Hohe Ausdauer-Intervall-Leistungen im Fußball korrelieren **nicht** grundsätzlich auch mit hohen VO_2max -Werten (z.B. siehe unten auch Beispiel Tennis).

Zahlreiche Studien stellen die VO_2max als **alleinigen** und zu maximierenden, physiologischen, hoch korrelierenden Leistungsparameter für die fußball-spezifische Intervall-Ausdauerleistung **kritisch infrage!**. (41 42, 43 in Datei „HIIT-HOCHINTENSIVES INTERVALLTRAINING“)

Zur Anhebung der fußballspezifischen Ausdauerleistung ist die $VO_{2\max}$ zwar ein **sehr wichtiger**, aber nicht der alleinige, leistungsbestimmende Orientierungsparameter. Messungen zeigen eine hohe Streuung im Fußball zwischen 1., 2. BL und Regionalligen.

Für **Spielervergleich** ist eine empirisch-statistische, regressionsanalytische Berechnung der relativen $VO_{2\max}$ [ml/min/kg] aus vorliegenden, linearen Regressionsgleichungen verschiedener maximaler Leistungstests (z.B. Laktat-Stufentest, Cooper-Test, YoYo-Tests u.a.) ausreichend ohne aufwändige Spiroergometrie.

Submaximale Laktat-/ Ventilatorische „Schwellen“ bilden Ausdauer-Leistungsunterschiede **schärfer** ab als $VO_{2\max}$.

Submaximale **Laktat-Leistungs-„Schwellen“** mittels standardisiertem Laktat-Stufentest sind gegenüber den spiroergometrischen, ventilatorischen Schwellen – letztere oft nicht eindeutig bestimmbar – **zuverlässiger** und **präziser** zur Trainings-Intensitätssteuerung bestimmbar.

Submaximale Parameter des Laktat-Stufentests (aerobe und anaerobe Laktat-schwellen) sind im Vergleich zu spiroergometrischen Schwellen **objektiver** und **sensitiver** zur Erfassung der im (Hoch)Leistungssport meist geringen Veränderungen der Leistungsfähigkeit.

Im deutschen Leistungssport ist die trainingswissenschaftliche Begleitung mittels Laktattests **fester Standard!** Die weltweite Schwellendiskussion ist jedoch noch nicht abgeschlossen.

Aus dem seit 1976 laufenden Laktat-Schwellenstreit (mind.10 Schwellenmodelle) mit verschiedenen Testprotokollen haben sich in Deutschland wenige mit hohem Erfahrungswert fest etabliert. **Einen einheitlichen Standard gibt es noch nicht!** (Stand 2020)

Die **Spiroergometrie** leistet keinen über den Laktatstufentest hinausgehenden Erkenntnisbeitrag. Weitere Nachteile:

- ☞ VO₂max-Bestimmung bedarf **Test-Ausbelastung(!)**
- ☞ aufwändig und teuer
- ☞ unangenehme Maskenbehinderung
- ☞ Laufbehinderung bes. beim Mobilgerät (messfehleranfällig)
- ☞ bei Laufbandtest evtl. Laufkoordinationsprobleme mit Maske
- ☞ als Feldtest unrentabel
- ☞ ventilatorische Schwellen oft nicht eindeutig bestimmbar
- ☞ Bestimmung von Trainings-Intensitätsbereichen oft schwierig
- ☞ als Labortest nur Einzeltest; Laktatstufentest als Feldtest in Gruppen möglich

Weitere Testmethoden zur Abschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit

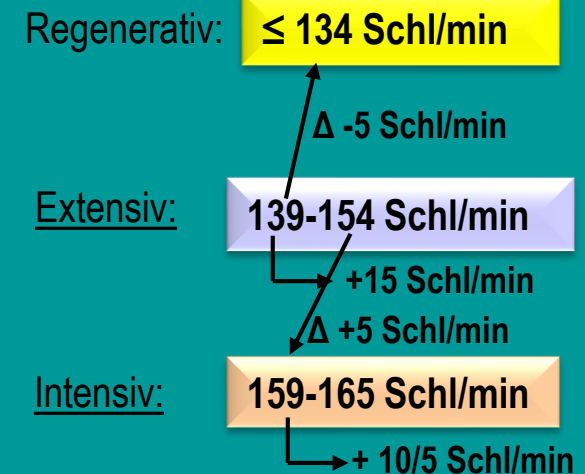
YO-YO MULTISTAGE FITNESS TEST
YO-YO INTERMITTENT RECOVERY TEST
YO-YO INTERMITTENT ENDURANCE TEST
UNIVERSITY OF MONTREAL TRACK TEST
SHUTTLE-TEST (Temposteigerung nach jedem 20+20m – shuttle)

Siehe Datei: „Leistungs(fähigkeits)diagnostik im Fußball“

Name, Vorn.	regenerativ	extensiv	intensiv
<u>Torhüter</u>			
H.T.	≤ 145	150-165	
K.O.	Ø ≤ 135 ≤ 140	Ø ≤ 140-155 145-160	
L.J.	≤ 120	125-140	
<u>Abwehr</u>			
B.M.	≤ 120	125-140	145-150
F.F.	≤ 135	140-155	160-170
F.A.	≤ 145	150-165	170-180
H.A.	≤ 140	145-160	165-175
H.R.	Ø ≤ 136 ≤ 130	Ø ≤ 141-156 135-150	155-165
M.P.	≤ 155	160-175	Ø ≤ 162-169 180-185
P.Ch.	≤ 135	140-160	165-175
W.Ch.	≤ 130	135-150	155-160
S.Ch.	≤ 135	140-155	160-165
<u>Mittelfeld</u>			
B.M.	≤ 135	140-155	160-165
B.F.	≤ 135	140-150	155-165
B.T.	≤ 115	120-130	135-145
D.S.	≤ 140	145-155	160-165
E.M.	≤ 140	145-160	165-175
F.P.	≤ 125	130-140	145-155
F.T.	Ø ≤ 133 ≤ 130	Ø ≤ 138-152 135-150	Ø ≤ 157-164 155-165
H.Th.	≤ 140	145-160	165-175
K.S.	≤ 125	130-145	150-155
O.P.	≤ 135	140-150	155-160
S.B.	≤ 130	135-150	155-160
S.B.	≤ 130	135-150	155-160
V.M.	≤ 135	140-155	160-165
<u>Sturm</u>			
B.Th.	≤ 130	135-150	155-160
K.M.	≤ 135	140-155	160-165
K.K.	Ø ≤ 132 ≤ 125	Ø ≤ 137-152 130-145	Ø ≤ 157-163 150-160
N.O.	≤ 140	145-160	165-170
P.L.	≤ 130	135-150	155-160

Herzfrequenz-Lauftrainings-
bereiche der deutschen Fußball-
Nationalspieler 2005 nach Feld-
Laktat-Stufentest (22. März 2005,
Frankfurt)

Gesamtdurchschnitt:



Laktat-Stufentest: Meyer/Kindermann, 22.3.2005 (private
Information)

Anaerobe Schwellen-%-Werte und Trainingsherzfrequenzen für verschiedene Trainings-Intensitätsbereiche

	Regenerative Intensität	Extensive Intensität	Intensive Intensität	Tempo-Dauerlauf
Individ. anaerobe Schwelle (IANS) (Dickhuth/Stegmann)	≤ 80%	80-90%	92-95%	95-101%
Fixe 4mmol/l-Schwelle (ANS) (Mader)	≤ 70%	75-85%	85-90%	92-95%
Trainings – HF (nach Kindermann)	(165-180) minus LA	(180-195) minus LA	(195-203) minus LA	
Maximale HF (HFmax-real)	70-75%	75-85%	85-90%	90-95%

Anaerobe Schwellen-%-Werte und Trainingsherzfrequenzen für verschiedene Trainings-Intensitätsbereiche (LA = Lebensalter)

Trainingsbereiche orientiert an der IAS

Trainings-bereich	Herzfrequenz relativ zur IAS	Subjektives Belastungs-empfinden	Laktat-konzentration in mmol/L
Erholung	Unter 75%	Leicht	< 1,5
Grundlagenausdauer	76-85%	Angenehm bis leicht anstrengend	1,5 – 3,0
Extensive Intervalle, GA 2	86-95%	Anstrengend	3,5 – 5,0
Intensive Intervalle	96-102%	Sehr anstrengend	> 4,0

Gore et al. 2000

Exurs

„Nur“ Herzfrequenz -Verfahren

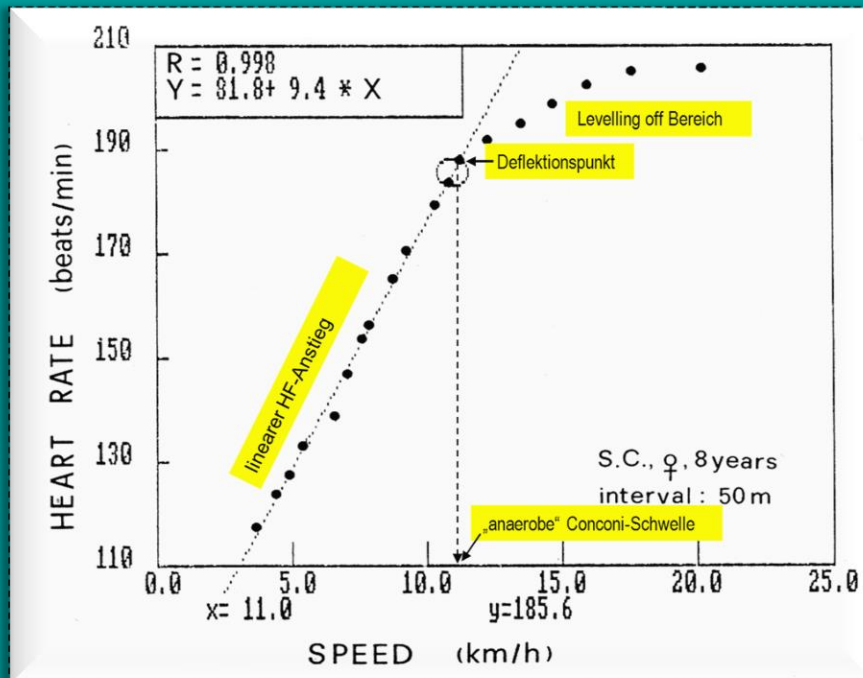
Conconi-Stufentest

Weitere ergänzende Informationen siehe „9-Ausdauertraining für Fußballspieler“ (Fol. 89-99)

- ⇒ „Nur“-Herzfrequenzverfahren
- ⇒ definierte Steigerung der Laufgeschwindigkeit über definierte Laufstrecken (z.B. alle 200m auf 400m-Laufbahn mit **HF-Messung**)
- ⇒ Ermittlung HF-Geschwindigkeitskurve (HGK) mit sog. **Deflexionspunkt** als angenommene aerob-anaerobe Schwelle

Mögliche Probleme:

- ⇒ Deflexionspunkt **nicht zuverlässig** auffindbar !
- ⇒ Conconi-Schwelle stimmt **nicht grundsätzlich** mit validen Laktat-Schwellen überein und ist physiologisch nicht begründbar
- ⇒ Conconi-Test erfüllt **nicht** die wissenschaftlichen Gütekriterien Validität, Reliabilität, Objektivität
- ⇒ Trainingsintensitätsableitungen zur Trainingssteuerung **nicht zuverlässig möglich** !



Bestimmung des Deflexionspunktes durch computergestützte Berechnung der linearen Regressionsgleichung und des Korrelationskoeffizienten an den Datenpunkten.

Von 1193 Tests Defl.Pkt. **19,9%** nicht bestimmbar
(nach R. Föhrenbach)

Conconi-Testverfahren (1)

Hypothese: der Übergang d. Herzfrequenz vom linearen in d. alineaen Bereich signalisiert den Beginn der anaeroben Energiegewinnung

Quelle: Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field-test in runners,

J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol. 52 (4): 869-873, 1982

Conconi-Testverfahren (2)

Voraussetzung: Die HF-Leistungskurve muss im Bereich höherer HF von der Linearität abweichen u. einen sog. "Abknickpunkt" (Deflektionspunkt) aufweisen.

Ergebnisse: 1. Testobjektivität "kein Knick"

von 17 Untersuchern (1983-1993, n = 1193)

unbestimmbar: n = 237 bzw. 19.9 %

Conconi-Testverfahren (3)

2. Variabilität (zwischen den Auswertern)

2.6-6.5%

3. Validität: (Korrelations-/Regressionsstatistik)

$r=0.53-0.99$

Conconi-Testverfahren (4)

Praktische Überprüfung:

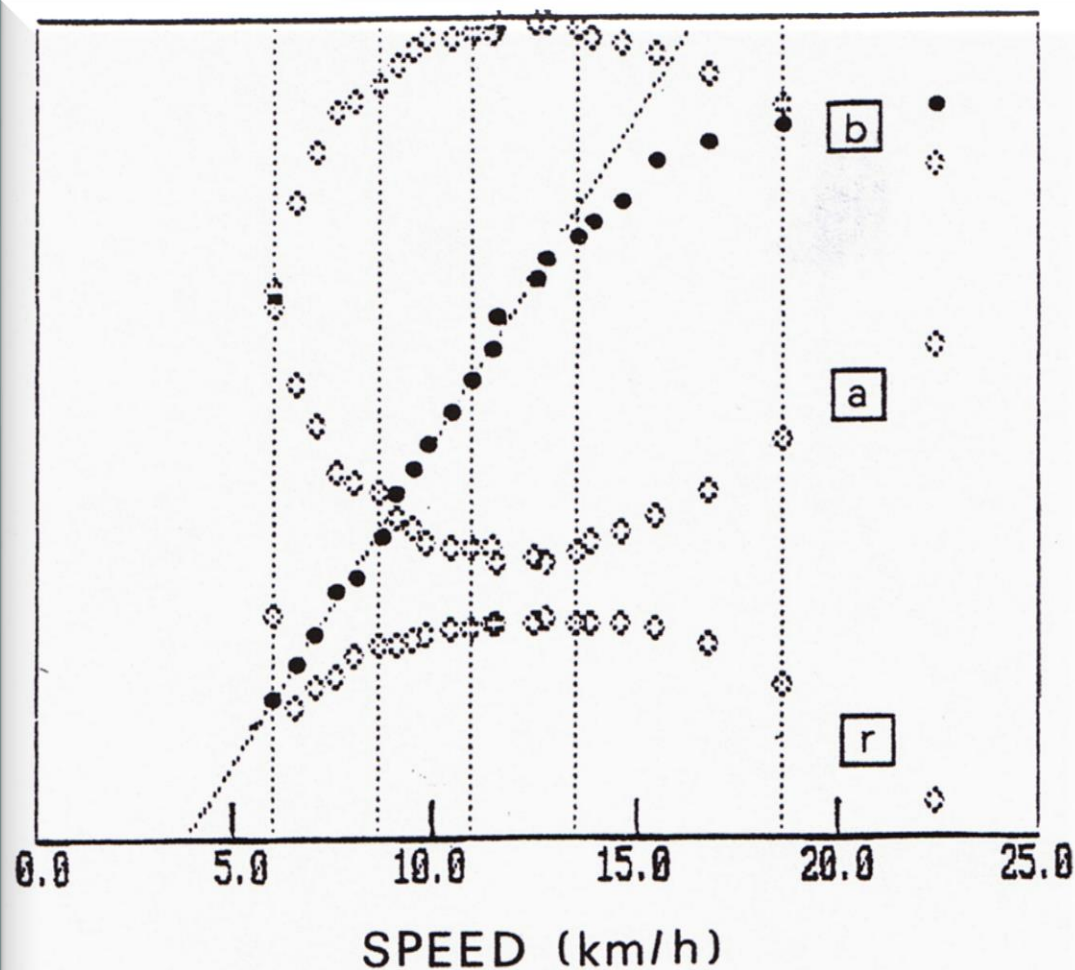
Dauerbelastungen im Bereich von 90-100% d.

Co.-Schwelle führten zu folgenden LA-Konz:

Heck: 3 - 11 mmol/l

Chwilkowski: 1.6 - 8.0 mmol/l

Meinssner: 2.2 - 7.3 mmol/l

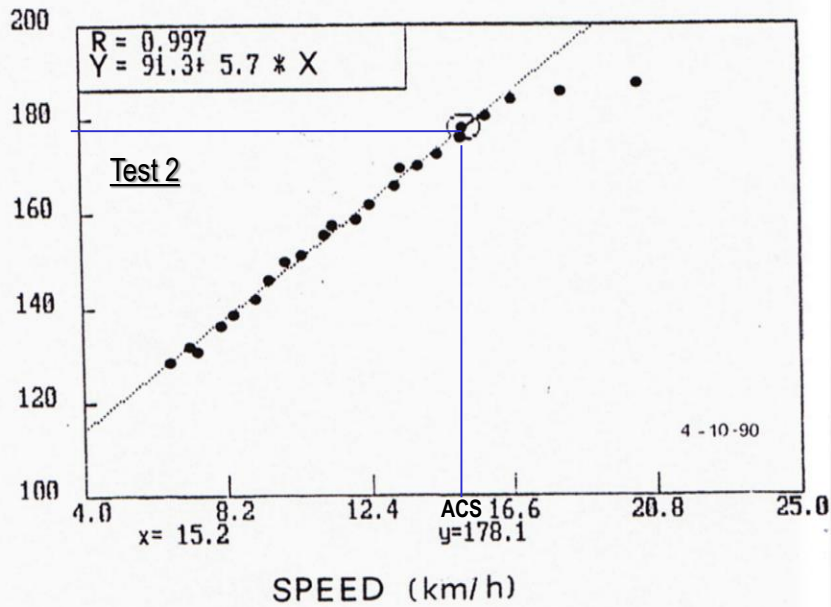
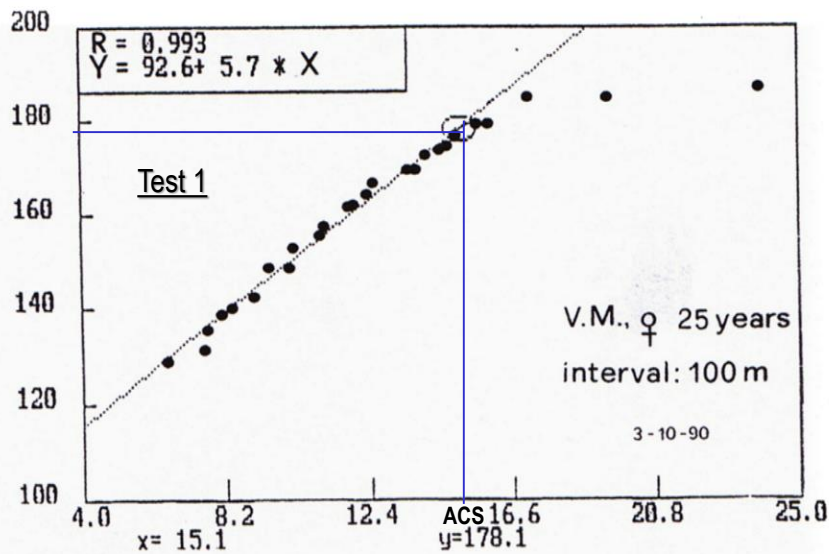


Mathematische Identifikation des Deflexionspunktes. Die Änderungen des Korrelationskoeffizienten (r), der Steigung (b) und des Achsenabschnitts auf der y -Achse (a) der Geraden können zur Identifikation des Deflexionspunktes herangezogen werden. Die lineare Beziehung geht nach 15 Datenpunkten verloren.

CONCONI-Stufentest

Ermittlung der Herzfrequenz-(Lauf-) Geschwindigkeitskurve und Deflexionspunkt

HEART RATE (beats/min)



Vergleich der Ergebnisse zweier Lauftests mit demselben Probanden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen.

CONCONI- Stufentest

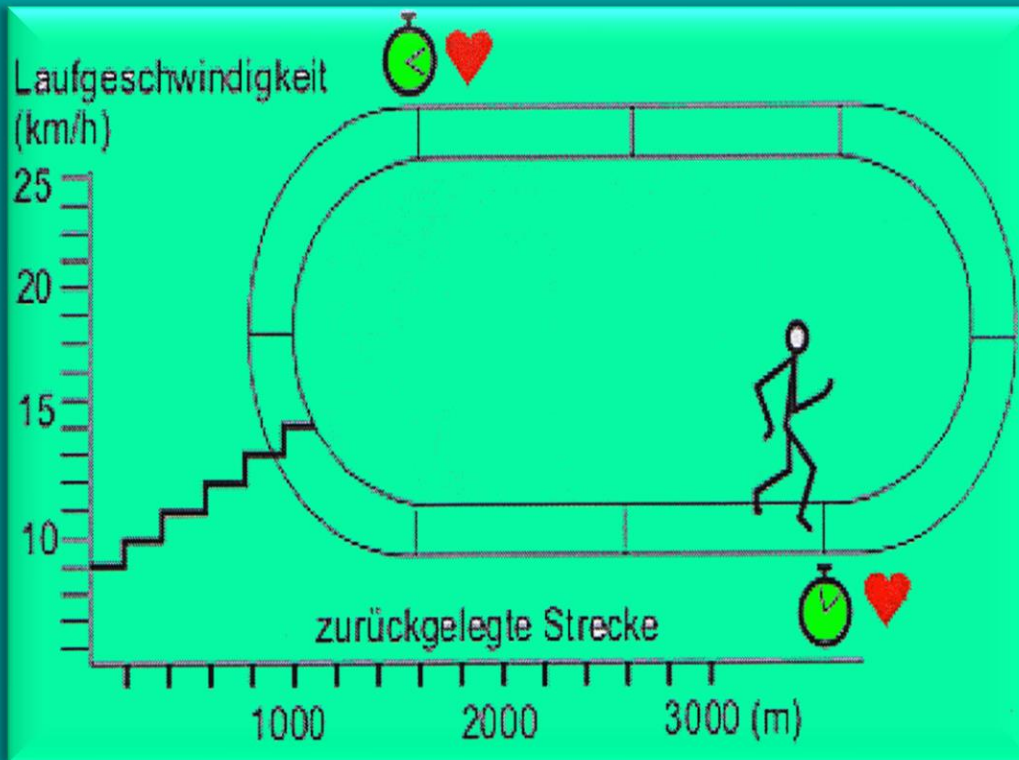
Anaerobe Conconi-Schwelle (ACS):

Test 1: 15,1 km/h (HF: 178 Schl./min)

Test 2: 15,2 km/h (HF: 178 Schl./min)

Tempotabelle für CONCONI-Test

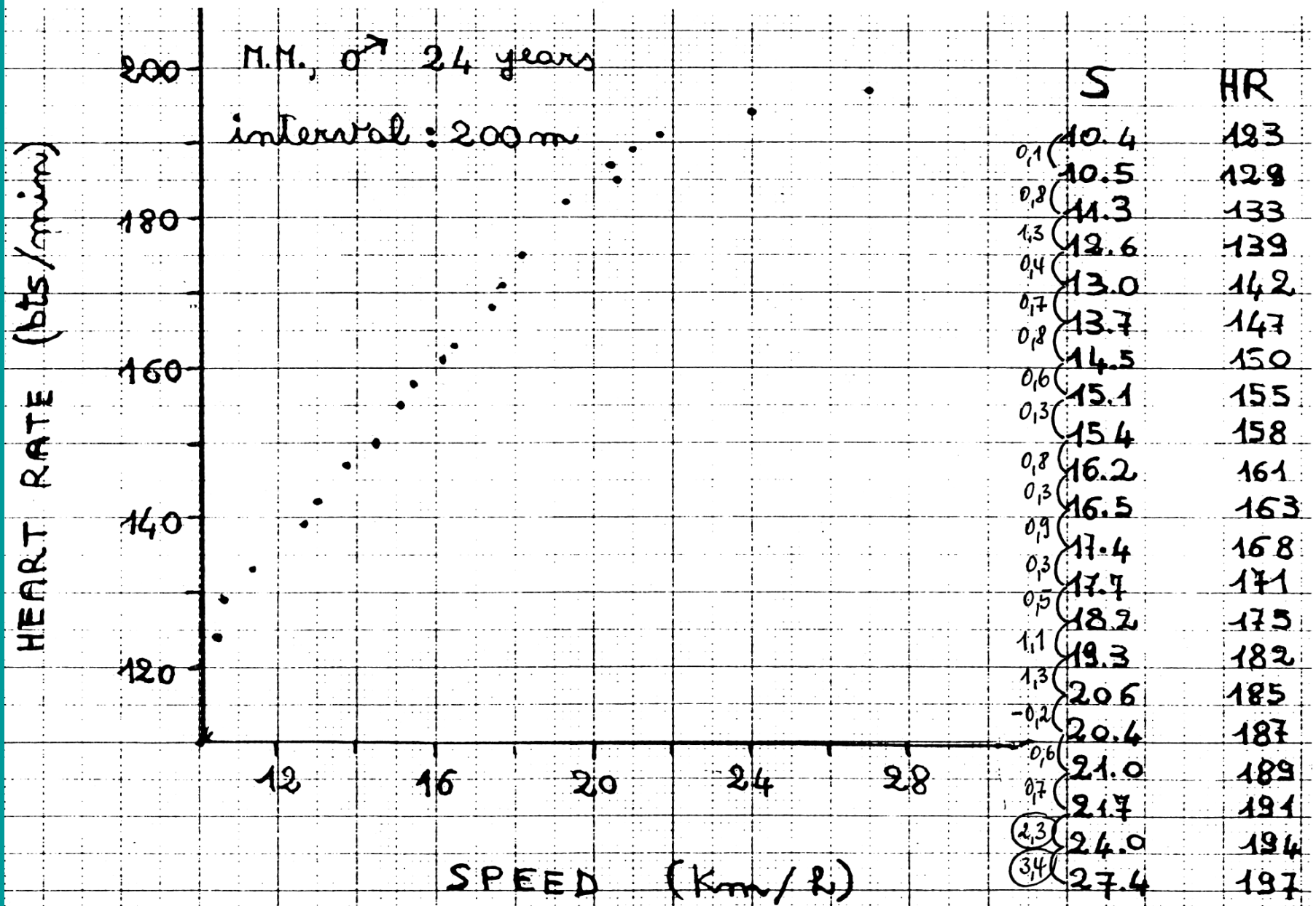
CONCONI-Laufbahntest



Quelle: M.Winkler, Aerobe und anaerobe Ausdauer, Magisterarbeit Univ. Wien

Rundenzahl	Zeit für 200 m [s]	Zeit für 50 m [s]	Pfiff bei Strecke [m]
1/2	72	18	50-100-150-200
1	70	17,5	250-300-350-400
1 1/2	68	17	450-500-550-600
2	66	16,5	650-700-750-800
2 1/2	64	16	850-900-950-1000
3	62	15,5	1050-1100-1150-1200
3 1/2	60	15	1250-1300-1350-1400
4	58	14,5	1450-1500-1550-1600
4 1/2	56	14	1650-1700-1750-1800
5	54	13,5	1850-1900-1950-2000
5 1/2	52	13	2050-2100-2150-2200
6	50	12,5	2250-2300-2350-2400
6 1/2	48	12	2450-2500-2550-2600
7	46	11,5	2650-2700-2750-2800
7 1/2	44	11	2850-2900-2950-3000
8	42	10,5	3050-3100-3150-3200
8 1/2	40	10	3250-3300-3350-3400
Unter 40 Sekunden wird das Tempo nur noch um je 1 Sekunde gesteigert!			
9	39	9,75	3450-3500-3550-3600
9 1/2	38	9,5	3650-3700-3750-3800
10	37	9,25	3850-3900-3950-4000
10 1/2	36	9	4050-4100-4150-4200
11	35	8,75	4250-4300-4350-4400
11 1/2	34	8,5	4450-4500-4550-4600
12	33	8,25	4650-4700-4750-4800
12 1/2	32	8	4850-4900-4950-5000
13	31	7,75	5050-5100-5150-5200
13 1/2	30	7,5	5250-5300-5350-5400
14	29	7	5450-5500-5550-5600
14 1/2	28	6,75	5650-5700-5750-5800
15	27	6,5	5850-5900-5950-6000
15 1/2	26	6,25	6050-6100-6150-6200
16	25	6	6250-6300-6350-6400
17	24	5,75	6450-6500-6550-6600

Original – Protokoll von Conconi - Test



Lauftest Conconi

m/h	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
m/s	2,22	2,50	2,77	3,05	3,33	3,61	3,88	4,16	4,44	4,72	5,0	5,27	5,55
0 m	7:30	6:40	6:00	5:27	5:00	4:37	4:17	4:00	3:45	3:32	3:20	3:09	3:00

L. tempo km / h	Strecken- abschnitt	Laufzeit/ Abschnitt	Gesamt- laufzeit	L. tpo km/h	Strecken- abschnitt	Laufzeit Abschnitt	G e s a m t laufzeit
9.0	5 0 0 m	0:20,0	0:20,0	14.0		0:12,86	11:03,4
9.0		"	0:40,0	14.0		"	11:16,3
9.0		"	1:00,0	14.0		"	11:29,1
9.0	2 0 0 0 m	"	1:20,0	14.0	2 2 0 0 m	"	11:41,9
9.5		0:18,9	1:38,9	14.5		0:12,41	11:54,3
9.5		"	1:57,8	14.5		"	12:06,7
9.5		"	2:16,7	14.5		"	12:19,1
9.5	4 0 0 0 m	"	2:35,6	14.5	2 4 0 0 m	"	12:30,5
10.0		0:18,0	2:53,6	15.0		0:12,0	12:42,5
10.0		"	3:11,6	15.0		"	12:54,5
10.0		"	3:29,6	15.0		"	13:06,5
10.0	6 0 0 0 m	"	3:47,6	15.0	2 6 0 0 m	"	13:18,5
10.5		0:17,15	4:04,7	15.5		0:11,61	13:30,1
10.5		"	4:21,9	15.5		"	13:41,7
10.5		"	4:39,0	15.5		"	13:53,3
10.5	8 0 0 0 m	"	4:56,2	15.5	2 8 0 0 m	"	14:04,9
11.0		0:16,36	5:12,6	16.0		0:11,25	14:16,1
11.0		"	5:28,8	16.0		"	14:27,4
11.0		"	5:45,2	16.0		"	14:38,6
11.0	1 0 0 0 0 m	"	6:01,6	16.0	3 0 0 0 m	"	14:49,9
11.5		0:15,65	6:17,2	16.5		0:10,9	15:00,8
11.5		"	6:32,9	16.5		"	15:11,7
11.5		"	6:48,5	16.5		"	15:22,6
11.5	1 2 0 0 0 m	"	7:04,2	16.5	3 2 0 0 m	"	15:33,5
12.0		0:15,0	7:19,2	17.0		0:10,59	15:44,1
12.0		"	7:34,2	17.0		"	15:54,7
12.0		"	7:49,2	17.0		"	16:05,3
12.0	1 4 0 0 0 m	"	8:04,2	17.0	3 4 0 0 m	"	16:15,9
12.5		0:14,4	8:18,6	17.5		0:10,28	16:26,2
12.5		"	8:33,0	17.5		"	16:36,5
12.5		"	8:47,4	17.5		"	16:46,7
12.5	1 6 0 0 0 m	"	9:01,8	17.5	3 6 0 0 m	"	16:57,0
13.0		0:13,85	9:15,6	18.0		0:10,0	17:07,0
13.0		"	9:29,5	18.0		"	17:17,0
13.0		"	9:43,3	18.0		"	17:27,0
13.0	1 8 0 0 0 m	"	9:57,2	18.0	3 8 0 0 m	"	17:37,0
13.5		0:13,33	10:10,5	18.5		0:09,73	17:46,7
13.5		"	10:23,9	18.5		"	17:56,5
13.5		"	10:37,2	18.5		"	18:06,2
13.5	2 0 0 0 0 m	"	10:50,5	18.5	4 0 0 0 m	"	18:15,9

11:42,0

11:54,4
12:06,8
12:19,2
12:31,6

12:43,6
12:55,6
13:07,6
13:19,6

13:31,2
13:42,8
13:54,5
14:06,1

14:17,3
14:28,6
14:39,8
14:51,1

15:02,0
15:12,9
15:23,8
15:34,7

15:45,3
15:55,8
16:06,4
16:17,0

16:27,3
16:37,6
16:47,9
16:58,1

17:08,1
17:18,1
17:28,1
17:38,1

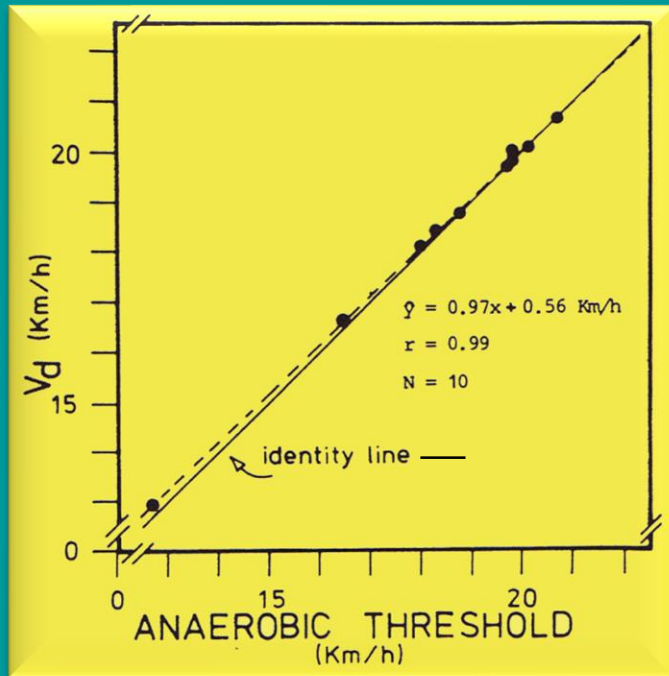
17:47,9
17:57,6
18:07,3
18:17,1

Lauftest CONCONI

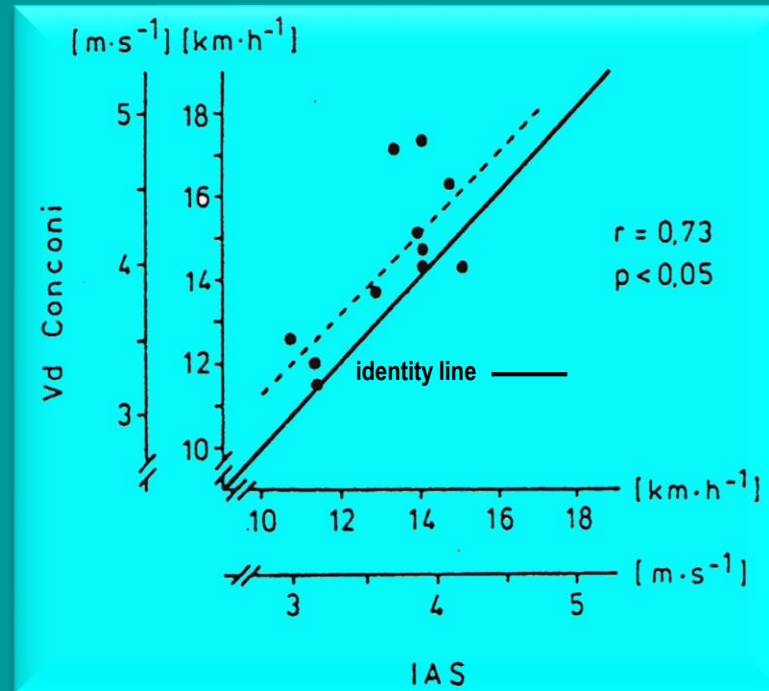
Testperson: :
Sportart :
Testzeit :

Lauftempo km / h	Strecken- abschnitt	Laufzeit/ Abschnitt	Gesamt- laufzeit
10,0	0 - 50m	0:18,0	0:18,0
10,0	50 - 100m	"	0:36,0
10,0	100 - 150m	"	0:54,0
10,0	150 - 200m	"	1:12,0
10,5	200 - 250m	0:17,15	1:29,1
10,5	250 - 300m	"	1:46,3
10,5	300 - 350m	"	2:03,5
10,5	350 - 400m	"	2:20,6
11,0	400 - 450m	0:16,36	2:37,0
11,0	450 - 500m	"	2:53,3
11,0	500 - 550m	"	3:09,7
11,0	550 - 600m	"	3:26,0
11,5	600 - 650m	0:15,65	3:41,6
11,5	650 - 700m	"	3:57,3
11,5	700 - 750m	"	4:13,0
11,5	750 - 800m	"	4:28,6
12,0	800 - 850m	0:15,0	2:43,6
12,0	850 - 900m	"	4:58,6
12,0	900 - 950m	"	5:13,6
12,0	950 - 1000m	"	5:28,6
12,5	1000 - 1050m	0:14,4	5:43,0
12,5	1050 - 1100m	"	5:57,4
12,5	1100 - 1150m	"	6:11,8
12,5	1150 - 1200m	"	6:26,2

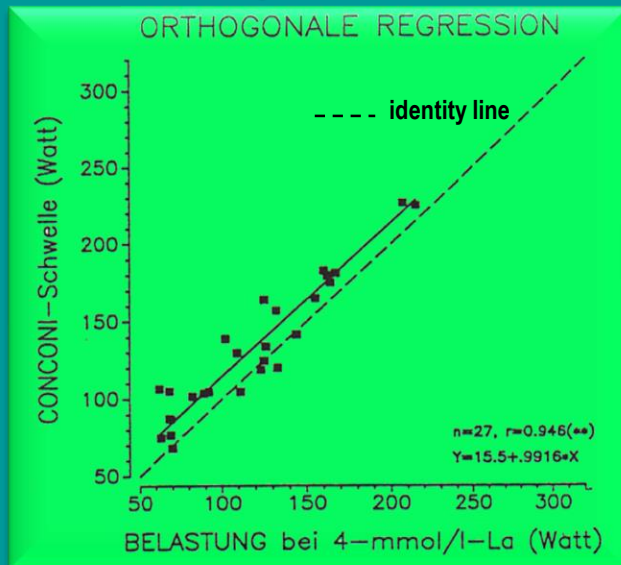
Korrelation zw. anaerober Schwelle u. Abknickgeschwindigkeit V_d
(aus **CONCONI et al.**, 1982)



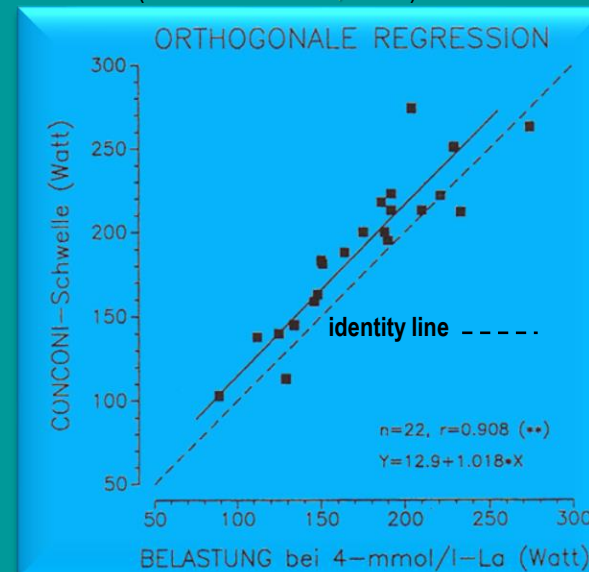
Korrelation zw. der indiv. anaeroben Schwelle (IAS-S) u. der Conconi-Schwelle
(nach **URHAUSEN et al.**, 1988)



Korrelation zw. 4mmol/l-La- u. Conconi-Schwelle bei Drehkurbelarbeit
(aus **Krüger et al.**, 1988)

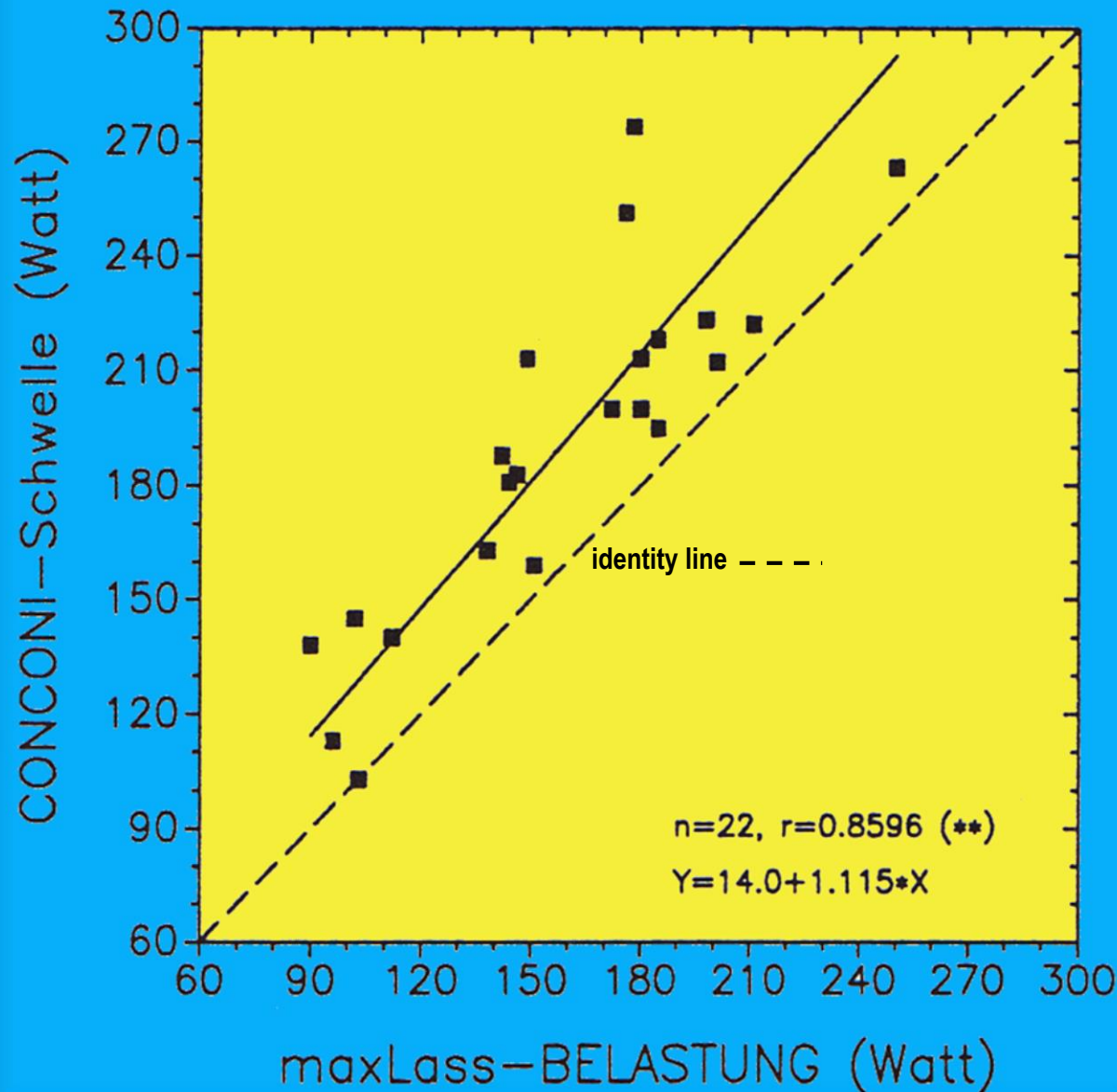


Korrelation zw. 4mmol/l-La- u. Conconi-Schwelle auf Fahrradergometer
(aus **HECK et al.**, 1989)



modif. nach H. Heck:
 Energiestoffwechsel
 und medizinische
 Leistungsdiagnostik,
 Studienbrief 8,
 Schorndorf, 1990

ORTHOGONALE REGRESSION



Korrelation und Regression zwischen maximalem Laktat-steady-state und CONCONI-Schwelle auf dem Fahrrad-ergometer.

Die CONCONI-Schwelle überschreitet deutlich das maximale Laktat-steady-state.

Bei angenommener Übereinstimmung von Conconi-Schwelle und anaerober Schwelle bzw. maxLass müssten die Schwellenbelastungen auf der Identitätslinie (Linie gleicher Werte) liegen bei hohen Korrelationskoeffizienten.

modif. nach H. Heck: Energiestoffwechsel und medizinische Leistungsdiagnostik, Studienbrief 8, Schorndorf, 1990

FAZIT

Bei angenommener Übereinstimmung von CONCONI-Schwelle mit anaerober Schwelle müssen die Schwellenbelastungen auf der Identitätslinie (Linie gleicher Werte) liegen bei hohen Korrelationskoeffizienten. Die Regressionsgerade müsste mit der Identitätslinie übereinstimmen.

Dieser Fall gilt hier nur für den Schwellenvergleich von CONCONI – nicht für die übrigen.

Die Schwellenvergleiche zeigen, dass die CONCONI-Schwelle i.d.R. deutlich über dem max. Laktat-steady-state liegt.

Der CONCONI-Test erfüllt nicht die wissenschaftlichen Gütekriterien **Validität** (Gültigkeit, Tauglichkeit der Merkmalsmessung) **Reliabilität** (Messgenauigkeit, Messzuverlässigkeit) und **Objektivität** (Untersucher-Unabhängigkeit). Die **CONCONI-Schwelle** stimmt nicht mit der Schwellendefinition für Laktat überein. Hinreichend genaue Trainingsintensitätsableitungen zur Trainingssteuerung sind nicht möglich!

„Die CONCONI-Schwelle scheint eher ein **Artefakt** des ungewöhnlichen Testdesigns zu sein“ (H. Heck)

„Man kann davon ausgehen, dass die HF während konstant ansteigender Belastung über das gesamte Intensitätsspektrum **nahezu linear** ansteigt. Lediglich im Bereich des Maximums kann es zu einem leichten Abflachen, dem sog. „**Levelling-off**“ kommen“.

W. Kindermann, Schwellentraining für Jedermann, in: leichtathletiktraining, 1, 2008

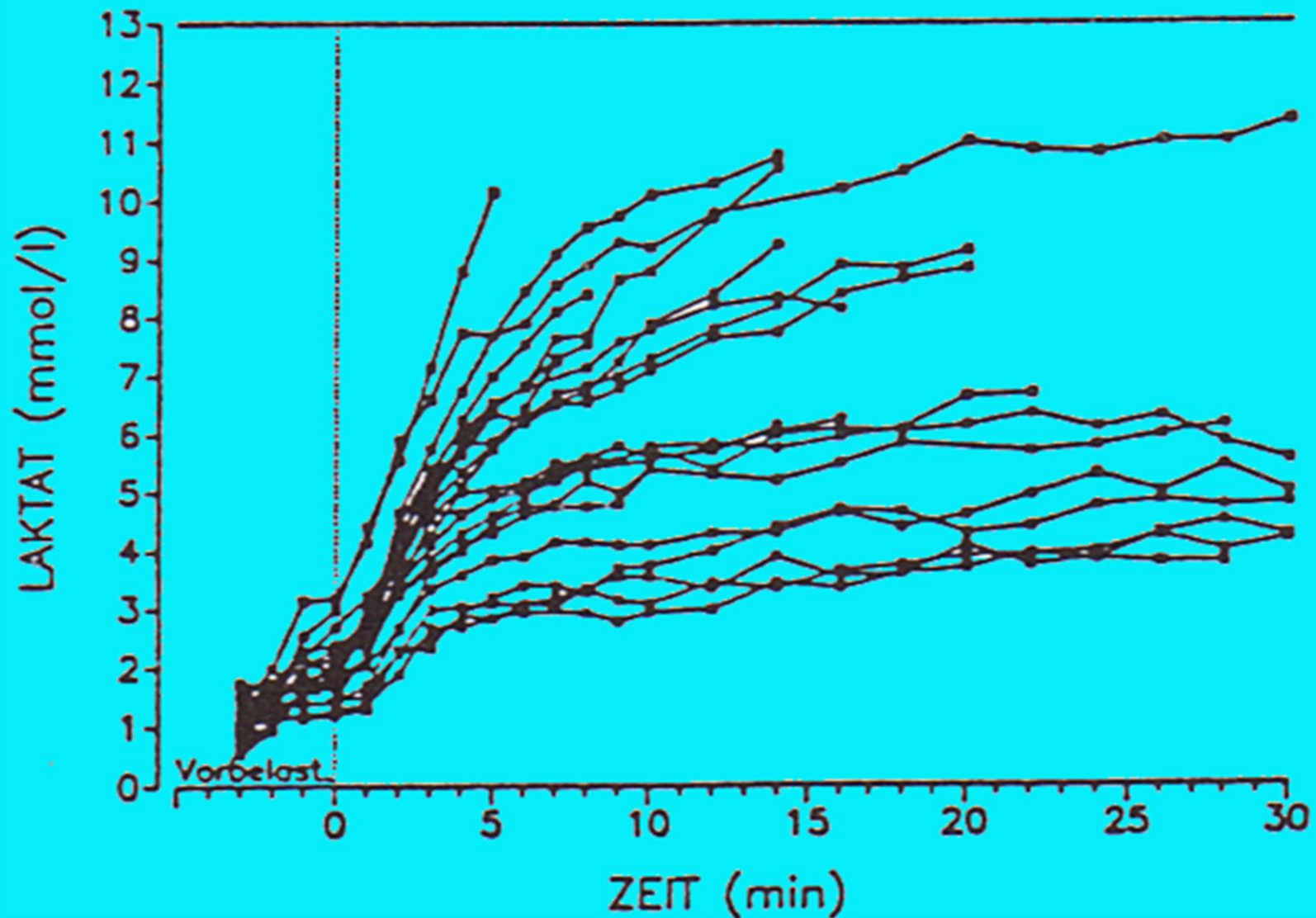
Aufgrund des weiten metabolischen Spektrums ist **keine** naturwissenschaftlich begründbare dosierte Trainingssteuerung möglich. Die sog. Conconi-Schwelle stimmt **nicht** mit Laktatschwellen überein, so dass aus methodischer Sicht auf den Begriff „Schwelle“ in diesem Zusammenhang verzichtet werden sollte

H. Heck 1989

30 Min. Dauerbelastungen auf Fahrradergometer mit 90-100% Conconi-Schwelle ergaben Laktatwerte von 3-11mmol/l, mit 80-90% Laktatwerte von 2-10mmol/l. 30 min. Schwimmen mit Conconi-Schwellengeschwindigkeit ergab 1,6-8mmol/l Laktat.

H.Heck,1990; Chwilkowski, 1988

LAKTAT während Dauerbelastung mit Intensitäten zwischen >90 und 100% der CONCONI-Schwelle



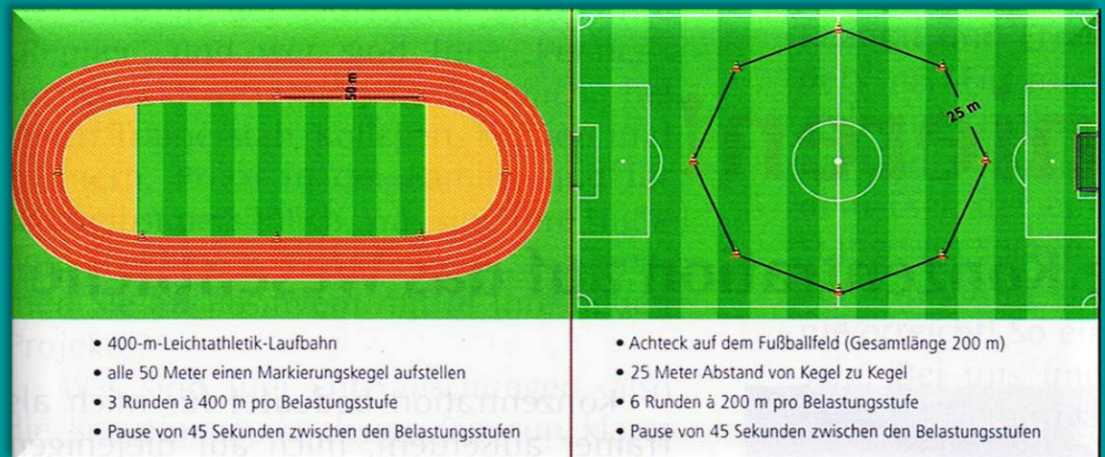
Ausgewählte CONCONI-Tests mit nicht bestimmbar Deflektionspunkten

Methodik	Gesamt [n]	Unbestimmbar [n]	Unbestimmbar [%]	Autoren	
Fahrrad	34	4	11,8	Aigner und Muss	(1983)
Fahrrad	43	12	27,9	Ribeiro et al.	(1983)
Fahrrad	72	8	11,1	Gaisl et al.	(1985)
Laufband	10	3	30,0	Jakob et al.	(1987)
Fahrradfeldtest	7	7	100,0	Jakob et al.	(1987)
Fahrradfeldtest	14	4	28,6	Jakob et al. bzw. Arratibel et al.	(1988)
Lauffeldtest	28	9	32,1	Urhausen et al.	(1988)
Fahrrad	12	11	91,7	Urhausen et al.	(1988)
Fahrrad	13	7	53,8	Kuipers et al.	(1989)
Laufband	3	3	100,0	Kuipers et al.	(1989)
Ruderergometer	28	2	7,1	Meissner	(1988)
Laufband	10	1	10,0	Tiberi et al.	(1988)
Drehkurbel	40	13	32,5	Krüger et al.	(1988)
Labor-/Feldtests	113	43	38,1	Hofmann et al.	(1988)
Fahrrad	440	84	19,1	eigene Befunde	

Ausdauer- und Trainingssteuerung ohne Laktatmessung nur durch Herzfrequenzmessung

STUFEN-FELDTTEST **ohne** Laktatbestimmung zur Abschätzung der anaeroben Schwelle und der Lauf-Intensitätsbereiche, orientiert an der **maximalen Herzfrequenz (HFmax)**

nach E. Wienecke



Schritt 1: Ermittlung der maximalen Herzfrequenz (HFmax) mittels Pulsuhr

- ➡ Die Spieler laufen 4 Spielfeld-Längsbahnen, danach 6 Bahnen mit Temposteigerung, danach 2 Bahnen Sprint
- ➡ Bestimmung der HFmax und Werteintragung in ein Protokoll-Formular
- ➡ Festlegung von HF-Bereichen als %-Werte der HFmax:
 - 70%** HFmax=Regenerationstraining,
 - 80-85%** HFmax = extensives Ausdauertraining,
 - 90%** HFmax=intensives Ausdauertraining
- ➡ Die HF bei 90% HFmax wird als HF-Wert an der aerob-anaeroben Schwelle angenommen

Schritt 2: Lauf-Feldstufentest mit Pulsuhr ohne Laktatmessung

400m-Laufbahn mit 50m-Markierungen, 3 Runden=1200m pro Belastungsstufe
oder: 8-Eck auf Fußballfeld, Seitenlänge=25m, 6 Runden=1200m pro Belastungsstufe
Akkustische Zeitsignale nach je 50m bzw. 25m entsprechend Stufengeschwindigkeit

➡ **Test-Parameter:** Stufen-Länge=1200m (bis 6 Stufen), Stufenhöhe-Höhe: 0,4m/s, St.-Pause: 45sec, HF-Wert nach jeder Stufe (Pulsuhr mit HF-Aufzeichnung oder HF-Sichtbeobachtung mit Notiz)

➡ **Kombination Ergebnis Stufentest (Laufgeschwindigkeit, HF) und Intensitätsbereiche aus HFmax:**

- ① grobe Zuordnung der HF der Trainingsbereiche (aus HFmax) zu Laufgeschwindigkeit des Stufentests zur Ermittlung des Lauftempos für die jeweilige Trainingsintensität
- ② Zirka-Zuordnung des 90% HFmax-Wertes als angenommene HF an aerob-anaerober Schwelle zur Laufgeschwindigkeit des Stufentests;
damit **angenommene (!) grobe Bestimmung der aerob-anaeroben Schwelle.**

Lauf-Feldstufentest ohne Laktatbestimmung

nach E. Wienecke

Geschwindigkeitsstufen			50-m-Zeit
1	2,5 m/s	entspricht 6:40 min auf 1000 m	20 sec
2	2,9 m/s	entspricht 5:50 min auf 1000 m	17 sec
3	3,3 m/s	entspricht 5:00 min auf 1000 m	15 sec
4	3,8 m/s	entspricht 4:20 min auf 1000 m	13 sec
5	4,2 m/s	entspricht 4:00 min auf 1000 m	12 sec
6	4,6 m/s	entspricht 3:40 min auf 1000 m	11 sec

Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit

Beispielhaftes Ergebnis des Feldstufentests

Geschwindigkeitsstufen	Herzfrequenz
2,5 m/s	128
2,9 m/s	139
3,3 m/s	146
3,8 m/s	164
4,2 m/s	178
4,6 m/s	191

Ergebnisse des Tests zur Bestimmung der maximalen Herzfrequenz (Bsp.)

- **Regenerationstraining:**
136 Schläge/Minute = 70 % der max. HF
 - **extensives Ausdauertraining:**
156 bis 165 Schläge/Minute = 80 bis 85 % der max. HF
- Die individuelle anaerobe Schwelle liegt in diesem Beispiel bei einer Geschwindigkeit von 4,2 m/s.

Maximale Herzfrequenz	intensives Ausdauertraining 90 % der max. HF	extensives Ausdauertraining 80 – 85 % der max. HF	Regeneration 70 % der max. HF
220	198	176 – 187	154
215	194	172 – 183	151
210	189	168 – 179	147
205	185	166 – 174	144
200	180	160 – 170	140
195	176	156 – 166	137
190	171	152 – 162	133
185	167	148 – 158	130
180	162	144 – 153	126
175	156	140 – 149	123
170	153	136 – 145	119
165	149	132 – 140	116
160	144	128 – 136	112

Anzahl der 400-m-Runden			1		2		3		4		5	
50	100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	m m/s
20	40	01:20	02:40	04:00	05:20	06:40	08:00	09:20	10:40	12:00	13:20	2,50
19,5	39	01:18	02:36	03:54	05:12	06:30	07:48	09:06	10:24	11:42	13:00	2,56
19	38	01:16	02:32	03:48	05:04	06:20	07:36	08:52	10:08	11:24	12:40	2,63
18,5	37	01:14	02:28	03:42	04:56	06:10	07:24	08:38	09:52	11:06	12:20	2,70
18	36	01:12	02:24	03:36	04:48	06:00	07:12	08:24	09:36	10:48	12:00	2,78
17,5	35	01:10	02:20	03:30	04:40	05:50	07:00	08:10	09:20	10:30	11:40	2,86
17	34	01:08	02:16	03:24	04:32	05:40	06:48	07:56	09:04	10:12	11:20	2,94
16,5	33	01:06	02:12	03:18	04:24	05:30	06:36	07:42	08:48	09:54	11:00	3,03
16	32	01:04	02:08	03:12	04:16	05:20	06:24	07:28	08:32	09:36	10:40	3,13
15,5	31	01:02	02:04	03:06	04:08	05:10	06:12	07:14	08:16	09:18	10:20	3,23
15	30	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	3,33
14,5	29	00:58	01:56	02:54	03:52	04:50	05:48	06:46	07:44	08:42	09:40	3,45
14	28	00:56	01:52	02:48	03:44	04:40	05:36	06:32	07:28	08:24	09:20	3,57
13,5	27	00:54	01:48	02:42	03:36	04:30	05:24	06:18	07:12	08:06	09:00	3,70
13	26	00:52	01:44	02:36	03:28	04:20	05:12	06:04	06:56	07:48	08:40	3,85
12,5	25	00:50	01:40	02:30	03:20	04:10	05:00	05:50	06:40	07:30	08:20	4,00
12	24	00:48	01:36	02:24	03:12	04:00	04:48	05:36	06:24	07:12	08:00	4,17
11,5	23	00:46	01:32	02:18	03:04	03:50	04:36	05:22	06:08	06:54	07:40	4,35
11	22	00:44	01:28	02:12	02:56	03:40	04:24	05:08	05:52	06:36	07:20	4,55
10,5	21	00:42	01:24	02:06	02:48	03:30	04:12	04:54	05:36	06:18	07:00	4,76
10	20	00:40	01:20	02:00	02:40	03:20	04:00	04:40	05:20	06:00	06:40	5,00
9,5	19	00:38	01:16	01:54	02:32	03:10	03:48	04:26	05:04	05:42	06:20	5,26
9	18	00:36	01:12	01:48	02:24	03:00	03:36	04:12	04:48	05:24	06:00	5,55
8,5	17	00:34	01:08	01:42	02:16	02:50	03:24	03:58	04:32	05:06	05:40	5,88

Tempo-Tabelle
für Laktat-Lauf-
Feldstufentest

modif. nach E. Wienecke, 2007:
Fit gewinnt, Philippka-Verlag

KRITIK

Rückschlüsse auf den Hauptbezugssparameter Laktat an den einzelnen HF-%Werten von HFmax zur Bestimmung von Trainingsintensitätsbereichen einschließlich aerob-anaerober Schwelle sind mit hinreichender Genauigkeit grundsätzlich **nicht möglich. Die wissenschaftlichen Gütekriterien sind nicht erfüllt.**

„Selbst wenn die maximale Herzfrequenz annähernd genau ermittelt wird, ist das Herunterrechnen auf bestimmte Prozentanteile, in denen ein Ausdauer-/ Fettstoffwechseltraining stattfindet, ebenso wie bei den bekannten Formeln, z.B. 180-Lebensalter **ungenau**, da der optimale Stoffwechselbereich unbekannt ist; ferner ist die individuelle Dynamik der Herzfrequenz in diesem Bereich sehr unterschiedlich. **Die wissenschaftlichen Gütekriterien werden nicht erfüllt**“.

Persönliche Notiz von R. Föhrenbach an H. Allmann

Die Bestimmung der Laufgeschwindigkeit (an) der aerob-anaeroben Schwelle und der Laufgeschwindigkeiten der einzelnen Lauf-Intensitätsbereiche nur **als %-Werte der maximalen Herzfrequenz ist keine exakte, allenfalls nur (sehr) grobe** Bestimmungsmethode.

Die Frage ist: welcher (nichtwissenschaftliche) Genauigkeitsgrad ist z.B. im Fußball und anderen Mannschaftssportarten noch tolerabel, wenn es z.B. um eine nur grob homogene Bildung von Leistungsgruppen geht. Hier ist die herzfrequenzbezogene Gruppenbildung der einzelnen Intensitätsbereiche eine **noch vertretbare, relativ einfache Methode**.

Die Annahme der aerob-anaeroben Schwelle bei einer Laufgeschwindigkeit bei 90% der maximalen Herzfrequenz ist zwar ein grober Referenzwert, der nach vielen Analysen (ca. 3000 von Allmann) von Laktatstufentests im Mittel in einem relativ kleinen, interindividuellen Werteintervall liegt. Für die Bildung einer Trainings - Leistungsgruppe für verschiedene Intensitätsbereiche mit Spielern unterschiedlicher, aber ähnlicher Schwellenwerten, ist der grobe 90% HF-Referenzwert von **geringerer** Bedeutung. Der „**Wienecke Stufentest**“ ohne individuelle Laktatmessung zur Schwellenbestimmung ist **unter diesen Rahmenbedingungen eine praktikable Methode im Ausdauertraining**. Er umgeht den sehr aufwändigen, teuren und auswertintensiven (Software, Erfahrung!) Laktat-Stufentest!

Für ein **individuelles Einzeltraining** ist diese nicht stoffwechselbezogene Bestimmung der intensitätsbezogenen Laufgeschwindigkeiten zu grob und **nicht zu empfehlen!**

Zum Laktat-Test „konkurrierende“ NUR-HERZFREQUENZ- VERFAHREN

- ➡ mit theoretisch oder real ermittelten, maximalen Herzfrequenzen
- ➡ mit prozentualen Trainingsherzfrequenz-Ableitungen einschließlich abgeleiteter Verfahren zur aerob-anaerober Schwellenbestimmung

werden bzgl. Zuverlässigkeit und Alternative zu Laktat-Stufentests in der Literatur kontrovers als **grob fehlerhaft, unvalide (nicht tauglich)** und **wissenschaftlich unseriös** diskutiert.

Im (Hoch-)Leistungssport sind solche Tests **unbrauchbar (!)**; als „einfaches“, praktikables u. **grobes** Testverfahren kann es dennoch in bestimmten Anwendungssituationen sinnvoll sein.

Bewertung beider Stufentests mit und ohne Laktatbestimmung

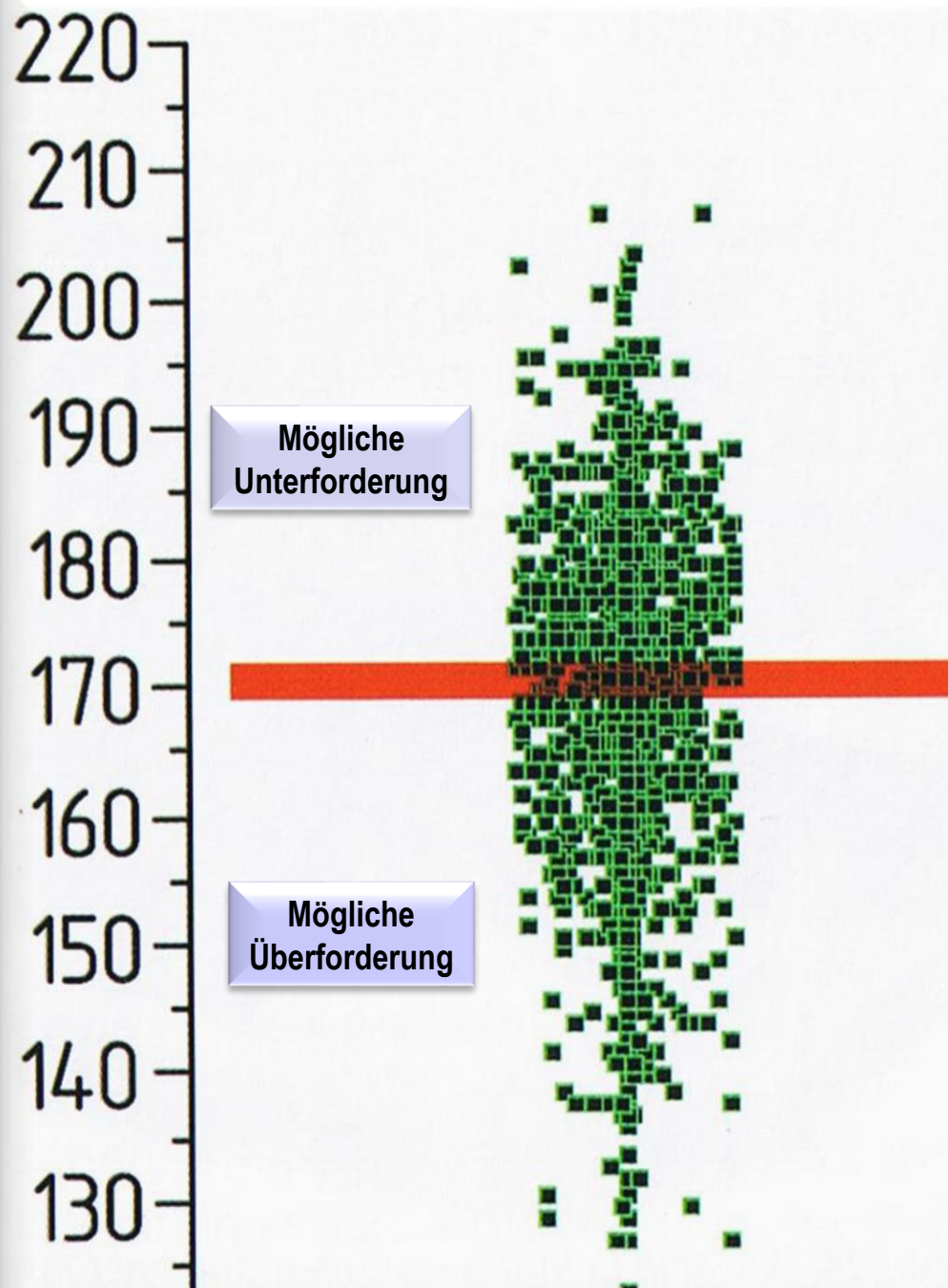
Neben dem **VORTEIL** der individuell intensitätsbezogenen **Trainingssteuerung** werden als **NACHTEILE** beiden Tests angelastet:

Für einen einfachen „Schnelltest“ **zu aufwändig**

Zu **geringe „Abbildung“** und Nähe zur fußballspezifischen Intervall-Ausdauer

Speziell Laktat-Stufentest:

- **keine Standardisierung**, zu viele Schwellenmodelle und Auswerteverfahren
- **uneinheitliche Testprotokolle** verhindern Testvergleichbarkeit
- zu **geringe Testvergleichbarkeit** bei verschiedenen Testern und Auswertern
- nur für **Testerfahrene (!)**, bes. in der Testauswertung
- Testdurchführung i.d.R. in Sportmedizinischen Einrichtungen und Olympiastützpunkten
- für Mannschaften **zu teuer!**
- (zu) hohe qualitative, testmethodische Anforderungen



Herzfrequenz an der anaeroben Schwelle
bei 1423 Dreißigjährigen

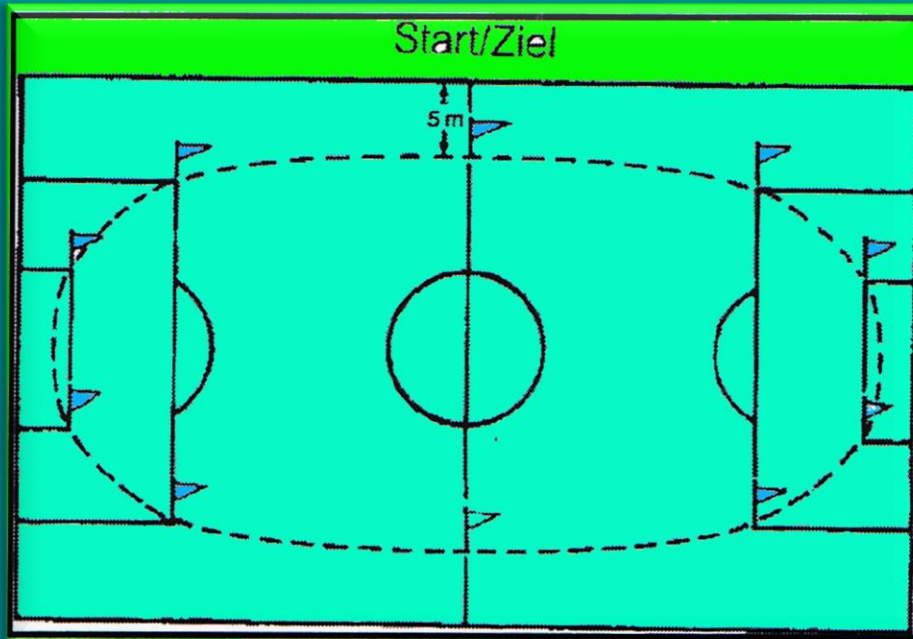
Die Streubreite zeigt die grundsätzliche
Ungenauigkeit einer Berechnung der
Trainingsherzfrequenz über theoretische
Faustformeln.

Hier: $200 - \text{Lebensalter}$ (rote Linie)

Cooper Test

- ⇒ maximaler 12-Minutenlauf bis subjektive Ausbelastung
- ⇒ Messkriterium: zurückgelegte Laufstrecke
- ⇒ Laktatwerte 8-18 mmol/l Blut (je nach Ausdauerleistung und Muskelfasertyp)
- ⇒ Trainingssteuerung nicht möglich, Trainingsintensitäten nicht ableitbar
- ⇒ wenn Herzfrequenz bei Ausbelastung gemessen, Trainingsintensitäten grob ableitbar
- ⇒ (negative) Einflussfaktoren: Tempogestaltung (!), Motivation, Tagesform/-zeit, Wetter u. a.
- ⇒ deshalb Ausdauerleistungsfähigkeit nur grob abschätzbar
- ⇒ Laufstrecke muss nach „genetischem“ Ausdauertyp beurteilt werden
- ⇒ bei max. gelaufener Distanz mit Laktat > 4mmol/l gibt es über Normwerttabelle eine regressionsanalytische Abschätzung der VO_{2max}

Spielfeld-Laufstrecke für 12 Minuten COOPER-Test (statt 400m Laufbahn)



Durchführung 400m Laufbahn

- Startpunkte: 0m, 100m, 200m, 300m
- Gruppen von 10-13 Spielern
- Spieler u. Assistenten auf Startpunkte verteilen
- Spieler mit Pulsuhren
- Abbruch nach Ausbelastung



Genehmigter Abdruck aus
„fussballtraining“, 6+7, 2013

Coopertest: Leistungen, Sauerstoffaufnahme und Leistungsbewertungen verschiedener Autoren

Leistungskategorie	Zurückgelegte Strecke [m]	
	Männer	Frauen
Sehr gut	Über 3200	Über 2800
Gut	2801–3200	2401–2800
Mittelmäßig	2401–2800	2001–2400
Schlecht	2000–2400	1600–2000
Sehr schlecht	Unter 2000	Unter 1600

Bewertung für Spielsportarten (Hagedorn et al., 1985)

Zurückgelegte Strecke [m]	Leistungskategorie
Über 3350	Extrem überdurchschnittlich
3260–3350	Überdurchschnittlich
3160–3259	Durchschnittlich
3060–3159	Unterdurchschnittlich
Unter 3060	Extrem unterdurchschnittlich

Bewertung für männliche Spitzenfußballer (Geese, 1990)

Zurückgelegte Strecke [m]	Leistungskategorie
Bis 2800	Schwach
2800–3000	Mäßig
3000–3200	Befriedigend
3200–3300	Gut
3300–3400	Sehr gut
Über 3400	Überragend

Bewertung für den höheren Amateur- und Profibereich im Fußball
(Weineck, 1992)

Altersklasse	D-Jugend (10-12 J.)	C-Jugend (12-14 J.)	B-Jugend (14-16 J.)	A-Jugend (16-18 J.)
Kondition				
Ausgezeichnet	2850 m	2950 m	3050 m	3150 m
Sehr gut	2650 m	2750 m	2850 m	2950 m
Gut	2250 m	2350 m	2450 m	2550 m
Befriedigend	1850 m	1950 m	2050 m	2150 m
Mangelhaft	1250 m	1350 m	1450 m	1550 m
Ungenügend	Weniger als die unter mangelhaft zurückgelegte Strecke			
(Mädchen in allen Klassen etwa 200 Meter weniger als Jungen)				

Bewertung für Jugendliche

Weineck J. 2004

Man beachte die unterschiedlichen Bewertungsbegriffe u. die zeitlich ansteigende Streckenerhöhung

VO2max [ml/kg/min]

Männer

Frauen

≥ 70	+	≥ 61
69		60
65		56
60	0	51
56		47
51		42
47	-	38
42		33

Meter in 12 min	Sauerstoff- aufnahme (ml/min/kg)	Meter in 12 min	Sauerstoff- aufnahme (ml/min/kg)
1500	28,2	2700	48,6
1600	29,9	2800	50,4
1700	31,6	2900	52,1
1800	33,8	3000	53,8
1900	35,0	3100	55,5
2000	36,7	3200	57,2
2100	38,4	3300	58,9
2200	40,1	3400	60,6
2300	41,7	3500	62,3
2400	43,4	3600	64,0
2500	45,1	3700	65,7
2600	46,9	3800	67,4

Relative maximale Sauerstoffaufnahme nach SCHNÜRCH

Die statistisch-regressionsanalytische Abschätzung der VO2max [ml/min] bzw. **rel VO2max** [ml/kg/min] wird beim **Cooper-Test** durch die wissenschaftlich evaluierte Formel:

$$22,35 \cdot \text{max. Laufstrecke in km} - 11,29$$

errechnet.

Die obere Tabelle gibt einen Bewertungshinweis für Männer und Frauen.

Nur bei Messung der Ausbelastungs-Herzfrequenz ist eine grobe, individuelle Trainingssteuerung über Intensitätsbereiche möglich .

Quelle: J. Brings: Gut vorbereitet in die Saisonvorbereitung. Fußballtraining, 5 (2016)

EXKURS

Die maximale Herzfrequenz (HFmax)

HFmax gilt in der sportmedizinischen Diagnostik als valides **Ausbelastungskriterium**.

Zur (theoretischen) Abschätzung der HFmax gelten folgende Faustformeln:

HFmax = 220 – Lebensalter (für Laufband) American Heart of Association

oberhalb 40 Jahre wird HFmax unterschätzt; mittlerer Fehler: bis 15 Schl./Min.

HFmax = 200 - Lebensalter (für Fahrradergometrie)

HFmax = 207 – (Alter x 0,7) (männerspezifisch)

HFmax = 206 – (Alter x 0,88) (frauenspezifisch)

HF_{Training} = RHF + (220 – $\frac{3}{4}$ Alter – RHF) x BF (Karvonen-Formel)

RHF = Ruhe-HF

BF = Belastungsfaktor : 0,60 = Einsteiger

0,65 = unregelmäßiges Training

0,70 = regelmäßiges Training

0,75 = Leistungssportler

Fettstoffwechseltraining: je minus 10 Schl./Min.

Formeln nach: U. Such, T. Meyer: Die maximale Herzfrequenz. Deutsche Zschr. für Sportmed. Jg.61, 12 (2010), 310-311

K. Roecker et al.: Heart rate prescriptions from performance and anthropometrical characters. Med. Sci.Sports Exerc. 34 (2002) 881-887

M. Gulati et al.: Heart rate response to exercise stress testing in asymptomatic women. Circulation 122 (2010) 130-137

Limitierende Kriterien der Aussagekraft von HFmax (theor.) und der Ableitung von Trainingsempfehlungen mit %-Werten der HFmax ist die **individuelle Variabilität** mit z.T. **nicht unerheblicher Streuung**.

Hochausdauertrainierte können eine geringere HF haben als Untrainierte (statistisch nicht signifikant).

Ruhe-HF ab 20. Lebensalter sinkt um 6-8 Schl/Min alle 10 Lebensjahre unabhängig vom Trainingszustand.

Erreichen der HFmax ist von Belastungsart und Größe der beanspruchten Muskulatur abhängig und wird i.d.R. nur bei **Laufen** und **Rudern** erzielt. **Radfahren (aufrecht sitzend)**: ca. 10% geringere HFmax (geringere Muskelbelastung und lokale Muskelermüdung vor kardiopulmonale Ausbelastung). Nur hochtrainierte Radfahrer HFmax $\approx$ Laufen, **Schwimmen**: geringste HFmax nach Ausbelastung.

HFmax ist in erster Linie altersabhängig, weniger von Trainingszustand und Geschlecht.

Erreichen der HFmax ist auch motivationsabhängig!

Die „wahre“, absolute (höchste) HFmax wird nur erreicht bei dynamischen Belastungen unter Einsatz größtmöglicher Muskelmasse und maximaler Anstrengung.

Unter Belastung steigt die HF **linear** mit der Leistung an und kann nahe an der Maximalleistung **abflachen** (Abflachpunkt = „point of deflexion“ ist bei CONCONI-Test Kriterium für „anaerobe Schwelle“; **Kritik**: stimmt in vielen Fällen nicht mit der Laktatschwelle überein und ein solcher Punkt muss nicht zwangsläufig auftreten).

Betarezeptorenblocker senken die HF unter Belastung und HFmax um ca.30 Schl/Min.

„Die Herzfrequenz unterliegt größeren täglichen Schwankungen und kann deshalb nicht so präzise sein wie das Laktat. **Die Steuerung der Laufgeschwindigkeit auf Basis des Laktatleistungsdiagramms ist genauer, als wenn man das Training lediglich mit Hilfe der Herzfrequenz plant und durchführt**“.

Lauf-Trainingsbereiche und Herzfrequenz

Kindermann 1998	Kindermann 1998	Literatur
Trainingsbereich	Herzfrequenz-Bereich	% HFmax(real)
Regenerativer u. niedrig extensiver DL-Bereich	165-LA bis 180-LA	70-75%
Extensiver DL-Bereich (GA1)	180-LA bis 195-LA	75-85%
Intensiver DL-Bereich (GA2)	195-LA bis 203-LA	85-90%
Tempo-DL (GA2) Intervall-Läufe		90-95%

LA = Lebensalter

Trainingspulsfrequenzen zur Verbesserung der aeroben Ausdauerleistung

Alter	RHF	Trainingsherzfrequenz (THF) Fahrrad/Rudergerät				Trainingsherzfrequenz (THF) Laufband/Stepper				Delta Herzfrequenz			
		0,60	0,65	0,70	0,75	0,60	0,65	0,70	0,75	0,60	0,65	0,70	0,75
20	60	144	151	158	165	147	154	162	169	3	3	4	4
	65	146	153	160	166	149	156	163	170	3	3	3	4
	70	148	155	161	168	151	158	165	171	3	3	4	3
	75	150	156	163	169	153	160	166	173	3	4	3	4
	80	152	158	164	170	155	161	168	174	3	3	4	4
25	60	141	148	155	161	145	152	159	166	4	4	4	5
	65	143	150	156	163	147	154	160	167	4	4	4	4
	70	145	151	158	164	149	155	162	168	4	4	4	4
	75	147	153	159	165	151	157	163	170	4	4	4	5
	80	149	155	161	166	153	159	165	171	4	4	4	5
30	60	138	145	151	158	143	149	156	163	5	4	5	5
	65	140	146	153	159	145	151	158	164	5	5	5	5
	70	142	148	154	160	147	153	159	166	5	5	5	6
	75	144	150	156	161	149	156	161	167	5	6	5	6
	80	146	152	157	163	151	156	162	168	5	4	5	5
35	60	135	141	148	154	140	147	154	160	5	6	6	6
	65	137	143	149	155	142	149	155	162	5	6	6	7
	70	139	145	151	156	144	150	156	163	5	5	6	7
	75	141	147	152	158	146	152	158	164	5	5	6	6
	80	143	148	154	159	148	154	160	165	5	6	6	6
40	60	132	138	144	150	138	145	151	158	6	7	7	8
	65	134	140	146	151	140	146	153	159	6	6	7	8
	70	136	142	147	153	142	148	154	160	6	6	7	7
	75	138	144	149	154	144	150	156	161	6	6	7	7
	80	140	146	151	156	146	152	158	164	6	6	7	7
45	60	129	135	141	146	136	142	148	155	7	7	7	9
	65	131	137	142	148	138	144	150	156	7	7	8	8
	70	133	139	144	149	140	146	151	157	7	7	7	8
	75	135	140	145	150	142	147	153	158	7	7	8	8
	80	137	142	147	152	144	149	154	160	7	7	8	8
50	60	126	132	137	143	134	140	146	152	8	8	9	9
	65	128	133	139	144	136	141	147	153	8	8	8	9
	70	130	135	140	145	138	143	149	154	8	8	9	9
	75	132	137	142	146	140	145	150	156	8	8	8	10
	80	134	139	144	149	142	147	152	158	8	8	9	9
55	60	123	128	134	139	131	137	143	149	8	9	9	10
	65	125	130	135	140	133	139	145	150	8	9	10	10
	70	127	132	137	141	135	141	146	152	8	9	9	11
	75	129	134	138	143	137	142	148	153	8	8	10	10
	80	131	136	141	146	139	144	149	155	8	8	9	9
60	60	120	125	130	135	129	135	141	146	9	10	11	11
	65	122	127	132	136	131	137	142	148	9	10	10	12
	70	124	129	133	138	133	138	144	149	9	9	11	11
	75	126	130	135	139	135	140	145	150	9	10	10	11
	80	128	132	136	140	137	141	146	151	9	9	10	10
65	60	117	122	127	131	127	132	138	143	10	10	11	12
	65	119	124	128	133	129	134	139	145	10	10	11	12
	70	121	125	130	134	131	136	141	146	10	11	11	12
	75	123	127	131	135	133	138	142	147	10	11	11	12
	80	125	129	133	137	135	139	143	147	10	10	11	11
70	60	114	119	123	128	125	130	135	141	11	11	12	13
	65	116	120	125	129	127	132	137	142	11	12	12	13
	70	118	122	126	130	129	133	138	143	11	11	12	13
	75	120	124	128	131	131	135	140	144	11	11	12	13
	80	122	126	130	134	133	137	141	145	11	11	12	13

THF (Fahrrad/Rudergerät): $RHF + [(220 - \text{Alter} - RHF) \times BF]$

THF (Laufband/Stepper): $RHF + [(220 - 3/4 \text{ Alter} - RHF) \times BF]$

Karvonen-Formel

Fettstoffwechseltraining: je minus 10 Schläge/Minute !!!

THF = Trainingsherzfrequenz

RHF = Ruheherzfrequenz

BF = Belastungsfaktor

BF: 0,60 = Einsteiger

0,65 = unregelm. Training

0,70 = regelm. Training

0,75 = Leistungssportler

Tab. Voreinstufung nach Ruheherzfrequenz und Lebensalter (TRUNZ 2001; IPN 2004)

Alter/ Hf_{Ruhe}	< 20	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	> 70
< 50 S/min	140 S/min	135 S/min	130 S/min	125 S/min	115 S/min	110 S/min	105 S/min
50-59 S/min	145 S/min	140 S/min	135 S/min	125 S/min	120 S/min	115 S/min	110 S/min
60-69 S/min	145 S/min	145 S/min	135 S/min	130 S/min	125 S/min	120 S/min	115 S/min
70-79 S/min	150 S/min	145 S/min	140 S/min	135 S/min	130 S/min	125 S/min	120 S/min
80-89 S/min	155 S/min	150 S/min	145 S/min	140 S/min	135 S/min	125 S/min	125 S/min
> 90 S/min	160 S/min	155 S/min	150 S/min	145 S/min	135 S/min	130 S/min	125 S/min



Herzfrequenz-Variation

Die Firma **Polar** (finnischer Herzfrequenz-Meßgeräte-Hersteller) hat einen Pulsmesser entwickelt, der u.a. die aerobe und anaerobe Schwelle über die Abstände zwischen den Herzschlägen (Herzfrequenz-Variation) „näherungsweise“ bestimmen soll = „**OwnZone**“ als Bereich eines „**angemessenen aeroben Trainings**“.

Vergleichende Untersuchungen an Läufern führten **nicht annähernd** in einen „angemessenen“ aeroben Trainingsbereich.

Dieses Verfahren lässt **keine** Rückschlüsse auf ein Training im aeroben Stoffwechselbereich zu.

Untersuchungen von Schulz, H., A. Horn, A. Geiger, P. Arning, S. Fröhlich und H. Heck:
Evaluation der Intensitätssteuerung mit der Polar OwnZone bei Laufbelastungen;
Abstracts: dvs- Symposium, Sektion Trainingswissenschaft, 19.-21.06.2003, München
Untersuchungen von Schulz, H., P. Platen, U. Hartmann, M. Niessen, R. Wöstmann, V. Grabow
und H. Heck: dvs-Symposium, Sektion Trainingswissenschaft, 19-21.06.2003, München

1. Die mittleren Laktatkonzentrationen wiesen bei Dauerbelastungen eine **große individuelle Variation** auf.
2. Eine individuelle Trainingssteuerung mit der „Own-Zone“ ist insbes. bei hohen Intensitätsvorgaben **nicht möglich**.
3. Die Herzfrequenzvariation (HRV) weist intraindividuell ein unterschiedliches Reaktionsmuster auf.
4. Generelle Aussagen für die Anwendung der HRV zur Beurteilung des Regenerationszustandes ist **nicht möglich**.