

Zur Wechselwirkung aerober und anaerober Stoffwechselmechanismen während sportlicher Belastungen in der Kurzeitenausdauer unter besonderer Berücksichtigung der leichtathletischen Disziplin 400 m (Langsprint)

D I S S E R T A T I O N (B)

zum Erlangen des akademischen Grades
doctor scientiae philosophiae (Dr. sc. phil.)

vorgelegt dem Wissenschaftlichen Rat der
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

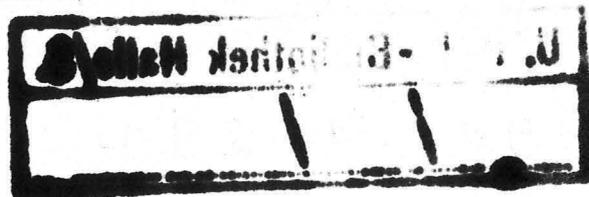
von Dr. rer. nat. Olaf Sonntag,
geb. am 01. 09. 1942 in Stolp

Gutachter:

1. Prof. Dr. sc. nat. K.-H. BERGK
2. Prof. Dr. sc. phil. W.-D. HESS
3. Prof. Dr. sc. med. P. G. LINKE
4. Prof. Dr. sc. med. G. NEUMANN
5. Prof. Dr. sc. paed. M. REISS

Halle, 31. Dezember 1990

06. 12. 1991



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	5
2. Wissenschaftliche Problematik, Arbeitshypothesen und Zielstellung	6
2.1. Ausgewählte sportmethodische und bioenergetische Grundlagen des Trainingsprozesses	6
2.1.1. Leistungsstrukturelle Aspekte in der Kurzzeitausdauer unter besonderer Berücksichtigung des 400m-Laufes	9
2.1.2. Charakterisierung der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik in der Kurzzeitausdauer	11
2.1.3. Ausgewählte Aspekte der energetischen Sicherung der Muskelkontraktion in der Kurzzeitausdauer	18
2.1.4. Ausgewählte muskuläre Merkmale	30
2.2. Der Einsatz des Lactats als biochemischer Parameter in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik	32
2.3. Die wissenschaftlichen Arbeitshypothesen	35
2.4. Die Zielstellung und die Aufgaben zur Prüfung der einzelnen Arbeitshypothesen	36
3. Untersuchungsmethodik	38
3.1. Zeitraum der Untersuchungen	38
3.2. Probanden	38
3.3. Die Zeitmessung	38
3.4. Die Bestimmung der Blutlactatkonzentration	39
3.5. Die Anwendung der Creatinkinase-Aktivität im Serum in der Leistungsdiagnostik	41
3.6. Der Einsatz der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung	42
3.7. Die Atemgasanalyse	43
3.8. Mathematische und statistische Verfahren	44
3.9. Die Laufbanduntersuchungen	44
3.9.1. Untersuchungen zum aeroben Energiestoffwechsel	45
3.9.2. Untersuchungen zu anaerob-lactaciden Energiestoffwechsel	57
3.9.3. Untersuchungen zum anaerob-alactaciden Energiestoffwechsel	66
3.10. Wettkampf- und Trainingsmitteluntersuchungen einschließlich Feldtests	72

	Seite
3.10.1. Wettkampfuntersuchungen	72
3.10.2. Trainingsmitteluntersuchungen	75
3.10.3. Feldtests	75
4. Ergebnisse	80
4.1. Untersuchungen zum Geschwindigkeitsverhalten im 400m-Wettkampf	80
4.2. Untersuchungen zur aeroben Energiebereitstellung	85
4.3. Die aerobe Leistungsfähigkeit in bezug auf die 400m-Wettkampfleistung	97
4.4. Untersuchungen zur anaerob-lactaciden Energiebereitstellung	101
4.4.1. Das Verhalten des anaeroben Ausdauerkoeffizienten im Trainingsabschnitt der aeroben Ausdauer	103
4.4.2. Der Adaptionsprozeß der glykolytischen Energiebereitstellung im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer	107
4.4.3. Ergebnisse aus Untersuchungen zur Creatinkinase-Aktivität im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer	116
4.4.4. Ergebnisse aus Untersuchungen zur intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeit	118
4.4.5. Weitere Ergebnisse aus Trainingsmitteluntersuchungen	127
4.5. Ergebnisse aus Untersuchungen zur anaerob-alactaciden Energiebereitstellung	130
4.6. Der Zusammenhang zwischen dem Anstieg (Konstante b) und dem v_{L4} -Wert der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung	136
5. Diskussion	142
5.1. Die Untersuchungsmethodik in der leichtathletischen Disziplingruppe Sprint/Hürden	142
5.1.1. Leistungsdiagnostische Untersuchungen zur aeroben Energiebereitstellung	142
5.1.2. Leistungsdiagnostische Untersuchungen zur anaerob-lactaciden Energiebereitstellung	145
5.1.3. Leistungsdiagnostische Untersuchungen zur anaerob-alactaciden Energiebereitstellung	148
5.2. Der Stellenwert der aeroben Leistungsfähigkeit im 400m-Langsprint	153

	Seite
5.3. Die Bedeutung und der Einfluß der anaeroben Energiebereitstellung auf die Entwicklung des Leistungsvermögens im 400m-langsprint	158
5.4. Die Wechselwirkung der aeroben und anaeroben Stoffwechselmechanismen während sportlicher Belastungen in der Kurzzeitausdauer	164
5.5. Zum Geschwindigkeitsverhalten im 400m-Langsprint	169
5.6. Der Zusammenhang von sportmedizinischer Leistungsdiagnostik und wissenschaftlicher Trainingssteuerung in der Kurzzeitausdauerdiagnostik	171
6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen für die Trainingspraxis	179
7. Literatur	186
Anhang	
1. Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	2
2. Reaktionswege zur ATP-Resynthese	5
3. Einsatzmöglichkeiten des biochemischen Parameters "Lactat"	6
4. Zu ausgewählten Problemen der Wiederherstellung des Organismus nach Belastung	8
5. Tabellen	10
6. Abbildungen	57

1. Einleitung

Die Diagnostik des Leistungsstandes der sporttreibenden Bevölkerung hat sowohl für die Förderung von Gesundheit und Arbeitsfähigkeit als auch für die Entwicklung von sportlichen Leistungen im Spitzensport nach wie vor eine grundsätzliche Bedeutung.

Geht man davon aus, daß sich gegenwärtig im internationalen Sport eine dynamische Leistungsentwicklung vollzieht, so ist es durchaus eine anspruchsvolle Aufgabe, das theoretische Fundament zur Steigerung der Leistungsfähigkeit des Menschen noch weiter auszuprägen.

Die vielfältigen Ergebnisse, die in der leichtathletischen Disziplin 400 m (Langsprint) erhalten worden sind sowie der Aufbau von Spitzenathleten in einem Zeitraum von etwa 10 Jahren gaben dazu Anlaß, im Grenzbereich sportmedizinisch-biowissenschaftlicher und trainingswissenschaftlicher Aufgabensstellung eine Thematik zur Diagnostik und ihrer Befundbewertung in der Kurzzeitausdauer (KZA) unter besonderer Berücksichtigung des 400m-Langsprints zu bearbeiten.

2. Wissenschaftliche Problematik, Arbeitshypothesen und Zielstellung

Die Diagnostik energetischer Leistungsgrundlagen ist eine unentbehrliche Voraussetzung für eine sportmedizinisch-biowissenschaftliche Einflußnahme auf das Training. So haben sich in den letzten Jahren besonders HOLLMANN und HETTINGER (1980), MARGARIA (1982), HOLLMANN (1983), SAHLIN (1986), SCHÜRCH (1987) sowie NEUMANN und SCHÜLER (1989) mit der sportmedizinischen Diagnostik und der Bewertung der Veränderungen von Meßgrößen des Muskelstoffwechsels im Trainingsprozeß befaßt.

In diesen Arbeiten haben die energetischen Prozesse der Kurzeitenausdauer oftmals nur eine untergeordnete Rolle eingenommen. Die Wechselwirkung aerober und anaerober Energiestoffwechselmechanismen blieben zum größten Teil unberücksichtigt und die energetischen Entwicklungsvorgänge vom Nachwuchsathleten bis zum erfolgreichen Spitzenathleten bildeten kein zentrales Thema.

Es ist bekannt, daß die Kurzeitenausdauerleistungen neben einer sehr hohen Aktivierung des Zentralnervensystems für die energetische Sicherung der Muskelkontraktion eine schnelle Resynthese des Adenosintriphosphats (ATP) erfordern. Das bedeutet, daß die anaeroben Prozesse der Energiewandlung dominieren. Erwartungsgemäß wird für den Bewegungsvollzug ein hoher Anteil schnell kontrahierender Muskelfasern rekrutiert (NEUMANN und SCHÜLER, 1989). Im Hinblick der Charakterisierung der sportmedizinischen Diagnostik in der Kurzeitenausdauer werden in der wissenschaftlichen Problemstellung einige Aspekte der Leistungsstruktur und der energetischen Leistungsvoraussetzungen sowie ausgewählte muskuläre Merkmale vorgestellt. Darüber hinaus wird der Einsatz des Lactats als ein wichtiger und noch nicht in allen seinen Möglichkeiten ausgeschöpfter biochemischer Parameter in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik begründet.

2.1. Ausgewählte sportmethodische und bioenergetische Grundlagen des Trainingsprozesses

Der Zusammenhang von sportmedizinischer Leistungsdiagnostik und wissenschaftlicher Trainingssteuerung hat im Trainingsprozeß für die Entwicklung der sportlichen Leistungsfähigkeit einen hohen Stellenwert erreicht. Die Wirksamkeit kann nach KETTMANN und REISS (1985) nur dann gesichert werden, wenn das

System

- Leistungs- und Trainingsplanung (Zielvorgaben),
- Leistungsdiagnostik,
- Trainingsanalyse und
- Trainingsentscheidung

in enger Zusammenarbeit zwischen Trainingswissenschaft und Sportmedizin funktionsfähig gestaltet wird.

Geht man davon aus, daß die sportliche Leistung allgemein als eine zentrale Kategorie eingeordnet wird (SCHNABEL, 1975), steht die Beziehung zwischen

- sportlicher Leistung,
- Leistungsfähigkeit,
- Leistungsentwicklung und
- sportlichem Training

im Vordergrund des sportmethodischen und sportmedizinisch-biowissenschaftlichen Interesses zur Ausprägung von Weltspitzenleistungen (SCHNABEL, 1986).

Nach HARRE (1986) wird die sportliche Leistungsfähigkeit vor allem durch Trainings- und Wettkampfbelastungen erhöht, wobei unter Trainingsbelastung folgende miteinander verbundene Sachverhalte verstanden werden:

- Die zielorientierte und aufgabenbezogene Belastungsanforderung
Sie wird bestimmt durch die grundlegenden Belastungsfaktoren, wie Belastungsumfang und -intensität, Körperübungen und Bewegungsgüte ihrer Ausführung, Belastungsverfahren und -struktur.
- Der Prozeß der Bewältigung der Belastungsanforderung
(Auslösen von biologischen und psychischen Anpassungserscheinungen).
- Der Belastungsgrad
Er wird bestimmt durch die Wechselwirkung zwischen der konkreten Größe bzw. Art der Belastungsanforderung, der individuellen Leistungsfähigkeit und der Belastungsverträglichkeit und wird durch jeden einzelnen Faktor der Belastungsanforderung beeinflusst.

Die Auseinandersetzung mit den Belastungsanforderungen bzw. mit den Beanspruchungsfolgen im Trainingsprozeß (als Belastbarkeit bezeichnet) ist das Grundanliegen zur Ausprägung der sportlichen Leistung.

"Die Belastbarkeit des Sportlers ist also neben der Belastung ein wesentlicher leistungsbeeinflussender Faktor. Sie ist die Fähigkeit des Organismus, auf Anforderungen im Training mit zweckmäßigen Anpassungen zu reagieren"

(NEUMANN, 1987).

Im wesentlichen besteht zwischen Belastung, Anpassung und Leistungssteigerung im Trainingsprozeß folgende enge Wechselwirkung (FINDEISEN et al., 1980; HARRE, 1986; BISANZ und GERISCH, 1988):

- Belastungsreize lösen nur dann Anpassungsvorgänge aus, wenn sie eine bestimmte Intensitätsschwelle, die von der individuellen Leistungsfähigkeit bzw. der Belastbarkeit des Sportlers bestimmt wird und einen notwendigen Mindestumfang aufweisen, überschreiten. Die Anpassung und die Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Organismus hängt somit im wesentlichen von der Qualität und von der Quantität der Belastungsanforderung ab.
- Die Anpassung des Organismus erfolgt immer in der von der Belastungsstruktur (Trainingsstruktur) geforderten Richtung (Beachtung von Umfang und Intensität der Belastung).
- Der Anpassungsprozeß wird bestimmt durch ein optimales Verhältnis von Belastung und Erholung.
- Leistungsfortschritte werden vom Tempo und von der Ausrichtung der Anpassungsvorgänge bestimmt.

Dadurch, daß der Belastungsvollzug Reaktionen in den physischen und psychischen Funktionssystemen hervorruft, kann der Belastungsgrad durch biologische Größen, wie z. B. Blutlactatkonzentration, Herzfrequenz, Sauerstoffaufnahme u. a., relativ gut erfaßt werden (HARRE, 1986). Diese Größen erfüllen in der Leistungsdiagnostik und in der Trainingssteuerung zur Einordnung der Belastungsanforderung (Abgrenzen der Belastungsintensität) grundsätzliche Aufgaben. Der Umgang mit diesen Größen und die damit für den Trainingsprozeß zu vollziehenden Konsequenzen führen weiterhin zum Ausgangspunkt des Zusammenhangs zwischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung.

PANSOLD und ROTH (1978) sehen in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik - mit ihren Möglichkeiten und Grenzen - die Aufgabe, den Charakter und die Dynamik der inneren Beanspruchung in enger Wechselwirkung zu äußeren, sportmethodisch vorgegebenen Belastungsformen zu erfassen und die Übereinstimmung zwischen trainingsmethodischer Zielstellung und biologischer Realisierung zu überprüfen.

Zur Beurteilung von biologischen Antwortreaktionen muß selbstverständlich davon ausgegangen werden, daß die sportliche Belastung in ihrer Wirkung auf den Organismus grundsätzlich als eine Einheit angesehen werden muß (HÄCKER, 1987). Darunter ist vor allem das Zusammenwirken von Bewegungsgüte und -intensität sowie der Bewegungsdichte (HARRE, 1986) zu verstehen.

Ausgehend vom Grundanliegen dieser Arbeit, allgemein die Wechselwirkung aerober und anaerober Stoffwechselmechanismen während sportlicher Belastungen in der Kurzzeitausdauer (am Beispiel des 400m-Langsprints) zu diagnostizieren, liefern neben leistungsstrukturellen Merkmalen vor allem die bioenergetischen Aspekte zur Sicherung der Muskelkontraktion Ansatzpunkte für das weitere problemorientierte Vorgehen.

2.1.1. Leistungsstrukturelle Aspekte in der Kurzzeitausdauer unter besonderer Berücksichtigung des 400m-Laufes

NEUMANN und SCHÜLER (1989) verstehen unter Leistungsstruktur den Grad der Ausprägung leistungsbestimmender Fähigkeiten, Fertigkeiten, Faktoren und Persönlichkeitseigenschaften im Vollzug höchster sportartspezifischer Wettkampfleistungen.

"Die Struktur der Wettkampfleistung ist eine durch Training veränderbare Größe. Die Entwicklung der Anpassung in leistungsvoraussetzenden Organen und Funktionssystemen vollzieht sich im Training" (NEUMANN, 1987).

Der Leistungsstruktur untergeordnet sind die

- konditionellen,
- konstitutionellen,
- technisch-koordinativen,
- taktischen sowie
- charakterlichen

Leistungsfaktoren (SCHNABEL, 1981).

Die für eine sportliche Leistung notwendigen motorischen Fähigkeiten ordnet man in konditionelle (Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit) und koordinativen Fähigkeiten ein, sie werden in den einzelnen Sportarten differenziert beansprucht (NEUMANN und SCHÜLER, 1989).

Zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit eines Sportlers haben im Trainingsprozeß sowohl leistungsstrukturelle Faktoren als auch individuelle Voraussetzungen (z. B. das Muskelfaserspektrum) sowie Fähigkeiten und Fertigkeiten einen wesentlichen Einfluß auf die Belastungsanpassung. "Aufgrund der individuellen Variabilität in den Voraussetzungen für die Trainierbarkeit hat die Struktur des Trainings die wenig veränderbaren (ererbten) Eigenschaftsmuster der Sportler und die epigenetisch gegebenen Möglichkeiten der Anpassung an konditionelle und koordinative Anforderungen zu berücksichtigen" (NEUMANN, 1987).

Unter diesem Aspekt ist es einerseits sehr schwierig, allgemeingültige Aussagen über die Struktur der Wettkampfleistung zu erhalten. Andererseits sind die Ergebnisse aus leistungsdiagnostischen Untersuchungen differenziert zu beurteilen. Dennoch besteht aufgrund von zielgerichteten Untersuchungen zum Erfassen konditioneller Fähigkeiten die Möglichkeit einer weiteren Aufklärung der Struktur der sportlichen Leistung. In der Kurzzeitausdauer wurden am Beispiel des 400m-Langsprints (LETZELTER, 1979; SCHÄFER, 1989; LETZELTER und STEINMANN, 1989) sowie vergleichsweise im 100m-Sportschwimmen (MALZAHN et al., 1980) Untersuchungen zum Geschwindigkeitsverhalten im Wettkampf durchgeführt. Daraus kann man entnehmen, daß innerhalb der Wettkampfbelastung Umstellungen im Energieliefersystem stattfinden müssen. Das ist im wesentlichen erkennbar an den zum Teil sehr abrupt verlaufenden Geschwindigkeitsabfall. Damit lassen sich durchaus Zuordnungen der Komponenten, die für die bioenergetische Absicherung der Wettkampfleistung erforderlich sind, ableiten (HIRVONEN et al., 1987; SCHÄFER, 1989).

Das Niveau der lokalen Energiedepots (ATP, Creatinphosphat, Muskelglykogen) hat in der Kurzzeitausdauer einen entscheidenden Einfluß auf die sportliche Leistung. So nimmt einerseits die alactacide Energiewandlung für die Startphase (z. B. im 400m-Lauf) eine stark leistungsbeeinflussende Rolle ein, während andererseits der lactaciden Energiebereitstellung für die Schnelligkeitsausdauer bzw. -leistung zur Sicherung einer schnellen ATP-Resynthese sogar ein leistungs-limitierender Charakter zugeordnet werden kann (MARGARIA et al., 1964; KEUL et al., 1969 und 1978; ASTRAND und RODAHL, 1970; DI PRAMPERO, 1973; JAKOWLEW, 1977; MADER et al. 1976 und 1983; HASART, 1984; HASART et al., 1987; NEUMANN und SCHÜLER, 1989).

Dadurch, daß die Struktur der Wettkampfleistung durch die Struktur des Leistungsvollzugs beschrieben werden kann (SCHNABEL, 1975), muß neben den energetischen Ansätzen vor allem der sportartspezifische Bewegungsablauf beurteilt werden. Ganz besonders sind darunter Teilzeiten, Geschwindigkeitsverläufe, Schrittlängen und Schrittfrequenzen (besonders für den 400m-Lauf), aber auch die Kraftleistungen, d. h. eine Muskelkontraktion ist immer eine Kraftleistung (HÄCKER und PUNKT, 1982), zu verstehen. Darüber hinaus stellt die neuromuskuläre Ansteuerung in der Kurzzeitausdauer einen entscheidenden leistungsbeeinflussenden Faktor dar (NEUMANN und SCHÜLER, 1989). In dieser Arbeit sollen Geschwindigkeitsverläufe von 400m-Wettkämpfen Aufschluß auf Teilaspekte der Leistungsstruktur geben, um damit eine Bewertung der konditionellen Fähigkeiten zur bioenergetischen Sicherung der 400m-Wettkampfleistung zu ermöglichen.

2.1.2. Charakterisierung der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik in der Kurzzeitausdauer

Die konditionelle Fähigkeit Ausdauer nimmt in dieser Arbeit für den Ansatz leistungsdiagnostischer Untersuchungen und für Trainingsmitteluntersuchungen einen zentralen Platz ein. Das liegt in einer in der Literatur noch relativ ungenügend erörterten Fragestellung zur bioenergetischen Sicherung einer 400m-Wettkampfleistung begründet. Als eine für den Vollzug einer sportlichen Leistung entscheidende Voraussetzung darf die Ausdauer jedoch nicht isoliert betrachtet werden, sie ist als sportartspezifische Ausdauer immer an die Inanspruchnahme der motorischen Fähigkeiten Kraft, Schnellkraft und Koordination (Technik) sowie Flexibilität (Gelenkigkeit) gebunden (HOLLMANN und HETTINGER, 1980). Außerdem liegen jeder Ausdauerleistung komplexe und anspruchsvolle Regulationsmechanismen im Organismus zugrunde, die sich prinzipiell in energetische und informatielle (Steuer- und Regelprozesse) einordnen lassen (NEUMANN und SCHÜLER, 1989).

Die Differenzierung in allgemeiner und spezieller Ausdauer im Trainingsprozeß ist eng damit verbunden, wie in einer Sportart zur Entwicklung bioenergetischer Prozesse beigetragen wird. So werden über die allgemeine Ausdauer im wesentlichen die Grundlagen für die sportartspezifischen Belastungsanforderungen geschaffen. Diese Grundlagen sind komplexer Natur und können auch über nicht-sportartspezifische Trainingsprogramme erhalten werden.

Aus bioenergetischer Sicht wird im Training der allgemeinen Ausdauer die aerobe Leistungsfähigkeit entwickelt.

Im Training der speziellen Ausdauer wird die spezifische motorische Leistungsfähigkeit der Sportart entwickelt und ausgeprägt, wobei die Energiestoffwechselmechanismen entsprechend der Intensität und Dauer der Belastungsbeanspruchung ausgerichtet werden.

Ausgehend von den unterschiedlichen sportmethodischen und biotischen Anforderungen für eine Ausdauerleistung im Wettkampf bzw. nach maximaler Belastung im Training unterteilt man entsprechend der zeitlichen Beanspruchung in

- Kurzzeitausdauer (35 bis 120 Sekunden)
- Mittelzeitausdauer (2 bis 10 Minuten) und
- Langzeitausdauer (größer 10 Minuten)

(NEUMANN, 1979 und 1987; NEUMANN und SCHÜLER, 1989).

Die Beanspruchung einzelner Funktionssysteme in der Kurzzeitausdauer wird in der Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1

Beanspruchung von Funktionssystemen während Wettkampfbelastungen in der Kurzeitdauer (nach NEUMANN und SCHÜLER, 1989).

Funktionssystem	Meßgröße
Herz-Kreislauf	185 - 200 Schläge/min. Herzfrequenz
O ₂ -Aufnahme	100% V _{O₂} max
Energiewandlung	20% aerober und 80% anaerober Anteil
Energieverbrauch	250 kJ/min. 380 - 460 kJ (gesamt)
Glykogenabbau	10% Muskelglykogen
Glykolyse	18 mmol/l Lactat
Lipolyse	0,50 mmol/l FFS

Innerhalb der Kurzeitdauer wird aufgrund von differenzierten biologischen und sportmethodischen Beanspruchungen (z. B. zwischen dem 400m- und dem 800m-Lauf) eine Unterteilung in

- KZA I (35 bis 60 Sekunden) und
- KZA II (60 bis 120 Sekunden)

vorgenommen (NEUMANN, 1978 und 1979; PANSOLD, 1985).

Die vorliegende Arbeit befaßt sich im wesentlichen mit den bioenergetischen Fragestellungen in der KZA I. Das liegt einerseits in der zeitlichen Einordnung des 400m-Laufes in die KZA I und andererseits in den noch offenen Fragen bioenergetischer Zusammenhänge besonders unter Belastungen in der KZA I begründet. Offene Fragen sind zum Beispiel:

- Welche Bedeutung bzw. welchen Stellenwert hat die aerobe Leistungsfähigkeit für die Leistungsentwicklung?
- Welchen Charakter hat die anaerob-lactacide und die anaerob-alactacide Energiebereitstellung in der KZA im allgemeinen und im 400m-Lauf im besonderen?
- Bestehen Wechselwirkungen zwischen aerober und anaerober Energiebereitstellung?

Auf diese Fragen gibt es zum Teil nur unzureichende Erläuterungen, sie könnten über ein zielgerichtetes Zusammenwirken von trainingsmethodischer Einflußnahme und sport-

medizinischer Leistungsdiagnostik auf dem Gebiet der Kurzzeitausdauerdiagnostik durchaus beantwortet werden.

Offenbar hat in der KZA die Mobilisationsgeschwindigkeit der energieliefernden Prozesse einen hohen Stellenwert. Geht man davon aus, daß der Muskel über drei wesentliche Energiequellen

- Adenosintriphosphat (ATP) und Creatinphosphat (CrP) als "Phosphagen",
- Kohlenhydrate und
- Fette

verfügt, muß man der Geschwindigkeit, mit der die Energie aus den Speicherformen freigesetzt wird, große Aufmerksamkeit schenken. Es sind Möglichkeiten bzw. Verfahren und Methoden zu finden, die eine genügende Objektivierung der Mobilisation der Energielieferprozesse zulassen.

In der Tabelle 2 sind diese Energiequellen, deren Menge und ihre Mobilisationsgeschwindigkeit, zusammengestellt. Zum besseren Vergleich erfolgen die Angaben in Millimol (mmol) energiereiche Phosphate (P), wobei diese Größe den "energetischen Wert" des jeweiligen Substrates für die Absicherung der Muskelkontraktion angibt (MC GILVERY, 1975; GERBER et al., 1979).

Tabelle 2

Energiequellen des Muskels

Substrat	Menge mmol(P)/kg	Mobilisation mmol(P)/kg·min
Phosphagen (ATP, CrP)	30	180
Glykogen (anaerob)	270	60
Glykogen (aerob)	3000	30
Fette	5000	15

Die Energiequellen, die relativ schnell zur Realisierung einer Muskelkontraktion zur Verfügung stehen, sind in der KZA-Diagnostik von großem Interesse. Sie beeinflussen wesentlich die Wettkampfleistung und sind im Trainingsprozeß zur Entwicklung der sportlichen Leistung notwendigerweise zu objektivieren.

Aus leistungsdiagnostischer Sicht gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen und Testverfahren, die zur Beschreibung der konditionellen Fähigkeit Ausdauer beitragen.

Relativ einfach erfolgt über Stufentests die Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit (MELLEROWICZ, 1975; MADER et al., 1976; HOLLMANN und HETTINGER, 1980; HECK et al., 1982; SCHWABERGER et al., 1984 und 1986; KINDERMANN, 1987 sowie NEUMANN und SCHÜLER, 1989). Neben dem Erfassen der maximalen Sauerstoffaufnahme als Ausdruck der aeroben Leistungsfähigkeit ist mit der Bestimmung des aerob-anaeroben Überganges zur Beurteilung aerober Energiestoffwechselfvorgänge ein diagnostisch anerkanntes Kriterium erhalten worden (NEUMANN und SCHÜLER, 1989). Der aerob-anaerobe Übergang kennzeichnet die metabolische aerobe Leistungsfähigkeit und wird z. B. bei laufbanddiagnostischen Untersuchungen über die Größen v_{L3} und/oder v_{L4} (ermittelte Geschwindigkeit v bei einer Blutlactatkonzentration von 3 bzw. 4 mmol/l) wertmäßig angegeben.

Die Bestimmung des aerob-anaeroben Überganges über eine mathematisch-relevante Auswertung der Untersuchungsergebnisse (PANSOLD et al., 1983 und 1986) ermöglicht die Beurteilung eines mittleren Regulationsbereiches des Organismus, der zugleich die Grenze eines energetischen Systems (die aerobe Leistungsfähigkeit) darstellt. Demgegenüber kann über eine "vita-maxima"-Untersuchung mit geeigneten Parametern, wie Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz, Lactat u. a. (HOLLMANN et al., 1971; ROTH et al., 1981; KARLSSON und JACOBS, 1982; PANSOLD et al., 1982; BACHL, 1985; SCHWABERGER et al., 1985 und 1986), die Entwicklung von oberen Funktionsamplituden des Organismus beurteilt werden (NEUMANN und SCHÜLER, 1989).

In dieser Arbeit erfolgt die Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit aus den Ergebnissen von Stufentests (Laufbanduntersuchungen, Feldtests) über die Größe v_{L4} (GAISL, 1979) aus der mathematischen Beschreibung mit der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung. Dabei beträgt die Dauer der Belastungsstufe mindestens 3 Minuten. Eine kürzere Stufenbelastungszeit führt zu einem v_{L4} -Wert, der für die Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit nur orientierenden Charakter einnimmt (HECK et al., 1982).

In der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik haben auch die Untersuchungen zum individuellen aerob-anaeroben Übergang einen festen Platz eingenommen (KEUL et al., 1979; PESSENHOFER et al., 1981; STEGMANN und KINDERMANN, 1981; SIMON et al., 1981).

Dadurch, daß der individuelle aerob-anaerobe Übergang von vielen Faktoren (Belastungsgestaltung, Auswertungsverfahren, metabolische und kardiorespiratorische Leistungsvoraussetzungen) beeinflußt wird, muß der tatsächliche Wert einer möglichen höheren Aussagekraft der individuellen anaeroben Schwelle für die Trainingspraxis noch belegt werden (PANSOLD et al., 1986).

Der individuelle aerob-anaerobe Übergang könnte durchaus davon abhängen, welcher Grad der Sauerstoffausschöpfung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei der Größe v_{L4} erreicht wird. Für die Beurteilung des Leistungsvermögens einer Dauerlaufleistung ist diese Fragestellung noch zu beantworten. Starkes Interesse findet gegenwärtig in Verbindung mit der Bestimmung des individuellen aerob-anaeroben Überganges der CONCONI-Test (CONCONI et al., 1982). In bezug auf leistungsdiagnostische Untersuchungen in der KZA kann jedoch auf eine Beurteilung der Energiestoffwechselsituation nicht verzichtet werden (der CONCONI-Test beinhaltet eine Herzschlagfrequenzmessung). Im Zusammenhang atemgasanalytischer und metabolischer Untersuchungen zur Schwellenproblematik fand SCHÖNHERR (1989), daß z. B. das Atemäquivalent von 26,7 durchaus für die Beurteilung des aerob-anaeroben Überganges genutzt werden kann.

Die Steuerung von Intensitäten im Ausdauerbereich wird aufgrund von trainingsmethodisch, meßmethodisch und biologisch bedingter Variabilität in metabolischen Bereichen (nicht in Punktwerten) angegeben.

- Kompensationsbereich: bis 2 mmol/l Lactat
(aerobe Schwelle: 2 mmol/l Lactat)
- Stabilisierungs- und Ökonomisierungsbereich: 2 bis 4 mmol/l Lactat
(anaerobe Schwelle: 4 mmol/l Lactat)
- Entwicklungsbereich: 4 bis 6 mmol/l Lactat

(MADER et al., 1976; KINDERMANN et al., 1979; HECK et al., 1985 und 1986; PANSOLD et al., 1986; NEUMANN und SCHÜLER, 1989).

Unter Berücksichtigung der individuellen bioenergetischen und morphologischen Voraussetzungen der Athleten ist diese enge Begrenzung besonders für eine Leistungsentwicklung in der Kurzeitenausdauer nicht mehr ganz zutreffend.

"Der aerob-anaerobe Übergang vollzieht sich in einem breiteren Regulationsbereich und ist zudem von den Anforderungen der Sportart abhängig" NEUMANN und SCHÜLER (1989). Zu dieser Auffassung liegen bereits umfassende Ergebnisse aus Untersuchungen zum aerob-anaeroben Übergang vor (WASSERMANN, 1984; BROOKS et al., 1986; CONNETT et al., 1986; MAZZEO et al., 1986 sowie HÄCKER, 1987; HÄCKER et al., 1987; BUHL und NEUMANN, 1987).

In der Literatur findet man eine Reihe von Testverfahren und -möglichkeiten zur Beurteilung der anaeroben Energiestoffwechselsituation des Organismus.

Am häufigsten wurden Ergometer-Tests von 30 Sekunden bis 120 Sekunden maximaler

Belastungszeit (z. B. der WINGATE-Test) vorgestellt, die einerseits eine maximale Leistung auf dem Fahrradergometer und andererseits die maximale anaerobe Kapazität erfassen (SZÖGY und CHEREBETUI, 1974; EVANS und QUINNEY, 1979; BAR-OR et al., 1980; WOJCIESZAK et al., 1981; BACHL et al., 1982; VANDERVALLE et al., 1983; PATTON et al., 1985; KINDERMANN, 1987).

Demgegenüber fanden Laufbanduntersuchungen Anwendung, wodurch einerseits zeitbezogen (15 bis 60 Sekunden, zum Teil mit "angestelltem" Laufband bis zu 20% Steigerung) und andererseits in der Mehrzahl bis zur subjektiven Erschöpfung die anaerobe Leistungsfähigkeit ermittelt werden kann (MARGARIA et al., 1971; WOLKOW et al., 1975; ROBERTS und MORTON, 1978; ALEKSANDROW et al., 1979; SCHNABEL et al., 1979; ARLT et al., 1982; NORIAKI et al., 1982; SCHNABEL und KINDERMANN, 1983; BARON et al., 1987).

In dieser Arbeit wird davon ausgegangen, daß Laufbanduntersuchungen zum Erfassen der anaeroben Energiestoffwechselsituation bzw. der Mobilisation anaerober Energielieferprozesse durchaus von praktischer Bedeutung sind.

Während in der Literatur überwiegend Untersuchungen zum Erfassen der anaeroben Kapazität beschrieben werden (hierfür bieten die Wettkampfuntersuchungen oder die "vita-maxima"-Untersuchungen ausreichend Informationen), sind definierte Stufenbelastungen zur Beurteilung der Inanspruchnahme des anaeroben Energiestoffwechsels nicht oder nur wenig ausgewiesen. Diesen Mangel gilt es, durch reproduzierbare Stufentests zum Erfassen des Verhaltens des anaeroben Energieliefersystems auf kurzzeitige intensive Belastungen zu beheben.

Einige wesentliche Hinweise zur Belastungsgestaltung gibt es in der Sportart Sportschwimmen über den 8x200m-Stufentest (PANSOLD et al., 1983). Mit diesem Test kann über die Lage der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung und über den maximalen Lactatwert (L_{max}) eine Beurteilung anaerober Leistungsvoraussetzungen vorgenommen werden.

Die Untersuchungen von anaeroben Energiestoffwechselprozessen nach Stufenbelastungen haben weiterhin das Ziel, Auskunft über die Mobilisationsgeschwindigkeit der glykolytischen Energiebereitstellung oder über bioenergetische Adaptationsprozesse zu erhalten. Damit können wesentliche Einflußfaktoren auf die Leistung in der KZA beschrieben bzw. objektiviert werden.

Als weitere leistungsbeeinflussende Faktoren für die Leistungsentwicklung im Langsprint bzw. auch allgemein in der Kurzzeitausdauer werden

- das disziplinspezifische Kraftniveau und
- die Schnelligkeit

angesehen (HARRE, 1975; SCHÄFER, 1987; NEUMANN und SCHÜLER, 1989).

Untersuchungen zur Schnelligkeitsfähigkeit oder zur lokomotorischen Schnelligkeit haben deshalb im Langsprint prinzipiellen Charakter.

Die biologisch-energetische Beanspruchung vollzieht sich im wesentlichen über den anaerob-alactaciden, aber auch (durch die, infolge des aus der Creatinphosphat-spaltung auftretenden anorganischen Phosphats, einsetzende Aktivierung der Glykolyse) zum Teil über den anaerob-lactaciden Energiestoffwechselweg. Dieser lactacide Energiestoffwechselweg gewährleistet die Rephosphorylierung des Creatinphosphats (NEWSHOLME und START, 1977).

Die Objektivierung der anaerob-alactaciden Energiebereitstellung wird in dieser Arbeit sowohl mit trainingsmethodisch-relevanten Schnelligkeitsbelastungen über den Vergleich biologischer Antwortreaktionen (Vergleich der Laufgeschwindigkeit, die eine metabolische Antwortreaktion von 6 mmol/l Lactat nach Belastung hervorruft) als auch mit Laufbandstufenbelastungen realisiert. SZÖGY et al. (1984), VANDERVALLE et al. (1987) und ESZLINGER (1988) haben an Sportlern mit maximalen Belastungsbeanspruchungen auf dem Fahrradergometer den anaerob-alactaciden Energiestoffwechsel untersucht. Als Ausdruck alactacider Energiebereitstellung wurde der alactacide Quotient (ALQ) ermittelt. Es ist das Verhältnis aus der geleisteten Arbeit in kürzerer und längerer Zeit (z.B. 10 s und 60 s) zu den aus diesen Belastungen gemessenen Blutlactatkonzentrationen. Der so gewonnene alactacide Quotient ist somit stark von den absolvierten Belastungsintensitäten abhängig. Eine Vergleichbarkeit des ALQ wäre aber nur dann gegeben, wenn dieser Wert intensitätsabhängig erhalten werden kann. Dazu ist es notwendig, einen Laufbandstufentest zu erarbeiten, der die Laufintensität (Geschwindigkeit) konstant läßt und die Belastung über die Streckenlänge realisiert. Die aus diesem Stufentest ermittelten Lactat-Weg- bzw. Lactat-Zeit-Funktionen könnten sowohl für die Bewertung der Lactatbildungsgeschwindigkeit (LBG) als auch für das Errechnen des ALQ ein aussagefähiges Ergebnis darstellen.

Die aus dem Laufbandstufentest bei konstanter Geschwindigkeit ermittelten Lactat-Weg- bzw. Lactat-Zeit-Funktionen sind linearer Natur (MARGARIA, 1982) und bilden somit die Grundlage für die intensitätsabhängige Bewertung der Ergebnisse.

Die leistungsdiagnostischen Laboruntersuchungen sowie die Trainingsmittelobjektivierungen können durch vielfältige Faktoren beeinflusst werden.

Dazu gehören z. B. die Ernährung, die Vorbelastung, die Testzeit, die Testmethodik. Ausführliche Untersuchungen liegen von PANSOLD (1983) sowie von HECK und HOLLMANN (1984) vor, so daß an dieser Stelle darauf nicht näher eingegangen werden muß.

2.1.3. Ausgewählte Aspekte der energetischen Sicherung der Muskelkontraktion in der Kurzeitdauer

MARGARIA (1982) betont, daß als fundamentale Quelle für die Muskelkontraktion und für alle Prozesse der lebenden Materie, die einer Energieumwandlung bedürfen, das Adenosintri-phosphat (ATP) ausgewiesen ist.

Dieses energiereiche Substrat wird bei einer Muskelkontraktion unter Einwirkung des Enzyms Myosin-ATPase und Mitwirkung von Calcium-Ionen als Co-Faktor zu Adenosindiphosphat (ADP) und anorganischem Phosphat (P) gespalten. Die dabei freiwerdende chemische Energie wird in mechanische muskuläre Vorgänge (Kontraktionsvorgänge) umgesetzt.

Ausgehend von der Intensität und Dauer der Belastung, erfolgt die energetische Versorgung des Muskels für die Kontraktionen durch die Stoffwechselmechanismen der ATP-Reynthese. Hohe Durchsatzraten der Substrate, hohe Mobilisationsgeschwindigkeit zur Freisetzung der beanspruchten Energiequellen sowie Einstellung hoher Fließgleichgewichte haben für den energetischen Versorgungsprozeß eine maßgebliche Bedeutung.

Zur besseren Übersicht sind die einzelnen Reaktionswege zur ATP-Resynthese (nach MC GILVERY, 1975) im Anhang dieser Arbeit aufgeführt.

In Abb. 1 ist die Reaktionsfolge der Energiewandlung bei maximaler Beanspruchung des Organismus dargestellt (nach NEUMANN, 1990). Man kann daraus schließen, daß die Leistung im Bereich der Kurzeitdauer im wesentlichen durch die anaerobe Energiebereitstellung gesichert wird. Bereits ab etwa 30 Sekunden haben die aeroben Energiestoffwechselmechanismen einen nicht unwesentlichen Einfluß. Das entspricht auch den Ergebnissen der Untersuchungen von MEDBÖ und TABATA (1989), die während maximalen Belastungen von 30 s bis 60 s auf dem Fahrradergometer 40% bzw. 50% der Energiebereitstellung aus aeroben Quellen fanden.

Den alactaciden Energievoraussetzungen kann folglich ein wesentlicher leistungsbeeinflussender Faktor für die Energiebereitstellung in der Startphase einer KZA-Belastung (besonders für den 400m-Lauf) zugeordnet werden. Sie nehmen für den glykolytischen Energiestoffwechselweg den initiiierenden Schritt ein.

Die Abb. 2 stellt den Zusammenhang zwischen Energieumsatz und Belastungsintensität dar (nach SAHLIN, 1986). Das ermöglicht die energetische Begründung der Schwellendiskussion und hat für die KZA-Diagnostik einen hohen Wert. Diesen Zusammenhang bekräftigen die Ergebnisse von BANG (1956) und KARLSSON (1971) darin,

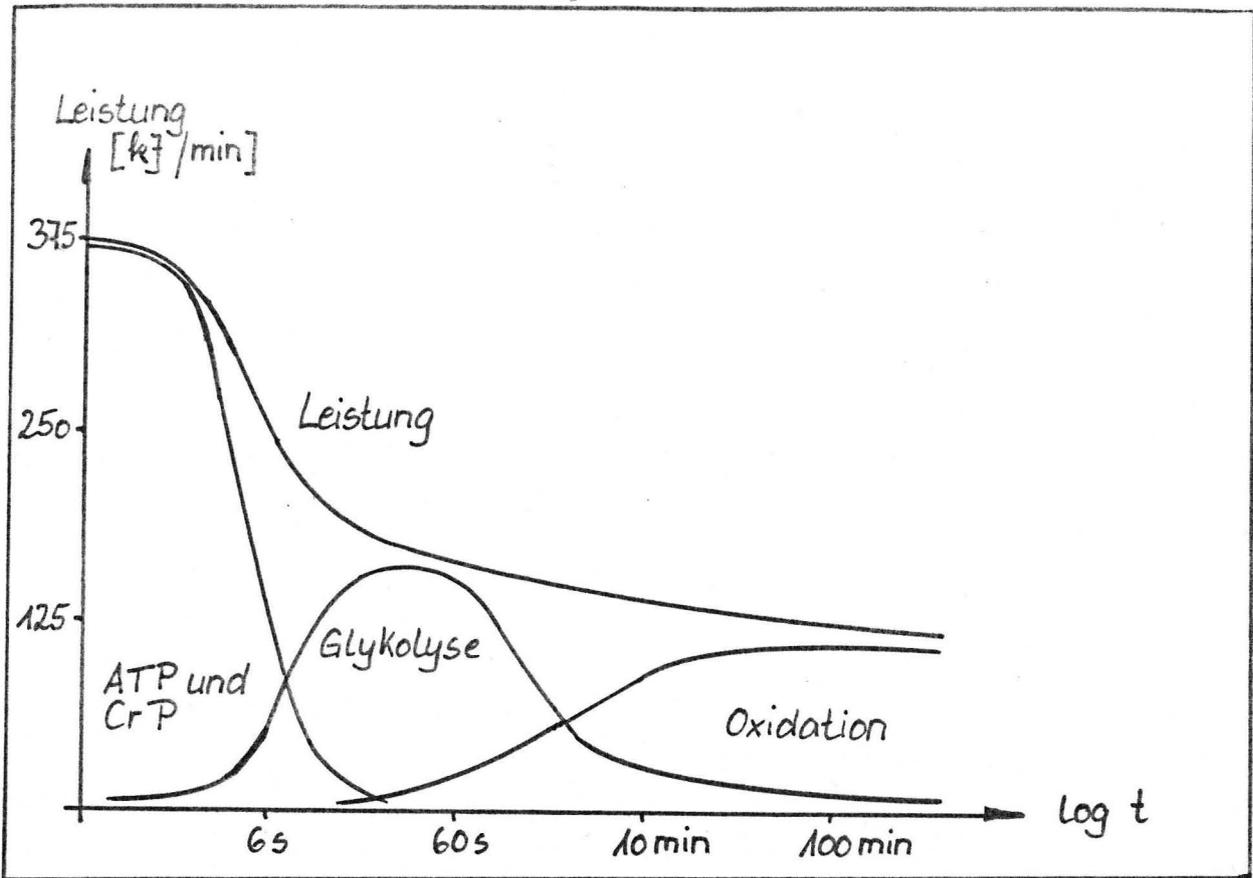


Abb. 1 Die Reaktionsfolge der Energiewandlung bei maximaler Beanspruchung (in Anlehnung an NEUMANN, 1990)

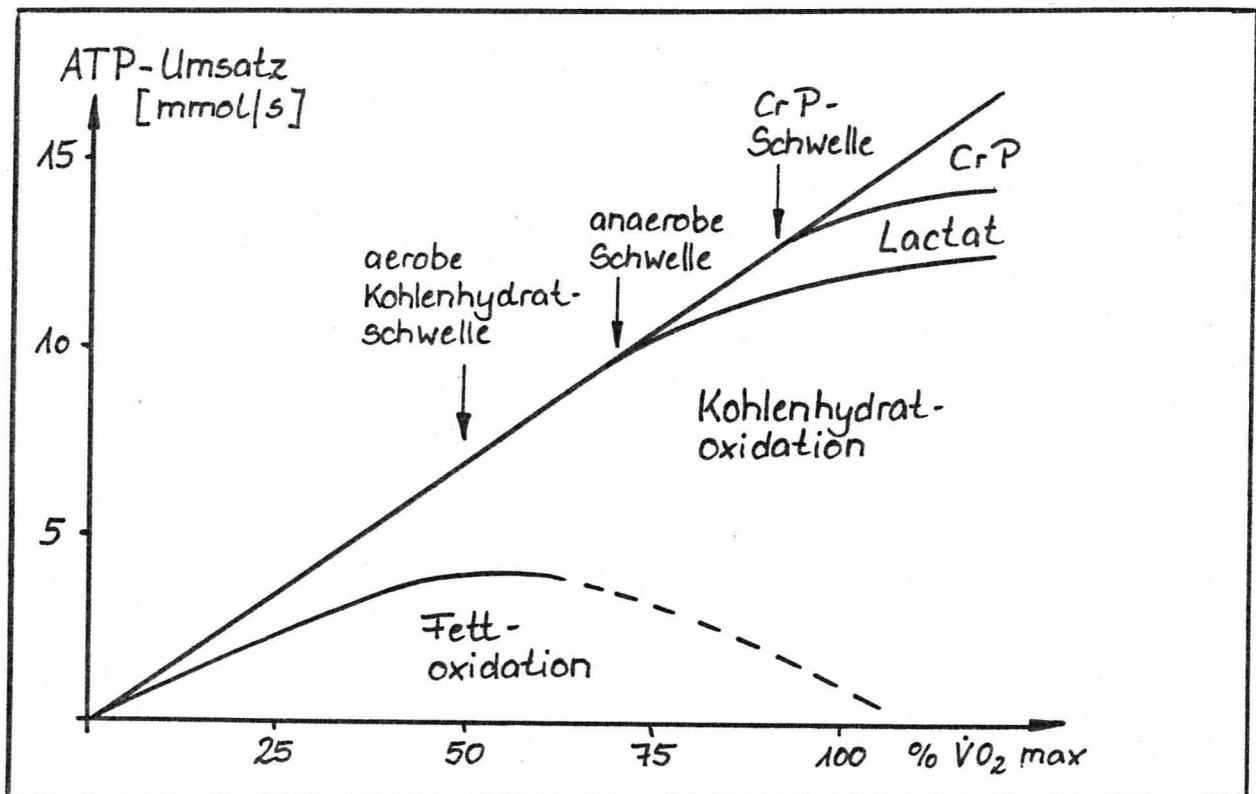


Abb. 2 Darstellung des Zusammenhangs Energieumsatz und Belastungsintensität (nach SAHLIN, 1986)

daß die Lactatkonzentrationen im Muskel und im Blut während Belastungsintensitäten von mehr als 75% der maximalen Sauerstoffaufnahme stark ansteigen. Die anaeroben Energiestoffwechselwege nehmen in der KZA-Diagnostik eine dominierende Rolle ein und sind zur theoretischen Sicherung dieser Arbeit näher zu erläutern.

HILL et al. (1923) und MEYERHOF (1930) haben in ihren Untersuchungen die Lactatbildung aus Glykogen (Glykolyse) als anaerob verlaufende Reaktion zur Energiebereitstellung einer Muskelkontraktion nachweisen können. Darüber hinaus fand LUNDSGAARD (1930), daß Kontraktionsvorgänge auch infolge der Spaltung des Creatinphosphats vollzogen werden können.

Erst der Nachweis des ATP im Muskel und seine Bedeutung für die Muskelkontraktion (LOHMANN, 1934) gestattete es, den Mechanismus der aeroben und anaeroben Energielieferprozesse weiter aufzuklären. Es wurde festgestellt, daß die für die Muskelkontraktion benötigte eigentliche Energiequelle das ATP zu sein scheint (MARGARIA, 1982). Der Muskel enthält nur wenige Mengen an ATP und wäre bereits nach wenigen Kontraktionen ermüdet, wenn das Energiepotential über ATP-Resynthesemechanismen, z. B. während intensiver Belastung über das Creatinphosphat oder über den glykolytischen Weg, nicht für weitere Muskelkontraktionen aufrecht erhalten wird (CHRISTENSEN und HÖGBERG, 1950).

Während der alactacide Mechanismus zur ATP-Resynthese in etwa 6 bis 8 Sekunden erschöpft ist, erfolgt die höchste Ausprägung der lactaciden Energiebereitstellung bei maximaler Belastung um 40 Sekunden (MARGARIA et al., 1964; KEUL et al., 1969; DI PRAMPERO 1971 und 1973; GERBER et al., 1979; MARGARIA, 1982). Der Stoffwechselweg der Glykolyse ist in Abb. 3 aufgeführt (nach RAPOPORT, 1983; FRUNDER, 1988).

Dieser glykolytische Stoffwechselweg kann durch sogenannte "Flaschenhalsreaktionen" in seiner Wirksamkeit (Substratdurchsatz, Dynamik der Fließgleichgewichtseinstellung) stark beeinträchtigt werden.

Aus diesem Grunde muß man zwischen Leistung (Lactatbildung pro Zeiteinheit) und Kapazität (maximale Lactatkonzentration bei voller Inanspruchnahme des Zeitbedarfs für KZA-Belastungen) differenzieren (DI PRAMPERO, 1973; MARGARIA, 1982; PANSOLD et al., 1983 und 1987). Das bedeutet, daß immer nur eine zeitbezogene Beurteilung eines Lactatwertes nach Belastung vorgenommen und nicht nur von einer sogenannten "Lactatmobilisation" schlechthin gesprochen werden darf. Dieser Sachverhalt wird dadurch bekräftigt, da sowohl nach einem 200m- als auch nach einem 800m-Wettkampf in der Leichtathletik ein Lactatwert von 18 mmol/l erhalten werden kann, der einerseits als Leistung (200 m) und

andererseits als Kapazität (800 m) des anaerob-lactaciden Energiestoffwechsels zu beurteilen ist.

Im Sinne des glykolytischen Energiestoffwechselweges (Abb. 3) wird die Leistung durch Freisetzen der Substrate oder durch ihre Durchsatzraten geprägt, während die Kapazität im wesentlichen von den genannten "Flaschenhalsreaktionen"

- der Phosphofruktokinase (PFK)-Reaktion (Reaktion 5) sowie
- der Bildung des reduzierten Nicotinsäureamid-adenin-dinucleotid (NADH) in Reaktion 8

abhängt. Sie bestimmen im wesentlichen das Fließgleichgewicht der Glykolyse. Die Aktivität der PFK nimmt aufgrund der Zunahme der Wasserstoff-Ionenkonzentration bei intensiver muskulärer Tätigkeit (Lactatbildung) stark ab (UI, 1966; TRIVEDI und DANFORTH, 1966), womit sie einen regulierenden Einfluß auf die anaerob-lactacide Energiebereitstellung ausübt und sogar leistungslimitierend wirken kann (PASSONEAU und LOWRY; 1964; KARLSSON, 1979).

Ebenfalls stark limitierend im glykolytischen Reaktionsmechanismus wirkt die Bildung des NADH.

In dem Reaktionsschritt 8 der Glyceraldehyd-3-phosphat-Dehydrogenase-Reaktion wird NAD^+ zu NADH reduziert. Der Gehalt an NAD^+ im Muskel ist jedoch äußerst gering gegenüber dem Bedarf zum Aufrechterhalten seiner physikalischen Aktivität bei sehr hohen Intensitäten (SALTIN und KARLSSON, 1971; SAHLIN, 1983; SAHLIN et al., 1986).

Das erklärt, daß eine schnelle Reoxidation des entstandenen NADH gesichert sein muß, wenn dieser Energiestoffwechselweg weiter beschritten werden soll. Die Reoxidation des NADH erfolgt einerseits auf dem Weg der Reduktion des Pyruvats zu Lactat unter Einwirkung der Lactatdehydrogenase (LDH) im Cytoplasma und andererseits auf oxidativem Weg an der Mitochondrienmembran. Dabei gelangt der Wasserstoff des NADH in den Matrixraum der Mitochondrien und wird zur mitochondrialen Atemkette geleitet (RAPOPORT, 1983; SCHANTZ, 1986; NORMAN et al., 1988).

Während der Transfer des vorhandenen NADH in das Mitochondrium aufgrund der Permeabilitätsverhältnisse der Mitochondrienmembran nicht möglich ist (LEHNINGER, 1951), erfolgt durch die Mitochondrienmembran ein Transfer der Metaboliten Malat vom Cytoplasma in das Mitochondrium bzw. Aspartat vom Mitochondrium in das Cytoplasma.

Dieser Mechanismus vollzieht praktisch den Elektronentransfer, wobei im

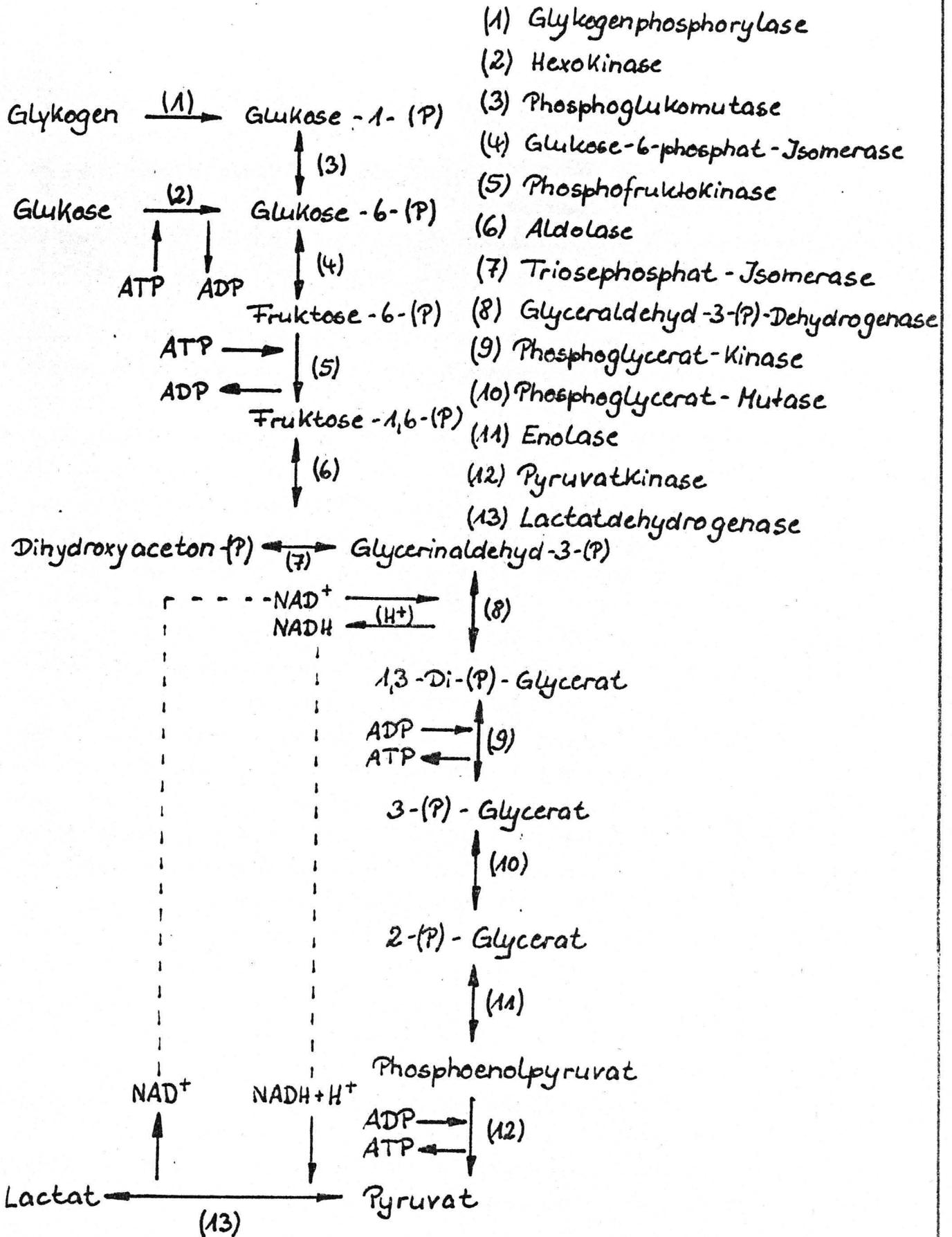


Abb. 3 Stoffwechselweg der Glykolyse

mitochondrialen Malat-Aspartat-Zyklus die Elektronen von Malat auf NAD^+ übertragen werden.

Im Cytoplasma erfolgen die Reaktionsschritte

- Aspartat zu Oxalacetat unter Einwirkung cytoplasmatischer Aspartat-Aminotransferase (c-ASAT), wobei aus α -Ketoglutarat Glutamat gebildet wird, sowie
- Oxalacetat zu Malat unter Einwirkung von cytoplasmatischer Malatdehydrogenase (c-MDH), wodurch das NADH zu NAD^+ umgesetzt wird.

Diese Darstellungen gehen auf BORST (1963) und DAWSON (1979) zurück.

In Abb. 4 ist dieser sogenannte Malat-Aspartat-Shuttle-Mechanismus (nach SCHANTZ, 1986) aufgeführt.

Untersuchungen haben gezeigt, daß die "Shuttle-Enzyme" mitochondrialer (m) und cytoplasmatischer (c) MDH bzw. ASAT nach 8 Wochen Ausdauertraining sich wesentlich erhöht haben (SCHANTZ, 1986). Es konnte weiterhin festgestellt werden, daß mit einem extensiven Ausdauertraining die mitochondrialen Enzyme des Shuttle-Mechanismus (m-ASAT, m-MDH) in den langsam und den schnell kontrahierenden Muskelfasern der Muskulatur sich angleichen. Dieser Effekt wird im wesentlichen durch die Arbeit von GRAHAM und SALTIN (1989) unterstützt. Im Experiment fanden sie, daß trotz Anstieg der Lactatkonzentration im Blut nach intensiven Belastungen (z. B. bei Erhöhung der Belastungsintensität von 75% auf 100% der maximalen Sauerstoffaufnahme) auch der Redoxquotient NAD^+/NADH der Mitochondrien (die Verfügbarkeit von Sauerstoff in den Mitochondrien) anstieg. Aus der Sicht der Energiebereitstellung für sportliche Belastungen in der Kurzeitdauer bekommt damit die Erhöhung der aeroben Leistungsfähigkeit des Organismus einen hohen Stellenwert. Durch eine Erhöhung der Dynamik des glykolytischen Energiestoffwechsels infolge der Wirksamkeit des NADH/NAD^+ -Mechanismus, wäre offenbar eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit im Sinne der Kapazität der glykolytischen Energiebereitstellung möglich.

Wettkampfuntersuchungen von 400m-Spitzenathleten mit einer differenzierten aeroben Leistungsfähigkeit im Jahres- bzw. im Mehrjahresverlauf könnten dazu einen theoretischen Beitrag leisten. Ebenso könnten aus "vita-maxima"-Untersuchungen entsprechend den Darlegungen von BARON et al. (1987) über die maximale Blutlactatkonzentration und der maximalen Belastungszeit (bzw. der Belastungszeit, die im wesentlichen unter lactaciden Bedingungen abläuft) sowie den ermittelten Ergebnissen zur Bewertung der aeroben Leistungsfähigkeit Informationen zur weiteren Klärung dieser Wechselwirkung aerober und anaerob-lactacider Energiebereitstellung erhalten werden.

Die Vervollständigung der anaeroben Energiebereitstellung stellen die

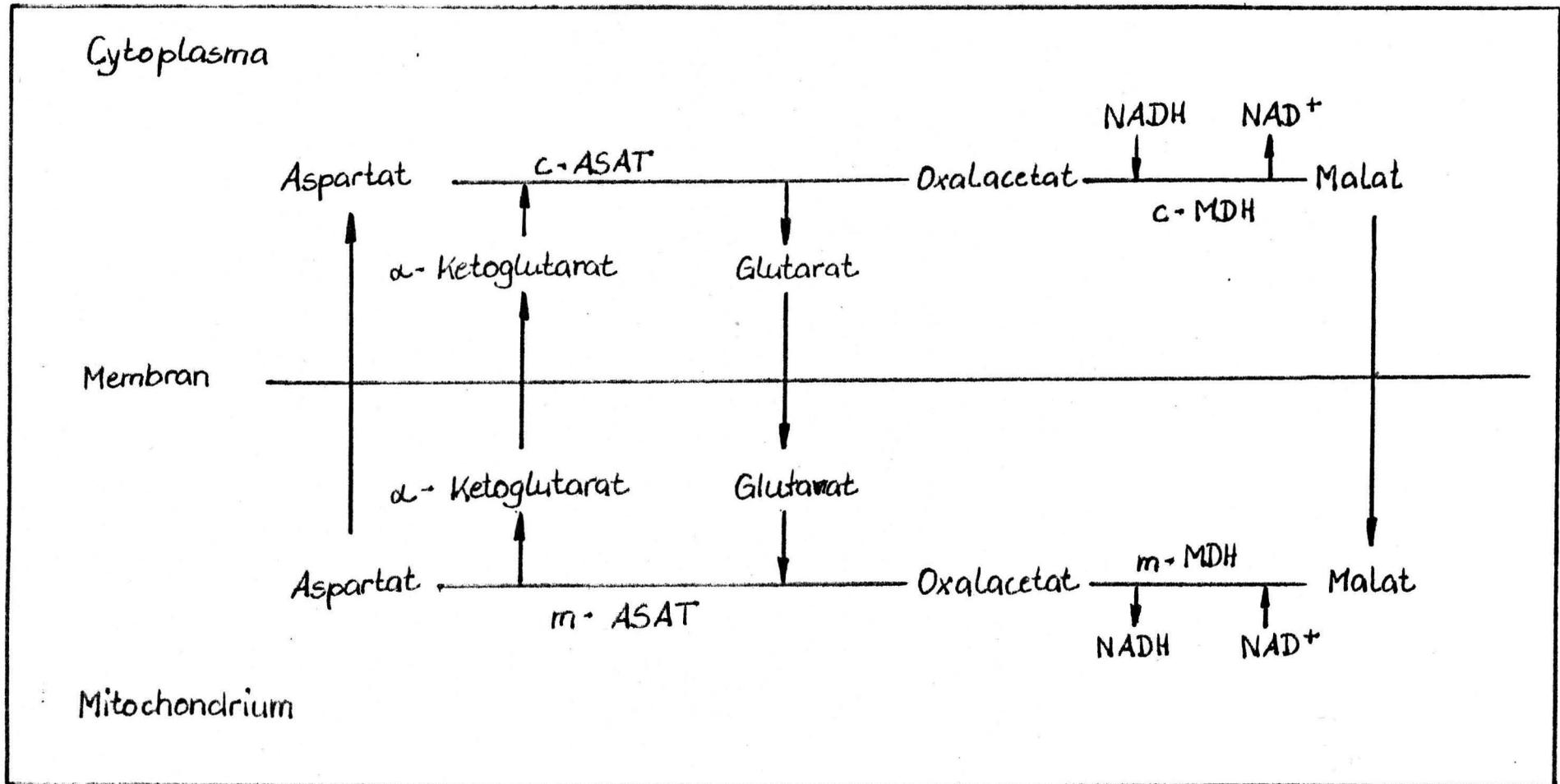
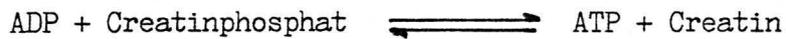


Abb. 4 Der Malat-Aspartat-Shuttle (nach SCHANTZ, 1986)

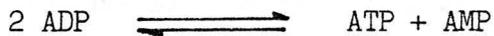
reversiblen Reaktionen

- durch Creatinkinase (CK) katalysierte Reaktion



(LOHMANN-Reaktion) und

- durch Adenylatkinase katalysierte Reaktion



zur energetischen Sicherung der Muskelkontraktion dar. Die im Muskel vorhandenen Mengen an ATP und Creatinphosphat werden als energiereiche phosphathaltige Verbindungen ("Phosphagen") zusammengefaßt und bilden die Grundvoraussetzung für die anaerob-alactacide Energiebereitstellung.

Das Enzym Creatinkinase, das in der Muskelzelle im Cytosol und an der Mitochondrienmembran lokalisiert ist, vermag mit hoher Geschwindigkeit das Transportsystem des anaerob-alactaciden Energiestoffwechsels aufrecht zu halten. Das zur Muskelkontraktion verbrauchte ATP wird praktisch sofort aus dem Creatinphosphat resynthetisiert. Dieser anaerob-alactacide Energiestoffwechsel kann für intensive Belastungen um 6 bis 8 Sekunden genutzt werden (HULTMANN et al., 1967; MARGARIA et al., 1971; ASTRAND, 1972; DI PRAMPERO, 1973).

Das Anliegen von Untersuchungen zu diesem Energiestoffwechsel ist es, die im Trainingsprozeß erzielten Fortschritte durch Verbesserung von Schnellkeitsleistungen oder durch Vergleichserhebungen von Serienbelastungen (kurze, intensive Läufe) zum Erfassen von Adaptationserscheinungen nachzuweisen und den Einfluß des alactaciden Energiestoffwechsels auf die Wettkampfleistung zu prüfen.

Dadurch, daß die unmittelbar an den kontraktilen Strukturen der Myofibrillen vorhandene Menge an ATP relativ gering ist und innerhalb der Muskelzelle wenig beweglich ist, resultiert eine ständige Energienachlieferung, um die Wiederholung der Kontraktion in kurzen Zeiträumen zu sichern (HÄCKER und PUNKT, 1982).

Unter diesem Aspekt ist es durchaus möglich, daß die als "Notsituation" des Energiestoffwechsels bezeichnete Adenylatkinase-Reaktion (RAPOPORT, 1983) während KZA-Belastungen stark beansprucht wird und im Sinne der Belastungs- und Wiederherstellungsproblematik besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muß. Ausgehend von einer möglichen Akkumulation des aus der Adenylatkinase-Reaktion gebildeten Adenosinmonophosphats (AMP) während länger andauernder intensiver Belastung im Trainingsprozeß, kommt es zu einer enzymatischen Desaminierung des AMP und zur Bildung von Inosinmonophosphat (IMP).

So haben TERJUNG et al. (1985) in der schnellkontrahierenden Muskulatur nach anhaltenden intensiven Belastungen infolge der Glykogendepletion und einer extremen Lactatacidose einen deutlichen Abfall des ATP-Gehaltes in der Muskulatur und die Bildung von IMP und Ammoniak gefunden. Durch die AMP-Akkumulation wird die Adenylatkinase gehemmt (KALCKAR, 1943) und die Adenylatdesaminase zur Desaminierung des AMP stimuliert. Da das IMP die Muskelzellmembran nicht passieren kann, wird es über das Inosin zu Hypoxanthin (und weiter bis zur Harnsäure) abgebaut (PARNAS, 1929; FISHBEIN, 1985; MALLMANN et al., 1985, TERJUNG et al., 1986).

Damit steht für die KZA-Diagnostik das Problem, im Training der speziellen Ausdauer die Energiestoffwechselsituation des Organismus sowohl zur Sicherung der Muskelkontraktion als auch zur Sicherung von Wiederherstellungs- und Adaptationsprozessen zu beschreiben.

Gegenüber dem anaeroben Energiestoffwechsel besitzt die aerobe Energiebereitstellung vorwiegend leistungsvorbereitenden Charakter.

HÄCKER (1983 und 1987), NEUMANN (1981, 1984 und 1987) und PANSOLD et al. (1983 und 1985) haben in ihren Arbeiten auf die Bedeutung des aeroben Energiestoffwechsels zur Entwicklung der sportlichen Leistungsfähigkeit hingewiesen.

In der Kurzzeitausdauer bildet die aerobe Energiebereitstellung im Zusammenwirken der unterschiedlichsten Funktionssysteme des Organismus einen wesentlichen Faktor in der Ausprägung einer hohen Leistungsfähigkeit. Einerseits kann aufgrund guter aerober Leistungsvoraussetzungen das spezielle Training in höherer Intensität erfolgen und andererseits können die Wiederherstellungsprozesse nach intensiven Belastungen beschleunigt werden (HÄCKER, 1983).

NEUMANN (1987) formuliert "Ohne eine leistungsstrukturadäquate Grundlagenausdauer kann keine sportartspezifische Höchstleistung entwickelt werden".

In dieser Hinsicht muß besonders für eine Leistungsentwicklung in der KZA auf die Effektivität des Trainings zur Verbesserung des aeroben Energielieferprozesses geachtet werden.

Schon JAKOWLEW (1977) führte dazu aus, daß langdauernde Belastungen mittlerer Intensität einen grundlegenden Einfluß auf die Oxydationssysteme der Muskelzelle ausüben (sie vergrößern die oxidative ATP-Resynthese beträchtlich), bleiben aber gleichzeitig ohne wesentlichen Effekt auf den Gehalt an kontraktile Proteinen und ihre ATPase-Aktivität sowie auf die Möglichkeiten der anaeroben ATP-Resynthese.

"Somit erweisen sich die Schnelligkeits- und Schnellkraftbelastungen als am meisten polyvalent. Sie führen zu biochemischen Veränderungen, die nicht

nur die Grundlage für die Entwicklung der Schnelligkeit, sondern auch der Kraft und der Ausdauer bilden". Mit dieser Auffassung vertritt JAKOWLEW (1977) den Standpunkt, daß Leistungsfortschritte im wesentlichen nur über das enge Zusammenwirken der einzelnen Energiestoffwechselmechanismen erzielt werden können. Diese Auffassung wird in dieser Arbeit stark unterstrichen.

Unter diesem Aspekt sind Untersuchungen notwendig, die diese Auffassung weiter sichern können.

Darüber hinaus sind Untersuchungen vorzunehmen, um den Einfluß der aeroben Leistungsfähigkeit auf die Wettkampfleistung im Langsprint zu diagnostizieren. SONNTAG et al. (1984), SCHÄFER et al. (1984), MEDBÖ und TABATA (1989) sowie SCHÄFER (1989) wiesen bereits in ihren Ergebnissen den hohen Einfluß der aeroben Energiebereitstellung auf intensive Belastungen in der Kurzeitdauer aus.

Während nach SULTANOW (1981) für einen 400m-Lauf 90% der Energie aus anaeroben Quellen und nur 10% aerober Natur sind, fanden MEDBÖ und TABATA (1989), daß während intensiven Belastungen von 60 Sekunden auf dem Fahrradergometer um 50% die Energieleistung aerob abläuft. Damit stehen in der KZA-Diagnostik zur Sicherung einer hohen Wettkampfleistung die hohen Anforderungen an die Energiebereitstellung, an die gesteigerte Stoffwechselrate sowie an die Dynamik der Fließgleichgewichtseinstellung während der Belastungsbeanspruchung im Mittelpunkt des Interesses und sind theoretisch weiter zu begründen.

Zur Vervollständigung aerober Energielieferprozesse gehört die Erörterung des Kohlenhydratstoffwechsels. Er stellt nach DI PRAMPERO (1973) bei Belastungen von größer als 60% der maximalen Sauerstoffaufnahme die entscheidende Energiequelle dar. So werden bei Belastungen von

- 30% der maximalen Sauerstoffaufnahme pro Stunde etwa 10% des Muskelglykogens abgebaut, während bei
- 60% der maximalen Sauerstoffaufnahme nach etwa 120 Minuten und bei
- 75% nach etwa 90 Minuten die Glykogenreserven aufgebraucht sind, jedoch bei
- 100% der maximalen Sauerstoffaufnahme schon in etwa 30 Minuten die Glykogenvorräte der Muskulatur erschöpft sind.

Die kritische Rolle der Kohlenhydrate als Substratspeicher für die Energiebereitstellung während sportlicher Belastungen ist für eine Leistungsentwicklung im Zeitbereich der Kurzeitdauer besonders zu beachten und sollte Wegbegleiter leistungsdiagnostischer und trainingsmethodischer Fragestellungen sein

(GERBER, 1976 sowie HÄCKER und PUNKT, 1982).

Ausgehend von den Wechselbeziehungen zwischen der Regulation glykolytischer und aerober Energiebereitstellung während intensiver Belastung in der Kurzeitdauer, hat der Kohlenhydratstoffwechsel für die Leistungsausprägung entsprechend dem gegenwärtigen Wissensstand einen hohen Stellenwert. Das wurde von MAZZEO et al. (1986), BROOKS (1986), CONNETT et al. (1986) in ihren Arbeiten ausdrücklich unterstrichen. Man findet bei MAZZEO et al. (1986), daß unter intensiver Belastung der oxidative Lactatumsatz stark ansteigt und damit ein Hauptweg des Lactatabbaus darstellt, während die Arbeiten von BROOKS (1986) und CONNETT et al. (1986) die Bedeutung des oxidativen Lactatabbaus wesentlich unterstreichen. Dadurch sind die Kenntnisse über den Kohlenhydratstoffwechselweg unter intensiver Belastungsbeanspruchung grundsätzlich erweitert worden. In diesem Zusammenhang sind auch die Ergebnisse von KATZ und SAHLIN (1988) einzuordnen, die den glykolytischen Stoffwechsel mit seiner Lactatbildung und den NADH/NAD^+ -Mechanismus für die Entwicklung der Leistungsfähigkeit des Organismus zur energetischen Sicherung intensiver Belastungen theoretisch bearbeiteten. Sie fanden, daß das Redox-Potential und damit die aerobe Leistungsfähigkeit des Organismus zur Verminderung von Lactatakkumulationsprozessen eine entscheidende Rolle spielt.

In der KZA-Diagnostik ist in diesem Zusammenhang das auf aeroben Weg gebildete ATP von großem Interesse. Der Bildungsmechanismus ist nach GERBER et al. (1979) abhängig von

- der Anzahl und vom Enzymgehalt der Mitochondrien,
- der Bereitstellung von ADP und anorganischem Phosphat aus dem kontraktilem Apparat,
- der Zulieferung von Sauerstoff sowie der Kapillarisation der Muskulatur,
- der Bereitstellung von oxidierbaren Substraten - verbunden mit einer hohen Durchsatzrate,
- der Bereitstellung von Wasserstoffäquivalenten aus dem Abbau der Kohlenhydrate und Fette (Fettsäuren),
- der Intaktheit der oxidativen Phosphorylierung (Kopplung der Mitochondrien),
- der Einstellung eines hohen Fließgleichgewichtes durch den Anpassungsmechanismus an hohe Leistungsabforderungen.

Diese aufgeführten Faktoren können bei einer optimalen Verfügbarkeit das aerobe Leistungsvermögen auf ein anspruchsvolles Niveau heben, wobei vor allem die Anzahl der Mitochondrien und die Enzymaktivitäten im wesentlichen

vom Muskelfasertyp und vom trainingsmethodischen Anpassungsmechanismus abhängig sind (ESSEN et al., 1975).

In Anlehnung an JAKOWLEW (1977), wobei Schnelligkeits- und Schnellkraftbelastungen zur Verbesserung sowohl der aeroben als auch der anaeroben Leistungsvoraussetzungen führen, finden gegenwärtig Auffassungen zum schnelligkeitsorientierten Training großen Anklang. Dadurch könnten einerseits infolge einer systematischen Entwicklung von Aufbau- (ABT) über das Anschluß- (ANT) zum Hochleistungstraining (HLT) weitere Reserven erschlossen werden und andererseits gezieltere Voraussetzungen für die Entwicklung von Ausdauerleistungen (Energiedurchsatz, Fließgleichgewichtsdynamik) geschaffen werden.

Besonders zur Leistungsentwicklung jugendlicher Athleten sollte über ein vielseitiges allgemeines und spezielles Training mit schnellkraftfördernden Trainingsmitteln das Überwinden von Geschwindigkeitsbarrieren vollzogen werden (OSOLIN, 1970), um die Steuer- und Regelmechanismen zentralnervaler Prozesse für die sportartspezifischen Anforderungen funktionell auszurichten und um die Energieliefermechanismen auf das Beanspruchungsprofil zur Realisierung einer hohen Wettkampfleistung auszuprägen (BAUERSFELD, 1986).

Im Gegensatz dazu verhielten sich Sprinter mit einem realisierten ausdauerbetonten Training aufgrund der muskulären Anpassung in ihren Bewegungsabläufen im speziellen Leistungsvollzug (spezielles Training, Wettkämpfe) relativ langsam (BILLETTER et al., 1988).

Ansatzmöglichkeiten für ein gesichertes trainingsmethodisches Vorgehen im schnelligkeitsorientierten Training könnten Untersuchungen zur Objektivierung der Lactatbildungsgeschwindigkeit sowie der Inanspruchnahme des glykolytischen Energiestoffwechsels während kurzzeitiger intensiver Belastung bzw. durch kurze, intensive Trainingsläufe bilden.

Die Berücksichtigung von Untersuchungen zu den Wiederherstellungsprozessen würde für diese Arbeit den inhaltlichen Rahmen sprengen. Dennoch sollte auf die Darstellung ausgewählter Probleme nicht verzichtet werden. Sie sind im Anhang ausgewiesen.

2.1.4. Ausgewählte muskuläre Merkmale

Die Muskulatur stellt als kontraktiles Organ des menschlichen Organismus (etwa 40% des Körpergewichts) ein bedeutendes Funktionssystem dar, das in vier Funktionsebenen,

- der feinstrukturellen Differenzierung,
- dem Energiestoffwechsel,
- dem Kontraktionsverhalten und
- der neuromuskulären Steuerung,

den vielfältigen Anforderungen für die mechanische Bewegung gerecht wird (GERBER et al., 1979).

Begründet dadurch, daß die morphologischen, biochemischen und physiologischen Merkmale der Muskelfasertypen für den Trainingsprozeß bzw. für die Leistungsentwicklung der Athleten einen entscheidenden Einfluß haben, sollte eine Beurteilung von erhobenen Befunden oder Parametern aus leistungsdiagnostischen Untersuchungen immer unter der Berücksichtigung der Muskelfaserzusammensetzung bzw. den genetischen Gegebenheiten der Muskelfaserstruktur vorgenommen werden. Das bedeutet jedoch nicht, daß in diesem Zusammenhang unbedingt Muskelbiopsien notwendig erscheinen.

Eine Nomenklatur der Skelettmuskelfasertypen des Menschen nahm PIEPER (1977) vor. Entsprechend den physiologischen Eigenschaften verwendet man für

- die langsam kontrahierenden Muskelfasern den Begriff "Slow-twitch-fibre" (STF) und für
- die schnell kontrahierenden Muskelfasern den Begriff "Fast-twitch-fibre" (FTF)

Diese Einordnung kann natürlich nur in einem engen Zusammenhang zwischen den morphologischen, biochemischen und physiologischen Eigenschaften verstanden werden: Die langsam kontrahierenden Muskelfasern weisen langsame Kontraktionseigenschaften auf, sie sprechen sehr schnell an, ermüden relativ langsam und verfügen über eine hohe aerobe Stoffwechselkapazität. Sie werden vorwiegend für umfangreiche Ausdauerleistungen innerviert.

Die schnell kontrahierenden Muskelfasern verfügen über eine hohe Kontraktionsgeschwindigkeit, sie sprechen erst durch das Setzen eines intensiven Reizes an, ermüden jedoch relativ schnell und haben aufgrund ihrer bioenergetischen Eigenschaften gute Voraussetzungen für den anaeroben Energiewechselweg. Sie werden hauptsächlich für Schnellkraft- und Schnelligkeitsleistungen beansprucht.

In der Nomenklatur sind auch die sogenannten Intermediärfasern enthalten, die zu den schnell kontrahierenden Muskelfasern (mit überdurchschnittlichen aeroben Energiestoffwechsel) eingeordnet werden. Man unterscheidet in diesem Zusammenhang die fast-twitch-glykolytic-fibre (FTG) und die fast-twitch-oxidative-fibre (FTO). Sie haben eine mittlere Kontraktionsgeschwindigkeit sowie eine mittlere Ermüdbarkeit und sind funktionell adaptiv.

HOLLMANN (1987) beschrieb, daß die Anzahl der langsam und schnell kontrahierenden Muskelfasern zu einem hohen Prozentsatz genetisch determiniert sind und daß durch den Trainingsprozeß lediglich die Intermediärfasern ineinander umgewandelt werden.

Dieser Tatbestand ist für die Entwicklung der sportlichen Leistung besonders im Trainingsprozeß der speziellen Ausdauer zu beachten. Aus diesem Grunde sind energetische Adaptationsprozesse von Trainingsintensität zu Trainingsintensität, wie sie u. a. durch

- die Intensität NI (niedrige Intensität) bis 79,9% zur Bestzeit bzw. zur angestrebten Bestleistung,
- die Intensität I_3 von 80 bis 89,9%,
- die Intensität I_2 von 90 bis 94,9% sowie
- die Intensität I_1 ab 95%

gekennzeichnet sind, auch mit morphologischen Prozessen verbunden. Untersuchungen dazu liegen in vielfältiger Weise vor (GOLLNICK et al., 1972; KOMI, 1975; ROTH et al., 1977; SCHARSCHMIDT et al., 1979; JÜNGER, 1983; HÄKKINEN et al., 1985; HOLLMANN, 1987; HOWARD, 1989; TIHANYI, 1989).

Darüber hinaus liegen eine Vielzahl von Untersuchungsergebnissen zur Objektivierung muskelstruktureller Voraussetzungen vor. So fanden PIEHL (1975) und TERJUNG et al. (1985), daß bei einer Intensität bis zu 90% der maximalen Sauerstoffaufnahme immer zuerst die STF und bei einer Intensität von über 90% zunehmend die FTF depletieren.

SCHARSCHMIDT et al. (1979) fanden, daß die sportliche Leistung von 200m-Schwimmer durch verstärktes Training in der Grundlagenausdauer unter Vernachlässigung des Trainings notwendiger Kraftkomponenten stagnierte.

KARLSSON (1979) und KACZKOWSKI et al. (1982) beschrieben nach extremen (intensiven) kurzzeitigen Maximalbelastungen die limitierenden Faktoren (neuromuskuläre Übertragung, ungenügend schnelle ATP-Resynthese), während COSTILL et al. (1979) an Weltklasse-Ausdauersportler einen sehr hohen Prozentsatz an STF und an Weltklasse-Schnellkraftsportler einen vergleichbar hohen Anteil an FTF nachweisen konnte.

Aus Untersuchungen von PIEPER (1977) konnte nachgewiesen werden, daß die Blutlactatkonzentration nach maximaler Belastungsbeanspruchung in der Sportart Rudern (Wettkampfsimulation) in Abhängigkeit von den FTF-Muskelfaseranteilen linear zunimmt bzw. in Abhängigkeit von den STF-Muskelfaseranteilen linear abnimmt. Diese Ergebnisse legen nahe, daß eine Beurteilung von Blutlactatkonzentrationen neben anderen Einflußfaktoren immer unter Berücksichtigung der genetischen Voraussetzungen erfolgen sollte.

Diese aufgeführten Beispiele sollen auf die Vielfalt der im Trainingsprozeß zur Leistungsentwicklung beeinflussenden Faktoren hinweisen. Die Untersuchungsergebnisse führen vor allem zu der Schlußfolgerung, daß durch ein einseitiges trainingsmethodisches Herangehen zur Entwicklung von Teilkomponenten der Leistungsfähigkeit sogar eine Leistungsstagnation eintreten kann.

Die gegenwärtig im Weltmaßstab vorhandenen theoretischen und praktischen Möglichkeiten erlauben bereits, unblutige Untersuchungen zur Darstellung metabolischer Prozesse einzusetzen. Zu diesen Untersuchungsverfahren zählt die Magnetresonanzspektroskopie (ERNST, 1987; SAPEGA et al., 1987).

So setzten PARK et al. (1987) die ³¹P-Magnetresonanzspektroskopie zur Untersuchung der Fasertyprekrutierung während der Kontraktion, der Fasertypisierung und der Quantifizierung der energiereichen Phosphatkomponenten sowie zur Diagnostik von Myopathien ein. Sie konnten mit dieser Methode eine Einschätzung der aeroben Leistungsfähigkeit vornehmen.

Mit diesen Untersuchungsmöglichkeiten könnten zukünftig optimale Voraussetzungen zur Trainingsobjektivierung, zur Kontrolle von Leistungsfortschritten, Adaptations- und Wiederherstellungsprozessen sowie zur Eignung und Auswahl von Talenten für leistungssportliche Aufgaben erhalten werden.

2.2. Der Einsatz des Lactats als biochemischer Parameter in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik

NEUMANN und SCHÜLER (1989) bezeichnen die Lactatkonzentration im Blut als eine gegenwärtig bevorzugte Stoffwechselmeßgröße in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik.

Aufbauend auf einer relativ einfachen mikromethodischen Konzentrationsbestimmung war es möglich, den Parameter Lactat entsprechend den bioenergetischen Überlegungen von MARGARIA et al. (1933) zur Beurteilung aerober und anaerober Energiestoffwechselprozesse nach unterschiedlichen Belastungen im Training und

im Wettkampf einzusetzen (PANSOLD und ROTH, 1978; LÜCK, 1979). Eine ausführliche Begründung der Einsatzmöglichkeit des Lactats in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik ist im Anhang dargestellt.

Die Höhe der Lactatkonzentrationen im Blut nach Belastung sind jedoch von mehreren Faktoren abhängig:

- von der Intensität und Dauer der Belastung (MARGARIA et al., 1933; ASTRAND, 1972; DI PRAMPERO, 1973; PIEHL, 1975; RAPOPORT, 1983; HÄCKER und PUNKT, 1982),
- vom Trainingszustand allgemein (JAGEMANN et al., 1969; HÄCKER et al., 1987),
- vom Glykogengehalt der belasteten Muskulatur und von der Ernährung (ASTRAND et al., 1963; SALTIN und HERMANSEN, 1967; KARLSSON, 1971; PIEHL, 1975; JACOBS, 1981; IVY et al., 1981; BUSSE et al., 1987; BRAUMANN et al., 1987 und 1988; FOSTER et al., 1988),
- von den genetischen Voraussetzungen der Muskulatur (PIEHL, 1975; GERBER et al., 1979; BROOKS, 1986; HASART et al., 1987; HÄCKER, 1987) sowie
- von den trainingsmethodischen Adaptationsprozessen und von der Beweglichkeitsstruktur in der Sportart (GERBER et al., 1979; BUHL, 1986).

Schon das Aufzählen dieser Einflußfaktoren, wobei auf die Vollständigkeit verzichtet worden ist, macht deutlich, unter welchen schwierigen Bedingungen eine Beurteilung der Lactatkonzentration im Blut oder eine Zuordnung des Lactats zur sportlichen Leistung erfolgt.

Als einen weiteren wesentlichen Einflußfaktor ist der Lactatumsatz in der belasteten Muskulatur einzuordnen. BROOKS et al. (1986), MAZZEO et al. (1986) sowie CONNETT et al. (1986) beschrieben, daß unter Belastung der Lactatumsatz höher als der Umsatz von Glukose ist. Der Lactatumsatz vollzieht sich im wesentlichen über den oxidativen Weg (zwischen 50 und 80%), wobei diese Prozesse im wesentlichen von der Muskelfaserzusammensetzung und von der Kapillarisation der belasteten Muskulatur beeinflusst werden.

So wird z. B. durch die Rekrutierung von FTG-Fasern Lactat mit größerer Geschwindigkeit als in anderen Fasertypen gebildet. Das entstandene Lactat wird dann in den FTO- oder in den ST-Fasern des gleichen Muskels aerob verstoffwechselt (HÄCKER, 1987). HÄCKER et al. (1987) faßten die Lactatproblematik wie folgt zusammen (S. 178):

"- Lactatproduktion wird in Ruhe und bei körperlicher Leistung nicht notwendigerweise durch eine Anaerobiose des Muskels hervorgerufen. Sie ist zuerst

Ausdruck der gesteigerten Stoffwechselrate in der Energiebereitstellung.

- Bei körperlicher Belastung erfolgen in einem aktiven Muskel sowohl Lactatproduktion als auch Lactatabbau.
- Unter Belastung sind der Lactatumsatz und -abbau höher, als es der Umsatz von Glukose ist. Der Hauptweg des Abbaus ist die Oxidation (zwischen 50% und 80%).
- Unter körperlicher Belastung ist das Muskelglykogen die Quelle der meisten aus den Kohlenhydraten resultierenden Substrate für die Energiebereitstellung."

Unter Berücksichtigung aller in ihrer Vielfalt dargestellten Einflußfaktoren, ist das Lactat aufgrund seiner hohen Praktikabilität für die sportmedizinische Leistungsdiagnostik ein geeigneter Parameter. Er sollte in seiner Aussagefähigkeit als nicht abgeschlossen betrachtet werden.

"Obwohl die Lactatmethode präzise, objektiv, sensitiv und einfach ist, muß man mit ihr umgehen können" (HOLLMANN, 1989). Damit wird die hervorragende Rolle des Lactats in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik unterstrichen.

Demgegenüber muß der reinen "Lactat-Zahlenwert-Beurteilung" und den übertriebenen Lactaterhebungen im Trainingsprozeß konsequent begegnet werden (SONNTAG und PANSOLD, 1987).

In dieser Arbeit soll zum Ausdruck kommen, daß mit diesem Parameter in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik und in der wissenschaftlichen Trainingssteuerung noch eine Vielzahl von energetischen Zusammenhängen erklärt werden können. Die Beurteilung der Belastungswirksamkeit sowie der Adaptations- und Wiederherstellungsprozesse ist allein durch den Parameter Lactat nicht möglich.

Aus diesem Grunde sind zur Vervollständigung von Untersuchungen zum Adaptationsprozeß im Training der speziellen Ausdauer neben dem Einsatz des Lactats auch der Einsatz des biochemischen Parameters Creatinkinase (CK) zweckmäßig.

2.3. Die wissenschaftlichen Arbeitshypothesen

Ausgehend von den vorliegenden inhaltlichen Darlegungen zur Problematik dieser Arbeit sowie von den eigenen umfangreichen Erfahrungen auf dem speziellen Gebiet der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung in der Kurzeitdauer werden folgende Arbeitshypothesen für die Bearbeitung der Thematik dieser Dissertation aufgestellt:

1. Der biochemische Parameter "Lactat" kann aufgrund der einfachen Zugänglichkeit sowie einer relativ objektiven Aussagefähigkeit und genauen Bestimmungsmethode durchaus für ein weiteres Aufhellen theoretischer Zusammenhänge bioenergetischer Prozesse in der KZA genutzt werden.
2. Die aerobe Leistungsfähigkeit hat aufgrund der oxidativen Beseitigung des während der glykolytischen Energiebereitstellung entstehenden NADH in der KZA im allgemeinen und 400m-Langsprint im besonderen offensichtlich einen leistungsbeeinflussenden Stellenwert.
3. Die Erhöhung des "Fließgleichgewichtes" bioenergetischer Prozesse zur Sicherung der Muskelkontraktion kann in der KZA möglicherweise durch den Zusammenhang zwischen aerober und anaerob-lactacider Energiebereitstellung erklärt werden.
4. Die lactacide Energiebereitstellung hat in der KZA aufgrund des Beanspruchungsgrades im Leistungsvollzug zur Sicherung einer schnellen ATP-Re-synthese offenbar einen leistungslimitierenden Charakter. Ein Nachweis wäre über den Ausprägungsgrad der glykolytischen Energiebereitstellung während des 400m-Laufes (bzw. über die Inanspruchnahme) im Sinne des Zusammenhangs von Lactat und Wettkampfzeit möglich.
5. Im 400m-Wettkampf werden den Schnelligkeitsvoraussetzungen besonders in der Startphase eine große Bedeutung zugeordnet. Aus diesem Grunde stellt das Potential der alactaciden Energiebereitstellung möglicherweise einen nicht unerheblichen leistungsbeeinflussenden Faktor dar. Die anaerob-alactacide Leistungsfähigkeit entwickelt sich offensichtlich im Trainingsjahr bis hin zum Wettkampf kontinuierlich.
6. Unter Berücksichtigung der wesentlichen konditionellen Fähigkeiten im Langsprint sollte im Trainingsprozeß immer der Zusammenhang zwischen den einzelnen Energieliefermechanismen (aerobe Energiebereitstellung, Leistung und Kapazität des lactaciden Energiestoffwechsels, die alactaciden Voraussetzungen) wirken,

um Fortschritte im Sinne der Leistung, der Adaptation und der Wiederherstellung zu erreichen.

Sportliche Höchstleistungen in der KZA im allgemeinen und im 400m-Langssprint im besonderen können im wesentlichen nur in enger Wechselwirkung zwischen den aeroben und den anaeroben Energieliefermechanismen erzielt werden.

Dadurch sind sportmedizinisch-relevante Untersuchungsverfahren notwendig, die eine objektive Bewertung der Energiestoffwechselreaktionen des Organismus zulassen.

2.4. Die Zielstellung und die Aufgaben zur Prüfung der einzelnen Arbeitshypothesen

Ausgehend von der komplexen Natur der sportmethodischen und biologischen Voraussetzungen zur Sicherung einer hohen Wettkampfleistung in der KZA im allgemeinen und im 400m-Langssprint im besonderen besteht die Zielstellung dieser Arbeit darin, einen Beitrag zur weiteren Entwicklung der sportmedizinisch-biowissenschaftlichen Leistungsdiagnostik und zur Steigerung der sportlichen Leistungsfähigkeit der Athleten durch ein bioenergetisch-begründetes Training zu erreichen. Dazu ist es notwendig, daß im Sinne des Zusammenhangs zwischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung die wesentlichen konditionellen Fähigkeiten am Beispiel des 400m-Langssprints diagnostiziert und das Zusammenwirken der damit verbundenen Energiestoffwechselmechanismen sowie die Entwicklung der einzelnen energetischen Prozesse im Jahres- bzw. im Mehrjahresverlauf infolge der trainingsmethodischen Einflußnahme dargestellt werden.

Durch eine theoretisch begründete Bewertung der gewonnenen Untersuchungsergebnisse kann diese Zielstellung durchaus realisiert werden.

Aus der Zielstellung dieser Arbeit sowie zur Prüfung der einzelnen Arbeitshypothesen leiten sich folgende zu lösende Aufgaben ab:

1. In der KZA-Diagnostik im allgemeinen und im 400m-Langssprint im besonderen sind zur Objektivierung bioenergetischer Mechanismen im Trainingsprozeß sportmedizinische Untersuchungsverfahren zu erarbeiten, zu erproben und zu optimieren.
2. In Verbindung mit dem biochemischen Parameter "Lactat" sind objektive Beurteilungskriterien zum Erfassen aerober und anaerober Stoffwechselprozesse zu erarbeiten.

3. Die aerobe Leistungsfähigkeit ist an Sportlern des 400m-Langsprints im Jahres- und Mehrjahresverlauf zu analysieren.
4. Aus leistungsdiagnostischen Untersuchungen ist der Stellenwert der aeroben Leistungsfähigkeit für den 400m-Langsprint abzuleiten.
5. Das Erfassen ausgewählter maximaler Funktionsamplituden zur allseitigen Beurteilung aerober und anaerober Leistungsvoraussetzungen sowie ihrer Veränderungen im Trainingsprozeß ist mit einem "vita-maxima"-Test vorzunehmen.
6. Der leistungslimitierende Charakter der glykolytischen Energiebereitstellung ist aus 400m-Wettkampfuntersuchungen über den Zusammenhang zwischen dem Lactat (nach Belastung) und der Wettkampfzeit abzuleiten.
7. Aus leistungsdiagnostischen Untersuchungen ist eine für die KZA-Diagnostik wesentliche intensitätsabhängige Lactatbildungsgeschwindigkeit zu ermitteln, um eine objektive Einordnung lactacider Energielieferprozesse zu ermöglichen.
8. Über leistungsdiagnostische Untersuchungen ist die Inanspruchnahme der lactaciden Energiebereitstellung während kurzzeitig intensiver Belastungen festzustellen. Darüber hinaus ist über einen 400m-spezifischen Feldtest die sportartspezifische Leistungsfähigkeit für den Langsprint auszuweisen.
9. Zur Beurteilung der alactaciden Energiebereitstellung sind Untersuchungen vorzunehmen, die eine Objektivierbarkeit zulassen bzw. die diese Stoffwechselreaktion nach intensiven Belastungen im Trainingsprozeß nachweisen können. Möglichkeiten zum Erfassen alactacider Stoffwechselreaktionen bestehen in der Bildung von intensitätsabhängigen alactaciden Quotienten oder durch den Vergleich von Kenngrößen (Geschwindigkeit oder einer fiktiven Wertigkeit) im Jahresverlauf.
10. Die individuellen Geschwindigkeitsverläufe im 400m-Wettkampf berechtigen zur Auffassung, Einordnungen zur sportlichen Leistungsfähigkeit vornehmen zu können. Damit eng verbunden sind Beurteilungsmöglichkeiten zu den Energiestoffwechselreaktionen während der Wettkampfbelastung. Aus diesem Grunde sind an ausgewählten Spitzenathleten Untersuchungen zum Erfassen des Geschwindigkeitsverlaufes im 400m-Wettkampf zu realisieren.
11. Eine anspruchsvolle Aufgabe besteht im Erfassen von Adaptationserscheinungen im Trainingsprozeß. Diese Aufgabe hat einen allgemeinen und prinzipiellen Charakter.

3. Untersuchungsmethodik

3.1. Zeitraum der Untersuchungen

Die Untersuchungen fanden im Rahmen der langjährigen Zusammenarbeit zwischen der Sportärztlichen Hauptberatungsstelle Halle, Abteilung Funktionsdiagnostik, und der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Sportwissenschaft, zur Realisierung der Aufgaben in der Forschungsgruppe Sprint/Hürden des Leichtathletikverbandes im Zeitraum von 1978 bis 1990 statt.

Darüber hinaus wurden in diesem Zeitraum Untersuchungen zur Weiterentwicklung der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik innerhalb der Arbeitsgruppe "Stoffwechsel" im Sportmedizinischen Dienst durchgeführt.

3.2. Probanden

In den einzelnen Untersuchungen wurden Athleten des 400m-Langsprints (Nationalkader und Nachwuchskader) sowie Sportler des Hochleistungs-, Anschluß- und Aufbautrainings in den Sportarten Leichtathletik, Fußball, Boxen und Ringen einbezogen. Insgesamt standen 95 Sportlerinnen und 278 Sportler im Alter zwischen 15 und 29 Jahren zur Verfügung.

Die Sportlerinnen und Sportler erhielten als Identifikation eine Kennziffer (weiblich zweiziffrig, männlich dreiziffrig).

3.3. Die Zeitmessung

FEDERLE und HESS (1973) und HESS (1975) sowie SCHÄFER (1989) haben über Videozeitmessung von Wettkampfläufen und über Lichtschrankenzeitmessung von Schnellkeitsleistungen umfangreich berichtet, sodaß hier auf eine weitere Darstellung verzichtet werden kann.

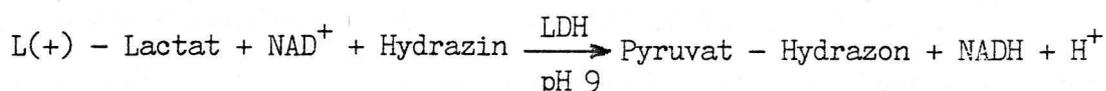
In diesen Arbeiten sind selbstverständlich Meßfehlerbetrachtungen ausgewiesen. Der Gesamtmeßfehler beträgt

- bei starren Videokameras (FEDERLE und HESS, 1973)
 - ± 0,03 m/s (Laufgeschwindigkeit 10,00 m/s) bzw.
 - ± 0,04 m/s (Laufgeschwindigkeit 8,00 m/s) und
- bei der Lichtschrankenzeitmessung (HESS, 1975)
 - ± 0,03 m/s.

3.4. Die Bestimmung der Blutlactatkonzentration

L(+)-Lactat wird nach HOHORST (1962) mit Hilfe von LDH (EC 1.1.1.27) im alkalischen Milieu zu Pyruvat oxidiert.

Durch den Zusatz von Hydrazin (Hydrazinhydrat) wird das entstandene Pyruvat als Hydrazon aus dem Gleichgewicht entfernt. Gleichzeitig reagiert zugefügtes NAD^+ zu NADH:



Die Konzentrationszunahme des NADH ist der Konzentration des Lactats direkt proportional.

Entsprechend der Standardvorschrift im Sportmedizinischen Dienst (CLAUSNITZER und WENDELIN, 1979) wird aus dem hyperämisierten Ohrläppchen 20 μl Blut entnommen und in 200 μl Perchlorsäure (0,58 mol/l) zum Enteiweißen pipettiert. Nach dem Zentrifugieren wird der klare Überstand als Prüflösung verwendet (Haltbarkeit bis 5°C mindestens 4 Tage).

50 μl dieser Prüflösung werden in 500 μl Glycin-Hydrazin-Puffer-RL, dem NAD^+ und LDH zugefügt worden sind, gegeben. Die so erhaltene Reaktionslösung wird eine Stunde bei 20 bis 25°C stehen gelassen. Die Extinktion wird bei einer Schichtdicke von 10 mm und bei einer Wellenlänge von 366 nm (bzw. 334 nm) ermittelt.

Die erhaltenen Extinktionen der Prüflösung werden mit der Extinktion des Leeransatzes korrigiert. Aus den korrigierten Extinktionen werden mit dem Faktor 35,1 (Wellenlänge 366 nm) bzw. 19,6 (Wellenlänge 334 nm) die Lactatkonzentrationen berechnet.

Als Referenzbereiche sind ausgewiesen (Arzneibuch, 1983):

- Normalbereich kleiner 2,7 mmol/l
- Grenzbereich 2,8 bis 4,0 mmol/l
- pathologischer Bereich größer 4,1 mmol/l.

Die Qualitätskontrolle erfolgt sowohl mit wäßrigen Standards als auch mit lyophilisiertem Material unter Verwendung von Lithiumlactat. Die eingesetzten Kontrollmaterialien wurden in Referenzlabors des Sportmedizinischen Dienstes aufbereitet.

Das Labor der Sportärztlichen Hauptberatungsstelle (SHB) Halle hat in der externen Qualitätskontrolle des Parameters "Lactat" in den Jahren 1978 bis 1989

einen mittleren Qualitätsindex (Präzision) von 1,19 ($s = \pm 0,67$) bei 28 Kontrolluntersuchungen erzielt, d. h. 3,57% mittlere Abweichung vom Vorgabewert. Die monatliche interne Qualitätskontrolle (Serie von Tag zu Tag) ergab aus einer willkürlich entnommenen Untersuchungsreihe (Juli 1989) folgendes Ergebnis ($n = 20$ Untersuchungen):

- wäßriger Standard (Vorgabewert 11,20 mmol/l)
Mittelwert (\bar{x}): 11,20 mmol/l
Standardabweichung (s%): $\pm 1,15\%$ (Präzision 0,38)
- aufgelöstes lyophilisiertes Kontrollmaterial (Vorgabewert 5,60 mmol/l)
Mittelwert (\bar{x}): 5,41 mmol/l
Standardabweichung (s%): $\pm 3,07\%$ (Präzision 1,02)
- aufgelöstes lyophilisiertes Kontrollmaterial (Vorgabewert 15,70 mmol/l)
Mittelwert (\bar{x}): 15,54 mmol/l
Standardabweichung (s%): $\pm 1,80\%$ (Präzision 0,60).

Die Präzision wird erhalten aus Standardabweichung (s%), dividiert durch Vorgabewert zur zulässigen Standardabweichung (für Lactat = 3%).

PANSOLD et al. (1985) verwendeten für das Festlegen des Bereiches, indem sich zwei Lactatwerte nicht (also höchstens zufällig) unterscheiden, den 1,64 s-Bereich (Sicherheitswahrscheinlichkeit = 90%) und ermittelten somit den Analysefehler. Entsprechend diesem Vorgehen erhält man aus den entnommenen Beispielen für die Lactatbestimmung einen Gesamtfehler (ermittelt aus dem 1,64-Wert und dem s%-Wert)

- vom wäßrigen Standard (11,20 mmol/l)
 $1,64 \cdot 1,15 = 1,89\%$ (von 11,20 = 0,21 mmol/l)
Die Abweichung beträgt somit 11,20 \pm 0,21 mmol/l.
- vom aufgelösten lyophilisierten Standard (5,60 mmol/l)
 $1,64 \cdot 3,07 = 5,03\%$ (von 5,60 = 0,28 mmol/l)
Die Abweichung beträgt also 5,60 \pm 0,28 mmol/l.
- vom aufgelösten lyophilisierten Standard (15,70 mmol/l)
 $1,64 \cdot 1,80 = 2,95\%$ (von 15,70 = 0,46 mmol/l)
Die Abweichung beträgt 15,70 \pm 0,46 mmol/l.

Die Bearbeitung des biochemischen Parameters "Lactat" erfolgt an der SHB Halle aufgrund dieser Ergebnisse der externen und internen Qualitätskontrolle auf einem relativ guten Niveau.

3.5. Die Anwendung der Creatinkinase-Aktivität im Serum in der Leistungsdiagnostik

Das Enzym Creatinkinase (EC 2.7.3.2.) katalysiert die Reaktion



LOHMANN (1934).

Die Creatinkinase (CK) besteht aus den Untereinheiten M (Muskel) und B (Brain), wodurch drei cytoplasmatische Isoenzyme (CK-MM, CK-MB und CK-BB) existieren. Außerdem wurden eine mitochondriale Form und Makro-Creatinkinasen (Komplex mit Immunglobulinen) nachgewiesen.

Die cytoplasmatischen Isoenzyme sind relativ organspezifisch lokalisiert.

Die Skelettmuskelzellen enthalten vorwiegend das Isoenzym CK-MM, die Herzmuskelzellen CK-MM und CK-MB und die Gehirnzellen CK-BB.

Es ist bekannt, daß CK-Aktivitätserhöhungen im Serum das Resultat gestörter zellulärer und/oder interstitieller Verhältnisse sind (VOIGT-MALLMANN et. al., 1987). So können unter Minimierung von Störeinflüssen durchaus aus CK-Aktivitätserhebungen nach körperlichen Belastungen auf die Belastungsreizung bzw. auf die Adaptation von Belastungsreizen geschlossen werden (MENDE et al., 1983).

Eine direkte Beziehung zwischen sportlicher Leistung und CK-Aktivität besteht nicht.

CK-Aktivitätserhöhungen im Serum zeigen aufgrund der langen Invasions- und Eliminationszeiten nur summarisch Auswirkungen von körperlichen Belastungen an. Die Halbwertszeit liegt zwischen 14 und 18 Stunden. Die Bestimmung der CK-Aktivität erfolgte mit dem Testbesteck der Firma BOEHRINGER Mannheim GmbH "Monotest CK NAC aktiviert", d. h. zur Reaktivierung der CK wird N-Acetyl-L-Cystein verwendet (NAC), bei 37°C im optischen Test (Wellenlänge 334 nm). Es wurden 20 µl Serum, das aus Kapillarblut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen gewonnen wurde, eingesetzt.

Die Qualitätskontrolle erfolgte im wesentlichen aus CK-Pool-Seren. Das Labor der SHB Halle erzielte in der internen Qualitätskontrolle folgende Ergebnisse:

- Vorgabewert = 12,1 µmol/l·s
Mittelwert \bar{x} = 12,08 µmol/l·s
Standardabweichung (s%) = 2,89% (Präzision = 0,58)
- Vorgabewert = 7,0 µmol/l·s
Mittelwert \bar{x} = 7,02 µmol/l·s
Standardabweichung (s%) = 5,35% (Präzision = 1,07)

Als Grundlage diente der Kontrollzeitraum 1. Halbjahr 1989.

Die externe Qualitätskontrolle erfolgte weniger kontinuierlich. Im Zeitraum 1989 wurde ein Qualitätsindex von 1,60 erzielt, d. h. 8% Abweichung vom Vorgabewert (für CK = 5%).

Diese Ergebnisse belegen eine auf ebenfalls relativ gutem Niveau stehende Bearbeitung des biochemischen Parameters CK.

Die Abnahmezeiten werden in der Regel morgens vor der ersten Trainingsbelastung und abends im 12- bzw. 24-Stunden-Rhythmus realisiert.

3.6. Der Einsatz der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung

Ausgehend von den Empfehlungen für den Einsatz und für die Interpretation von Bestimmungen der Lactatkonzentration im Blut in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik (PANSOLD et al., 1987), stellen die stufenförmig ansteigenden Belastungen (Stufentests) die wesentlichsten Prüfverfahren zum Erfassen konditioneller Voraussetzungen dar.

An der SHB Halle werden seit dem Einsatz des Laufbandes für leistungsdiagnostische Untersuchungen (1978) die Ergebnisse der Laufbandstufenbelastungen nach der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung (LGB) ausgewertet. Dieser Auswertungsmodus entspricht den Ausführungen von PANSOLD et al. (1982).

Es gilt die Gleichung

$$L = a e^{bv} \quad (1)$$

als e-Funktion bzw.

$$\ln L = \ln a + bv \quad (2)$$

als lineare Funktion.

L = Lactat

a, b = Konstanten

v = Geschwindigkeit

e = Basis der natürlichen Logarithmus

ln = natürlicher Logarithmus

Die mathematische Auswertung der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung erfolgt über eine alineare Regressionsanalyse (Rechenprogramm: Kurvenanpassung mit dem Rechner HP 97 der Firma HEWLETT-PACKARD). Man erhält die Konstanten a und b sowie das Bestimmtheitsmaß r^2 und errechnet zu den vorgegebenen Lactatwerten (z. B. 3, 4 oder 6 mmol/l) die Geschwindigkeit v (z. B. v_{L3} , v_{L4} , v_{L6} u. a.). Die graphische Auswertung wurde entsprechend Gleichung (2) aufgrund einer besseren optischen Betrachtung der Lage der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung zweckmäßiger Weise im halblogarithmischen System (das Lactat wird auf logarithmisch angeordneter Ordinate und die Geschwindigkeit auf linear angeordneter Abszisse aufgetragen) vorgenommen.

Dazu eignet sich sehr gut SCHÄFER'S Feinpapier (Bestell-Nr. 497, 9900 PLAUEN).

Die Meßpunkte liegen entsprechend dieser Form der Auswertung auf einer Geraden mit dem Anstieg

$$b = \frac{\ln L_1 - \ln L_2}{v_1 - v_2} \quad (3)$$

(L_1 , v_1 und L_2 , v_2 als Wertepaare der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung).

Entsprechend den mathematisch-statistischen Betrachtungen zur Einordnung der Richtigkeit und Präzision der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung (nach PANSOLD et al., 1987), wurden in der vorliegenden Arbeit nur Ergebnisse verwendet, die im Bestimmtheitsmaß r^2 der LGB von

- größer als 0,98
für die Bewertung des v_{L4} -Wertes und der Konstanten b (Anstieg der LGB)
bzw.
- größer als 0,95
für die Bewertung des v_{L4} -Wertes im einzelnen.

Die Größe der Konfidenzintervalle bei einem schlechteren Bestimmtheitsmaß ließ keine anderen Festlegungen zu, wenn eine sinnvolle Interpretation der Ergebnisse vorgenommen werden sollte.

Es werden mindestens vier auswertbare Wertepaare (Lactat, Geschwindigkeit) aus der Laufbandstufenbelastung verwendet.

Erhält man nur drei auswertbare Belastungsstufen, kann eine Bewertung der Ergebnisse nur mit einem Bestimmtheitsmaß der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung von größer als 0,99 vorgenommen werden.

3.7. Die Atemgasanalyse

An der SHB Halle wurde die Atemgasanalyse bis 1984 mit dem SPIROLYT der Firma JUNKALOR Dessau vorgenommen.

Im halboffenen System wurde die Sauerstoffkonzentration mit dem Permolyt (Nutzen des Sauerstoffparamagnetismus) und die Kohlendioxidkonzentration über eine Wärmeleitfähigkeitszelle gemessen.

Die Volumina (Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe) wurden über das Vorgabevolumen von Frischluft einschließlich der gemessenen Konzentrationen ermittelt.

Der Gesamtmeßfehler kann erfahrungsgemäß mit etwa $\pm 10\%$ angegeben werden, wenn sich die Meßzellen mit dem Gasgemisch im "steady state" befindet.

Seit 1985 erfolgt die Gasanalyse mit dem BIOTEST der Firma "Technisch-physikalischer Gerätebau" Dresden.

Im offenen, ventilgesteuerten System erfolgt die Sauerstoffdefizitmessung über eine Festelektrolytzelle nach dem Prinzip der potentiometrischen Sauerstoffanalyse (Gapolyt), während das Kohlendioxid über die Infrarotabsorption gemessen wird.

Die Volumenmessung, d. h. die Bestimmung des Atemzeitvolumens, erfolgt mit einem Pneumotachographen nach dem FLEISCH'schen Prinzip (laminarisierte Strömung). Die erhaltenen Meßwerte des BIOTEST-Atemgasanalysegerätes werden erfahrungsgemäß mit einem Gesamtmeßfehler von etwa $\pm 5\%$ angegeben (BÖHME, 1988). In dieser Arbeit werden die Ergebnisse der Atemgasanalyse mit dem dafür eingesetzten Gerätesystem ausgewiesen.

3.8. Mathematische und statistische Verfahren

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die mathematische und statistische Auswertung der Ergebnisse entsprechend den "Grundlagen der Statistik" nach CLAUSS und EBNER (1978):

- Es wurden die Mittelwerte (\bar{x}) und die Standardabweichungen ($\pm s$) sowie das Bestimmtheitsmaß (r^2) und die Korrelation (r) berechnet.
- Weiterhin wurden Signifikanzprüfungen auf Unterschiede der Mittelwerte mit Hilfe des t-Tests für ungepaarte Daten bei Vorgabe einer Irrtumswahrscheinlichkeit (α) von 5%, 1% und 0,1% vorgenommen.
- Es folgten Prüfungen auf korrelative Zusammenhänge ausgewählter Untersuchungsergebnisse in Form von linearen und alinearen Regressionen einschließlich von multiplen Regressionsanalysen.

3.9. Die Laufbanduntersuchungen

An der SHB Halle werden mit einem vom Forschungsinstitut für Körperkultur und Sport (FKS) Leipzig entwickelten Laufband Untersuchungen sowohl zum aeroben als auch zum anaeroben Energiestoffwechsel durchgeführt.

Dieses geschwindigkeitsregelbare Laufband kann für stufenförmige und für kontinuierliche Belastungssteigerungen eingesetzt werden. Es ist bis zu einem Winkel von 3° anstellbar.

Als kleinste Stufeneinstellung ist eine Geschwindigkeitssteigerung von 0,25 m/s möglich.

Die Genauigkeit der Laufbandgeschwindigkeit beträgt erfahrungsgemäß $\pm 0,05$ m/s.

Für die Beurteilung der Laufgeschwindigkeiten kann für dieses Laufband in den untersuchten Geschwindigkeitsbereichen ein Gesamtmeßfehler von $\pm 2\%$ abgeschätzt werden. Dieser Gesamtmeßfehler ist einerseits durch ein mögliches "Rutschen" des Bandes bei höheren Geschwindigkeiten (größer 5 m/s) und andererseits durch das subjektive Einstellen und Regeln der Laufbandgeschwindigkeit vom Bedienungspersonal begründet.

Die Laufbanduntersuchungen in dieser Arbeit erfolgten ohne Anstellwinkel.

3.9.1. Untersuchungen zum aeroben Energiestoffwechsel

Zum Erfassen von aeroben Leistungsvoraussetzungen wurden Stufenbelastungstests auf dem Laufband nach folgendem Untersuchungsmodus durchgeführt:

4x5-Minuten-Stufentest

Belastungsbeginn:	3,25 m/s (männlich) 3,00 m/s (weiblich)
Belastungssteigerung:	0,50 m/s
Pause:	jeweils 10 Minuten zwischen den einzelnen Belastungsstufen
Belastungsende:	4,75 m/s (männlich) 4,50 m/s (weiblich)
Blutentnahme (Lactat):	jeweils in der 1. Minute nach der einzelnen Belastungsstufe sowie in der 1. und 3. Minute nach Belastungsende

Dieser in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik standardisierte Test wurde für den 400m-Langsprint modifiziert (SONNTAG et al., 1983 und 1984).

Die gemittelten Ergebnisse von 47 männlichen und 25 weiblichen Athleten (Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen) rechtfertigen im wesentlichen die Anwendung dieses Tests für Untersuchungen zur Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit. Die Funktionsverläufe sind in Abb. 5 und 6 dargestellt.

Die Regressionsleistungen lauten für

- 400m-Läufer (n = 47)

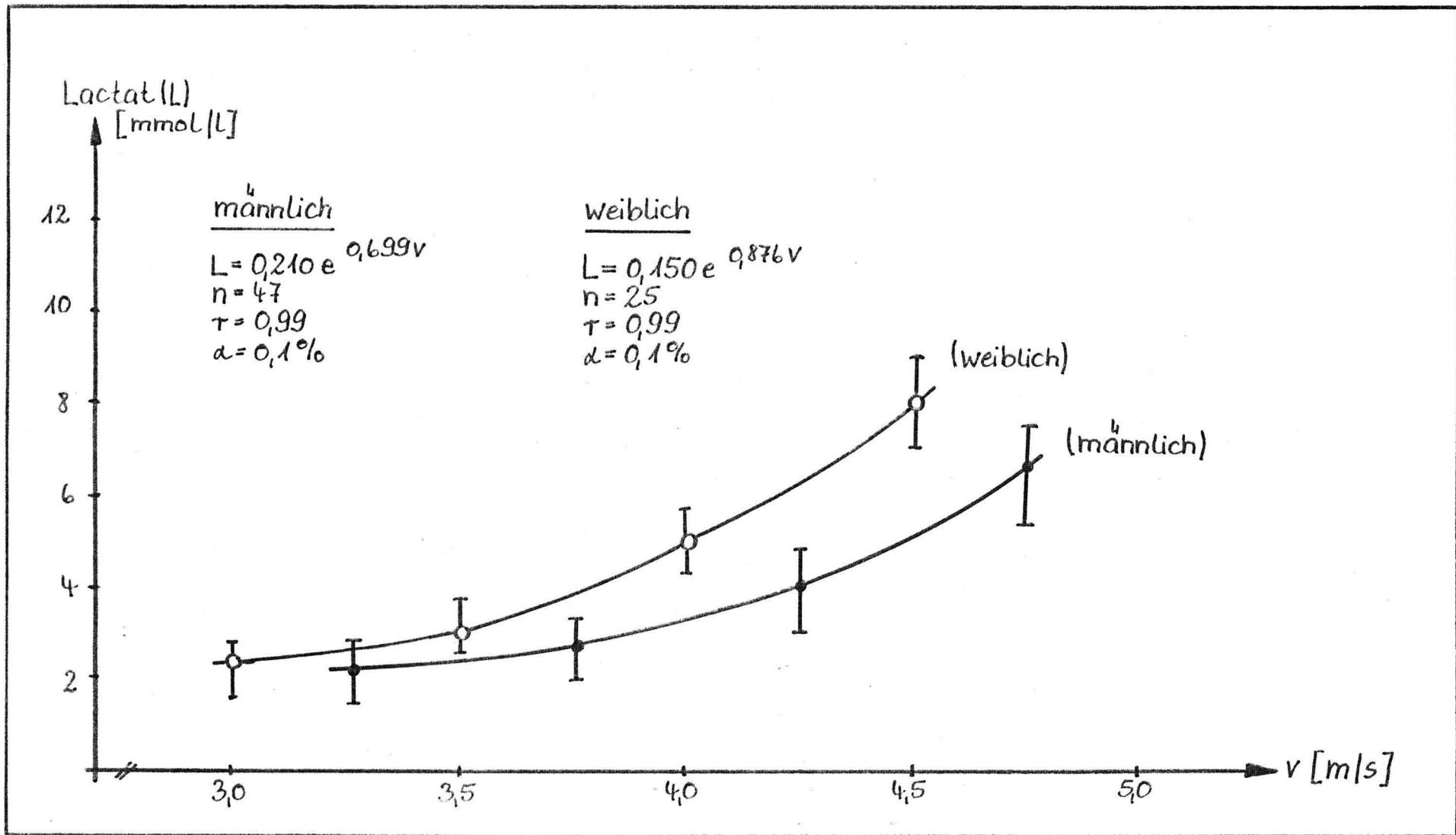
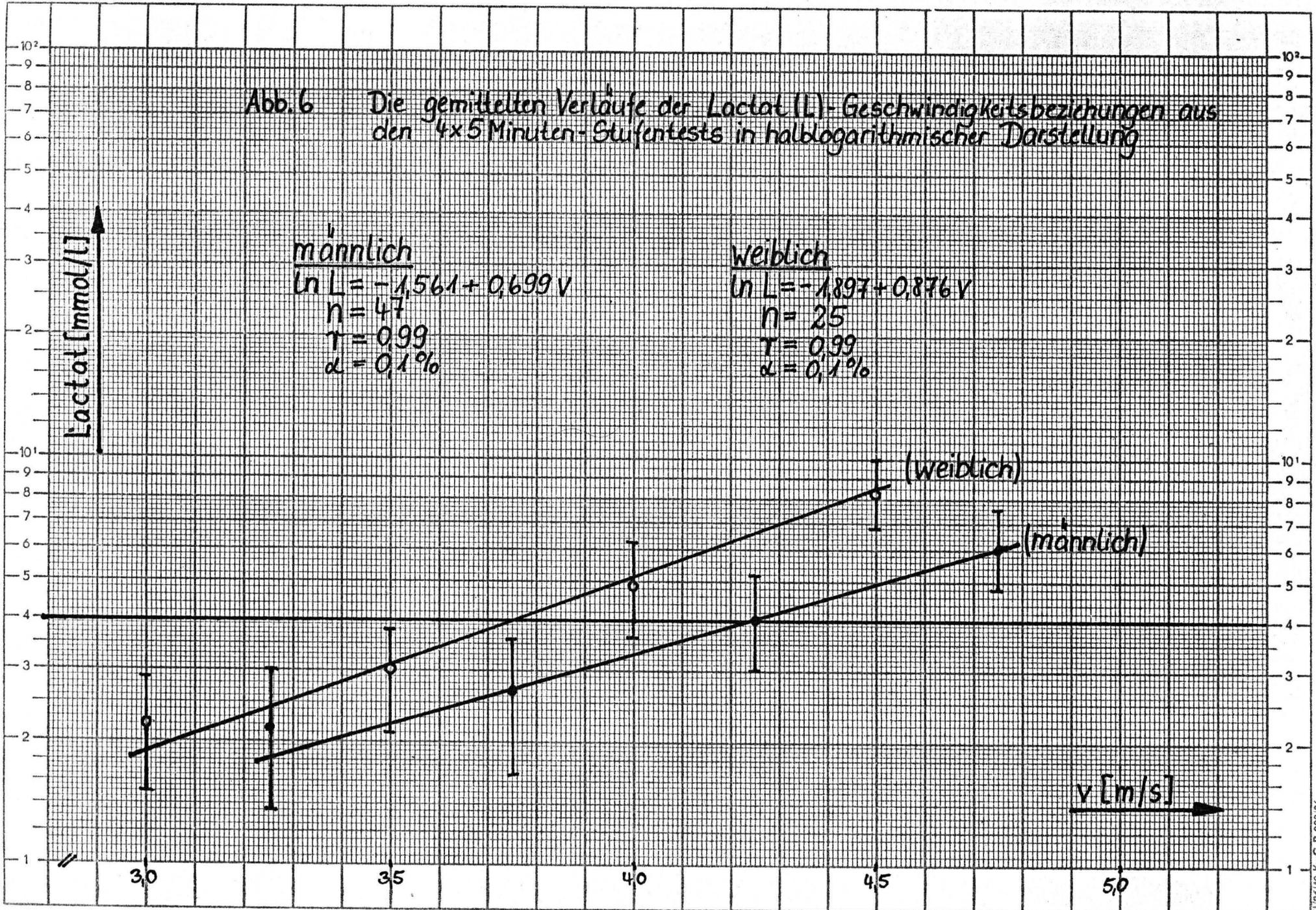


Abb. 5 Die gemittelten Verläufe der Lactat-Leistungsbeziehungen aus den 4x5 Minuten - Stufentests zum Erfassen der aeroben Leistungsfähigkeit an männlichen und weiblichen 400m-Athleten (nach PANSOLD, 1983)

Abb. 6 Die gemittelten Verläufe der Lactat (L)-Geschwindigkeitsbeziehungen aus den 4x5 Minuten-Stufentests in halblogarithmischer Darstellung



- 47 -

11/26/40 KwG B 008/85



$$L = 0,210 e^{0,699 v}$$
$$r = 0,99$$
$$\alpha = 0,1\%$$

L = Lactat
v = Geschwindigkeit
r = Korrelationskoeffizient
 α = Irrtumswahrscheinlichkeit

Ein daraus berechneter mittlerer v_{L4} -Wert beträgt 4,22 m/s.

Dieser Wert stellt eine allgemeine Orientierung zur Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit dar, wobei die individuellen Ergebnisse besonders in der Leistungsgruppe der Spitzenathleten differenziert zu betrachten sind.

- 400m-Läuferinnen (n = 25)

$$L = 0,150 e^{0,876 v}$$
$$r = 0,99$$
$$\alpha = 0,1\%$$

Der errechnete mittlere V_{L4} -Wert beträgt 3,75 m/s.

Auch dieser Wert gilt nur als eine mittlere Orientierung.

Die Untersuchungsergebnisse (v_{L4} -Wert, Konstante b der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung) sind im Anhang in den Tabellen A 1/1 und A 1/2 dargestellt.

Kritisch muß zur Praktikabilität des 4x5-Minuten-Stufentests eingeschätzt werden, daß oftmals nur drei Wertpaare (Geschwindigkeit der einzelnen Belastungsstufen und der dazu gehörende Lactatwert) in die mathematische Auswertung einbezogen werden konnten und daß zur Ermittlung des v_{L4} -wertes aufgrund der Geschwindigkeitsvorgaben z. T. unzulässige Extrapolationen der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung (z. B. wurden am Belastungsende keine Lactatwerte über 4 mmol/l erhalten) vorgenommen wurden. Darüber hinaus war die Atemgasanalytik mit dem BIOTEST-Gerät aufgrund der 10 Minuten Pause zwischen den einzelnen Belastungsstufen stark eingeschränkt.

Aus dieser Sicht wurde ein neuer Laufbandstufentest erarbeitet und erprobt, der als Standardtest in der KZA-Diagnostik allgemein eingesetzt werden kann:

n x 3-Minuten-Stufentest (KZA-Standardtest)

Belastungsbeginn:	3,50 m/s (männlich) 3,25 m/s (weiblich) für Sportler im Hochleistungstraining
Belastungssteigerung:	0,25 m/s
Pause:	jeweils 30 Sekunden zwischen den einzelnen Belastungsstufen zur Blutentnahme
Belastungsende:	Bis zur subjektiven Erschöpfung bzw. bis zu submaximalen Werten (Herzfrequenz um 180/min, RQ über 0,95, Atemäquivalent über 27).
Blutentnahme (Lactat):	jeweils in den Pausen sowie in der 1. und 3. Minute nach Belastungsende.

Die Zahl (n) der Belastungsstufen ist nach oben offen (subjektive Erschöpfung) sollte aber 8 Stufen nicht überschreiten und 5 Stufen nicht unterschreiten. Dieser Test wurde im Rahmen des wissenschaftlichen Arbeitsthemas "Sportmedizinische Diagnostik" zur Ergebniskonferenz 1985 (SONNTAG et al., 1984) sowie zum Ergebniskolloquium des FKS Leipzig (SONNTAG und DEBES, 1986) vorgestellt und als Standardtest für Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit in der KZA vorgeschlagen. Sinnvollerweise wurde dieser Test, der nur in der KZA-Diagnostik angewendet werden sollte, als KZA-Standardtest bzw. auch aufgrund der Stufenbelastungszeit 3-Minuten-Stufentest bezeichnet.

Die gemittelten Verläufe der Lactat-Leistungsbeziehungen weisen eine gute Praxisrelevanz aus. Die Regressionsgleichungen lauten für

- 400m-Läufer (n = 31)

$$L = 0,029 e^{1,174 v}$$

$$r = 0,99$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Der daraus ermittelte v_{L4} -Wert beträgt 4,19 m/s.

- 400m-Läuferinnen (n = 23)

$$L = 0,063 e^{1,130 v}$$

$$r = 0,99$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Der errechnete v_{L4} -Wert beträgt 3,68 m/s.

Der Verlauf dieser Funktionen ist in Abb. 7 sowohl in a linearer (e-Funktion) als auch in linearer (im halblogarithmischen System) Form dargestellt (Bild a bzw. b). Die Untersuchungsergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 2/1 und A 2/2 aufgeführt.

Ein Vergleich der v_{L4} -Werte und der b-Werte der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung aus dem 4x5-Minuten-Stufentest (Test 1) und dem nx3-Minuten-Stufentest (Test 2) wurde an 8 Sportlern vorgenommen, die diese Tests innerhalb von 24 Stunden absolvierten. Damit sollte einerseits die Vergleichbarkeit der Testergebnisse für die Interpretation dargestellt und andererseits die Validität der Tests geprüft werden.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

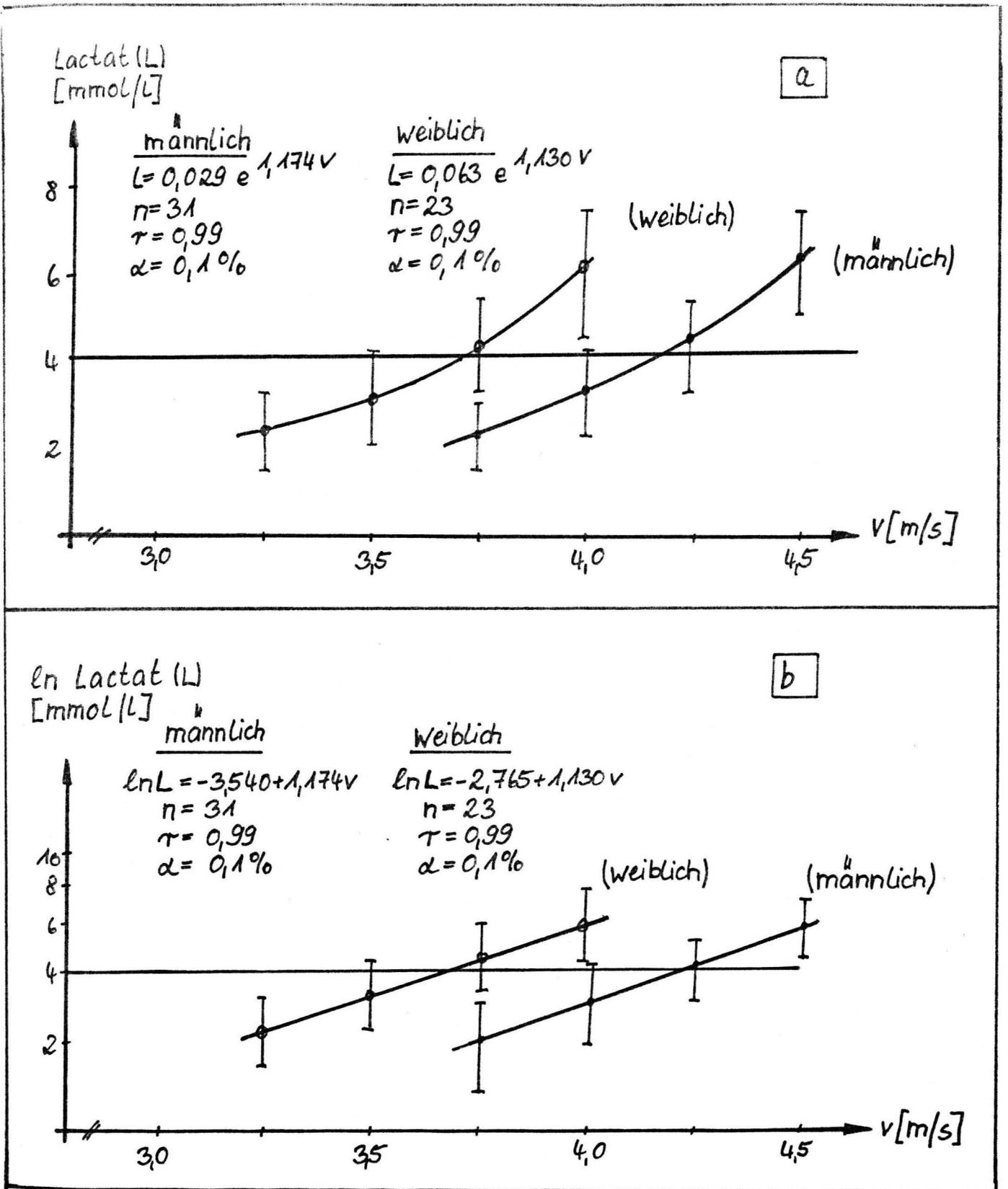


Abb. 7 Die gemittelten Verläufe der Lactat-Leistungsbeziehungen aus den KZA-Standardtests ($n \times 3$ Minuten-Stufentest) zum Erfassen der aeroben Leistungsfähigkeit von männlichen und weiblichen 400m-Athleten im Vergleich von linearer (a) und halblogarithmischer (b) Darstellung

Tabelle 3

Vergleich der Testergebnisse (v_{L4} -Wert und b-Wert aus der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung) zwischen dem 4x5-Minuten-Stufentest (Test 1) und dem 3-Minuten-Stufentest (Test 2)

Sportler	Test 1		Test 2	
	v_{L4} (m/s)	b (s/m)	v_{L4} (m/s)	b (s/m)
093	4,8	1,3	4,5	1,4
094	4,5	1,3	4,5	1,2
095	4,6	1,1	4,7	1,5
096	4,5	1,0	4,4	1,3
097	4,5	1,1	4,3	1,4
098	4,2	1,1	3,9	1,2
099	4,2	0,9	4,2	1,2
100	5,0	1,2	4,7	1,4
\bar{x} =	4,54	1,13	4,40	1,33
s = \pm	0,27	0,14	0,27	0,12

Bei vorgegebener Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 10\%$ ist der Unterschied der Mittelwerte für den v_{L4} -Wert nicht signifikant.

Der Unterschied der Mittelwerte für die Konstante b ist erwartungsgemäß (höhere Neigung zur Lactatakkumulation im Test 2 aufgrund der kurzen Pausen zwischen den einzelnen Belastungsstufen) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 2\%$ signifikant.

In der Tabelle 4 ist die Auswertbarkeit der beiden Laufbandstufentests zur Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit im Vergleich dargestellt.

Tabelle 4

Die Untersuchungen mit dem 4x5-Minuten-Stufentest (Test 1) und mit dem 3x3-Minuten-Stufentest (Test 2) im Vergleich

Auswertung	Test 1		Test 2	
	Anzahl	%	Anzahl	%
Gesamtuntersuchungen	235	100	345	100
4 auswertbare Stufen	128	54,4	345	100
$r^2 \geq 0,98$	96	40,9	275	79,7
$r^2 \geq 0,95$	120	51,1	326	94,5
$r^2 < 0,95$	8	3,4	19	5,5
3 auswertbare Stufen	107	45,6	keine	
$r^2 \geq 0,99$	56	23,8		
$r^2 < 0,99$	51	21,7		
auswertbare Untersuchungen				
insgesamt	176	74,9	326	94,5
nicht auswertbare Untersuchungen	59	25,1	19	5,5

Aus dieser Gegenüberstellung ist zu entnehmen, daß der nx3-Minuten-Stufentest mit nur 5,5% nicht auswertbaren Untersuchungen gegenüber 25,1% aus dem 4x5-Minuten-Stufentest für die KZA-Diagnostik zur Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit eine wesentlich höhere Verwendbarkeit ausweist und deshalb als KZA-Standardtest angewendet werden kann. Außerdem sprechen für die Anwendung des nx3-Minuten-Stufentest, daß

- aufgrund der Testgestaltung (im Mittel werden 5 bis 6 Belastungsstufen realisiert) eine wesentlich höhere mathematische Relevanz und damit eine höhere Sicherheit in bezug auf wissenschaftliche Abhandlungen vorliegt,
- die unzulässigen Extrapolationen zum Ermitteln des v_{L4} -Wertes im wesentlichen nicht mehr möglich sind,
- das Einschwingverhalten des biologischen Systems und die motorische Anpassung aufgrund der geringeren Geschwindigkeitssteigerungen (0,25 m/s gegenüber 0,50 m/s im 4x5-Minuten-Stufentest) sowie der relativ geringen Anfangsgeschwindigkeit wesentlich besser erfolgt,
- die Anfangsbelastungsstufe gegebenenfalls als Einlaufstufe genutzt werden kann,
- der Einsatz einer kontinuierlichen Atemgasanalytik praktikabel wird,

- neben der relativ hohen mathematischen Sicherheit der Untersuchungsergebnisse auch die Effektivität (Zeitökonomie) gegeben ist.

Die Praxisrelevanz des nx3-Minuten-Stufentests wird ergänzt durch das Untersuchungsergebnis zur Reproduzierbarkeit dieses Tests. Innerhalb von 24 Stunden wurde an 9 Sportlern eine Test-Retest-Prüfung vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 aufgeführt

Tabelle 5

Der 3-Minuten-Stufentest in der Test-Retest-Prüfung (Reliabilitätsprüfung) innerhalb von 24 Stunden. Es werden der v_{L4} -Wert (m/s) und der b-Wert (s/m) aus der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung verglichen.

Sportler	1. Tag		2. Tag	
	v_{L4}	b	v_{L4}	b
076	4,64	1,26	4,75	1,21
077	4,57	1,54	4,55	1,16
078	4,39	1,64	4,41	1,66
079	4,39	1,09	4,20	1,15
080	4,26	1,26	4,18	0,95
081	4,20	1,21	4,11	1,33
082	4,14	1,19	4,26	1,32
083	3,85	1,14	3,84	1,25
084	3,76	1,22	3,77	1,04
$\bar{x} =$	4,24	1,28	4,23	1,23
$s = \pm$	0,30	0,18	0,31	0,19

Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,1\%$ sind die Mittelwerte (v_{L4} und b) als gleich anzusehen.

Die Untersuchungen in dieser Arbeit erfolgen sowohl mit dem 4x5-Minuten-Stufentest als auch mit dem 3-Minuten-Stufentest, wobei seit 1985 der 3-Minuten-Stufentest verstärkt eingesetzt wurde.

Die Untersuchungsbedingungen (Testgestaltung, Testzeit, Raumtemperatur) wurden in der SHB Halle entsprechend den Empfehlungen für standardisierte Ergometrieuntersuchungen des Sportmedizinischen Dienstes erfüllt.

Neben einer standardisierten Ernährung sind auch die Vorbelastungen im engeren (Vorstart) und im weiteren Sinne (umfangreiche und intensive Belastungen bis 48 Stunden vor leistungsdiagnostischen Untersuchungen beeinflussen aufgrund der Substratveränderungen in der Muskelzelle bzw. anderer bioenergetischer Prozesse sowohl die Leistungsfähigkeit des Athleten als auch die Aussagefähigkeit

der Lactat-Leistungsbeziehung) zu standardisieren.

In der Tabelle 6 werden Untersuchungsergebnisse dargestellt, die den Einfluß von intensiven Vorbelastungen (24 Stunden vor dem Laufbandstufentest) auf den v_{L4} -Wert und dem b-Wert der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung zum Ausdruck bringen.

Im Test 1 erfolgt die Untersuchung zum Erfassen der aeroben Leistungsfähigkeit unter normalen Vorbedingungen (keine zu umfangreichen und zu intensiven Trainingsmittel bei normaler Ernährung vor dem Untersuchungstermin), während im Test 2 (im engen zeitlichen Bezug von 48 Stunden) 24 Stunden zuvor intensive und umfangreiche Trainingsmittel (z. B. 6x200 m in hoher Intensität) absolviert worden sind.

Tabelle 6

Die Ergebnisse aus Laufbandstufentest-Untersuchungen (v_{L4} -Wert und die Konstante b aus der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung) an 7 Sportlern mit normaler (Test 1) sowie intensiver und umfangreicher Vorbelastung (Test 2) zum Untersuchungszeitpunkt. Die Untersuchungen erfolgten innerhalb von 48 Stunden.

Sportler	Test 1		Test 2	
	v_{L4} (m/s)	b (s/m)	v_{L4} (m/s)	b (s/m)
146	4,20	0,74	4,27	1,06
147	4,02	1,04	4,16	1,18
148	4,08	0,87	4,31	1,47
149	4,45	1,52	4,56	1,53
150	3,25	1,02	3,32	1,32
151	4,16	0,99	4,77	1,00
152	4,24	0,91	4,81	0,91
\bar{x} =	4,06	1,01	4,34	1,21
s = \pm	0,38	0,25	0,44	0,24

Diese Unterschiede sind mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ signifikant.

Als standardisierte Vorbelastungen wurden für die vorliegenden leistungsdiagnostischen Untersuchungen eingehalten

- keine intensiven und umfangreichen Trainingsmittel im Zeitraum von 48 Stunden vor dem Untersuchungstermin,
- etwa 15 bis 20 Minuten am Untersuchungstag (30 bis 40 Minuten vor Testbeginn) aufwärmen (gymnastische Übungen) und

- unmittelbar vor dem Test erfolgte eine motorische Anpassung an die Laufbandtestbelastung (3 Minuten mit einer Laufbandgeschwindigkeit von 2 bis 3 m/s bzw. der 3-Minuten-Stufentest wird bei einer niedrigen Stufe als vorgesehen begonnen).

Zum Erfassen einzelner maximaler Funktionsamplituden des Organismus wurde folgender Standardtest (ARLT et al., 1982) auf dem Laufband durchgeführt (ohne Anstellwinkel):

"vita-maxima"-Test

Belastungsbeginn:	3,75 m/s (männlich) 3,50 m/s (weiblich) jeweils eine Minute
Belastungssteigerung:	0,25 m/s
Belastungszeit:	30 Sekunden pro Stufe
Belastungsende:	subjektive Erschöpfung
Blutentnahme (Lactat):	Vorbelastungswert (VBW) sowie 3., 5., 7. und 20. Minute nach Belastungsende

Dieser Test erfolgte im wesentlichen im Anschluß an den 4x5-Minuten-Stufentest bzw. an den KZA-Standardtest nach einer Pause von mindestens 120 Minuten.

Diese bisher aufgeführten Laufbandtests sind in Abb. 8 zur besseren Übersicht dargestellt (Bild a, b und d).

Die Auswertung des "vita-maxima"-Tests erfolgt im Zusammenhang mit den Laufbandstufentest (4x5-Minuten- bzw. 3-Minuten-Stufentest).

Als ausgewählte Parameter wurden im wesentlichen verwendet:

- die maximale Sauerstoffaufnahme ($\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}$)
- die Sauerstoffaufnahme bei der Größe v_{L4} ($\text{ml}/\text{min}\cdot\text{kg}$)
- die prozentuale Ausnutzung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei der Größe v_{L4} ,
- die maximale Herzschlagfrequenz ($1/\text{min.}$),
- die Herzschlagfrequenz bei Lactat = 4 mmol/l ($1/\text{min.}$),
- das Atemäquivalent,
- die Belastungszeit (s) bis zur subjektiven Erschöpfung,
- die Belastungszeit (s) mit vorwiegend anaerober Energiebereitstellung

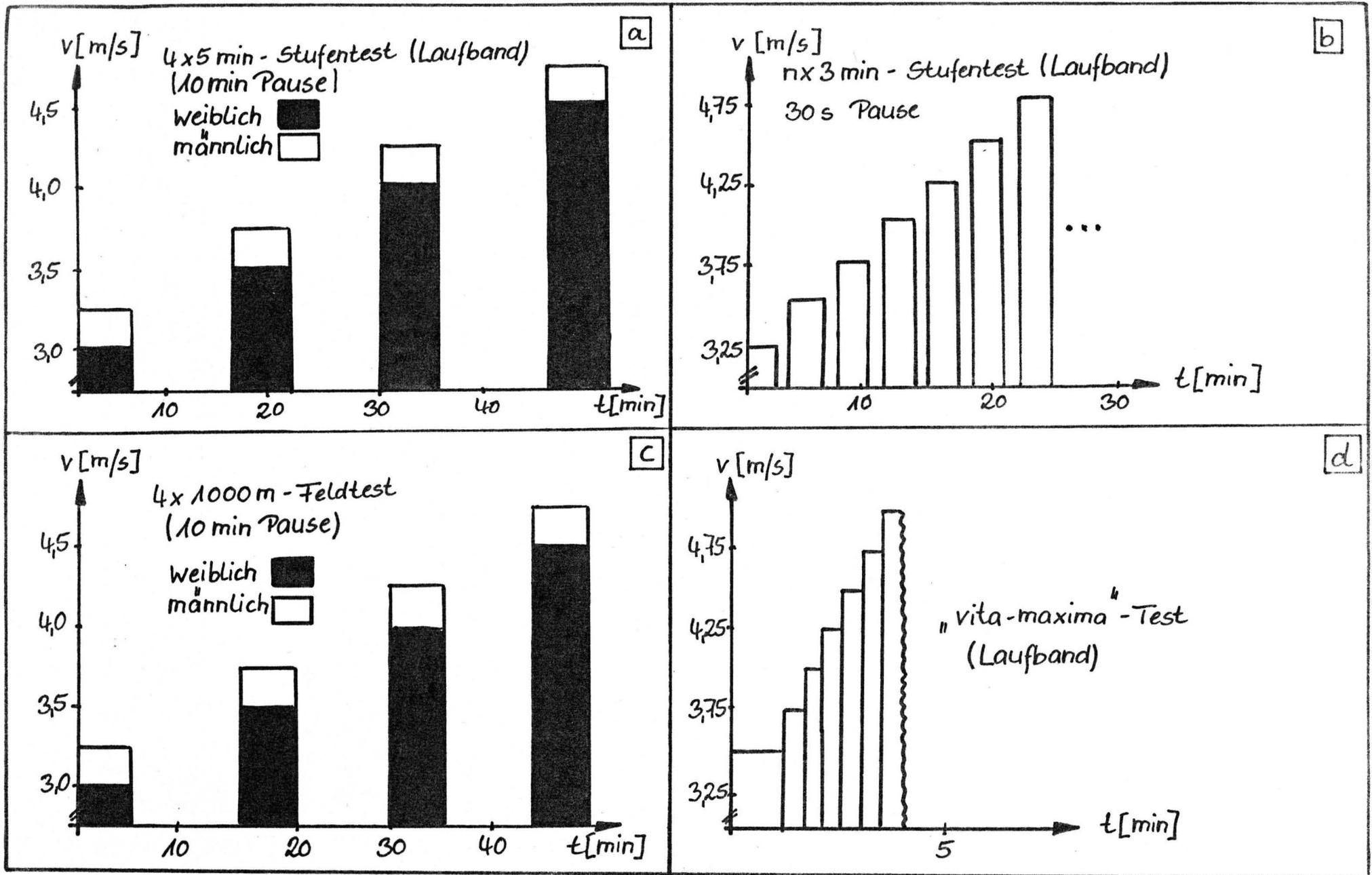


Abb. 8 Die Stufentests zur Ermittlung aerober Leistungsvoraussetzungen

(Laufzeit ab v_{L4} -Geschwindigkeit bis zur subjektiven Erschöpfung) sowie - die maximale Lactatkonzentration nach Belastung (mmol/l).

In Anlehnung an BARON et al. (1987) wurden aus der maximalen Lactatkonzentration und der Belastungszeit mit vorwiegend anaerober Energiebereitstellung (Laufzeit ab v_{L4} -Geschwindigkeit bis zur subjektiven Erschöpfung) ein anaerober Ausdauerkoeffizient (ANA) wie folgt ermittelt:

$$\text{ANA} = \frac{L_{\text{max}} \cdot \Delta t}{100} \quad \left[\text{mmol} \cdot \text{s/l} \right]$$

L_{max} = maximale Lactatkonzentration nach Belastung

(Δt = t gesamt - t Laufzeit bis v_{L4})

Δt = Laufzeit ab v_{L4} bis zur subjektiven Erschöpfung

3.9.2. Untersuchungen zum anaerob-lactaciden Energiestoffwechsel

Zum Erfassen anaerob-lactacider Energiestoffwechselforgänge werden auf dem Laufband die Antwortreaktionen des Organismus (Lactatbildung) auf kurzzeitige intensive Stufenbelastungen verfolgt. Diese Stufentests haben folgenden Aufbau:

4x60-Sekunden-Stufentest (allgemein)

Belastungsbeginn:	5,50 m/s (männlich) 5,00 m/s (weiblich) für Sportler im Hochleistungstraining
Belastungssteigerung:	0,5 m/s
Pause:	10, 15 bzw. 20 Minuten zwischen den einzelnen Belastungsstufen
Belastungsende:	7,0 m/s (männlich) 6,5 m/s (weiblich)
Blutentnahme (Lactat):	jeweil in der 3. Minute nach dem Ende der Belastungsstufen sowie 5. und 19. Minute nach der 3. Belastungsstufe und in der 5., 7. und 20. Minute nach Belastungsende.

Für die Testauswertung werden je Belastungsstufe 45 Sekunden eingesetzt. Es ist im wesentlichen die Zeit, die sich aus der maximalen Inanspruchnahme des lactaciden Energiestoffwechsels ableitet.

Die zum "Anlaufen" des Laufbandes auf die vorgegebene Geschwindigkeit benötigte Zeit wurde mit 15 Sekunden festgelegt. Diese Zeit wird aufgrund der beim "An-

laufen" geringfügigen anaeroben Beanspruchung des Organismus für die Auswertung vernachlässigt.

Die Geschwindigkeitsgestaltung dieses Tests im 400m-Langsprint erfolgt nach dem individuellen Leistungsvermögen. Er wird in der speziellen Ausdauer im Trainingsabschnitt I_3 (80 bis 89,9% der individuellen 400m-Bestzeit) und im Trainingsabschnitt I_2 (90 bis 94,9% der individuellen 400m-Bestzeit) realisiert.

Dieser Test hat damit folgenden Ablauf:

4x60-Sekunden-Stufentest (400m-Langsprint)

- | | |
|----------|---|
| 1. Stufe | 70% der 400m-Bestzeit
10 Minuten Pause
Blutentnahme (Lactat): 3. Minute nach dem Ende der Belastungsstufe |
| 2. Stufe | 80% der 400m-Bestzeit
15 Minuten Pause
Blutentnahme: 3. Minute nach dem Ende der Belastungsstufe |
| 3. Stufe | 85% der 400m-Bestzeit
20 Minuten Pause
Blutentnahme: 3., 5. und 19. Minute nach dem Ende der Belastungsstufe |
| 4. Stufe | 90% der 400m-Bestzeit (Trainingsabschnitt I_3),
92,5% der 400m-Bestzeit (Trainingsabschnitt I_2)
Blutentnahme: 5., 7. und 20 Minute nach Belastungsende |

Der 4x60-Sekunden-Stufentest ist zur besseren Übersicht in Abb. 9 a dargestellt.

Dieser Test wurde ebenfalls einer Reliabilitätsprüfung unterzogen.

Innerhalb von 24 Stunden absolvierten 8 Sportler diesen Test viermal (Test 1 bis Test 4) mit folgenden Belastungsstufen

5,0 - 5,5 - 6,0 - 6,5 m/s.

Die Tabelle 7/1 stellt den Vergleich der v_{L4} -Werte und der Konstanten b dar und in Tabelle 7/2 sind die arithmetischen Mittelwerte mit Standardabweichung angegeben. Die einzelnen Untersuchungsergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 3/1, A 3/2 und A 3/3 aufgeführt.

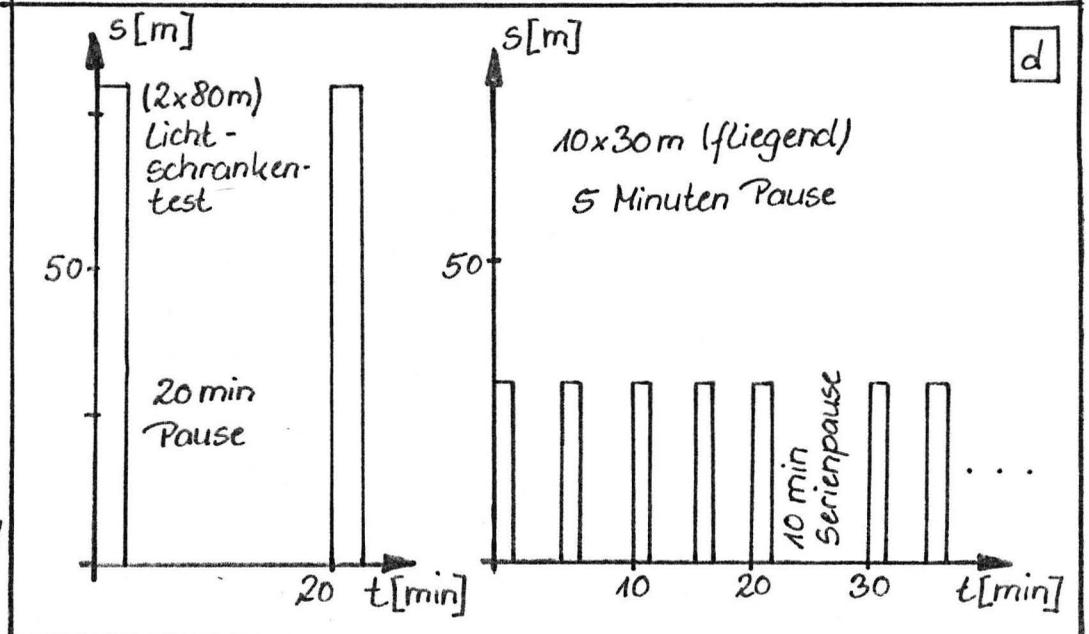
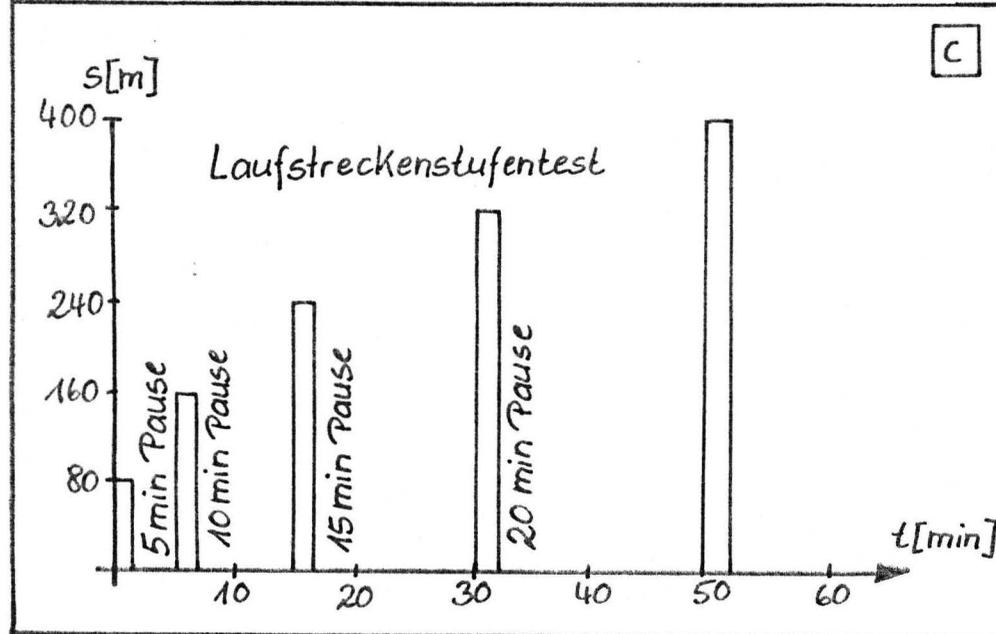
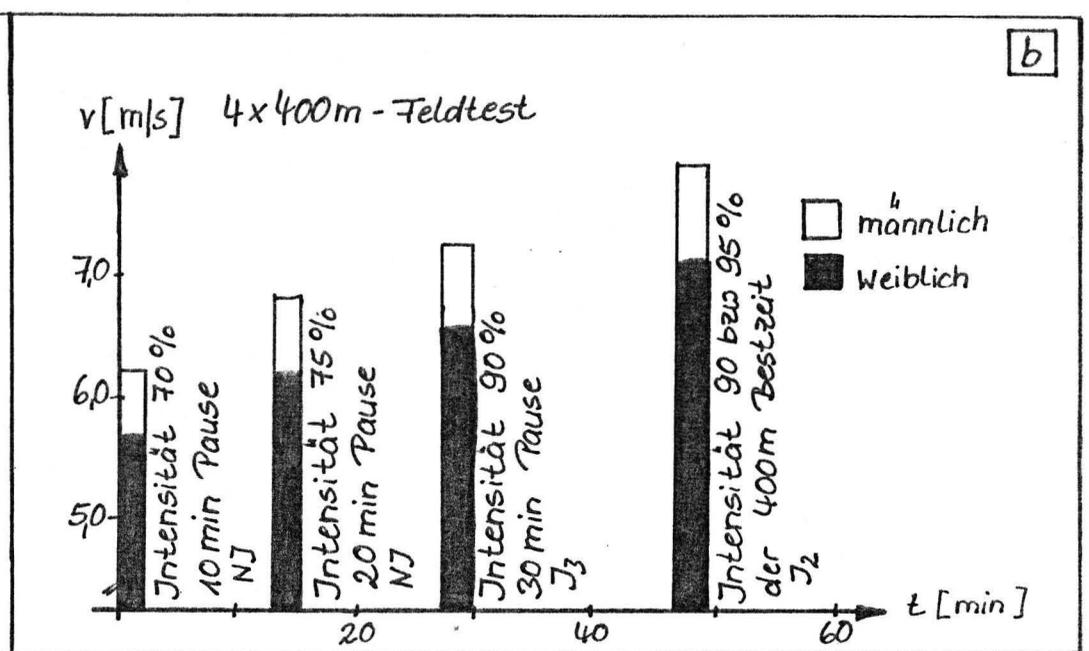
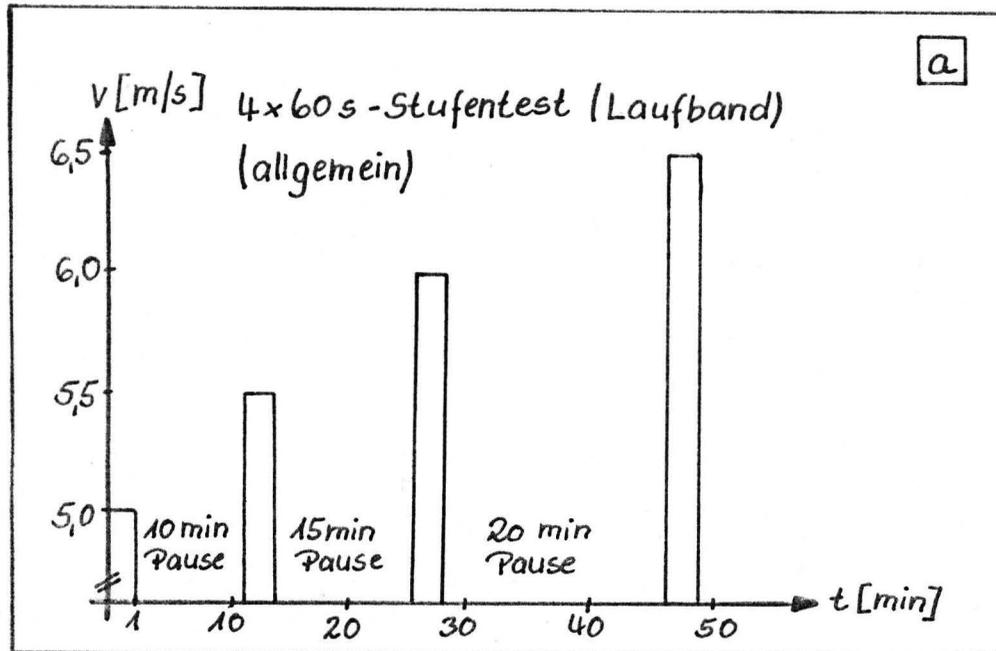


Abb. 9 Die Stufen- und Feldtests zur Ermittlung anaerober Leistungsvoraussetzungen

Tabelle 7/1

Reliabilitätsprüfung des 4x60-Sekunden-Stufentests.

Innerhalb von 24 Stunden wurde dieser Test von 8 Sportlern viermal absolviert. Es werden der v_{L4} -Wert (m/s) und die Konstante b (s/m) verglichen.

Sportler	1. Test		2. Test		3. Test		4. Test	
	v_{L4}	b	v_{L4}	b	v_{L4}	b	v_{L4}	b
085	5,14	0,81	5,18	0,63	5,18	0,77	5,32	0,83
086	5,20	0,70	5,42	0,66	5,71	0,89	5,39	0,67
087	5,98	0,67	5,60	0,55	5,48	0,55	5,69	0,64
088	5,46	0,59	5,49	0,68	4,93	0,54	5,43	0,72
089	6,03	0,69	5,76	0,56	5,63	0,58	5,92	0,69
090	5,36	0,66	5,14	0,61	5,23	0,60	5,48	0,77
091	5,66	0,79	5,40	0,65	5,31	0,59	5,58	0,75
092	5,55	0,64	5,38	0,57	5,72	0,79	5,60	0,72
\bar{x} =	5,55	0,69	5,42	0,61	5,40	0,66	5,55	0,72
s = \pm	0,33	0,07	0,20	0,05	0,28	0,13	0,19	0,06

Tabelle 7/2

Zusammenfassung der Mittelwerte v_{L4} und Konstante b aus den vier Untersuchungen zur Test-Retest-Prüfung

Test	v_{L4} (m/s)	Konstante b (s/m)
1	5,55	0,69
2	5,42	0,61
3	5,40	0,66
4	5,55	0,72
\bar{x} =	5,48	0,67
s = \pm	0,08	0,05

Die Ergebnisse weisen aus, daß aufgrund der relativ geringfügigen Abweichungen der aufgeführten Werte dieser Test für standardisierte Untersuchungen zum anaerob-lactaciden Energiestoffwechsel eingesetzt werden kann.

Die Praktikabilität dieses 4x60-Sekunden-Stufentests wurde sowohl im 400m-Lang-sprint (männlich und weiblich) als auch in den Sportarten Fußball und Ringen erprobt. In Abb. 10 sind in halblogarithmischen Darstellung die Ergebnisse

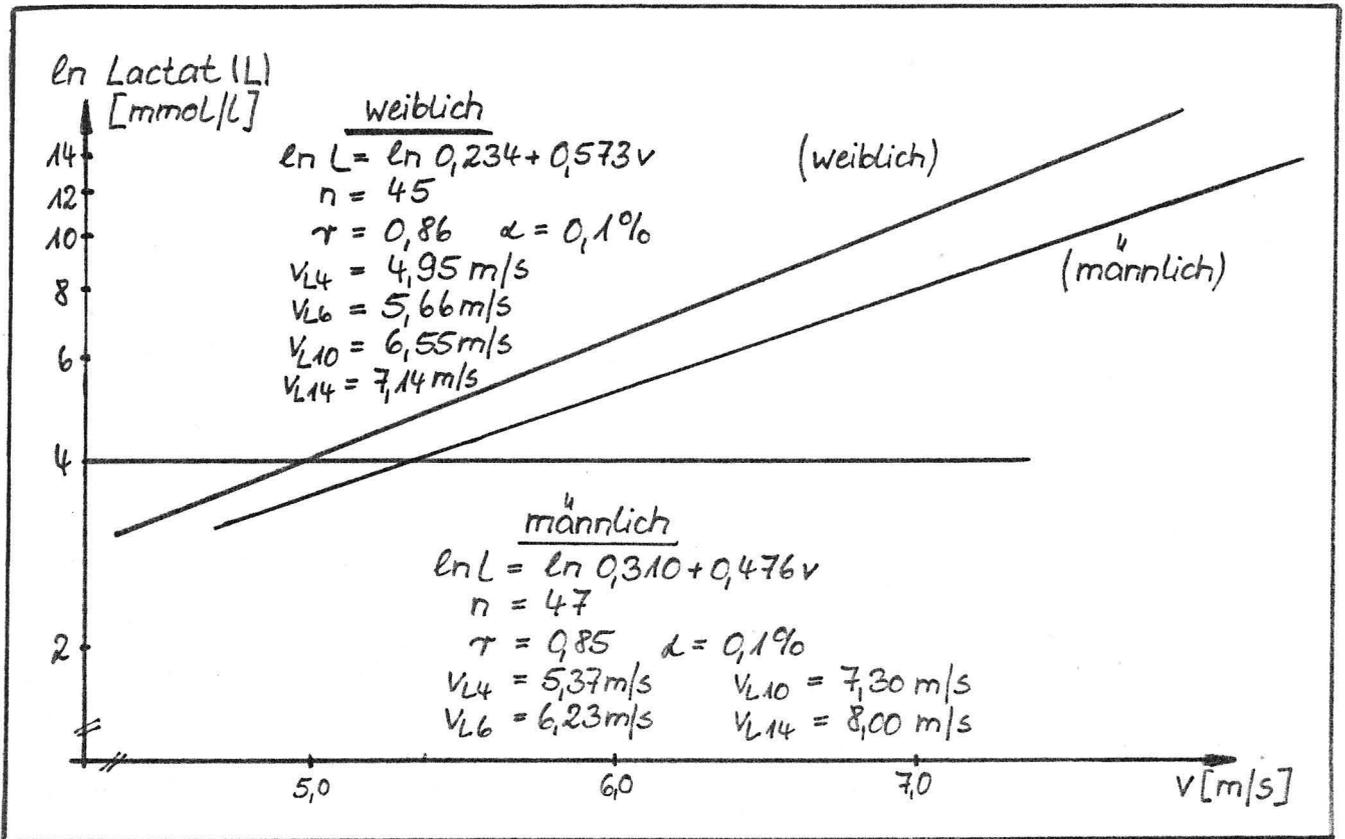


Abb. 10 Die mittleren Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen der 4x60 Sekunden-Stufentests an männlichen und weiblichen 400 m-Athleten

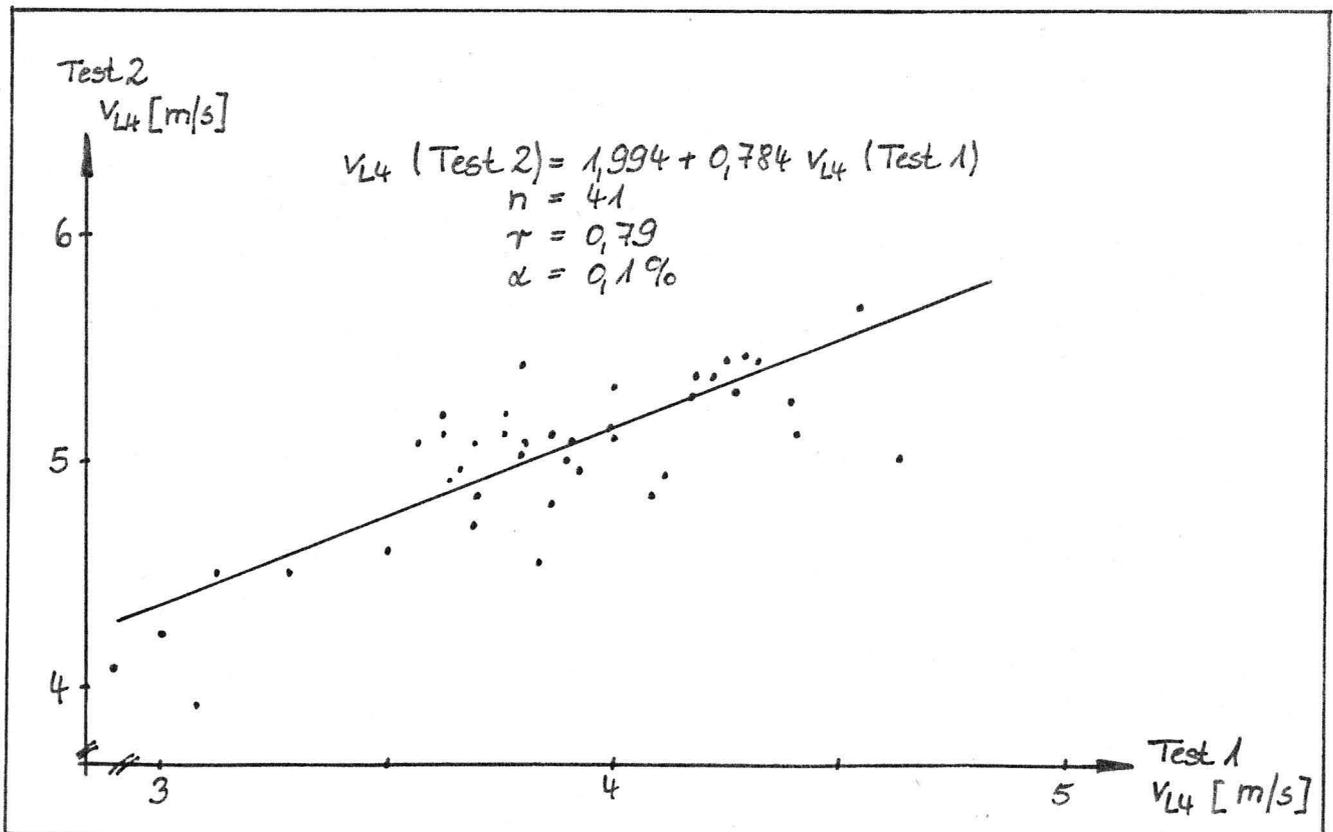


Abb. 11 Der Zusammenhang zwischen den v_{L4} -Werten aus dem 4x5 Minuten-Stufentest (Test 1) und dem 4x60 Sekunden-Stufentest (Test 2)

im 400m-Langsprint aufgeführt.

Folgende Regressionsgleichungen gelten für

- 400m-Läufer (n = 47)

$$L = 0,310 e^{0,476 v}$$

$$r = 0,85$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Aus dieser Gleichung leiten sich für die trainingsmethodische Einordnung der Leistungsfähigkeit der Athleten im Bereich der speziellen Ausdauer allgemein ab (400m-Leistung):

• Leistung im aeroben Bereich

$$v_{L4} = 5,37 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 74,5 \text{ s}$$

• Leistung im Bereich NI (bis 79,9% der 400m-Bestzeit)

$$v_{L6} = 6,23 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 64,2 \text{ s}$$

• Leistung im Bereich Ende NI - Anfang I_3 (80 bis 89,9% der 400m-Bestzeit)

$$v_{L10} = 7,30 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 54,8 \text{ s}$$

• Leistung im Bereich Ende I_3 - Anfang I_2 (90 bis 94,9% der 400m-Bestzeit)

$$v_{L14} = 8,00 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 50,0 \text{ s}$$

• Leistung im Bereich Ende I_2 - Anfang I_1 (über 95% der 400m-Bestzeit)

$$v_{L18} = 8,53 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 46,9 \text{ s}$$

- 400m-Läuferinnen (n = 45)

$$L = 0,234 e^{0,573 v}$$

$$r = 0,86$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$$v_{L4} = 4,95 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 80,8 \text{ s}$$

$$v_{L6} = 5,66 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 70,7 \text{ s}$$

$$v_{L10} = 6,55 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 61,1 \text{ s}$$

$$v_{L14} = 7,14 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 56,0 \text{ s}$$

$$v_{L18} = 7,58 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 52,8 \text{ s}$$

Die einzelnen Ergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 4/1 bis A 4/4 aufgeführt.

- Sportart Fußball (n = 26)

$$L = 0,029 e^{0,871 v}$$

$$r = 0,99$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$$v_{L4} = 5,66 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 70,7 \text{ s}$$

$$v_{L6} = 6,12 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 65,4 \text{ s}$$

$$v_{L10} = 6,71 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 59,6 \text{ s}$$

$$v_{L14} = 7,10 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 56,3 \text{ s}$$

Der v_{L18} -Wert (und im wesentlichen auch der v_{L14} -Wert) ist für diese Sportart nicht relevant. Der v_{L14} -Wert wurde aus Gründen des Vergleichs mit aufgeführt.

- Sportart Ringen (n = 32)

$$L = 0,104 e^{0,666 v}$$

$$r = 0,90$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$$v_{L4} = 5,48 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 73,0 \text{ s}$$

$$v_{L6} = 6,08 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 65,8 \text{ s}$$

$$v_{L10} = 6,85 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 58,4 \text{ s}$$

$$v_{L14} = 7,36 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 54,4 \text{ s}$$

Der v_{L18} -Wert wird ebenfalls nicht ausgewiesen.

Im Vergleich zu den 400m-Spezialisten liegen die Leistungen in den oberen Intensitätsbereichen erwartungsgemäß niedriger, während in den unteren Intensitätsbereichen möglicherweise aufgrund des höheren Anteils aerober Leistungsvoraussetzungen in diesen Sportarten ein Angleichen festgestellt worden ist.

Die einzelnen Ergebnisse der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen der Sportarten Fußball und Ringen sind im Anhang in den Tabellen A 5/1 und A 5/2 aufgeführt. Die Praxisrelevanz dieses 4x60-Sekunden-Stufentest erlaubt zur Bearbeitung der vorgesehenen Thematik Ansatzpunkte für die Beurteilung anaerob-lactacider Energiestoffwechselprozesse während intensiver Belastung.

Darüber hinaus ermöglicht der v_{L4} -Wert aus diesem Stufentest eine Zuordnung zu den aeroben Leistungsvoraussetzungen des Athleten.

Stellt man die ermittelten v_{L4} -Werte aus dem 4x5-Minuten-Stufentest (Test 1) und aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest (Test 2) gegenüber, wird folgender Zusammenhang erhalten (Abb. 11):

$$v_{L4} \text{ (Test 2)} = 1,994 + 0,784 v_{L4} \text{ (Test 1)}$$

$n = 41$
 $r = 0,79$
 $\alpha = 0,1\%$

Dieser relativ enge Zusammenhang gilt nur, wenn die Untersuchungen in kurzen Zeitabständen vorgenommen werden (innerhalb 48 Stunden). Tatsächlich wird durch diesen korrelativen Zusammenhang eine sinnvolle Einordnung des aeroben Leistungsvermögens mit dem v_{L4} -Wert aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest erhalten. Die einzelnen Zahlenwerte sind im Anhang in der Tabelle A 6 aufgelistet. Der anaerobe Energiestoffwechsel läßt sich jedoch im Langsprint (bzw. allgemein in der KZA-Diagnostik) nicht ausschließlich mit einem geschwindigkeitsabhängigen Stufentest beurteilen. So sind z. B. Ableitungen zur Lactatbildungsgeschwindigkeit nur schwer zugänglich.

Ein Belastungssystem mit veränderlichen Streckenlängen und gleicher Grundgeschwindigkeit eröffnet aufgrund des Zusammenhangs zwischen Lactat (Nachbelastungslactat) und Belastungszeit die Möglichkeit, eine intensitätsabhängige Lactatbildungsgeschwindigkeit (LBG) zu erhalten.

Die Abhängigkeit der Lactatbildungsgeschwindigkeit von der Belastungsintensität (Laufgeschwindigkeit) erhält man dadurch, wenn dieser streckenbezogene Stufentest (Laufstreckenstufentest) in kürzeren Zeitabständen (innerhalb von 2 bis 4 Tagen) mit ansteigenden Geschwindigkeitsvorgaben absolviert wird. Dieser Laufbandtest hat folgenden Aufbau (Abb. 9 c):

Laufstreckenstufentest

- | | |
|---------|--|
| 1. Lauf | 80 m |
| | 5 Minuten Pause |
| | Blutentnahme (Lactat): 3. Minute nach dem Lauf |
| 2. Lauf | 160 m |
| | 10 Minuten Pause |
| | Blutentnahme: 3. Minute nach dem Lauf |
| 3. Lauf | 240 m |
| | 15 Minuten Pause |
| | Blutentnahme: 3. Minute nach dem Lauf |

4. Lauf 320 m
 20 Minuten Pause
 Blutentnahme: 3., 5. und 19 Minute nach dem Lauf

5. Lauf 400 m
 Blutentnahme: 5., 7. und 20. Minute nach dem Lauf

Die Geschwindigkeitsabstände von Test zu Test liegen zwischen 0,3 und 0,5 m/s. Die Belastungsintensität kann zwischen NI- bis hoher I_2 -Geschwindigkeit (etwa zwischen 70 und 95% der individuellen 400m-Bestzeit) angeordnet werden (SONNTAG und DEBES, 1989).

Dieser Laufstreckenstufentest kann im Training der speziellen Ausdauer zum Erfassen energetischer Prozesse auch als Feldtest eingesetzt werden. Allerdings ist die Reproduzierbarkeit (Einhalten der konstanten Geschwindigkeit) relativ schwierig und die erhaltenen Ergebnisse sind mit großer Vorsicht zu bewerten. Aus den Untersuchungen mit dem Laufstreckenstufentest läßt sich ein linearer Zusammenhang zwischen der Belastungsstrecke (Weg) bzw. Belastungszeit (Zeit) und der ermittelten Lactatkonzentration nach den einzelnen Belastungsstufen (bei konstanter Geschwindigkeit) darstellen. Die funktionelle Abhängigkeit (Lactat-Weg-Funktion) läßt sich in der Form

$$L = a(v) + b(v) \cdot s \quad (1)$$

L = Lactat
a, b = Konstanten (bei konstantem v)
v = Geschwindigkeit
s = Laufstrecke (Weg)
t = Laufzeit
B = Konstante, Lactatbildungsgeschwindigkeit (=LBG)

beschreiben.

Damit eine intensitätsabhängige Lactatbildung beurteilt werden kann, ist der Zeitbezug zum Lactat herzustellen. So folgt aus Gleichung (1) über

$$s = v \cdot t \quad (2)$$

die Gleichung

$$L = a(v) + b(v) \cdot v \cdot t \quad (3) \text{ bzw.}$$

$$L = a(v) + B(v) \cdot t \quad (4), \text{ wobei}$$

$$B(v) = b(v) \cdot v \quad (5)$$

angibt.

Die Konstante (Anstieg) $B(v)$ der linearen Lactat-Zeit-Funktion (Gleichung 4) kann als ein Maß für die intensitätsabhängige Lactatbildungsgeschwindigkeit,

d. h. $B(v)$ entspricht LBG, angesehen werden.

Wird dieser Laufstreckenstufentest bei mehreren Geschwindigkeiten durchgeführt, erfolgt die Beschreibung des Zusammenhangs zwischen der Lactatbildungsgeschwindigkeit und der Geschwindigkeit in dieser Form:

$$\text{LBG} = a e^{b v} \quad (6).$$

3.9.3. Untersuchungen zum anaerob-alactaciden Energiestoffwechsel

Untersuchungen zum anaerob-alactaciden Energiestoffwechsel können auch mit Laufbandstufenbelastungen vorgenommen werden. In dieser Arbeit erfolgt das ausschließlich mit dem Laufstreckenstufentest.

Darüber hinaus werden in diesem Abschnitt die relativ gut reproduzierbaren Lichtschrankentests (Lichtschrankenzeitmessung) zur Untersuchung von alactaciden Leistungsvoraussetzungen aufgeführt.

Der Laufstreckenstufentest auf dem Laufband eröffnet neben einer Bewertung lactacider Energiestoffwechselprozesse auch die Möglichkeit, über einen intensitätsabhängigen alactaciden Quotienten (ALQ) Hinweise zum anaerob-alactaciden Energiestoffwechsel zu erhalten. In Anlehnung an SZÖGY et al. (1984) erfolgt die rechnerische Darstellung des ALQ durch die Gleichung

$$\text{ALQ} = \frac{A(t_1)}{A(t_2)} : \frac{L(t_1)}{L(t_2)} \quad (1),$$

wobei $A(t_1)$ bzw. $A(t_2)$ als geleistete Arbeit zur Zeit t_1 (kurze Belastungszeit) bzw. zur Zeit t_2 (längere Belastungszeit) gilt und $L(t_1)$ bzw. $L(t_2)$ die dazu gehörenden Nachbelastungslactatkonzentrationen darstellen.

Die aus dem Laufstreckenstufentest ermittelten Lactat-Zeit-Funktionen ermöglichen somit einen intensitätsabhängigen ALQ-Wert, wobei die geleistete Arbeit für die vorgegebene Intensität (Geschwindigkeit v des Laufstreckenstufentests) proportional zur Zeit gesetzt wird und die dazugehörige Lactatkonzentration aus der Lactat-Zeit-Funktion entsprechend der Gleichung

$$L = a(v) + B(v) \cdot t \quad (2),$$

die identisch ist mit Gleichung (4) im Abschnitt 3.9.2. (S. 65), erhalten wird. Als kurze Belastungszeit wurde 10 Sekunden (alactacide Belastung) angesetzt und als längere Belastungszeit 45 Sekunden (lactacide Belastung) verwendet.

Aus Gleichung (1) und Gleichung (2) erhält man für den ALQ folgende Form
(v = konstant):

$$\text{ALQ} = \frac{At_1}{At_2} : \frac{a + B \cdot t_1}{a + B \cdot t_2} \quad (3)$$

bzw.

$$\text{ALQ} = \frac{At_1 (a + Bt_2)}{At_2 (a + Bt_1)} \quad (4)$$

Setzt man die Arbeit A proportional der Belastungszeit t, so erhält man

$$\text{ALQ} = \frac{t_1 (a + Bt_2)}{t_2 (a + Bt_1)} \quad (5)$$

sowie durch Einsatz der Zahlenwerte ($t_1 = 10 \text{ s}$, $t_2 = 45 \text{ s}$)

$$\text{ALQ} = \frac{10 (a + 45 B)}{45 (a + 10 B)} = \frac{2 (a + 45 B)}{9 (a + 10 B)} \quad (6)$$

Mit den Parametern a und B (v = konstant) der Lactat-Zeit (Belastungszeit)-
Funktion lassen sich nun auf einfacher Weise die intensitätsabhängigen
ALQ-Werte errechnen.

Dieser ALQ-Wert ist jedoch infolge des exponentiellen Zusammenhangs der
Lactatbildungsgeschwindigkeit - Geschwindigkeitsfunktion (Gleichung 6 im
Abschnitt 3.9.2., S. 66) nur dann sinnvoll, wenn eine genügend hohe Be-
lastungsintensität (Laufgeschwindigkeit) während des Laufstrecken-Stufen-
tests vorgegeben wird.

Die Beziehung zwischen dem ALQ-Wert und der Geschwindigkeit kann durch eine
logarithmische Funktion beschrieben werden. An 4 Nachwuchsathleten des Lang-
sprints konnte dieses Verhalten bestätigt werden (Abb. 12). Folgender mathe-
matische Zusammenhang wurde erhalten:

$$\text{ALQ} = -3,341 + 2,302 \ln v \quad (7)$$

$$n = 4$$

$$r = 1,00$$

$$\alpha = 1\%$$

Entsprechend der ermittelten Beziehung erfolgt die Auswertung der einzelnen
Untersuchungsergebnisse auch auf diese Weise.

An einem Beispiel (Sportler 021) wird das Vorgehen der Auswertung dargelegt
(Tabelle 8).

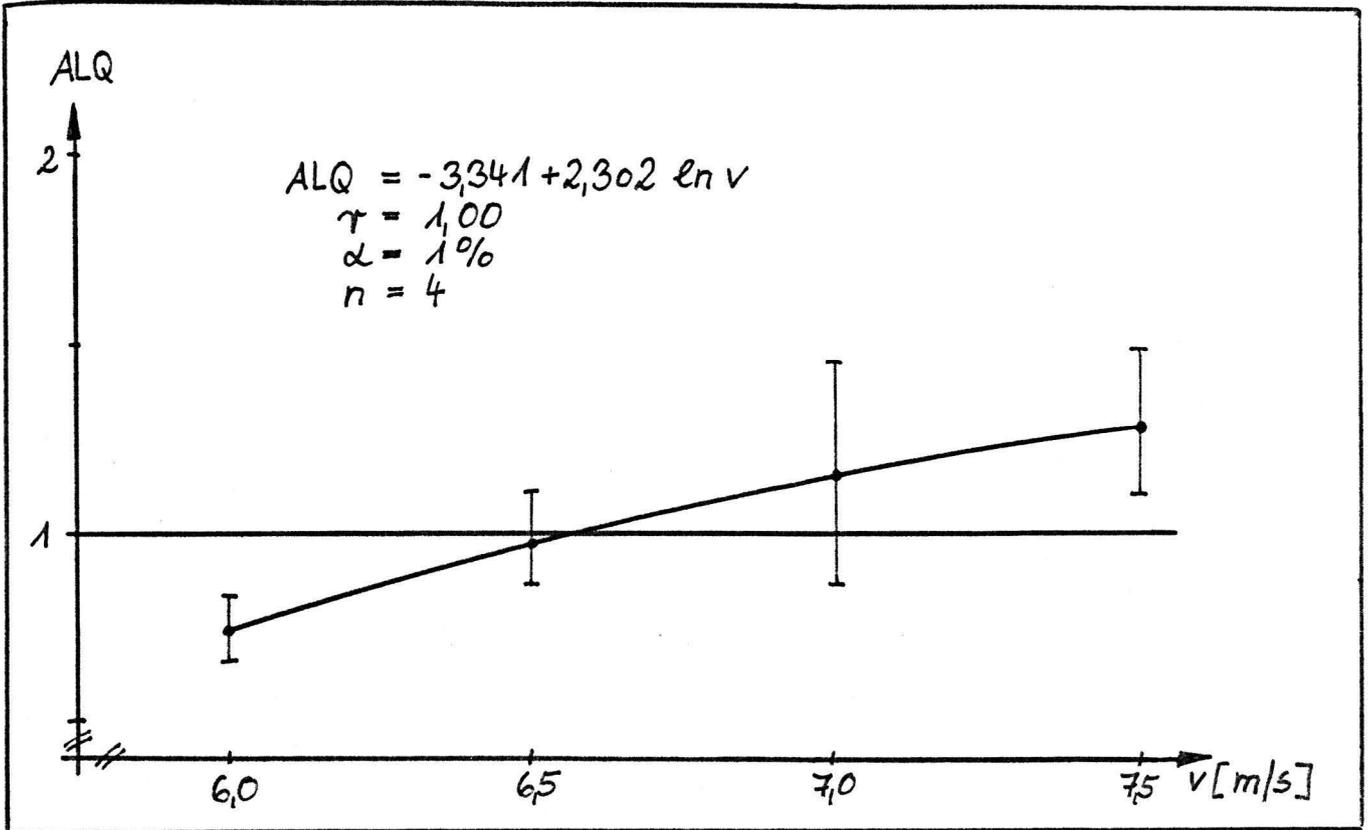


Abb. 12 Der Verlauf der Beziehung intensitätsabhängiger alactacider Quotient (ALQ) und Geschwindigkeit v einer Gruppe von 400m-Nachwuchssportlern

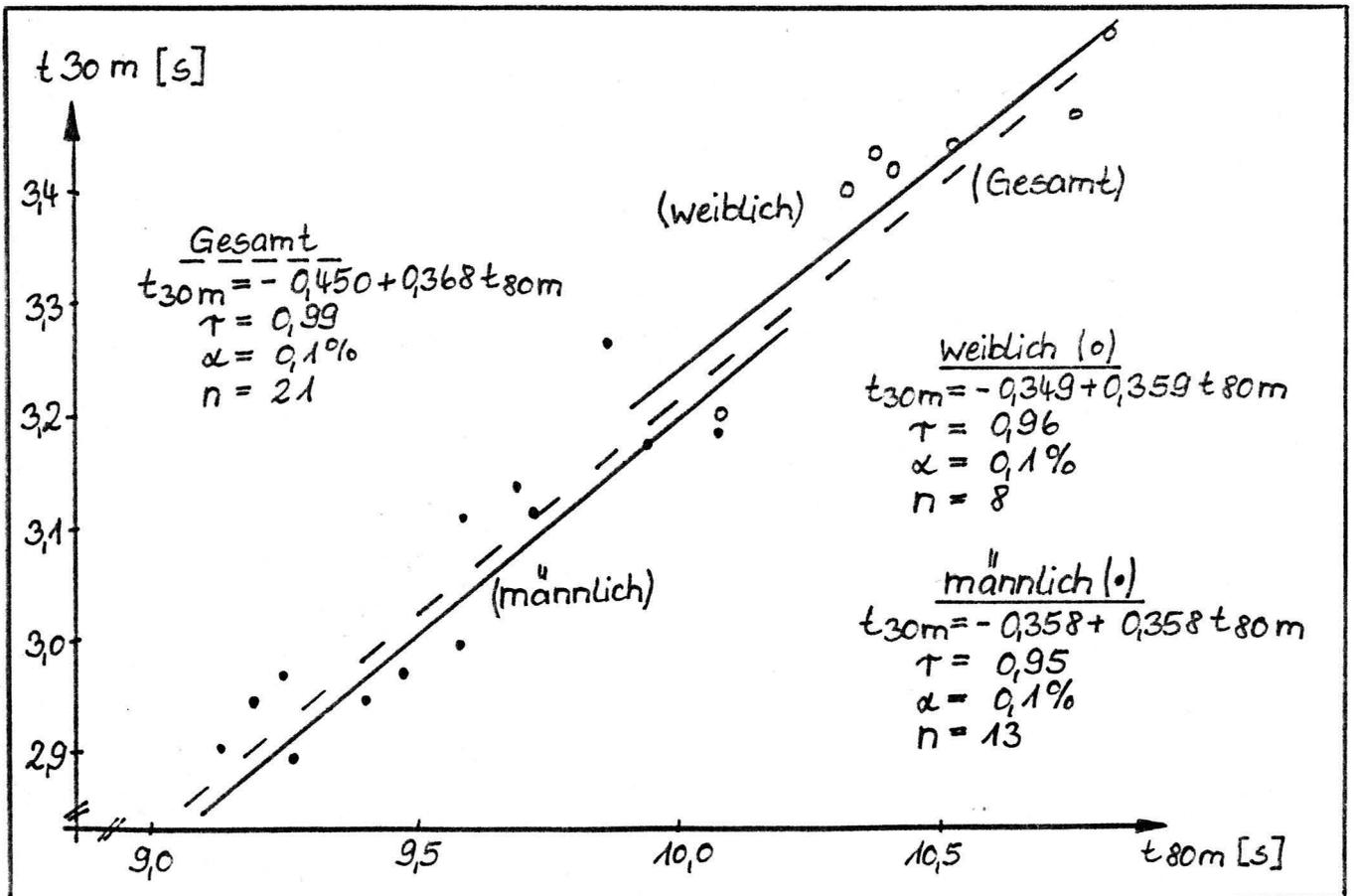


Abb. 13 Der Zusammenhang t_{30m} und t_{80m} an Spitzenathleten des 400m-Lanaspurints (männlich und weiblich)

Tabelle 8

Untersuchungsergebnisse aus einem bei vier Geschwindigkeiten durchgeführten Laufstreckenstufentest auf dem Laufband (Sportler 021). Es werden die Lactatkonzentrationen nach den einzelnen Belastungsstufen sowie die ermittelten Daten aus der Lactat-Belastungszeit-Funktion (Bestimmtheitsmaß r^2 sowie die Konstanten a und B) und der errechnete intensitätsabhängige ALQ-Wert dargestellt.

Die Angaben erfolgen für

- das Lactat in mmol/l
- die Geschwindigkeit in m/s
- die Konstante a in mmol/l
- die Konstante B in mmol/l·s
- das Bestimmtheitsmaß r^2 und für den ALQ dimensionslos.

v	Lactat 80 m	Lactat 160 m	Lactat 240 m	Lactat 320 m	Lactat 400 m	r^2	a	B	ALQ
6,0	1,5	3,2	5,0	6,3	7,5	0,99	0,17	0,113	0,90
6,5	1,8	3,4	5,6	7,1	8,8	1,00	0,03	0,144	0,98
7,0	1,6	4,2	6,8	8,7	9,8	0,98	-0,05	0,183	1,02
7,5	2,0	4,5	7,7	10,5	-	1,00	-1,00	0,269	1,46

(Siehe auch die Untersuchungsergebnisse im Anhang in den Tabellen A 7/1 bis A 7/4).

Der Wert der Konstanten a (Schnittpunkt der Ordinate der Lactat-Zeit-Funktion) erhält für die Berechnung des ALQ-Wertes folgende Bedeutung:

- Konstante a gleich Null

Die Verbindungsgerade der Meßpunkte der Lactat-Zeit-Funktion geht durch Null.
Daraus folgt: ALQ-Wert gleich 1

- Konstante a größer Null

Die Verbindungsgerade der Meßpunkte schneidet die Ordinate im positiven Abschnitt.

Daraus folgt: ALQ-Wert kleiner 1

- Konstante a kleiner Null

Die Verbindungsgerade der Meßpunkte schneidet die Ordinate im negativen Abschnitt.

Daraus folgt: ALQ-Wert größer 1

In der Situation Konstante a kleiner Null schneidet die Verbindungsgerade die Abszisse im positiven Bereich, womit gedeutet werden kann, daß für diese geleistete Arbeit (noch) kein Lactat gebildet wird. Das bedeutet, dieser Ausdruck weist in erster Überlegung auf die Inanspruchnahme des alactaciden Energiestoffwechsels hin. Je höher der negative Wert der Konstanten a , desto besser ist die alactacide Energiestoffwechselsituation einzuschätzen und desto größer kann der ALQ-Wert erwartet werden (siehe im Anhang Tabelle A 7/4). Demgegenüber könnten bei einem Wert der Konstanten a größer Null für die geleistete Arbeit noch aerobe Energieliefervoraussetzungen angenommen werden, d. h. es bedarf für diese (zu gering erscheinende) Intensität noch keine anaeroben Energiestoffwechselprozesse zur Realisierung der Belastung. Für vergleichende Untersuchungen erscheint die Angabe der Geschwindigkeit v bei errechnetem ALQ-Wert = 1 als eine durchaus vertretbare Einschätzung zur Beurteilung von Leistungsfortschritten im Training der speziellen Ausdauer, die möglicherweise auf eine Verbesserung der alactaciden Energiebereitstellung beruhen.

Die Berechnung der ALQ-Werte entsprechend Gleichung (6) ist stark von der biologischen Streuung der Lactat-Zeit-Funktionen (Gleichung 2) abhängig. Aus diesem Grunde sollten die ermittelten Einzelwerte mit größerer Vorsicht beurteilt werden und sinnvollerweise durch weitere Messungen ergänzt werden. Erfahrungsgemäß bildet die Ermittlung einer Ausgleichsfunktion (Messen von mehreren ALQ-Werten bei ansteigenden Belastungsintensitäten) die praktische Ausgangsbasis, um eine theoretisch begründete Beurteilung der anaeroben (sowohl der lactaciden als auch der alactaciden) Energiestoffwechselsituation vornehmen zu können.

Am Beispiel der Ausgleichsfunktion (Gleichung 7) wird für die kleine Gruppe von 400m-Läufern ($n = 4$) für $ALQ = 1$ die Geschwindigkeit $v = 6,59$ m/s ermittelt. Mit dieser Geschwindigkeit wird die Belastungsintensität für den Laufstreckenstufentest vorgegeben, wenn der alactacide Quotient den Wert von 1 erhalten soll. Sind alactacide Energiestoffwechselforaussetzungen zu beurteilen, muß die Belastungsintensität höher angeordnet werden.

Die Geschwindigkeit bei $ALQ = 1$ für den Sportler 021 (Beispiel Tabelle 8) beträgt $6,47$ m/s (Tabelle A 7/4).

Weiterhin wurden folgende Untersuchungsmethoden zum Erfassen alactacider Energiestoffwechselforaussetzungen eingesetzt:

10x30m(fliegend)-Test

- 10 intensive 30m-Läufe mit etwa 30 m Anlauf, wobei die Zeiten der einzelnen 30m-Läufe über Lichtschranken ermittelt werden,
- 5 Minuten Pause zwischen den einzelnen Läufen sowie 10 Minuten Serienpause zwischen dem 5. und 6. Lauf,
- die Blutentnahme zur Lactatbestimmung erfolgt in der 3. Minute nach dem 5. sowie 3. und 5. Minute nach dem 10. Lauf,
- bewertet wird die mittlere 30m(fliegend)-Zeit aus den 10 Läufen- auch unterteilt in mittlere 30m(fliegend)-Zeit aus den ersten und aus den zweiten 5 Läufen, um Hinweise zum Leistungsabfall von erster zu zweiter Serie zu erhalten- mit den erhobenen Lactatwerten.

Als vergleichbarer Bezug von Test zu Test wurde nach SCHÄFER (1989) eine sogenannte "Wertigkeit" (W 30 m) eingeführt, die den Zusammenhang zwischen mittlerer Laufzeit und Blutlactatkonzentration nach Belastung beschreibt. Aus langjährigen Erfahrungen wurde nach einer 10x30m(fliegend)-Testbelastung eine mittlere Blutlactatkonzentration von 6 mmol/l erhalten. Dieser Wert gilt als empirische Vorgabe. Abweichungen davon werden pro mmol/l Lactat mit 0,1 m/s bewertet, d. h. bei einem Lactatwert von 8 mmol/l nach Belastung werden zur mittleren 30m(fliegend)-Geschwindigkeit 0,2 m/s hinzugefügt und damit eine neue 30m-Zeit ermittelt. Diese ausgewiesene 30m-Zeit gilt als Wertigkeit W 30 m und erlaubt durchaus eine Bewertung der Testergebnisse im Vergleich von Untersuchung zu Untersuchung. Trainingsmethodisch ist dieser Wert nicht mit den Schnelligkeitsfähigkeiten des Athleten zu identifizieren.

2x60m- bzw. 2x80m-Lichtschrankentest

1. Lauf submaximal (80 bis 85% der 60m- bzw. 80m-Bestleistung)
20 Minuten Pause
Blutabnahme (Lactat): 3. Minute nach dem Lauf
2. Lauf maximal
Blutabnahme: 3. Minute nach dem Lauf

Bewertet wird die Geschwindigkeit v bei einer Blutlactatkonzentration von 6 mmol/l (v_{L6}).

Diese Testform ermöglicht für die Trainingspraxis den metabolischen Bezug zur Intensitätsgestaltung des Schnelligkeitstrainings sowie zur Belastungsgestaltung zur Entwicklung der Schnelligkeit und der Schnelligkeitsausdauer im

speziellen Training.

Unter diesem Aspekt sowie zur methodischen Gestaltung des Schnelligkeitstrainings konnte ein Zusammenhang zwischen der maximalen 30m-Zeit ($t_{30\text{ m}}$) und der maximalen 80m-Zeit ($t_{80\text{ m}}$), die zueinander in einem engen trainingszeitlichen Bezug stehen, an Spitzenathleten des 400m-Langsprints ermittelt werden. Dieser Zusammenhang läßt sich durch folgende linearen Gleichungen beschreiben:

- 400m-Läufer ($n = 13$)

$$t_{30\text{ m}} = -0,358 + 0,358 t_{80\text{ m}}$$

$$r = 0,95$$

$$\alpha = 0,1\%$$

- 400m-Läuferinnen ($n = 8$)

$$t_{30\text{ m}} = -0,349 + 0,359 t_{80\text{ m}}$$

$$r = 0,96$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Diese linearen Beziehungen weisen mathematisch einen relativ ähnlichen Verlauf aus, wodurch eine Darstellung des Zusammenhangs insgesamt durchaus berechtigt erscheint:

$$t_{30\text{ m}} = -0,450 + 0,368 t_{80\text{ m}}$$

$$n = 21$$

$$r = 0,99$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Diese Beziehungen sind in Abb. 13 graphisch dargestellt.

Die einzelnen Laufzeiten einschließlich der dazugehörenden Blutlactatkonzentrationen nach Belastung sind im Anhang in Tabelle A 8 aufgeführt.

Mit diesem Zusammenhang kann z. B. aus einem maximalen 80m-Lauf auf eine 30m-Leistung geschlossen werden (und umgekehrt).

3.10. Wettkampf - und Trainingsmitteluntersuchungen einschließlich Feldtests

3.10.1. Wettkampfuntersuchungen

Die Objektivierung von 400m-Läufen im Wettkampf erfolgte über Wegmarkierungen mit Schwenkkamera und starren Kameras zum Erfassen von Zwischenzeiten (SCHÄFER, 1989). Die Zeitnahme der Schwenkkamera begann mit dem gleichen Impuls, mit dem die offizielle Zeitnahme gestartet wurde.

Die Blutentnahme zur Lactatbestimmung erfolgte nach dem 400m-Wettkampf zwischen der 9. und 14. Minute nach Belastung, in der Regel in der 10. und 12. Minute. In der Tabelle 9 werden nach einem 400m-Wettkampf die Dynamik der Lactatveränderungen im Blut während der Nachbelastungszeit ausgewiesen.

Tabelle 9

Lactaterhebungen nach einem 400m-Wettkampf zur Objektivierung der Abnahmezeitpunkte (Lactat in mmol/l).

Sportler	3. Minute	5. Minute	10. Minute	12. Minute
002	11,2	17,0	17,8	18,6
003	9,6	12,6	17,4	17,4
022	11,2	12,7	17,0	17,9
02	14,2	16,0	18,5	18,3
11	12,4	17,5	17,7	16,1
12	12,6	16,5	18,1	18,1
13	10,6	16,2	16,7	17,5

\bar{x} =	11,7	15,5	17,6	17,7
s = \pm	1,5	2,0	0,6	0,8

Darüber hinaus wurde die Dynamik der Lactatauslenkung nach 400m-Läufen unterschiedlicher Intensität (Sportler 003) ermittelt (Abb. 14).

Diese Darstellung weist ebenfalls darauf hin, daß die Abnahmezeitpunkte zur Lactatbestimmung im Blut nach einem 400m-Wettkampf in der 10. und 12. Minute liegen sollte. Werden 400m-Läufe in geringer Intensität absolviert, sollten die Lactatabnahmen bereits nach kürzerer Erholungszeit vorgenommen werden:

- im Leistungsbereich I_1 in der 7. und 9. Minute,
- im Leistungsbereich I_2 in der 5. und 7. Minute,
- im Leistungsbereich I_3 in der 3. und 5. Minute,
- im Leistungsbereich NI in der 3. (und 5.) Minute.

Diese Erfahrungen bildeten die Grundlage für das Festlegen der Abnahmezeitpunkte. Die Abnahmezeiten 10. und 12. Minute sind für das Erfassen der höchsten Lactatkonzentration im Blut nach einem 400m-Wettkampf praxisrelevant, wobei zur Bewertung der lactaciden Energiestoffwechselsituation grundsätzlich der höchste Wert verwendet worden ist.

Kürzere Abnahmezeitpunkte, z. B. 3. oder 5. Minute, führen infolge der individuellen Renngestaltung im Wettkampf oder durch Veränderungen von Faktoren in der

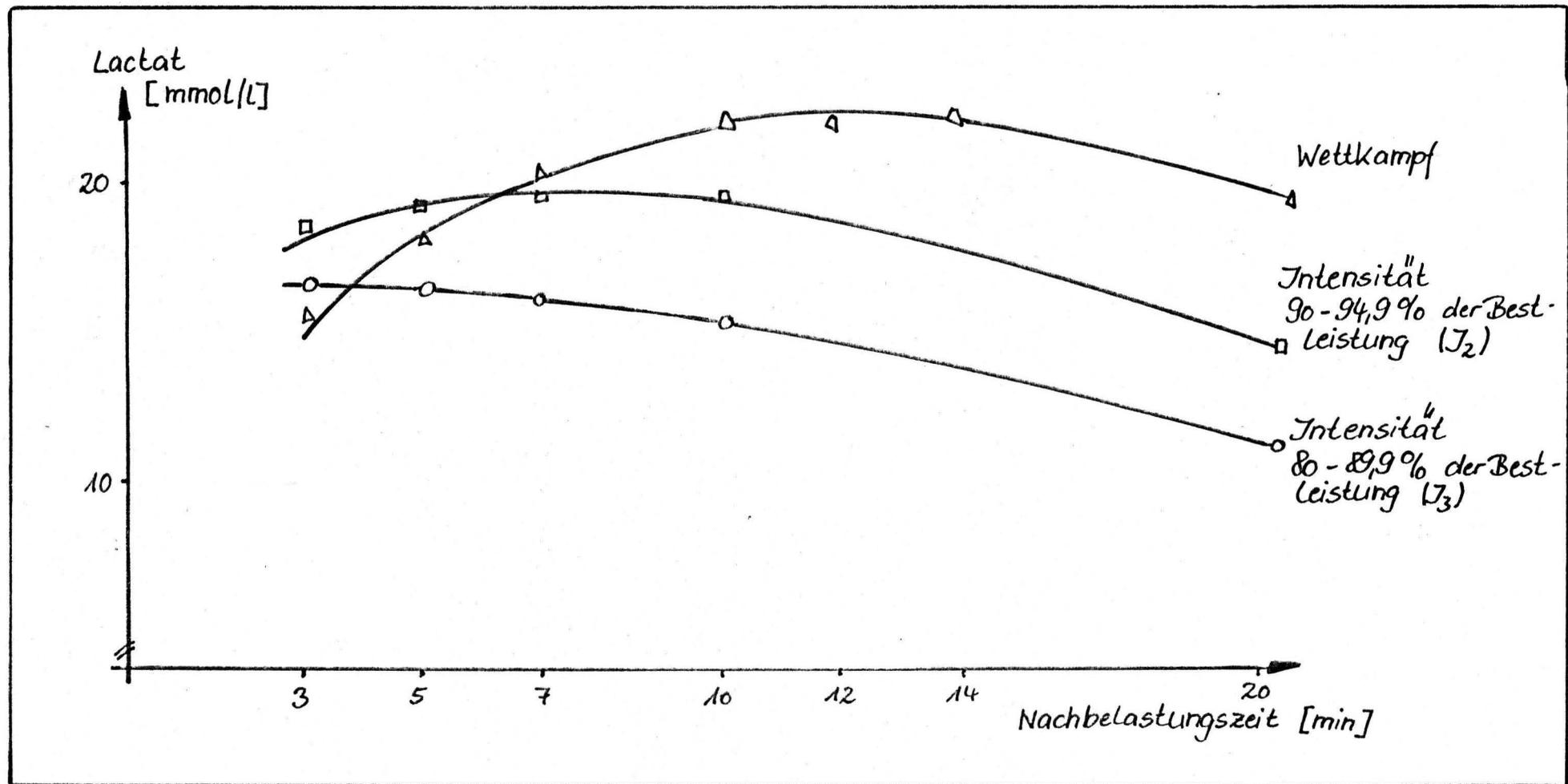


Abb. 14 Darstellung der Auslenkungsdynamik des Lactats nach 400 m-Läufen unterschiedlicher Intensität zur Optimierung der Abnahmezeiten (Sportler 003)

Leistungsfähigkeit des Organismus zu Fehleinschätzungen.

3.10.2. Trainingsmitteluntersuchungen

Zur Objektivierung von Trainingsmittel (TM) wird in der Regel die Zeitmessung über die Handstoppung realisiert. Sie ist für die daraus ergebenden trainingsmethodischen Schlußfolgerungen hinreichend genau. Nach SCHÄFER (1989) beträgt die Genauigkeit $\pm 0,1$ Sekunde.

Die Blutentnahmen für die Ermittlung der Lactatkonzentration erfolgten erfahrungsgemäß nach

- kurzen intensiven Belastungen (30 m bis 100 m) in der 3. und/oder in der 5. Minute,
- mittleren intensiven Belastungen (110 m bis 200 m) in der 3. und 5. Minute,
- längeren intensiven Belastungen (210 m bis 400 m) in der 5. und 7. Minute,
- Dauerlauf-Belastungen in der 1. und 3. Minute.

3.10.3. Feldtests

Die Kontrolle der aeroben Leistungsfähigkeit unter den Bedingungen im Trainingslager kann über einen stufenförmig geführten Feldtest ermöglicht werden.

Voraussetzung dafür ist, daß die Laufgeschwindigkeiten pro Belastungsstufe konstant gehalten werden können und daß die Belastungszeiten pro Stufe zum Erreichen einer "steady state"-Einstellung mindestens 3 Minuten betragen (MADER et al., 1976).

Mit folgendem Stufentest wurde gearbeitet (SONNTAG et al., 1983):

4x1000m-Feldtest

Belastungsbeginn:	3,25 m/s = 6:07,6 Min. (männlich) 3,00 m/s = 6:33,3 Min. (weiblich)
Belastungssteigerung:	0,50 m/s
Pause:	10 Minuten zwischen den einzelnen Belastungsstufen
Belastungsende:	4,75 m/s = 3:30,5 Min. (männlich) 4,50 m/s = 3:42,2 Min. (weiblich)
Blutentnahme (Lactat):	jeweils in der 1. Minute nach jeder Belastungsstufe sowie in der 1. und 3. Minute nach Belastungsende.

Dieses Vorgehen (Abb. 7 c) sowie die daraus ermittelten Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen kann offensichtlich gut mit den Ergebnissen aus den Laufbandstufentests verglichen werden.

In Abb. 15 sind die Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen dieses 4x1000m-Feldtests an männlichen und weiblichen 400m-Athleten im halblogarithmischen System dargestellt.

Die Regressionsgleichungen lauten für

- 400m-Läufer (n = 23)

$$L = 0,226 e^{0,663 v}$$

$$r = 0,98$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Der daraus ermittelte allgemeine v_{L4} -Wert beträgt 4,34 m/s.

- 400m-Läuferinnen (n = 18)

$$L = 0,318 e^{0,678 v}$$

$$r = 0,99$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Der allgemeine v_{L4} -Wert beträgt 3,73 m/s.

Die einzelnen Ergebnisse dieses Feldtests sind in den Tabellen A 9/1 und A 9/2 im Anhang aufgeführt.

In der Tabelle 10 wird eine Übersicht der aus den einzelnen Untersuchungen ermittelten v_{L4} -Werte zusammengestellt.

Tabelle 10

Vergleich der ermittelten v_{L4} -Werte (in m/s) aus den Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit mit

- dem 4x5-Minuten-Stufentest (Test 1),
- dem 3-Minuten-Stufentest (Test 2) und
- dem 4x1000m-Feldtest (Test 3)

(mit Angabe der Abweichung vom Mittelwert in %).

Sportler	Test 1		Test 2		Test 3	
	v_{L4}	%	v_{L4}	%	v_{L4}	%
männlich	4,22	0,7	4,19	1,4	4,35	2,1
weiblich	3,75	0,8	3,68	1,1	3,73	0,3

Mittelwert v_{L4} (männlich): 4,25 m/s
(weiblich): 3,72 m/s.

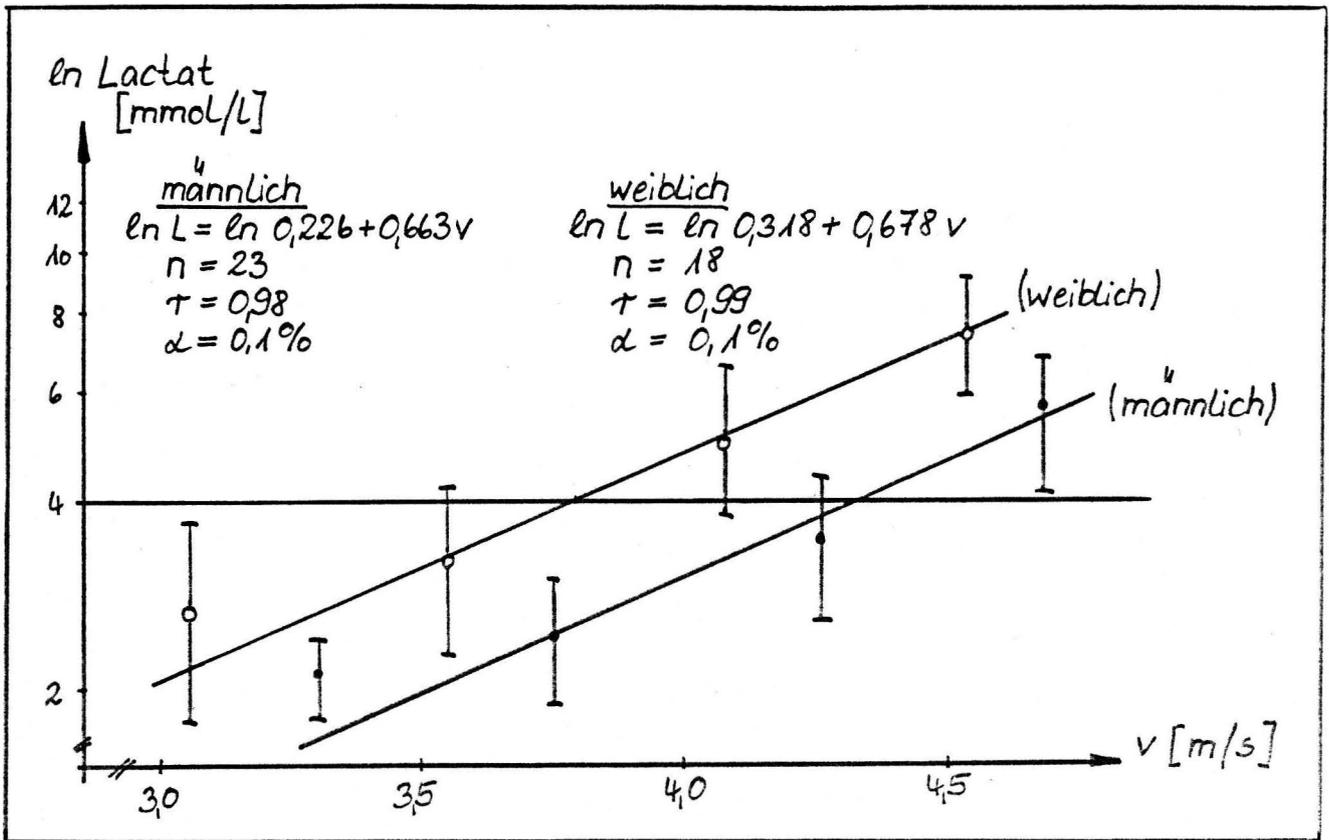


Abb. 15 Die Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen des 4x1000m-Feldtests an 400m-Athleten in halblogarithmischer Darstellung

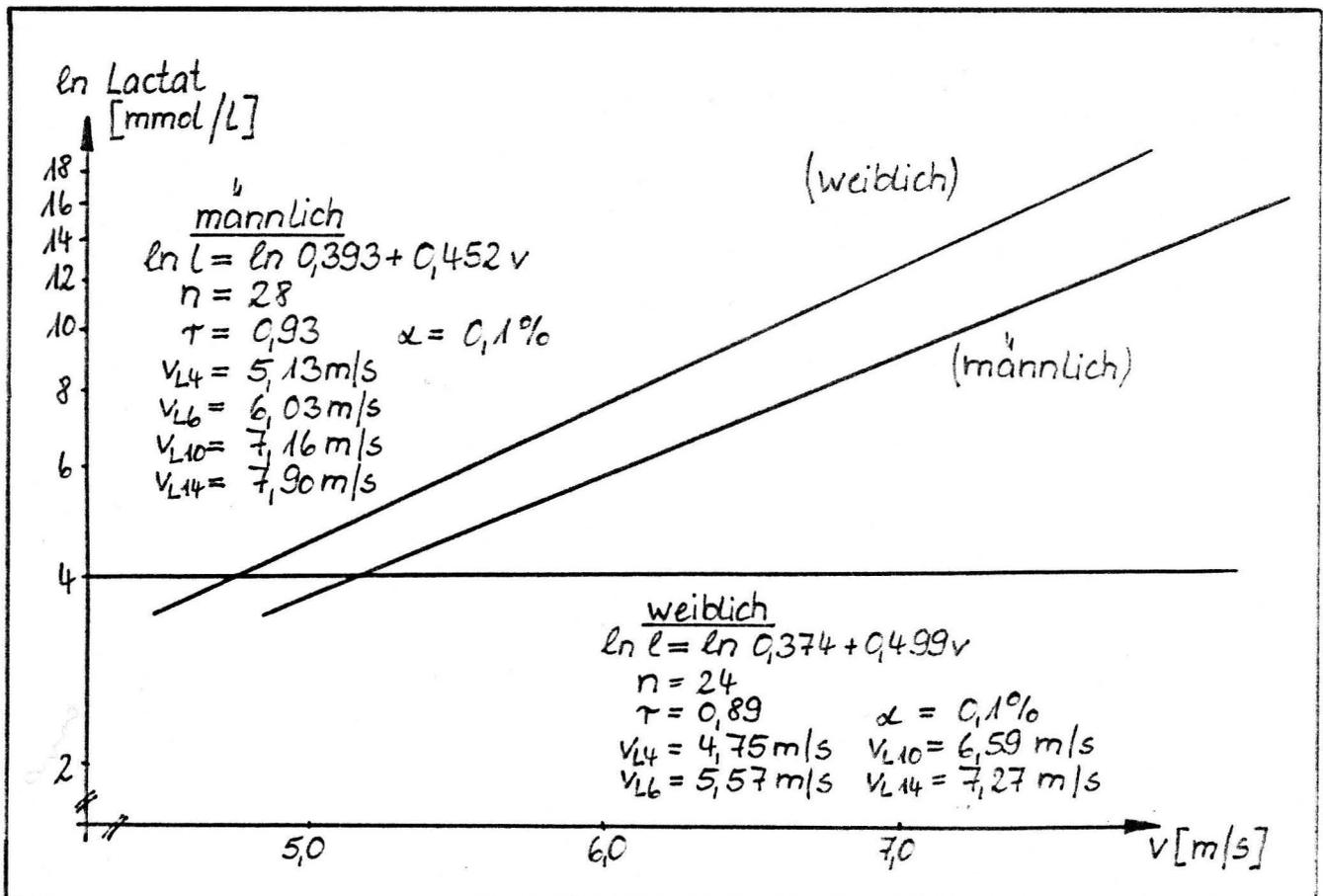


Abb. 16 Die Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen des 4x400m-Feldtests an 400m-Athleten

Dieser ausgewiesene Vergleich läßt keine grundsätzlichen Unterschiede erkennen, wodurch die jeweils ermittelten v_{L4} -Werte für weitere Zusammenhänge des Energiestoffwechselmechanismus für eine 400m-Leistung verwendet werden kann. Im Zusammenhang mit dem 4x60-Sekunden-Stufentest auf dem Laufband wurde für den Langsprint der sportartspezifische 4x400m-Feldtest mit stufenförmig ansteigenden Belastungen erarbeitet.

Aufgrund der disziplinspezifischen Leistungsabforderung kann mit diesem Test im Sinne der Wettkampfvorbereitung durchaus eine prognostische Aussage erhalten werden (SONNTAG et al., 1983 und 1984 sowie SCHÄFER 1986 und 1989).

Dieser Test ist wie folgt aufgebaut:

4x400m-Feldtest

1. Stufe 70% der 400m-Bestzeit
 10 Minuten Pause
 Blutentnahme (Lactat): 3. Minute nach Belastung
2. Stufe 75% der 400m-Bestzeit
 20 Minuten Pause
 Blutentnahme: 3. Minute nach Belastung
3. Stufe 80% der 400m-Bestzeit
 30 Minuten Pause
 Blutentnahme: 3., 5. und 29. Minute nach Belastung
4. Stufe 90% der 400m-Bestzeit (im Trainingsabschnitt I₃) bzw.
 95% der 400m-Bestzeit (im Trainingsabschnitt I₂)
 Blutentnahme: 5., 7. 10. und 20. Minute nach Belastungsende

Dieser Feldtest erlaubt durch Anfügen einer weiteren 400m-Belastung (5. Stufe), die der Belastungsintensität der Wettkampfgeschwindigkeit nahe kommen soll, eine weitere Erhöhung der Aussagefähigkeit im Sinne der 400m-Spezifik.

Die Untersuchungsergebnisse aus dem 4x400m-Feldtest sind im Anhang in den Tabellen A 10/1 bis A 10/4 aufgeführt.

Die Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen sind in Abb. 16 von männlichen und weiblichen 400m-Athleten dargestellt.

Die Regressionsgleichungen lauten für

- 400m-Läufer (n = 28)

$$L = 0,393 e^{0,452 v}$$

$$r = 0,93$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgebildete allgemeine Werte erhält man

$v_{L4} = 5,13 \text{ m/s}$	entsprechend $t \text{ 400 m} = 78,0 \text{ s}$
$v_{L6} = 6,03 \text{ m/s}$	entsprechend $t \text{ 400 m} = 66,3 \text{ s}$
$v_{L10} = 7,16 \text{ m/s}$	entsprechend $t \text{ 400 m} = 55,9 \text{ s}$
$v_{L14} = 7,90 \text{ m/s}$	entsprechend $t \text{ 400 m} = 50,6 \text{ s}$
$v_{L18} = 8,46 \text{ m/s}$	entsprechend $t \text{ 400 m} = 47,3 \text{ s}$

Diese ausgewiesenen Geschwindigkeitswerte sind im Vergleich zum 4x60-Sekunden-Stufentest unwesentlich niedriger (die mittlere Abweichung beträgt 2,3%).

- 400m-Läuferinnen (n = 24)

$$L = 0,374 e^{0,499 v}$$

$$r = 0,89$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$v_{L4} = 4,65 \text{ m/s}$	entsprechend $t \text{ 400 m} = 84,2 \text{ s}$
$v_{L6} = 5,27 \text{ m/s}$	entsprechend $t \text{ 400 m} = 71,8 \text{ s}$
$v_{L10} = 6,59 \text{ m/s}$	entsprechend $t \text{ 400 m} = 60,7 \text{ s}$
$v_{L14} = 7,27 \text{ m/s}$	entsprechend $t \text{ 400 m} = 55,0 \text{ s}$
$v_{L18} = 7,77 \text{ m/s}$	entsprechend $t \text{ 400 m} = 51,5 \text{ s}$

Die mittlere Abweichung der Geschwindigkeitswerte im Vergleich zum 4x60-Sekunden-Stufentest ist geringfügiger als im Bereich der männlichen Athleten, dafür verläuft die Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung des 4x400m-Feldtests im Bereich der weiblichen Athleten etwas flacher.

Aus den Abbildungen 10 und 16 kann abgeleitet werden, daß der Labortest (4x60-Sekunden-Stufentest) und der 4x400m-Feldtest einen offenbar gleichgerichteten Verlauf der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung aufweisen.

Die relativ gut vergleichbaren Verläufe der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen dieser beiden Stufentests ermöglichen sowohl unter Laborbedingungen als auch unter Feldbedingungen eine Beurteilung des lactaciden Energiestoffwechsels und auch allgemein zur aktuellen Leistungsfähigkeit des Athleten im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer.

Für den 400m-Lauf sind die sportartspezifischen Belastungen mit dem 4x400m-Feldtest besonders in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung verständlicherweise aussagekräftiger.

4. Ergebnisse

4.1. Untersuchungen zum Geschwindigkeitsverhalten im 400m-Wettkampf

Der Geschwindigkeitsverlauf eines 400m-Wettkampfes stellt durchaus für Aussagen zur bioenergetischen Sicherung der Wettkampfleistung ein Beurteilungskriterium dar. Aus diesem Grunde wurde das Geschwindigkeitsverhalten einer Gruppe von 400m-Spitzenathleten (männlich und weiblich) untersucht. In Abb. 17 wird das Geschwindigkeitsverhalten von 6 Athleten (männlich) ausgewiesen, wofür 8 Zeitmeßstellen zur Verfügung standen.

Die durchschnittliche Endzeit (t 400 m) wurde mit
 $\bar{x} t 400 m = 44,97 s$ ($s = \pm 0,26 s$)
ermittelt.

Mit diesem Geschwindigkeitsverlauf kann aufgrund der 8 Meßstellen sowohl die Beschleunigungsphase (etwa bis 100 m) als auch die Phase der Schnelligkeitsausdauer (von etwa 100 m bis 300 m) sowie die Phase der spezifischen Wettkampfausdauer (von etwa 300 m bis 400 m) verfolgt werden.

Diese Differenzierung des Geschwindigkeitsverlaufes läßt aus bioenergetischer Sicht eine gewisse Zuordnung zu einzelnen Energiestoffwechselmechanismen erkennen.

Diese Zuordnung ist aber nur dann sinnvoll, wenn diese Geschwindigkeitsverläufe allgemeiner Natur sind. Unter diesem Aspekt wurden Geschwindigkeitsmessungen an jeweils zwei männlichen und zwei weiblichen Leistungsgruppen vorgenommen.

In Abb. 18 sind die Ergebnisse (4 Meßstellen, jeweils bei 100, 200, 300 und 400 m) graphisch aufgetragen. Es werden aus Gründen der Übersicht nur die Mittelwerte (\bar{x}) der einzelnen Meßstellen angegeben.

Die durchschnittlichen Endzeiten (t 400 m) der einzelnen Leistungsgruppen (LG) betragen

LG 1 (männlich)

$$\bar{x} t 400 m = 44,97 s \quad (s = \pm 0,26 s) \quad n = 6$$

LG 2 (männlich)

$$\bar{x} t 400 m = 49,08 s \quad (s = \pm 0,76 s) \quad n = 8$$

LG 1 (weiblich)

$$\bar{x} t 400 m = 50,09 s \quad (s = \pm 0,88 s) \quad n = 5$$

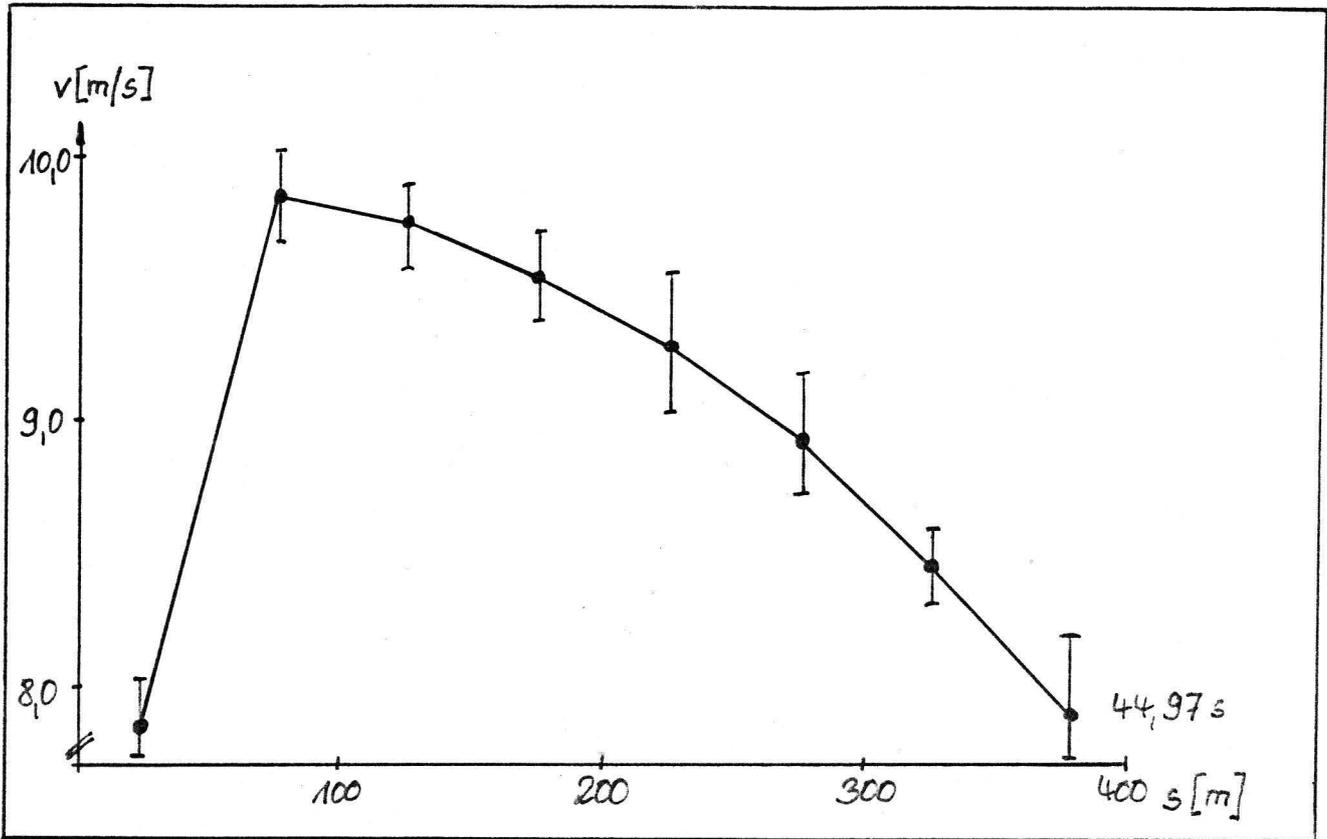


Abb. 17 Darstellung des Geschwindigkeitsverhaltens im 400m-Wettkampf an einer Gruppe von sechs Spitzenathleten (männlich)

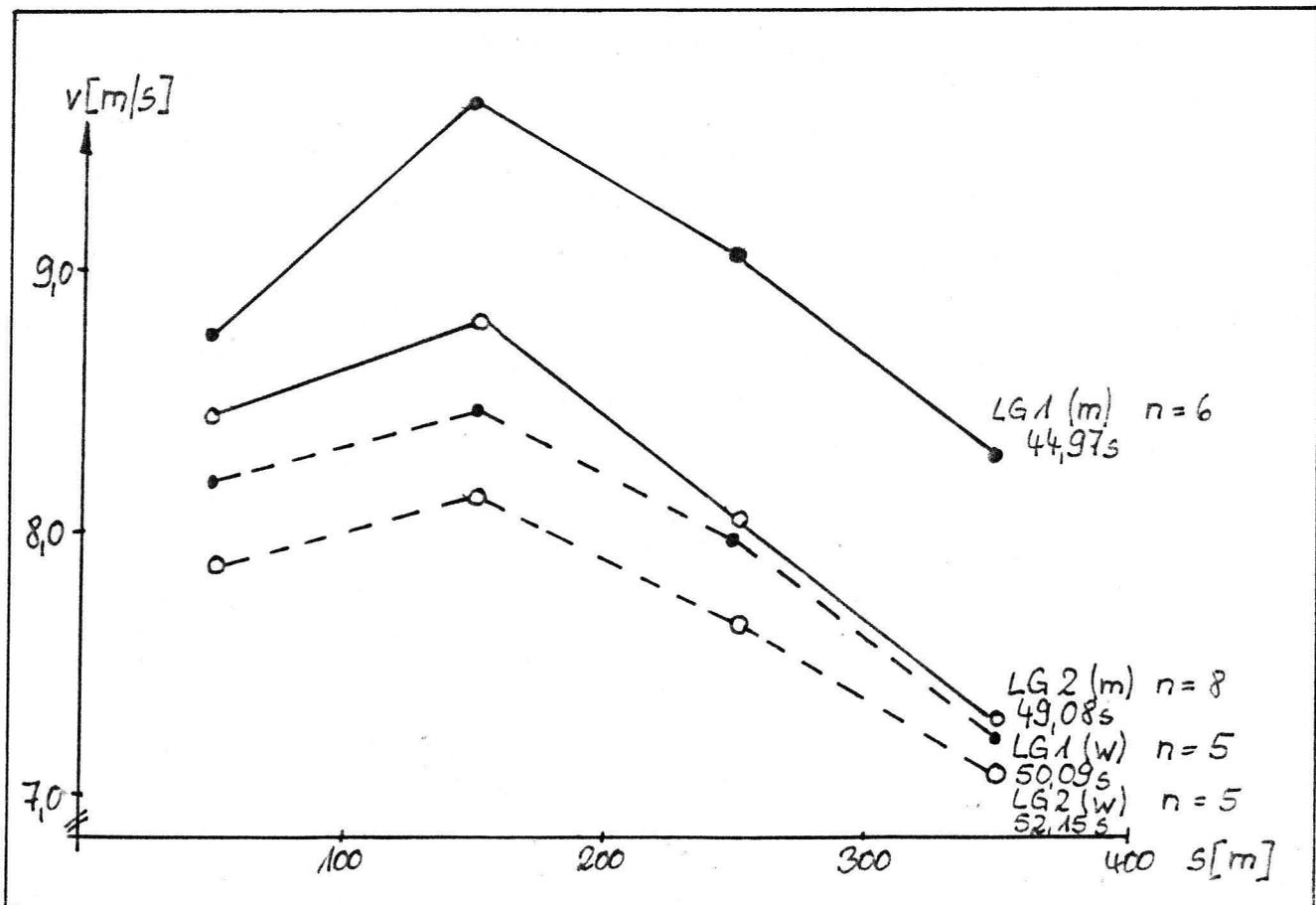


Abb. 18 Das Geschwindigkeitsverhalten im 400m-Lauf an männlichen und weiblichen Athleten, dargestellt an jeweils zwei Leistungsgruppen (LG)

LG 2 (weiblich)

\bar{x} t 400 m = 52,15 s (s = \pm 0,66 s) n = 5

Im wesentlichen können aus diesen Geschwindigkeitsverläufen sowohl zwischen den einzelnen Leistungsgruppen als auch zwischen männlichen und weiblichen Athleten eine gleichgeartete Dynamik entnommen werden.

Die einzelnen Meßergebnisse (Mittelwerte und Standardabweichungen sind im Anhang in den Tabellen A 11 sowie A 12/1 bis A 12/4 dargestellt.

Aus diesem Geschwindigkeitsverhalten während eines 400m-Laufes wäre aus der Sicht bioenergetischer Stoffwechselprozesse eine Kennzeichnung der einzelnen Strukturabschnitte wie folgt möglich

1. Abschnitt (0 bis 100 m)
vorwiegend anaerob-alactacider Energiestoffwechsel
2. Abschnitt (100 bis 200 m)
vorwiegend anaerob-lactacider Energiestoffwechsel im Sinne der Leistung der glykolytischen Energiebereitstellung
3. Abschnitt (200 bis 300 m)
vorwiegend anaerob-lactacide Energiebereitstellung im Sinne der maximalen Inanspruchnahme des Energiestoffwechselsystems
4. Abschnitt (300 bis 400 m)
vorwiegend anaerob-lactacider Energiestoffwechsel im Sinne der Kapazität der glykolytischen Energiebereitstellung sowie Zunahme der aeroben Energieliefermechanismen zur Aufrechterhaltung der Kapazität des glykolytischen Energiebereitstellungsmechanismus.

Mit dieser vorgenommenen Eingrenzung der bioenergetischen Prozesse zur Sicherung des 400m-Wettkampfes können aufgrund von leistungsstrukturellen Aspekten theoretische Begründungen zum trainingsmethodischen Vorgehen neu gestellt werden. Einerseits sind es die energetischen Leistungsvoraussetzungen und andererseits sind es die trainingsmethodischen Schwerpunkte zur Entwicklung der einzelnen konditionellen Fähigkeiten, die im Training objektiviert und in ihrer Wechselwirkung beurteilt werden müssen.

In diesem Zusammenhang wurden an einem männlichen (Sportler 003) und an einem weiblichen 400m-Spitzenathleten (Sportlerin 01) durch Messen der Geschwindigkeitsverläufe von zwei Wettkämpfen das individuelle Geschwindigkeitsverhalten ermittelt, um Rückschlüsse auf die bioenergetischen Prozesse zu erhalten.

Die Ergebnisse sind in Abb. 19 dargestellt.

Der Sportler 003 hat in beiden Läufen neben einer relativ hohen Beschleunigungs-

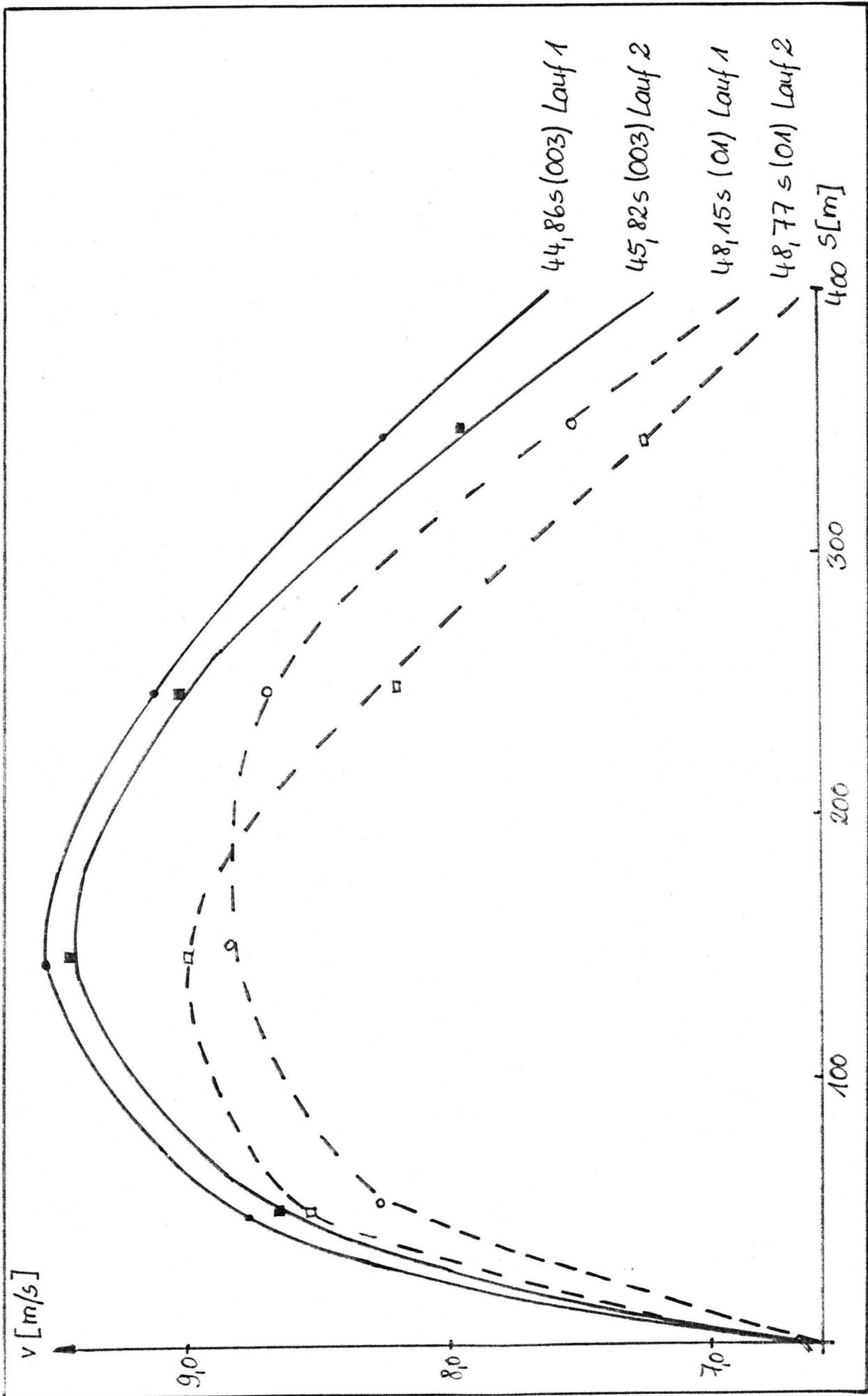


Abb. 19 Das Geschwindigkeitsverhalten der Sportler 003 (männlich) und 01 (weiblich) im 400m-Wettlauf

phase, bis zu etwa 300 m im wesentlichen den gleichen Geschwindigkeitsverlauf und hat im Abschnitt 300 bis 400 m des 2. Laufes einen relativ starken Geschwindigkeitsabfall, der möglicherweise mit einem Rückgang aerober Leistungsvoraussetzungen oder aber durch eine für den 2. Lauf (infolge eines Rückganges des Leistungszustandes des Athleten) mit einer zu hohen Inanspruchnahme der anaeroben Stoffwechselprozesse verbunden sein könnte.

Eine energiespezifische Differenzierung ist mit der Lactatdiagnostik aufgrund der vielfältigen Einflußfaktoren nicht möglich. Jedoch können aus dem Geschwindigkeitsverhalten im 2. Lauf gezielte Trainingsschwerpunkte für das weitere trainingsmethodische Vorgehen gesetzt werden:

- kurze intensive Läufe zur Weiterentwicklung des anaerob-alactaciden und des anaerob-lactaciden Energiestoffwechselsystems sowie
- TM zur weiteren Vervollkommnung aerober Energiestoffwechselprozesse.

Demgegenüber beginnt die Sportlerin 01 im 1. Lauf mit einem relativ niedrigen Anfangstempo und hält das Geschwindigkeitsniveau bis etwa 300 m. Erst dann hat sie einen relativ starken Geschwindigkeitsabfall. Im 2. Lauf verfügt sie über eine wesentlich höhere Anfangsgeschwindigkeit, wobei es bereits im Abschnitt zwischen 200 bis 300 m zu einem starken Geschwindigkeitsabfall kommt.

Der Geschwindigkeitsverlauf erfolgt im 1. Lauf aus bioenergetischer Sicht entsprechend einer ausgewogenen Inanspruchnahme anaerober Energiebereitstellungsmechanismen.

Im Vergleich erfolgt im 2. Lauf infolge der äußerst intensiven Beschleunigungsphase eine zu große Beanspruchung der alactaciden Energiebereitstellung, die wiederum zur Sicherung der weiteren ATP-Resynthese zu einer für die Athletin ungewöhnlich hohen Lactatbildungsgeschwindigkeit führt. Der relativ starke Geschwindigkeitsabfall zwischen 200 und 300 m wird bioenergetisch dadurch begründet, daß die hohen Substratdurchflußgeschwindigkeiten zur Sicherung einer kontinuierlichen ATP-Resynthese nicht gehalten werden können.

Damit sind auch für den weiteren Trainingsprozeß Hinweise gegeben

- kurze und mittlere intensive Läufe (bis 300 m) zur weiteren Verbesserung der anaeroben Energielieferprozesse sowie
- weitere Stabilisierung des aeroben Energiestoffwechsels.

Die Geschwindigkeitsdynamik dieser aufgeführten Wettkämpfe sind Tabelle A 13 dargestellt.

Der Geschwindigkeitsverlauf aus den einzelnen Untersuchungen veranlaßt dazu, die einzelnen Energiestoffwechselforaussetzungen für den 400m-Lauf allgemeingültig durch genügend valide leistungsdiagnostische Untersuchungsverfahren zu erfassen.

4.2. Untersuchungen zur aeroben Energiebereitstellung

Ausgehend von der Leistungsentwicklung erfolgreicher 400m-Athleten (Tabelle 11) werden Untersuchungsergebnisse zur aeroben Leistungsfähigkeit dieser Spitzenathleten dargestellt.

Die Untersuchungen wurden einheitlich zu Beginn der 2. Vorbereitungsperiode auf die Hauptwettkämpfe (praktisch nach der Hallensaison) durchgeführt.

Tabelle 11

Übersicht der Jahresbestleistungen von Spitzenathleten im 400m-Langspint (t 400 m in Sekunden)

Jahr	Sportler 002	Sportler 003	Sportler 004	Sportlerin 02
1982	47,13	47,91	46,71	-
83	45,72	47,06	45,25	51,79
84	44,95	44,86	45,01	51,38
85	44,95	45,12	44,62	50,14
86	46,71	44,85	44,63	49,79
87	44,92	45,03	44,33	49,64
88	45,20	45,20	44,62	49,30
89	44,86	-	45,28	-

Die aerobe Leistungsfähigkeit (Darstellung der Größe v_{L4}) wurde an diesen vier Sportlern im vergleichbaren Zeitraum ermittelt (Tabelle 12). Die untersuchungsgrundlage bildete der 4x5-Minuten-Stufentest auf dem Laufband.

Tabelle 12

Die Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit, dargestellt an der Größe v_{L4} (m/s), von vier Spitzenathleten im 400m-Langspint

Jahr	Sportler 002	Sportler 003	Sportler 004	Sportlerin 02
1982	4,04	4,52	4,10	-
83	4,39	4,52	4,27	3,34
84	4,43	4,73	5,02	4,30
85	4,71	5,10	4,72	4,50
86	4,36	4,82	5,07	4,46
87	4,72	4,99	5,10	4,19
88	4,75	4,68	-	4,22
89	4,70	-	5,20	-

Diese Entwicklung ist in Abb. 20 graphisch dargestellt.

Im wesentlichen kann eine asymthotische Annäherung der aeroben Leistungsfähigkeit im Mehrjahresverlauf an einem individuellen Höchstwert festgestellt werden.

Interessant sind die Untersuchungsergebnisse zur Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit im Jahresverlauf.

In Tabelle 13 sind diese Ergebnisse des Sportlers 003 im Trainings- und Wettkampfjahr (TWJ) 1986/87 dargestellt. Neben der Größe v_{L4} (m/s) ist die Konstante b (s/m) der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung aufgeführt.

Tabelle 13

Untersuchungsergebnisse zur Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit im Jahresverlauf (Sportler 003).

1. Vorbereitungsperiode			2. Vorbereitungsperiode		
Datum (Monat/Jahr)	v_{L4} (m/s)	b (s/m)	Datum (Monat/Jahr)	v_{L4} (m/s)	b (s/m)
10/86	4,51	0,80	3/87	4,21	0,71
10/86	4,24	0,76	3/87	4,65	0,72
12/86	4,78	0,74	4/87	5,02	1,03
12/86	4,64	0,81	5/87	4,91	-
1/87	4,58	0,81	7/87	4,52	0,85
2/87	4,87	0,99	8/87	4,75	0,83

Diese Ergebnisse sind in Abb. 21 graphisch aufgeführt.

Dieses individuelle Beispiel zeigt, daß die Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit im Jahresverlauf ihren größten Wert in der Wettkampfvorbereitung erreicht. Im wesentlichen kann aus dem Mehrjahresverlauf der v_{L4} -Werte (Tabelle 12) schon der Hinweis erhalten werden, daß eine Leistungsentwicklung nur

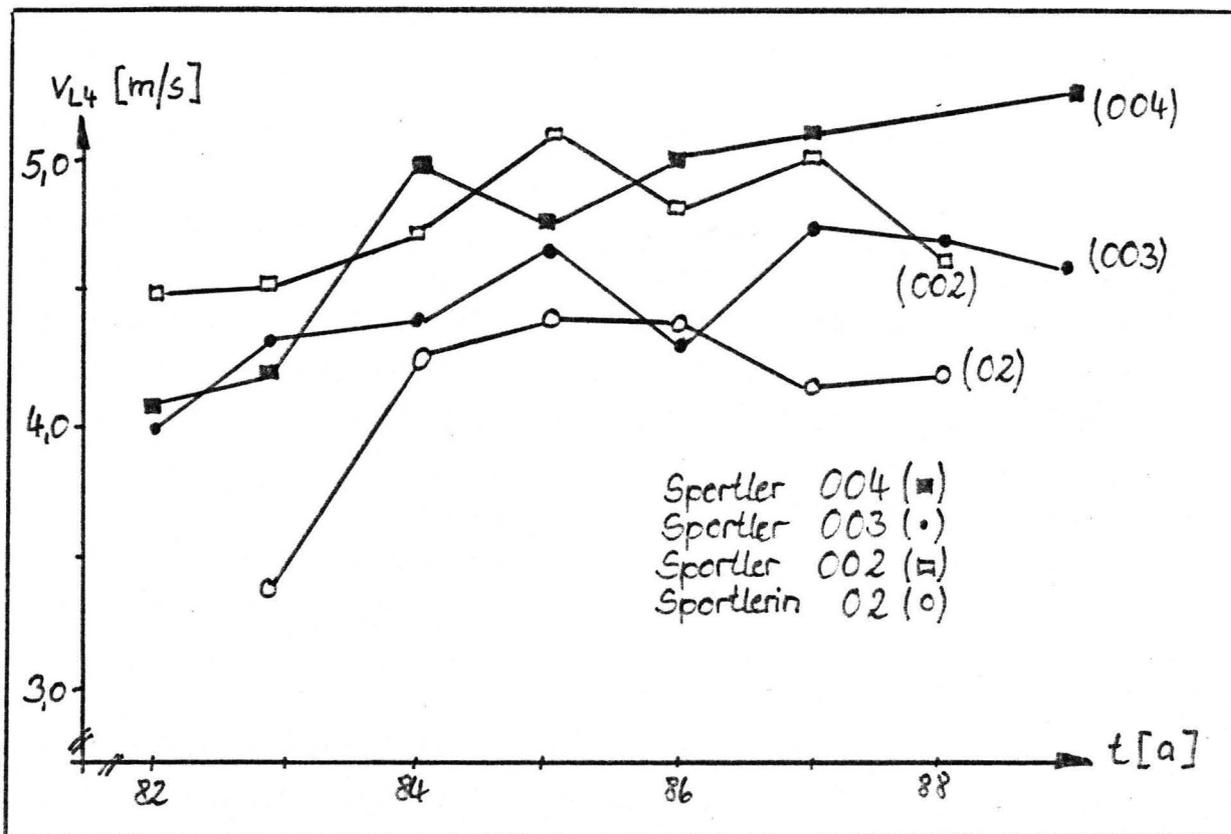


Abb. 20 Die aerobe Leistungsfähigkeit (v_{L4} -Wert) von vier Spitzenathleten im Mehrjahresverlauf

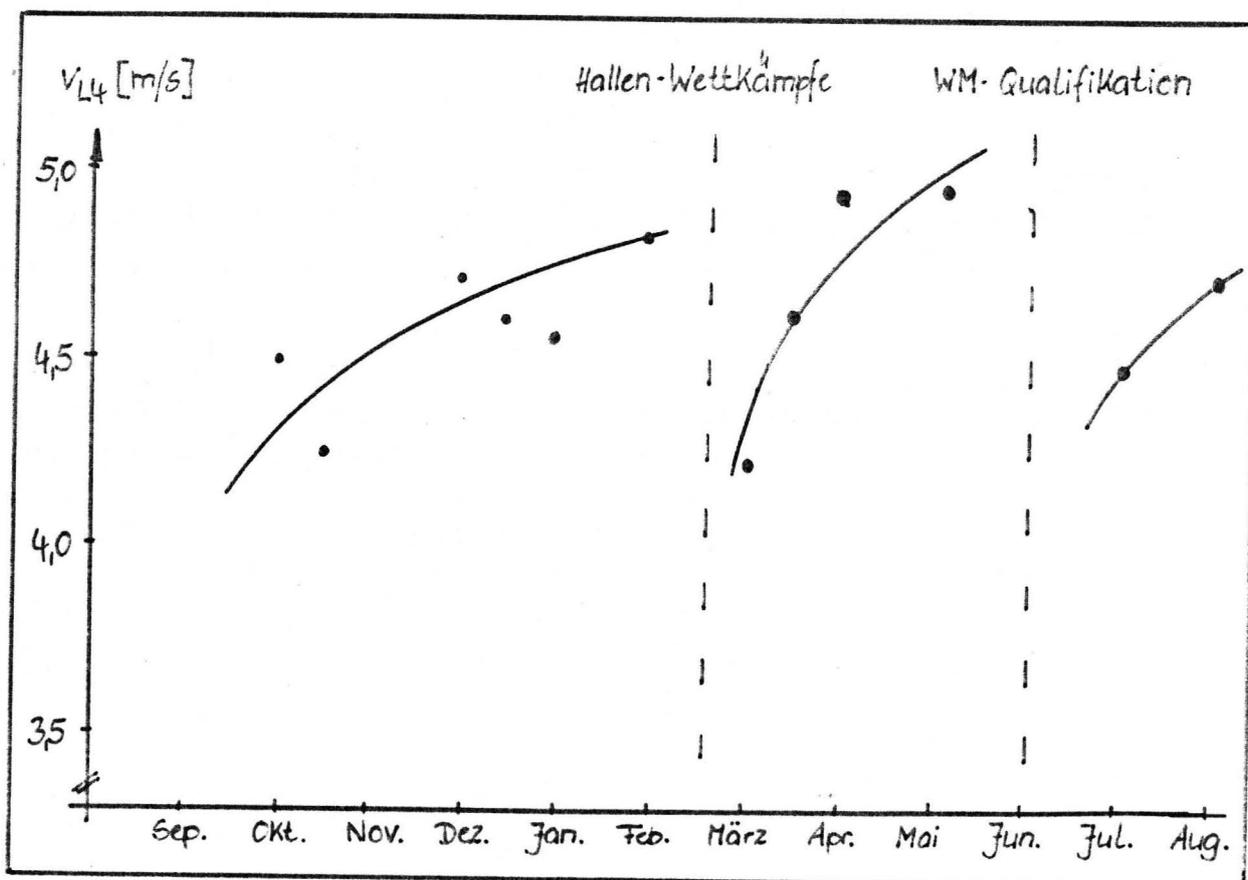


Abb. 21 Der Jahresverlauf der aeroben Leistungsfähigkeit (v_{L4} -Wert) des 400m-Spitzenathleten 003 im Trainings- und Wettkampfsjahr 1986/87

dann erfolgreich sein kann, wenn sich die aerobe Leistungsfähigkeit ebenfalls verbessert.

Diese Tatsache könnte auf eine Verbesserung der Substratdurchsatzrate sowie der Erhöhung der Dynamik der Fließgleichgewichtseinstellung während der Belastung zur Aufrechterhaltung einer schnellen ATP-Resynthese zurückzuführen sein.

Die Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit eines Nachwuchsleichtathleten (Sprint/Langssprint) wird im Mehrjahresverlauf (zum vergleichbaren Zeitraum) in der Tabelle 14/1 (Laufbandergebnisse des nx3-Minuten-Stufentest zur Darstellung der Vergleichsuntersuchungen) und in Tabelle 14/2 (zur Darstellung der Werte v_{L4} sowie der Konstante b und das Bestimmtheitsmaß r^2 der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung) *dargestellt*.

Tabelle 14/1

Die Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit des Sportlers 018 im Mehrjahresverlauf, charakterisiert durch die Adaptationsreaktionen (Lactat zur Belastungsstufe)

v (m/s)	11/87 Lactat (mmol/l)	11/88 Lactat (mmol/l)	11/89 Lactat (mmol/l)
3,25	3,3	-	-
3,50	3,9	2,1	1,8
3,75	4,8	2,4	2,1
4,00	5,8	3,2	2,7
4,25	6,7	4,2	3,5
4,50	9,0	6,0	5,0

Die graphische Darstellung dieser Ergebnisse wurde in Abb. 22 im halblogarithmischen System vorgenommen.

Tabelle 14/2

Darstellung der ermittelten Größen der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung (LBG) aus den Ergebnissen in Tabelle 14/1.

Größen der LBG	11/87	11/88	11/89
v_{L3} (m/s)	3,15	3,94	4,08
v_{L4} (m/s)	3,52	4,18	4,33
b (s/m)	0,78	1,21	1,15
r^2	0,99	0,99	0,99

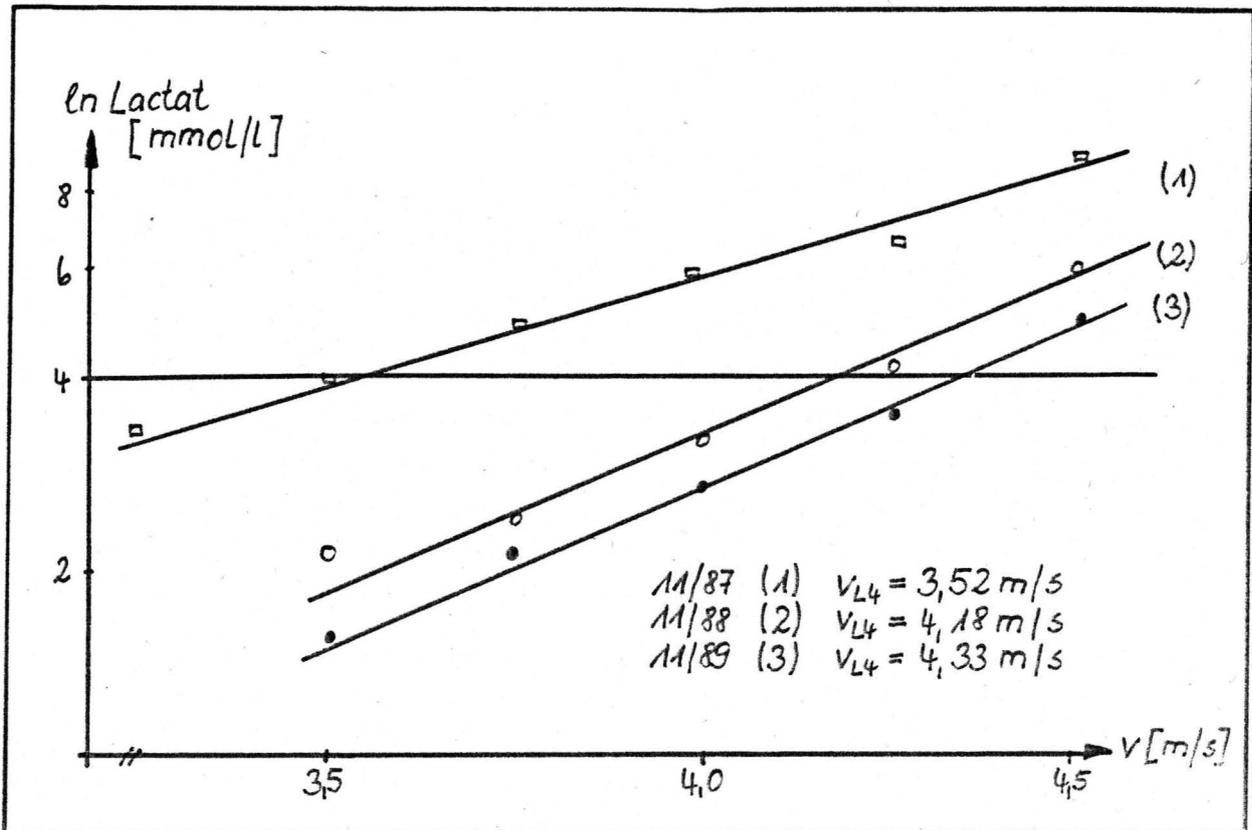


Abb. 22 Die Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit des Nachwuchssportlers O18 im Mehrjahresverlauf, dargestellt durch die Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen aus Untersuchungen mit dem KZA-Standardtest (3 Minuten-Stufentest) auf dem Laufband

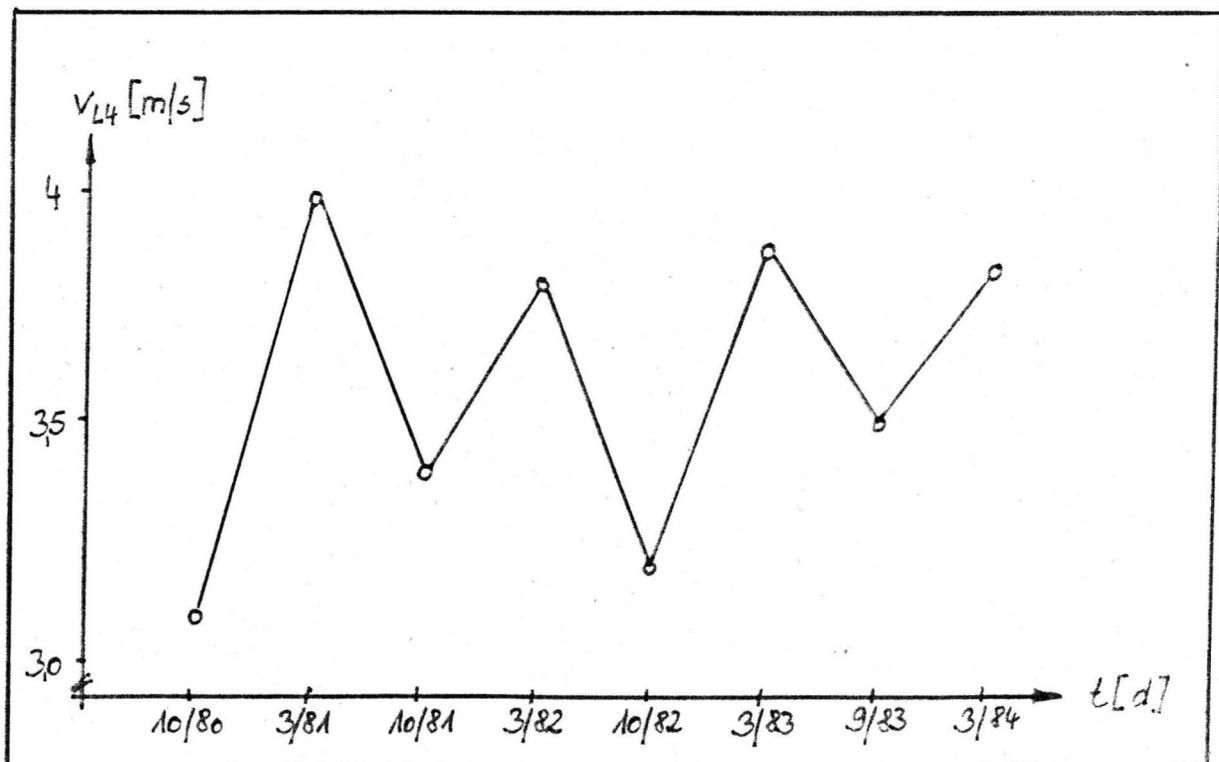


Abb. 23 Verhalten der Größe v_{L4} der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung aus dem 4x5 Minuten-Stufentest des 400m-Athleten O15 im Mehrjahresverlauf

Neben der Angabe der Größe v_{L4} als ein Maß zur Einschätzung der aeroben Leistungsfähigkeit erfolgt mit dem Ausweisen der Größe v_{L3} für den Trainingsprozeß ein Hinweis zur Intensitätsgestaltung von Dauerlaufbelastungen.

Die Ergebnisse des Sportlers 018 aus den Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit unterstützen die bisher geäußerte Auffassung, daß eine Leistungsentwicklung insgesamt mit einer Entwicklung aerober Energiestoffwechselforaussetzungen konform geht. Darüber hinaus sollte an diesem Beispiel die Auswertung der Untersuchungsergebnisse auf mathematischem und graphischem Weg demonstriert werden.

Dieser Sportler zählt zu den aussichtsreichen Talenten im 400m-Langsprint.

Demgegenüber lassen die v_{L4} -Werte des Sportlers 015 aus dem 4x5-Minuten-Stufentest im Mehrjahresverlauf (Tabelle 15) keine Entwicklungsfortschritte erkennen.

Tabelle 15

Verhalten des v_{L4} -Wertes des Sportlers 015 im Mehrjahresverlauf

Datum	v_{L4} (m/s)
10/80	3,10
3/81	4,00
10/81	3,40
3/82	3,80
10/82	3,20
3/83	3,90
9/83	3,50
3/84	3,85

Dieses Verhalten wird in Abb. 23 dargestellt.

Es werden starke individuelle Schwankungen in diesem Mehrjahresverlauf bei relativ geringer aerober Leistungsfähigkeit deutlich. Eine Leistungsstagnation war die logische Folge.

Möglicherweise ist dieser Sportler entsprechend seinen genetischen Voraussetzungen nicht in den für ihn notwendigen Regulationsmechanismen energetischer Prozesse trainingsmethodisch vorbereitet worden, sodaß eine Leistungsentwicklung ausblieb.

Die Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit sind mit einem "vita-maxima"-Test vervollständigt worden. Aus einer Anzahl von 32 Untersuchungen (Langsprint, männlich) sind für ausgewählte Funktionsamplituden folgende mittlere Werte erhalten worden (\bar{x}):

- maximale Sauerstoffaufnahme (relativ)
59,8 ± 3,2 ml/min·kg (SPIROLYT)

- Sauerstoffaufnahme bei einer Blutlactatkonzentration von 4 mmol/l (relativ)
 $51,7 \pm 5,2$ ml/min·kg
- prozentuale Ausschöpfung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei v_{L4}
 $86,4 \pm 7,2\%$
- maximale Blutlactatkonzentration
 $13,2 \pm 2,3$ mmol/l
- maximale Herzschlagfrequenz
 193 ± 9 Schläge/min
- Herzschlagfrequenz bei einer Blutlactatkonzentration von 4 mmol/l (Hf_{L4})
 179 ± 11 Schläge/min
- maximale Belastungszeit
 358 ± 36 Sekunden
- Belastungszeit im vorwiegend anaeroben Energiestoffwechsel
 235 ± 46 Sekunden

Als mittlerer v_{L4} -Wert wurde $4,31 \pm 0,48$ m/s erhalten (zum Vergleich Tabelle 10).

Diese Ergebnisse sind im Anhang in der Tabelle A 14/1 aufgeführt.

Aus diesen Untersuchungen ($n = 32$) konnten folgende linearen Zusammenhänge gefunden werden

- zwischen maximaler Sauerstoffaufnahme ($\dot{V}O_{2max}$) und der aeroben Leistungsfähigkeit (Größe v_{L4})

$$\dot{V}O_{2max} = 49,249 + 2,456 v_{L4}$$

$$r = 0,37$$

$$\alpha = 5\%$$

- zwischen prozentualer Ausschöpfung der maximalen Sauerstoffaufnahme bei v_{L4} und der Größe v_{L4}

$$\% \dot{V}O_{2max} = 39,380 + 10,913 v_{L4}$$

$$r = 0,72$$

$$\alpha = 0,1\%$$

- zwischen der Herzschlagfrequenz bei einer Blutlactatkonzentration von 4 mmol/l und der Größe v_{L4}

$$Hf_{L4} = 128,43 + 11,74 v_{L4}$$

$$r = 0,49$$

$$\alpha = 1\%$$

Die Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit ist eng damit verbunden, in welcher Qualität Dauerlaufbelastungen (Umfang und Intensität) absolviert werden.

Unter diesem Aspekt wurden Untersuchungen durchgeführt, die den Zusammenhang von Stufentests zur Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit und einer Dauerlaufleistung von 45 Minuten bei errechneter v_{L3} -Geschwindigkeit erklären sollten. Ausgewählte Untersuchungsergebnisse aus den Laufbandstufentests sind in Tabelle 16 dargestellt (Untersuchungen mit dem BIOTEST-Gerät).

Tabelle 16

Darstellung ausgewählter Ergebnisse aus Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit

Sportler	v_{L3} (m/s)	v_{L4} (m/s)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/min·kg)	$\dot{V}O_2 (v_{L4})$ (ml/min·kg)	$\% \dot{V}O_2$ Ausschöpfung
060	5,81	5,95	79,4	67,7	85,0
061	4,81	4,97	74,0	64,4	87,3
062	4,76	4,94	65,9	63,0	95,6
076	4,41	4,64	67,5	66,2	98,0
077	4,38	4,57	65,2	61,8	94,8
078	4,21	4,39	68,8	60,1	87,6
079	4,13	4,39	74,9	68,3	91,3
080	3,96	4,20	71,3	53,2	74,6
081	3,90	4,14	62,6	59,1	94,4
082	3,72	4,01	65,6	59,6	90,9
083	3,59	3,85	62,0	53,7	86,6
084	3,53	3,76	66,7	61,6	92,1

Dadurch, daß die Dauerlauf-Belastungen im wesentlichen mit einer Geschwindigkeit v_{L3} realisiert werden, wurde das Verhalten der Lactatkonzentration und des Atemäquivalents während eines 45 Minuten-Llaufes bei ermittelter v_{L3} -Geschwindigkeit auf dem Laufband kontrolliert. Die beiden Untersuchungen (aerobe Leistungsfähigkeit und Dauerlauf) standen in engem zeitlichen Zusammenhang (innerhalb von 48 Stunden).

Zur Erhebung des Lactatwertes wurde das Laufband während des Dauerlaufes jeweils 15 Sekunden angehalten.

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 17/1 und 17/2 aufgeführt.

Tabelle 17/1

Darstellung des Verhaltens der Blutlactatkonzentration (mmol/l) während eines Dauerlaufes (45 Minuten Vorgabe) bei der Geschwindigkeit v_{L3} (m/s). Die Meßabstände betragen jeweils 5 Minuten.

Sportler	v_{L3}	$\dot{V}O_2$	5	10	15	20	25	30	35	40	45
060	5,81	85,0	3,0	3,9	4,8	5,3	5,4	6,4	Abbruch		
061	4,81	87,3	2,1	2,6	2,8	3,0	3,2	2,7	3,8	4,4	4,8
062	4,76	95,6	2,9	2,7	2,8	3,2	2,7	2,8	2,8	3,0	3,1
076	4,41	98,0	2,3	2,5	2,2	2,2	2,0	2,7	2,6	2,1	1,9
077	4,38	94,8	3,0	3,0	2,8	2,1	2,9	3,2	3,1	3,1	3,0
078	4,21	87,6	3,2	3,2	2,9	4,0	4,5	4,9	5,2	5,6	5,9
079	4,13	91,3	2,1	1,8	1,6	1,8	1,5	1,6	1,5	1,4	2,0
080	3,96	74,6	2,6	2,7	2,9	3,1	3,3	5,6	4,8	Abbruch	
081	3,90	94,4	3,0	3,3	3,2	3,4	3,3	3,2	3,2	3,6	3,9
082	3,72	90,9	4,2	3,4	3,6	3,5	3,8	4,0	3,8	3,8	4,0
083	3,59	86,6	2,9	2,9	2,8	3,7	3,3	3,6	3,9	4,0	4,0
084	3,53	92,1	2,4	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	2,5	2,3

Tabelle 17/2

Darstellung des Verhaltens des Atemäquivalents während des Ausdauerlaufes
(Ergänzung zu Tabelle 17/1)

Sportler	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
060	23,5	25,9	27,0	28,3	30,0	30,3	Abbruch			
061	22,9	23,5	25,7	28,3	29,0	28,6	29,8	30,6	30,4	
062	25,7	25,2	26,1	26,8	27,9	27,1	27,5	28,0	26,8	
076	22,6	23,3	23,7	23,9	24,1	24,7	24,9	24,2	23,9	
077	25,7	25,6	26,6	25,7	27,9	27,7	27,2	27,2	27,6	
078	25,9	26,3	27,1	28,2	31,2	31,3	31,6	30,9	32,2	
079	24,6	26,0	27,4	27,8	27,0	26,8	26,5	27,0	26,3	
080	22,0	23,4	23,6	24,4	24,6	25,7	25,2	Abbruch		
081	22,5	22,3	24,2	23,8	24,2	25,0	24,4	22,8	24,3	
082	24,3	25,0	25,0	26,5	26,8	27,7	28,6	27,6	28,0	
083	22,4	24,5	24,5	25,1	24,9	25,0	24,5	25,1	25,8	
084	25,2	24,5	25,2	24,4	25,3	25,0	25,0	24,5	25,2	

Die Ergebnisse, die in den Tabellen 17/1 und 17/2 dargestellt worden sind, weisen darauf hin, daß Sportler mit geringer Sauerstoffausschöpfung (der maximalen Sauerstoffaufnahme) am aerob-anaeroben Übergang (Größe v_{L4}) die vorgegebene Dauerlauf-Leistung nicht oder nur mit erheblichen energetischen Aufwand (Sportler 060, 061, 078 oder 080) realisieren konnten.

Im Trainingsprozeß zur Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit von Athleten, die ihre Wettkampfleistung in der Kurzzeitausdauer vollbringen, sollte besonders auf den Zusammenhang zwischen der Größe v_{L4} und der realisierten Dauerlauf-Leistung geachtet werden. Einerseits könnten infolge individueller Fähigkeiten bzw. Voraussetzungen durch unangemessener Belastungsintensität und -dauer

Leistungsfortschritte ausbleiben und andererseits könnten die Wechselwirkungen aerober und anaerober Stoffwechselmechanismen aufgrund fehlender Belastungsreizwirkungen für eine Leistungsausprägung nicht wirksam werden.

Unter diesem Aspekt steht zur Entwicklung der aeroben Energiestoffwechsell Voraussetzungen immer wieder das individuelle Leistungsvermögen bzw. der individuelle aerob-anaerobe Übergang im Mittelpunkt des trainingsmethodischen Interesses. Das bedeutet, daß unter Berücksichtigung der ermittelten Zusammenhänge (Tabelle 17/1 und 17/2) Trainingsmitteluntersuchungen einen hohen Stellenwert haben und daß eine Verbesserung des individuellen aerob-anaeroben Überganges nur über das Einbeziehen aller möglichen Einflußfaktoren erreicht werden kann. Einen wesentlichen Einfluß auf die Realisierung von Dauerlaufbelastungen wird durch die prozentuale Sauerstoffausschöpfung der maximalen Sauerstoffaufnahme am aerob-anaeroben Übergang (Größe v_{L4}) ausgeübt. Erst durch eine Erhöhung dieser Fähigkeit im Trainingsprozeß kann zur weiteren Ausprägung der individuellen Schwelle beigetragen werden.

In der Tabelle 18 werden nach einer 10km-Dauerlaufbelastung an 400m-Spitzenathleten die erhaltenen Blutlactatkonzentrationen und die dazu gehörenden Laufintensitäten (Geschwindigkeiten) dargestellt.

Tabelle 18

Ergebnisse einer 10km-Dauerlaufbelastung an 15 männlichen 400m-Spitzenathleten. Es werden aufgeführt der zuvor ermittelte v_{L3} -Wert (m/s), die erzielte durchschnittliche Laufgeschwindigkeit v (m/s), die zur v_{L3} -Geschwindigkeit erreichte Geschwindigkeit in % sowie die Blutlactatkonzentration (mmol/l) nach Belastung.

Sportler	v_{L3}	v	%	Lactat
002	3,87	3,80	98,2	2,6
003	4,14	3,80	90,7	2,4
008	4,42	3,73	84,4	2,9
013	4,40	4,07	92,5	2,3
023	4,35	3,87	89,0	1,7
030	3,89	3,80	97,7	5,4
031	4,44	4,07	91,7	2,6
032	4,06	3,87	95,3	1,6
038	4,16	3,88	93,3	6,0
039	4,47	3,80	85,5	4,0
040	3,61	3,75	103,9	6,1
044	4,10	4,07	99,3	4,8
045	4,29	3,46	80,7	5,5
046	4,02	3,76	93,5	5,7
048	3,67	3,82	104,1	7,9

Diese Ergebnisse weisen darauf hin, daß die Belastungsintensitäten teilweise zu intensiv (Sportler 040, 048) oder zu unerschwinglich (Sportler 023, 032) realisiert worden sind, aber auch durch andere kürzere und intensivere Trainingsmittel ergänzt werden sollten (Sportler 003, 008, 038, 039, 045). Mit diesen Ergebnissen wird schon deutlich, daß die Objektivierung von Trainingsmitteln (TM) über den biochemischen Parameter Lactat für die Trainingspraxis eine leistungsfördernde Bedeutung hat. Es kann mit Kenntnis der Stoffwechselreaktionen Einfluß auf das Training zur Gestaltung von Intensität und Dauer der TM bzw. zur Gestaltung von Adaptations- und Wiederherstellungsprozessen genommen werden.

Die aus den Stufentests ermittelten und trainingsmethodisch relevanten Größen v_{L3} und v_{L4} bedeuten für den Trainingsprozeß nur den Bezug auf die Intensität, nicht auf die Dauer der Belastung. Das geht bereits aus den in Tabelle 18 dargestellten Ergebnissen hervor.

Unter Berücksichtigung der individuellen Leistungsvoraussetzungen (die Möglichkeit eines hohen FTF-Anteils der Muskelfaserstruktur, die momentanen leistungsdiagnostischen Befunde, die Voraussetzungen für die Schnelligkeit sowie für die Ausdauer) sind zur Entwicklung der aeroben Energiebereitstellung des Organismus die Belastungen sowohl im Umfang als auch in der Intensität zu variieren.

Die Sportlerin 21 hat aus Untersuchungen mit einem 4x5-Minuten-Stufentest den v_{L4} -Wert 3,52 m/s ermittelt bekommen und hat die letzte Belastungsstufe mit einer erheblichen Inanspruchnahme des glykolytischen Energiestoffwechsels (Lactat = 11,0 mmol/l) absolviert.

Für das weitere Training sollten zur dringend notwendigen Verbesserung der aeroben Energiestoffwechsell Voraussetzungen nicht nur längere Läufe (Dauerläufe) im v_{L3} -Geschwindigkeitsbereich, sondern auch Serien von 4 bis 6 x 1000 m im Geschwindigkeitsbereich v_{L4} und/oder 10 x 100 bis 200 m im Geschwindigkeitsbereich NI (Belastung bis 79,9% der Bestleistung bezogen auf die kurzen Laufstrecken). Dabei sollten die nach Belastung erreichten Blutlactatkonzentrationen 6 mmol/l nicht oder nur unwesentlich überschritten werden.

Auf diese Art der Vorgehensweise haben sich die Sportler 005 und 007 in ihrem v_{L4} -Wert um 0,45 m/s (auf $v_{L4} = 4,75$ m/s) bzw. um 0,75 m/s (auf $v_{L4} = 4,65$ m/s) innerhalb von 4 Wochen verbessert, nachdem sie 3 bis 4 Trainingseinheiten pro Woche zur Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit mit 8 - 10 km Dauerlauf (Lactat: 4 bis 6 mmol/l nach Belastung) und 100 bis 200m-Serien (Lactat: 4 bis 6 mmol/l nach Belastungsserie) absolvierten.

Demgegenüber haben zuvor beim Sportler 007 die eingesetzten TM aufgrund von geringer Dauerlauf-Belastung (4 bis 6 km) oder längeren Läufen während der Serienbelastung (bis 400 m) nur zu geringfügiger Veränderung des v_{L4} -Wertes (von 4,25 auf 4,40 m/s) innerhalb von 4 Wochen geführt.

Dadurch, daß die Dauerläufe besonders zur Verbesserung ökonomischer Prozesse aerober Energiebereitstellung (hohe Ausschöpfung der maximalen Sauerstoffaufnahme am aerob-anaeroben Übergang) beitragen sowie die Kapillarisation des Muskelgewebes oder die Einstellung energetischer Fließgleichgewichte erhöhen, sollten Dauerlaufbelastungen von 8 bis 10 km neben dem gezielten Einsatz als Trainingsmittel durchaus auch nach intensiven Trainingseinheiten zur Kompensation genutzt werden.

Die Blutlactatkonzentrationen sollten nach Belastung unter diesem Aspekt 2 mmol/l nicht oder nur unwesentlich überschreiten.

Die Kombination von 8 bis 10 km Dauerläufe und 100 bis 200m-Serienbelastung (im Umfang 10 bis 20 Wiederholungen) kann praktisch für die Leistungsentwicklung der aeroben Ausdauer empfohlen werden.

Serienbelastungen über eine Laufstrecke von mehr als 200 m können aufgrund ihrer zu hohen Intensität durchaus zu Fehlbelastungen während des Trainings zur Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit führen.

So wird im Langsprint oftmals der 10x400m-NI-Test als Trainingsmittel eingesetzt, wobei Lactatkonzentrationen von 6 bis 10 mmol/l nach der Serienbelastung erwartet werden.

In der Tabelle 19 weisen die Ergebnisse aus dem 10x400m-NI-Test die Belastungsbeanspruchungen aus.

Darüber hinaus soll mit diesem Test sportartspezifisch die aerobe Leistungsfähigkeit der Athleten ausgewiesen werden.

Tabelle 19

Ergebnisse aus dem 10x400m-NI-Test von 17 Spitzenathleten des Langsprints. Es werden die Belastungsvorgabe (t 400 m in s), die erreichte durchschnittliche Laufzeit (t 400 m in s) sowie die Blutlactatkonzentration nach Belastung (mmol/l) aufgeführt.

Sportler	Vorgabe t 400 m	Laufzeit t 400 m	Lactat
005	74,0	71,3	9,0
015	76,0	75,3	16,3
023	72,0	70,7	10,5
024	73,0	73,6	7,5
028	74,0	73,6	9,8
126	71,0	70,7	10,4
153	70,0	69,8	11,8
154	72,0	71,7	7,6
155	75,0	74,3	11,6
183	70,0	69,0	13,3
192	74,0	73,5	5,3
244	74,0	73,5	9,8
260	70,0	69,8	8,9
261	70,0	70,0	11,7
262	70,0	70,0	9,0
263	75,0	73,6	9,8
264	72,0	71,8	10,9

Aus diesen Ergebnissen kann entnommen werden, daß für neun Sportler die trainingsmethodische Zielstellung erfüllt worden ist und daß besonders für die Sportler 015, 153, 155, 183 und 261 diese Serienbelastung für die Entwicklung aerober Leistungsfähigkeit ungeeignet ist, sogar als Fehlbelastung (Sportler 015 und 183) gewertet werden kann. Bioenergetische Verschleißerscheinungen (längere Wiederherstellungszeiten, keine nachweisbaren Leistungsfortschritte) sind die Folge.

4.3. Die aerobe Leistungsfähigkeit in bezug auf die 400m-Wettkampfleistung

Die langjährigen Untersuchungen haben gezeigt, daß folgende Einflußgrößen offenbar einen engen Bezug auf die Wettkampfleistung ausüben:

- die aerobe Leistungsfähigkeit, dargestellt durch die Größe v_{L4} ,
- die maximale Blutlactatkonzentration (L_{max}) nach der Wettkampfleistung als Ausdruck maximaler Inanspruchnahme des glykolytischen Energiestoffwechsels,
- die, nach WENDLER (1975) ermittelte, Wertigkeit WI_2 als Ausdruck der Ökonomisierung des glykolytischen Energiestoffwechsels im submaximalen Bereich sowie
- die Schnelligkeitsleistung t_{80} m.

Die vorliegenden Untersuchungen, die im engen zeitlichen Zusammenhang stehen, sollen vor allem den Stellenwert der aeroben Leistungsfähigkeit in bezug auf

die 400m-Wettkampfleistung nachweisen.

In der Tabelle 20 sind diese Untersuchungsergebnisse zusammengestellt.

Tabelle 20

Aufstellung von Ergebnissen aus Wettkampf- bzw. Laufband- und Trainingsmitteluntersuchungen an 11 Spitzenathleten des 400m-Langsprints.

Es werden aufgeführt

- die Wettkampfzeit (WZ in s),
- die maximale Blutlactatkonzentration nach Wettkampfbelastung (L_{max} in mmol/l),
- die Größe v_{L4} (m/s) aus dem 4x5-Minuten-Stufentest auf dem Laufband,
- die Wertigkeit (WI_2 in s), ermittelt aus der in einem 3x400m-Feldtest im Intensitätsbereich I_2 durchschnittlichen 400m-Laufzeit unter Berücksichtigung der gemessenen Lactatkonzentration nach Belastungsende. Als Bezugswert wird eine Lactatkonzentration von 18 mmol/l angenommen. Pro 2 mmol/l Abweichung von diesem Bezugswert (in positiver oder in negativer Richtung) wird zur durchschnittlichen 400m-Laufzeit 1 Sekunde hinzu- bzw. abgezogen,
- die Schnelligkeitsleistung (t_{80m} in s)

Sportler	WZ	L_{max}	v_{L4}	WI_2	t_{80m}
002	46,59	23,5	5,20	48,5	9,23
003	46,95	20,6	4,95	49,4	9,02
004	46,39	24,4	5,00	48,9	9,08
005	46,46	24,0	4,20	49,4	9,06
023	47,55	20,6	4,75	47,8	9,32
026	49,75	22,6	3,80	52,6	9,48
153	47,42	20,2	4,90	51,0	9,26
154	47,27	26,0	4,00	50,3	9,17
155	49,95	20,7	3,85	50,8	9,17
156	47,92	25,0	4,35	52,5	9,35
157	48,85	21,0	3,75	49,1	9,41

Zur Beschreibung eines multivariaten Zusammenhangs wurden folgende Prüfungen vorgenommen:

- v_{L4} zu L_{max} $r = -0,08$
- v_{L4} zu WI_2 $r = -0,47$
- WI_2 zu L_{max} $r = 0,18$

Es bestehen zwischen diesen Komponenten keine korrelativen Beziehungen.

Aus den in der Tabelle 20 aufgestellten Daten läßt sich beschreiben

- der Zusammenhang zwischen der Wettkampfzeit und der Größe v_{L4}

$$\begin{aligned} WZ &= 55,39 - 1,73 v_{L4} & (1) \\ r &= 0,74 & (r^2 = 0,55) \\ \alpha &= 1\% \end{aligned}$$

Dieser Zusammenhang weist aus, daß ein relativ hoher Anteil der Variabilität der Wettkampfzeit durch die Größe v_{L4} bestimmt wird, d. h. es werden 55% der Wettkampfzeit durch die aerobe Leistungsfähigkeit bestimmt. Damit wird zum Erzielen einer hohen 400m-Wettkampfleistung die Bedeutung und der Stellenwert der aeroben Energiebereitstellung zur Leistungsentwicklung im Trainingsprozeß unterstrichen.

- der Zusammenhang zwischen der Wettkampfzeit und den Größen v_{L4} und L_{max}

$$\begin{aligned} WZ &= 61,61 - 1,80 v_{L4} - 0,26 L_{max} & (2) \\ r &= 0,85 & (r^2 = 0,73) \\ \alpha &= 1\% \end{aligned}$$

Die Zunahme des Bestimmtheitsmaßes r^2 von 0,55 (Gleichung 1) zu 0,73 (Gleichung 2) ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 10\%$ statistisch gesichert.

Dadurch kann die maximale Blutlactatkonzentration als Ausdruck der Inanspruchnahme des glykolytischen Energiestoffwechsels für die Wettkampfleistung offenbar als ein hoher leistungsbeeinflussender Faktor eingeordnet werden.

- der Zusammenhang zwischen der Wettkampfzeit und den Größen v_{L4} , L_{max} und WI_2

$$\begin{aligned} WZ &= 46,76 - 1,44 v_{L4} - 0,29 L_{max} + 0,28 WI_2 & (3) \\ r &= 0,91 & (r^2 = 0,82) \\ \alpha &= 0,1\% \end{aligned}$$

Die Zunahme des Bestimmtheitsmaßes r^2 von 0,73 (Gleichung 2) zu 0,82 (Gleichung 3) ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 10\%$ ebenfalls statistisch gesichert.

Aus der Regressionsgleichung (3) ist zu entnehmen, daß 82% der Variabilität der 400m-Wettkampfzeit durch die drei Einflußgrößen v_{L4} , L_{max} und WI_2 beschrieben werden. Das heißt, daß die Steigerung des v_{L4} -Wertes, die Erhöhung der maximalen Lactatkonzentration nach der Wettkampfbelastung und eine Verbesserung der Ökonomisierung der Energielieferprozesse im submaximalen Leistungsbereich (Erniedrigung des WI_2 -Wertes) zu einer Verbesserung der 400m-Wettkampfzeit führen könne.

- der Zusammenhang zwischen der Wettkampfzeit und der Schnelligkeit $t_{80 m}$

$$\begin{aligned} WZ &= -1,608 + 5,344 t_{80 m} & (4) \\ r &= 0,63 & (r^2 = 0,40) \\ \alpha &= 5\% \end{aligned}$$

- der Zusammenhang zwischen der Wettkampfzeit und den Größen v_{L4} , WI_2 und $t_{80\text{ m}}$

$$WZ = 20,292 - 1,209 v_{L4} + 0,134 WI_2 + 2,821 t_{80\text{ m}} \quad (5)$$

$$r = 0,90 \quad (r^2 = 0,81)$$

$$\alpha = 0,1\%$$

wobei zwischen WI_2 und $t_{80\text{ m}}$ nur ein unwesentlicher Zusammenhang besteht:

$$WI_2 = 9,866 + 4,35 t_{80\text{ m}}$$

$$r = 0,41$$

Die Schnelligkeit $t_{80\text{ m}}$ kann somit offenbar als eine weitere wesentliche Einflußgröße für die Leistungsentwicklung im 400m-Langsprint eingeordnet werden.

Aus diesen Untersuchungsergebnissen können praktisch (in der untersuchten Gruppe) die für eine Wettkampfleistung wesentlichen Einflußgrößen im Zusammenhang beurteilt werden.

Als ein Beispiel zur praktischen Nutzung dieser Zusammenhänge werden in bezug auf Gleichung (5) nach einem 3x400m- I_2 -Test (einschließlich eines 80m-Laufes) an einer Gruppe von 8 Athleten, die in zwei Leistungsgruppen eingeteilt worden sind, folgende Ergebnisse (Durchschnittswerte) erzielt:

1. Gruppe (4 Sportler)

$$WI_2 = 49,1 \text{ s}$$

$$t_{80\text{ m}} = 9,10 \text{ s}$$

$$v_{L4} = 4,90 \text{ m/s}$$

2. Gruppe (4 Sportler)

$$WI_2 = 50,3 \text{ s}$$

$$t_{80\text{ m}} = 9,29 \text{ s}$$

$$v_{L4} = 4,50 \text{ m/s}$$

Werden diese Ergebnisse in Gleichung (5) eingesetzt, erhält man für

- die 1. Gruppe eine errechnete Wettkampfzeit von 46,7 s,

- die 2. Gruppe eine errechnete Wettkampfzeit von 47,8 s.

Die tatsächlich erzielten Wettkampfzeiten zur Hallenmeisterschaft betragen für

- die 1. Gruppe 46,60 s,

- die 2. Gruppe 47,54 s,

womit im prognostischen Sinn eine gute Übereinstimmung für diese beiden Leistungsgruppen gefunden werden konnte.

Die Zusammenhänge in Gleichung (3) haben besonders für die individuelle Leistungsentwicklung eine praktische Bedeutung. Entsprechend Gleichung (3) wird eine Verbesserung der 400m-Wettkampfzeit von 0,28 s erreicht, wenn

- der v_{L4} -Wert um 0,2 m/s verbessert wird,

- die Wertigkeit WI_2 sich um 1 Sekunde erniedrigt und

- die maximale Lactatkonzentration sich nach der 400m-Wettkampfleistung um 1 mmol/l erhöht.

Die Kenntnis dieser Zusammenhänge führt für die kurz- und mittelfristige Trainingssteuerung zur Auffassung, daß zur Objektivierung von Teilleistungen und deren Zusammenwirken weitere disziplinspezifische oder bioenergetisch-relevante Untersuchungen (z. B. 4x400m-Feldtest, 10x30m-Test) notwendig sind, um das individuelle Leistungsvermögen durch konkrete Beurteilungskriterien im Sinne der Trainingssteuerung weiter entwickeln zu können.

4.4. Untersuchungen zur anaerob-lactaciden Energiebereitstellung

In den leichtathletischen Sprintdisziplinen nimmt die Inanspruchnahme des glykolytischen Energiestoffwechsels mit der Streckenlänge bzw. mit der Wettkampfdauer zu. In Abb. 24 wird die Blutlactatkonzentration (als Ausdruck von glykolytischer Energiebeteiligung) im Zusammenhang mit der Wettkampfbelastungszeit aus Mittelwerterhebungen von 60m-, 100y-, 100m-, 200m- und 400m-Wettkämpfen (Männer und Frauen) dargestellt.

Dieser Zusammenhang wird durch folgende Funktion beschrieben (insgesamt 10 Meßwerte):

$$\begin{aligned} L &= -3,010 + 5,942 \ln t & L &= \text{Lactat (mmol/l)} \\ r &= 0,96 & t &= \text{Wettkampfzeit (s)} \\ \alpha &= 0,1\% \end{aligned}$$

Die einzelnen Meßergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 15/1 bis A 15/5 dargestellt.

Ausgehend von dieser allgemeinen Funktion erhält die glykolytische Energiebereitstellung für den 400m-Wettkampf einen hohen Stellenwert, d. h. der Ausprägungsgrad dieser energieliefernden Form kann durchaus einen leistungs-limitierenden Charakter annehmen und wird damit Gegenstand leistungsdiagnostischer Untersuchungen.

Wettkampfuntersuchungen (400m-Hallenmeisterschaften) haben ergeben, daß ein Zusammenhang zwischen der Blutlactatkonzentration nach dem 400m-Wettkampf und der erzielten Wettkampfzeit sowohl im männlichen als auch im weiblichen Bereich besteht.

Diese Funktionen lassen sich wie folgt beschreiben:

- 400 m-Läufer (n = 52)

$$\begin{aligned} L &= 1273,8 e^{-0,088 t} \\ r &= 0,69 \\ \alpha &= 0,1\% \end{aligned}$$

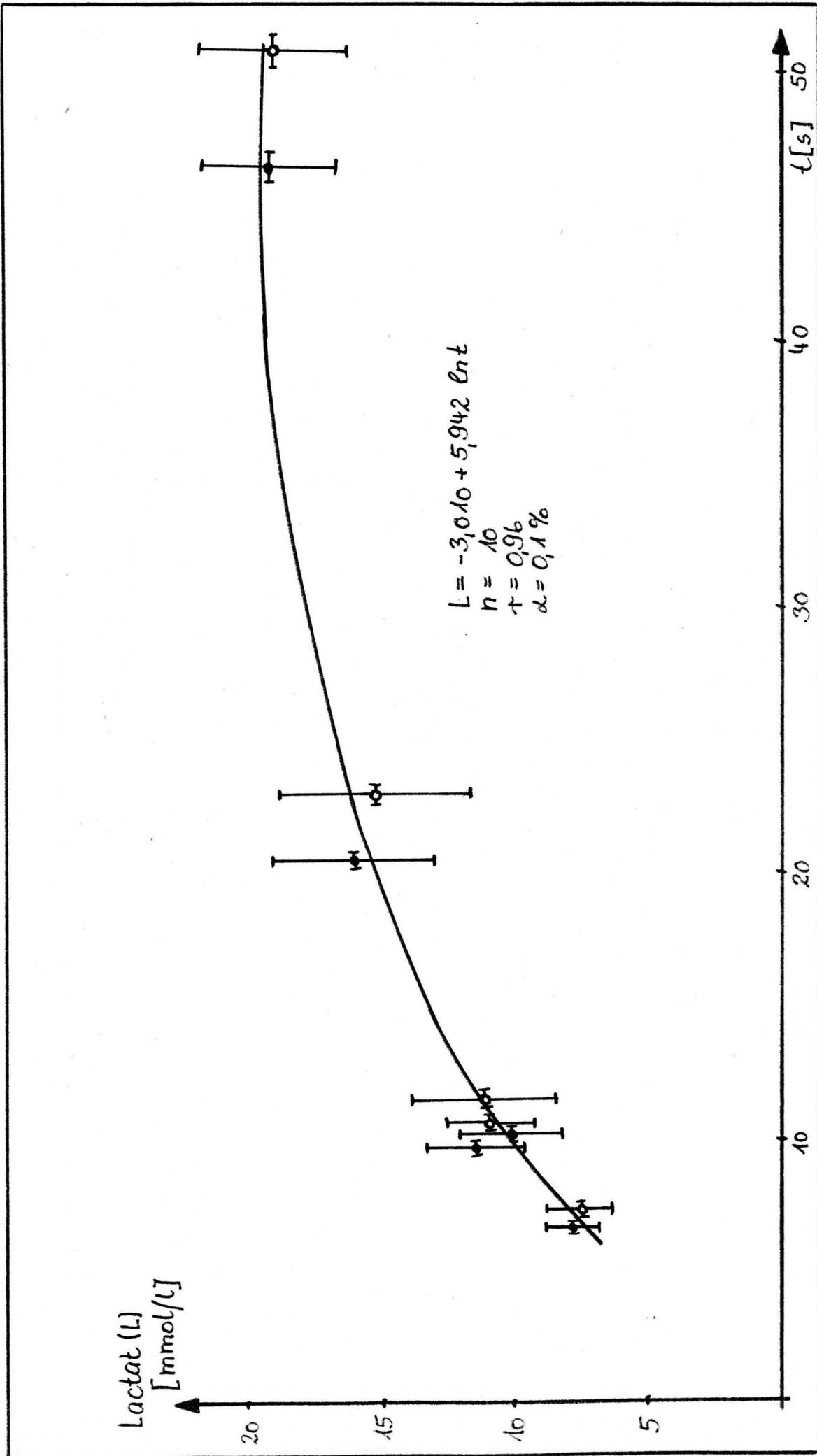


Abb. 24 Die Lactat-Belastungszeit-Funktion aus Mittelwelterhebungen von Wettkämpfern von Weltklasse (o) und weiblichen (o) Athleten in der Leichtathletik 100 m-, 200 m- und 400 m - Wettkämpfen an männlichen (o) und weiblichen (o) Athleten in der Leichtathletik

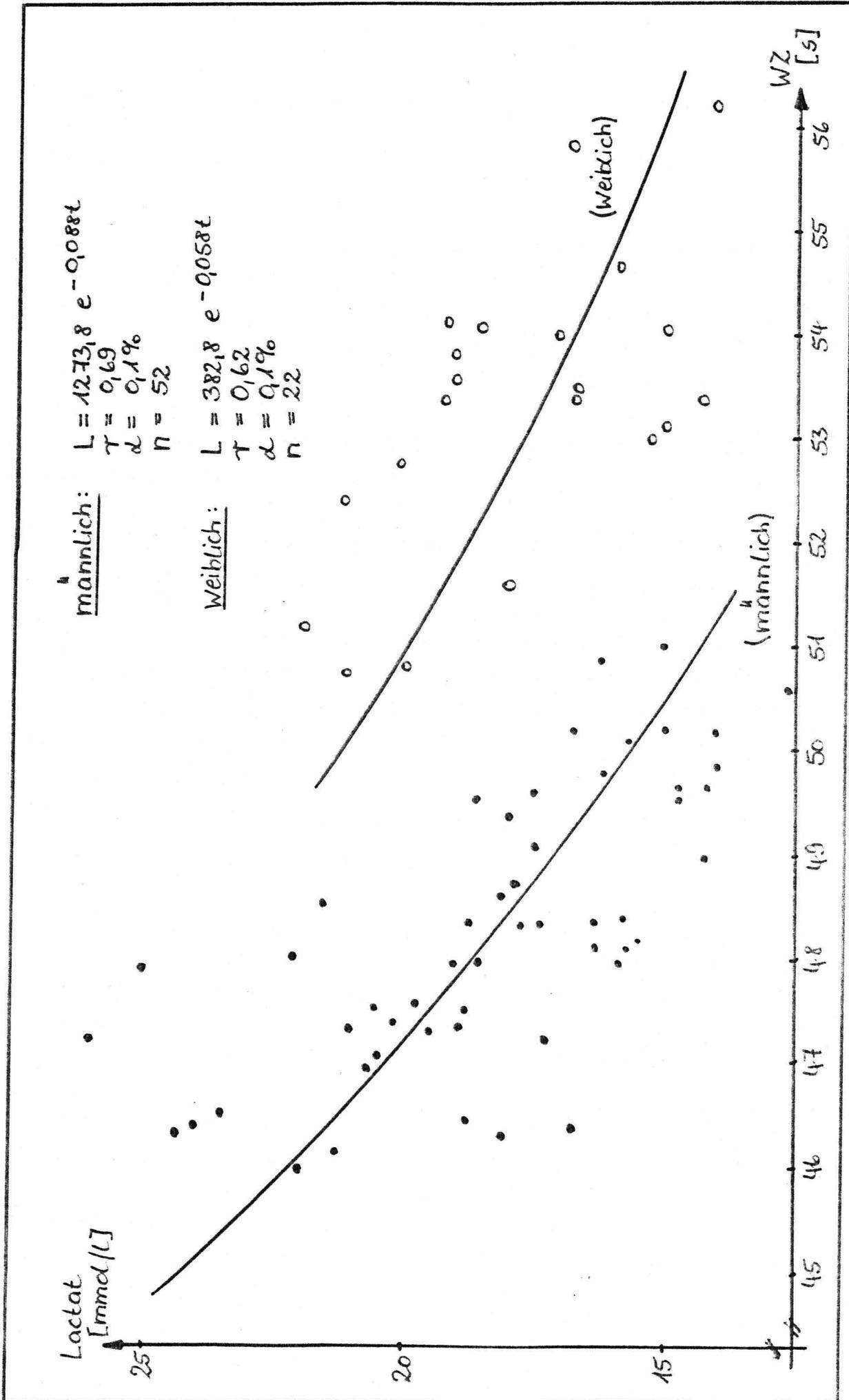


Abb. 2.5 Die Lactat(L) - Wettkampfzeit(WZ) - Funktion von männlichen(•) und weiblichen(o) 400m - Läufern

- 400m-Läuferinnen (n = 22)

$$L = 382,8 e^{-0,058 t}$$

$$r = 0,62$$

$$\alpha = 1\%$$

Die Meßergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 16/1 und A 16/2 aufgeführt. Graphisch sind diese Funktionen in Abb. 25 dargestellt.

Diese Funktionen lassen den leistungslimitierenden Charakter der glykolytischen Energiebereitstellung weiter erhöhen. Sie sind weiterhin übereinstimmend mit den Aussagen der multivariaten Darstellungen im Abschnitt 4.3., Gleichung (2) sowie Gleichung (3).

Ausgehend von diesem Zusammenhang, sind weitere Untersuchungen zum Erfassen lactacider Energiestoffwechselprozesse unumgänglich:

4.4.1. Das Verhalten des anaeroben Ausdauerkoeffizienten im Trainingsabschnitt der aeroben Ausdauer

Aus den "vita-maxima"-Untersuchungen wurde festgestellt, daß der anaerobe Ausdauerkoeffizient (ANA) eng korreliert mit der maximalen Lactatkonzentration nach der erschöpfenden Belastung entsprechend dem linearen Zusammenhang:

$$L_{\max} = 7,222 + 0,197 \text{ ANA}$$

$$n = 27$$

$$r = 0,92$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Dieses Ergebnis wurde in Abb. 26 auch graphisch aufgeführt.

Dadurch, daß die einzelnen Meßpunkte differenziert nach Trainingsalter bzw. nach Leistungsstärke aufgetragen wurden, kann man bei genauer Betrachtung der Funktion die Leistungsunterschiede feststellen. Leistungsstärkere bzw. trainingsadaptierte (im Sinne der KZA) Sportler weisen einen höheren anaeroben Ausdauerkoeffizienten aus.

Dieses Verhalten (Anstieg der Funktion) trägt weiterhin dazu bei, daß die glykolytische Energiebereitstellung für eine hohe Leistungsfähigkeit in der Kurzzeitausdauer allgemein und im 400m-Langsprint im besonderen auf eine höchste Ausprägung einzustellen ist.

Verfolgt man den Zusammenhang zwischen der Größe v_{L4} und dem anaeroben Ausdauerkoeffizienten, erhält man folgende Beziehung

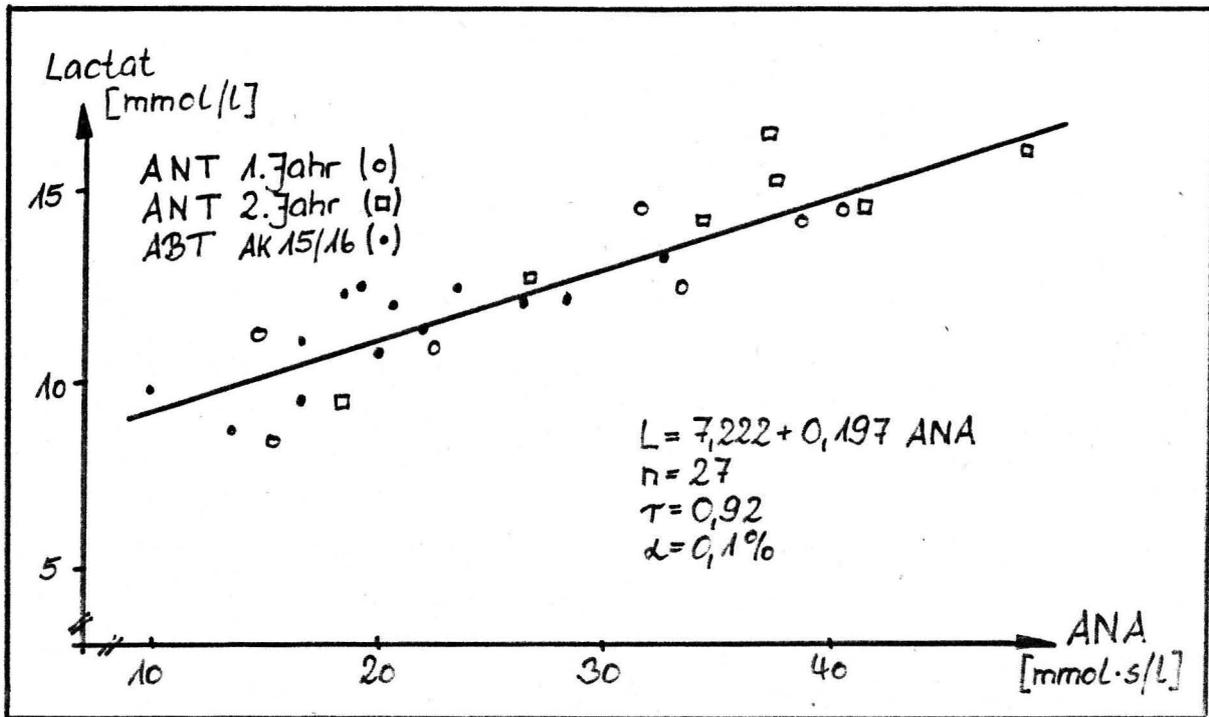


Abb. 26 Der Verlauf der Lactat(L)-anaerober Ausdauerkoeffizient (ANA)-Funktion von Nachwuchssportlern des Anschluß- (ANT) und Aufbautrainings (ABT)

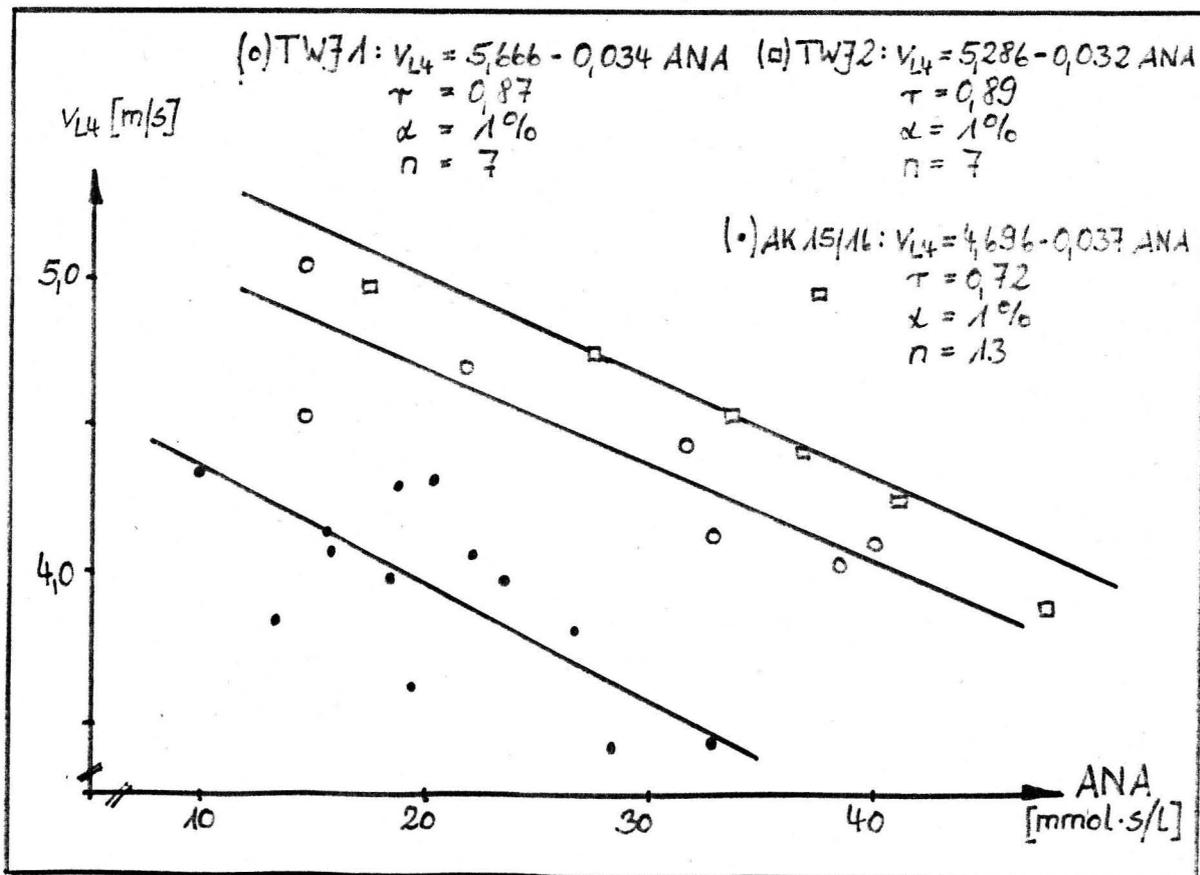


Abb. 27 Vergleich des Zusammenhangs zwischen der Größe v_{L4} und dem anaeroben Ausdauerkoeffizienten (ANA) an Nachwuchsathleten im Trainingsjahr (TWJ) 1 und im Trainingsjahr 2 sowie an einer Gruppe der AK 15/16

$$\begin{aligned}v_{L4} &= 5,413 - 0,035 \text{ ANA} \\n &= 32 \\r &= 0,74 \\\alpha &= 0,1\%\end{aligned}$$

Dieses Verhalten wird im Anhang in der Abb. A 1 graphisch dargestellt. Es kann festgestellt werden, daß mit steigendem anaeroben Ausdauerkoeffizienten die aerobe Leistungsfähigkeit (dargestellt an der Größe v_{L4}) abnimmt. Unter Berücksichtigung des hohen Stellenwertes der aeroben Leistungsfähigkeit für den 400m-Langsprint (Abschnitt 4.2. und 4.3.) wurden Untersuchungen von 400m-Athleten (Nachwuchsspitzenathleten) vorgenommen, die eine Leistungsentwicklung von Trainings- und Wettkampfsjahr (TWJ) 1 zu Trainings- und Wettkampfsjahr (TWJ) 2 aufwiesen. Diese Untersuchungen werden verglichen mit den Ergebnissen einer Gruppe von Sportlern des Aufbautrainings (ABT), Altersklasse (AK) 15/16.

Man erkennt aus dem Verlauf des Zusammenhangs zwischen der Größe v_{L4} und dem anaeroben Ausdauerkoeffizienten praktisch eine Parallelverschiebung von Leistungsniveau zu Leistungsniveau, d. h. die AK 15/16 mit dem niedrigsten Leistungsniveau liegt mit ihrer Funktion stark linksversetzt zu den Sportlern der 400m-Nachwuchsspitze.

Der Verlauf dieser Funktionen ist in Abb. 27 wiedergegeben.

Man erkennt aus dem Funktionsverlauf, daß dieser Zusammenhang sowohl im Sinne einer Verbesserung der aeroben und anaeroben Energiebereitstellung als auch durch Adaptationsprozesse zu erklären ist.

Die einzelnen Funktionen werden durch folgende Gleichungen beschrieben:

- 400m-Nachwuchsspitzenathleten (n = 7)

TWJ 1

$$\begin{aligned}v_{L4} &= 5,666 - 0,034 \text{ ANA} \\r &= 0,87 \\\alpha &= 1\%\end{aligned}$$

TWJ 2

$$\begin{aligned}v_{L4} &= 5,286 - 0,032 \text{ ANA} \\r &= 0,89 \\\alpha &= 1\%\end{aligned}$$

- Vergleichsgruppe Aufbautraining AK 15/16 (n = 13)

$$\begin{aligned}v_{L4} &= 4,696 - 0,037 \text{ ANA} \\r &= 0,72 \\\alpha &= 1\%\end{aligned}$$

Die einzelnen Meßergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 14/1 bis A 14/3 ausgewiesen.

Mit einer kleinen Gruppe von 400m-Athleten (Nachwuchsspitzenathleten) wurde zur Vervollständigung der Untersuchungen zum Verhalten des anaeroben Ausdauerkoeffizienten der Zusammenhang zwischen der Wettkampfzeit (WZ) und dem anaeroben Ausdauerkoeffizienten dargestellt. Dieser Zusammenhang wird durch folgende lineare Gleichung beschrieben:

$$WZ = 48,473 - 0,061 \text{ ANA}$$

$$n = 5$$

$$r = 0,68$$

$$\alpha = 10\%$$

Dieses Ergebnis läßt darauf schließen, daß es mit zunehmender Erhöhung des anaeroben Ausdauerkoeffizienten zu einer Verbesserung der Wettkampfleistung kommen kann.

Dieser Zusammenhang wird im Anhang in Abb. A 2 bzw. in der Tabelle A 14/4 dargestellt.

4.4.2. Der Adaptationsprozeß der glykolytischen Energiebereitstellung im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer

Bisher waren Untersuchungen zum anaeroben Energiestoffwechsel nur über die Methode des Vergleichs von Trainingsmitteln (z. B. der 10x400m-NI-Test, der 6x400m-I₃-Test oder der 3x400m-I₂-Test) von Trainingsjahr zu Trainingsjahr bzw. von Trainingsabschnitt zu Trainingsabschnitt möglich.

Die Untersuchungen mit den ausgewiesenen Laufbandstufentests erlauben darüber hinaus für die wissenschaftliche Trainingssteuerung weitere Kenngrößen (Größe v_{L4} als eine Bezugsgröße zur aeroben Leistungsfähigkeit oder die Konstante b der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung zur Lage der Funktion bzw. zur Energiestoffwechselsituation) und weitere Hinweise für die Intensitätsgestaltung des Trainings im Bereich der speziellen Ausdauer.

Mit dem 4x60-Sekunden-Stufentest auf dem Laufband wurde eine Untersuchungsform gefunden, die eine Objektivierung der Inanspruchnahme des glykolytischen Energiestoffwechsels ermöglichen bzw. die energetische Antwortreaktion auf definierte intensive Belastungen erfassen.

Die Untersuchungen vom Trainingsabschnitt I₃ zum Trainingsabschnitt I₂ der speziellen Ausdauer haben gezeigt, daß die Stoffwechselreaktionen offenbar ökonomischer verlaufen. Es wurde sowohl im männlichen als auch im weiblichen Bereich eine allgemeine Abflachung der Lactat-Geschwindigkeitsfunktion

erhalten:

- 400m-Läufer

Belastungsintensität I_3 (n = 28)

$$L = 0,246 e^{0,514 v}$$

$$r = 0,86$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man (Abschnitt 3.9.2., S.62)

$$v_{L4} = 5,43 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 73,7 \text{ s}$$

$$v_{L6} = 6,22 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 64,3 \text{ s}$$

$$v_{L10} = 7,21 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 55,5 \text{ s}$$

$$v_{L14} = 7,87 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 50,8 \text{ s}$$

$$v_{L18} = 8,36 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 47,7 \text{ s}$$

Belastungsintensität I_2 (n = 19)

$$L = 0,391 e^{0,437 v}$$

$$r = 0,86$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$$v_{L4} = 5,32 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 75,2 \text{ s}$$

$$v_{L6} = 6,25 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 64,0 \text{ s}$$

$$v_{L10} = 7,42 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 53,9 \text{ s}$$

$$v_{L14} = 8,19 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 48,8 \text{ s}$$

$$v_{L18} = 8,76 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 45,7 \text{ s}$$

- 400m-Läuferinnen

Belastungsintensität I_3 (n = 25)

$$L = 0,170 e^{0,631 v}$$

$$r = 0,87$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$$v_{L4} = 5,01 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 79,8 \text{ s}$$

$$v_{L6} = 5,65 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 70,8 \text{ s}$$

$$v_{10} = 6,46 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 61,9 \text{ s}$$

$$v_{L14} = 7,00 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 57,1 \text{ s}$$

$$v_{L18} = 7,39 \text{ m/s} \quad \text{entsprechend } t \text{ 400 m} = 54,1 \text{ s}$$

Belastungsintensität I_2 (n = 20)

$$L = 0,317 e^{0,518 v}$$

$$r = 0,87$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$v_{L4} = 4,89$ m/s	entsprechend t 400 m = 81,8 s
$v_{L6} = 5,68$ m/s	entsprechend t 400 m = 70,4 s
$v_{L10} = 6,66$ m/s	entsprechend t 400 m = 60,1 s
$v_{L14} = 7,31$ m/s	entsprechend t 400 m = 54,7 s
$v_{L18} = 7,80$ m/s	entsprechend t 400 m = 51,3 s

Aus diesen Ergebnissen ist deutlich eine Abflachung der Lactat-Leistungsbeziehung von Trainingsabschnitt I_3 zu I_2 erkennbar und es werden im oberen Leistungsbereich höhere Geschwindigkeiten bei gleicher bioenergetischer Belastung erreicht (v_{L14} bzw. v_{L18}). Demgegenüber erhält man im unteren Leistungsbereich (v_{L4}) eine Linksverschiebung der LGB, die möglicherweise mit einer Verschlechterung der aeroben Energiebereitstellung verbunden ist. Der in Abb. 11 dargestellte Bezug der v_{L4} -Werte läßt durchaus eine Objektivierung der aeroben Leistungsfähigkeit zu.

Dadurch, daß die Ergebnisse und die Beurteilungsmöglichkeiten des 4x60-Sekunden-Stufentests in enger Beziehung zu dem 4x400m-Feldtest stehen (Abb. 10 und Abb. 16), werden zum Vergleich die ermittelten Zusammenhänge aus dem 4x400m-Feldtest aufgeführt:

- 400m-Läufer

Belastungsintensität I_3 (n = 18)

$$L = 0,380 e^{0,459 v}$$

$$r = 0,93$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$v_{L4} = 5,13$ m/s	entsprechend t 400 m = 78,0 s
$v_{L6} = 6,02$ m/s	entsprechend t 400 m = 66,4 s
$v_{L10} = 7,13$ m/s	entsprechend t 400 m = 56,1 s
$v_{L14} = 7,86$ m/s	entsprechend t 400 m = 50,9 s
$v_{L18} = 8,41$ m/s	entsprechend t 400 m = 47,6 s

Belastungsintensität I_2 (n = 10)

$$L = 0,389 e^{0,450 v}$$

$$r = 0,93$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$v_{L4} = 5,17$ m/s	entsprechend t 400 m = 77,4 s
$v_{L6} = 6,07$ m/s	entsprechend t 400 m = 65,9 s
$v_{L10} = 7,21$ m/s	entsprechend t 400 m = 55,5 s
$v_{L14} = 7,96$ m/s	entsprechend t 400 m = 50,3 s
$v_{L18} = 8,51$ m/s	entsprechend t 400 m = 47,0 s

- 400m-Läuferinnen

Belastungsintensität I_3 (n = 14)

$$L = 0,390 e^{0,493 v}$$

$$r = 0,86$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$v_{L4} = 4,72$ m/s	entsprechend t 400 m = 84,7 s
$v_{L6} = 5,54$ m/s	entsprechend t 400 m = 72,2 s
$v_{L10} = 6,58$ m/s	entsprechend t 400 m = 60,8 s
$v_{L14} = 7,26$ m/s	entsprechend t 400 m = 55,1 s
$v_{L18} = 7,77$ m/s	entsprechend t 400 m = 51,5 s

Belastungsintensität I_2 (n = 10)

$$L = 0,345 e^{0,510 v}$$

$$r = 0,92$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Als daraus abgeleitete allgemeine Werte erhält man

$v_{L4} = 4,81$ m/s	entsprechend t 400 m = 83,2 s
$v_{L6} = 5,61$ m/s	entsprechend t 400 m = 71,3 s
$v_{L10} = 6,61$ m/s	entsprechend t 400 m = 60,5 s
$v_{L14} = 7,27$ m/s	entsprechend t 400 m = 55,0 s
$v_{L18} = 7,76$ m/s	entsprechend t 400 m = 51,5 s

Am individuellen Beispiel des Sportlers 002 kann ebenfalls ein Abflachen der Lactat-Geschwindigkeitsfunktion aus dem 4x400m-Feldtest festgestellt

werden. Diese Abflachung ist mit einer relativen Verschlechterung der aeroben Leistungsvoraussetzungen verbunden (Abb. 28).

Die einzelnen Funktionsverläufe werden mit folgender Gleichung beschrieben:

- Intensitätsbereich I_3 (12/89)

$$L = 0,282 e^{0,493 v}$$

$$r^2 = 0,98$$

- Intensitätsbereich I_2 (1/90)

$$L = 0,614 e^{0,383 v}$$

$$r^2 = 0,99$$

Als Wettkampfleistung (17.2.90) wurde $t_{400\text{ m}} = 47,23\text{ s}$ mit einer Blutlactatkonzentration von $17,2\text{ mmol/l}$ erreicht. Diese Leistung ordnet sich in die im Intensitätsbereich I_2 erzielte Funktion ein, wobei die relativ schlechte Leistung einerseits auf die Verminderung der Größe v_{L4} und andererseits auf eine ungenügende Inanspruchnahme der glykolytischen Energiebereitstellung zurückgeführt werden kann.

Der aus dem 4x400m-Stufentest am Ende des Trainingsabschnittes I_2 ermittelte v_{L18} -Wert kann für die zu erwartende 400m-Wettkampfleistung durchaus einen direkten Bezug haben.

In der Tabelle 21 werden der v_{L18} -Wert, die daraus ermittelte 400m-Zeit ($t_{400\text{ m}}$) und die realisierte Wettkampfzeit aufgeführt.

Tabelle 21

Darstellung der Größe v_{L18} (m/s), der daraus ermittelten 400m-Zeit ($t_{400\text{ m}}$ in s) sowie der realisierten Wettkampfzeit (WZ in s) in der Halle an 400m-Spitzenathleten ($n = 9$)

Sportler	v_{L18}	$t_{400\text{ m}}$	WZ
002	8,60	46,5	46,70
003	8,70	46,0	46,14
004	8,51	47,0	46,18
005	8,35	47,9	47,55
022	7,94	50,4	48,30
023	8,66	46,2	48,20
038	8,20	48,8	48,52
056	8,20	48,8	47,50
128	8,30	48,2	47,08

Aus diesen Ergebnissen kann folgender Zusammenhang beschrieben werden:

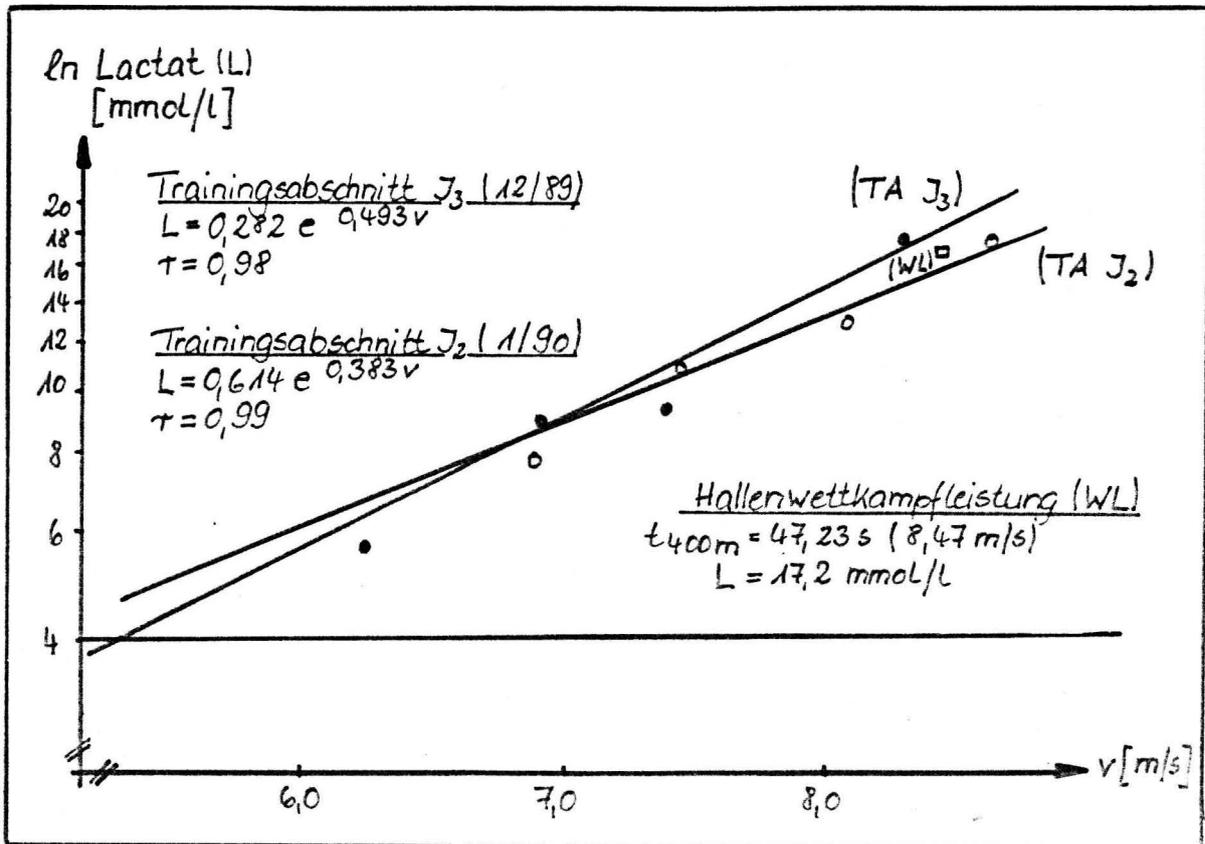


Abb. 28 Vergleich des 4x400m-Feldtests in den Intensitätsbereichen J_3 (•) und J_2 (◦) des Sportlers CO2 mit eingeordneter Wettkampfleistung (WL \square) am 17.2. 1990

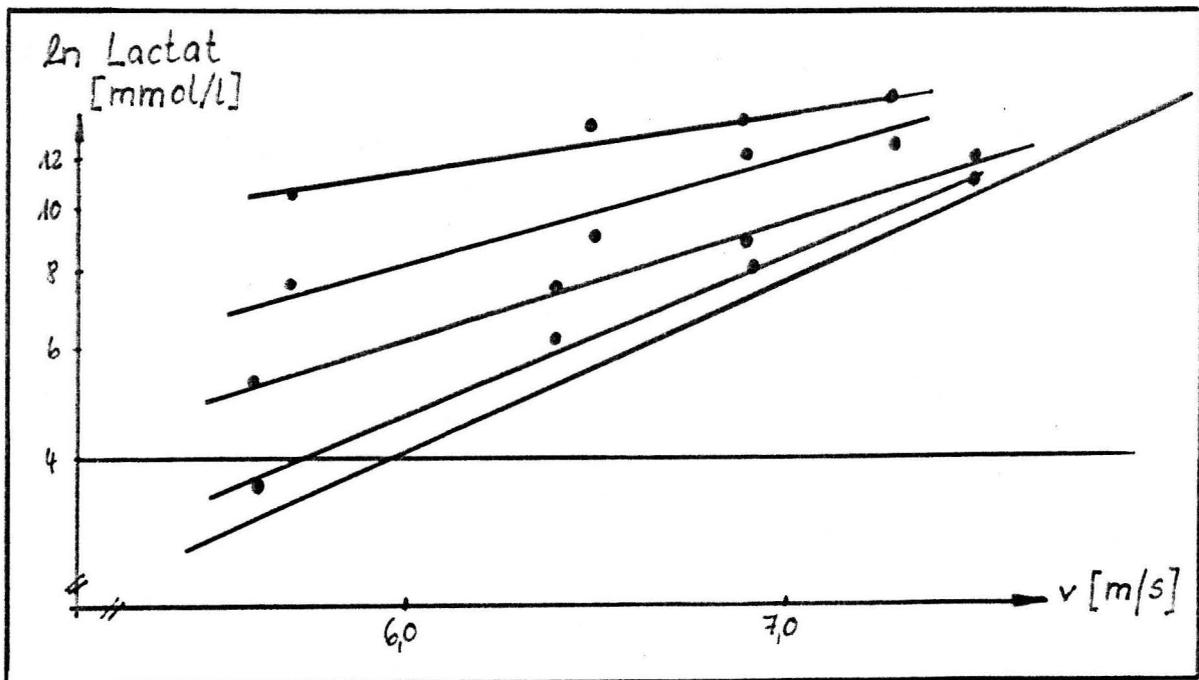


Abb. 29 Darstellung von Lactat (L) - Geschwindigkeitsfunktion (1-4) des Athleten OS1 aus dem 4x60 Sekunden - Stufentest im Mehrjahresverlauf 1982/83 und 1983/84. Die Funktion (5) stellt die „Sollfunktion“ dar, die eine theoretische Lactat - Geschwindigkeitsbeziehung mit optimaler Inanspruchnahme des glykolytischen Energiestoffwechsels ist.

$$WZ = 65,12 - 2,12 v_{L18}$$

$$r = 0,60$$

$$\alpha = 5\%$$

Aus der Tabelle 21 ist weiterhin zu entnehmen, daß der Sportler 023 den ausgewiesenen hohen v_{L18} -Wert nicht realisieren konnte. Der Grund ist in fehlenden Voraussetzungen in der glykolytischen Energiebereitstellung zu suchen.

Dieser v_{L18} -Wert konnte nur durch Extrapolation der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung ermittelt werden.

Diese Ergebnisse aus dem 4x400m-Feldtest lassen im allgemeinen eine prognostisch bessere Beurteilung zu, einerseits durch eine Leistungsverbesserung im oberen Geschwindigkeitsbereich (männlich) und andererseits durch eine leichte Verbesserung der v_{L4} -Werte bedingt.

Diese angedeuteten Merkmale sind bereits Auswirkungen aus den allgemeinen trainingsmethodischen Empfehlungen aus den Ergebnissen des 4x60-Sekunden-Stufentests. Der zu einem späteren Zeitpunkt erst eingesetzte 4x400m-Feldtest bestätigt aus diesem Grunde nicht unmittelbar die Ergebnisse aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest. Das bedeutet, daß mit dem sportartspezifischen Feldtest die trainingsmethodischen und bioenergetischen Schlußfolgerungen für den 400m-Lauf besser objektivierbar sind. Außerdem können infolge einer sinnvollen Extrapolation der LGB durchaus Hinweise zur Wettkampfleistungsfähigkeit erhalten werden.

Der 4x400m-Feldtest sollte für alle Trainingsabschnitte und Intensitätsbereiche sowohl als Trainingsmittel als auch als leistungsdiagnostische Untersuchungsmöglichkeit angewendet werden, um die trainingsmethodische Wirksamkeit angewandter Trainingsmittel bzw. Adaptationsprozesse oder Leistungsfortschritte im Training des 400m-Langsprints nachweisen zu können.

Erfreulicherweise konnten mit diesen Testergebnissen die allgemeinen Auffassungen zur Leistungsentwicklung eines 400m-Athleten (Verbesserung der Leistungsfähigkeit des glykolytischen Energiestoffwechsel sowie weitere Stabilisierung und Entwicklung der aeroben Leistungsvoraussetzungen) angedeutet bestätigt werden (Vergleich der v_{L4} - und v_{L18} -Werte von Trainingsabschnitt I_3 zu I_2).

Der 4x60-Sekunden-Stufentest wird als allgemeiner reproduzierbarer leistungsdiagnostischer Test zur Beurteilung der glykolytischen Energiebereitstellung bzw. seiner Inanspruchnahme während definierter Belastungen sowie zum Nachweis von Adaptationsprozessen im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer in Anspruch genommen.

So wurde dieser Test in den Sportarten Fußball und Ringen eingesetzt, um den trainingsmethodischen Erfolg des speziellen Trainings auszuweisen.

In Tabelle 22 wird am Beispiel der Sportart Fußball der Adaptationsprozeß des Trainings in der speziellen Ausdauer in einem Zeitraum von 14 Tagen nachgewiesen.

Tabelle 22

Darstellung des Vergleichs der Größen v_{L4} (m/s) und Konstante b (s/m) der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest in der Sportart Fußball (n = 10)

Sportler	28. 1. 1983		15. 2. 1983	
	v_{L4}	b	v_{L4}	b
101	5,04	0,50	5,71	0,61
102	5,94	0,74	6,69	1,10
103	6,25	0,76	6,47	0,81
104	5,87	0,61	6,58	1,20
105	6,11	0,77	6,64	1,08
107	5,79	0,72	6,18	0,79
109	5,67	0,78	5,90	0,84
112	5,71	0,75	5,37	0,64
113	5,48	0,57	5,62	0,62
114	5,51	0,78	5,93	0,93
\bar{x} =	5,74	0,70	6,11	0,86
$s = \pm$	0,35	0,10	0,47	0,21

Die Mittelwerte \bar{x} von den Größen v_{L4} und b sind von Test zu Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ voneinander verschieden.

Mit diesem Vorgehen kann offenbar eine Beurteilung des Adaptationsprozesses vorgenommen werden.

In ähnlicher Weise wurde in der Sportart Ringen vorgegangen. Diese Testergebnisse sind im Anhang in der Tabelle A 5/2 aufgeführt.

Auch in diesem trainingsmethodischen Abschnitt der speziellen Ausdauer konnte vom Ausgangstest zum Endtest der Adaptationsprozeß nachgewiesen werden. Die Mittelwerte \bar{x} der Größen v_{L4} und b sind von Test zu Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ verschieden.

Diese Art der diagnostischen Ausweisung von Adaptationsprozessen wurde auch an individuellen Beispielen festgestellt.

In Abb. 29 sind vom Sportler 051 die Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest im Verlauf von zwei Jahren aufgeführt. Es kommt deutlich zum Ausdruck, daß sowohl Adaptationsprozesse und Leistungsfortschritte beurteilt werden können als auch die Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung sich einer sogenannten "Sollfunktion" zubewegen.

Diese "Sollfunktion" ergibt sich aus folgenden Überlegungen:

- Meßwert 1

Aus der Funktion

$$L = 1273,8 e^{-0,088 v} \quad (1)$$

(Abschnitt 4.4.) erhält man für

$$t = 400 \text{ m} = 45 \text{ s} \quad (v = 8,89 \text{ m/s}) \text{ einen}$$

Lactatwert von 24,3 mmol/l

- Meßwert 2

Als fiktive Ausgangswerte werden für $t = 0$ der Lactatwert von 1 mmol/l festgelegt (im wesentlichen als Vorbelastungswert deklariert)

Diese beiden Meßwerte ergeben den Ansatz für den linearen Zusammenhang der Lactat-Zeit(Belastungszeit)-Funktion bei konstanter Geschwindigkeit (intensitätsabhängige Lactatbildung nach Belastung), wie sie in Abschnitt 3.8.2. (Gleichung 4) dargestellt worden ist.

Man erhält nun entsprechend der allgemeinen linearen Gleichung

$$- y = n + m x \quad (2)$$

y = Lactat

x = Belastungszeit

m = Anstieg der Funktion

n = Schnittpunkt auf der Abszisse
(Annahme: $L = 1 \text{ mmol/l}$)

folgende Formen ($v = \text{konstant}$):

$$- L = 1,0 + 0,518 t \quad (v = 8,89 \text{ m/s}) \quad (3)$$

($t = 45 \text{ s}$ und $L = 24,3 \text{ mmol/l}$ aus Gleichung 1) und

$$- L = 1,0 + 0,292 t \quad (v = 8,00 \text{ m/s}) \quad (4)$$

($t = 50 \text{ s}$ und $L = 15,6 \text{ mmol/l}$ aus Gleichung 1)

Dadurch, daß von den 60 Sekunden Belastungszeit des 4x60-Sekunden-Stufentests nur 45 Sekunden zur Berechnung herangezogen werden, wird nach Gleichung (4) der Lactatwert für 45 s Belastungszeit berechnet und man erhält

$$L = 14,1 \text{ mmol/l} \quad (v = 8,00 \text{ m/s}).$$

Mit diesen beiden Wertepaaren für 45 s Belastungszeit

- 8,89 m/s zu 24,3 mmol/l und

- 8,00 m/s zu 14,1 mmol/l

läßt sich der alineare Zusammenhang in der Form

$$L = 0,106 e^{0,612 v} \quad (5).$$

beschreiben und bekommt mit dieser Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung die sogenannte "Sollfunktion". Daraus leiten sich ebenfalls allgemeine (trainingsmethodisch-relevante) Werte ab:

v_{L4}	= 5,94 m/s	entsprechend t 400 m = 67,3 s
v_{L6}	= 6,60 m/s	entsprechend t 400 m = 60,6 s
v_{L10}	= 7,44 m/s	entsprechend t 400 m = 53,8 s
v_{L14}	= 7,99 m/s	entsprechend t 400 m = 50,1 s
v_{L18}	= 8,40 m/s	entsprechend t 400 m = 47,6 s

Erfolgreiche 400m-Athleten nähern sich mit ihren individuellen Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen aus dem 4x60m-Test dieser "Sollfunktion". Stärkere Abweichungen (wie am Beispiel des Athleten 051 dargestellt) weisen auf fehlende aerobe und/oder anaerobe Energieliefervoraussetzungen hin.

Im wesentlichen können die Werte des oberen Leistungsbereiches (v_{L14} , v_{L18}) mit den Ergebnissen aus dem 4x400m-Feldtest verglichen werden. Im unteren Teil der Funktion könnte jedoch auf noch wesentlich höhere aerobe Leistungsvoraussetzungen geschlossen werden, die es zu erreichen gilt. Außerdem ist aufgrund des relativ hohen Anstiegs der Funktion eine hohe Inanspruchnahme des glykolytischen Energiestoffwechsel zu erwarten, wenn eine anspruchsvolle 400m-Wettkampfzeit erreicht werden soll.

Am Beispiel des Athleten 051 (Nachwuchsleistungsspitze) wurde eine Leistungsverbesserung in dem Untersuchungszeitraum von 47,91 s auf 47,05 s erreicht.

4.4.3. Ergebnisse aus Untersuchungen zur Creatinkinase-Aktivität im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer

Der Einsatz des biochemischen Parameters Creatinkinase in der sportmedizinischen Diagnostik wurde im allgemeinen zur Objektivierung von Belastungsreizwirkungen sowie von Adaptations- und Wiederherstellungsprozessen in den Trainingsabschnitten der speziellen Ausdauer realisiert.

In der Tabelle 23 sind die Ergebnisse (Gesamtlaufzeit, Lactat nach Belastung, CK vor und nach Belastung) aus zwei Untersuchungen mit dem Trainingsmittel 15x60m-Lichtschrankenlauf (3 Serien 5x60m mit je 1 Minute Pause und 3 Minuten Serienpause) im Abstand von 3 Wochen

- zu Beginn (Test 1) und

- am Ende eines speziellen Ausdauertrainings (Test 2)

in der Sportart Fußball dargestellt.

Tabelle 23

Nachweis von Adaptationsprozessen im speziellen Training unter Einbeziehung des biochemischen Parameters Creatinkinase (die CK wurde als Vorbelastungswert und 8 Stunden nach der Belastung bestimmt).

Test 1

Sportler	Gesamtlaufzeit (s)	Lactat (mmol/l)	Creatinkinase (Vorbelastungswert) ($\mu\text{mol/l}\cdot\text{s}$)	Creatinkinase (8 Stunden) ($\mu\text{mol/l}\cdot\text{s}$)
266	118,0	9,9	4,96	7,63
267	119,4	11,0	1,00	4,63
268	120,5	12,9	4,33	6,48
269	120,2	9,7	0,98	1,75
270	119,5	11,6	4,70	8,54
271	116,3	13,5	1,05	1,97
272	120,0	12,2	1,20	3,15

Test 2

Sportler	Gesamtlaufzeit (s)	Lactat (mmol/l)	Creatinkinase (Vorbelastungswert) ($\mu\text{mol/l}\cdot\text{s}$)	Creatinkinase (8 Stunden) ($\mu\text{mol/l}\cdot\text{s}$)
266	115,6	9,3	2,03	1,97
267	119,1	9,0	1,47	1,47
268	120,9	15,3	2,73	3,15
269	115,9	9,6	1,05	0,98
270	117,4	11,6	4,83	4,90
271	115,2	12,1	1,33	2,66
272	117,3	17,1	0,98	1,27

Die Mittelwerte und Standardabweichungen beider Tests im Vergleich:

Test	Gesamtlaufzeit (s)	Lactat (mmol/l)	Creatinkinase (Vorbelastungswert) ($\mu\text{mol/l}\cdot\text{s}$)	Creatinkinase (8 Stunden) ($\mu\text{mol/l}\cdot\text{s}$)
(1) \bar{x}	119,1	11,5	2,60	4,88
s \pm	1,5	\pm 1,4	\pm 1,93	\pm 2,73
(2) \bar{x}	117,3	12,0	2,06	2,33
s \pm	2,1	\pm 3,1	\pm 1,37	\pm 1,37

Diese Ergebnisse zeigen, daß mit einer Verbesserung der Laufzeit (7,94 s zu 7,82 s für 60 m) auch eine Creatinkinase-Aktivitätsverminderung im 2. Test, signifikant mit $\alpha = 5\%$, verbunden ist (Signifikanz der Creatinkinase-Differenzen ist mit $\alpha = 1\%$ noch stärker ausgeprägt).

4.4.4. Ergebnisse aus Untersuchungen zur intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeit

In Ergänzung von zeitbezogenen Laufbandstufentests zur Beurteilung von glykolytischen Energiestoffwechselforaussetzungen wurden mit einem Laufstreckenstufentest Informationen zur intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeit erhalten, die besonders für die Intensitätsgestaltung im speziellen Training aber auch für die unmittelbare Wettkampfvorbereitung benötigt werden. Diese intensitätsabhängige Lactatbildungsgeschwindigkeit kann als ein Ausdruck der Leistung des glykolytischen Weges der Energiebereitstellung angesehen werden.

In Abb. 30 a und b sind die Meßergebnisse aus einem Laufstreckenstufentest auf dem Laufband an 4 Nachwuchssportlern (Langsprinter), die diesen Test mit vier unterschiedlichen Geschwindigkeiten absolviert haben, aufgeführt. Es wurden sowohl die Lactat-Weg(Belastungsstrecke)-Funktion (Abb. 30 a) als auch die Lactat-Zeit(Belastungszeit)-Funktionen (Abb. 30 b) dargestellt.

Es konnte ein linearer Zusammenhang ermittelt werden. Die Funktionen können wie folgt beschrieben werden:

Lactat-Weg-Funktionen

- Geschwindigkeit $v = 6,0$ m/s

$$L = 0,490 + 0,015 s$$

$$r = 0,99$$

- Geschwindigkeit $v = 6,5$ m/s

$$L = 0,091 + 0,020 s$$

$$r = 0,99$$

- Geschwindigkeit $v = 7,0$ m/s

$$L = -0,154 + 0,026 s$$

$$r = 0,99$$

- Geschwindigkeit $v = 7,5$ m/s

$$L = -0,290 + 0,031 s$$

$$r = 0,99$$

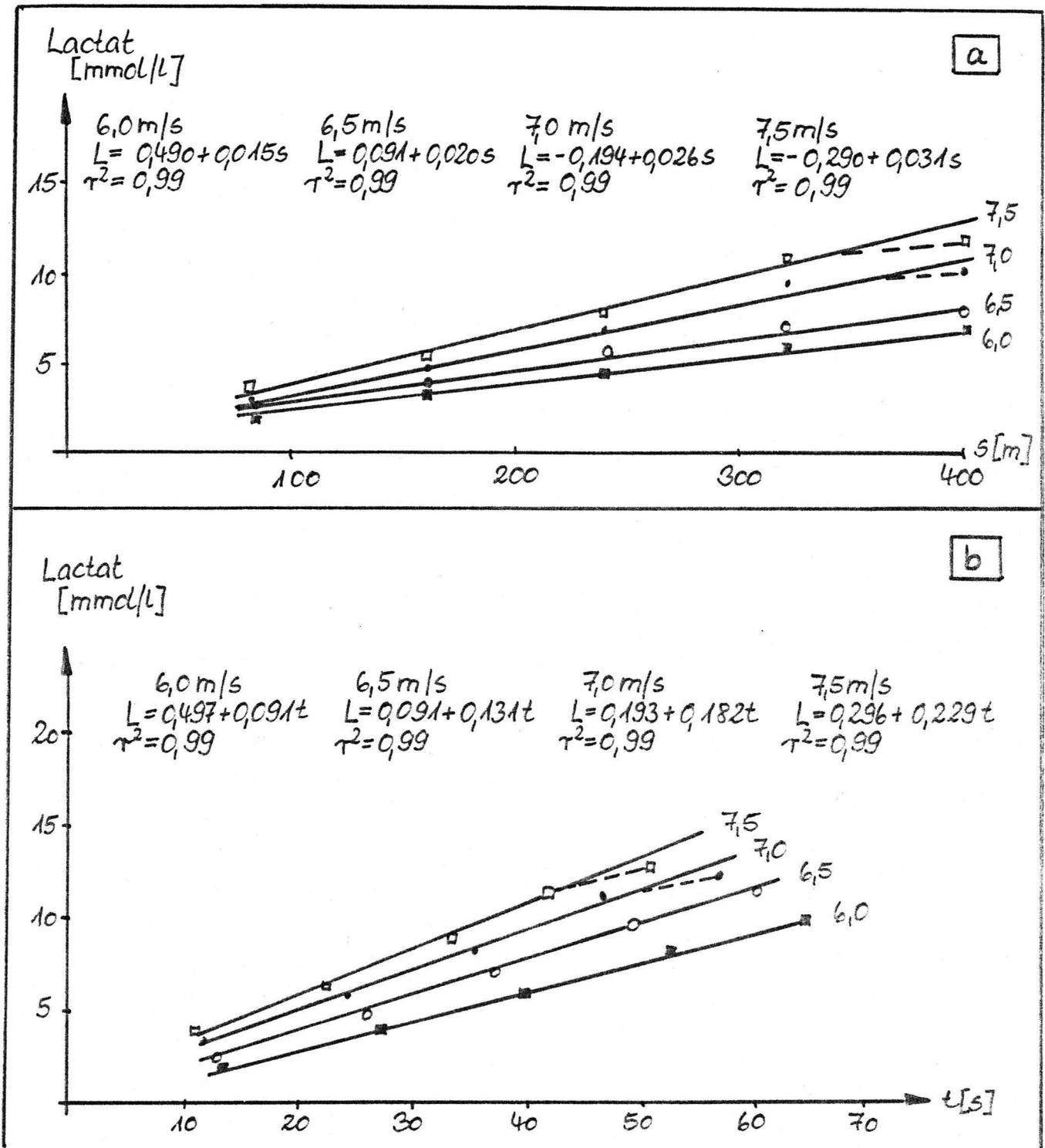


Abb. 30 Darstellung der Lactat (L) - Weg (Streckenlänge) - Funktion (a) und der Lactat - Zeit (Belastungszeit) - Funktion (b) von vier Laufgeschwindigkeiten aus dem Laufstreckenstufentest an vier Sportlern des Anschlussstrainings in der Leichtathletik

Lactat-Zeit-Funktionen

- Geschwindigkeit $v = 6,0$ m/s

$$L = 0,497 + 0,091 t$$

$$r = 0,99$$

- Geschwindigkeit $v = 6,5$ m/s

$$L = 0,091 + 0,131 t$$

$$r = 0,99$$

- Geschwindigkeit $v = 7,0$ m/s

$$L = -0,193 + 0,182 t$$

$$r = 0,99$$

- Geschwindigkeit $v = 7,5$ m/s

$$L = -0,296 + 0,229 t$$

$$r = 0,99$$

Die dazu ermittelten Meßergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 7/1 bis A 7/3 aufgeführt.

Aus diesen Darstellungen ist zu erkennen, daß im oberen Geschwindigkeitsbereich ein "Abknicken" der linearen Funktionen auftreten kann. Der theoretische Ansatz einer linearen Lactat-Weg- bzw. Lactat-Zeit-Funktion ist bis zum submaximalen Bereich (Gleichgewicht von Lactatbildung und -elimination in der Muskelzelle) durchaus gerechtfertigt.

Wie bereits im Abschnitt 3.9.2. dargestellt wurde, kann über den Anstieg der Lactat-Zeit-Funktion ein Maß zur intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeit erhalten werden.

Diese intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeiten (Mittelwert \bar{x} und Standardabweichung s) betragen an der relativ kleinen Gruppe von Sportlern ($n = 4$) bei

- 6,0 m/s	= 0,095	± 0,017	mmol/l·s
- 6,5 m/s	= 0,132	± 0,013	mmol/l·s
- 7,0 m/s	= 0,182	± 0,008	mmol/l·s
- 7,5 m/s	= 0,244	± 0,023	mmol/l·s

Die Beziehung zwischen der Lactatbildungsgeschwindigkeit (LBG) und der Geschwindigkeit (v) kann mit folgender alinearen Funktion beschrieben werden:

$$LBG = 0,002 e^{0,630 v}$$

$$r = 0,999$$

$$\alpha = 1\%$$

LBG = Lactatbildungsgeschwindigkeit (B) in mmol/l·s

v = Laufgeschwindigkeit in m/s

Dieser Zusammenhang ist in Abb. 31 dargestellt und erlaubt einen Einblick zum Verhalten der Lactatbildungsgeschwindigkeit für eine anzustrebende Wettkampfleistung.

Ein wesentlicher Schwerpunkt dieser Untersuchungen bildet die Darstellung zum individuellen Verhalten der Lactatbildungsgeschwindigkeit.

So hat der Sportler 016 vom Trainingsabschnitt I_3 zu Trainingsabschnitt I_2 eine leichte Rechtsverschiebung der Lactat-Zeit-Funktion bei einer konkret vorgegebenen Geschwindigkeit ($v = 7,3 \text{ m/s}$) erreicht.

Zum Vergleich sind die Funktionen aufgeführt

- Test 1 (Trainingsabschnitt I_3)

$$L = -0,281 + 0,234 t$$

$$r = 0,99$$

- Test 2 (Trainingsabschnitt I_2)

$$L = -0,901 + 0,212 t$$

$$r = 0,99$$

Der Funktionsverlauf ist im Anhang in der Abb. A 3 bzw. in der Tabelle A 17/1 zu entnehmen.

Diese Rechtsverschiebung der Lactat-Zeit-Funktion kann als eine Leistungsverbesserung im Sinne einer Ökonomisierung seiner energetischen Voraussetzungen im Training der speziellen Ausdauer gewertet werden.

Aufgrund der bei mehreren Geschwindigkeiten durchgeführten Untersuchungen, konnten vom Sportler 016 auch der Verlauf der intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeit in den beiden Trainingsabschnitten I_3 und I_2 ermittelt werden. Die Funktionen sind wie folgt gekennzeichnet

- Test 1 (Trainingsabschnitt I_3)

$$\text{LBG} = 0,006 e^{0,503 v}$$

$$r = 0,98$$

- Test 2 (Trainingsabschnitt I_2)

$$\text{LBG} = 0,003 e^{0,569 v}$$

$$r = 0,99$$

Diese Funktionen sind im Anhang in Abb. A 4 dargestellt, die Zahlenwerte sind im Anhang in der Tabelle A 17/2 zu entnehmen.

Man erkennt aus dem Verlauf der Funktionen ebenfalls eine leichte Rechtsverschiebung von Test 1 zu Test 2, wodurch die glykolytische Energiebereitstellung im Sinne der Leistung des Systems (Mobilisation) ökonomischer abläuft.

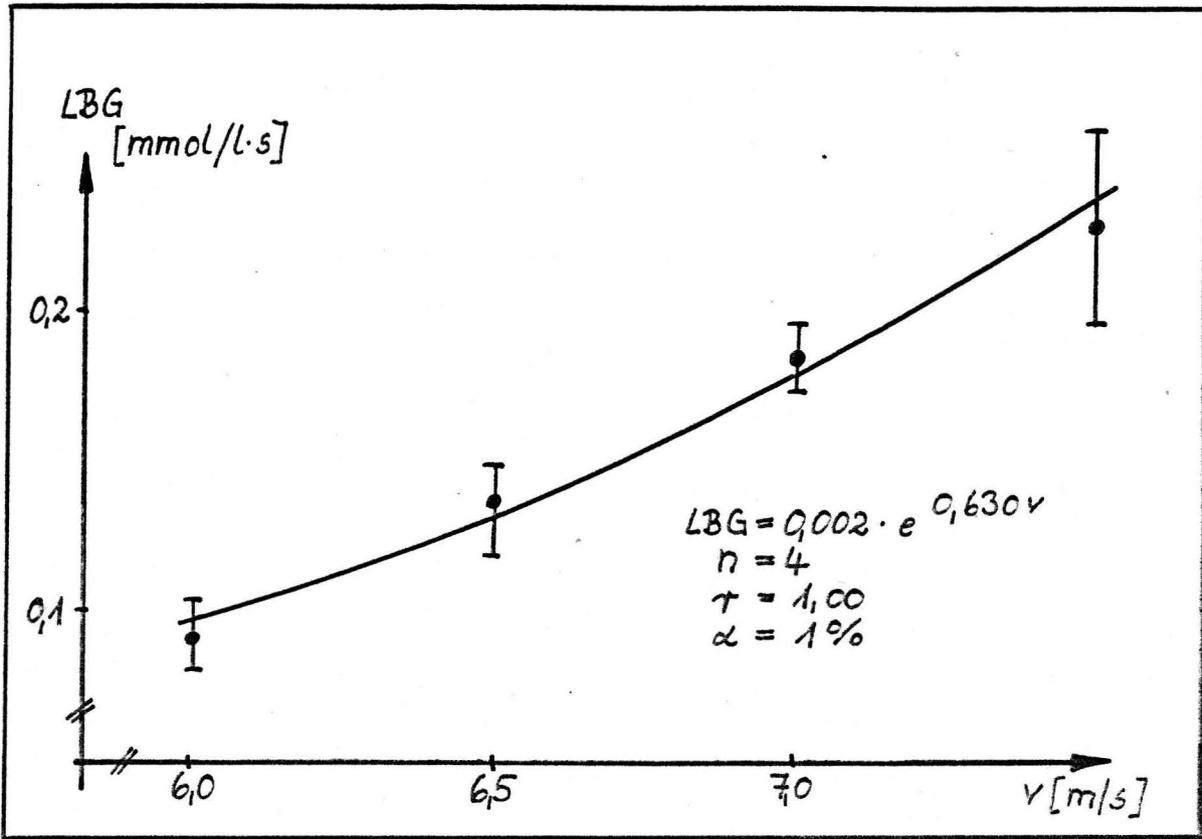


Abb. 31 Darstellung des exponentiellen Zusammenhangs der Lactatbildungsgeschwindigkeit (LBG) von der Laufgeschwindigkeit an 4 Nachwuchssportlern (ANT)

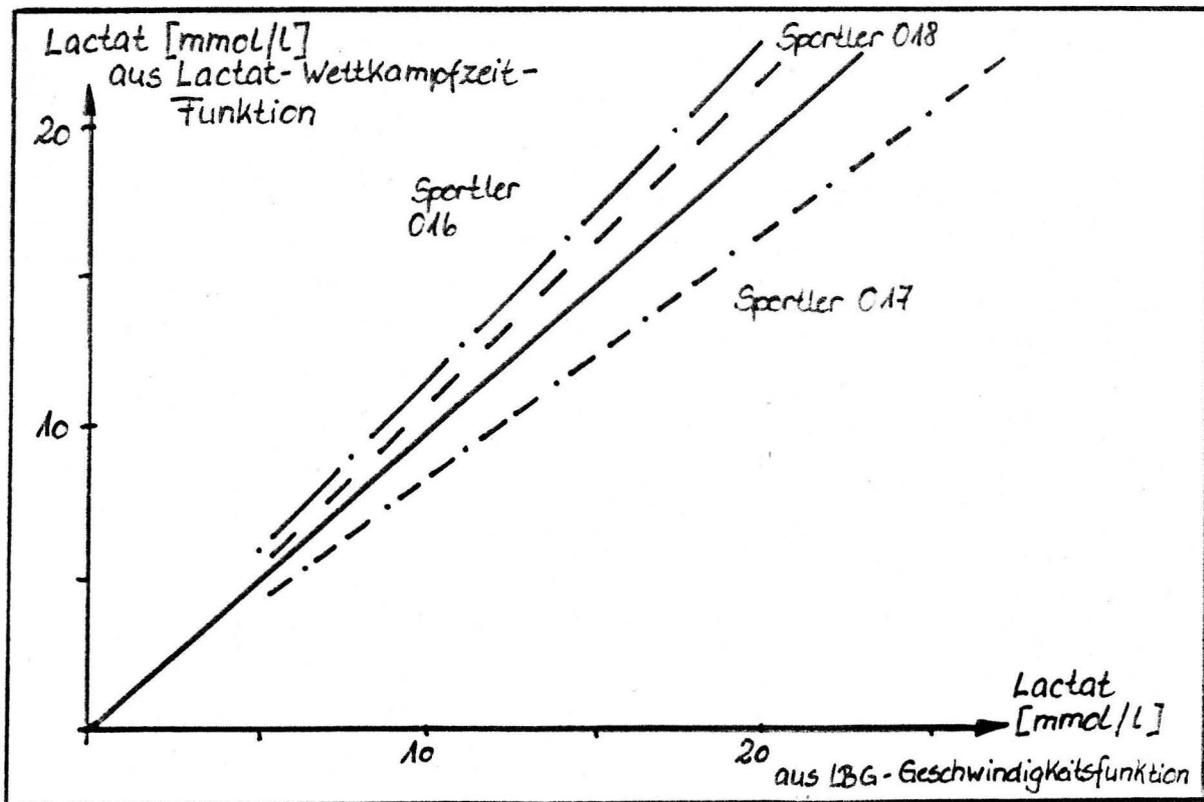


Abb. 32 Darstellung einer Beurteilungsmöglichkeit zur Inanspruchnahme des anaeroben Energiestoffwechsels im 400m-Lauf von drei 400m-Athleten

Am Beispiel des Sportlers 016 heißt das,

- im Trainingsabschnitt I_3
wurde für eine 400m-Leistung von $t_{400\text{ m}} = 54,8\text{ s}$ ($7,30\text{ m/s}$)
ein Lactatwert von $12,5\text{ mmol}$ erhalten, während
- im Trainingsabschnitt I_2
für die gleiche Leistung ein Lactatwert von $10,7\text{ mmol/l}$ erhalten wird.

Darüber hinaus lassen sich für die anzustrebenden Zielzeiten im 400m-Wettkampf die zu erwartenden Lactatkonzentrationen ermitteln, wodurch das Leistungsvermögen des Athleten zur Inanspruchnahme des glykolytischen Energiestoffwechsels aufgrund des Vergleichs von Wettkampfuntersuchungen (Lactatmessungen) beurteilt bzw. eingeordnet werden kann.

Unter diesem Aspekt kann aus dem Zusammenhang zwischen Wettkampfzeit und Lactatkonzentration (Abb. 25) sowie aus den Untersuchungsergebnissen zur Lactatbildungsgeschwindigkeit eine weitere Einordnung des Leistungsvermögens der 400m-Athleten vorgenommen werden, wenn man die Lactatbildungen aus der Wettkampfzeit-Lactat-Funktion (als Ordinate) und aus der Lactatbildungsgeschwindigkeit-Geschwindigkeits-Funktion (als Abszisse) gegenüberstellt. Die Diagonale dieser Funktion (Abb. 32) gibt die anzustrebende Leistungsfähigkeit wieder. Das setzt voraus, daß der Verlauf der Funktion in Abb. 25 Anerkennung findet. Liegen die so ermittelten Werte in Abb. 32 links von der Diagonalen, so kann trainingsmethodisch über eine Erhöhung der Lactatbildungsgeschwindigkeit das Leistungsvermögen des Athleten verbessert werden.

Demgegenüber haben die Athleten, die mit ihren Werten rechts neben der Diagonalen liegen, eine zu hohe Lactatbildungsgeschwindigkeit, die auf eine zu schnelle Lactatakkumulation schließen läßt und mit einem starken Leistungsabfall während des 400m-Laufes (starker Geschwindigkeitsabfall auf der letzten Teilstrecke 300 bis 400 m) verbunden sein kann.

Das Training ist unter diesem Aspekt im Sinne der Erhöhung bzw. Stabilisierung der aeroben Leistungsfähigkeit und der Verbesserung der Ökonomisierung des anaeroben Energiestoffwechsels mit Trainingsmitteln der Schnelligkeits- und Schnelligkeitsausdauerentwicklung durchzuführen.

In Abb. 32 sind die Beispiele der Athleten 016, 017 und 018 dargestellt. Wie bereits aus den Untersuchungsergebnissen des Athleten 016 erwartet werden konnte, hat er durch diese Darstellung ebenfalls seine zielorientierte Leistungsentwicklung im Trainingsprozeß nachweisen können.

Aus leistungsdiagnostischer und aus trainingsmethodischer Sicht darf auf eine

Überprüfung der Lactatbildungsgeschwindigkeit zum Objektivieren lactacider Energielieferprozesse im Training der speziellen Ausdauer nicht verzichtet werden. Somit erhält der Laufstreckenstufentest als Feldtest eine weitere Einsatzmöglichkeit, wobei das Einhalten der Geschwindigkeitsvorgaben einen hohen Stellenwert auf die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bekommt.

Am Beispiel der 400m-Spitzenathletin (03) wurden in den Trainingsabschnitten I_3 , I_2 und I_1 (April/Mai 1987) sowohl die Lactat-Weg(Laufstrecke)- als auch die Lactat-Zeit(Belastungszeit)-Funktionen bei konstanter Geschwindigkeit ermittelt:

Lactat-Weg-Funktion

- Belastungsintensität I_3 (v = 7,12 m/s)

$$L = -5,417 + 0,057 s$$

$$r^2 = 0,99$$

- Belastungsintensität I_2 (v = 8,09 m/s)

$$L = -3,847 + 0,086 s$$

$$r^2 = 0,99$$

- Belastungsintensität I_1 (v = 8,64 m/s)

$$L = -2,665 + 0,090 s$$

$$r^2 = 0,97$$

Lactat-Zeit-Funktionen

- Belastungsintensität I_3 (v = 7,12 m/s)

$$L = -5,260 + 0,396 t$$

$$r^2 = 0,98$$

- Belastungsintensität I_2 (v = 8,09 m/s)

$$L = -3,036 + 0,505 t$$

$$r^2 = 0,98$$

- Belastungsintensität I_1 (v = 8,64 m/s)

$$L = -0,470 + 0,623 t$$

$$r^2 = 0,98$$

Diese Funktionen sind in Abb. 33 a und b aufgeführt. Man erkennt eine deutliche Linksverschiebung der Funktionen, wenn die Intensität der Belastung zunimmt.

Aus dem Anstieg der Lactat-Zeit-Funktion ist die Lactatbildungsgeschwindigkeit für diese einzelnen Intensitäten (Geschwindigkeiten) zu ermitteln.

Stehen diese Untersuchungen in einem engen zeitlichen Bezug zueinander, läßt

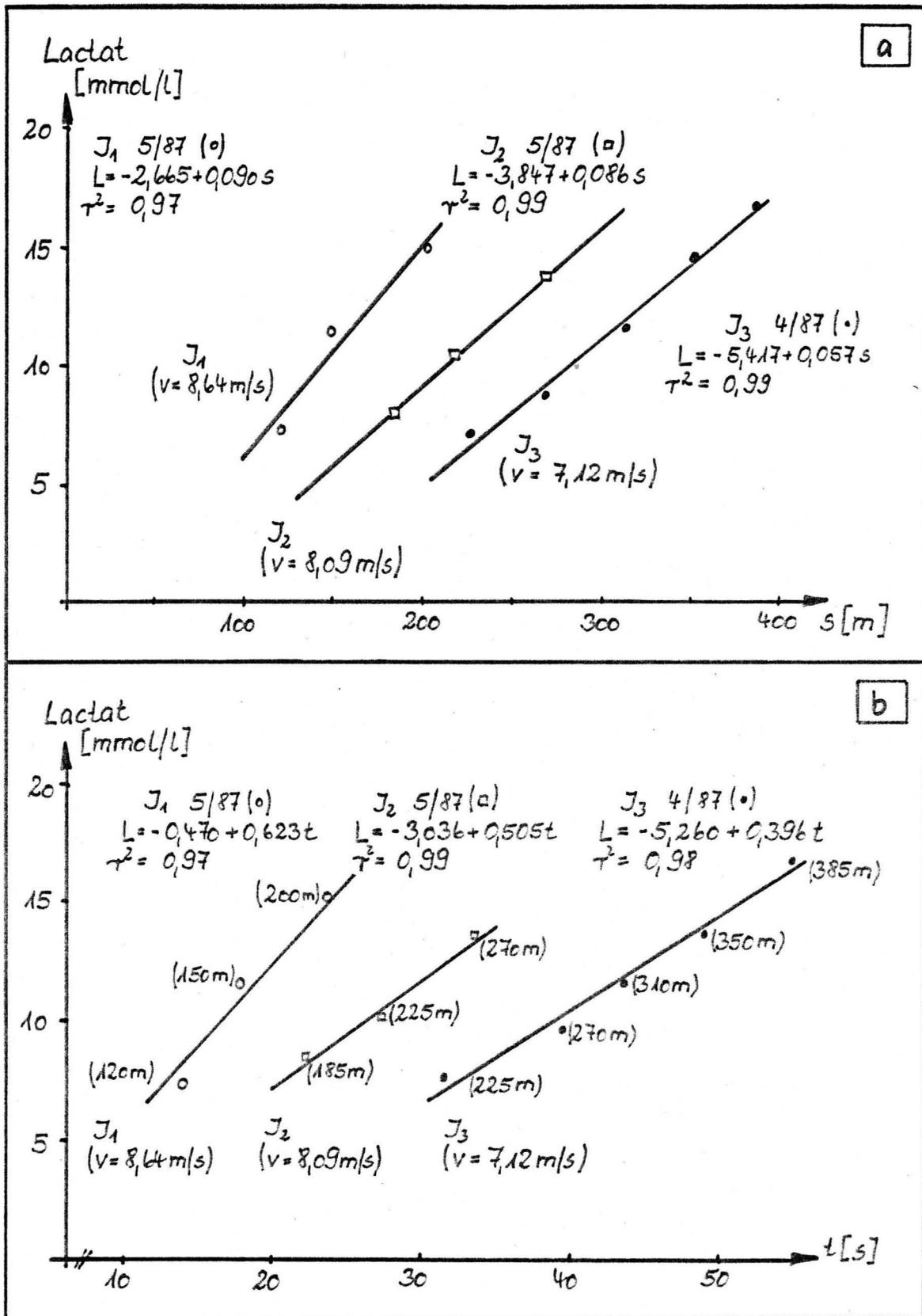


Abb.33 Die Lactat (L)-Weg- bzw. Lactat-Zeit-Funktionen aus dem Laufstreckenstufentest der 400m-Athleten 03 als Trainingsmittel-Überprüfung in einzelnen Trainingsintensitäten (J₃ bis J₁) innerhalb eines 14-tägigen Trainings

a) Lactat-Weg (Streckenlänge)-Funktion

b) Lactat-Zeit (Belastungszeit)-Funktion

sich aus dem Zusammenhang der Lactatbildungsgeschwindigkeit (Anstieg der Lactat-Zeit-Funktion) und der Laufgeschwindigkeit (Laufintensität während der Stufenbelastung) für eine 400m-Wettkampfprognose der zu erwartende Lactatwert ermitteln.

Am konkreten Beispiel könnte eine 400m-Leistung bei $v = 8,09 \text{ m/s}$ ($t_{400 \text{ m}} = 49,4 \text{ s}$) der Lactatwert von $25,0 \text{ mmol/l}$ erreicht werden und damit eine überaus hohe glykolytische Beanspruchung prognostiziert werden. Das bedeutet, daß diese Prognoseleistung möglicherweise nicht realisiert werden kann.

Tatsächlich wurde am 11. 06. 1987 ein Laufergebnis von $t_{400 \text{ m}} = 51,12 \text{ s}$ mit einem Lactatwert von $21,5 \text{ mmol/l}$ erzielt.

Am Beispiel der Sportlerin 03 läßt sich mit den Lactat-Weg-Funktionen ein Vergleich von Belastungsintensitäten (Trainingsintensitäten) demonstrieren, wobei vergleichbare Geschwindigkeitsvorgaben die entscheidende Voraussetzung darstellten.

Trainingsabschnitt I₃

Vergleich der Untersuchungen von April 1987 (Test 1) zu Juli 1987 (Test 2)

- Test 1

$$L = -5,417 + 0,057 s \quad (v = 7,12 \text{ m/s})$$

$$r^2 = 0,99$$

- Test 2

$$L = -3,054 + 0,057 s \quad (v = 7,22 \text{ m/s})$$

$$r^2 = 0,99$$

Es konnte mit einer relativ vergleichbaren Geschwindigkeit eine leichte Linksverschiebung der Funktion von Test 1 zu Test 2, die auf eine Verschlechterung der individuellen Leistungsfähigkeit hinweisen, gefunden werden.

Trainingsabschnitt I₂

Vergleich der Untersuchungen von Januar 1987 (Test 1) zu Mai 1987 (Test 2)

- Test 1

$$L = -9,107 + 0,116 s \quad (v = 8,08 \text{ m/s})$$

$$r^2 = 0,97$$

- Test 2

$$L = -3,847 + 0,086 s \quad (v = 8,09 \text{ m/s})$$

$$r^2 = 0,99$$

Eine starke Rechtsverschiebung der Funktion von Test 1 zu Test 2 weist auf eine wesentliche Verbesserung der Leistungsfähigkeit zur Inanspruchnahme glykolytischer

Energiestoffwechselwege hin.

Trainingsabschnitt I₁

Vergleich der Untersuchungen von Januar 1986 (Test 1) zu Mai 1987 (Test 2)

- Test 1

$$L = -0,605 + 0,073 s \quad (v = 8,65 \text{ m/s})$$

$$r^2 = 0,91$$

- Test 2

$$L = -2,665 + 0,090 s \quad (v = 8,64 \text{ m/s})$$

$$r^2 = 0,97$$

Dieses Ergebnis zeigt, daß sich das Leistungsniveau im Vergleich zum Test 1 kaum verändert hat.

Die einzelnen Lactat-Weg(Laufstrecke)-Funktion sind graphisch im Anhang in den Abb. A 5 bis A 7 dargestellt.

Diese Vergleiche ermöglichen für die einzelnen Trainingsabschnitte einen gezielteren Einsatz von Trainingsmitteln (TM), damit die einzelnen Energieliefermechanismen in den richtigen Relationen entwickelt werden können.

Für den Trainingsprozeß sind die Darstellungen entsprechend den Lactat-Weg-Funktionen besonders wertvoll, weil dadurch ein optimaler TM-Einsatz ermöglicht werden kann.

Werden aufgrund der konstanten Geschwindigkeiten aus den Laufstreckenbelastungen die Belastungszeiten ermittelt, so kann über die Lactat-Zeit-Funktion die Lactatbildungsgeschwindigkeit erhalten werden und dadurch die Aussagefähigkeit dieser Untersuchung erhöht werden.

Die Untersuchungsergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 18/1 bis A 18/3 aufgeführt.

4.4.5. Weitere Ergebnisse aus Trainingsmitteluntersuchungen

Zur Entwicklung der anaeroben Ausdauerleistung aus der Sicht der Inanspruchnahme glykolytischer Energiebereitstellung sind Trainingsmitteluntersuchungen in der speziellen Ausdauer unerlässlich. Einerseits sollen mit diesen Untersuchungen der Trainingszustand des Athleten, verbunden mit seinen bioenergetischen Leistungsvoraussetzungen, objektiviert werden und andererseits sind die Trainingsmittel in ihrer bioenergetischen Wirkung zu erfassen.

In der Tabelle 24 werden die Ergebnisse aus einem 6x400m-I₃-Test(standardisiertes TM zur Objektivierung der speziellen Leistungsfähigkeit im Trainingsab-

schnitt I_3) dargestellt, um die Auswirkungen von Serienbelastungen auf das Energiesystem anzudeuten.

Mit diesen Ergebnissen soll darauf hingewiesen werden, daß ein unkontrollierbares Vorgehen im Trainingsprozeß der speziellen Ausdauer für den Wiederherstellungsprozeß oder für das Setzen neuer Trainingsreize zu schweren trainingsmethodischen Fehlern führen kann.

Zum Erfassen energetischer Prozesse im Trainingsabschnitt (TA) der speziellen Ausdauer stellt der Parameter Lactat nach wie vor eine entscheidende Voraussetzung dar.

Tabelle 24

Darstellung der Ergebnisse aus einem $6 \times 400\text{m-}I_3$ -Test als Trainingsmittel im 400m-Langsprint (n = 13).

Es werden die Belastungsvorgabe (t 400 m in s), die durchschnittlich realisierte 400m-Zeit (t 400 m in s) sowie die Lactatkonzentration nach Belastung (mmol/l) und nach 20 Minuten Erholung angegeben.

Sportler	Vorgabe t 400 m	realisierte t 400 m	Lactat	Lactat (Erholung)
002	54,0	53,2	18,2	10,4
003	55,5	54,9	17,0	11,1
004	52,5	52,7	15,5	7,3
005	52,5	52,7	19,1	9,3
023	53,0	53,1	17,8	9,4
024	54,0	53,2	17,5	10,5
044	54,0	53,8	20,3	15,7
126	54,0	53,8	18,1	10,9
153	54,0	53,2	20,4	16,4
156	55,0	54,9	19,0	15,0
261	53,0	53,7	19,4	14,3
262	54,0	54,4	19,6	15,7
265	56,0	55,9	19,2	13,9

Aus diesen Ergebnissen in Tabelle 24 geht hervor, daß eine Vielzahl von Athleten mit einer höheren biologischen Antwortreaktion auf die Belastung nicht die geplanten Normen von 14 bis 18 mmol/l erreichten. Vor allem die Sportler 005, 044, 153, 156, 261, 262 und 265 haben neben ihren hohen lactaciden Belastungen auch in der Erholungsphase noch deutlich Lactatkonzentration im Blut.

Unter diesem Aspekt sind derartige Serienbelastungen in Frage zu stellen und alternativ ist dafür der sportartspezifische $4 \times 400\text{m}$ -Feldtest einzusetzen, der im wesentlichen nur über eine bis zwei intensive 400m-Belastungen verfügt.

Die Trainingsreize in der speziellen Ausdauer sind allgemein so zu setzen, daß die geforderten trainingsmethodischen Zielstellungen in dem angestrebten Inten-

sitätsbereich erreicht werden können, nicht aber überschritten werden dürfen.

Die Wirkung von Trainingsmittel auf das bioenergetische System werden am Beispiel der Sportlerin 03 im Intensitätsbereich I_2 demonstriert (Tabelle 25).

Tabelle 25

Darstellung einzelner TM-Untersuchungen der Sportlerin 03 im Intensitätsbereich I_2 .

Es werden die Pausen zwischen den einzelnen Belastungen (in Minuten), die durchschnittlich gelaufene Belastungszeit (s) mit der dazu gehörenden Geschwindigkeit v (m/s) sowie die Blutlactatkonzentration (mmol/l) nach Belastungsende aufgeführt.

Trainingsmittel	Pause	t	v	Lactat
2 x 100 m	10	12,83	7,76	6,5
2 x 100 m	8	12,63	7,92	6,8
2 x 120 m	11	15,08	7,96	10,4
2 x 150 m	12	18,77	7,99	11,4
2 x 200 m	12	26,27	7,61	12,3
1 x 400 m	-	56,5	7,08	14,8
2 x 500 m	20	76,6	6,53	15,6
2 x 400 m	20	56,5	7,08	16,8
3 x 400 m	20	56,4	7,09	19,8

An diesen Beispielen in Tabelle 25 sind die Trainingsmittel gut zu differenzieren, die die Leistung bzw. die Kapazität des anaerob-lactaciden Energiestoffwechsels ansprechen. Für die Trainingspraxis bedeutet das, daß bei gleicher Intensität die Streckenlänge der Einzelläufe sowie der Umfang an Wiederholungen eine entscheidende Rolle im Setzen von Trainingsreizen zur Entwicklung der speziellen Ausdauer einnehmen.

Unter diesem Aspekt sollte vor einer Trainingseinheit über die Anwendung von geplanten TM eine klare Konzeption bzw. biowissenschaftlich begründete trainingsmethodische Zielstellung ausgearbeitet werden.

Darüber hinaus sind mittlere und lange Intensitätsläufe aufgrund ihrer hohen lactaciden Belastung mit großer Vorsicht einzusetzen und sollten erst nach Anwendung kurzer Intensitätsläufe realisiert werden.

4.5. Ergebnisse aus Untersuchungen zur anaerob-alactaciden Energiebereitstellung

Die Untersuchungen zur anaerob-alactaciden Energiebereitstellung waren dadurch geprägt, die stark leistungsbeeinflussenden Faktoren zur bioenergetischen Sicherung der Schnelligkeitsfähigkeit zu objektivieren.

Eine Möglichkeit bestand in der Bestimmung des alactaciden Koeffizienten (ALQ).

Im Abschnitt 4.4.4. wurde am Beispiel des 400m-Nachwuchsathleten 016 eine leichte Verbesserung der Leistungsfähigkeit in bezug auf die Entwicklung der intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeit festgestellt. Die Abb. A 4 (Anhang) weist diesen Leistungsfortschritt graphisch aus, wobei eine relativ gleichbleibende Lactatbildungsgeschwindigkeit bei einer höheren Belastungsintensität (Geschwindigkeit v) erhalten werden konnte.

Das Beispiel des Sportlers 016 zeigt aber auch, daß keine Fortschritte in der Entwicklung des ALQ-Wertes erreicht worden sind. Die Ergebnisse von Test 1 (Oktober 1989) zu Test 2 (Januar 1990) weisen auf keine bioenergetischen Veränderungen hin (Abb. 34).

Betrachtet man die erhaltenen Meßergebnisse einheitlich, so kann jedoch gegenüber der bereits im Abschnitt 3.9.3. (Abb. 12) dargestellten Ergebnisse der kleinen Gruppe von 400m-Nachwuchsathleten eine bessere Leistungsfähigkeit des Sportlers 016 diagnostiziert werden. Im Vergleich zu der kleinen Gruppe wurde die Geschwindigkeit von $ALQ = 1$ bei 6,96 m/s ermittelt und liegt um 0,4 m/s wesentlich über den Wert der Gruppe.

Einerseits kann somit eine höhere Leistungsfähigkeit seiner alactaciden Energiebereitstellung gegenüber der Gruppe beurteilt werden, andererseits hat seine individuelle Entwicklung in dem Untersuchungszeitraum stagniert.

Die Berechnung der Geschwindigkeit v bei $ALQ = 1$ erfolgte entsprechend der Gleichung (10 Meßpunkte):

$$ALQ = -7,189 + 4,219 \ln v$$

$$r = 0,83$$

$$\alpha = 1\%$$

In Abb. 35 sind die individuellen ALQ-Werte der Sportler 017 und 019 in Abhängigkeit von der Belastungsintensität (Geschwindigkeit v) dargestellt. Sie sollen in Ergänzung der Untersuchungsergebnisse des Sportlers 016 das differenzierte Leistungsvermögen der Sportler in bezug auf die alactacide Energiebereitstellung hervorheben und damit auch die Brauchbarkeit dieser Untersuchungsmöglichkeit unterstreichen.

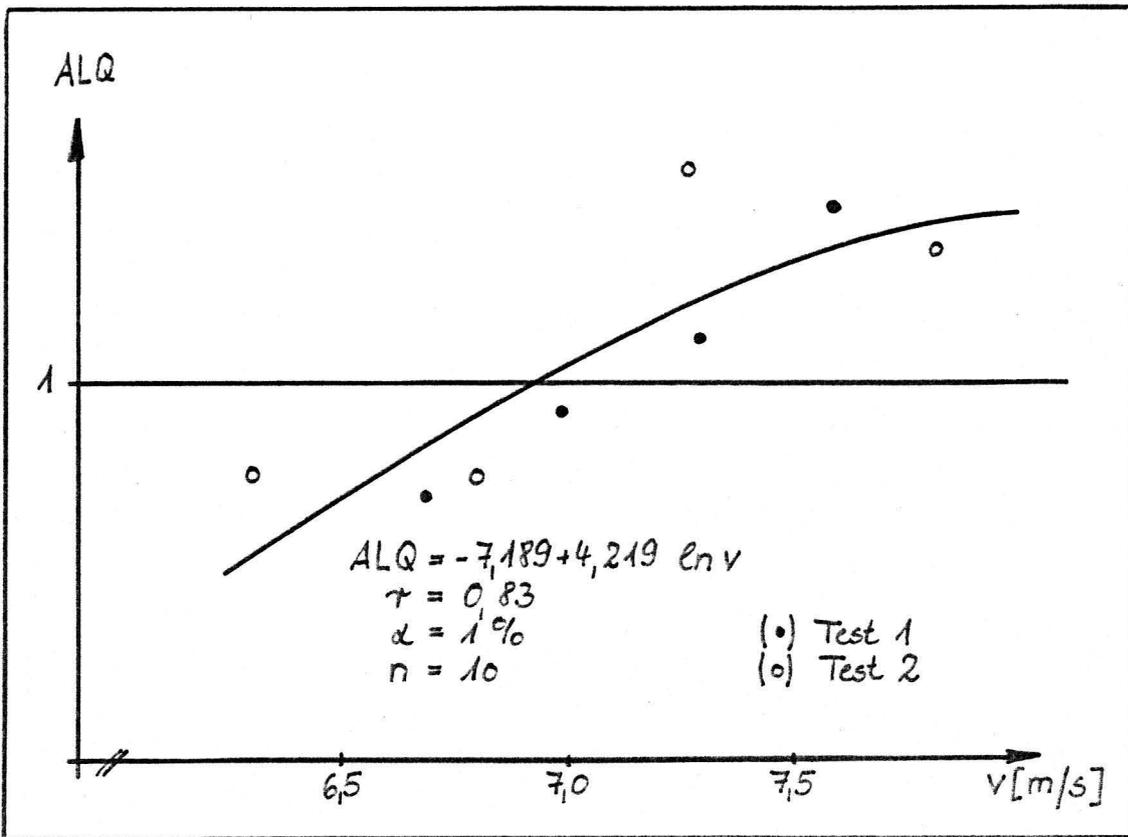


Abb. 34 Individueller Verlauf der Beziehung ALQ und Geschwindigkeit von Test 10/89 (1) zu Test 1/90 (2) eines 400m - Sprinters (016)

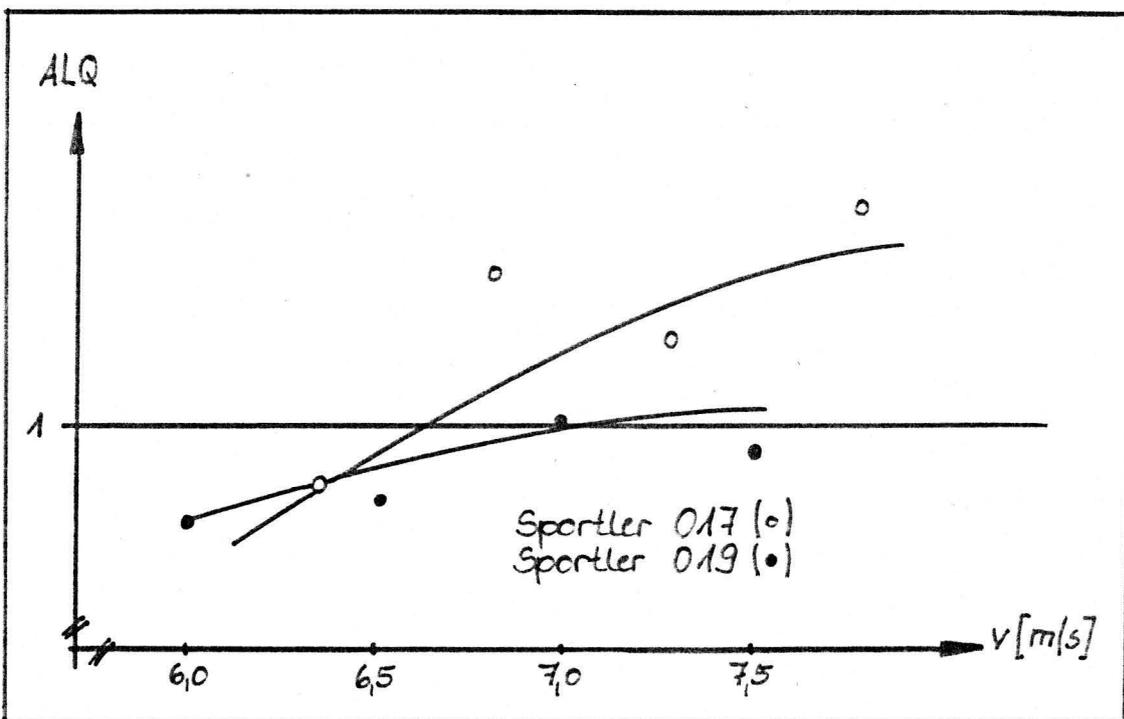


Abb. 35 Darstellung der intensitätsabhängigen ALQ-Werte der Sportler 017 und 019 in Abhängigkeit von der Belastungsintensität (Geschwindigkeit v)

Die einzelnen Meßergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 19/1 und A 19/2 dargestellt.

Eine Beurteilung der alactaciden Energiestoffwechselsituation kann durchaus aus den Ergebnissen des 2x50m- bzw. 2x80m-Lichtschrankentests vorgenommen werden. Dadurch, daß die einzelnen Strecken submaximal und maximal gelaufen werden, kann über die Verbindung der Meßpunkte (Laufgeschwindigkeit und ermittelter Blutlactatkonzentration) eine Orientierung zur alactaciden Energiebereitstellung erhalten werden. Als Bezug wird die Größe v_{L6} genutzt. Am Beispiel des Sportlers 021 kann von Test 1 (Oktober 1989) zu Test 2 (Dezember 1989) aufgrund des speziellen Trainings eine Verbesserung des v_{L6} -Wertes nachgewiesen werden (Abb. 36). Eine Beurteilung der alactaciden Energiebereitstellung ist mit den erhaltenen Untersuchungsergebnissen auch aus dem Zusammenhang von Blutlactatkonzentration und Laufleistung möglich. An einer Gruppe von Nachwuchssathleten des 400m-Langsprints wurde dieser Zusammenhang in Form einer linearen Funktion ermittelt:

$$L = -18,653 + 3,236 v$$

$$n = 24$$

$$r = 0,57$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Diese Beziehung ist in Abb. 37 ausgewiesen.

Aufgrund dieser zusammenhängenden Betrachtungsweise (Lactat und Geschwindigkeit) kann die Einordnung der Ergebnisse zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit vorgenommen werden.

Die Meßergebnisse sind im Anhang in der Tabelle A 20 aufgeführt.

Die Ergebnisse des Lichtschrankentests bestätigen im wesentlichen die Praxisrelevanz für den Langsprint, aber auch für den Kurzsprint zur Beurteilung alactacider Energiestoffwechselforaussetzungen. Mit der Größe v_{L6} besteht die Möglichkeit des Vergleichs und auch der Leistungseinordnung.

Am Beispiel des Sportlers 021 wurde zur Ausgangsleistung eine Verbesserung des v_{L6} von 8,30 m/s auf 8,49 m/s erzielt. Das entspricht einer 80m-Zeit von 9,64 auf 9,42 s. Schließt man mit der neuen 80m-Zeit auf die Zeitvorgabe für den 10x30m(fliegend)-Test, so könnte entsprechend Abschnitt 3.9.3. (Abb. 13) die 30m-Vorgabezeit von $t_{30m} = 3,10$ s auf $t_{30m} = 3,02$ s verändert werden.

Mit dieser relativ hohen Leistungsfähigkeit (Schnelligkeitsleistung bzw. alactacide Leistungsfähigkeit) verfügt der Sportler 021 über gute Voraussetzungen zur Entwicklung eines Kurzspringers.

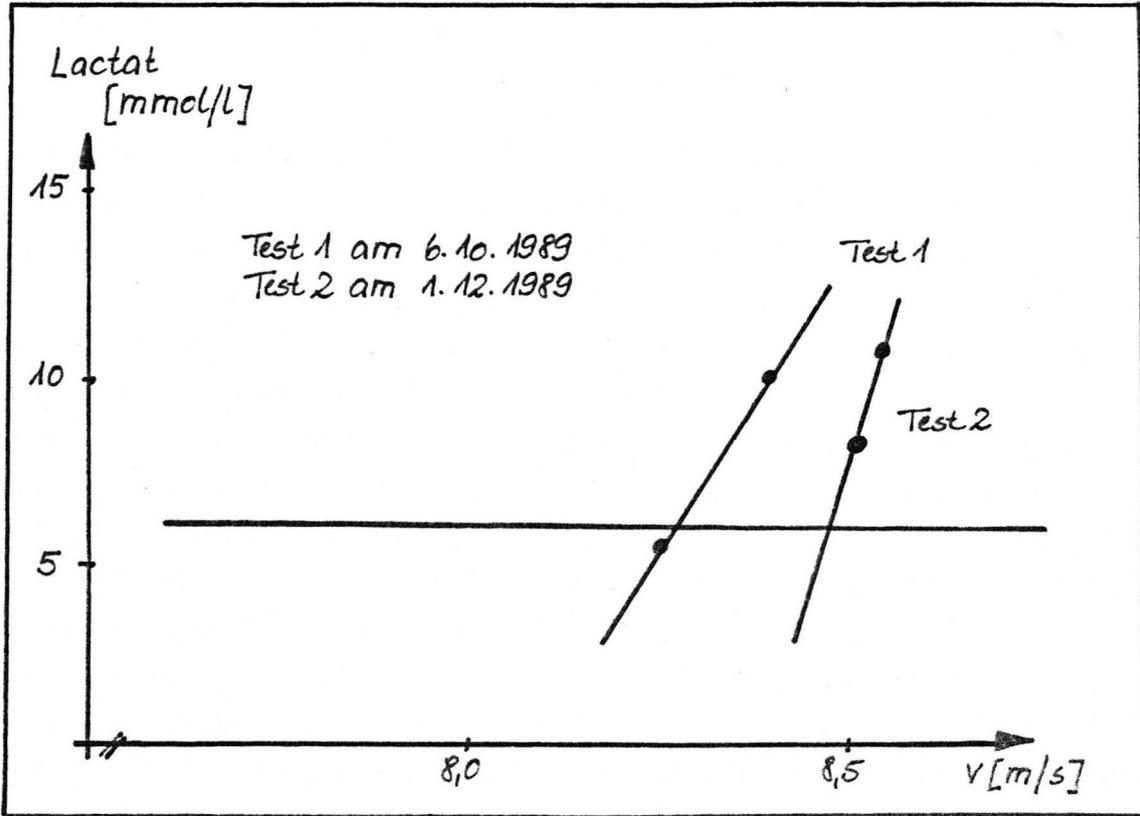


Abb.36 Die Leistungsentwicklung (v_{L6}) des Sportlers 021 im 2x60 m-Lichtschrankentest von Test 1 zu Test 2

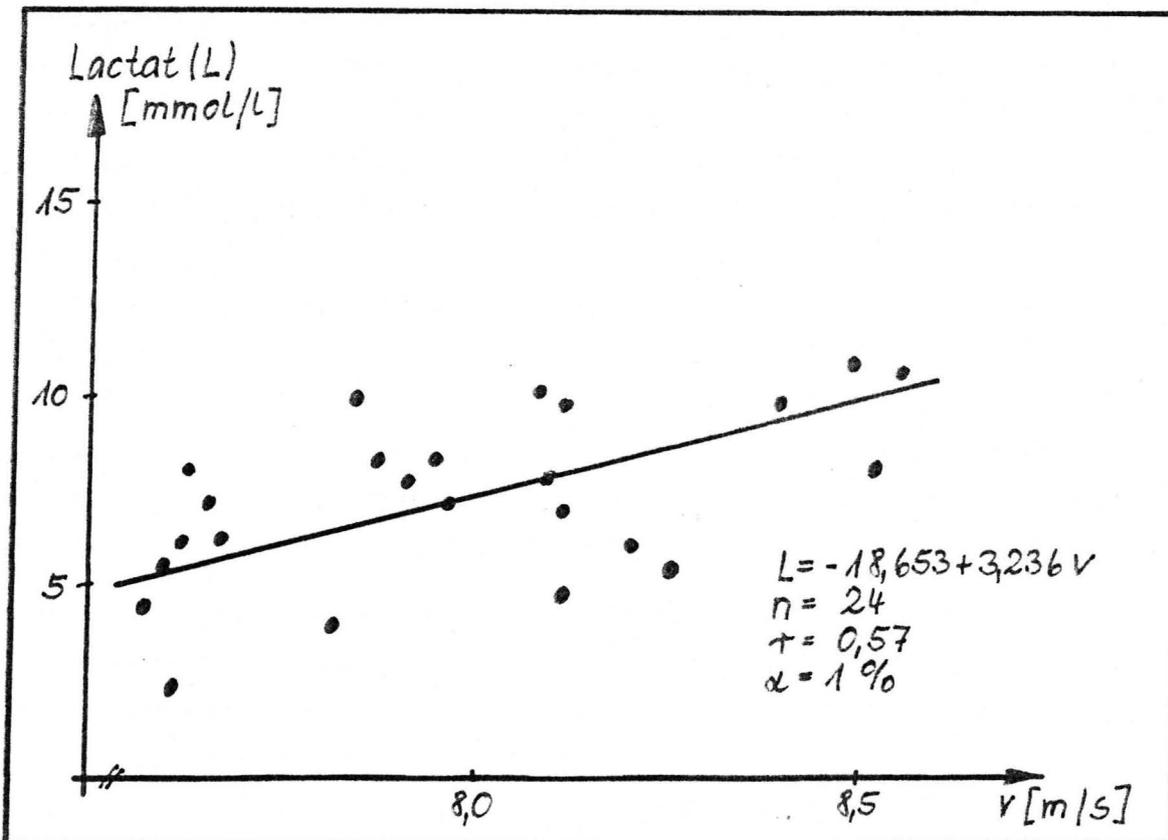


Abb.37 Die Lactat-Geschwindigkeits-Funktion aus den Ergebnissen des 2x60m- bzw. 2x80m-Lichtschrankentests an 400m-Nachwuchssportlern (ANT)

Trainingsmethodisch werden die meisten Untersuchungen zur alactaciden Energiebereitstellung mit dem 10x30m(fliegend)-Test durchgeführt. Damit kann über die Wertigkeit W 30 m ein Mehrjahresverlauf der Untersuchungen von 400m-Spitzenathleten verfolgt werden.

Abb. 38 weist den Verlauf der Wertigkeit W 30 m an einer Gruppe von 5 Spitzenathleten in den Trainingsjahren 1986/87 und 1987/88 aus.

Der Verlauf zeigt, daß in Richtung Wettkampfperiode die ermittelten Wertigkeiten den geringsten Wert aufweisen. Geht man davon aus, daß ein niedriger W 30m-Wert mit einer guten alactaciden Energievoraussetzung verbunden werden kann, dann erreichen die Athleten bis zur Wettkampfperiode in der alactaciden Energiebereitstellung ihre höchste Ausprägung.

Zu dem gleichen Ergebnis gelangt man auch im weiblichen Spitzenbereich. Der Verlauf ist im Anhang in Abb. A 8 dargestellt.

Aufschlußreich sind ebenfalls die individuellen Darstellungen (Abb. 39), wobei im Vergleich zur Gruppe kein prinzipieller Unterschied besteht. Es lassen sich die alactaciden Energievoraussetzungen aufgrund des individuellen Verlaufs noch besser einordnen.

Diese Untersuchungsergebnisse zum Verhalten der Wertigkeit W 30 m im Mehrjahresverlauf lassen die Schlußfolgerung zu, daß im 400m-Langsprint die alactaciden Energievoraussetzungen einen wesentlichen Faktor bei der Verbesserung der Leistungsfähigkeit zur energetischen Absicherung einer Wettkampfleistung darstellen.

Eine Ergänzung bildet in diesem Zusammenhang die Beziehung von der Wertigkeit W 30 m zur individuellen Bestzeit 30 m (fliegend). Sie wird durch folgende Gleichung beschrieben

$$W\ 30\ m = 1,803 + 0,457 t\ 30\ m\ (\text{fliegend})$$

$$r = 0,72$$

$$\alpha = 1\%$$

Zur Verfügung standen 10 Spitzenathleten des 400m-Laufs. Der Verlauf der Funktion ist im Anhang in Abb. A 9 dargestellt. Die einzelnen Untersuchungsergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 21/1 bis A 21/3 ausgewiesen.

Untersuchungen mit dem 10x30m(fliegend)-Test haben gezeigt, daß die Athleten oftmals die energetischen Grenzen der alactaciden Energiebereitstellung aufgrund des zunehmenden lactaciden Energiestoffwechsels während des Belastungsumfanges überschritten haben.

In der Tabelle 26 werden die individuellen Ergebnisse aus dem 10x30m(fliegend)-Test von 400m-Spitzenathleten aufgeführt.

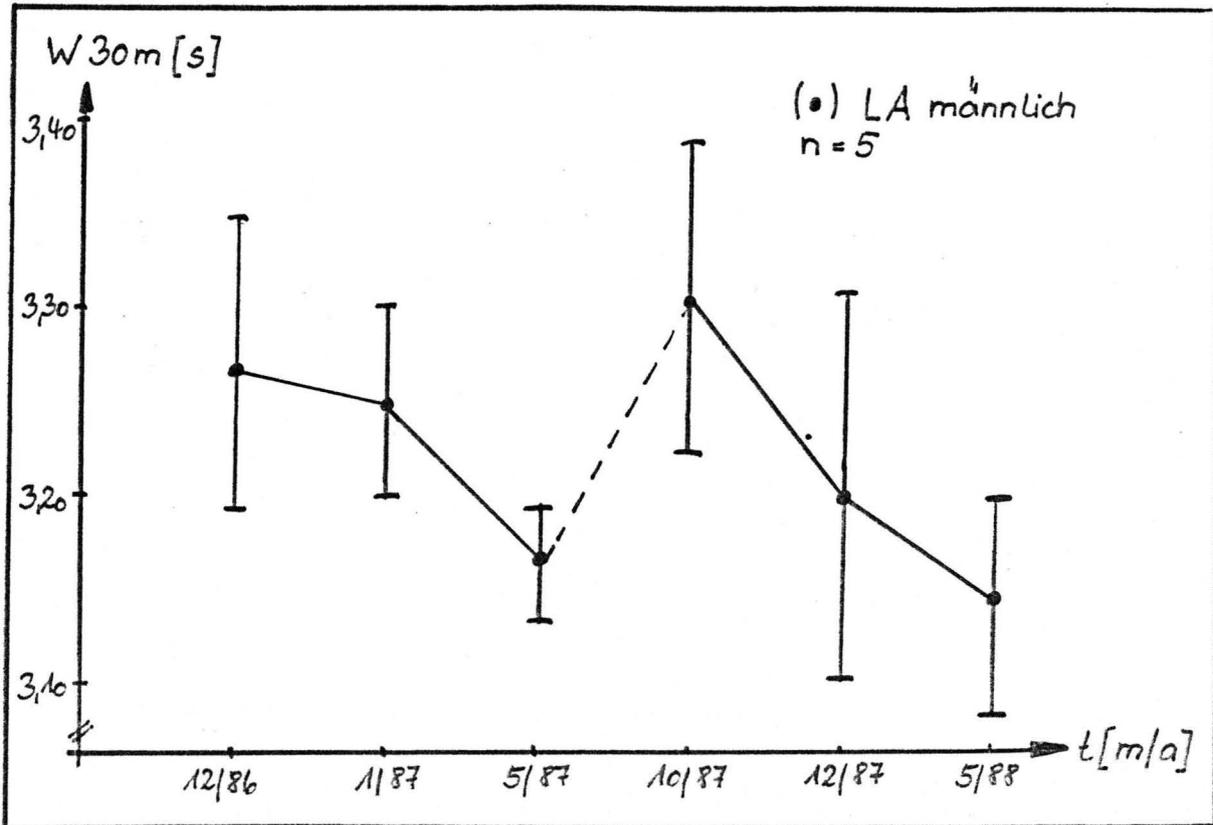


Abb. 38 Verlauf der Wertigkeit W_{30m} von 5 männlichen Athleten der 400 m-Spitzenklasse in den Trainings- und Wettkampffahren 1986/87 und 1987/88

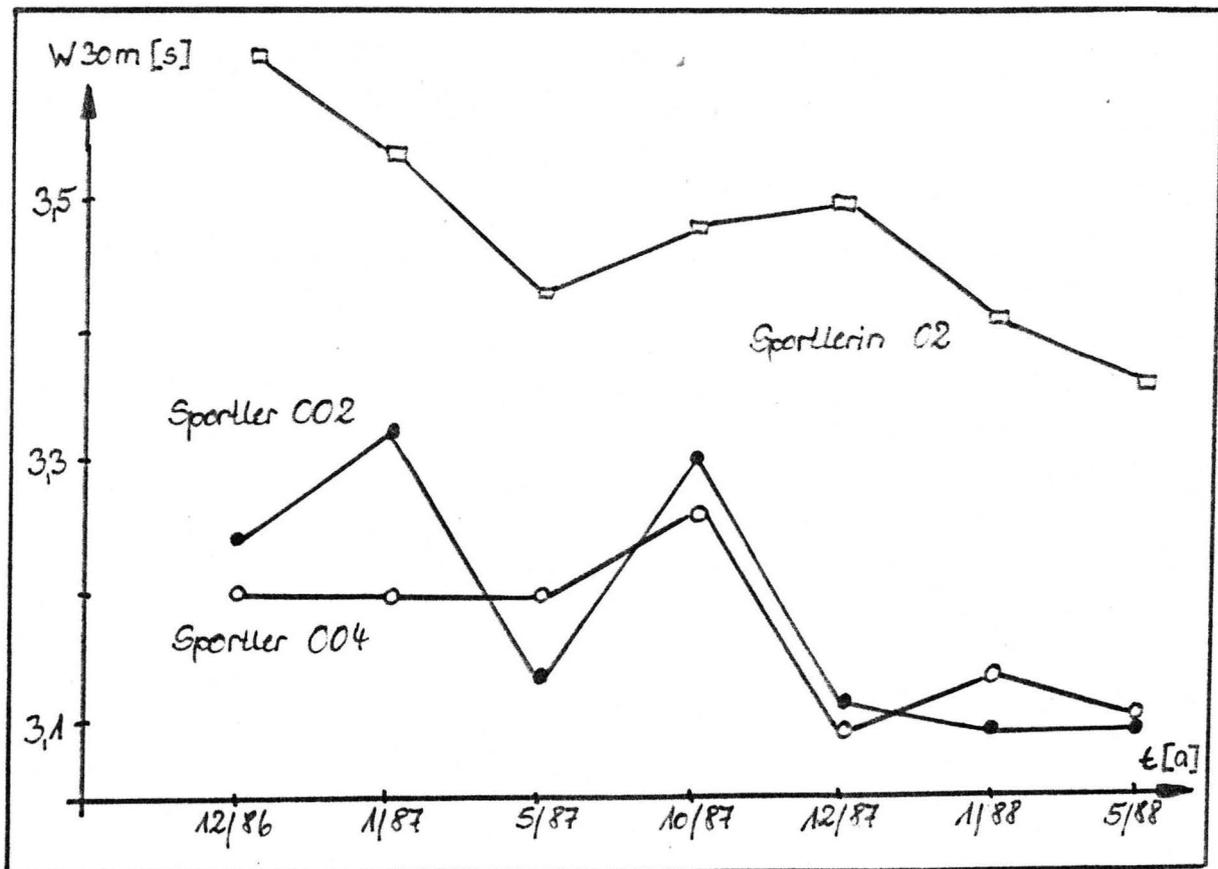


Abb. 39 Individueller Verlauf der Wertigkeit W_{30m} an 3 Spitzenathleten des 400m-Laufsprints in den Trainings- und Wettkampffahren 1986/87 und 1987/88

Tabelle 26

Darstellung der Ergebnisse aus dem 10x30m(fliegend)-Tests.

Es werden die durchschnittliche 30m-Zeit ($t_{30\text{ m}}$ in s), die Lactatkonzentrationen (mmol/l) nach dem 5. und 10. Lauf sowie die ermittelte Wertigkeit $W_{30\text{ m}}$ (s) ausgewiesen.

Sportler	$t_{30\text{ m}}$	Lactat (5. Lauf)	Lactat (10. Lauf)	$W_{30\text{ m}}$
002	3,06	6,9	9,0	3,16
003	3,07	6,4	7,0	3,10
004	3,07	6,1	6,1	3,07
02	3,36	5,1	7,1	3,40
03	3,37	6,9	7,2	3,42
12	3,32	7,9	10,3	3,48

Die Sportler 003, 004, 02 und 03 haben die trainingsmethodische Zielstellung dieses TM-Einsatzes zur Entwicklung alactacider Energiestoffwechselforaussetzungen im wesentlichen erfüllt.

Die relativ hohe lactacide Energiebeteiligung zur Realisierung der Belastung von den Sportlern 002 und 12 kann auf Rückstände im Trainingszustand zurückgeführt werden. Für diese Sportler ist ein weiterer TM-Einsatz zur Entwicklung von Schnelligkeit und Schnellkraft im Sinne alactacider Energiebereitstellung erforderlich. Darüber hinaus ist bei diesen Sportlern auf eine Verlängerung der Pausen zwischen den einzelnen Trainingsbelastungen zu achten.

4.6. Der Zusammenhang zwischen dem Anstieg (Konstante b) und dem v_{L4} -Wert aus der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung

Der Zusammenhang zwischen der Konstanten b , dem Anstieg der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung, und der Größe v_{L4} gewinnt in der KZA-Diagnostik immer mehr an Interesse. Einerseits könnte eine hohe aerobe Leistungsfähigkeit mit einem optimalen Anstieg der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung verbunden sein und andererseits könnten zu große Ökonomisierungsprozesse im aeroben Energiestoffwechsel aufgrund einer zu geringen Dynamik des Substratdurchsatzes sich hemmend auf den Energieliefermechanismus zur Sicherung intensiver Belastungsanforderungen auswirken.

In Abb. 40 ist der Zusammenhang zwischen der Konstanten b und der Größe v_{L4} aus dem 4x5-Minuten-Stufentest von 400m-Spitzenathleten dargestellt.

Es ergaben sich für männliche und weibliche Athleten folgende linearen Bezie-

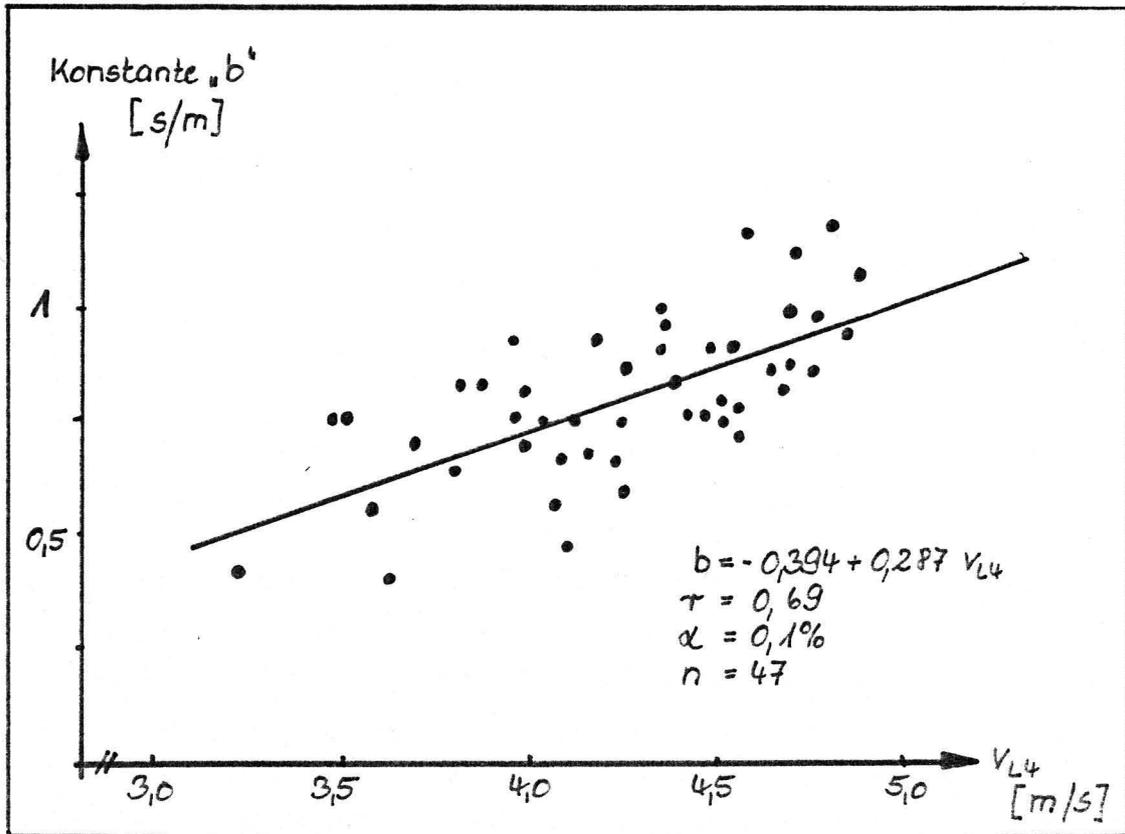


Abb.40 Der Zusammenhang zwischen dem Anstieg (Konstante „b“) und dem v_{L4} -Wert der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung aus dem 4x5 Minuten-Stufentest an 400m-Athleten (männlich) des HLT

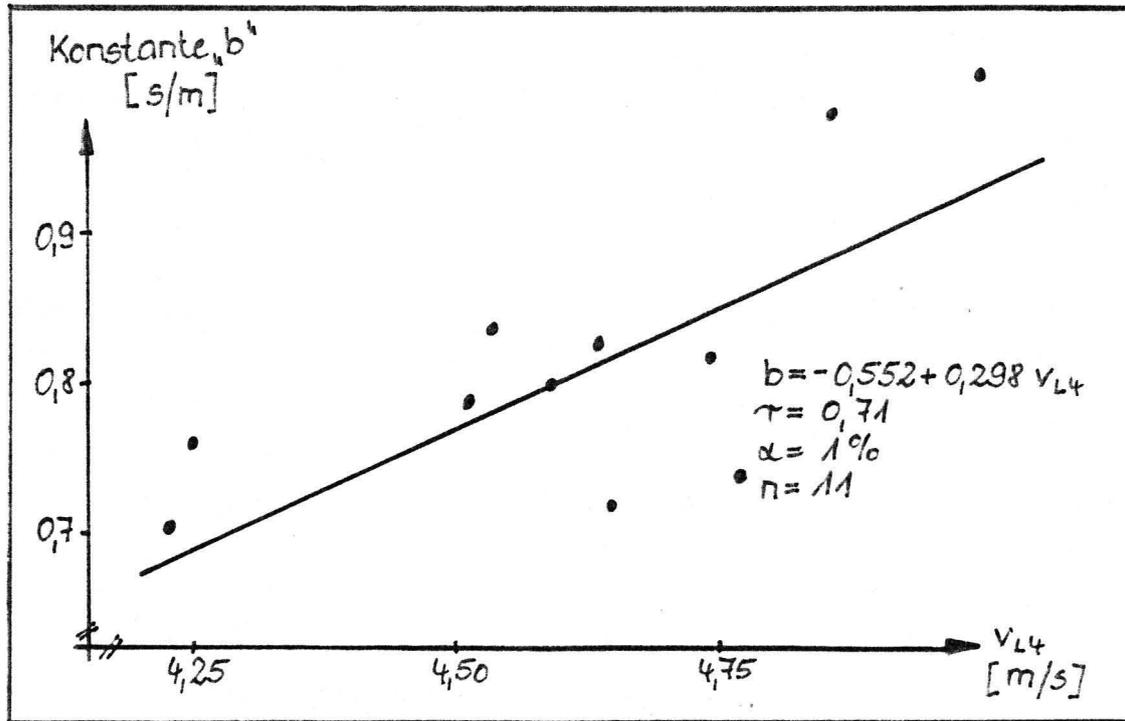


Abb.41 Der individuelle Zusammenhang zwischen dem Anstieg (Konstante „b“) und dem v_{L4} -Wert der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung aus dem 4x5 Minuten-Stufentest des Sportlers 003 im Trainings- und Wettkampfsjahr 1986/87

hungen

- 400m-Läufer (n = 47)

$$b = -0,394 + 0,287 v_{L4}$$

$$r = 0,69$$

$$\alpha = 0,1\%$$

- 400m-Läuferinnen (n = 25)

$$b = -0,424 + 0,362 v_{L4}$$

$$r = 0,68$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Die einzelnen Werte aus dem 4x5-Minuten-Stufentest sind im Anhang in der Tabelle A 1/1 bis A 1/3 aufgeführt, wobei in der Tabelle A 1/3 die "Extremwerte" (Konstante b zu v_{L4}) mit einer Standardabweichung s von größer $\pm 2,3$ von der ermittelten Funktion dargestellt wurden.

Diese sogenannten "Extremwerte" sind aufgrund ihrer extremen Wertdarstellung aus dem Zusammenhang heraus genommen worden. Der Anteil dieser Wertepaare beträgt im männlichen Bereich 9 (16%) und im weiblichen Bereich 3 (11%).

Der Zusammenhang zwischen der Konstanten b und dem v_{L4} -Wert aus dem nx3-Minuten-Stufentest wird durch folgende Regressionsgleichung beschrieben:

- 400m-Läufer (n = 52)

$$b = -1,020 + 0,564 v_{L4}$$

$$r = 0,71$$

$$\alpha = 0,1\%$$

- 400m-Läuferinnen (n = 28)

$$b = -0,634 + 0,527 v_{L4}$$

$$r = 0,63$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Die Zahlenwerte sind im Anhang in den Tabellen A 2/1 bis A 2/3 aufgeführt.

Der Zusammenhang im männlichen Bereich ist in der Abb. A 10 dargestellt.

Aus dem 3-Minuten-Stufentest ermittelten Wertepaare wurden alle in die Regression einbezogen.

Ausgehend von den in Tabelle 13 und in Abb. 21 (Abschnitt 4.2.) dargestellten individuellen Untersuchungsergebnissen zur aeroben Leistungsfähigkeit (Sportler 003), wird in Abb. 41 am individuellen Beispiel ebenfalls auf den Zusammenhang zwischen der Konstanten b und der Größe v_{L4} hingewiesen.

Die Regressionsgleichung lautet (11 Untersuchungen mit dem 4x5-Minuten-Stufentest):

$$b = -0,552 + 0,289 v_{L4}$$

$$r = 0,71$$

$$\alpha = 1\%$$

In den 4x60-Sekunden-Stufentest wird der Zusammenhang zwischen der Konstanten b und dem v_{L4} noch enger beschrieben.

Die Regressionsgleichungen lauten

- 400m-Läufer (n = 47)

$$b = -0,300 + 0,152 v_{L4}$$

$$r = 0,80$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Dadurch, daß dieser Test sowohl im Trainingsabschnitt I_3 als auch im Trainingsabschnitt I_2 absolviert wurde, kann dieser Zusammenhang entsprechend der Trainingsintensität differenziert betrachtet werden:

Belastungsintensität I_3 (n = 28)

$$b = -0,238 + 0,144 v_{L4}$$

$$r = 0,76$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Belastungsintensität I_2 (n = 19)

$$b = -0,339 + 0,151 v_{L4}$$

$$r = 0,87$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Dieses Ergebnis stellt eine leichte parallele Rechtsverschiebung der Funktion von Trainingsabschnitt I_3 zu I_2 dar, wodurch trainingsmethodisch ein Adaptationsprozeß bzw. bioenergetisch eine ökonomischere Energiestoffwechsellage erzielt worden ist.

Diese Funktionen sind zusammengestellt im Anhang in Abb. A 11 aufgeführt.

- 400m-Läuferinnen (n = 45)

$$b = -0,405 + 0,207 v_{L4}$$

$$r = 0,77$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Belastungsintensität I_3 (n = 25)

$$b = -0,413 + 0,217 v_{L4}$$

$$r = 0,85$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Belastungsintensität I_2 (n = 20)

$$b = -0,265 + 0,165 v_{L4}$$

$$r = 0,82$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Die Zahlenwerte sind im Anhang in den Tabellen A 4/1 bis A 4/4 zu ersehen. Mit diesen Ergebnissen kann ebenfalls eine Rechtsverschiebung von Trainingsabschnitt I_3 zu Trainingsabschnitt I_2 festgestellt werden (analog dem männlichen Bereich).

Analoge Zusammenhänge wurden mit dem 4x60-Sekunden-Stufentest auch in den Sportarten Fußball und Ringen gefunden:

- Fußball (n = 26)

$$b = -0,840 + 0,274 v_{L4}$$

$$r = 0,85$$

$$\alpha = 0,1\%$$

- Ringen (n = 42)

$$b = -0,106 + 0,154 v_{L4}$$

$$r = 0,48$$

$$\alpha = 1\%$$

Stellt man die aus der Leichtathletik (männlich und weiblich) sowie aus den Sportarten Fußball und Ringen ermittelten Beziehungen zwischen der Konstanten b und der Größe v_{L4} (4x60-Sekunden-Stufentest) gegenüber, kann man eine relative Parallelität zwischen den einzelnen Funktionen feststellen (Abb. 42). Diese Parallelität läßt praktisch eine "laufleistungsspezifische" Einordnung dieser Sportarten erkennen.

Vervollständigt wird dieser Zusammenhang (b zu v_{L4}) mit den Ergebnissen aus dem 4x400m-Feldtest von 400m-Spitzenathleten

- 400m-Läufer (n = 28)

$$b = -0,146 + 0,123 v_{L4}$$

$$r = 0,78$$

$$\alpha = 0,1\%$$

- 400m-Läuferinnen (n = 24)

$$b = -0,093 + 0,133 v_{L4}$$

$$r = 0,80$$

$$\alpha = 0,1\%$$

Die Zahlenwerte sind im Anhang aus den Tabellen A 10/1 bis A 10/4 zu entnehmen. Der Zusammenhang zwischen der Konstanten b und dem v_{L4} -Wert ist im Anhang in Abb. A 12 dargestellt (4x400m-Feldtest).

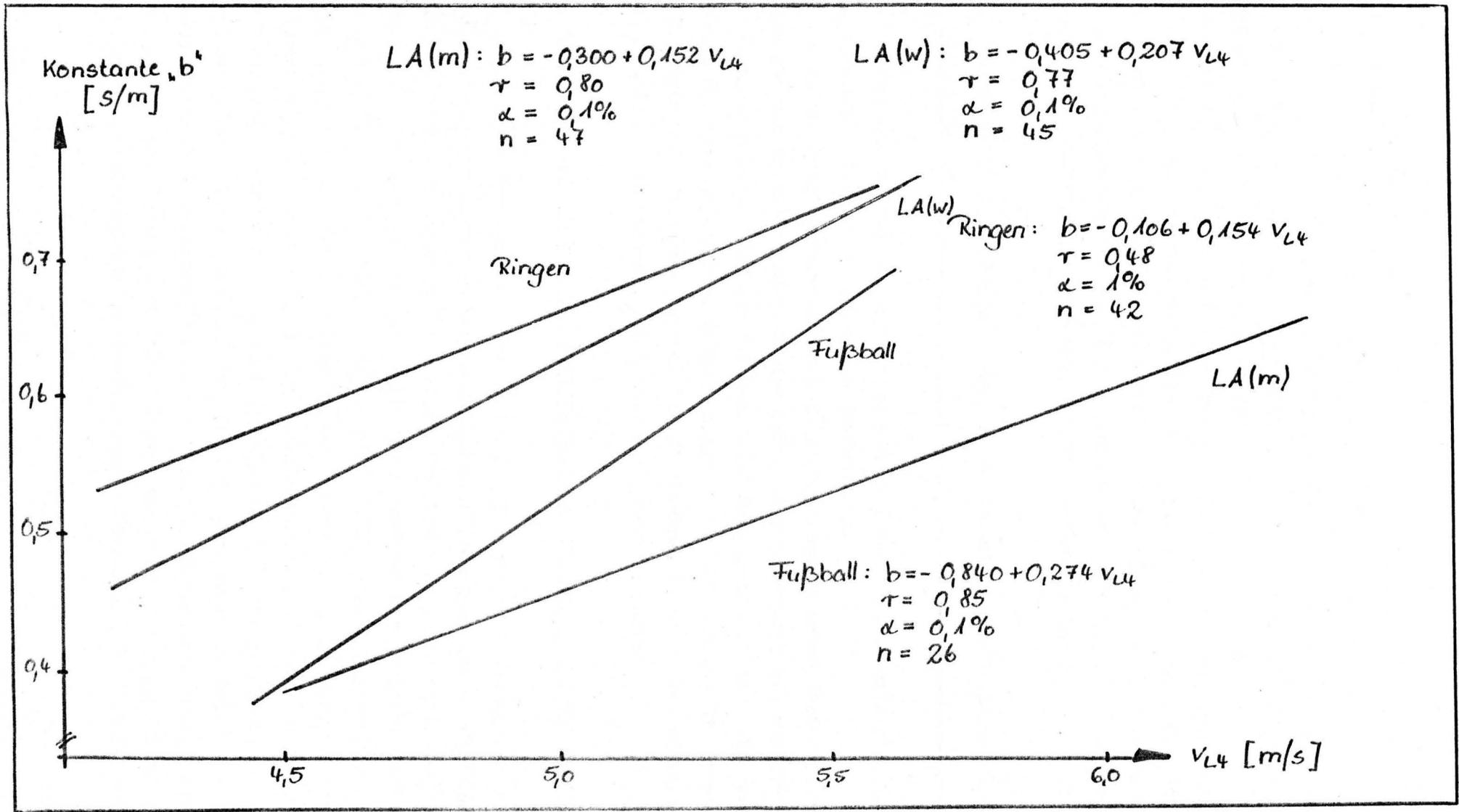


Abb. 42 Darstellung von Funktionen zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen der Konstanten „ b “ und dem v_{L4} -Wert der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung aus dem 4x60 Sekunden Stufentest in verschiedenen Sportarten des HLT

5. Diskussion

Unter Berücksichtigung einer möglichst zusammenhängenden Darstellung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse konnte eine erste Diskussion im vorangegangenen Kapitel nicht vermieden werden.

In den nun folgenden Abschnitten werden vor allem die Wertung leistungsdiagnostischer Untersuchungsverfahren, die bioenergetischen Zusammenhänge für einen Leistungsvollzug im 400m-Wettkampf sowie die Einordnung von Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Trainingsprozeß zur Entwicklung einer hohen sportlichen Leistungsfähigkeit in Sportarten der Kurzzeitausdauer diskutiert.

5.1. Die Untersuchungsmethodik in der leichtathletischen Disziplingruppe Sprint/Hürden

Die leistungsdiagnostischen Untersuchungen in dieser Arbeit erfolgten durch objektive und mathematisch relevante Stufentests.

Aus den vorhandenen sportmedizinisch-leistungsdiagnostischen Testverfahren wurden für die Disziplingruppe Sprint/Hürden der Leichtathletik nur der 4x5-Minuten-Stufentest und der "vita-maxima"-Test genutzt. Eine Weiterentwicklung der leistungsdiagnostischen Untersuchungsmethodik war für Sportarten der KZA dringend notwendig geworden, um die Wechselwirkungen der einzelnen Energiestoffwechselprozesse noch besser analysieren zu können.

5.1.1. Leistungsdiagnostische Untersuchungen zur aeroben Energiebereitstellung

Der 4x5-Minuten-Stufentest auf dem Laufband hat sich zum Erfassen der aeroben Leistungsfähigkeit in der Kurzzeitausdauer im allgemeinen und im 400m-Lang-sprint im besonderen gegenüber von Feldtests, die über die Methode des Vergleichs nur unzureichend das aerobe Leistungsvermögen der Athleten beschreiben, bewährt (SONNTAG et al., 1983; SCHÄFER und SONNTAG, 1984). Aufgrund der relativ langen Pause zwischen den einzelnen Belastungsstufen (10 Minuten), konnte der Bezug zwischen Belastung und Blutlactatkonzentration sowie den kardiorespiratorischen Parametern (Sauerstoffaufnahme, Herzschlagfrequenz u. a.) von einer Belastungsstufe zur anderen deutlich abgegrenzt werden.

Die Auswertung der erzielten Untersuchungsergebnisse erfolgte mathematisch sowohl in linearer als auch in alinearer Form. Unter diesem Aspekt hat sich vor allem die Anwendung der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung (PANSOLD et al.,

1983) in der Praxis durchgesetzt.

Eine Erhöhung der Qualität leistungsdiagnostischer Untersuchungsverfahren zur Ermittlung aerober Leistungsvoraussetzungen war aufgrund der enormen Leistungsentwicklung der Athleten und der damit verbundenen z. T. erheblichen Leistungsschwankungen sowie einer verbesserten Atemgasanalytik notwendig geworden.

Der nx3-Minuten-Stufentest (auch als KZA-Standardtest oder als 3-Minuten-Stufentest bezeichnet) entspricht im wesentlichen den geforderten Ansprüchen zum Erfassen der aeroben Energiebereitstellung in den KZA.

Dadurch, daß zur mathematischen Sicherung der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung mindestens 4 Belastungsstufen benötigt werden (PANSOLD et al., 1983), hat im Gegensatz zum 4x5-Minuten-Stufentest (74,9% auswertbare Tests) der 3-Minuten-Stufentest (94,5% auswertbare Tests) eine wesentlich höhere Validität erreicht. Neben seiner relativ hohen mathematischen Sicherheit und des unkomplizierten Einsatzes einer kontinuierlichen Atemgasanalyse, erfüllt der 3-Minuten-Stufentest die Anforderungen leistungsdiagnostischer Untersuchungen besser.

Als wesentlichste Ergebnisse der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung wurden der v_{L4} -Wert (entsprechend GAISL, 1979) und die Konstante b der Funktion (Anstieg) bewertet. Sie dienen der Beurteilung aerober Leistungsvoraussetzungen in der Trainingssteuerung, und stellen eine Orientierung für Trainingsbelastungen zur Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit dar. Darüber hinaus nehmen die v_{L3} -Werte für die Einordnung von DL-Belastungen sowie die v_{L6} -Werte für Belastungen im NI-Bereich im Trainingsprozeß einen hohen Stellenwert ein.

In der Trainingspraxis hat sich der 4x1000m-Feldtest zur Objektivierung der aeroben Energiestoffwechselsituation ebenfalls bewährt und ist analog des 4x5-Minuten-Stufentests einzuordnen. Er kann z. B. unter Trainingslagerbedingungen eingesetzt werden.

Die Belastungsintensitäten können entsprechend der individuellen Leistungsfähigkeit festgelegt werden. Voraussetzung für diesen Test ist die Geschwindigkeitskonstanz während der einzelnen Läufe (Zeitkontrolle während der einzelnen Laufstrecken). Mit diesen Tests sind weitgehend die "steady state"-Forderungen erfüllt (MELLEROWICZ, 1975; MADER et al., 1976; HECK et al., 1982; KINDERMANN, 1987).

Eine Interpretation leistungsdiagnostischer Ergebnisse ist nur dann zulässig, wenn neben den standardisierten Untersuchungsbedingungen auch die Vorbelastungen zum Testtermin standardisiert sind. Zu intensive oder zu extensive Vorbelastungen

beeinflussen das Testergebnis und führen zu einer unrealistischen Beurteilung der Energiestoffwechselsituation des Athleten (HECK und HOLLMANN, 1984; BUSSE et al., 1987; BRAUMANN et al., 1987 und 1988).

Unter Beachtung einer normalen Ernährung (ASTRAND et al., 1963; BERGSTRÖM und HULTMAN, 1967; KARLSSON, 1971; PIEHL, 1975; SALTIN und KARLSSON, 1977; JACOBS, 1981 und IVY et al., 1981; ZERBES, 1986) wurden als standardisierte Vorbelastungen festgelegt

- innerhalb von 48 Stunden sind keine umfangreichen und/oder intensiven Belastungen aufzunehmen,
- vor dem Test sind Aufwärmübungen (etwa 15 Minuten) sowie unmittelbar vor Beginn eine "steady state"-Belastung von 3 bis 5 Minuten bei einer Herzschlagfrequenz von 80 bis 100 Schlägen pro Minute zu realisieren.

Eine große Bedeutung hat in der KZA-Diagnostik der "vita-maxima"-Test auf dem Laufband, der eine Beurteilung der für die intensiven KZA-Belastungen beanspruchten maximalen Funktionsamplituden erlaubt. Dieser Test erfüllt aufgrund der relativ wenig veränderlichen maximalen Funktionsamplituden mit ein bis zwei Untersuchungen im Jahr durchaus seine Aufgabe.

Aus dieser Diskussion kann für die Trainingspraxis in der Kurzzeitausdauer zur Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit der

- KZA-Standardtest (nx3-Minuten-Stufentest) und
- der "vita-maxima"-Test

auf dem Laufband empfohlen werden.

Die Untersuchungen sind allgemein im Abschnitt des Grundlagenausdauertrainings (Training der allgemeinen Ausdauer) und zwischenzeitlich im Abschnitt der speziellen Ausdauer durchzuführen, d. h. im wesentlichen vier- bis sechsmal im Trainingsjahresverlauf (bezogen auf den KZA-Standardtest).

Unter besonderen Bedingungen (Trainingslager) kann auch der 4x1000m-Feldtest zur Überprüfung bzw. Objektivierung aerober Leistungsvoraussetzungen im Trainingsprozeß realisiert werden. Die Auswertung dieses Tests erfolgt dann sinnvollerweise graphisch in halblogarithmischer Darstellung (Lactat auf logarithmisch angeordneter Ordinate, Geschwindigkeit auf linear angeordneter Abszisse), um eine optische Bewertung des Anstiegs der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung vornehmen zu können.

Die Untersuchungsergebnisse aus den einzelnen Stufentests haben gezeigt, daß die erhaltenen v_{L4} -Werte aus den Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen miteinander vergleichbar sind (Tabelle 10).

Erfahrungen mit den vorgeschlagenen Untersuchungen liegen in der Sportart Leichtathletik (Disziplingruppe Sprint/Hürden), in den Spilsportarten (Fußball, Handball, Basketball, Volleyball) sowie in den Kampfsportarten (Boxen, Fechten und Ringen) vor. Die Ergebnisse werden als praxisrelevant eingeordnet.

5.1.2. Leistungsdiagnostische Untersuchungen zur anaerob-lactaciden Energiebereitstellung

Mit leistungsdiagnostischen Untersuchungen zum Erfassen anaerober Energiestoffwechselvoraussetzungen haben sich bereits eine Vielzahl von Autoren befaßt (ASTRAND und SALTIN, 1961; MARGARIA et al., 1971; DI PRAMPERO, 1973; SZÖGY et al., 1974; WOLKOW et al., 1975; EVANS und QUINNEY, 1979; SCHNABEL et al., 1979; BAR-OR et al., 1980; BACHL et al., 1982; JACOBS et al., 1983; KINDERMANN, 1984; RIEDER et al., 1987). Es wurden im wesentlichen Fragen zur Kapazität von anaeroben Energiestoffwechselprozessen (lactacid, alactacid) bearbeitet. Eine Antwort, in welcher Weise bzw. unter welchen Belastungsbedingungen die Inanspruchnahme anaerober Energiestoffwechselprozesse erfolgt, kann mit diesen Untersuchungsverfahren im allgemeinen nicht erhalten werden. Sowohl im 400m-Lang sprint als auch in den Sportarten, die die anaeroben Energiestoffwechselmechanismen stark beanspruchen, sind aus bioenergetischer Sicht für die Trainingssteuerung Untersuchungsverfahren notwendig geworden, die einerseits den Energieliefermechanismus differenzierter analysieren und andererseits die Wechselwirkungen energieliefernder Prozesse besser zum Ausdruck bringen können. Das Erarbeiten und das Erproben von neuen Untersuchungsmethoden, die einen Einblick z. B. in die glykolytische Energiestoffwechselsituation des Organismus zulassen, entsprach nicht nur der Zielstellung dieser Arbeit, sondern auch der Vervollkommnung der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik und der wissenschaftlichen Trainingssteuerung.

Sowohl der 4x60-Sekunden-Stufentest auf dem Laufband als auch der 4x400m-Feldtest erlauben aufgrund der stufenförmigen Belastungsbeanspruchung eine Beurteilung der glykolytischen Energiestoffwechselsituation bzw. eine Bewertung des Anpassungsverhaltens energieliefernder Prozesse im speziellen Training und ermöglichen im Sinne der Trainingssteuerung über zuverlässige Geschwindigkeitsvorgaben, die aus der ermittelten Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung abgeleitet werden können, eine zielgerichtete Intensitätsgestaltung des Trainings. Die ersten Ergebnisse haben in der Leichtathletik gezeigt, daß das Training in der speziellen Ausdauer konstruktiver gestaltet werden konnte (SCHÄFER et al., 1984; LANGE, 1984).

Die so ausgewiesenen Geschwindigkeitsvorgaben (v_{L4} , v_{L6} , v_{L14} oder v_{L18}) aus diesen Tests haben sowohl den Charakter der Einordnung der Leistungsfähigkeit des Athleten und stellen zur aeroben (v_{L4}) oder zur anaeroben Energiebereitstellung (v_{L14} , v_{L18}) Beurteilungs- und Vergleichsmöglichkeiten dar, als auch den Charakter von Geschwindigkeitsvorgaben für das spezielle Training bzw. für die Intensitätsgestaltung des Trainingsprozesses. Verständlicherweise hat für den 400m-Lauf der 400m-Feldtest einen hohen Stellenwert zur Gestaltung des Trainings in der speziellen Ausdauer. Im Zusammenhang von leistungsdiagnostischer und sportmethodischer Betrachtung erlaubt dieser Test eine Beurteilung der individuellen Leistungsfähigkeit und auch eine prognostische Aussage zur leistungssportlichen Zielstellung des Langesprinters. Demgegenüber bietet der 4x60-Sekunden-Stufentest auf dem Laufband der KZA-Diagnostik unter relativ gut reproduzierbaren Laborbedingungen Informationen zum anaerob-lactaciden Energiestoffwechsel, zu individuellen Entwicklungsvorgängen sowie zum weiteren Training in der speziellen Ausdauer und zur Erhöhung der Belastungsfähigkeit.

Als erfolgreich kann auch der Einsatz des Laufstreckenstufentests zur weiteren Beurteilung anaerober Energiestoffwechselprozesse angesehen werden. So kann aus dem Anstieg der ermittelten linearen Lactat-Zeit-Funktion eine intensitätsabhängige Lactatbildungsgeschwindigkeit errechnet werden. Darüber hinaus erlaubt die Lactat-Weg-Funktion ein direktes Festlegen von Trainingsmittel (TM) in Streckenlänge und Intensität zur weiteren Trainingsgestaltung in der speziellen Ausdauer.

Dadurch, daß dieser Laufstreckenstufentest mit verschiedenen Geschwindigkeitsvorgaben realisiert werden kann, gestattet dieser Test Trainingshinweise für die einzelnen Belastungsintensitäten (Abb. 30 und 33) und, unter Einbeziehung des Zusammenhangs Lactat und Zeit aus dem 400m-Wettkampf, auch im prognostischen Sinn Hinweise auf die energetische Sicherung einer 400m-Wettkampfleistung (Abb. 32). Der Test ist als Laufbandtest und als Feldtest realisierbar.

Neben einer sinnvollen Objektivierung der Intensität von Laufstrecken und der Ermittlung einer intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeit, kann auch in Anlehnung an SZÖGY et al. (1984) ein intensitätsabhängiger alactacider Quotient (ALQ) zur Beurteilung alactacider Energiestoffwechsell Voraussetzungen ermittelt werden. Verfolgt man den ALQ-Wert mit der Geschwindigkeit, so nehmen die ALQ-Werte einen endlichen Wert an (SONNTAG und DEBES, 1989) und erlauben somit Hinweise zur alactaciden Energiestoffwechselsituation.

Diese ausgewiesenen Untersuchungsverfahren zum Erfassen anaerober Energiestoffwechselvorgänge stellen eine Erweiterung vorhandener Untersuchungsmöglichkeiten

dar (SCHNABEL et al., 1979; SZÖGY et al., 1984; VANDERVALLE et al., 1985 und 1987); es konnte damit in der Leistungsdiagnostik ein weiterer Ansatz zur Beurteilung und Bewertung des individuellen Leistungsvermögens erhalten werden.

Aus diesem Grunde kann für die Trainingspraxis in der Kurzzeitausdauer allgemein zum Erfassen anaerob-lactacider Energiestoffwechselprozesse

- der 4x60-Sekunden-Stufentest und
- der Laufstreckenstufentest (mit konstanter Geschwindigkeitsvorgabe)

auf dem Laufband empfohlen werden.

Darüber hinaus hat für die 400m-spezifische Trainingssteuerung

- der 4x400m-Feldtest

eine vielseitige praxisrelevante Bedeutung erhalten (SCHÄFER et al., 1984; SCHÄFER, 1986).

Die zeitliche Einordnung der Untersuchungen zum Erfassen der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung kann wie folgt vorgenommen werden

- der 4x60-Sekunden-Stufentest im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer: zweimal in einer Vorbereitungsperiode (verstärkter Einsatz im Nachwuchsbereich des 400m-Langsprints und im Bereich des Hochleistungstrainings in Spiel-sport- und Kampfsportarten).
- der 4x400m-Feldtest (vorzugsweise Einsatz im Spitzenbereich des 400m-Langsprints) im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer: drei- bis viermal in einer Vorbereitungsperiode.
- der Laufstreckenstufentest (Einsatz in der gesamten Disziplingruppe Sprint/Hürden zu empfehlen): möglichst am Ende des Trainingsabschnittes der speziellen Ausdauer zur Beurteilung der ermittelten Lactatbildungsgeschwindigkeit (ein- bis zweimal im Jahresverlauf).

Die wesentlichsten Ergebnisse aus den dargestellten Untersuchungsverfahren sind die aus der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung (4x60-Sekunden-Stufentest, 4x400m-Feldtest) ermittelten v_{L4} , v_{L5} , v_{L10} , v_{L14} oder v_{L18} -Werte und die Konstante b (Anstieg der Funktion) sowie die aus der intensitätsabhängigen Lactat-Zeit-Funktion (Laufstreckenstufentest) ermittelten Konstante B (Anstieg der Funktion) als intensitätsabhängige Lactatbildungsgeschwindigkeit.

Die Untersuchungen mit dem 4x60-Sekunden-Stufentest wurden in der Leichtathletik (Disziplingruppe Sprint/Hürden), im Fußball und im Ringen durchgeführt.

Die Untersuchungen mit dem 4x400m-Feldtest und mit dem Laufstreckenstufentest wurden nur im 400m-Langsprint angewendet.

5.1.3. Leistungsdiagnostische Untersuchungen zur anaerob-alactaciden Energiebereitstellung

Die anaerob-alactaciden Energievoraussetzungen können nach den Untersuchungsmethoden von SZÖGY et al. (1984) oder VANDERVALLE et al. (1985) relativ objektiv beurteilt bzw. eingeordnet werden. Allerdings haben diese Tests den Nachteil, daß die geleistete Arbeit intensitätsunabhängig realisiert worden ist und die Blutlactatkonzentrationen der erfolgten Belastung zugeordnet werden. Ein daraus ermittelter alactacider Quotient (ALQ) wird praktisch durch die intensitätsunabhängige Arbeit pro Zeiteinheit - sowohl infolge der kürzeren als auch infolge der längeren Belastung (Maximalbelastung) im Test - beeinflusst. Der Laufstreckenstufentest gestattet dagegen aufgrund der konstanten Vorgabegeschwindigkeit (Laufgeschwindigkeit) und der aus den Ergebnissen (absolvierte Laufstrecke und gemessene Blutlactatkonzentration) ermittelten Lactat-Zeit (Belastungszeit)-Funktion den Zugang zu einem intensitätsabhängigen ALQ-Wert, d. h. es können die Belastungszeiten bei gleicher Intensität mit den erhaltenen Blutlactatkonzentrationen verglichen bzw. berechnet werden. Der ALQ-Wert kann dadurch intensitätsabhängig beurteilt werden, wobei der Geschwindigkeitsbezug des ALQ das individuelle alactacide Leistungsvermögen aufgrund des alinearen Verlaufs der ALQ-Geschwindigkeitsfunktion beschreibt. Die alactaciden Energiestoffwechselforaussetzungen des Organismus können nach dieser Methode sinnvoll objektiviert werden, indem sowohl eine Vergleichbarkeit der Werte, z. B. die ermittelte Geschwindigkeit bei $ALQ = 1$, als auch die Ausprägung des ALQ bei höherer Geschwindigkeit (asymptotische Näherung an einen endlichen ALQ-Wert) erhalten werden kann.

Dieser Test wurde im 400m-Nachwuchsbereich zweimal im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer eingesetzt und hat sich bewährt.

Dennoch sollte der Laufstreckenstufentest im Training der speziellen Ausdauer nur vereinzelt und im Sinne einer langfristigen Wettkampfvorbereitung (etwa drei Wochen vor dem Wettkampf) zur Anwendung kommen, um im prognostischen Sinne an der glykolytischen Energiebereitstellung (Lactatbildungsgeschwindigkeit) und den alactaciden Energiestoffwechselforaussetzungen trainingsmethodisch weiter Einfluß nehmen zu können.

Eine Beurteilung alactacider Energiestoffwechselforaussetzungen kann vor allem

für die leichtathletische Disziplingruppe Sprint/Hürden auch mit dem 2x60m- bzw. 2x80m-Lichtschrankentest vorgenommen werden. So haben HELLWIG et al. (1988) einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen den realisierten Geschwindigkeiten aus 60m-Läufen und der Blutlactatkonzentration gefunden.

Aus dem im 2x60- bzw. 2x80m-Lichtschrankentest ermittelten Ergebnissen (Laufgeschwindigkeiten und dazugehöriger Blutlactatkonzentrationen) kann ebenfalls ein hochsignifikanter Zusammenhang gefunden werden, der im wesentlichen der von HELLWIG et al. (1988) berechneten Funktion entspricht. Die individuelle Beurteilung der Testergebnisse kann einerseits entsprechend der Einordnung der Meßwerte in die ermittelte Funktion erhalten werden und andererseits wie in Abb. 36 durch Berechnung des individuellen v_{L6} -Wertes aus den submaximalen und maximalen Wertepaaren (Geschwindigkeit und Blutlactatkonzentration). Diese Größe v_{L6} ist für die Trainingspraxis vergleichbar und kann als ein Ausdruck der alactaciden Energiebereitstellung angesehen werden. Die Geschwindigkeit v bei einer Blutlactatkonzentration von 6 mmol/l wird aufgrund von vorliegenden Ergebnissen (SONNTAG und PANSOLD, 1987; HELLWIG et al., 1988; SCHÄFER, 1989) als Bezugsgröße verwendet.

Ausgehend davon, daß der 10x30m(fliegend)-Test oftmals als Trainingsmittel (TM) zur Verbesserung der alactaciden Energiestoffwechselforaussetzungen eingesetzt wird, kann über den Weg der Beziehung zwischen der durchschnittlichen Laufzeit und der Inanspruchnahme der lactaciden Energiebereitstellung ebenfalls eine Leistungseinschätzung zur alactaciden Energiebereitstellung vorgenommen werden. Als ein Maß der anaerob-alactaciden Energiebereitstellung wurde die von SCHÄFER (1989) ausgewiesene Wertigkeit (W 30 m) verwendet, wodurch die einzelnen Testergebnisse gut verglichen werden können. Die Zeitvorgabe für diesen Test (30m-Laufzeit) kann durchaus aus dem Zusammenhang 80m-Lauf und 30m(fliegend)-Lauf ermittelt werden, wenn zuvor trainingsmethodisch der 2x80m-Lichtschrankentest zur Objektivierung der Schnelligkeit angewendet worden ist.

Diese Lichtschrankentests, die trainingsmethodisch zur Objektivierung der Schnelligkeitsfähigkeit eingesetzt werden, können über die Lactaterhebungen nach Belastung weitgehend zur Beurteilung alactacider Energiestoffwechselforaussetzungen genutzt werden. Darüber hinaus sind sie zur Entwicklung der alactaciden Energiebereitstellung - unter Beachtung einer genügenden Pausenvorgabe zur Verminderung von Lactatakkumulationserscheinungen - sinnvolle Trainingsmittel für die Trainingspraxis.

Diese Tests sind dadurch im Trainings- und Wettkampfjahr (TWJ) verstärkt (jeweils vier- bis sechsmal) anzuwenden.

Die zeitliche Einordnung von leistungsdiagnostischen Untersuchungen und Kontrollen zur Entwicklung der aeroben und anaeroben Leistungsfähigkeit im 400m-Langsprint wird am Beispiel des Trainings- und Wettkampfnjahres 1988/89 erläutert (Tabelle 27).

Tabelle 27

Die zeitliche Einordnung von leistungsdiagnostischen Untersuchungen und Kontrollen im Trainings- und Wettkampfnjahr

Periodisierung/methodisch- inhaltliche Zielstellung	Woche (1988/89)	Einordnung leistungsdiagnostischer Untersuchungen/Kontrollen
<u>1. Vorbereitungsperiode</u>	41	KZA-Stufentest
1. Mesozyklus/1. Makrozyklus (6 Wochen)	42	
zielgerichteter allgemein- vielseitiger Trainingsaufbau	43	
	44	
	45	
	46	KZA-Stufentest/"vita-maxima"-Test

2. Mesozyklus/1. Makrozyklus (6 Wochen)	47	
disziplinspezifischer	48	10x30m(fliegend)-Test
grundlegender Trainings- aufbau	49	
	50	4x400m-Feldtest (I ₃)/ 2x80m-Lichtschrankentest
	51	
	52	

3. Mesozyklus/1. Makrozyklus (6 Wochen)	1	
disziplinspezifischer	2	10x30m(fliegend)-Test
spezieller Trainingsaufbau	3	
	4	4x400m-Feldtest (I ₂)/ 2x80m-Lichtschrankentest
	5	
	6	Laufstreckenstufentest

Fortsetzung Tabelle 27

Periodisierung/methodisch-inhaltliche Zielstellung	Woche (1988/89)	Einordnung leistungsdiagnostischer Untersuchungen/Kontrollen
4. Mesozyklus/Hallenwettkampfs- serie (4 Wochen)	7 8 9	(Hallenmeisterschaften)
Leistungsausprägung	10	(Hallenweltmeisterschaften)

<u>2. Vorbereitungsperiode</u>	11	
5. Mesozyklus (a)/2. Makrozyklus (4 Wochen)	12 13	4x1000m-Feldtest
Höhentrainingslager	14	4x1000m-Feldtest

5. Mesozyklus (b)/2. Makrozyklus (6 Wochen)	15 16	
disziplinspezifischer grundle- gender Trainingsaufbau auf hö- herem Niveau gegenüber dem	17 18 19	
2. Mesozyklus	20	10x30m(fliegend)-Test KZA-Stufentest

6. Mesozyklus/2. Makrozyklus (6 Wochen)	21	4x400m-Feldtest (I ₃)/ 2x80m-Lichtschrankentest
disziplinspezifischer spezieller Trainingsaufbau, Entwicklung der komplexen wettkampfspezi- fischen Leistungsfähigkeit	22 23 24 25	
	26	10x30m(fliegend)-Test

7. Mesozyklus/1. Wettkampfs- serie (6 Wochen)	27	4x400m-Feldtest (I ₂)/ 2x80m-Lichtschrankentest
Leistungsausprägung	28 29 30 31	Laufstreckenstufentest (LA-Meisterschaften)
	32	10x30m(fliegend)-Test

Fortsetzung Tabelle 27

Periodisierung/methodisch- inhaltliche Zielstellung	Woche (1988/89)	Einordnung leistungsdiagnostischer Untersuchungen/Kontrollen
8. Mesozyklus/2. Wettkampfserie (5 Wochen) Leistungsausprägung	33	4x400m-Feldtest (I ₂)
	34	Laufstreckenstufentest
	35	
	36	
	37	(LA-Weltcup)

Diese zeitliche Einordnung der aufgeführten leistungsdiagnostischen Untersuchungen und Kontrollen (TM-Kontrollen) entspricht im wesentlichen dem trainingsmethodischen Terminplan. Außerdem ermöglicht dieser Zusammenhang von trainingsmethodischer Zielstellung in den einzelnen Trainingsabschnitten (Mesozyklen) und sportmedizinischer Leistungsdiagnostik eine objektive Belastungsgestaltung im Trainings- und Wettkampfsjahr sowie das Aufstellen trainingsmethodisch und physiologisch relevanter Belastungsprogramme für den Trainingsprozeß. Die einzelnen Untersuchungen wurden in den zugeordneten Trainingsabschnitten zu einem großen Teil realisiert. Während im Trainingsabschnitt des zielgerichteten allgemein-vielseitigen Trainingsaufbaues (allgemeine Ausdauer) der KZA-Stufentest oder der 4x1000m-Feldtest bereits einen festen Platz einnehmen, wird der 4x400m-Feldtest oder der Laufstreckenstufentest im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer oft nur vereinzelt durchgeführt. Zur Objektivierung der Schnelligkeitsfähigkeit sowie der anaerob-alactaciden Energiebereitstellung erhält neben dem 10x30m(fliegend)-Test auch der neu konzipierte und erprobte 2x80m-Lichtschrankentest durchaus eine Berechtigung.

Nicht berücksichtigt wurde in Tabelle 27 die Einordnung von TM-Kontrollen, wie der 6x400m(I₃)-Test oder der 3x400m(I₂)-Test, die trainingsmethodisch zur Beurteilung der Belastungsgrenzen (I₃-Test) bzw. der Leistungsgrenze (I₂-Test) eingesetzt werden. Diese Tests können durchaus in den dafür vorgesehenen Trainingsabschnitten realisiert werden.

Die Darstellungen in der Tabelle 27 sollen praktisch den Lösungsweg für ein bioenergetisch begründetes methodisches Vorgehen im Trainingsprozeß aufweisen.

Diese Vielzahl der Untersuchungsmöglichkeiten soll nicht den Eindruck hinterlassen, daß der Trainingsprozeß nur noch aus Tests besteht. Es geht vielmehr darum, das Training wirksam zu unterstützen und Wege aufzuzeigen, mit welchen Mitteln und Möglichkeiten die weitere inhaltliche Trainingsgestaltung vorgenommen werden kann. Außerdem erfüllen sie die gestellte Aufgabe, die wesentlichen konditionellen Fähigkeiten im 400m-Langsprint zu objektivieren.

Darüber hinaus erfährt mit diesem Vorgehen in der sportwissenschaftlichen Praxis der Einsatz des biochemischen Parameters Lactat eine weitere Begründung, wodurch ein wesentliches Resultat zur Bestätigung der 1. Arbeitshypothese erhalten werden konnte.

5.2. Der Stellenwert der aeroben Leistungsfähigkeit im 400m-Langsprint

Die Ergebnisse aus Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit deuten darauf hin, daß die Leistungsentwicklung eines 400m-Athleten eng mit der Zunahme der Entwicklung aerober Energiestoffwechsellvoraussetzungen verknüpft ist. Die individuellen Ergebnisse aus Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit im Jahres- und Mehrjahresverlauf unterstützen die Auffassung, daß zur energetischen Sicherung einer anspruchsvollen Wettkampfleistung die aeroben Leistungsvoraussetzungen ein hohes Niveau erreichen müssen.

Geht man davon aus, daß während der glykolytischen ATP-Resynthese die Glyceraldehyd-3-phosphat-Dehydrogenasereaktion infolge der reaktionshemmenden NADH-Bildung einen limitierenden Einfluß ausübt (SALTIN und KARLSSON, 1971; KARLSSON et al., 1972; HOLLOCZY et al., 1975; JAKOWLEW, 1977; MARGARIA, 1982; RAPOPORT, 1983; SAHLIN, 1983), muß diese sogenannte "Flaschenhalsreaktion" zur Aufrechterhaltung des glykolytischen Energiestoffwechselweges umsetzungsfähiger gestaltet werden. Das geschieht durch den Malat-Aspartat-Shuttlemechanismus an der Mitochondrienmembran, wodurch auf oxidativem Weg infolge des Elektronentransfers für die Bildung von 1,3-Diphosphoglycerat wieder NAD^+ in ausreichender Menge zur Verfügung gestellt wird. SCHANTZ (1986) und GRAHAM und SALTIN (1989) haben in ihren Untersuchungen diesen Shuttle-Mechanismus in seiner Wirkung auf die sportliche Leistung sowie in seiner Adaptation im Trainingsprozeß nachgewiesen.

Die eigenen Ergebnisse aus den langjährigen Untersuchungen können diese Überlegungen bestätigen. Die aerobe Leistungsfähigkeit muß in der Entwicklung von 400m-Spitzenathleten immer stärker ausgeprägt werden. Das bedeutet, daß eine hohe 400m-Wettkampfleistung nur durch ein hohes Niveau der aeroben Energiestoff-

wechselvoraussetzungen möglich ist. Neben den ausgewiesenen Ergebnissen in Tabelle 11 und 12 zur Entwicklung der Leistung und der aeroben Leistungsfähigkeit an 400m-Spitzenathleten kann vor allem an dem individuellen Beispiel in Abb. 21 die Veränderung der v_{L4} -Werte im Training bis an die Wettkampfphase heran in einem Trainings- und Wettkampfsjahr verfolgt werden. Die aerobe Leistungsfähigkeit, ausgedrückt durch die Größe v_{L4} , erreicht vor der Wettkampfphase ihren höchsten Wert.

Demgegenüber stagnieren die Wettkampfleistungen, wenn Fortschritte in der Entwicklung des aeroben Energiestoffwechsels ausbleiben. Das Beispiel des Sportlers 017 (Abb. 23) weist diesen Zusammenhang nachdrücklich aus. Weitere in diese Richtung verlaufende Befunde können angefügt werden, würden aber den Umfang dieser Arbeit überlasten (SCHÄFER et al., 1984; SONNTAG et al., 1984).

Diese erhaltenen Ergebnisse lassen die Frage offen: Welches Niveau und welchen Stellenwert nimmt nun die aerobe Energiebereitstellung ein?

Aus dem Verlauf der Mehrjahresentwicklung der 400m-Athleten vom Nachwuchs bis zur Weltspitze kann man feststellen (Tabelle 12), daß im männlichen Bereich der v_{L4} -Wert um 5,0 m/s und im weiblichen Bereich um 4,5 m/s erreicht werden sollte. Damit wird eine wesentliche Voraussetzung erfüllt, wodurch der Energielieferprozeß in seinen Wechselwirkungen für die bioenergetische Sicherung einer hohen Wettkampfleistung auf einem notwendig hohen Niveau weiter ausgerichtet werden kann.

In engem zeitlichen Bezug stehende leistungsdiagnostische und Wettkampfuntersuchungen haben gezeigt, daß 55% der Variabilität der Wettkampfzeit (t_{400}) durch die aerobe Leistungsfähigkeit, dargestellt an der Größe v_{L4} , beschrieben werden kann. Hiermit kommt der hohe Stellenwert der aeroben Leistungsfähigkeit für eine 400m-Wettkampfleistung zum Ausdruck. Während SULTANOW (1981) dem 400m-Wettkampf nur 10% der Energiebereitstellung aus aeroben Stoffwechselmechanismen zuordnet, haben MEDBÖ und TABATA (1989) die Beteiligung aerober Energiebereitstellung während intensiver Belastung von 60 Sekunden mit 50% beschrieben. Diese Untersuchungsergebnisse von MEDBÖ und TABATA (1989) festigen die Auffassung, daß im 400m-Wettkampf bzw. auch in den Wettkämpfen der Kurzeitdauer die aerobe Leistungsfähigkeit aufgrund des NADH/NAD^+ -Mechanismus und des oxidativen Lactatabbaus in der belasteten Muskulatur (BROOKS, 1986; CONNETT et al., 1986) einen wesentlichen leistungsbeeinflussenden Faktor dargestellt. Er ist zur Erhöhung der Belastbarkeit und der Leistungsfähigkeit des Organismus in der sportmethodischen Einflußnahme unter Berücksichtigung individueller muskulärer Gegebenheiten ständig weiter auszuprägen.

Die erhaltenen Ergebnisse zur Entwicklung und zum Einfluß der aeroben Leistungsfähigkeit auf die 400m-Wettkampfzeit bestätigen den leistungsbeeinflussenden Stellenwert der aeroben Energiebereitstellung aus der 2. Arbeitshypothese.

Diese Ergebnisse haben für die weitere wissenschaftliche Trainingssteuerung, für die wissenschaftskonzeptionellen Entscheidungen im Trainingsprozeß von KZA-Sportarten und für die Praxis der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik einen Neuheitswert. Die Begründung kann vor allem aus den theoretischen Darlegungen von SCHANTZ (1986), BROOKS (1986) und CONNETT et al. (1986) sowie von LEINONEN (1980), HOLLOSZY und COYLE (1984), HÄCKER et al. (1987) und KATZ und SAHLIN (1988) entnommen werden.

Die Begründung des Stellenwertes der aeroben Leistungsfähigkeit für 400m-Wettkämpfe bzw. für Wettkämpfe in Sportarten der KZA läßt noch das Problem offen, wie und mit welchem trainingsmethodischen Vorgehen wird Einfluß auf die Entwicklung der aeroben Energiebereitstellung ausgeübt.

Untersuchungsergebnisse (z. B. in Tabelle 17/1 und Tabelle 18) weisen darauf hin, daß sich ein Dauerlauf zwischen 8 und 12 km (männlich) bzw. 7 und 10 km (weiblich) mit einer Belastungsintensität (Laufgeschwindigkeit) innerhalb der Geschwindigkeiten v_{L3} und v_{L4} , die aus der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung nach dem KZA-Standardtest oder dem 4x1000m-Feldtest ermittelt worden sind und einer Belastungsdauer um 45 Minuten gut eignet. Dadurch werden unter Inanspruchnahme des Kohlenhydratstoffwechsels im allgemeinen die Grundvoraussetzungen zur aeroben Energiebereitstellung ausgebildet (Kapillarisierung der Muskulatur, Erhöhung der Mitochondrien, Verbesserung des Substratdurchsatzes u. a.).

Darüber hinaus sind zur Rekrutierung der schnell kontrahierenden Muskelfaser (FTF) intensivere Belastungsreize anzuwenden, ohne den lactaciden Energiestoffwechsel wesentlich zu beanspruchen. Solche Reizwirkungen können über kurze, intensive Belastungsserien, z. B. 10x100 m bzw. 10x200 m im Intensitätsbereich NI (vis 79,9% der individuellen 100m- bzw. 200m-Bestzeit) erhalten werden.

In diesem Zusammenhang ist es sehr wichtig, den biochemischen Parameter Lactat für die Kontrolle der bioenergetischen Antwortreaktionen auf die Belastungen einzusetzen. Während im Dauerlauf ein Wert von 4 mmol/l nicht überschritten werden sollte, darf der Wert nach der intensiveren Serienbelastung 6 mmol/l nicht oder nur unwesentlich darüber hinausgehen.

Dieses differenzierte Vorgehen zur Belastungssteuerung liegt in der Rekrutierung der STF, vor allem für Ausdauerleistungen sowie der FTF besonders für die intensiven Belastungsserien begründet. Ausgehend davon, daß die FTF

bioenergetisch über gute Voraussetzungen für den anaeroben Energiestoffwechsel verfügen, sollte die Blutlactatkonzentration nach den intensiven Serienbelastungen nicht wesentlich unter 6 mmol/l erreicht werden. Eine unterschwellige Belastung wäre die Folge.

Demgegenüber sollten bei DL-Belastungen die Blutlactatkonzentrationen 4 mmol/l nicht überschreiten, da die STF einerseits über eine hohe aerobe Stoffwechsellkapazität verfügen und andererseits schnell innerviert werden können. Sie werden aber durch eine Übersäuerung praktisch "überreizt" (Tabelle 18).

Weiterhin kann der Einsatz von 4 bis 6 Dauerläufen zur Verbesserung von Wiederherstellungsprozessen nach intensiven Trainingseinheiten empfohlen werden (SCHÄFER, 1989), wenn die Laufgeschwindigkeiten zwischen v_{L2} und v_{L3} betragen. Mit dieser Dauerlaufbelastungen kann vor allem eine effektive Sauerstoffverwertung ausgeprägt werden. Die Untersuchungen über den Verlauf von DL-Belastungen (Tabelle 17/1) nach einem Laufbandstufentest zur Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit haben ergeben, daß eine schlechte Ausnutzung der maximalen Sauerstoffaufnahme am aerob-anaeroben Übergang zu schlechten individuellen Dauerlaufleistungen führt. Das deutet darauf hin, daß eine schlechte Dauerlaufleistung mit einer niedrigen individuellen aerob-anaeroben Übergangsschwelle verknüpft ist. Unter diesem Aspekt kann man mit einem Laufbandstufentest, der mit einem "vita-maxima"-Test verbunden ist, auf das individuelle Leistungsvermögen am aerob-anaeroben Übergang schließen. In der letzten Zeit haben sich eine Vielzahl von Autoren mit der Problematik der Bestimmung des individuellen aerob-anaeroben Übergang befaßt (KEUL et al., 1979; PESSENHOFER et al., 1981; STEGMANN und KINDERMANN, 1981; SIMON et al., 1981). Dadurch, daß der individuelle aerob-anaerobe Übergang von vielen Faktoren beeinflusst wird (z.B. von der Belastungsgestaltung während der Untersuchung oder vom Auswerteverfahren), ist es sehr schwer, eine hohe praktische Relevanz des Untersuchungsverfahrens zu erreichen. Die erhaltenen Ergebnisse, die in den Tabellen 16, 17/1 und 17/2 dargestellt sind, führen vor allem zu der Schlußfolgerung, daß die individuelle anaerobe Schwelle sehr stark von der prozentualen Ausschöpfung der maximalen Sauerstoffaufnahme am v_{L4} -Wert abhängen muß.

Damit erfolgt eine Zustimmung zur Auffassung von PANSOLD et al. (1986), daß dem tatsächlichen Wert einer möglichen höheren Aussagekraft der individuellen anaeroben Schwelle für die Trainingspraxis noch weiter belegt werden sollte.

Das ausgewiesene trainingsmethodische Vorgehen zur Entwicklung der aeroben Energiebereitstellung - begründet aus eigenen Untersuchungen und Erfahrungen - stützt sich auch auf Arbeiten von BALDWIN et al. (1972), KARLSSON et al. (1975), KONOPKA (1981), TESCH und KARLSSON (1985), BUHL et al. (1986), SCHÜRCH et al. (1986), BUHL und NEUMANN (1987), HÄCKER et al. (1987), ARMSTRONG (1988), DICKHUTH et al. (1988) sowie BUHL et al. (1990).

Die Einordnung der bioenergetischen Leistungsfähigkeit wurde entsprechend den Auffassungen von SAHLIN (1986) zur Schwellenproblematik vorgenommen (Abb. 2). Damit verbunden ist, daß Belastungen an der anaeroben Schwelle mit der Mobilisation des Fettstoffwechsels verbunden sind und daß Belastungsintensitäten im Bereich der anaeroben Schwelle einerseits vom Grad der Ausschöpfung der maximalen Sauerstoffaufnahme geprägt sind und andererseits zur Erhöhung der Dynamik der "Fließgleichgewichte" zur Energiebereitstellung während intensiver Belastung beitragen.

5.3. Die Bedeutung und der Einfluß der anaeroben Energiebereitstellung auf die Entwicklung des Leistungsvermögens im 400m-Lang sprint

Die 400m-Wettkampfleistung wird energetisch im wesentlichen aus den Energiespeichern der spezifisch belasteten Muskulatur abgesichert, wobei die ATP-Re-synthese über die Substratphosphorylierung ihr Maximum erreicht.

Die aus den Wettkampfuntersuchungen (Abb. 25) ermittelte Beziehung zwischen der maximalen Lactatkonzentration und der Wettkampfzeit führt zu der Konsequenz, daß für eine international bedeutungsvolle 400m-Zeit sowohl bei den männlichen als auch bei den weiblichen Athleten Lactatkonzentrationen um 24 und 25 mmol/l erwartet werden können. Damit wird der leistungslimitierende Charakter der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung nicht nur unterstrichen, sondern auch als ein mögliches Eignungskriterium für den 400m-Lang-sprint ausgewiesen.

Daraus leitet sich für den Trainingsprozeß die Schlußfolgerung ab, daß eine Leistungsentwicklung des Organismus neben einer Erhöhung aerober Energiestoffwechselforaussetzungen unbedingt mit einer Verbesserung des lactaciden Energiestoffwechselweges verknüpft sein muß. Berücksichtigt man den Funktionsverlauf Lactatkonzentration und Wettkampfzeit (Mittelwerte) über die einzelnen Wettkampfstrecken (60 m, 100 y, 100 m, 200 m, 400 m), so kann trainingsmethodisch daraus zwischen Leistung und Kapazität des glykolytischen Energiestoffwechselsystems differenziert werden. Unter diesem Aspekt ist auch der trainingsmethodische Ansatz zur Entwicklung der speziellen Ausdauer, die bioenergetisch im wesentlichen über die glykolytische Energiebereitstellung realisiert wird, zu sehen. Empfohlen werden Trainingsreize zur Erhöhung der Lactatbildungsgeschwindigkeit sowie vor allem im Zeitraum der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung Trainingsreize zur Verbesserung der Lactatverträglichkeit. Der Funktionsverlauf in Abb. 24 weist im wesentlichen auf die Bedeutung des anaeroben Energiestoffwechsels zur bioenergetischen Sicherung von Sprintleistungen hin, wobei für den 400m-Wettkampf sowohl ein hohes Lactatbildungsvermögen als auch das Niveau der Lactatverträglichkeit von Bedeutung ist. Demgegenüber wird in Abb. 25 vor allem der Einfluß der glykolytischen Energiebereitstellung auf die Wettkampfleistung zum Ausdruck gebracht.

Die erhaltenen Untersuchungsergebnisse, die in den beiden Abbildungen 24 und 25 dargestellt sind, charakterisieren entscheidende Faktoren der bioenergetischen Sicherung einer 400m-Wettkampfleistung. Während in Abb. 24 Wettkampfleistungen bis etwa 10 Sekunden in überwiegender Maße durch die anaerob-alactacide Energiebereitstellung geprägt sind, werden Wettkampfleistungen bis etwa 35 Sekunden sowohl durch den anaerob-alactaciden als auch durch den anaerob-lactaciden Energiestoffwechselweg energetisch abgesichert. Damit ist für eine 200m-Wettkampfleistung in der Leichtathletik neben den alactaciden Energiestoffwechsell Voraussetzungen eine hohe Leistung der lactaciden Energiebereitstellung zur schnellen ATP-Resynthese notwendig.

Die Wettkampfleistungen ab 35 Sekunden sind darüber hinaus durch Lactatakkumulationserscheinungen gekennzeichnet, womit praktisch die Kapazität des lactaciden Energiestoffwechsels in Anspruch genommen werden muß. Unter diesem Aspekt sind zur Entwicklung von 400m-Athleten trainingsmethodisch Trainingsmittel sowohl zur Beanspruchung des alactaciden als auch des lactaciden Energiestoffwechsels im Sinne von Leistung und Kapazität dieses Energieliefer-systems einzusetzen.

Während zur Entwicklung des alactaciden Energiestoffwechsels Schnelligkeits- und Schnellkraftbelastungen vollzogen werden, sind zur Entwicklung der Leistung des lactaciden Energieliefersystems z. B. intensive Läufe (entsprechend der geplanten Trainingsintensität) zwischen 120 bis maximal 250 m anzuwenden.

Die Entwicklung der Kapazität des lactaciden Energiestoffwechselsystems ist dann in der unmittelbaren Wettkampfvorbereitung mit längeren intensiven Läufen zwischen 300 und 500 m schrittweise (mit steigender Intensität und Verlängerung der Laufstrecke) vorzunehmen. Geeignet sind auch Serienbelastungen von intensiven Läufen bis maximal 200 m. Dabei ist der Erhalt oder sogar einer weiteren Ausprägung der aeroben Leistungsfähigkeit die notwendige trainingsmethodische Konsequenz zu widmen.

Dieses Vorgehen dient der Verbesserung der Lactatverträglichkeit und ermöglicht vor allem eine Erhöhung des "Fließgleichgewichtes" bioenergetischer Prozesse zur Sicherung der 400m-Leistung. Der Zusammenhang zwischen 400m-Wettkampfzeit und der nach Wettkampfbelastung ermittelten Blutlactatkonzentration (Abb. 25) weist durchaus auf die Gültigkeit dieser energetischen Wechselwirkungen hin und bestätigt eindrucksvoll die 3. und auch die 4. Arbeitshypothese.

Dieser Zusammenhang bekräftigt, daß man die Blutlactatkonzentration nach sportlicher Belastung nur zeitbezogen beurteilen kann und daß man nicht allgemein von

einer "Lactatmobilisation" sprechen darf.

Eine hohe Lactatacidose ist somit differenziert zu betrachten, wobei die von SAHLIN (1978) beschriebenen ungünstigen Einflüsse auf den Energieumsatz zu beachten sind. Besondere Aufmerksamkeit ist nach intensiven und umfangreichen Belastungen, z. B. nach zu intensiven 6x400m-Trainingsmittel im Intensitätsbereich I_3 (siehe Tabelle 24) der (neben einer hohen lactaciden Beanspruchung) sogenannten bioenergetischen "Notsituation" zu widmen, wobei durchaus der Purinstoffwechsel (Bildung des IMP, das bis zur Harnsäure abgebaut wird) stark in Erscheinung treten kann (WEICKER, 1988). Eigene (noch unvollständige) Untersuchungsergebnisse führen bereits zur Auffassung, daß derartige überhöhte Belastungen mit relativ langandauernden Wiederherstellungsprozessen verbunden sind.

Die "Fließgleichgewichte" energieliefernder Prozesse beziehen sich in dieser Arbeit prinzipiell auf den Kohlenhydratstoffwechsel. Unter diesem Aspekt sind sowohl die Trainingsbelastungen als auch die Adaptations- und Wiederherstellungsprozesse einzuordnen. Der Trainingsprozeß ist in Intensität und Dauer so zu planen und zu realisieren, daß im wesentlichen nur der Kohlenhydratstoffwechsel in Anspruch genommen werden kann und darf. So führen z. B. überdimensionierte DL-Belastungen, die möglicherweise den Fettstoffwechsel zu hoch beanspruchen, zu einer betonten "Ökonomisierung" des aeroben Energiestoffwechsels. Die Folge könnte eine starke Abflachung der Lactat-Leistungsbeziehung (aus Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit) sein. Zu intensive und langandauernde Belastungen vermindern dagegen vor allem den Substratvorrat (Glykogen), wodurch die Wiederherstellungsprozesse nachweislich viel Zeit beanspruchen (HERMANSEN et al., 1967; COSTILL et al., 1971; HULTMAN, 1971 und 1986; KARLSSON et al., 1974; PIEPER et al., 1976; SALTIN und KARLSSON, 1977; HUGHES et al., 1982; PETERS-FUTURE, 1987; REED et al., 1989).

Der Trainingsprozeß im Abschnitt der speziellen Ausdauer ist in Bezug des Kohlenhydratstoffwechsels besonders kontrollfähig zu gestalten (die Belastungsgestaltung, die Wiederherstellung oder die TM-Objektivierungen), damit die Energiebereitstellung für den Leistungsvollzug in den richtigen Relationen entwickelt werden kann und damit über die Größen v_{L4} , Konstante b oder die Lactatbildungsgeschwindigkeit Anhaltspunkte zur Effektivität des Trainings erhalten werden können.

Diese Darstellungen unterstreichen, daß die trainingsmethodische Einwirkung z. B. auf die Lactatbildungsgeschwindigkeit eine wesentliche Voraussetzung zur Entwicklung der speziellen Ausdauer bedeutet. Aus diesem Grunde wurde mit dem Laufstreckenstufentest, der sowohl als Laboruntersuchung als auch als Feldtest absolviert werden kann, eine Möglichkeit zur Objektivierung der Lactatbildungsgeschwindigkeit des Organismus gefunden. Darüber hinaus können mit diesem Test aus den erhaltenen Lactat-Weg (Laufstrecke)-Funktionen bzw. Lactat-Zeit(Laufzeit)-Funktionen rechtzeitig trainingsmethodische Korrekturen in der Trainingsplanung vorgenommen werden, gegenüber KINDERMANN und SCHNABEL (1980) eine notwendige Erweiterung der Untersuchungsbasis.

Rechtsverschiebungen der ermittelten Funktionen werden als Leistungsfortschritte bewertet, während vor allem Linksverschiebungen oder ein zu hoher Anstieg der ausgewiesenen Funktionen unbedingt eine Korrektur des trainingsmethodischen Vorgehens erfordern. Angezeigt sind kürzere Intensitätsläufe (Entwicklung der Leistung des anaerob-lactaciden Systems) sowie Trainingsreize zur weiteren Entwicklung der Schnelligkeits- und Schnellkraftfähigkeit (Ausprägung des anaerob-alactaciden Energieliefersystems) im 400m-Lang sprint (SCHÄFER und SONNTAG, 1979; WILSON et al., 1981; SCHARSCHMIDT, 1986; SCHLICHT et al., 1988).

Die Leistungsentwicklung eines Athleten kann im prognostischen Sinne dahingehend überprüft werden, ob sein Lactatbildungsvermögen aus den im Laufstreckenstufentest erhaltenen Lactat-Zeit-Funktionen (Realisierung des Tests mit mehreren Geschwindigkeiten) mit der Lactat-Zeit-Funktion aus den 400m-Wettkampfuntersuchungen übereinstimmt. Verwendet wird dazu der alineare Zusammenhang zwischen der Lactatbildungsgeschwindigkeit und der Testvorgabegeschwindigkeit. Die intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeiten (für den alinearen Zusammenhang) lassen sich aus den ermittelten Lactat-Zeit-Funktionen berechnen. Die Funktionen in Abb. 25 eröffnen für die Bewertung von 400m-Leistungen offenbar neue Wege.

Am Beispiel der Sportler 017 und 018 bedeutet diese Form der Auswertung für die Trainingspraxis, daß mit einer zu geringen Lactatbildungsgeschwindigkeit (Sportler 018) die Leistungsfähigkeit über Trainingsmittel im Sinne der Schnellkraft und der Schnelligkeit sowie I_2 - und I_1 -Läufe um 20 bis 25 Sekunden zur Entwicklung der Leistung des lactaciden Energiestoffwechselsystems verbessert werden kann, während mit einer relativ hohen Lactatbildungsgeschwindigkeit (Sportler 017) die Effektivität der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung erhöht werden muß. So sichert der Sportler 017 im Ergebnis eines ausgewiesenen $6 \times 400m(I_3)$ -Tests, der einen engen zeitlichen Bezug zum

Laufstreckenstufentest hatte, infolge einer Blutlactatkonzentration von 19,1 mmol/l die trainingsmethodisch vorgegebene I_3 -Leistung mit einer zu hohen lactaciden Energiebeteiligung gegenüber der bioenergetischen Erwartung (14 mmol/l) ab. Eine Leistungsverbesserung des Sportlers 017 wäre möglich, wenn neben einer Erhöhung der Effektivität der glykolytischen Energiebereitstellung (Verbesserung von Leistung und Kapazität des lactaciden Systems) auch eine Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit angestrebt wird. Mit einem v_{L4} -Wert des Sportlers 017 von 4,17 m/s könnten für eine höhere 400m-Leistung wesentliche energetische Einschränkungen vorliegen.

Am Beispiel der Sportlerin 03 kann aus der Lactatbildungsgeschwindigkeit-Geschwindigkeits (Testgeschwindigkeitsvorgabe)-Funktion entnommen werden, daß sie eine Leistung t 400 m = 50,0 s (8,0 m/s) aufgrund ihrer relativ hohen Lactatbildungsgeschwindigkeit mit einer Blutlactatkonzentration von 25,5 mmol/l tolerieren müßte. Ein in unmittelbarer Nähe liegender Wettkampf weist aus, daß die Wettkampfzeit von t 400 m = 51,12 s mit einem Lactatwert von 21,5 mmol/l realisiert worden ist. Die Sportlerin 03 kann praktisch analog des Sportlers 017 beurteilt werden. Auch hier fehlen aufgrund des relativ geringen v_{L4} -wertes ($v_{L4} = 3,80$ m/s) notwendige Voraussetzungen zur bioenergetischen Sicherung der 400m-Leistung.

Die Entwicklung der anaeroben Leistungsfähigkeit ist eng verbunden mit einer Entwicklung der alactaciden Energiestoffwechsellvoraussetzungen. Leistungsfortschritte sind immer dann zu beurteilen, wenn sich der v_{L6} -Wert aus dem Lichtschrankentest erhöht oder die Wertigkeit W 30 m sich aus dem 10x30m(fliegend)-Test vermindert. Aus den individuellen Verläufen der Wertigkeit W 30 m in einer Mehrjahresbetrachtung kann entnommen werden, daß die sportliche Höchstleistung im 400m-Langsprint offenbar über eine hohe Leistungsfähigkeit des alactaciden Energiestoffwechselweges, ausgedrückt durch eine stark erniedrigte Wertigkeit W 30 m, vorbereitet werden kann. Vorteilhaft kann sich für die Trainingspraxis auch der intensitätsabhängige ALQ-Wert erweisen. Er kann zur Objektivierung alactacider Stoffwechsellvoraussetzungen sowie zu Vergleichsuntersuchungen von Trainingsabschnitt zu Trainingsabschnitt eingesetzt werden und ist eine sinnvolle Ergänzung der leistungsdiagnostischen Parameter, der aus den Untersuchungen zur intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeit zusätzlich errechnet werden kann. Die aufgeführten Ergebnisse in Abb.38 und 39 bestätigen eindrucksvoll die 5. Arbeitshypothese.

Insgesamt haben die Untersuchungen zur anaeroben Energiebereitstellung gezeigt, daß die Effektivität der Inanspruchnahme bioenergetischer Prozesse zur Leistung (Laufgeschwindigkeit) im speziellen Training erhöht wird. Besonders deutlich kommt das in den Abflachungen der Lactat-Geschwindigkeitsfunktionen des 4x60-Sekunden-Stufentests auf dem Laufband bzw. des 4x400m-Feldtests zum Ausdruck. Oftmals wird zur Abflachung der Funktion eine Abnahme der v_{L4} -Werte gefunden. Dadurch, daß dieser v_{L4} -Wert eine hohe Relevanz zur aeroben Leistungsfähigkeit aufweist (Abb. 11), muß somit eine Abnahme der aeroben Leistungsfähigkeit beurteilt werden. Eine Leistungsentwicklung in der speziellen Ausdauer ist aufgrund der erhobenen Befunde mit dem Erhalt bzw. mit einer weiteren Ausprägung der aeroben Energiebereitstellung verbunden, während eine Erniedrigung des v_{L4} -Wertes als trainingsmethodischer Mangel einzuordnen ist. Die Ergebnisse aus dem 4x400m-Feldtest an 400m-Spitzenathleten weisen aus, daß im Trainingsprozeß der speziellen Ausdauer keine Abnahme des v_{L4} -Wertes zu verzeichnen ist und daß allgemein eine Rechtsverschiebung der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung zu registrieren ist.

Dieses aus bioenergetischer Sicht begründete Herangehen an den trainingsmethodischen Aufbau von 400m-Athleten hat praktisch Neuheitswert und kann dem internationalen Niveau durchaus gerecht werden. Die leistungssportliche Entwicklung der 400m-Athleten 01, 02, 03, 04, 05, 06 und 14 sowie 002, 003, 004 und 005 aus dem Nachwuchsbereich bis z. T. zur Weltspitze berechtigen zur Formulierung dieser Auffassung. Die 400m-Leistungen zu den Europameisterschaften 1990 in Split (Jugoslawien) bestätigen die erzielten Leistungsfortschritte.

5.4. Die Wechselwirkung der aeroben und anaeroben Stoffwechselmechanismen während sportlicher Belastungen in der Kurzeitdauer

Leistungsfortschritte sind im wesentlichen davon abhängig, wie es gelingt, die einzelnen Faktoren zur Entwicklung einer sportlichen Leistung in den richtigen Relationen auszuprägen. Dadurch, daß die eigentliche sportliche Leistung in der motorischen Bewältigung einer bestimmten Anforderung besteht (SCHNABEL, 1981), ist für den Handlungsvollzug neben dem konstitutionellen und charakterlichen sowie technisch-koordinativen und technisch-taktischen auch der konditionelle Leistungsfaktor im Trainingsprozeß zu entwickeln und, entsprechend der bioenergetischen Sicherung der einzelnen Fähigkeiten zur Realisierung der Muskelkontraktion, zu analysieren und zu objektivieren.

Die aus leistungsdiagnostischen bzw. trainingswissenschaftlichen Untersuchungen erhaltenen Ergebnisse lassen eine Einordnung und eine Beurteilung der konditionellen Fähigkeiten des Athleten dann zu, wenn auch die gegenseitige Beeinflussbarkeit der einzelnen Energiestoffwechselwege sowie ihr Anteil an dem gesamten Energiebereitstellungssystem ausgewiesen werden kann.

Die mathematische Beschreibung des Zusammenhangs zwischen den Einflußgrößen

- aerobe Leistungsfähigkeit (v_{L4}),
- maximale Inanspruchnahme des lactaciden Energiestoffwechsels (L_{max}),
- unter submaximalen Belastungen verlaufende (ökonomisierte) lactacide Energiebereitstellung ($W I_2$),
- Schnelligkeitsleistung (t 80 m) im Sinne der alactaciden Energievoraussetzung

kann durchaus die Relationen der aufgeführten Energiestoffwechselwege für den Leistungsvollzug im 400m-Wettkampf charakterisieren, wobei die Variabilität von Einflußgröße zu Einflußgröße (z. B. von v_{L4} zu L_{max} zu $W I_2$) signifikant zunimmt.

Dieser, vor allem aus bioenergetischer Sicht, dargestellte Zusammenhang ist für den Trainingsprozeß zur Entwicklung von sportlichen Höchstleistungen offensichtlich Neuland. Der trainingsmethodische

Ansatz zur Entwicklung der sportlichen Leistung erfüllt bei erfolgreichen Athleten schon weitgehend die daraus abgeleiteten Forderungen:

- Im speziellen Training ist die aerobe Leistungsfähigkeit weiter zu erhöhen, um den oxidativen Lactatabbau (auch in der relativ unspezifisch belasteten Muskulatur) noch wirksamer zu gestalten und um den Malat-Aspartat-Shuttle-Mechanismus (Abb. 4), entsprechend den Untersuchungsergebnissen von SCHANTZ (1986), weiter zu intensivieren (Entfernung des auf glykolytischem Weg gebildeten NADH nicht nur über die LDH-Reaktion, sondern auch über den Elektronentransfer zur Bildung von NAD^+ auf **oxidativer Weise**) und
- es sind neben der Erhöhung der alactaciden Energiestoffwechsell Voraussetzungen vor allem die glykolytischen Energieliefermechanismen (Leistung und Kapazität des Energieliefersystems) zu entwickeln, d. h. eine notwendige hohe Lactatbildungsgeschwindigkeit muß auch muskulär toleriert werden können.

Ein weiterer Zusammenhang von aerober und anaerober Energiebereitstellung konnte zwischen der Größe v_{L4} (aus dem 4x5-Minuten-Stufentest) und dem aus dem anschließend durchgeführten "vita-maxima"-Test ermittelten anaeroben Ausdauerkoeffizienten (ANA) erhalten werden. Aus der Abb. 27 kann entnommen werden, daß leistungsstärkere Sportler neben einer höheren aeroben Leistungsfähigkeit auch eine Verbesserung der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung nachweisen können bzw. bei höherem v_{L4} -Wert wird ein gleicher ANA-Wert ermittelt. Das unterstreicht wiederholt die Forderung, daß die Erhöhung der sportlichen Leistung im 400m-Wettkampf mit einer Verbesserung der aeroben Energiebereitstellung verbunden sein muß.

Unter dem Aspekt der Effektivitätserhöhung des Energiestoffwechselsystems bzw. der Adaptationsprozesse im Training der speziellen Ausdauer, muß den Verläufen der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen von Test zu Test bzw. in den einzelnen Trainingsabschnitten hohe Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Die Ergebnisse aus den leistungsdiagnostischen Untersuchungen haben gezeigt, daß diese Funktionsverläufe weder zu steil noch zu flach verlaufen dürfen. So wurde im 4x60-Sekunden-Stufentest eine sogenannte "Sollfunktion" berechnet, die eine Einordnung sowohl zur aeroben Energiebereitstellung als auch zur Inanspruchnahme des anaerob-lactaciden Energiestoffwechsels zuläßt (Abb. 29).

Die sogenannte "Sollfunktion" beschreibt für die Athleten den anzustrebenden Leistungszustand. Die Ergebnisse von 400m-Spitzenathleten bestätigen, daß die ermittelten Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen im wesentlichen diesen Funktionsverlauf entsprachen.

Diese Art des Auswerteverfahrens leistungsdiagnostischer Laufbanduntersuchungen stellt einen neuen Weg zur Bewertung anaerober Energiestoffwechsell Voraussetzungen für Belastungen in der Kurzzeitausdauer dar. Es wurde eine Ergänzung von Untersuchungsmethoden erreicht, die sich nicht nur auf die Bestimmung von maximalen Blutlactatkonzentrationen nach intensiven Belastungen oder auf die maximale Leistungsabforderungen innerhalb einer kurzen Zeit konzentriert, sondern die die Inanspruchnahme von aeroben und anaeroben Energiestoffwechselmechanismen während stufenförmig ablaufenden kurzzeitigen Belastungen beschreiben bzw. bewerten kann.

Die Konstante b der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung wird als Ausdruck des Entwicklungsstandes von Kraftausdauereigenschaften sowie der sportartspezifischen Technik gewertet (PANSOLD, 1983). Sie kann aber auch im Sinne einer Anpassung von Fließsystemen bzw. -gleichgewichten der Energiebereitstellungsmechanismen beurteilt werden.

Die Auswertung der Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit erfolgte entsprechend dem vorgegebenen Gütekriterien (Bestimmtheitsmaß r^2 der Lactat-Leistungsbeziehung = 0,98) über den ermittelten v_{L4} -Wert und dem Wert der Konstanten b (Anstieg der Funktion). Unter diesen Voraussetzungen haben die Untersuchungsergebnisse der 400m-Spitzenathleten im Mehrjahresverlauf in der Regel eine Entwicklung des v_{L4} -wertes ausgewiesen. Diese v_{L4} -Werte wurden ständig in Verbindung mit den Werten der Konstanten b beurteilt.

Verfolgt man diesen Entwicklungsprozeß bis in den Nachwuchsbereich zurück, so konnte dort folgender alinearer Zusammenhang zwischen dem b-Wert und dem v_{L4} -Wert ermittelt werden:

$$b = -0,218 v_{L4}^2 + 1,863 v_{L4} - 3,151$$

$$n = 21$$

$$r = 0,70$$

$$\alpha = 1\%$$

mit dem Maximum

$$v_{L4} = 4,28 \text{ m/s}$$

$$b = 0,83 \text{ s/m (SONNTAG et al., 1983).}$$

Damit bestand eine Möglichkeit, die Athleten in ihrer bioenergetischen Leistungsfähigkeit einzuordnen. Die Sportler, die sich im Maximum befanden, hatten die größte Aussicht auf eine erfolgreiche Entwicklung ihrer sportlichen Leistung. Demgegenüber bekamen die Athleten mit einem hohen v_{L4} -Wert und niedrigem b-Wert Probleme im speziellen Training und mußten entweder den Langsprint aufgeben oder Abstriche in ihrer Leistungszielstellung zulassen. Die Untersuchungen ließen aufgrund ihrer geringen Anzahl keinen anderen Denkansatz zu. Aufgrund einer Vielzahl von neuen Untersuchungen (auch in anderen Sportarten) konnte ein linearer Zusammenhang gefunden werden, wobei die extremen Abweichungen negativ beurteilt werden (SONNTAG et al., 1983). SAUL (1987) fand, daß aus der genannten Funktion unter diesem Aspekt auch ein linearer Anstieg ermittelt werden kann, wenn die sogenannten "Extremwerte" (zu hoher v_{L4} -Wert und zu niedriger b-Wert) mit einer Standardabweichung von mindestens $s = 2,3$ nicht in die Berechnung der Funktion einbezogen werden.

Als neue Funktion wurde

$$b = 0,377 + 0,102 v_{L4}$$

$$n = 16$$

$$r = 0,50$$

$$\alpha = 5\%$$

erhalten.

Die Ergebnisse aus leistungsdiagnostischen Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit an 400m-Spitzenathleten weisen praktisch allgemein diesen

linearen Zusammenhang zwischen der Konstanten b und dem v_{L4} -Wert aus, wobei dieser Zusammenhang sogar am individuellen Beispiel (Sportler 003) gefunden werden konnte. Die Begründung im Sinn des Ausdrucks der Dynamik der Fließgleichgewichtseinstellung (JAKOWLEW, 1977) kann als durchaus berechtigt angesehen werden. Damit wird auch die 3. Arbeitshypothese erneut bestätigt.

Man erhält somit einen neuen Parameter für eine objektive Beurteilung energetischer Voraussetzungen zur Entwicklung der individuellen Leistungsfähigkeit, er kann aus allen Stufentests zur Auswertung einbezogen werden.

Ist dieser Zusammenhang gestört (z. B. zu hoher v_{L4} -Wert und zu geringer b -Wert), so sind im Trainingsprozeß die Trainingsmittel nicht in den richtigen Relationen zur Entwicklung aerober und anaerober Leistungsvoraussetzungen eingesetzt worden. Leistungsstagnation oder Trainingsrückstände sind oftmals die Folgen.

In eindrucksvoller Weise wurde dieser Zusammenhang (b und v_{L4}) in verschiedenen Sportarten dargestellt (Abb. 42). Die leichtathletischen 400m-Athleten haben gegenüber den anderen Sportarten eine deutlich bessere Dynamik der energetischen Prozesse aus der Sicht der Fließgleichgewichtseinstellung. Dadurch, daß dem aeroben Energiestoffwechsel der glykolytische Weg "vorgelagert" ist, wäre eine Erhöhung des Energiedurchsatzes (Energiefließsystem) bei höherer aerober Leistungsfähigkeit durchaus eine Erklärung für die Kurzeitenausdauerdiagnostik.

Dieser lineare Zusammenhang zwischen der Konstanten b und des v_{L4} -Wertes stellt möglicherweise einen Ausdruck der Rekrutierung der FTF-Muskelfaser an die zu realisierende Leistung dar (begründet durch die hohe Reizschwelle der FTF).

In der Langzeitausdauer muß jedoch wesentlich mehr die Ökonomisierung der Energiestoffwechselprozesse (starkes Abflachen der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung), auch bedingt durch den offenbar höheren Anteil an STF-Muskelfasern der Athleten, zur Realisierung der Leistung beachtet werden.

Aus diesen Darlegungen kann im wesentlichen die 6. Arbeitshypothese bestätigt werden.

5.5. Zum Geschwindigkeitsverhalten im 400m-Langspurt

Die Untersuchungsergebnisse zum Geschwindigkeitsverhalten im 400m-Wettkampf sind analog den bereits ausgewiesenen Darstellungen von SCHÄFER (1989) sowie von LETZELTER/STEINMANN (1989) einzuordnen.

Allgemein kann der 400m-Lauf unterteilt werden in

- die Phase der Beschleunigung (bis etwa 100 m) und in
- die Phase der Schnelligkeitsausdauer (ab etwa 100 m).

Aus bioenergetischer Sicht können diese Phasen im wesentlichen durch den anaerob-alactaciden (Beschleunigungsphase) und durch den anaerob-lactaciden Energiestoffwechsel abgesichert werden.

Die Untersuchungsergebnisse deuten weiter darauf hin, daß die Phase der Schnelligkeitsausdauer aufgrund des Geschwindigkeitsabfalls im letzten Teilabschnitt (300 bis 400 m) energetisch differenziert bewertet werden muß. Dadurch, daß die Geschwindigkeitsdynamik sehr eng mit dem Energieliefermechanismus verbunden ist, kann die Phase der Schnelligkeitsausdauer bioenergetisch in

- den Abschnitt der Energiebereitstellung im Sinne der Leistung (bis etwa 300 m) und in
- den Abschnitt der Energiebereitstellung im Sinne der Kapazität des anaerob-lactaciden Energiestoffwechsels (von etwa 300 m bis 400 m)

unterschieden werden.

Die Geschwindigkeitsverläufe sind einerseits geprägt durch die energetischen Voraussetzungen des Athleten und von dem technisch-taktischen Laufverhalten. Das bedeutet, daß bei Kenntnis des energetischen Leistungszustandes des Athleten das technisch-taktische Laufverhalten im Wettkampf abgeleitet werden kann.

Die Geschwindigkeitsverläufe aus jeweils zwei Wettkämpfen (Lauf 1 und Lauf 2) der Athleten 003 und 01 stellen den Bezug zur Beurteilung der individuellen Leistungsfähigkeit dar. So hat der Sportler 003 bis zu etwa 250 m einen fast identischen Geschwindigkeitsverlauf in beiden Läufen und weist einen stärkeren Geschwindigkeitsabfall im 2. Lauf auf, was gegenüber dem 1. Lauf zu einer um 0,96 Sekunden schlechteren 400m-Zeit führte. (Abb. 19)

Ursachen können sein

- verminderte Fähigkeit in der Energiebereitstellung im Sinne der Kapazität des anaerob-lactaciden Energiestoffwechsels,
- Qualitätsverluste in der aeroben Energiebereitstellung,
- verminderter Substratdurchsatz sowie
- Störung der Dynamik der Fließgleichgewichtseinstellung.

Dadurch kann die glykolytische ATP-Resynthese nicht mehr in ausreichendem Maße aufrechterhalten werden und ein Geschwindigkeitsabfall besonders im letzten Teilabschnitt ist die Folge. Der Weg für das weitere Vorgehen im Training der wett-kampfspezifischen Vorbereitung erfolgt über eine Objektivierung des Leistungsvermögens des Athleten (z. B. mit dem 4x400m-Feldtest), wodurch die einzusetzenden Trainingsmittel physiologisch und methodisch begründet werden können.

Das Beispiel der Sportlerin 01 weist demgegenüber schon in der Beschleunigungsphase Unterscheidungsmerkmale zwischen den beiden Läufen aus. So wurde der Lauf 1 mit einer geringeren Geschwindigkeit als im Lauf 2 angegangen, wodurch die Geschwindigkeit in der Schnelligkeitsausdauerphase relativ lange gehalten werden konnte (bis etwa 300 m). Dagegen begann der Geschwindigkeitsabfall im Lauf 2 bereits relativ frühzeitig.

Der erfolgreiche Lauf 1 (Weltrekord) könnte vor allem darauf zurückzuführen sein, daß das alactacide Potential zu Beginn des Laufes nicht gleich voll ausgeschöpft worden ist und dadurch energetisch die Schnelligkeitsausdauerphase länger mit einer relativ gleichbleibenden Geschwindigkeit realisiert werden konnte. Diese Laufgestaltung (Lauf 1) ist im wesentlichen durch die Kenntnis einer hohen alactaciden Energievoraussetzung ausgelöst worden. Unter diesem Aspekt sind im 400m-Wettkampf taktische Laufverhalten (Einteilung der Laufgeschwindigkeit) möglich.

Diese Darstellungen der Geschwindigkeitsverläufe lassen erkennen, daß der 400m-Wettkampf von der Wirkungsweise der konditionellen Fähigkeiten der Athleten geprägt wird. Die Geschwindigkeitsdynamik im 400m-Wettkampf stellt offenbar einen Nachweis zur Einordnung der Leistungsfähigkeit eines Athleten dar, wobei der leistungslimitierende Charakter der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung besonders im Laufabschnitt 300 m bis 400 m zum Ausdruck kommt. Diese Ergebnisse sollen auch dazu beitragen, daß ein weiteres Aufhellen

leistungsstruktureller Probleme des 400m-Wettkampfes erreicht wird.

Die einzelnen energieliefernden Prozesse werden anhand des Geschwindigkeitsverlaufes eines 400m-Wettkampfes der Sportlerin 01 ($t_{400\text{ m}} = 48,56\text{ s}$) in Abb. 43 schematisch dargestellt.

Diese Darstellungsform gestattet eine geschwindigkeitsorientierte Einordnung der Inanspruchnahme einzelner Energiestoffwechselmechanismen während der 400m-Belastung (entsprechend der Darstellung in Abb. 1) und könnte als eine sinnvolle Differenzierung der konditionellen Fähigkeiten für den 400m-Lang-sprint mit den jeweiligen bioenergetischen Stoffwechselprozessen angesehen werden. Sie bildet eine allgemeine Grundlage für das trainingsmethodische Vorgehen zur Entwicklung einer hohen sportlichen Leistung im 400m-Wettkampf. Darüber hinaus werden damit für den Trainingsprozeß aus sportmethodischer und sportmedizinisch-biowissenschaftlicher Sicht die Wechselwirkungen zwischen Belastungsumfang oder Belastungsverfahren und -struktur (nach HARRE, 1986) begründet.

Die so initiierten Adaptationsprozesse tragen dazu bei, die Belastbarkeit des Athleten zielorientiert zu erhöhen und dienen somit dem Grundanliegen zur Ausprägung einer sportlichen Leistung.

Diese Art des Vorgehens im Trainingsprozeß zur Entwicklung der Leistungsfähigkeit im 400m-Lang-sprint ist im wesentlichen auf alle Sportarten in der KZA sowie in den Sportarten mit zeitweise hoher Inanspruchnahme anaerober Energiestoffwechselprozesse (Kampf- und Sportsportarten) übertragbar.

5.6. Der Zusammenhang von sportmedizinischer Leistungsdiagnostik und wissenschaftlicher Trainingssteuerung in der Kurzzeitausdauerdiagnostik

In dieser Arbeit wurde der Zusammenhang zwischen sportmedizinischer Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im wesentlichen durch Untersuchungen, die den Zusammenhang von (Lauf)Geschwindigkeit und Lactatkonzentration (als Ausdruck der Lactatentstehung und -verwertung) beschreiben, verwirklicht. Die ermittelten Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen wurden nur mit einem genügend hohen Bestimmtheitsmaß zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Athleten verwendet, womit für die Planung und Durchführung des Trainingsprozesses eine hohe Praxisrelevanz der Untersuchungsergebnisse erhalten werden konnte.

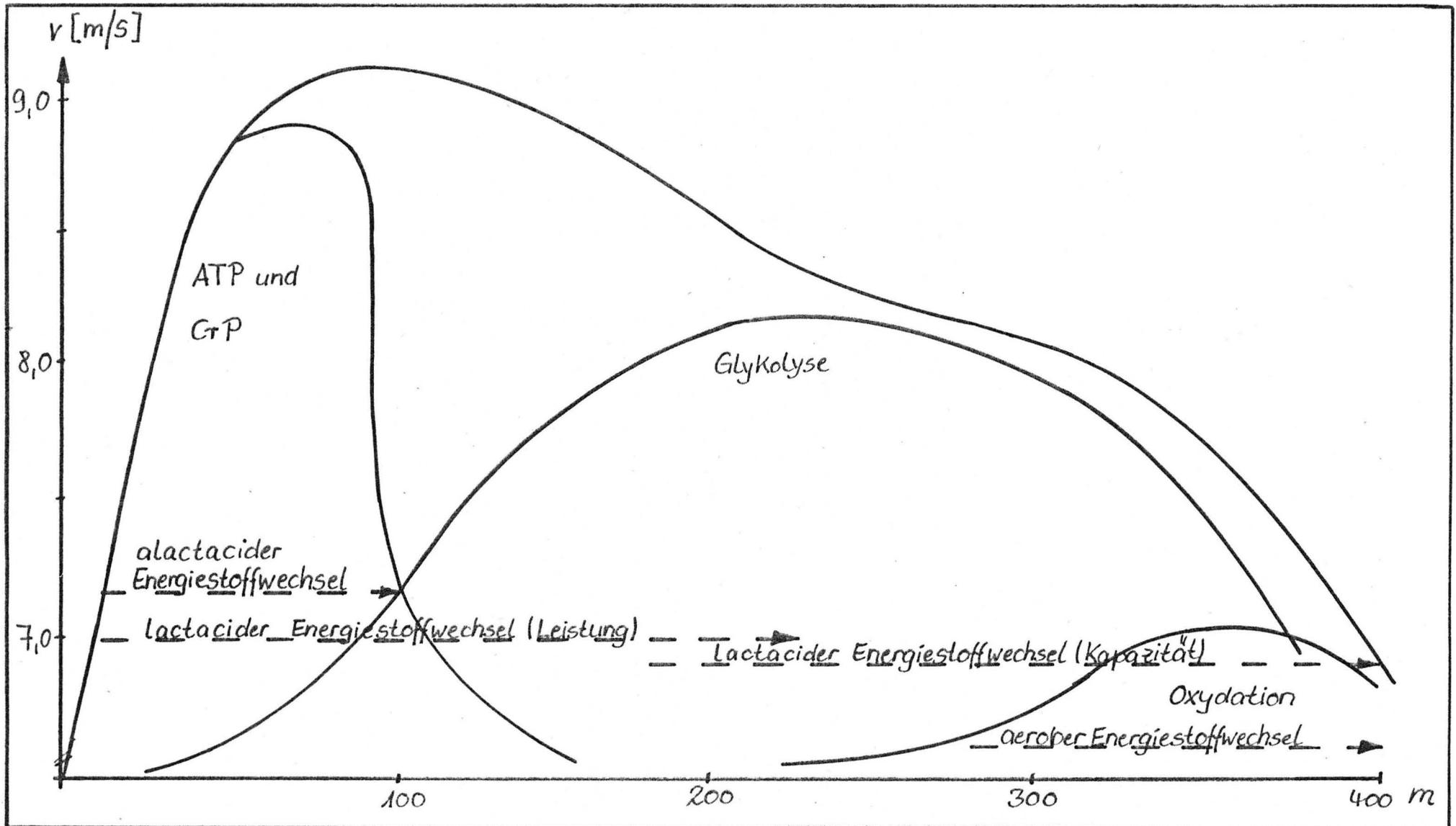


Abb. 43 Der Geschwindigkeitsverlauf eines 400m-Laufes ($t=48,56s$) der Sportlerin O1 in Verbindung mit der schematisierten Zuordnung bioenergetischer Prozesse zur Sicherung der Wettkampfleistung

Der eingesetzte biochemische Parameter "Lactat" hat vor allem unter diesem Aspekt (neben seiner Einsetzbarkeit zur TM-Objektivierung) die 1. Arbeitshypothese bestätigt. Die ausgewiesenen Validitätsprüfungen einzelner Testverfahren unterlegen weitgehend die Aussagefähigkeit des Parameters. Voraussetzung dafür sind jedoch das Einhalten standardisierter Bedingungen vor und während leistungsdiagnostischer Untersuchungen.

Damit erfüllt die Meßgröße Lactat wesentlich mehr Aufgaben und dient nicht nur allgemein als Glykogenindikator (BUSSE et al., 1987).

Der biochemische Parameter "Lactat" erfüllt darüber hinaus die wesentlichsten Anforderungen zur Objektivierung von Leistungszuständen oder von Adaptationsprozessen. Im Zusammenhang mit dem biochemischen Parameter "Creatininase" können Belastungsreizwirkung oder Adaptation von Belastungsreizen im Hochleistungssport (LIESEN et al., 1985) relativ gut objektiviert werden. Die bioenergetischen Antwortreaktionen auf Belastungsreize innerhalb eines Trainingsabschnitts des Trainings der speziellen Ausdauer sind in Tabelle 23 aufgeführt worden. Diese Ergebnisse charakterisieren den Adaptationsprozeß von intensiven Belastungen im speziellen Training von Untersuchung zu Untersuchung.

Unter dem Aspekt, daß das Training immer auf die zu entwickelnde Leistung des Sportlers abgestimmt sein muß, kommt der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik im Trainingsprozeß eine hohe Verantwortung zu.

Die Schnittstelle zur Trainingsmethodik stellt die Intensität der Belastung als Vorgabe für die Beanspruchung bzw. als Widerspiegelung der Leistungsvoraussetzungen des Organismus dar. Die notwendige Beurteilung der Intensität der Belastung wurde mit dem biochemischen Parameter Lactat vorgenommen, da die Reizwirksamkeit des Trainings mit der Antwortreaktion konkreter Energiestoffwechselsysteme eng korrespondiert (PANSOLD et al., 1983).

Außerdem konnten aufgrund der langjährigen Erfahrungen im Umgang mit dem Parameter neue Ansätze zur Weiterentwicklung der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik erhalten werden. Die Untersuchungsergebnisse am Beispiel des 400m-Langsprints sind dadurch gekennzeichnet, daß aus bioenergetischer Sicht im Trainingsprozeß zur Erhöhung der sportlichen Leistungsfähigkeit noch große Reserven erschlossen werden können. So ist die Bedeutung und der Stellenwert der aeroben Leistungsfähigkeit sowie die Erhöhung der

anaerob-alactaciden Energiestoffwechselforaussetzungen noch mehr in den Mittelpunkt des trainingsmethodischen Vorgehens in Sportarten der Kurzausdauer und auch in Sportarten, die durch eine hohe Inanspruchnahme lactacider Energiebereitstellung geprägt sind, zu stellen. Außerdem ist das Training in der speziellen Ausdauer noch stärker auf die Erhöhung der glykolytischen Energiebereitstellung auszurichten. Aufgrund des leistungslimitierenden Charakters dieser Form des Energiestoffwechsels, sind die einzusetzenden Trainingsmittel noch stärker im Sinne der Leistung und der Kapazität des energieliefernden Systems (Glykolyse) zu differenzieren bzw. zu objektivieren.

Ein wesentlicher Faktor in der Entwicklung der sportlichen Leistung stellt die Muskelfaserstruktur des Athleten dar. Dadurch, daß in den wenigsten Fällen muskelbiopsische Untersuchungen vorliegen, ist die Wirksamkeit bzw. die Adaptation von Trainingsmitteln durch eine angemessene Auswahl leistungsdiagnostischer Untersuchungen im zeitlich geordneten (entsprechend der Intensitätsgestaltung einzelner Trainingsabschnitte) Rhythmus zu kontrollieren. Damit kann für den Trainingsprozeß eine systematische Belastungsgestaltung gewährleistet werden.

Eine Beurteilung der leistungsdiagnostischen Ergebnisse, wie

- der v_{L4} -Wert aus den Stufentests,
- die Konstante b der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung,
- die Lactatbildungsgeschwindigkeit,
- der ALQ-Wert,
- der v_{L6} -Wert aus dem Lichtschrankentest,
- die Wertigkeit W_{30m} aus dem 10x30m(fliegend)-Test,
- die maximalen Lactatkonzentrationen nach Belastung,

sollte prinzipiell unter Berücksichtigung individueller muskulärer Voraussetzungen vorgenommen werden. Ein hoher v_{L4} -Wert, der mit einer relativ niedrigen Konstante b verbunden ist, könnte somit durchaus als eine Einschränkung im trainingsmethodischen Vorgehen während des Trainings zur Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit angesehen werden. Möglicherweise sind infolge unerschwerter Dauerlaufbelastungen im wesentlichen nur die STF-Muskelfaser rekrutiert worden.

Die FTF-Muskelfaser wird jedoch über eine höhere Reizschwelle angeregt. Aus diesem Grund sind neben intensiveren Dauerlaufbelastungen Serienbelastungen

mit höherer Laufintensität und kurzen Laufstrecken (10x100 m NI) sowie Schnellkraftbelastungen (Berganläufe, 10x30 m) zur Rekrutierung der FTF für dieaerobe Leistungsentwicklung angezeigt. Die metabolische Belastung sollte 4 mmol/l (Dauerlauf) bzw. 6 mmol/l Lactat nicht oder nur unwesentlich übersteigen. Ein oft antreffendes Beispiel stellt, aufgrund eines möglichen hohen FTF-Anteils an der Muskelfaserzusammensetzung, der ermittelte niedrige v_{L4} -Wert dar. Auch hier sollte der Trainingsschwerpunkt zur Erhöhung der aeroben Leistungsfähigkeit auf intensivere Serienbelastungen (10x200 m, 8x1000 m, 10x400 m) sowie auf Kraft- und Schnellkraftbelastungen (Berganläufe, 10x30 m) gelegt werden (Prüfung der Intensität über die Lactatdiagnostik). Eine schnelle lactacide Energiebeteiligung (I_{max} , Lactatbildungsgeschwindigkeit) läßt ebenfalls auf einen hohen FTF-Anteil an der Muskelfaserzusammensetzung des Athleten schließen. Unter diesem Aspekt sind die TM zur Entwicklung der speziellen Ausdauer sehr umsichtig auszuwählen. Das heißt, daß keine langzeitige muskulöse Übersäuerung stattfinden darf (keine Serienbelastungen mit längeren Laufstrecken) und daß Trainingsmittel zur Entwicklung der Schnelligkeit/Schnellkraft (10x30 m) sowie der Erhöhung der Leistung des glykolytischen Energieliefersystems (150 m oder 200m I_2 -Läufe) eingesetzt werden sollten.

Diese Form der Einheit von Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung spricht für eine mögliche Methode, die genetisch bedingten muskulären Voraussetzungen mit der trainingsmethodischen Zielstellung (Einsatz von Trainingsmitteln) in Übereinstimmung zu bringen. In diesem Zusammenhang haben sich die langjährigen Erfahrungen im Umgang mit der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung bewährt. Sie konnte weitgehend zur Charakterisierung von Teilkomponenten der Energiebereitstellung eingesetzt werden (SCHÄFER/SONNTAG, 1980 und 1981; SCHÄFER et al., 1983 und 1984; SONNTAG et al., 1983 und 1984; PANSOLD et al., 1982 und 1983; PANSOLD, 1983 und 1985; SCHÄFER, 1986).

Leistungsfortschritte im 400m-Wettkampf können durch das enge Zusammenwirken von Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung dann erreicht werden, wenn auf der Grundlage einer in den richtigen Relationen (hoher v_L -Wert mit entsprechend hohem b -Wert) entwickelte aerobe Leistungsfähigkeit die lokomotorische Schnelligkeitsfähigkeit bzw. damit die anaerob-alactaciden Energievoraussetzungen verbessert werden (Erhöhung des ALQ, des v_{L6} -wertes, Erniedrigung der Wertigkeit W_{30m}) und die Schnelligkeitsausdauer über Belastungszeiten um 15 bis 25 Sekunden zur Ausprägung des Lactatbildungsvermögens (Lactatbildungsgeschwindigkeit, Lactatmobilisation) entwickelt wird. Erst dann kann zur

unmittelbaren Wettkampfvorbereitung ein stärkerer Trainingsreiz auf die maximale Inanspruchnahme des anaerob-lactaciden Energiestoffwechsels (Kapazität) durch TM zwischen 150 und 500 m im I_2 -Bereich mit begrenzter Wiederholung und angemessenen Pausen (COPPENOLLE, 1981; SONNTAG/PANSOLD, 1987; SCHÄFER, 1989) ausgeübt werden. Bei allen diesen Prozessen ist besonders bei Wiederholungsbelastungen (Serienbelastungen) auf die Pause zwischen den einzelnen Trainingsmitteln zu achten, wodurch der Wechselwirkung von Adaptation und Wiederherstellung am besten entsprochen werden kann.

Ergänzend zu diesen Überlegungen bekommen die Beiträge von BAUERSFELD (1986 und 1988) zum geschwindigkeitsorientierten Training bzw. zur Entwicklung der Schnelligkeitsvoraussetzungen für die Leistungszielstellungen in der KZA-Diagnostik eine hohe Praxisrelevanz. Nach JAKOWLEW (1977) erweisen sich die Schnelligkeits- und Schnellkraftbelastungen als am meisten polyvalent für die Entwicklungsprozesse zur Erhöhung der KZA-Leistungsfähigkeit. Der Trainingsprozeß zur Entwicklung einer hohen sportlichen Leistung in der Kurzzeitausdauer im allgemeinen und im 400m-Langsprint im besonderen sollte im wesentlichen dieses Vorgehen berücksichtigen und in der Einheit von Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung das trainingsmethodische Vorgehen kontrollfähig gestalten.

Unter diesem Aspekt muß man für die Entwicklung einer sportlichen Leistung trainingsmethodisch immer bereit sein, die Richtigkeit und die Wirksamkeit der eingesetzten Trainingsmittel anzuzweifeln und noch mehr die Komplexität bzw. die Wechselwirkungen der bioenergetischen Prozesse in den Mittelpunkt stellen. Mit dieser Einstellung im Trainingsprozeß kann wesentlich das von ZINNER et al. (1990) bearbeitete Problem "Gutes Training - schlechte Leistung" weitgehend vermieden werden.

So könnte ein überbetontes Training in der speziellen Ausdauer durch Trainingsmittel, die den glykolytischen Energiestoffwechsel in seiner Kapazität überaus stark beanspruchen (z. B. Serienbelastungen mit längeren Laufstrecken), zu schlechten Wettkampfergebnissen führen oder sogar eine weitere Leistungsentwicklung aufgrund zellulärer Verschleißerscheinungen verhindern. In dieser Hinsicht wurde bereits von MELLEROVICZ (1953), VAN AAKEN (1953) sowie SCHÄFER (1989) diskutiert, daß vor allem 400m-Wettkämpfe im Jugendalter möglichst vermieden werden sollen. Diese Auffassung wird nachdrücklich unterstützt.

Eine ständige Kontrolle von Belastung und Wiederherstellung, die aufgrund der hohen zellulären Beanspruchung zur Realisierung der anaeroben Stoffwechselprozesse notwendig ist, kann in den wenigsten Fällen kaum durchgesetzt werden. Dafür sollte das Training im wesentlichen zur Entwicklung der Schnelligkeit (Erhöhung des Leistungsvermögens in der anaerob-alactaciden Energiebereitstellung) und der aeroben Leistungsfähigkeit ausgerichtet sein. 100m- bzw. 200m-Wettkämpfe wären eine mögliche Alternative zum 400m-Wettkampf im Jugendalter. Sie entspricht auch dem Anliegen von BAUERSFELD (1988).

Mit diesem Vorgehen zur Realisierung der Einheit von Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung wurden weitgehend die Folgerungen und auch Forderungen der vielfältigen Darlegungen von HÄCKER et al. (1987) und BUHL und NEUMANN (1987) in bezug auf die Wechselwirkungen bzw. Regulationen aerober und anaerober Stoffwechselmechanismen berücksichtigt. Die umfassenden Erfahrungen im Aufbau von 400m-Spitzenathleten und die Kontinuität in der Entwicklung von Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung ließen theoretische Lücken im Vollzug energetischer Prozesse im Training und im 400m-Wettkampf schließen.

Dennoch werden aus bioenergetischer Sicht, vor allem in der Belastungsgestaltung, der Wiederherstellung oder der Anpassung, noch viele Fragen offen bleiben müssen, wodurch praktisch die Grenzen der Lactatdiagnostik offenbart werden. Dazu gehören inhaltliche Probleme, die für die KZA-Diagnostik eine besondere Klärung bedürfen, wie

- der Purinstoffwechsel
(Das Erfassen der biologischen Reaktion nach intensiven Belastungen auf die ATP-Resynthese, z. B. über die biochemischen Parameter Ammoniak und Harnsäure),
- der Eiweißstoffwechsel
(Das Erfassen von Wiederherstellungsprozessen nach umfangreichen intensiven Belastungen, vor allem in der allgemeinen Ausdauer),
- die Enzymaktivitätsveränderungen
(Das Erfassen von Belastungswirkung und Adaptation, z. B. über die Creatinkinaseaktivität),
- die neuromuskuläre Ansteuerung
(Das Erfassen von Elektrolytveränderungen im Trainingsprozeß der Kurzausdauer, Untersuchungen über den zentralnervalen Effekt der β -Endorphine unter Belastung in der speziellen Ausdauer).

Zu diesen einzelnen wissenschaftlichen Fragestellungen liegen bereits erste, zum Teil noch unausgereifte, Untersuchungsergebnisse vor. Sie können in dieser Arbeit infolge des noch fehlenden Zusammenhangs nicht ausgewiesen werden.

Im Zusammenwirken von sportmedizinischer Leistungsdiagnostik und wissenschaftlicher Trainingssteuerung sind weiterführende Untersuchungen zur physiologischen und belastungsmethodischen Differenzierung der Werte v_{L3} , v_{L4} und v_{L6} für den Entwicklungsprozeß der aeroben Leistungsfähigkeit sowie zur weiteren Abklärung der Wirkungsmechanismen eingesetzter Trainingsmittel zur Entwicklung anaerober Stoffwechselprozesse vorzunehmen.

Ausführungen über die Problematik der Ernährung im Sinne der Wiederherstellung nach Belastung oder der Anreicherung des Muskelglykogens als leistungsbeeinflussender Faktor für intensive und umfangreiche Ausdauerbelastungen, bleiben in dieser Arbeit unberücksichtigt.

6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen für die Trainingspraxis

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Diagnostik und Bewertung aerober und anaerober Energiestoffwechselprozesse in der Kurzeitdauer (KZA) unter besonderer Berücksichtigung der leichtathletischen Disziplin 400 m.

Die Untersuchungen wurden in einem Zeitraum von 1978 bis 1990 durchgeführt. Es standen insgesamt 373 Sportlerinnen und Sportler im Alter von 15 bis 29 Jahren zur Verfügung. Die sportmedizinische Leistungsdiagnostik diente mit ihren Möglichkeiten (und Grenzen) als eine wesentliche Voraussetzung, die Leistungsfähigkeit der Athleten zu objektivieren und einzuordnen. Im engen Zusammenhang zwischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung wurde im Prozeß des langfristigen Trainingsaufbaus ein trainingsmethodisch und bioenergetisch begründetes Vorgehen zur Realisierung der individuellen Leistungszielstellung vollzogen.

Zum Erfassen bzw. zum Beurteilen von Energiestoffwechsell Voraussetzungen bestand die Forderung nach objektiven und praxisrelevanten leistungsdiagnostischen Untersuchungsmethoden.

Die besten Resultate aus mathematischer und bioenergetischer Sicht wurden mit folgenden Laufbandstufentests erhalten:

- Der KZA-Standardtest (nx3-Minutenstufentest) zum Erfassen der aeroben Leistungsfähigkeit.
- Der 4x60-Sekunden-Stufentest zur Beurteilung und Einordnung der Inanspruchnahme anaerob-lactacider Energiebereitstellung.
- Der Laufstreckenstufentest zur Beurteilung anaerob-lactacider (intensitätsabhängige Lactatbildungsgeschwindigkeit) und anaerob-alactacider (intensitätsabhängiger alactacider Quotient) Energiestoffwechsell Voraussetzungen.

Diese Tests sind für die leistungsdiagnostische Praxis zu empfehlen. Der KZA-Standardtest wurde mit dem "vita-maxima"-Test zum Erfassen von maximalen Funktionsamplituden zur Erhöhung der Aussagefähigkeit der Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit verbunden.

Diese Untersuchungsmethoden können für Sportarten der Kurzeitdauer sowie in Kampfsportarten und Sportsportarten eingesetzt werden.

Im 400m-Langsprint stellen neben diesen Laufbandstufentests

- der 4x1000m-Feldtest zur Ermittlung aerober Energiestoffwechsell Voraussetzungen und

- der 4x400m-Feldtest als sportartspezifischer Test zur Beurteilung und Einordnung der sportlichen Leistung und der bioenergetischen Prozesse in der speziellen Ausdauer sowie
- der 2x80m-Lichtschrankentest (submaximaler und maximaler Lauf) zur Beurteilung der Schnelligkeitsfähigkeit und der alactaciden Energiebereitstellung und
- der 10x30m(fliegend)-Test zur Objektivierung der alactaciden Energiebereitstellung

ebenfalls objektive Untersuchungsverfahren zur Beurteilung bzw. Bewertung von trainingsmethodischen Komponenten und von bioenergetischen Voraussetzungen zur Sicherung der sportlichen Leistung im Training und im Wettkampf dar. Die Auswertung der Stufentests erfolgte rechnerisch oder graphisch mit der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung.

Die Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit weisen aus, daß von 400m-Spitzenathleten im Mehrjahresverlauf eine Erhöhung der sportlichen Leistungsfähigkeit mit einer Verbesserung der aeroben Leistungsvoraussetzungen (dargestellt an der Größe v_{L4} , die aus der Lactatgeschwindigkeitsbeziehung ermittelt worden ist) verbunden ist.

Sportler mit unzureichender oder stagnierender Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit erzielten auch in ihrer sportlichen Leistung keine Fortschritte.

Im Jahresverlauf nimmt bei erfolgreichen Sportlern die Größe v_{L4} bis zur unmittelbaren Wettkampfvorbereitung den höchsten Wert an. Eine Stagnation oder Rückentwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit im speziellen Training wird als ein trainingsmethodischer Mangel gewertet.

Die Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit wurde im Zusammenhang von metabolischen und kardiorespiratorischen Befunden vorgenommen. Es wurden signifikante Zusammenhänge zwischen

- der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme und der Größe v_{L4} ,
- der prozentualen Sauerstoffaufnahme (an der Größe v_{L4} ermittelten relativen Sauerstoffaufnahme zur relativen maximalen Sauerstoffaufnahme) und der Größe v_{L4} ,
- der Herzschlagfrequenz bei Lactat = 4 mmol/l und der Größe v_{L4}

erhalten.

Die Untersuchungsergebnisse zur Ermittlung aerober Leistungsvoraussetzungen zeigen, daß die individuelle aerobe Leistungsfähigkeit stark vom Ausschöpfungsgrad der

maximalen Sauerstoffaufnahme am aerob-anaeroben Übergang (Geschwindigkeit v_{L4}) geprägt ist.

In einem engen zeitlichen Bezug stehenden Wettkampf- und Trainingsmitteluntersuchungen sowie leistungsdiagnostische Untersuchungen führen zu dem Ergebnis, daß 55% der Variabilität der 400m-Wettkampfleistung durch die Größe v_{L4} beschrieben werden kann. Damit erhält die aerobe Leistungsfähigkeit für die Realisierung der Wettkampfleistung einen hohen Stellenwert.

Erweitert man diesen Zusammenhang mit der nach der Wettkampfbelastung erhaltenen maximalen Lactatkonzentration (L_{max}), so werden 72% der Variabilität der Wettkampfleistung durch die Größen v_{L4} und L_{max} beschrieben. Darüber hinaus läßt sich die Wettkampfzeit zu 82% aus einer multiplen linearen Regression durch die drei charakteristischen Größen v_{L4} , L_{max} und der Wertigkeit $W I_2$ (die Wertigkeit einer 400m-Leistung in der Intensität I_2 im Zusammenhang mit der lactaciden bioenergetischen Antwortreaktion als Ausdruck der Ökonomisierung des glykolytischen Energiestoffwechsels) beschreiben (zwischen diesen genannten Größen v_{L4} , L_{max} und $W I_2$ besteht kein oder nur ein lockerer Zusammenhang).

Zwischen der Größe v_{L4} und der Konstanten b der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung aus Untersuchungen mit stufenförmig ansteigenden Belastungen (KZA-Stufentest, 4x60-Sekunden-Stufentest, 4x400m-Feldtest) besteht ein mathematisch gesicherter linear ansteigender Zusammenhang. Die Konstante b der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung erhält damit, neben seiner Einordnung als Bezugsgröße zur Kraft bzw. Kraftausdauer und sportartspezifischer Bewegung (Technik), eine weitere Erklärung. Sie kann als ein Ausdruck der Erhöhung der Dynamik zur Einstellung von Fließgleichgewichten energiebereitstellender Prozesse betrachtet und als ein weiterer Parameter in der leistungsdiagnostischen Praxis genutzt werden.

In den Sportarten der Kurzeitenausdauer nimmt der glykolytische Weg der ATP-Re-synthese offenbar einen leistungslimitierenden Charakter ein. Ein Ausdruck dafür ist der alineare Zusammenhang zwischen der maximalen Blutlactatkonzentration nach der 400m-Wettkampfbelastung und der erzielten 400m-Wettkampfzeit.

Außerdem zeigt der aus "vita-maxima"-Untersuchungen ermittelte anaerobe Ausdauer-koeffizient, daß eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Organismus mit einer verbesserten aeroben und anaerob-lactaciden Energiebereitstellung verbunden ist.

Die Untersuchungsergebnisse weisen aus, daß die erfolgreichen 400m-Athleten sowohl über eine hohe aerobe als auch über eine ausgeprägte anaerobe Energiebereitstellung (hohe Inanspruchnahme des glykolytischen Energiestoffwechsels) verfügen.

Die ermittelten Blutlactatkonzentrationen nach Belastung sind immer zeit- und intensitätsbezogen aber nicht schlechthin als "Mobilisation" zu bewerten. Das bedeutet, die glykolytische Energiebereitstellung ist nach Leistung und Kapazität dieses bioenergetischen Systems zu differenzieren. Die Leistung der glykolytischen Energiebereitstellung kann offenbar durch die Lactatbildungsgeschwindigkeit objektiviert werden, während die Kapazität offensichtlich von der engen Wechselwirkung zwischen der glykolytischen Energiebereitstellung und dem aeroben Energieliefersystem geprägt wird.

Ausgehend von dem ausgewiesenen Zusammenhang zwischen Wettkampfleistung und Blutlactatkonzentration, erhält die Lactatbildungsgeschwindigkeit eine große Bedeutung zur Absicherung der sportlichen Leistung im Training und im Wettkampf. Der Laufstreckenstufentest ermöglicht aus den daraus ermittelten Lactat-Weg (Laufstrecke)- bzw. Lactat-Zeit(Laufzeit)-Funktionen (besonders zur Realisierung des speziellen Trainings) konkrete Intensitätsvorgaben für den Trainingsmitteleinsatz. Aus dem Anstieg der Lactat-Zeit-Funktion wird die intensitätsabhängige Lactatbildungsgeschwindigkeit ermittelt.

Erfolgt die Ermittlung der Lactatbildungsgeschwindigkeit in der Laufintensität eines 400m-Wettkampfes, ist aufgrund des Zusammenhanges zwischen Blutlactatkonzentration und Wettkampfzeit durchaus eine Objektivierung der gegenwärtigen Leistungsfähigkeit des Athleten möglich.

Darüber hinaus kann mit dem Laufstreckenstufentest ein intensitätsabhängiger alactacider Koeffizient ermittelt werden, der eine Beurteilung alactacider Energiestoffwechselforaussetzungen zuläßt.

Im Trainingsprozeß des speziellen Trainings konnten Adaptationsprozesse im Sinne der Inanspruchnahme glykolytischer Energiebereitstellung nachgewiesen werden. Während der 4x60-Sekunden-Stufentest in der KZA-Diagnostik durchaus bioenergetische Antwortreaktionen auf intensive Belastungsanforderungen sowie Adaptationsprozesse objektiviert, erfüllt im 400m-Langsprint der sportart-spezifische 4x400m-Feldtest sowohl die leistungsdiagnostischen als auch die trainingsmethodischen Aufgaben zur Bewertung der Energiebereitstellung zur Sicherung von Belastungsintensitäten oder zur Beurteilung der Laufgestaltung besonders im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer.

Individuelle Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest haben gezeigt, daß sich der bioenergetische Adaptationsprozeß einer sogenannten "Sollkurve" hinbewegt, d. h. die Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung darf weder zu steil noch zu flach verlaufen und ist den energetischen Anforderungen in der Kurzzeitausdauer entsprechend eingeordnet. Damit wird eine weitere Erklärung

für die Differenzierung von Leistung und Kapazität der glykolytischen Energiebereitstellung erhalten.

Die Untersuchungen von Trainingsmitteln weisen aus, daß oftmals eine zu hohe Inanspruchnahme des anaerob-lactaciden Energiestoffwechsels erfolgt ist. Die langandauernden Wiederherstellungsprozesse, infolge der Depletierung des Muskelglykogens oder der hohen Beanspruchung des Purinnucleotidstoffwechsels (Erhöhung der Harnsäure im Serum nach intensiven und umfangreichen Belastungen), stören die Kontinuität des Trainingsprozesses. Unter diesem Aspekt hat der enge Zusammenhang von Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung einen hohen Stellenwert und ist die Voraussetzung zur Sicherung von Leistungsfortschritten im Trainingsprozeß. In diesem Sinn hat der biochemische Parameter Lactat zur Beurteilung von Energiestoffwechselmechanismen oder zur Einordnung von Wechselwirkungen in der Energiebereitstellung eine weitere Legitimation erhalten.

Gemeinsam mit dem biochemischen Parameter Creatinkinase bilden sie in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik zur Ermittlung von biologischen Antwortreaktionen auf Belastungen bzw. auf die Belastungsreizwirkungen oder auf Adaptationsprozesse das Gerüst für ein theoretisch begründetes Vorgehen im Trainingsprozeß zur Entwicklung einer sportlichen Leistung.

Die individuellen Geschwindigkeitsverläufe im 400m-Wettkampf zeigen, daß die bioenergetischen Prozesse in ihrer Wechselwirkung die Leistungsfähigkeit des Athleten beschreiben können. So ist der Zusammenhang von alactacider und lactacider (im Sinne der Leistung bzw. der Lactatbildungsgeschwindigkeit) Energiebereitstellung für das Geschwindigkeitsverhalten im ersten Teilabschnitt (bis etwa 200 m) für eine schnelle Realisierung der ATP-Resynthese von wesentlicher Bedeutung. Aus Untersuchungen zum alactaciden Energiestoffwechsel, z. B. über den Vergleich der Ergebnisse aus dem 10x30m(fliegend)-Test, konnte bis zur unmittelbaren Wettkampfvorbereitung eine ständige Erhöhung der alactaciden Energiestoffwechselvoraussetzungen festgestellt werden. Die individuellen Leistungsverbesserungen sind nicht allein auf trainingsmethodisch einzuordnenden Adaptationen (Laufverhalten, Bewegungsgüte) sondern vor allem im Sinne bioenergetischer Entwicklungen zurückzuführen (Verbesserung der Werte v_{L6} , der Wertigkeiten (W 30 m) oder des alactaciden Quotienten).

Im zweiten Teilabschnitt (200 bis 400 m) wirken zum Aufrechterhalten der ATP-Resynthese für die Sicherung der 400m-Wettkampfleistung die anaerob-lactacide und die aerobe Energiebereitstellung zusammen. Besonders im Abschnitt 300 bis 400 m haben die oxidativen Energieliefermechanismen (oxidativer Lactatabbau, NADH-Shuttle-Mechanismus auf dem glykolytischen Weg der Energiebereitstellung)

bereits einen hohen leistungsbeeinflussenden Stellenwert.

Die Entwicklung der bioenergetischen Leistungsfähigkeit ist eng verbunden mit den muskulären Voraussetzungen des Athleten. Die trainingsmethodisch-zielgerichtete Einflußnahme auf die Rekrutierung der motorischen Einheiten der Muskelfaserstruktur während der Trainingsbelastung erhält somit für die Leistungsentwicklung einen hohen Stellenwert. Dadurch, daß die individuellen muskulären Voraussetzungen in der Regel unbekannt sind, ist dieser Einfluß in der Planung der Trainingsmittel unbedingt zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang erwiesen sich für die Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit 8 bis 12 km (männlich) bzw. 7 bis 10 km (weiblich) Dauerläufe mit einer Geschwindigkeit im v_{L3} -Bereich sowie Serienbelastungen, z. B. 10x100 m bzw. 10x200 m in der Intensität NI, die sowohl die langsam als auch die schnell kontrahierenden Muskelfasern ansprechen, als erfolgreich.

Die Schlußfolgerungen aus den Ergebnissen dieser Arbeit für die trainingsmethodische Praxis können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit ganzjährig, wobei das Niveau der aeroben Energiebereitstellung zu den Wettkampfhöhepunkten (Olympische Spiele, Welt- und Europameisterschaften) den höchsten Wert erreichen sollte. Eine Verminderung der aeroben Leistungsvoraussetzung im Training der Leistungsausprägung ist als trainingsmethodischer Mangel einzuordnen.
- Unter Berücksichtigung der genetischen muskulären Voraussetzungen der Athleten sind die Trainingsmittel zur Verbesserung der aeroben Energiebereitstellung so zu planen, daß sowohl Dauerlauf- als auch Serienbelastungen in der Intensität NI realisiert werden. Die zeitliche Einordnung sollte jedoch im wesentlichen in den Trainingsabschnitten des zielgerichteten allgemein-vielseitigen und des disziplinspezifisch-grundlegenden Trainingsaufbaus liegen.
- In Verbindung mit dem Training zur Verbesserung der aeroben Leistungsfähigkeit sind trainingsmethodisch die anaerob-alactaciden Voraussetzungen, z. B. über 10x30m(fliegend)-Belastungen, ganzjährig zu entwickeln. Diese trainingsmethodische Einflußnahme kann als eine Möglichkeit zur Erhöhung der Dynamik der Fließgleichgewichte zur Energiebereitstellung eingeordnet werden.
- Im Trainingsabschnitt des disziplinspezifisch-speziellen Trainingsaufbaus wird im wesentlichen trainingsmethodisch die Leistungsfähigkeit der glykolytischen

Energiebereitstellung erhöht. Dabei ist zu beachten, daß Leistungsfortschritte offenbar nur dann erreicht werden können, wenn trainingsmethodisch zwischen Leistung und Kapazität der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung differenziert wird und der Leistung dieses Energiebereitstellungssystems das Primat gegeben wird.

- In der Leistungsausprägung muß dann trainingmethodisch notwendigerweise der Kapazität der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung verstärkt Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Diese Schlußfolgerungen ergeben sich entsprechend den Wechselwirkungen zwischen den aeroben und anaeroben Energiestoffwechselmechanismen, die die Belastungen in der Kurzzeitdauer prägen.

Die leistungsdiagnostischen Untersuchungen und die Kontrollen der Trainingsmittel unterstützen das Training in den einzelnen Abschnitten in seiner Wirksamkeit und sind nicht zu vernachlässigen. Unter Beachtung von Aufwand und Nutzen steht in diesem Zusammenhang immer die Wirksamkeit des Trainingsreizes (Bewältigung der Belastungsanforderung) zur Sicherung von Adaptationsvorgängen bzw. zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit im Vordergrund.

Dieser Weg entspricht, ausgehend von der ausgewiesenen Literatur und der Entwicklung einer Vielzahl von Spitzenathleten im Zeitraum von mehr als 10 Jahren, dem internationalen Trend; er ist durch das enge Zusammenwirken von Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung bzw. in der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Trainingswissenschaft und Sportmedizin ermöglicht worden.

Die kontinuierliche Erhöhung der Belastbarkeit der Athleten sowie die zielgerichtete Objektivierung von Schnelligkeits-, Kraft- und Schnellkraftfähigkeiten zur Erhöhung der sportlichen Leistungsfähigkeit sollte wissenschaftlich weiter bearbeitet werden. Unter diesem Aspekt sind besonders die Wechselwirkungen von zentralnervaler Ansteuerung und Energiestoffwechselmechanismen zur bioenergetischen Sicherung des Belastungsvollzugs zu vervollkommen.

7. Literatur

1. AAKEN, E. van:
Antwort auf die Erwiderung Berliner Sportärzte zum 400m-Lauf der Jugend
Sportmedizin, Köln 4 (1953) 4, S. 53-54
2. ALEKSANDROW, J.; L. ILINOW, N. MARDZANOWA, u. a.:
Untersuchungen der anaeroben Arbeit beim kurzzeitigen Lauf von großer
Intensität
Vnpr. Fiz. Kult., Sofia 24 (1979), S. 291-294
3. ARLT, R.-P.; R. DONATH, R. BÖHM:
Die Erfassung der maximalen Sauerstoffaufnahme mit einem modifizierten
Vita-maxima-Test (Disziplingruppe Marathon/Gehen)
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 20 (1982) 10, S. 75-85
4. ARMSTRONG, R. B.:
Muscle fiber recruitment patterns and their metabolic correlates
In: HORTON, E. S.; R. L. TERJUNG:
Exercise nutrition and energy metabolism
New York: MACMILLAN (1988), S. 9-26
5. ASTRAND, P. O.:
Die körperliche Leistungsfähigkeit in der Höhe
In: HOLLMANN, W. (Ed.):
Deutsche Themen der Sportmedizin
SPRINGER-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (1972)
6. ASTRAND, P. O.; K. RODAHL:
Textbook of work physiology
MC GRAW-HILL Book Comp., New York (1970)
7. ASTRAND, P. O.; J. HALLBÄCK, R. HEDMAN, u. a.:
Blood lactates after prolonged severe exercise
J. Appl. Physiol., Bethesda 18 (1963) 3, S. 619-622
8. BACHL, N.:
Sportmedizin in der Praxis
AIGNER, A. (Ed.),
Verlag Brüder HOLLINEK, Wien (1985), S. 461-597

9. BACHL, N.; J. IWANOFF, P. PROKOP:
Untersuchungen über die geschlechtsspezifische anaerobe Energie-
bereitstellung
Österr. J. Sportmed., Wien 14 (1984) 1, S. 4-13
10. BALDWIN, K. M.; G. H. KLINKERFUSS, R. L. TERJUNG, u. a.:
Respiratory capacity of white, red and intermediate muscle: adaptative
response to exercise
Am. J. Physiol., Washington 222(1972), S. 373-378
11. BANG, O.:
The lactate content of the blood during and after exercise in man
Scand. Arch. Physiol., Stockholm 10 (1956), S. 51
12. BARON, R.; N. BACHL, L. PROKOP:
Stehvermögenindex - eine Möglichkeit zur Beurteilung der anaeroben
Ausdauer am Beispiel Fußball
Österr. J. Sportmed., Wien 17 (1987) 1, S. 4-7
13. BAR-OR, O.; R. DOTAN, O. INBAR, u. a.:
Anaerobic capacity and muscle fiber type distribution in man
Int. J. Sports Med., Stuttgart 1 (1980), S. 82-85
14. BAUERSFELD, M.:
Ausgewählte Probleme und unsere Standpunkte zur Schnelligkeit und ihre
trainingsmethodischen Konsequenzen
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 24 (1986) 8/9, S. 155-173
15. BAUERSFELD, M.:
Stellenwert und Ausbildungsmöglichkeiten perspektivisch bedeutsamer
Strukturelemente der Leistung im Aufbau- und Training der Schnellkraftsport-
arten
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 26 (1988) 7, S. 46
16. BERGSTRÖM, J.; E. HULTMAN:
A study of the glycogen metabolism during exercise in man
Scand. J. Clin. Lab. Invest., Oslo 19 (1967), S. 218-228
17. BILLETTER, R.; H. BAUMANN, H. HOWALD:
Veränderungen der Myofibrillen-Zusammensetzung menschlicher Muskelfasern
durch Training
In: Schweiz. Sportwiss. Symp. 1988, Zürich,
ETH Laboratorium für Biomechanik (1988), S. 53

18. BISANZ, G.; G. GERISCH:
Fußball, Training - Technik - Taktik
ROWOHLT Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbek (1988)
19. BÖHME, P.:
Weitere Erfahrungen mit dem Gasstoffwechsel-Meßgerät "Biotest" im
Routineeinsatz
Leipzig, FKS, Ergebnisbericht (1988)
20. BORST, P.:
Hydrogen transport and transport metabolites
In: KARLSSON, P. (Ed.)
Funktionelle und morphologische Organisation der Zelle
SPRINGER-Verlag, New York (1963, S. 137-162
21. BRAUMANN, K.-M.; M. BUSSE, N. MAASSEN:
Zur Interpretation von Laktat-Leistungskurven
Leistungssport, Münster 17 (1987), S. 35-38
22. BRAUMANN, K.-M.; N. MAASSEN, M. BUSSE:
Die Problematik der Interpretation trainingsbegleitender Laktat-
messungen
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 39 (1988), S. 365-368
23. BROOKS, G. A.:
Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future
research
Med. and sci. sports and exerc., Madison 17 (1986) 1, S. 22-31
24. BROOKS, G. A.:
The lactate shuttle during exercise and recovery
Med. and sci sports and exerc., Madison 18 (1986) 3, S. 360-368
25. BUHL, H.:
Die Entwicklung des Konzepts zum Training im aerob-anaeroben Stoff-
wechselbereich in den Ausdauersportarten - historischer Überblick und
Stoffwechselregulation
In: Ausgewählte aktuelle Aspekte der sportmedizinischen Funktionsdiag-
nostik als Teil der komplexen Beurteilung der sportlichen Leistungs-
fähigkeit
Leipzig, FKS, Ergebniskolloquium (1986), S. 38-48
26. BUHL, H.; G. NEUMANN:
Die Bedeutung des aerob-anaeroben Übergangsbereichs für die Leistungsdiag-
nostik und Trainingssteuerung in den Ausdauersportarten
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 25 (1987) 8/9, S. 180-198

27. BUHL, H.; J. HÖRNER, H. BÖHME:
Untersuchungen zur Leistungsstruktur im 400m-Verfolgungsfahren
(Pilotstudie)
Training und Wettkampf, Berlin 28 (1990) 1, S. 111-126
28. BUHL, H.; H. P. LÖFFLER, R. HÄCKER:
Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit bei jungen Läuferinnen in
Abhängigkeit von einem gezielten Training im aerob-anaeroben Übungs-
bereich
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 24 (1986) 7, S. 91-102
29. BULBULIAN, R.; B. DARABOS, S. NAVTA:
Supine rest and lactic acid removal following maximal exercise
J. Sports med. and Phys. Fitness, Torino 27 (1987)2, S. 151-156
30. BUSSE, M.; N. MAASSEN, K.-M. BRAUMANN, u. a.:
Neuorientierung in der Leistungsdiagnostik: Laktat als Glykogenindikator
Leistungssport, Münster 17 (1987)5, S. 33-37
31. BUSSE, M.; N. MAASSEN, K.-M. BRAUMANN:
Laktatwerte und die Interpretation
Leichtathlet, Berlin 38 (1987) 38, S. 1186
32. CHRISTENSEN, E. H.; P. HÖGBERG:
The efficiency of anaerobical work
Arbeitsphysiologie, Berlin 14 (1950), S. 249
33. CLAUSNITZER, C.; T. WENDELIN:
Bestimmung des Laktats im Blut - Standardvorschrift des Sportmedizinischen
Dienstes
Kreischa, Zentralinstitut des Sportmedizinischen Dienstes (1979)
34. CLAUSS, G.; H. EBNER:
Grundlagen der Statistik
Verlag Volk und Wissen, Berlin (1978), 6. Auflage
35. CONCONI, F.; M. FERRARI, P. G. ZIGLIO, u. a.:
Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test
in runners
J. Appl. Physiol., Bethesda 52 (1982), S. 869-873

36. CONNETT, R. J.; T. E. J. GAYEBSKI, C. R. HONIG:
Lactate efflux is unrelated to intracellular PO_2 in a working red muscle in situ
J. Appl. Physiol., Bethesda 61 (1986) 2, S. 402-408
37. COPPENOLLE, H. van:
Trainingsprobleme des 400m-Läufers
In: AUGUSTIN, D.; H. MÜLLER
Leichtathletiktraining im Spannungsfeld von Wissenschaft und Praxis
SCHORS-Verlag, Hochheim am Main (1981)
38. COSTILL, D. L.; K. SPARKS, R. GREGOR, u. a.:
Muscle glycogen utilization during exhaustive running
J. Appl. Physiol., Bethesda 31 (1971) 3, S. 353-356
39. COSTILL, D. L.; E. F. COYLE, W. F. FINK, u. a.:
Adaptions in skeletal muscle following strength training
J. Appl. Physiol., Bethesda 46 (1979), S.96
40. DAWSON, A. G.:
Oxidation of cytosolic NADH formed during aerobic metabolism in mammalian cells
Trends Biochem. Sci., Amsterdam 4 (1979), S. 171-176
41. DICKHUTH, H.-H.; B. WOHLFAHRT, D. HILDEBRAND, u. a.:
Jahreszyklische Schwankungen der Ausdauerleistungsfähigkeit von hochtrainierten Mittelstreckenläufern
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 39 (1988) 9, S. 346-353
42. ERNST, R. R.:
Methodology of magnetic resonance imaging
Quart. Rev. Biophys., London 19 (1987) 3/4, S. 183-220
43. ESSEN, B.; E. JANSSON, J. HENRIKSSON, u. a.:
Metabolic characteristics of fibre types in human skeletal muscle
Acta physiol. scand., Stockholm 95 (1975), S. 153-165
44. ESZLINGER, M.:
Zur Charakterisierung von Schnelligkeits-/Schnellkraftfähigkeiten unter biowissenschaftlichem Aspekt
Diplomarbeit, Leipzig, Deutsche Hochschule für Körperkultur und Sport (1988)

45. EVANS, B. W.; K. J. CURETON:
Effect of physical conditioning on blood lactate disappearance after supromaximal exercise
Brit. J. Sports Med., Loughborough 17 (1983) 1, S. 40-43
46. EVANS, J. A.; H. A. QUINNEY:
Determination of resistance settings for anaerobic power tests
Can. J. Appl. Sports Sci., Windsor 4 (1979), S. 237
47. FEDERLE, R.; W.-D. HESS:
Die Videozeitmeßtechnik als Methode zur Erfassung der Geschwindigkeitsdynamik bei Flachsprintern im Wettkampf
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 11 (1973) 9, S. 129
48. FINDEISEN, D. G. R.; P. G. LINKE, L. PICKENHAIN:
Grundlagen der Sportmedizin
J. A. BARTH, Leipzig (1980)
49. FISHBEIN, W. N.:
Myoadenylate desaminase deficiency
In: ENGEL, A. G.; B. Q. BANKER (Eds.)
Myology
MC GRAW HILL, New York (1985), S. 1745-1762
50. FOSTER, C.; A. C. SNYDER, N. N. THOMPSON, u. a.:
Normalization of the blood lactate profile in athletes
Intern. J. Sports Med., Stuttgart 9 (1988) 3, S. 198-200
51. FRUNDER, H.:
Physiologische Chemie
Volk und Gesundheit, Berlin (1988), 2. Auflage
52. GAISL, G.:
Der aerob-anaerobe Übergang und seine Bedeutung für die Trainingspraxis
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin (1979) Beiheft 7, S. 148-160
53. GERBER, G.:
Stand der Erkenntnisse zur Regulation des Kohlenhydratstoffwechsels und seiner Bedeutung für die Entwicklung der Ausdauerleistungen
Leipzig, FKS, Kolloquium: Rolle des Kohlenhydratstoffwechsels für die Ausdauerentwicklung (1976), S. 6-35

54. GERBER, G.; K.-S. PIEPER, F. SCHARSCHMIDT:
Der Skelettmuskel und seine Adaptation im sportlichen Training
In: TITTEL, K.; L. PICKENHAIN, E. STRAUZENBERG (Eds.)
Skelettmuskel und sportliches Training
Leipzig, FKS/DHfK (1979)
55. MC GILVERY, R. W.:
Substratutilisation bei muskulärer Tätigkeit
Med. u. Sport, Berlin 15 (1975) 3, S. 65-77
56. GOLLNICK, P. D.; C. W. SAUBERT IV, K. PIEHL, u. a.:
Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained
and trained men
J. Appl. Physiol., Bethesda 33 (1972), S. 312-319
57. GRAHAM, T. E.; B. SALTIN:
Estimation of the mitochondrial redox state in human skeletal muscle
during exercise
J. Appl. Physiol., Bethesda 66 (1989) 2, S. 561-566
58. HÄCKER, R.:
Voraussetzungen, zeitliche Abläufe und Grenzen des Ausdauertrainings
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 21 (1983) 2, S. 59-77
59. HÄCKER, R.:
Grundlagen und Lösungswege für die weitere Leistungsentwicklung aus sport-
medizinisch-biowissenschaftlicher Sicht
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 25 (1987) 2, S. 105-121
60. HÄCKER, R.; I. PUNKT:
Zur bioenergetischen Sicherung schneller und ausdauernder Muskelkontraktionen
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 20 (1982) 2/3, S. 62-82
61. HÄCKER, R.; E. HASART, M. REICHERT:
Die Regulation des aeroben und des anaeroben Stoffwechsels und die energie-
tische Sicherung sportlicher Leistungen
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 25 (1987) 8/9, S. 168-179
62. HÄKKINEN, K.; P. V. KOMI, M. ALEN:
Effect of explosive type strength training on isometric force - and
relaxations-time, electromyographic and muscle fibre characteristics
of leg extensor muscles
Acta Physiol. Scand., Stockholm 125 (1985), S. 587-600

63. HARRE, D.:
Trainingslehre
Sportverlag, Berlin (1986) 10. Auflage
64. HASART, E.:
Biochemische Untersuchungen zur Energiebereitstellung bei Leistungssportlern
unter besonderer Berücksichtigung der Sportart Eisschnellauf
Dissertation B, Berlin, Humboldt-Universität (1984)
65. HASART, E.; M. REICHERT, R. HÄCKER:
Regulation des aeroben und anaeroben Stoffwechsels und seine Bedeutung
für die energetische Absicherung sportlicher Leistungen
Leipzig, FKS, Parameterkolloquium (1987)
66. HECK, H.; W. HOLLMANN:
Methodische Probleme der Leistungsdiagnostik im Labor
Schweiz. Z. Sportmed., Bern 32 (1984), S. 78-85
67. HECK, H.; G. HESS, A. MADER:
Vergleichende Untersuchung zu verschiedenen Schwellenkonzepten
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 36 (1985) 1, S. 19-25
2, S. 40-52
68. HECK, H.; A. MADER, H. LIESEN, u. a.:
Vorschlag zur Standardisierung leistungsdiagnostischer Untersuchungen auf
dem Laufband
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 33 (1982) 9, S. 304-307
69. HECK, H.; A. MADER, R. MÜLLER, u. a.:
Laktatschwellen und Trainingssteuerung
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 37 (1986), Sonderheft, S. 72-78
70. HELLWIG, T.; H. LIESEN, A. MADER, u. a.:
Möglichkeiten einer sprintspezifischen Leistungsdiagnostik und Trainings-
steuerung mit Hilfe der Blutlactatkonzentration
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 39 (1988) 10, S. 392-406
71. HENNEMAN, E.; C. OLSON:
Relations between structure and function in the design of skeletal muscle
J. Neurophysiol., Bethesda 28 (1965), S. 581-598
72. HERMANSEN, L.; E. HULTMAN, B. SALTIN:
Muscle glycogen during prolonged severe exercise
Acta phydol. scand., Stockholm 71 (1967), S. 129-139

73. HESS, W.-D.:
Die Leistungsstruktur der Kurz sprint- und Kurzhürdendisziplinen der Leichtathletik - Ergebnisse der Test- und Wettkampfdiagnostik 1970 - 1974 im Deutschen Verband für Leichtathletik der DDR
Dissertation B, Halle, Martin-Luther-Universität (1975)
74. HILL, A. V.; C. N. H. LONG, H. LUPTON:
Muscular exercise, lactic acid, and supply and utilization of oxygen
Quart. J. Med., London 16 (1923), S. 135
75. HIRVONEN, J.; S. REHUNEN, H. RUSKO:
Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise
Europ. J. Appl. Physiol., Berlin 56 (1987) 3, S. 253-259
76. HOHORST, H. J.:
L-(+)-Lactat-Bestimmung mit Laktatdehydrogenase und DPN
In: BERGMAYER, H. H. (Ed.)
Methoden der enzymatischen Analyse
Verlag Chemie Weinheim/Bergstraße (1962)
77. HOLLMANN, W.:
Über den Einfluß eines aeroben und anaeroben Trainings auf den Muskelstoffwechsel
In: HORT, W.; R. FLÖTHNER (Eds.)
Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 16:
Die Muskulatur des Leistungssportlers
Perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft, Erlangen (1983)
78. HOLLMANN, W.:
Muskelkraft und Krafttraining aus sportmedizinischer Sicht
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 38 (1987) 10, S. 405-415
79. HOLLMANN, W.; T. HETTINGER:
Sportmedizin - Arbeits- und Trainingsgrundlagen
SCHATTAUER-Verlag, Stuttgart-New York (1980) 2. Auflage
80. HOLLMANN, W.; H. LIESEN:
Über die Bewertbarkeit des Laktats in der Leistungsdiagnostik
Sportarzt Sportmed., Köln 24 (1973) 8, S. 175-182
81. HOLLMANN, W.; B. SCHMÜCKER, H. HECK, u. a.:
Über das Verhalten spiroergometrischer Meßgrößen bei Radfahrern auf dem Laufband und auf dem Fahrradergometer
Sportarzt Sportmed., Köln 7 (1971), S. 153

82. HOLLOSZY, J.; F. BOOTH, W. WINTER, u. a.:
Biochemical adaptation of skeletal muscle to prolonged physical exercise
In: Metabolic adaptation to prolonged physical exercise
BIRKENHÄUSER-Verlag, Basel (1975), S. 438-447
83. HOLLOSZY, J.; E. F. COYLE:
Adaptation of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences
J. Appl. Physiol., Bethesda 56 (1984) 4, S. 831-838
84. HOWARD, H.:
Veränderungen der Muskelfasern durch Training
Leistungssport, Münster 19 (1989) 2, S. 18-24
85. HUGHES, E. F.; S. C. TURNER, G. A. BROOKS:
Effects of glycogen depletion and pedaling speed on anaerobic threshold
J. Appl. Physiol., Bethesda 52 (1982), S. 1598-1607
86. HULTMAN, E.:
Muscle glycogen stores and prolonged exercise
In: SHEPHARD, R. J. (Ed.)
THOMAS, C. C. (Publ.)
Frontiers of Fitness
Springfield, Illinois (1971), S. 37-60
87. HULTMAN, E.:
Carbohydrate metabolism during hard exercise and in the recovery period
after exercise
Acta Physiol.Scand., Stockholm 128 (1986), Suppl. 556, S. 75-82
88. HULTMAN; E.; J. BERGSTRÖM, N. MC LENNAN-ANDERSON:
Breakdown and resynthesis of phosphorylcreatine and adenosinetriphosphate
in connection with muscular work in man
Scand. J. Clin. Lab. Invest, Oslo 19 (1967), S. 55-66
89. IVY, J. L.; D. L. COSTILL, P. J. van HANDEL:
Alteration in the lactate threshold with changes in substrate availability
Intern. J. Sports Med., Stuttgart 2 (1981) 3, S. 139-142
90. JACOBS, I.:
Lactate concentrations after short, maximal exercise ab various glycogen
levels
Acta Physiol. Scand., Stockholm 111 (1981), S. 465-469

91. JACOBS, I.; P. A. TESCH, O. BAR-OR:
Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 s of supramaximal exercise
J. Appl. Physiol., Bethesda 55 (1983) 2, S. 365-367
92. JAGEMANN, K.; B. PANSOLD, W. ROTH:
Die Rolle des Laktats bei der Einschätzung des muskulären Trainingszustandes und einige kritische Bemerkungen zum "base excess"-Laktat-Verhältnis
Med. u. Sport, Berlin 9 (1969) 6, S. 174-179
93. JAKOWLEW, N. N.:
Sportbiochemie
Sportmedizinische Schriftenreihe 14, J. A. BARTH, Leipzig (1977)
94. JOHNSON, J. L.; G. J. BAGBY:
Gluconeogenic pathway in liver and muscle glycogen synthesis after exercise
J. Appl. Physiol., Bethesda 64 (1988), S. 1591-1599
95. JOHNSON, H. L.; R. A. NELSON:
Effects of electrolyte and nutrient solution on performance and metabolic balance
Med. sci. sports exerc., Indianapolis 20 (1988) 1, S. 26-33
96. JÜNGER, S.:
Die Bedeutung histochemischer, histomorphometrischer und biochemischer Parameter für die Beurteilung des Trainings in der Zweikampfsportart Ringen
Dissertation A, Berlin, Akad. f. Ärztl. Fortbildung (1983)
97. KACZKOWSKI, W.; D. L. MONTGOMERY, A. W. TAYLOR:
The relationship between muscle fiber composition and maximal anaerobic power and capacity
J. Sports Med. and Phys. Fitness, Turino 22 (1982) 4, S. 407-413
98. KALCKAR, H. M.:
The role of myokinase in transphorylations, II. The enzymatic action of myokinase on adenin nucleotides
J. Biol. Chem., Baltimore 148 (1943), S. 127-137
99. KARLSSON, J.:
Lactate and phosphagen concentrations in working muscle of man
Acta physiol. scand., Stockholm Suppl. 358 (1971), S. 1-72

100. KARLSSON, J.:
Localized muscular fatigue: role of muscle metabolism and substrate depletion
Exercise and Sport Sciences Reviews New York Vol. 7 (1979), S.1-42
101. KARLSSON, J.; J. I. JACOBS:
Onset of blood lactate accumulation during muscular exercise as a threshold concept: I. Theoretical considerations
Intern. J. Sports Med., Stuttgart 3 (1982) 4, S. 190-201
102. KARLSSON, J.; B. HULTEN, K. PIEHL, u. a.:
Das menschliche Leistungsvermögen in Abhängigkeit von Faktoren und Eigenschaften der Muskelfasern
Med. u. Sport, Berlin 15 (1975) 12, S. 357-365
103. KARLSSON, J.; L.-O. NORDESJÖ, B. SALTIN:
Muscle glycogen utilization during exercise after physical training
Acta physiol. scand., Stockholm 90 (1974) 1, S. 210-217
104. KARLSSON, J.; L. O. NORDESJÖ, L. JORFELD, u. a.:
Muscle lactate ATP and CP levels during exercise after physical training in man
J. Appl. Physiol., Bethesda 33 (1972) 2, S. 199-203
105. KATZ, A.; K. SAHLIN:
Regulation of lactic acid production during exercise
J. Appl. Physiol., Bethesda 65 (1988) 2, S. 509-518
106. KETTMANN, S.; M. REISS:
Zur Steuerung und Regelung des Trainings und der Leistungsentwicklung in den Ausdauersportarten
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 23 (1985) 6, S.53-59
107. KEUL, J.; E. DOLL, D. KEPPLER:
Muskelstoffwechsel
J. A. BARTH, München (1969)
108. KEUL, J.; W. KINDERMANN, G. SIMON:
Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsdiagnostik
Leistungssport, Münster 8 (1978) 22

109. KEUL, J.; G. SIMON, A. BERG, u. a.:
Bestimmung **der** individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung
und Trainingsgestaltung
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 30 (1979) 7, S. 212-218
110. KINDERMANN, W.:
Ergometrie - Empfehlungen für die ärztliche Praxis
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 38 (1987), S. 244-268
111. KINDERMANN, W.:
Schon wieder (immer noch) Laktat?
Dtsch.Z. Sportmed., Köln 40 (1989) 9, S. 311
112. KINDERMANN, W.; A. SCHNABEL:
Verhalten der anaeroben Ausdauer bei 400m-, Mittelstrecken- und Lang-
läufern
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 31 (1980) 8, S. 225-229
113. KINDERMANN, W.; G. SIMON, J. KEUL:
The significance of the aerob-anaerobic transition for the determination
of work load intensities during endurance training
Eur. J. Appl. Physiol., Berlin 42 (1979), S. 25-34
114. KOMI, P. V.:
Faktoren der Muskelkraft und Prinzipien des Krafttrainings
Leistungssport, Münster 5 (1975) 1, S. 3-16
115. KONOPKA, P.:
Ausdauer und Ausdauertraining
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 32 (1981) 1, S. 18-21
32 (1981) 2, S. 47-52
32 (1981) 3, S. 76-79
32 (1981) 4, S. 104-109
32 (1981) 5, S. 141-145
116. LANGE, E.:
Untersuchungen zum glykolytischen Energiestoffwechsel im Langsprint
(400 m)
Diplomarbeit, Halle, Martin-Luther-Universität, Bereich Medizin (1984)
117. LEHNINGER, A.:
Phosphorylation coupled to oxidation of dihydrodiphosphopyridine nucleotide
J. Biol. Chem., Baltimore 190 (1951), S. 345-359

118. LEINONEN, H.:
Effects of sprint- and endurance-Training on capillary circulation in human skeletal muscle
Acta physiol. scand., Stockholm 108 (1980), S. 425-427
119. LETZELTER, M.:
Zur Theorie des 400m-Laufs
SCHORS-Verlag, Hochheim (1979)
120. LETZELTER, M.; W. STEINMANN:
Zur Tempogestaltung beim 400m-Lauf der Männer und Frauen
In: Die Lehre der Leichtathletik, Köln
29 (1990) 2, S. 15-18
29 (1990) 3, S. 15-16
121. LIESEN, H.; E. LUDEMANN, D. SCHMENGLER, u. a.:
Trainingssteuerung im Hochleistungssport: einige Aspekte und Beispiele
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 36 (1985) 1, S. 8-18
122. LOHMANN, K.:
Über den Chemismus der Muskelkontraktion
Naturwissenschaften, Berlin 22 (1934), S. 409-411
123. LÜCK, S.:
Standpunkt zum Einsatz von Laktatbestimmungen in der Leistungsdiagnostik
In: Aussagewert biochemischer Meßgrößen in der Leistungsdiagnostik
Leipzig, FKS, Kolloquium (1979), S. 63-69
124. LUNDSGAARD, E.:
Untersuchungen über Muskelkontraktionen ohne Milchsäurebildung
Biochem. Zeitschr., Berlin 217 (1930), S. 167-177
125. MADER, A.; H. HECK, H. LIESEN, u. a.:
Simulative Berechnungen der dynamischen Änderungen von Phosphorylierungspotential Laktatbildung und Laktatverteilung im Sprint
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 34 (1983) 1, S. 14-22
126. MADER, A.; H. LIESEN, H. HECK, u. a.:
Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor
Sportarzt u. Sportmed., Köln 27 (1976) 4, S. 80-88
27 (1976) 5, S. 109-112

127. MALLMANN, B.; A. LUN, E. POHLE:
Biochemische Parameter im Serum vor und nach körperlicher Belastung
3. Mitteilung: Hypoxanthinkonzentration im Blut
Med. u. Sport, Berlin 25 (1985) 1, S. 27-29
128. MALZAHN, K.-D.; K.-H. NAUMANN, F. HEINZE, u. a.:
Vorschläge zur Realisierung der Leistungsziele von ausgewählten K 1-Sport-
lern des DSSV der DDR für die Olympischen Spiele 1980 in Moskau
Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1980)
129. MARGARIA, R.:
Energiequellen der Muskelarbeit - Biomechanik der menschlichen Bewegung
Sportmed. Schriftenreihe, Bd. 13, J. A. BARTH-Verlag, Leipzig (1982)
130. MARGARIA, R.; P. AGHEMO, G. SASSI:
Lactic acid production in supramaximal exercise
Pflügers Arch. ges. Physiol., Berlin 326 (1971), S. 152-161
131. MARGARIA, R.; P. CERRETELLI, F. MANGILI:
Balance and kinetics of anaerobic energy release during strenuous exercise
in man
J. Appl. Physiol., Bethesda 19 (1964) 4, S. 623-628
132. MARGARIA, R.; H. T. EDWARDS, D. B. DILL:
The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the
role of lactic acid in muscular contraction
Am. J. Physiol., Bethesda 106 (1933), S. 689-715
133. MAZZEO, R. S.; G. A. BROOKS, D. A. SCHÖELLER:
Disposal of blood L-¹³C-lactate in humans during rest and exercise
J. Appl. Physiol., Bethesda 60 (1986) 1, S. 232-241
134. MEDBÖ, J. I.; I. TABATA:
Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during
short - lasting exhausting bicycle exercise
J. Appl. Physiol., Bethesda 67 (1989) 5, S. 1881-18886
135. MELLEROWICZ, H.:
Controverse über das 400m-Lauf-Training
Sportmedizin, Köln 4 (1953) 4, S. 51-53
136. MELLEROWICZ, H.:
Ergometrie
URBAN und SCHWARZENBERG, München-Berlin-Wien (1975) 2. Auflage

137. MENDE, R.; U. STROBEL, B. MALLMANN, O. SONNTAG, u. a.:
Einsatz des Parameters Kreatinkinase (CK) in der Leistungsdiagnostik
In: Berlin, Sportmedizinischer Dienst, Zur sportmedizinischen Diagnostik,
Heft 8 (1983)
138. MEYERHOF, O.:
Die chemischen Vorgänge im Muskel und ihr Zusammenhang mit Arbeitsleistung
und Wärmebildung
SPRINGER, Berlin (1930)
139. NEUMANN, G.:
Aufgaben und Möglichkeiten der Sportmedizin bei der Steuerung des Trainings-
prozesses in den Sportartengruppen
In: Trainingssteuerung in den Sportartengruppen
Leipzig, FKS/DHfK (1978)
140. NEUMANN, G.:
Leistungsstruktur und Trainingssteuerung in den Ausdauersportarten
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 17 (1979) 5/6, S. 69-87
141. NEUMANN; G.:
Zur Bestimmung aerober Leistungsgrundlagen bei der sportspezifischen
Leistungsdiagnostik
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 19 (1981) 4/5, S. 211-223
142. NEUMANN, G.:
Zur Leistungsstruktur in den Ausdauersportarten
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 16 (1978) 1, S. 92-114
143. NEUMANN, G.:
Sportmedizinische Grundlagen der Ausdauerentwicklung
Med. u. Sport, Berlin 24 (1984), S. 174-178
144. NEUMANN, G.:
Sportmedizinische Grundlagen zur Leistungsentwicklung in den Sportarten-
gruppen
Teil 1: Ausdauersportarten
In: Lehrheft zum Lehrgebiet
Theorie und Methodik des Trainings der Sportarten - Spezialausbildung/
Sportgruppe: Ausdauersportarten -
Leipzig, DHfK (1987)
145. NEUMANN, G.:
Ansätze zur Erhöhung der Reizwirksamkeit des Ausdauertrainings aus sportme-
dizinisch-biowissenschaftlicher Sicht
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 25 (1987) 3, S. 15-30

146. NEUMANN, G.:
Einfluß sportlicher Belastungen auf den Stoffwechsel, die Temperatur-
regulation und den Elektrolythaushalt
In: STAUZENBERG, S. E.; D. HANNEMANN, H. GÜRTLER, K. TITTEL (Ed.)
Sportmedizin
J. A. BARTH, Leipzig (1990)
147. NEUMANN, G; K.-P. SCHÜLER:
Sportmedizinische Funktionsdiagnostik
Sportmed. Schriftenreihe 25
J. A. BARTH, Leipzig (1989)
148. NEWMAN, E. V.; D. B. DILL, H. T. EDWARDS, u. a.:
The rate of lactic acid removal in exercise
Am. J. Physiol., Bethesda 118 (1937), S. 457
149. NEWSHOLME, E. A.; C. START:
Regulation des Stoffwechsels
Verlag Chemie, Weinheim/Bergstraße (1977)
150. NORIAKI, F; J. TERNO, T. OHKUWA, u. a.:
Peak blood lactat after short periods of maximal treadmill running
Eur. J. Appl. Physiol., Berlin 48 (1982), S. 289-296
151. NORMAN, B.; A. SOLLEVI, E. JANSSON:
Increased IMP content in glycogendepleted muscle fibres during submaximal
exercise in man
Acta physiol. scand., Stockholm 133 (1988), S. 97-100
152. OSOLIN, N. G.:
Die "Geschwindigkeitsbarriere" und Möglichkeiten ihrer Überwindung
Theorie und Praxis Körperkultur, Berlin 19 (1970) 11, S. 979-984
153. PANSOLD, B.
unter Mitarbeit von H. BUHL, S. LÜCK, O. SONNTAG, U. STROBEL
Beurteilung der aeroben und anaeroben Leistungsvoraussetzungen in der
Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung durch Bestimmung der Laktat-
konzentration im Blut
Berlin, Sportmedizinischer Dienst "Zur sportmedizinischen Diagnostik",
Heft 8 (1983)

154. PANSOLD, B.:
Untersuchungsergebnisse zur komplexen Leistungsbewertung unter Berücksichtigung der Spezifik des Testverfahrens an ausgewählten Gruppen und Probanden von Leistungssportlern
Dissertation B, Greifswald, Ernst-Moritz-Arndt-Universität (1985)
155. PANSOLD, B.; W. ROTH:
Zum Informationsgehalt der Laktatkonzentration im Blut und seine Beziehung zu Parameters der Leistungsdiagnostik
In: Aussagewert biochemischer Meßgrößen in der Leistungsdiagnostik
Leipzig, FKS, Parameterkolloquium (1978), S. 40-60
156. PANSOLD, B.; W. ROTH, J. ZINNER, u. a.:
Die Laktat-Leistungskurve - ein Grundprinzip sportmedizinischer Leistungsdiagnostik
Med. und Sport, Berlin 22 (1982) 4, S. 107-112
157. PANSOLD, B.; J. ZINNER, B.-M. GABRIEL:
Die Laktat-Leistungskurve in der sportmedizinischen Diagnostik
Berlin, Sportvereinigung Dynamo (1983)
158. PANSOLD, B.; J. ZINNER, B.-M. GABRIEL:
Zum Einsatz und zur Interpretation von Lactatbestimmungen in der Leistungsdiagnostik
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 23 (1985) 9/10, S. 98-165
159. PANSOLD, B.; J. ZINNER, B.-M. GABRIEL:
Die Bedeutung des aerob-anaeroben Überganges als Bestandteil der komplexen Leistungsbeurteilung
In: Ausgewählte aktuelle Aspekte der sportmedizinischen Funktionsdiagnostik als Teil der komplexen Beurteilung der sportlichen Leistungsfähigkeit
Leipzig, FKS, Ergebniskolloquium (1986), S. 27-37
160. PANSOLD, B.; J. ZINNER, B.-M. GABRIEL:
Die Bedeutung des aerob-anaeroben Überganges als Bestandteil der komplexen Leistungsbeurteilung
Berlin, Sportvereinigung Dynamo (1987)

161. PARK, J. H.; R. L. BROWN, C. R. PARK, u. a.:
Functional pools of oxidative and glycolytic fibers in human muscle observed by ³¹P magnetic resonance spectroscopy during exercise
Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Washington 84 (1987), S. 8876-8980
162. PARNAS, J. K.:
Über die Ammoniakbildung im Muskel und ihren Zusammenhang mit Funktion und Zustandsänderung.
Teil 6: Der Zusammenhang der Ammoniakbildung und der Umwandlung des Adenin-nucleotids zu Inosinsäure
Biochem. Z., Berlin 206 (1929), S. 16-38
163. PASSONNEAU, J.; O. H. LOWRY:
The role of phosphofructokinase in metabolic regulation
In: Enzyme Regul. Sheffield 2 (1964), S. 265-290
164. PATTON, J. W.; M. M. MURPHY, F. A. FREDERICK:
Maximal power output during the Wingate-Anaerobic-Test
Int. J. Sports Med., Stuttgart 6 (1985), S. 82-85
165. PESSENHOFER, H.; G. SCHWABERGER, P. SCHMID:
Zur Bestimmung des individuellen aerob-anaeroben Übergang
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 32 (1981), S. 15-17
166. PETERS-FUTRE, E. M.; T. D. NOAKES, R. S. RAINE:
Muscle glycogen repletion during active postexercise recovery
Am. J. Physiol., Münster 253 (1987) 3, S. 305-311
167. PIEHL, K.:
Glykogenvorrat und -schwund in menschlichen Skelettmuskelfasern
Med. und Sport, Berlin 15 (1975) 2, S. 23-42
168. PIEPER, K.-S.:
Prinzipien und Aussagefähigkeit der Histomorphologie des Skelettmuskels
In: Analyse der Leistungsstruktur mit der Biopsiemethode
Leipzig, FKS, Kolloquium (1977), S. 22-41
169. PIEPER, K.-S.; F. SCHARSCHMIDT, D. APPELT, u. a.:
Zur Dynamik des Glykogenverlustes und der Resynthese im M. deltoideus bei wiederholten Belastungen
Leipzig, FKS, Kolloquium: Rolle des Kohlenhydratstoffwechsels für die Ausdauerentwicklung (1976), S. 51-59

170. DI PRAMPERO, P. E.:
Anaerobic capacity and power
In: Frontiers of Fitness
THOMAS, C. C. (Publ.), Springfield (1971)
171. DI PRAMPERO, P. E.:
Grundlagen der aneroben Energiebereitstellung und O₂-Schuld bei körperlichen Höchstbelastungen
Med. und Sport, Berlin 13 (1973) 1, S. 1-13
172. RAPOPORT, S. M.:
Medizinische Biochemie
Verlag Volk und Gesundheit, Berlin (1983) 8. Auflage
173. REED, M. J.; J. T. BROZINICH, M. C. LEE, u. a.:
Muscle glycogen shortage postexercise: effect of made of carbohydrate administration
J. Appl. Physiol., Bethesda 66 (1989) 2, S. 720-726
174. RIEDER, T.; T. KULLMER, W. KINDERMANN:
Aerobe und anaerobe Laufbanddiagnostik
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 38 (1987) 8, S. 318-322
175. ROBERTS, A. D.; A. R. MORTON:
Total and alactic oxygen debts after supramaximal work
Eur. J. Appl. Physiol., Berlin 38 (1978), S. 281-289
176. ROTH, W.; E. HASART, K.-S. PIEPER, u. a.:
Komplexe biologische Untersuchungsergebnisse zur Auswahl und Eignung von Eisschnellläufern und -läuferinnen für den Sprint
In: Analyse der Leistungsstruktur mit der Biopsiemethode
Leipzig, FKS, Kolloquium (1977), S. 132-157
177. ROTH, W.; B. PANSOLD, E. HASART, u. a.:
Zum Informationsgehalt leistungsdiagnostischer Parameter in Abhängigkeit von der Zunahme der Leistungsfähigkeit der Sportler
Med. und Sport, Berlin 21 (1981), S. 326-336
178. SAHLIN, K.:
NADH and NADPH in human skeletal muscle at rest and during ischaemia
Clin. Physiol., Oxford 3 (1983), S. 477-485

179. SAHLIN, K.:
Intracellular pH and energy metabolism in skeletal muscle of man
Acta physiol.scand., Stockholm (1978) Suppl. 455, S. 1-56
180. SAHLIN, K.:
Metabolic changes limiting muscle performance
In: SALTIN, B. (Ed.)
Biochemistry of exercise VI
Human Kinetics Publishers, Champaign (1986), S. 323-343
181. SAHLIN, K.; J. HENRIKSSON, A. KATZ:
NADH in human muscle at submaximal dynamic exercise
Acta physiol. scand., Stockholm 126 (1986) 3, C 10
182. SALTIN, B.; L. HERMANSEN:
Glycogen stores and prolonged severe exercise
In: *Physical activity and nutrition*
ALMQUIST/WIKSELL, Uppsala (1967)
183. SALTIN, B.; J. KARLSSON:
Muscle glycogen utilization during work of different intensities
In: PERNOW, B. and B. SALTIN (Eds.)
Muscle metabolism during exercise
New York, Plenum Press (1971), S. 289-299
184. SALTIN, B.; J. KARLSSON:
Muscle glycogen, lactate, ATP and CP in intermittent exercise
In: PERNOW, B. and B. SALTIN (Eds.)
Muscle metabolism during exercise
New York, Plenum Press (1971)
185. SALTIN, B.; J. KARLSSON:
Die Ernährung des Sportlers
In: HOLLMANN, W.:
Zentrale Themen der Sportmedizin
SPRINGER-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (1977)
186. SAPEGA, A. A.; D. P. SOKOLOV, T. J. GRAHAM:
Phosphorus nuclear magnetic resonance: a non-invasive technique for the
study of muscle bioenergetics during exercise
Med. Sci. Sports Exerc., Indianapolis 19 (1987) 4, S. 410-420
187. SAUL, B.:
Untersuchungen zum aeroben Energiestoffwechsel in der Kurzzeitausdauer-
diagnostik
Diplomarbeit, Halle, Martin-Luther-Universität, Bereich Medizin (1987)

188. SCHÄFER, W.:
Der Einsatz der Laktat-Leistungsbeziehung im Langsprint
Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1986)
189. SCHÄFER, W.:
Zur Funktion und Entwicklung der Schnelligkeit im Langsprint
Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1987)
190. SCHÄFER, W.:
Zu Strukturmerkmalen der Wettkampfleistung und den entsprechenden Trainingsinhalten in der leichtathletischen Disziplin 400 m (Langsprint)
Dissertation B, Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1989)
191. SCHÄFER, W.; O. SONNTAG:
Darstellung der Schnelligkeitsfähigkeit der 400m-Läufer(-innen) als Voraussetzung für die Entwicklung der speziellen Ausdauer
Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1979)
192. SCHÄFER, W.; O. SONNTAG:
Trainingsmitteluntersuchung im 400m-Training unter dem Aspekt der Belastungswirkung auf den Organismus, ausgedrückt durch die Parameter Laktat und Creatinphosphokinase (CPK)
Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1980)
193. SCHÄFER, W.; O. SONNTAG:
Untersuchungen zur langfristigen Leistungsentwicklung von 400m-Nachwuchssprintern
Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1981)
194. SCHÄFER, W.; O. SONNTAG, M. DEBES:
Verallgemeinerte Ergebnisse über den Einsatz des 4x60s-Stufentests auf dem Laufband
Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1984)
195. SCHÄFER W.; O. SONNTAG, M. DEBES:
Die Anwendung der Laktat-Leistungsbeziehung zur Charakterisierung der aeroben Leistungsfähigkeit im Langsprint
In: KONZAG, G. (Ed.)
Wissenschaftliche Beiträge: Zur Objektivierung und Bewertung sportlicher Leistungen, Leistungsvoraussetzungen und Lernprozesse
Halle, Martin-Luther-Universität (1984)

196. SCHÄFER, W.; O. SONNTAG, M. DEBES:
Zur Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit sowie deren Beziehung zum speziellen Training
Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1984)
197. SCHÄFER, W.; O. SONNTAG, M. DEBES:
Zur Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit sowie deren Beziehung zum speziellen Training
Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1984)
198. SCHÄFER, W.; O. SONNTAG, M. DEBES, u. a.:
Zur Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit im Jahresverlauf sowie weitere Ergebnisse aus leistungsdiagnostischen Untersuchungen im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer
Halle, Martin-Luther-Universität, Sektion Sportwissenschaft (1984)
199. SCHANTZ, P. G.:
Plasticity of human skeletal muscle with special reference to effects of physical training on enzyme levels of the NADH shuttles and phenotypic expression of slow and fast myofibrillar proteins
Acta physiol. scand., Stockholm (1986) Suppl. 558, S. 1-62
200. SCHARSCHMIDT, F.; G. GERBER, K.-S. PIEPER, u. a.:
Beziehungen zwischen Leistungskennziffern und Ergebnissen der Leistungsdiagnostik in Ausdauersportarten sowie Kenngrößen der Feinstruktur und des Stoffwechsels im Muskel
In: GERBER, G. (Ed.)
Kolloquium: Analyse der Leistungsstruktur mit der Biopsiemethode (1977), S. 9-21
201. SCHARSCHMIDT, F.:
Ausgewählte aktuelle Aspekte der sportmedizinischen Funktionsdiagnostik als Teil der komplexen Beurteilung der sportlichen Leistungsfähigkeit
In: Ausgewählte aktuelle Aspekte der sportmedizinischen Funktionsdiagnostik als Teil der komplexen Beurteilung der sportlichen Leistungsfähigkeit
Leipzig, FKS, Ergebniskolloquium (1986), S. 5-14
202. SCHARSCHMIDT, F.; K.-S. PIEPER, D. APPELT, G. GERBER:
Aussagewert muskelbiptischer Untersuchungen für die biologischen Wirkungen von Belastung und Training sowie für eignungsdiagnostische Fragestellungen
In: Analyse von Belastung und Training mit der Biopsiemethode
Leipzig, FKS, Kolloquium (1979), S. 7-21

203. SCHLICHT, W.; D. WITT, D. ROHDE, u. a.:
Steuerung der Trainingsbelastung im Langsprint
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 39 (1988) 6, S. 234-240
204. SCHNABEL, A.; W. KINDERMANN:
Assessment of anaerobic capacity in runners
Europ. J. Appl. Physiol., Berlin 32 (1983), S. 42-46
205. SCHNABEL, A.; W. KINDERMANN, J. KEUL, W.-M. SCHMITT:
Beurteilung der anaeroben Ausdauer (Stehvermögen) im Labor
Leistungssport, Münster 9 (1979), S. 503-507
206. SCHNABEL, G.:
Leistungsstruktur als Kategorie der Trainingsmethodik
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 13 (1975) 7, S. 128
207. SCHNABEL, G.:
Leistungsstruktur, Trainingsstruktur und ihr Zusammenhang
Med. und Sport, Berlin 21 (1981) 9, S. 257-260
21 (1981) 10, S. 318-320
208. SCHNABEL, G.:
Sportliche Leistung als Gegenstand der Theorie und Methodik des
Trainings
Theorie und Praxis Körperkultur, Berlin 35 (1986) 3, S. 180
209. SCHÖNHERR, L.:
Die Erfassung des aerob-anaeroben Übergangsbereichs bei Radsportlern
im Längs- und Querschnitt mit Hilfe pulmonaler Meßgrößen
Dissertation A, Leipzig, Karl-Marx-Universität (1988)
210. SCHÜRCH, P.:
Leistungsdiagnostik - Theorie und Praxis
In: Beiträge zur Sportmedizin, Bd. 32
Perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft m.b.H., Erlangen (1987)
211. SCHÜRCH, P.; M.SALOMON, U. WEGMANN, H.KUNZ
Leistungsbestimmende Faktoren beim 400m-Lauf
Schweiz. Z. Sportmed., Genf 34 (1986), S. 93-95

212. SCHWABERGER, G.; H. PESSENHOFER, P. SCHMID:
Relevanz der Laktatbestimmung in der Sportmedizin
Wien. med. Wochenschr., Wien 135 (1985), S. 234-241
213. SCHWABERGER, G.; H. PESSENHOFER, P. SCHMID u. a.:
Vergleichende Labor- und Felduntersuchungen zur trainingsbegleitenden
Diagnostik bei Mittelstreckenläufern und Schwimmern
Leistungssport, Münster 14 (1984), S. 25-31
214. SCHWABERGER, G.; H. PESSENHOFER, W. WULF, P. SCHMID:
Physiologische Grundlage zur Abhaltung von Feldtests in der Sportmedizin
In: Feldtests in Theorie und Praxis
ATKL-Symposium, Wien (1986)
215. SIMON, G.; A. BERG, H.-H. DICKHUTH u. a.:
Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit von Alter und von
der Leistungsfähigkeit
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 32 (1981) 1, S. 7-14
216. SONNTAG, O.
unter Mitarbeit von M. DEBES, W. SCHÄFER, C. WEGENER:
Vorschlag zum Einsatz eines Laufbandstufentests in der Kurzzeit-
ausdauerdiagnostik
Halle, Sportärztliche Hauptberatungsstelle (1983)
217. SONNTAG, O.; M. DEBES:
KZA-Diagnostik - Standardisierung von Laufbanduntersuchungen in der
KZA-Diagnostik
Halle, Sportärztliche Hauptberatungsstelle (1984)
218. SONNTAG, O.; M. DEBES:
Der 3-Minuten-Stufentest auf dem Laufband zur Beurteilung der aeroben
Leistungsfähigkeit in der Kurzzeitausdauerdiagnostik
In: Ausgewählte aktuelle Aspekte der sportmedizinischen Funktions-
diagnostik als Teil der komplexen Beurteilung der sportlichen
Leistungsfähigkeit
Leipzig, FKS, Ergebniskolloquium (1986), S. 97-103
219. SONNTAG, O.; M. DEBES:
Untersuchungen zum aeroben und anaeroben Energiestoffwechsel als Beitrag
zur weiteren Entwicklung der sportmedizinischen Diagnostik in der
Kurzzeitausdauer
Halle, Sportärztliche Hauptberatungsstelle (1989)

220. SONNTAG, O.; M. DEBES, W. SCHÄFER:
Zur Methode und zu einigen Ergebnissen der Laufbandergometrie im Langsprint (400 m)
Halle, Sportärztliche Hauptberatungsstelle (1983)
221. SONNTAG, O.; M. DEBES, W. SCHÄFER:
Zur Bedeutung der aeroben Leistungsfähigkeit in der Kurzzeitausdauerdiagnostik
Halle, Sportärztliche Hauptberatungsstelle (1984)
222. SONNTAG, O.; M. DEBES, W. SCHÄFER:
Zur Wirksamkeit der Diagnostik von Stoffwechselsystemen für die Trainingssteuerung am Beispiel des 400m-Laufes in der Leichtathletik
Theorie und Praxis Leistungssport, Berlin 21 (1983) 8/9, S. 43-63
223. SONNTAG, O.; M. DEBES, W. SCHÄFER, C. WEGENER:
Laufbandergometrie - Standardprogramm für die Laufbandergometrie im Langsprint (400 m)
Halle, Martin-Luther-Universität/Sportärztliche Hauptberatungsstelle (1983)
224. SONNTAG, O.; B. PANSOLD:
Lactat als Steuergröße zur Entwicklung des alactacid-, lactacid- und aerob-energieliefernden Stoffwechsels im Trainingsprozeß
Leipzig, FKS, Parameterkolloquium (1987)
225. STEGMANN, H.; W. KINDERMANN:
Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle bei unterschiedlich Ausdauertrainierten aufgrund des Verhaltens der Laktatkinetik während der Arbeits- und Erholungsphase
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 32 (1981) 8, S. 213-221
226. SULTANOW, N. N.:
Probleme der Vorbereitung für den 400m-Lauf
Leichtathletik, UdSSR 7 (1981)
227. SZÖGY, A.; D. BÖHMER, P. AMBRUS, S. BRUNE:
Zur Frage der Talentsuche bei Radrennfahrern durch Bestimmung der anaeroben Kapazität
In: JÄSCHKE, D. (Ed.)
Stellenwert der Sportmedizin in Medizin und Sportwissenschaft
SPRINGER-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo (1984), S. 576-582
228. SZÖGY, A.; G. CHEREBETUI:
Minutentest auf dem Fahrradergometer zur Bestimmung der anaeroben Kapazität
Europ. J. Appl. Physiol., Berlin 33 (1974), S. 171-176

229. TERJUNG, R. L.; G. A. DUDLEY, R. A. MEYER:
Metabolic and circulatory limitations to muscular performance at the organ level
J. exper. Biol., London 115 (1985), S. 307-318
230. TERJUNG, R. L.; G. A. DUDLEY, R. A. MEYER; u. a.:
Purine nucleotide cycle function in contracting muscle
In: Biochemistry of Exercise VI 16, Champaign,
Human Kinetics (1986), S. 131-147
231. TESCH, P. A.; J. KARLSSON:
Muscle fiber types and size in trained and untrained muscles of elite athletes
J. Appl. Physiol., Bethesda 59 (1985) 6, S. 1716-1720
232. TIHANYI, J.:
Prinzipien individualisierter Trainingsprotokolle auf der Basis der Muskelfaserzusammensetzung und mechanischer Merkmale
Leistungssport, Münster 19 (1989) 2, S. 41-45
233. TRIVEDI, B.; W. H. DANFORTH:
Effect of pH on the kinetics of frog muscle phosphofructokinase
J. Biol.Chem., Baltimore 241 (1966), S. 4110-4112
234. UI, M.:
A role of phosphofructokinase in pH-dependent regulation of glycolysis
Biochem. Biophys. Acta, Amsterdam 124 (1966), S. 310-322
235. VANDERVALLE, H.; G. PERES, J. HELLER, H. MONAD:
All out anaerobic capacity tests on cycle ergometers
Europ. J. Appl. Physiol., Berlin 50 (1983), S. 222-229
236. VANDERVALLE, H.; u. a.:
All out anaerobic capacity test on cycle ergometers. A comparative study on men and woman
Europ. J. Appl. Physiol., Berlin 54 (1985), S. 222-229
237. VANDERVALLE, H.; u. a.:
Standard anerobic exercise tests
Sports Med., Auckland 4 (1987), S. 268-289
238. VANDERVALLE, H.; G. PERES, J. HELLER:
Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer. Correlation with the height of a vertical jump
Europ. J. Appl. Physiol., Berlin 56 (1987) 6, S. 650-656

239. VOIGT-MALLMANN, B.; R. MENDE, K. FABIAN, O. SONNTAG, u. a.:
Einsatz des Parameters Creatinkinase (CK) in der sportmedizinischen Diagnostik
In: HÄCKER, R.; B. VOIGT-MALLMANN, B. PANSOLD (Eds.)
Empfehlungen zum Einsatz der Parameter Lactat, Creatinkinase und Harnstoff in der sportmedizinischen Diagnostik
Berlin (1987), S. 40-47
240. WASSERMANN, K.:
The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance
Am. Rev. Resp. Dis., New York Suppl. 129 (1984), S. 35-40
241. WEICKER, H.:
Purinnukleotidzyklus und muskuläre Ammoniakproduktion
Dtsch. Z. Sportmed., Köln 39 (1988) 5, S. 172-178
242. WENDLER, H.:
Leistungsphysiologische Untersuchungen im 400m-Lauf
In: Trainerinformation, Deutscher Verband für Leichtathletik (1975) 9, S.89
243. WILSON, D. F.; K. NISHIKI, M. BRECINSKA:
Energie metabolism in muscle and its regulation during individual contraction-relaxation cycles
Trends Biochem. Sci., Amsterdam 6 (1981), S. 16-19
244. WOJCIESZAK, J.; E. BURKE, E. MICHAEL, M. PUCHOW:
Physiologische und mechanische Aspekte anaerober Anstrengungen von unterschiedlicher Zeitdauer
Wych. Fiz. i Sport, Warszawa 25 (1981), S. 3-13
245. WOLKOW, N. I.:
Das Problem der Ermüdung und Wiederherstellung im Sport
Theor. Prakt. Fiz. Kult., Moskva 37 (1974), S. 60-64
246. WOLKOW, N. I.; E. A. SHIRKOVETS, V. E. BORILKEVICH:
Assessment of aerobic and anaerobic capacity of athletes in treadmill running tests
Europ. J. Physiol., Berlin 34 (1975), S. 12-16
247. ZERBES, H.:
Die Ernährung als fördernder Faktor für die Belastbarkeit und Leistungsfähigkeit unter besonderen Trainingsbedingungen im Sport
Dissertation B, Dresden, Medizinische Akademie (1986)

248. ZINNER, J.; B. PANSOLD, B.-M. SCHMIDT:

Gutes Training - schlechte Leistung

Training und Wettkampf, Berlin 28 (1990) 4, S. 65-75

ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt und an keiner anderen Universität oder Hochschule eingereicht habe.

Halle, 31. Dezember 1990

Olaf Sonntag

Worte des Dankes

Die vorliegende Arbeit wurde aus einer langjährigen konstruktiven Zusammenarbeit zwischen der Sportärztlichen Hauptberatungsstelle Halle und der Sektion Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg innerhalb der Forschungsgruppe Sprint/Hürden in der Leichtathletik angeregt.

Mein besonderer Dank gilt vor allem dem Forschungsgruppenleiter, Herrn Prof. Dr. sc. phil. W.-D. HESS, für sein wohlwollendes Interesse an dieser Arbeit und für seine problemorientierten Diskussionen und Hinweise.

Für die großzügige Unterstützung bei der organisatorischen Durchführung dieser Arbeit bedanke ich mich sehr herzlich bei der Chefärztin der Sportärztlichen Hauptberatungsstelle Halle, Frau Dr. med. C. FUCHS.

Herrn MR Prof. Dr. sc. med. G. NEUMANN danke ich für die kritischen und vielseitigen Anregungen auf dem Gebiet der sportmedizinischen Funktionsdiagnostik.

Herrn Dr. sc. phil. W. SCHÄFER bin ich besonders für die praxisorientierten Diskussionen auf dem Gebiet des 400m-Langsprints zu Dank verpflichtet.

Herrn Dr. sc. med. B. PANSOLD danke ich für die intensiven inhaltlich-vielseitigen Diskussionen während der Konzeption dieser Arbeit.

Herrn Dr. rer. nat. K. FABIAN gebührt für die wertvollen Hinweise bei der Fertigstellung dieser Arbeit mein herzlicher Dank.

Mein Dank gilt vor allem auch den Mitarbeitern der Forschungsgruppe und der Sportärztlichen Hauptberatungsstelle Halle, besonders den medizinisch-technischen Laborassistentinnen und Herrn Diplomphysiker M. DEBES.

Anhang

	Seite
1. Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	2
2. Reaktionswege zur ATP-Resynthese	5
3. Einsatzmöglichkeiten des biochemischen Parameters "Lactat"	6
4. Zu ausgewählten Problemen der Wiederherstellung des Organismus nach Belastung	8
5. Tabellen	10
6. Abbildungen	57

1. Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

a	- Koeffizient der Lactatgeschwindigkeitsbeziehung (Schnittpunkt der Ordinate)
a (v)	- Koeffizient der Blutlactatkontration-Zeit-Funktion (v = konstant)
A	- Arbeit
α	- Irrtumswahrscheinlichkeit (%)
ABT	- Aufbaustraining
ADP	- Adenosindiphosphat
AK	- Altersklasse
ALQ	- alactacider Quotient
AMP	- Adenosinmonophosphat
ANA	- anaerober Ausdauerkoeffizient
ANT	- Anschlußstraining
c-ASAT	- Aspartat-Aminotransferase (cytoplasmatisch)
m-ASAT	- Aspartat-Aminotransferase (mitochondrial)
ATP	- Adenosintriphosphat
B	- Koeffizient der Blutlactatkonzentration-Zeit-Funktion (v = konstant)
b	- Koeffizient der Lactatgeschwindigkeitsbeziehung (Anstieg der Funktion)
BLK	- Blutlactatkonzentration
bzw.	- beziehungsweise
c	- Konzentration
CK	- Creatinkinase
CK-Isoenzyme	- CK-Isoenzyme mit den Untereinheiten M (Muskel) und B (Brain)
Cr	- Creatin
CrP	- Creatinphosphat
d. h.	- das heißt
DL	- Dauerlauf
DHfK	- Deutsche Hochschule für Körperkultur und Sport Leipzig
FFS	- freie Fettsäure
FG	- Forschungsgruppe
FKS	- Forschungsinstitut für Körperkultur und Sport Leipzig
FTF	- Fast-twitch-fibre
FTG	- Fast-twitch-glycolytic-fibre

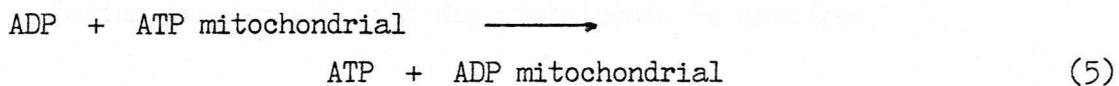
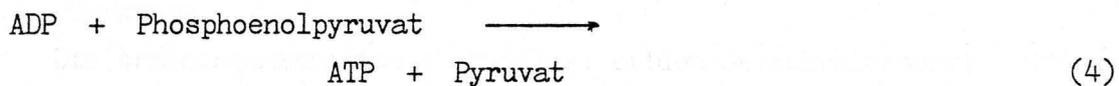
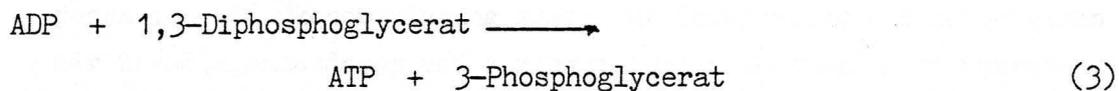
FTO	- Fast-twitch-oxidative-fibre
GDP	- Guanosindiphosphat
GTP	- Guanosintriphosphat
Hf	- Herzschlagfrequenz
HLT	- Hochleistungstraining
I	- Intensität
I ₁	- Intensitätsstufe 95,0 - 99,9% zur Bestzeit
I ₂	- Intensitätsstufe 90,0 - 94,9% zur Bestzeit
I ₃	- Intensitätsstufe 80,0 - 89,9% zur Bestzeit
IMP	- Inosinmonophosphat
KG	- Körpergewicht
KZA	- Kurzzeitausdauer
L	- Lactat (mmol/l)
L max	- maximale Lactatkonzentration
LA	- Leichtathletik
LA-NK	- Leichtathletik-Nationalkader
LA-NW	- Leichtathletik-Nachwuchskader
LBG	- Lactatbildungsgeschwindigkeit
LDH	- Lactatdehydrogenase
LG	- Leistungsgruppe
LGB	- Lactatgeschwindigkeitsbeziehung
LZA	- Langzeitausdauer
m	- männlich
max	- maximal
c-MDH	- Malatdehydrogenase (cytoplasmatisch)
m-MDH	- Malatdehydrogenase (mitochondrial)
MZA	- Mittelzeitausdauer
n	- Anzahl
NAD	- Nicotinsäureamid-adenin-dinucleotid
NADH	- Nicotinsäureamid-adenin-dinucleotid, reduziert
NI	- niedrige Intensität (bis 79,9% zur Bestzeit)
(P)	- anorganisches Phosphat
PFK	- Phosphofructokinase
r	- Korrelationskoeffizient
r ²	- Bestimmtheitsmaß
RL	- Reagenzlösung

RQ	- Respiratorischer Quotient
s	- Weg
$\pm s$	- Standardabweichung (%)
SHB	- Sportärztliche Hauptberatungsstelle
SMD	- Sportmedizinischer Dienst
STF	- Slow-twitch-fibre
t	- Zeit (s, min)
TA	- Trainingsabschnitt
TE	- Trainingseinheit
TM	- Trainingsmittel
TWJ	- Trainings- und Wettkampfjahr
u. a.	- unter anderem
UWV	- unmittelbare Wettkampfvorbereitung
v	- Geschwindigkeit (m/s)
v_{L4}	- Geschwindigkeit bei einer vorgegebenen Blutlactatkonzentration (z. B. 4 mmol/l)
VBW	- Vorbelastungswert
$\dot{V}O_{2max}$	- maximale Sauerstoffaufnahme
VP	- Vorbereitungsperiode
W	- Wertigkeit
WI ₂	- Wertigkeit Intensitätsbereich I ₂
w	- weiblich
WL	- Wettkampfleistung
WZ	- Wettkampfzeit
\bar{x}	- Mittelwert
y	- Yard (91,31 m)
z. B.	- zum Beispiel
z. T.	- zum Teil

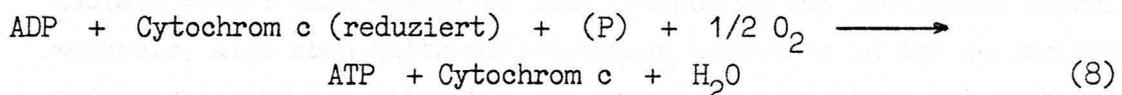
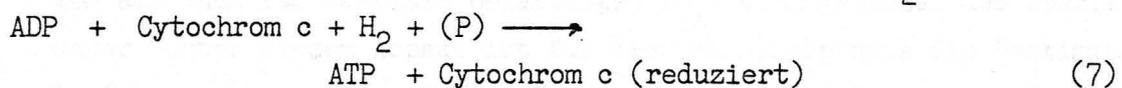
2. Reaktionswege zur ATP-Resynthese

Die Reaktionswege zur ATP-Resynthese (nach MC GILVERY, 1975)

Cytoplasma



Mitochondrium



Die durch Ca-Ionen aktivierte Muskelkontraktion führt zur Hydrolyse des ATP zu ADP. Mit dem Anstieg der ADP-Konzentration in der Muskelzelle werden je nach Intensität und Dauer im Cytoplasma bzw. in den Mitochondrien über die in der Tabelle angegebenen Reaktionswege ATP resynthetisiert.

Im Cytoplasma werden infolge des ADP-Anstiegs fünf Reaktionswege realisiert, wobei die Reaktionen (1) und (2) im Gleichgewicht mit Komponenten energiereicher Phosphate stehen, während die Reaktionen (3) und (4) den glykolytischen Weg beschreiben. Die Reaktion (5) tauscht ADP aus dem Cytoplasma mit ATP aus den Mitochondrien aus.

Demgegenüber beschleunigt eine erhöhte ADP-Konzentration in der mitochondrialen Matrix die oxidative Phosphorylierung über drei Reaktionsschritte, so Reaktionen (6) bis (8), sowie in Reaktion (9) den Transfer von anorganischem Phosphat aus Guanosintriphosphat (GTP) unter Bildung von ATP und Guanosindiphosphat (GDP).

3. Einsatzmöglichkeiten des biochemischen Parameters "Lactat"

Nach PANSOLD (1983) wird der biochemische Parameter "Lactat" in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik eingesetzt

- für die indirekte Ermittlung des aeroben Anteils an der Energiebereitstellung zur Kennzeichnung des intensitätsabhängigen Substratumsatzes und zur Sicherung der sportmethodischen Abgrenzung der Trainingsbereiche Kompensation und Ökonomisierung sowie zur Entwicklung der allgemeinen bzw. der Grundlagenausdauer und zur empirischen Bestimmung des aerob-anaeroben Übergangs.

Die trainingsmethodische Grundlage bilden Serienbelastungen, Umfangsbelastungen oder stufenförmig ansteigende Belastungen.

- für die direkte Bewertung des lactaciden Anteils an der Energiebereitstellung.

Es ist das klassische Beurteilungskriterium sowohl für die Wettkampfbelastungen als auch für maximale Belastungen im Trainingsprozeß der speziellen Ausdauer. Unter diesem Aspekt ist für die Trainingspraxis die Bestimmung der Lactate sowohl nach maximaler Inanspruchnahme des lactaciden Energiestoffwechsels, also nach Wettkampfleistungen besonders in der Kurzzeitausdauer, zur Beurteilung der Kapazität des Energieliefersystems als auch zur Beurteilung der Lactatbildungsgeschwindigkeit, der Leistung des Systems, nach intensiven Belastungen, wobei die Belastungszeit von 20 Sekunden nicht überschritten werden sollte, angezeigt.

- für die indirekte Bestimmung des alactaciden Anteils an der Energiebereitstellung.

Als trainingsmethodische Grundlage werden Trainingsmittel zur Entwicklung der Grundschnelligkeit, Maximalkraft (MK) und Schnellkraft (SK) angewandt.

Diese drei Einsatzmöglichkeiten sind vor allem unter dem Schwerpunkt der Beurteilung der Intensität einzuordnen. Sie erfüllen damit im wesentlichen die Aufgaben in der wissenschaftlichen Trainingssteuerung, wie

- Prüfung der Übereinstimmung zwischen der trainingsmethodischen Intensitätsvorgabe und der bioenergetischen Beanspruchung durch TM-Untersuchungen;
- Prüfung auf exakte Abgrenzung der Energiemechanismen zur Sicherung einer

optimalen fähigkeitsbezogenen Reizsetzung durch vergleichende Wertung von Vorgabe und biologischer Antwortreaktion;

- Kontrolle des Belastungs-Erholungs-Verhältnisses zur Sicherung einer hohen Belastbarkeit der energetischen Systeme.

Im allgemeinen geht der Einsatz des biochemischen Parameters "Lactat" in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik zur Beurteilung bzw. Bewertung von Energiestoffwechselprozessen auf MARGARIA et al. (1933), NEWMAN et al. (1937) sowie JAGEMANN et al. (1969) und HOLLMANN und LIESEN (1973) zurück.

4. Zu ausgewählten Problemen der Wiederherstellung des Organismus nach Belastung

Die Wiederherstellungsprozesse nach sportlichen Belastungen standen in den vorangegangenen Ausführungen schon oftmals im Blickfeld und sollen an dieser Stelle nur noch einmal im Sinne der Vollständigkeit kurz behandelt werden, obwohl besonders in der Kurzzeitausdauer eine sportliche Leistung nur unter gut ausgewogener Dynamik zwischen Belastung und Wiederherstellung ausgeprägt werden kann.

Nach NEUMANN/SCHÜLER (1989, S. 174) sind die in der Wiederherstellungsphase ablaufenden Prozesse Beanspruchungsfolgen, die in einem Zusammenhang mit dem Ausmaß der aktuellen Umstellung und dem vorhandenen Adaptationsniveau stehen.

Nach einer Belastung setzt zuerst die Wiederherstellung der Homöostase ein und danach beginnt das Wiederauffüllen der ausgeschöpften Energiereserven. Besonders nach umfangreichen intensiven Belastungen (z. B. im Langsprint der 6x400m-Test mit hoher Inanspruchnahme des anaerob-lactaciden Energiestoffwechsels), laufen die Wiederherstellungsprozesse verzögert ab (JAKOWLEW, 1977).

Die Diskussionen über die Wiederherstellung nach sportlichen Belastungen münden im wesentlichen darin, wann und unter welchen Erholungsvoraussetzungen kann das Training wieder aufgenommen werden bzw. wie ist der Grad der Bereitschaft zur Wiederaufnahme einer erneuten Belastung (WOLKOW, 1974).

Nach DI PRAMPERO (1973) erfolgt die Wiederherstellung in der Weise

- Wiederauffüllung des Creatinphosphats: 3 bis 6 Minuten
(Halbwertszeit: 17 Sekunden)
- Abbau des Blutlactats: 1 bis 3 Stunden
(Halbwertszeit: 15 Minuten)
- Beginn des Glykogenaufbaus: um 30 Minuten
- Regeneration des Muskelglykogens: 24 bis 36 Stunden
- Elektrolytausgleich: 6 Stunden

Nach PIEHL (1975) benötigt die Glykogenrestitution nach intensiven Belastungen etwa 48 Stunden bei kohlenhydratreicher Ernährung.

Die Dynamik der Glykogendepletion und ihre Resynthesezeiten waren in den letzten Jahren oft Gegenstand der sportmedizinischen Forschung (SALTIN und KARLSSON, 1977;

HULTMAN, 1986; PETERS-FUTURE, 1987; REED et al., 1989), wobei in dieser Arbeit im wesentlichen nur auf die Belastungsbedingungen (im Sinne der Wiederherstellung) zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit in der Kurzzeitausdauer geachtet werden kann. Glykogendepletionen treten dort durchaus im Trainingsabschnitt der allgemeinen Ausdauer aufgrund von langen intensiven Dauerläufen (DL) in Erscheinung. Demgegenüber ist es nach intensiven Belastungen im Trainingsabschnitt des speziellen Trainings möglich, Dauerlauf-Belastungen im Umfang von 4 bis 8 km bei einer Geschwindigkeit v_{L3} durchzuführen (SCHÄFER, 1989).

Es wurde bereits erwähnt, daß in der Wiederherstellungsphase das gebildete Lactat sowohl oxidativ abgebaut als auch auf glukoneogenetischem Wege wieder zu Glykogen aufgebaut wird (BROOKS, 1986; WASSERMANN, 1984; HULTMAN, 1986; JOHNSON et al., 1988; JOHNSON und BAGBY, 1988).

Im Trainingsprozeß sollte bewußt Einfluß auf die Abbaugeschwindigkeit des Lactats genommen werden. Die Abbaugeschwindigkeit des Lactats steigert sich nach EVANS und CURETON (1983) bei aktiver Erholung signifikant (25% schnellerer Abbau des Lactats), während nach BULBULIAN et al. (1987) das Lactat in der Wiederherstellungsphase bei einer leichten körperlichen Aktivität von 35% der maximalen Sauerstoffaufnahme schneller abgebaut wird. Dabei ist zu beachten, daß die Glykogenbevorratung in FTF nach intensiven Belastungen schneller aufgebraucht ist als in den STF (HENNEMANN und OLSEN, 1965; PIEHL, 1975).

5. Tabellen

Tabelle A 1/1

Ergebnisse des 4x5-Minuten-Stufentests zur Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit im Langsprint (männlich).

Die Geschwindigkeitsvorgaben betragen 3,25 (v_1) - 3,73 (v_2) - 4,25 (v_3) - 4,75 (v_4) m/s.

Es werden der v_{L4} -Wert (m/s) und die Konstante b der LGB (s/m) sowie die zu den einzelnen Geschwindigkeitsvorgaben ermittelten Lactatwerte bzw. Blutlactatkonzentrationen (BLK) dargestellt (n = 47).

Sportler	v_{L4}	b	Lactat (mmol/l)			
			v_1	v_2	v_3	v_4
002	4,72	1,15	1,1	1,3	2,4	4,1
	4,36	0,85	2,0	2,3	3,9	5,4
003	4,48	0,94	1,8	2,0	3,3	5,1
	4,73	0,88	1,5	1,7	2,6	4,1
004	4,27	0,90	1,6	2,5	4,0	6,1
	4,10	0,69	2,6	3,1	4,5	6,2
005	4,76	0,88	1,0	1,7	2,9	3,6
	4,25	0,62	2,0	3,0	3,8	5,6
015	3,52	0,77	3,2	4,9	6,9	10,3
	3,92	0,95	2,2	3,2	5,5	8,9
023	4,21	0,69	2,1	2,8	4,1	5,9
	4,65	0,87	1,2	1,8	2,8	4,4
024	4,57	0,78	1,5	2,0	3,0	4,8
	4,40	0,81	2,0	2,4	3,4	5,4
025	4,51	0,85	1,4	2,0	3,4	4,8
026	3,97	0,73	2,5	3,1	5,0	7,2
	4,03	0,76	2,3	3,1	4,6	7,1
027	3,80	0,86	2,4	4,2	5,4	9,2
028	4,16	0,96	2,3	2,7	3,8	7,1
029	3,71	0,71	2,2	3,0	4,4	6,3
	4,13	0,72	1,8	2,5	3,7	5,2
049	4,61	1,16	1,9	2,2	4,0	7,0
051	4,43	0,82	1,6	2,1	3,4	5,4
	3,98	0,83	2,2	3,2	5,1	7,5
052	4,12	0,77	2,8	3,0	4,4	6,5
053	4,77	0,98	1,4	1,5	2,3	4,0
054	4,10	0,51	2,6	3,3	3,4	5,6
055	3,22	0,43	4,7	5,0	6,3	7,7
056	3,50	0,77	4,1	4,9	7,0	10,6
057	4,50	0,82	2,1	2,2	3,1	5,0
	4,34	0,94	2,2	2,3	3,7	5,9
058	3,59	0,60	3,4	4,2	5,8	8,3
	3,90	0,78	2,4	3,4	5,9	7,3
059	4,58	0,85	1,5	2,0	2,9	4,7
	4,82	0,94	1,6	1,4	2,5	3,6
121	3,83	0,87	3,4	3,7	5,9	8,8

Fortsetzung Tabelle A 1/1

Sportler	Lactat (mmol/l)					
	v_{L4}	b	v_1	v_2	v_3	v_4
122	4,56	0,94	1,5	1,8	3,2	4,6
	4,34	0,99	2,1	2,2	3,8	5,9
123	3,79	0,67	3,2	3,9	5,4	7,6
124	4,56	9,83	1,6	2,0	3,2	4,6
125	3,63	0,42	4,8	4,2	5,2	6,4
126	4,34	0,84	1,7	2,3	3,6	5,9
	4,71	0,99	1,4	1,6	2,4	4,3
127	4,80	1,21	0,8	1,1	2,1	3,7
128	4,87	1,13	1,0	1,1	2,1	3,4
129	4,24	0,77	1,9	2,6	4,3	5,8
	4,08	0,61	2,4	3,2	3,8	5,9

\bar{x} = 2,15 2,67 4,00 6,02
 $s = \pm$ 0,88 1,00 1,26 1,74

Tabelle A 1/2

Ergebnisse des 4x5-Minuten-Stufentests im Langsprint (weiblich).

Die Geschwindigkeitsvorgaben betragen 3,00 (v_1) - 3,50 (v_2) - 4,00 (v_3) - 4,50 (v_4) m/s (n = 25)

Sportler	v_{L4}	b	v_1	v_2	v_3	v_4
02	3,80	0,97	1,9	2,9	4,8	8,1
	4,09	0,90	1,6	2,1	3,9	5,8
10	4,08	1,00	1,4	2,1	3,9	6,0
	3,89	0,92	1,9	2,6	4,1	7,6
18	3,58	0,94	2,5	3,4	5,7	10,1
21	3,70	1,09	2,0	2,8	5,9	9,6
	3,52	0,94	2,6	3,8	5,6	11,0
24	3,90	0,95	2,5	2,7	4,5	7,0
	3,61	0,76	2,7	3,4	5,1	8,4
25	4,01	1,08	2,0	2,3	4,0	6,8
26	3,40	0,82	2,8	4,5	6,5	9,7
28	3,63	0,87	3,1	3,6	5,4	8,6
29	3,85	1,09	1,6	2,6	5,1	7,9
30	4,06	1,30	1,2	1,9	3,8	7,0
31	4,35	1,23	1,7	1,4	2,6	4,8
	4,06	0,85	1,1	1,5	2,6	3,8

Fortsetzung der Tabelle A 1/2

Sportler	Lactat (mmol/l)					
	v_{L4}	b	v_1	v_2	v_3	v_4
32	3,60	0,92	2,3	3,6	5,9	9,1
	3,65	1,01	2,2	3,2	5,6	9,8
33	3,78	0,86	2,5	3,0	5,0	8,9
34	4,08	1,08	1,3	2,0	3,8	6,3
35	3,62	0,72	2,3	2,8	4,2	6,7
36	3,15	0,80	3,5	5,4	7,8	11,8
	3,87	0,91	1,9	2,7	4,4	7,4
37	3,38	0,63	3,1	4,5	5,8	8,3
38	3,32	0,77	3,4	4,1	6,7	10,5
\bar{x} =			2,20	3,00	4,91	8,04
s =			0,67	0,98	1,23	1,94

Tabelle A 1/3

Ergebnisse aus dem 4x5-Minutentest (v_{L4} -Wert und der Wert der Konstanten b der LGB), die eine außergewöhnlich "abgeflachte" LGB und relativ hohe v_{L4} -Werte aufweisen (männlich, n = 7; weiblich, n = 3)

Sportler	v_{L4}	b	Sportler	v_{L4}	b
002	5,17	0,77	02	4,57	0,67
003	4,94	0,72		4,46	0,88
004	4,56	0,63	27	4,77	1,00
	5,10	0,42			
023	4,87	0,78			
	5,00	0,81			
025	5,05	0,57			
026	4,72	0,55			
130	4,93	0,69			

Tabelle A 2/2

Ergebnisse des 3-Minuten-Stufentests (weiblich).

Die Geschwindigkeiten betragen 3,25 (v_1) - 3,50 (v_2) - 3,75 (v_3) - 4,00 (v_4) m/s (n = 23)

Sportler	v_{L4}	b	Lactat (mmol/l)			
			v_1	v_2	v_3	v_4
46	3,42	1,17	4,0	4,4	5,8	7,9
47	3,75	1,05	2,5	3,0	4,1	5,4
48	3,45	1,27	2,9	3,9	5,3	7,7
49	3,67	1,39	2,2	3,2	4,4	6,3
50	3,59	1,34	2,6	3,4	5,0	7,0
51	3,09	1,10	4,6	6,4	7,9	11,2
52	3,70	1,48	2,1	2,8	4,6	6,1
53	3,08	0,81	4,6	5,6	6,9	8,4
54	3,64	1,53	2,7	3,2	4,8	6,9
55	3,57	0,88	3,4	3,8	4,6	5,9
	3,56	1,06	3,3	3,7	5,1	6,3
56	4,32	1,24	1,1	1,4	1,9	2,8
57	4,04	1,68	1,6	1,6	2,5	3,7
58	3,83	1,23	2,5	2,7	3,5	5,0
59	4,09	1,52	1,2	1,6	2,1	3,5
	3,51	1,45	2,2	2,8	4,1	6,2
60	4,02	1,51	1,3	1,5	2,5	3,7
	4,05	1,38	1,4	1,8	2,5	3,7
	3,89	1,30	2,0	2,4	3,3	4,6
61	3,91	1,23	1,9	2,4	2,9	4,6
	3,14	1,11	3,3	4,0	5,7	8,0
62	3,90	1,49	1,9	2,2	3,2	4,7
	3,38	0,92	3,8	4,2	5,5	6,9

$\bar{x} =$	2,57	3,13	4,27	5,94
$s = \pm$	1,03	1,28	1,55	1,97

Tabelle A 2/3

Ergänzende Ergebnisse (v_{L4} -Wert und Konstante b der LGB) aus dem 3-Minuten-Stufentest in der leichtathletischen Disziplin Sprint/Hürden für weitere statistische Auswertungen.

Die Geschwindigkeitsvorgaben richten sich nach dem Leistungsvermögen und können infolge ihrer Differenziertheit nicht vereinheitlicht aufgeführt werden.

Sportler	v_{L4}	b	Sportler	v_{L4}	b
117	3,09	1,03	58	4,17	2,01
118	3,63	1,12	63	3,87	1,68
119	4,01	1,37	64	3,67	1,39
120	3,26	0,95	65	3,71	1,10
158	3,64	1,53	66	3,93	1,44
159	3,84	1,09			
160	4,53	2,08			
161	3,61	0,63			
162	5,45	2,00			
163	4,79	1,58			
164	3,30	1,02			
165	3,37	0,88			
166	3,41	0,82			
167	3,28	1,08			
168	3,61	1,02			
169	3,95	1,03			
170	4,75	1,91			
171	3,79	1,17			
172	4,34	1,48			
173	3,87	1,10			
174	3,79	0,85			

Tabelle A 3/1

Der 4x60-Sekunden-Stufentest in der Test-Retest-Prüfung.

An 8 Sportlern wurden innerhalb von 24 Stunden vier Tests mit den vorgegebenen Geschwindigkeitsstufen 5,0 (v_1) - 5,5 (v_2) - 6,0 (v_3) - 6,5 (v_4) m/s absolviert. Es werden die ermittelten BLK (mmol/l) sowie die Werte v_{L4} (m/s) und b (s/m) aufgeführt.

Sportler	Test	BLK ₁	BLK ₂	BLK ₃	BLK ₄	v_{L4}	Konstante b
085	1	3,6	5,3	7,9	12,2	5,14	0,81
	2	3,6	4,7	7,2	8,9	5,18	0,63
	3	3,4	5,3	7,7	10,9	5,18	0,77
	4	2,9	5,0	7,2	10,2	5,32	0,83
086	1	3,3	5,2	7,3	9,4	5,20	0,70
	2	3,1	4,0	6,2	8,0	5,42	0,66
	3	2,9	3,4	4,9	8,3	5,71	0,89
	4	3,0	4,1	7,1	7,6	5,39	0,67
087	1	2,0	3,0	4,3	5,4	5,98	0,67
	2	2,8	4,0	4,8	6,6	5,60	0,55
	3	3,0	4,1	5,5	6,8	5,48	0,55
	4	2,7	3,4	4,7	7,0	5,69	0,64
088	1	3,1	4,2	5,0	7,8	5,46	0,59
	2	2,7	4,4	5,6	7,7	5,49	0,68
	3	5,0	5,3	7,5	9,1	4,93	0,54
	4	2,8	4,5	5,2	8,5	5,43	0,72
089	1	1,9	2,9	4,0	5,4	6,03	0,69
	2	2,6	3,5	4,6	6,0	5,76	0,56
	3	2,8	3,7	4,8	6,8	5,63	0,58
	4	2,8	3,1	3,9	6,2	5,92	0,69
090	1	2,4	4,3	6,3	8,3	5,36	0,66
	2	3,6	5,0	7,2	8,8	5,14	0,61
	3	3,4	4,7	6,8	8,2	5,23	0,60
	4	2,7	4,2	6,0	8,6	5,48	0,77
091	1	2,3	3,7	5,3	7,6	5,66	0,79
	2	3,1	5,1	5,9	8,2	5,40	0,65
	3	2,5	4,4	6,2	7,9	5,31	0,59
	4	2,6	3,7	5,7	7,8	5,58	0,75
092	1	3,1	3,9	5,3	7,4	5,55	0,64
	2	3,2	4,2	6,1	7,3	5,38	0,57
	3	2,4	3,1	6,1	7,6	5,72	0,79
	4	2,6	3,7	5,4	7,6	5,60	0,72

Tabelle A 3/2

Darstellung von Mittelwert (\bar{x}) und Streuung ($\pm s$) der einzelnen BLK (mmol/l) in den Belastungsstufen von Test zu Test.

Test	\underline{x}	$\pm s$	\bar{x}	$\pm s$	\bar{x}	$\pm s$	\bar{x}	$\pm s$
1	2,71	0,64	4,06	0,89	5,77	1,36	7,94	2,20
2	3,09	0,36	4,36	0,55	5,95	0,96	7,69	1,02
3	3,18	0,82	4,25	9,83	6,19	1,10	8,20	1,34
4	2,76	0,14	3,96	0,61	5,65	1,13	7,94	1,20

Tabelle A 3/3

Vergleich der Daten der LGB, einschließlich Bestimmtheitsmaß r^2 , der vier Untersuchungen in der Reliabilitätsprüfung des 4x60-Sekunden-Stufentests

Test	r^2	a (mmol/l)	b (s/m)	$v_{L/4}$ (m/s)
1	0,997	0,078	0,715	5,51
2	0,996	0,150	0,609	5,39
3	0,995	0,091	0,697	5,43
4	0,999	0,083	0,701	5,52

Tabelle A 4/1

Ergebnisse aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest auf dem Laufband im Langsprint
(LA-NK, männlich)

Es werden die zu den Geschwindigkeiten (m/s) der einzelnen Belastungsstufen
gehörenden BLK (mmol/l) aufgeführt, differenziert nach den Intensität (n = 47).

Sportler	Geschwindigkeiten (v)				Blutlactatkonzentrationen (c)			
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
002	6,0	6,8	7,3	7,7	4,9	5,6	10,7	13,2
015	5,9	6,6	7,0	7,4	5,0	8,1	10,1	12,2
	5,9	6,6	7,2	7,6	4,5	7,1	10,0	11,5
023	5,9	6,7	7,1	7,5	4,7	7,4	8,1	9,7
	6,0	6,7	7,3	7,7	4,6	7,2	9,8	11,0
024	6,1	6,9	7,3	7,7	4,6	8,8	10,7	11,8
025	5,9	6,7	7,1	7,5	4,5	7,5	8,5	10,7
	5,8	6,7	7,1	7,5	5,3	8,1	10,7	11,8
026	6,0	6,7	7,3	7,7	5,0	8,1	12,4	15,0
	6,0	6,8	7,2	7,6	4,0	7,1	9,4	10,6
049	5,8	6,6	7,1	7,5	6,3	9,5	11,4	13,0
050	5,7	6,6	7,0	7,6	7,1	9,9	11,3	14,2
051	5,6	6,4	6,9	7,5	3,7	6,4	9,6	11,4
052	5,7	6,5	7,0	7,4	3,7	6,1	8,1	9,3
053	5,8	6,7	7,1	7,5	4,3	8,4	10,5	12,5
054	5,7	6,5	6,9	7,3	4,5	7,0	9,2	9,5
056	5,7	6,5	6,9	7,3	6,8	11,8	14,0	16,2
057	5,8	6,6	7,0	7,5	4,4	7,6	9,2	12,2
058	5,8	6,6	7,0	7,4	6,8	9,5	11,3	13,4
	5,8	6,6	7,0	7,5	4,8	8,2	10,9	13,3
059	5,8	6,6	7,1	7,5	3,5	5,7	7,1	8,0
121	5,7	6,5	7,0	7,4	5,1	8,6	10,7	13,2
122	5,8	6,7	7,1	7,5	4,0	6,4	8,7	10,2
	5,7	6,5	7,0	7,4	4,9	7,2	9,2	10,3
123	5,8	6,7	7,1	7,5	6,2	9,2	10,9	12,6
129	5,8	6,6	7,1	7,5	5,4	7,4	8,7	9,6
130	6,0	6,8	7,2	7,6	3,2	6,6	7,9	9,6
	6,0	6,8	7,3	7,7	3,5	6,0	9,3	10,1

Intensität I₂ (n = 19)

Sportler	Geschwindigkeiten (v)				Blutlactatkonzentrationen (c)			
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
002	6,1	6,9	7,4	7,9	5,7	8,4	10,5	11,4
015	5,9	6,6	7,2	7,6	5,8	8,2	9,0	11,6
	6,1	6,8	7,4	7,8	6,5	8,7	11,3	12,2
023	5,9	6,7	7,3	7,7	4,7	6,4	7,4	9,0
	6,1	6,9	7,5	7,9	4,5	5,4	7,7	9,8
025	6,0	6,8	7,2	7,6	3,8	7,1	9,6	11,8
	5,8	6,7	7,1	7,5	4,5	7,5	8,5	10,7
026	6,1	6,8	7,5	8,0	5,0	6,8	9,6	12,4
	6,0	6,8	7,4	7,8	5,5	8,0	9,9	12,7
050	5,7	6,6	7,0	7,6	5,4	8,0	9,7	11,3
051	5,6	6,4	6,9	7,5	5,3	7,4	8,8	11,6
053	5,8	6,7	7,1	7,5	4,7	7,3	9,4	11,3
058	5,8	6,6	7,0	7,4	6,8	8,7	10,0	11,9
	5,8	6,6	7,2	7,7	7,3	9,1	11,9	13,1
059	6,0	6,8	7,3	7,7	4,8	5,5	7,7	10,1
122	5,7	6,5	7,0	7,7	3,9	6,0	8,3	12,0
123	5,8	6,7	7,1	7,5	6,7	9,2	11,9	13,4
129	5,4	6,7	7,3	7,8	2,3	5,9	8,5	10,9
130	6,0	6,8	7,4	7,8	4,4	6,3	8,3	10,8

Tabelle A 4/2

Darstellung von Ergebnissen der LGB aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest (LA-NK, männlich), differenziert nach der Intensität (n = 47).

Es werden die Geschwindigkeiten v (m/s) bei einer BLK von 4, 6, 10, 14 und 18 mmol/l aufgeführt sowie die Konstante "b" (s/m).

Intensität I₃ (n = 28)

Sportler	v _{L4}	v _{L6}	v _{L10}	v _{L14}	v _{L18}	Konstante "b"
002	5,65	6,34	7,21	7,78	8,21	0,59
015	5,49	6,16	7,02	7,56	7,98	0,60
	5,64	6,36	7,27	7,87	8,32	0,56
023	5,53	6,41	7,52	8,25	8,80	0,46
	5,66	6,40	7,42	8,06	8,54	0,52
024	5,88	6,44	7,16	7,63	7,98	0,72
025	5,63	6,40	7,35	7,98	8,46	0,53
	5,22	6,04	7,09	7,78	8,29	0,49
026	5,64	6,26	7,03	7,54	7,92	0,66
	5,94	6,59	7,40	7,94	8,34	0,63

Fortsetzung Tabelle A 4/2

Sportler	v_{L4}	v_{L6}	v_{L10}	v_{L14}	v_{L18}	Konstante b
049	4,67	5,63	6,82	7,61	8,20	0,43
050	4,12	5,24	6,64	7,57	8,26	0,36
051	5,66	6,32	7,15	7,70	8,11	0,61
052	5,79	6,53	7,45	8,06	8,52	0,55
053	5,63	6,27	7,07	7,60	7,99	0,64
054	5,51	6,62	7,07	7,89	8,35	0,55
056	4,66	5,40	6,33	6,94	7,40	0,55
057	5,60	6,28	7,14	7,74	8,17	0,59
058	4,55	5,51	6,71	7,50	8,10	0,42
	5,46	6,12	6,95	7,50	7,91	0,61
059	5,99	6,82	7,85	8,54	(9,05)	0,49
121	5,22	5,95	6,87	7,48	7,93	0,56
122	5,81	6,53	7,43	8,03	8,47	0,56
	5,21	6,12	7,26	8,01	8,58	0,45
123	4,74	5,71	6,92	7,72	8,32	0,42
129	4,88	6,06	7,55	8,53	(9,26)	0,34
130	6,23	6,82	7,56	8,05	8,41	0,69
	6,17	6,79	7,57	8,08	8,47	0,66

Intensität I_2 (n = 19)

Sportler	v_{L4}	v_{L6}	v_{L10}	v_{L14}	v_{L18}	Konstante b
002	5,10	6,16	7,50	8,38	9,04	0,38
015	4,92	5,93	7,19	8,03	8,65	0,40
	4,97	5,85	7,18	8,07	8,72	0,38
023	5,42	6,59	8,06	(9,03)	(9,75)	0,35
	6,40	7,08	7,94	8,51	8,93	0,60
025	6,04	6,60	7,31	7,78	8,12	0,72
	5,54	6,35	7,36	8,03	8,53	0,50
026	5,66	6,51	7,57	8,27	8,80	0,48
	5,30	6,20	7,33	8,08	8,63	0,45
050	4,89	5,91	7,19	8,04	8,67	0,40
051	4,91	5,91	7,16	7,99	8,60	0,41
053	5,50	6,28	7,26	7,91	8,39	0,52
058	4,30	5,47	6,95	7,92	8,65	0,35
	3,95	5,21	6,80	7,85	8,63	0,32
059	6,33	6,93	7,69	8,19	8,56	0,68
122	5,75	6,47	7,37	7,97	8,41	0,57
123	4,60	5,57	6,79	7,59	8,20	0,42
129	6,19	6,81	7,59	8,10	8,49	0,66
130	5,84	6,67	7,71	8,40	8,91	0,49

Tabelle A 4/3

Ergebnisse aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest im Langsprint (LA-NK, weiblich).
Es werden die zu den Belastungsstufen (m/s) gehörenden BLK (mmol/l)
aufgeführt, differenziert nach der Intensität (n = 45)

Intensität I₃ (n = 25)

Sportler	Geschwindigkeit (v)				Blutlactatkonzentration (c)			
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
09	5,1	5,8	6,2	6,6	7,1	10,2	11,4	13,3
18	5,0	5,7	6,2	6,7	4,0	5,7	8,1	11,1
21	4,9	6,1	6,4	6,7	2,9	6,5	8,3	9,5
	5,1	5,8	6,2	6,6	5,5	7,4	10,5	12,1
25	5,1	5,8	6,3	6,6	3,5	5,9	9,5	10,8
	5,0	5,7	6,2	6,6	2,9	6,0	7,5	10,3
26	5,0	5,7	6,2	6,5	3,9	6,4	10,1	11,9
	5,0	5,7	6,2	6,6	3,1	5,2	7,6	10,6
27	5,4	6,1	6,5	7,0	2,5	4,7	6,5	10,7
	5,3	6,0	6,5	6,9	4,0	5,4	8,3	10,8
28	4,7	5,8	6,1	6,4	2,5	5,8	8,2	10,0
	5,0	5,7	6,2	6,5	5,4	7,2	9,1	11,5
29	5,0	5,7	6,2	6,7	4,6	6,7	9,8	12,7
30	5,0	5,7	6,2	6,5	4,9	6,5	9,2	11,0
36	5,0	5,7	6,2	6,5	5,1	7,8	10,2	11,6
	5,0	5,7	6,2	6,7	4,2	7,6	9,6	12,6
37	5,0	5,7	6,2	6,7	5,6	8,8	12,0	15,4
38	5,3	6,0	6,5	6,8	5,4	8,6	11,6	13,6
39	5,0	5,7	6,1	6,5	4,3	6,1	7,7	10,1
	5,0	5,7	6,2	6,6	2,6	4,3	6,2	8,0
40	5,3	6,0	6,5	6,8	4,4	7,8	10,8	13,1
	5,1	5,8	6,2	6,6	3,1	6,4	8,2	10,6
41	5,0	5,7	6,1	6,5	4,4	5,7	7,3	9,7
	5,4	6,1	6,5	6,8	3,7	7,0	9,3	12,5
42	5,0	5,7	6,2	6,5	5,5	7,1	9,9	13,4

Fortsetzung Tabelle A 4/3

Intensität I₂ (n = 20)

Sportler	Geschwindigkeit (v)				Blutlactatkonzentration (c)			
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
09	5,3	6,0	6,4	6,8	6,4	9,2	11,0	12,2
18	5,0	5,7	6,2	7,0	4,0	5,4	7,0	11,0
21	5,3	6,0	6,4	6,9	5,1	7,3	9,8	11,9
	5,1	5,8	6,5	7,0	4,1	6,1	8,6	12,8
24	5,2	6,3	6,7	7,0	3,9	8,4	11,2	13,1
25	5,1	5,8	6,5	6,8	3,6	5,1	7,4	9,5
26	5,0	5,7	6,3	6,7	4,8	7,1	8,9	11,5
	5,0	5,7	6,2	7,0	4,3	6,5	8,2	12,5
27	5,3	6,0	6,7	7,2	3,1	4,9	8,3	12,0
28	5,0	5,7	6,3	6,7	5,0	7,3	10,3	12,7
30	5,0	5,7	6,2	6,5	4,4	5,4	7,7	9,1
36	5,0	5,7	6,3	6,7	4,7	7,7	10,1	12,5
37	5,0	5,8	6,3	7,0	5,3	7,6	10,1	14,0
38	5,3	6,0	6,6	7,0	6,0	8,4	10,8	11,3
39	5,1	5,8	6,3	6,7	4,2	5,6	7,0	7,9
	5,3	6,0	6,4	6,8	2,9	3,8	5,5	7,0
40	5,1	5,8	6,4	6,8	4,8	6,9	9,5	11,6
41	5,1	5,8	6,3	6,7	4,7	6,6	8,9	11,5
	5,3	6,0	6,4	6,8	4,1	5,6	7,6	9,7
42	5,0	5,7	6,2	6,5	5,3	7,3	10,1	11,0

Tabelle A 4/4

Darstellung der Ergebnisse der LGB aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest (LA-NK, weiblich), differenziert nach der Intensität (n = 45)

Es werden die Geschwindigkeiten v (m/s) bei einer BLK von 4, 6, 10, 14 und 18 mmol/l aufgeführt sowie die Konstante "b" (s/m).

Intensität I₃ (n = 25)

Sportler	v _{L4}	v _{L6}	v _{L10}	v _{L14}	v _{L18}	Konstante "b"
09	3,66	4,64	5,87	6,68	7,29	0,41
18	5,04	5,71	6,55	7,11	7,52	0,61
21	5,37	5,97	6,73	7,23	7,60	0,67
	4,55	5,29	6,23	6,85	7,31	0,55
25	5,27	5,79	6,45	6,88	7,21	0,78
	5,34	5,86	6,53	6,97	7,29	0,77

Fortsetzung Tabelle A 4/4

Sportler	v_{L4}	v_{L6}	v_{L10}	v_{L14}	v_{L18}	Konstante b
26	5,04	5,58	6,25	6,70	7,03	0,76
	5,34	5,87	6,54	6,98	7,31	0,77
27	5,93	6,38	6,95	7,32	7,60	0,90
	5,38	6,02	6,82	7,35	7,74	0,63
28	5,28	5,78	6,40	6,81	7,12	0,82
	4,44	5,27	6,31	7,00	7,51	0,49
29	4,79	5,46	6,29	6,84	7,25	0,61
30	4,86	5,50	6,30	6,83	7,22	0,64
36	4,53	5,27	6,19	6,80	7,26	0,55
	4,84	5,47	6,27	6,79	7,19	0,64
37	4,41	5,09	5,94	6,50	6,92	0,60
38	4,80	5,45	6,28	6,82	7,23	0,62
39	4,90	5,62	6,53	7,13	7,58	0,56
	5,60	6,18	6,90	7,38	7,74	0,71
40	5,14	5,70	6,40	6,86	7,21	0,73
	5,34	5,84	6,46	6,87	7,18	0,82
41	5,18	5,79	6,56	7,07	7,45	0,67
	5,48	5,95	6,55	6,94	7,24	0,86
42	4,98	5,51	6,16	6,60	6,92	0,78

Intensität I_2

Sportler	v_{L4}	v_{L6}	v_{L10}	v_{L14}	v_{L18}	Konstante b
09	4,17	5,10	6,26	7,03	7,60	0,44
18	5,08	5,85	6,86	7,51	8,00	0,51
21	4,85	5,59	6,53	7,15	7,61	0,54
	5,08	5,78	6,65	7,23	7,66	0,58
24	5,23	5,82	6,57	7,06	7,43	0,68
25	5,32	6,05	6,97	7,58	8,03	0,56
26	4,62	5,43	6,45	7,12	7,62	0,50
	4,93	5,60	6,57	7,16	7,61	0,55
27	5,68	6,25	6,96	7,43	7,78	0,72
28	4,60	5,33	6,26	6,87	7,32	0,55
30	5,23	5,85	6,63	7,14	7,53	0,66
36	4,65	5,40	6,27	6,87	7,32	0,57
37	4,42	5,27	6,31	7,01	7,53	0,49
38	4,16	5,21	6,54	7,41	8,07	0,39
39	4,96	5,97	7,24	(8,08)	(8,70)	0,40
	6,04	6,57	7,24	7,68	8,01	0,76
40	4,75	5,53	6,51	7,16	7,64	0,52
41	4,85	5,57	6,49	7,09	7,54	0,56
	5,31	6,01	6,89	7,47	7,90	0,58
42	4,46	5,26	6,27	6,93	7,43	0,51

Tabelle A 5/1

Ergebnisse des 4x60-Sekunden-Stufentests in der Sportart Fußball (n = 26).
 Es werden der v_{L4} -Wert (m/s), der Wert der Konstanten b (s/m) sowie die
 bei vorgegebener Geschwindigkeit v (m/s) - 5,0 (v_1) - 5,5 (v_2) - 6,0 (v_3) -
 6,5 (v_4) m/s - gehörenden BLK (mmol/l).

Sportler	v_1	v_2	v_3	v_4	v_{L4}	Konstante b
101	3,8	5,5	6,0	10,7	5,04	0,50
	2,5	3,6	4,9	8,6	5,71	0,61
102	2,1	2,8	4,0	9,1	5,94	0,74
	0,6	1,0	2,1	5,4	6,69	1,10
103	1,5	2,4	3,2	7,1	6,25	0,76
	1,2	1,8	2,8	6,1	6,47	0,81
104	2,3	3,4	4,1	8,1	5,87	0,61
	0,7	1,0	2,3	6,3	6,58	1,20
105	2,1	2,4	3,9	7,8	6,11	0,77
	0,9	1,1	2,2	5,7	6,64	1,08
106	3,2	3,9	5,2	9,6	5,55	0,60
107	2,1	3,4	5,1	9,0	5,79	0,72
	0,9	2,2	3,8	7,4	6,25	1,01
108	3,7	5,9	6,6	9,3	4,91	0,43
109	2,4	3,5	5,1	11,3	5,67	0,78
	1,8	3,1	4,2	10,0	5,90	0,84
110	3,1	4,8	6,3	10,9	5,31	0,61
111	4,2	6,5	8,2	14,9	4,83	0,61
112	2,1	3,8	5,3	10,0	5,71	0,75
	2,8	4,7	6,8	10,4	5,37	0,64
113	2,9	4,3	5,4	9,4	5,48	0,57
	2,6	3,8	5,3	9,1	5,62	0,62
114	2,4	4,4	6,2	12,0	5,51	0,78
	1,5	2,9	4,8	10,0	5,93	0,93
115	1,9	2,1	3,5	6,2	6,33	0,70
116	5,8	6,5	7,3	10,3	3,79	0,29

Tabelle A 5/2

Die Ergebnisse des 4x60-Sekunden-Stufentests in der Sportart Ringen innerhalb des Trainingsabschnitts der speziellen Ausdauer (n = 13)

Sportler	26.06.1984		05.07.1984		12.07.1984	
	v_{L4}	b	v_{L4}	b	v_{L4}	b
266	5,46	0,59	5,51	0,60	5,50	0,68
267	4,94	0,49	5,01	0,55	5,40	0,65
268	2,95	0,31	4,23	0,48	4,63	0,49
269	5,11	0,57	5,11	0,57	5,23	0,53
270	5,21	0,64	5,16	0,59	5,46	0,69
271	5,24	0,71	5,32	0,71	5,63	0,80
272	5,42	0,66	5,38	0,60	5,49	0,77
273	5,40	0,89	5,33	0,63	5,35	0,79
274	4,71	0,44	4,87	0,46	5,08	0,64
275	5,02	0,49	5,00	0,55	5,42	0,81
276	5,13	0,53	5,21	0,66	5,60	0,76
277	5,18	0,82	5,27	0,92	5,15	0,90
278	4,66	0,39	5,07	0,47	5,36	0,74
$\bar{x} =$	4,96	0,58	5,11	0,60	5,33	0,71
$s = \pm$	0,65	0,17	0,32	0,12	0,27	0,12

Tabelle A 6

Die v_{L4} -Werte (m/s) aus dem 4x5-Minuten-Stufentest (Test 1) und aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest (Test 2) zur Darstellung ihrer korrelativen Beziehung (n = 41)

Sportler	Test 1 v_{L4}	Test 2 v_{L4}	Sportler	Test 1 v_{L4}	Test 2 v_{L4}
201	4,68	5,04	222	3,84	4,59
202	4,59	5,76	223	3,81	5,10
203	4,41	5,18	224	3,80	5,43
204	4,40	5,30	225	3,80	5,00
205	4,35	5,48	226	3,77	5,30
206	4,33	5,56	227	3,76	5,20
207	4,31	5,34	228	3,71	5,17
208	4,30	5,54	229	3,71	4,83
209	4,25	5,44	230	3,71	4,76
210	4,21	5,43	231	3,69	4,92
211	4,16	5,26	232	3,68	4,90
212	4,12	4,97	233	3,65	5,28
213	4,10	4,87	234	3,65	5,20
214	4,03	5,11	235	3,60	5,17
215	4,01	5,35	236	3,50	4,67
216	4,00	5,13	237	3,28	4,52
217	3,93	4,90	238	3,17	4,50
218	3,90	4,95	239	3,10	3,87
219	3,88	5,06	240	3,00	4,18
220	3,86	5,21	241	2,94	4,04
221	3,86	4,82			

Tabelle A 7/1

Die Ergebnisse der Parameter Lactat (mmol/l) und Weg (s) bei vier verschiedenen Geschwindigkeiten aus dem Laufstreckenstufentest.

Sportler	Weg (m)	Geschwindigkeiten (m/s)							
		6,0	6,3	6,5	6,8	7,0	7,3	7,5	7,8
016	80		1,9		2,6		1,7		1,8
	160		3,5		3,3		3,4		4,5
	240		5,2		5,7		5,7		7,0
	320		6,4		7,8		9,0		10,5
	400		7,8		8,5		10,5		12,1
017	80		1,9		1,7		2,1		2,1
	160		3,1		3,3		4,3		4,7
	240		4,4		5,5		7,2		7,5
	320		5,9		7,5		11,2		12,2
	400		7,5		10,0		12,0		14,2
018	80	1,3		1,4		1,2		2,0	
	160	2,4		2,7		3,1		3,7	
	240	3,5		4,4		5,2		6,1	
	320	4,6		5,8		7,7		9,1	
	400	5,1		7,1		8,8		11,1	
019	80	1,6		1,8		1,9		2,4	
	160	2,8		3,3		4,2		4,8	
	240	4,0		5,2		6,7		7,6	
	320	5,3		6,8		9,2		10,2	
	400	6,4		7,7		10,4		11,9	
020	80	1,9		1,4		2,1		2,0	
	160	3,2		3,5		4,1		4,2	
	240	4,6		5,5		6,4		7,8	
	320	6,2		7,5		8,8		10,0	
	400	7,2		8,1		10,0		-	
021	80	1,5		1,8		1,6		2,0	
	160	3,2		3,4		4,2		4,5	
	240	5,0		5,6		6,8		7,7	
	320	6,3		7,1		8,7		10,5	
	400	7,5		8,8		9,8		-	

Tabelle A 7/2

Die Darstellung der mittleren BLK (mmol/l) mit Standardabweichung zur Beschreibung der Lactat-Weg-Funktion mit dem Laufstreckenstufentest bei vier verschiedenen Geschwindigkeiten an 4 ANT-Sportlern.

s (m)	v = 6,0 m/s		v = 6,5 m/s		v = 7,0 m/s		v = 7,5 m/s	
	\bar{x}	$\pm s$						
80	1,58	0,25	1,60	0,23	1,70	0,39	2,10	0,20
160	2,90	0,38	3,23	0,36	3,90	0,54	4,33	0,47
240	4,28	0,66	5,18	0,54	6,28	0,74	7,30	0,80
320	5,60	0,80	6,80	0,73	8,60	0,64	9,95	0,60
400	6,30	0,98	7,90	0,71	9,75	0,68	11,50	0,57

Tabelle A 7/3

Die Darstellung der mittleren BLK (mmol/l) und der Belastungszeit t (s) bei vorgegebener Geschwindigkeit zur Beschreibung der Lactat-Zeit-Funktion mit dem Laufstreckenstufentest an 4 ANT-Sportlern.

s (m)	v = 6,0 m/s		v = 6,5 m/s		v = 7,0 m/s		v = 7,5 m/s	
	BLK	t	BLK	t	BLK	t	BLK	t
80	1,58	13,3	1,60	12,3	1,70	11,4	2,10	10,7
160	2,90	26,6	3,23	24,6	3,90	22,9	4,33	21,3
240	4,28	40,0	5,18	36,9	6,28	24,3	7,30	32,0
320	5,60	53,3	6,80	49,2	8,60	45,7	9,95	42,7
400	6,30	66,7	7,90	61,5	9,75	57,1	11,50	53,3

Tabelle A 7/4

Zusammenstellung der Parameter der Lactat-Zeit-Funktion zur Bestimmung des alactaciden Quotienten (ALQ).

Es bedeuten: v = Geschwindigkeit (m/s)

r^2 = Bestimmtheitsmaß

a = Konstante (mmol/l)

B = Konstante/Lactatbildungsgeschwindigkeit (mmol/l*s)

ALQ = alactacider Quotient

Sportler	v	r^2	a	B	ALQ	v (ALQ = 1)
016	6,3	1,00	0,55	0,116	0,75	6,84
	6,8	0,96	0,69	0,139	0,74	
	7,3	0,99	-0,90	0,212	1,57	
	7,8	0,99	-0,80	0,259	1,35	
017	6,3	1,00	0,36	0,110	0,81	6,43
	6,8	1,00	-0,64	0,177	1,44	
	7,3	0,97	-0,65	0,244	1,28	
	7,8	0,99	-1,37	0,309	1,62	
018	6,0	0,99	0,44	0,074	0,71	6,39
	6,5	1,00	-0,07	0,118	1,05	
	7,0	0,99	-0,74	0,173	1,58	
	7,5	0,99	-0,68	0,221	1,35	
019	6,0	1,00	0,39	0,091	0,77	7,30
	6,5	0,99	0,37	0,124	0,82	
	7,0	0,99	-0,12	0,193	1,05	
	7,5	0,99	0,06	0,229	0,98	
020	6,0	1,00	0,54	0,102	0,73	6,68
	6,5	0,97	-0,02	0,141	1,01	
	7,0	0,99	0,13	0,179	0,95	
	7,5	0,99	-0,85	0,258	1,38	
021	6,0	0,99	0,17	0,113	0,90	6,47
	6,5	1,00	0,03	0,144	0,98	
	7,0	0,98	-0,05	0,183	1,02	
	7,5	1,00	-1,00	0,269	1,46	

Tabelle A 8

Darstellung des Zusammenhangs 30m- und 80m-Laufzeiten (s) einschließlich der dazugehörenden BLK (mmol/l) an Spitzenathleten des 400m-Langsprints.

männlich (n = 13)

Sportler	t 30 m	BLK	t 80 m	BLK
028	3,10	5,3	9,57	6,0
126	2,97	7,2	9,22	8,5
127	2,90	7,1	9,08	8,0
128	3,05	6,3	9,56	8,5
189	2,91	7,9	9,23	11,1
190	2,95	7,5	9,33	9,5
191	2,95	7,8	9,16	7,9
192	3,19	5,5	10,07	6,3
193	3,18	5,1	9,90	6,9
194	3,13	7,3	9,65	7,6
195	2,99	8,4	9,46	8,6
196	3,11	6,5	9,67	6,1
197	3,27	4,5	9,92	6,6
$\bar{x} =$	3,05	6,6	9,53	7,8
$s = \pm$	0,12	1,2	0,32	1,5

weiblich (n = 8)

Sportler	t 30 m	BLK	t 80 m	BLK
12	3,56	7,6	10,91	11,0
27	3,47	6,3	10,87	7,9
34	3,21	8,1	10,07	8,7
73	3,45	3,9	10,57	6,0
74	3,44	6,3	10,44	8,6
75	3,42	5,7	10,45	7,8
76	3,41	7,4	10,34	8,8
77	3,77	5,3	11,42	6,9
$\bar{x} =$	3,47	6,3	10,63	8,2
$s = \pm$	0,16	1,4	0,42	1,5

Tabelle A 9/1

Ergebnisse des 4x1000m-Feldtests zur Ermittlung aerober Leistungsvoraussetzungen im Langsprint (LA-NK, männlich).

Es werden der v_{L4} -Wert (m/s), die Konstante "b" der LGB sowie die zu vorgegebenen Geschwindigkeiten - 3,32 (v_1) - 3,76 (v_2) - 4,26 (v_3) - 4,74 (v_4) m/s - gehörenden BLK (mmol/l) dargestellt (n = 23).

Sportler	v_{L4}	"b"	Lactat (mmol/l)			
			v_1	v_2	v_3	v_4
002	4,24	0,80	2,0	2,7	3,7	6,4
003	4,28	0,62	2,3	2,8	3,7	5,6
004	5,02	0,47	2,0	2,0	2,5	4,0
022	4,34	1,07	3,0	2,1	3,8	6,0
030	4,11	0,73	2,1	3,1	3,4	6,5
031	4,91	0,84	1,6	1,5	2,4	3,4
	5,05	0,47	2,0	2,2	2,7	3,5
032	4,24	0,88	2,8	2,7	3,8	6,4
	4,60	0,53	2,0	2,6	2,7	4,3
033	4,98	0,74	1,6	1,6	2,4	3,3
035	4,20	0,80	2,4	3,0	3,6	6,6
036	4,65	0,73	2,5	2,1	3,0	4,3
037	4,13	0,88	2,0	2,8	4,4	7,0
038	4,48	0,88	2,0	2,1	3,3	5,0
039	4,86	0,74	1,5	1,8	2,5	3,7
040	3,80	0,55	2,1	3,9	5,2	6,7
041	4,11	0,96	2,4	2,9	4,5	7,4
042	4,25	0,99	2,3	2,4	4,3	6,3
043	4,18	0,99	2,5	2,7	4,2	7,1
044	4,39	0,81	2,5	2,4	3,6	5,3
	4,38	1,02	2,0	2,2	3,3	6,0
045	4,17	0,78	2,1	2,8	3,4	6,3
046	3,87	0,79	2,6	3,6	5,4	8,0

$\bar{x} =$	2,19	2,52	3,56	5,61
$s = \pm$	0,37	0,59	0,85	1,40

Tabelle A 9/2

Ergebnisse des 4x1000m-Feldtests (LA-NK, weiblich).

Die vorgegebenen Geschwindigkeiten:

3,05 (v_1) - 3,57 (v_2) - 4,09 (v_3) - 4,55 (v_4) m/s (n = 18)

Sportler	v_{L4}	"b"	Lactat (mmol/l)			
			v_1	v_2	v_3	v_4
02	3,91	0,79	2,8	3,1	4,5	6,7
	4,19	0,79	2,7	2,5	3,5	5,5
03	3,78	0,78	2,6	2,8	4,9	8,0
	3,79	0,85	2,2	3,2	5,0	7,9
04	4,37	0,86	1,3	1,2	3,0	4,8
11	4,31	1,14	1,1	1,7	3,2	5,2
	3,95	0,87	1,9	2,7	3,2	6,9
12	3,99	0,69	2,1	3,1	4,0	6,1
15	3,82	0,80	3,2	3,2	5,0	8,3
16	4,07	0,97	2,5	2,5	4,0	6,5
17	3,54	0,94	2,0	4,2	6,5	10,6
18	3,40	0,59	3,9	4,4	6,1	7,8
19	3,71	0,72	2,6	3,6	4,7	8,0
20	3,92	0,76	2,1	3,0	3,3	6,5
21	2,88	0,50	4,3	4,9	6,9	9,4
	3,43	0,79	4,1	4,6	6,3	10,0
22	3,48	0,64	3,0	4,4	5,7	8,0
23	3,00	0,45	4,1	5,1	6,7	7,9

\bar{x} =	2,69	3,34	4,81	7,45
$s = \pm$	0,94	1,08	1,32	1,59

Tabelle A 10/1

Ergebnisse aus dem 4x400m-Feldtest im Langsprint (LA-NK, männlich).

Es werden zu den Geschwindigkeiten (m/s) der einzelnen Belastungsstufen gehörenden BLK (mmol/l), differenziert nach der Intensität, aufgeführt (n = 28)

Intensität I₃ (n = 18)

Sportler	Geschwindigkeit (v)				Blutlactatkonzentration (c)			
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
002	6,22	6,91	7,43	8,21	5,9	9,3	10,0	16,5
003	6,03	6,96	7,65	7,94	4,4	8,7	11,3	12,4
005	5,65	6,07	7,20	7,90	4,7	6,7	10,1	14,0
008	5,52	6,65	7,44	7,80	4,4	9,2	12,4	16,0
030	5,60	6,66	7,42	7,72	4,7	8,1	11,0	12,3
031	5,60	6,76	7,42	7,72	3,7	7,6	11,4	13,9
032	5,77	6,78	7,29	7,91	4,9	8,4	11,9	14,6
038	5,52	6,65	7,44	7,80	4,3	9,4	12,1	13,5
044	5,93	6,92	7,41	8,02	4,5	9,4	10,1	14,0
046	5,70	6,69	7,29	7,89	6,3	11,1	14,2	16,2
077	6,15	6,85	7,37	8,20	5,8	7,9	9,8	14,4
130	4,71	5,50	6,24	7,03	3,4	6,2	10,4	14,6
179	6,12	7,04	7,54	7,94	4,8	8,7	11,2	12,5
184	5,73	6,53	7,19	7,80	4,4	6,1	10,9	11,9
185	6,15	6,85	7,50	8,11	6,6	8,3	10,5	12,4
186	6,40	6,84	7,94	8,21	8,0	9,9	14,4	16,8
188	5,73	6,53	7,19	7,80	4,5	8,1	13,0	14,7
	5,47	6,48	7,45	7,91	6,0	9,8	13,0	16,1

Intensität I₂ (n = 10)

Sportler	Geschwindigkeit (v)				Blutlactatkonzentration (c)			
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
002	6,87	7,46	8,08	8,58	8,4	11,3	12,8	16,8
003	6,06	6,84	7,37	8,46	5,3	8,5	9,2	14,5
004	6,24	7,04	7,87	8,51	6,0	9,7	12,6	18,3
005	5,22	6,25	7,33	8,06	4,9	5,2	10,4	16,7
023	5,90	6,19	7,49	8,25	4,1	4,8	9,7	14,7
029	6,13	6,92	7,59	8,08	6,1	12,6	15,9	18,6
031	6,17	6,99	7,39	8,21	5,4	10,1	11,4	16,4
038	6,02	6,71	7,46	8,23	8,4	10,3	12,9	18,1
077	6,87	7,46	8,08	8,56	9,4	10,3	13,3	15,2
128	6,05	7,18	7,77	8,32	5,1	10,5	14,4	16,5

Tabelle A 10/2

Darstellung der Ergebnisse der LGB aus dem 4x400m-Feldtest (LA-NK, männlich) differenziert nach der Intensität (n = 28).

Es werden die Geschwindigkeiten v (m/s) bei einer BLK von 4, 6, 10, 14 und 18 mmol/l aufgeführt sowie die Konstante b (s/m).

Intensität I₃ (n = 18)

Sportler	v _{L4}	v _{L6}	v _{L10}	v _{L14}	v _{L18}	Konstante b
002	5,37	6,17	7,18	7,84	8,34	0,51
003	5,80	6,49	7,35	7,92	8,35	0,59
005	5,31	6,10	7,21	7,80	8,35	0,50
008	5,29	6,02	6,95	7,56	8,02	0,55
030	5,20	6,09	7,22	7,96	8,51	0,46
031	5,73	6,38	7,20	7,74	8,14	0,62
032	5,35	6,12	7,10	7,74	8,22	0,53
038	3,94	5,23	6,84	7,91	8,70	0,32
044	5,58	6,33	7,28	7,90	8,37	0,54
046	4,79	5,58	6,57	7,22	7,70	0,52
077	5,32	6,23	7,39	8,15	8,72	0,44
130	4,88	5,51	6,32	6,85	7,25	0,64
179	5,70	6,48	7,45	8,08	8,56	0,53
184	5,00	6,42	7,47	8,17	8,68	0,49
185	4,59	5,85	7,44	8,49	(9,27)	0,32
186	4,59	5,63	6,93	7,79	8,44	0,39
188	5,43	6,15	7,06	7,66	8,10	0,56
	4,36	5,39	6,70	7,55	8,20	0,39

Intensität I₂ (n = 10)

Sportler	v _{L4}	v _{L6}	v _{L10}	v _{L14}	v _{L18}	Konstante b
002	4,88	5,94	7,28	8,16	8,82	0,38
003	5,39	6,35	7,57	8,37	8,97	0,42
004	5,31	6,17	7,26	7,97	8,51	0,47
005	5,85	6,50	7,26	7,80	8,20	0,64
023	5,94	6,60	7,45	8,00	8,79	0,54
029	3,50	4,71	6,23	7,23	7,97	0,34
031	5,58	6,32	7,25	7,86	8,32	0,55
038	3,92	5,11	6,59	7,57	8,31	0,34
077	4,72	5,88	7,34	8,30	9,02	0,35
128	5,50	6,26	7,22	7,85	8,32	0,53

Tabelle A 10/3

Ergebnisse aus dem 4x400m-Feldtest im Langsprint (LA-NK, weiblich).
Es werden die Geschwindigkeiten (m/s) und die dazu gehörenden BLK (mmol/l) der einzelnen Belastungsstufen, differenziert nach der Intensität, aufgeführt (n = 24).

Intensität I₃ (n = 14)

Sportler	Geschwindigkeit (v)				Blutlactatkonzentration (c)			
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
02	5,17	5,63	6,60	7,46	4,2	5,9	8,8	13,8
	5,17	5,78	6,48	7,38	3,5	6,1	8,0	13,1
03	4,91	6,20	6,84	7,27	4,3	7,2	8,6	15,1
04	4,91	6,20	6,84	7,27	3,1	7,5	10,6	12,1
10	5,17	5,78	6,48	7,17	3,2	5,8	8,6	11,6
	5,17	5,63	6,60	7,27	4,2	5,5	9,5	13,5
11	5,10	5,54	6,45	7,19	5,1	6,3	10,1	13,8
12	5,10	5,54	6,45	7,19	4,5	4,9	8,2	13,6
14	4,91	6,20	6,84	7,17	2,3	6,6	9,5	12,4
17	4,91	5,46	6,02	6,69	6,0	7,6	10,1	13,2
18	4,68	5,56	6,18	7,02	6,3	7,8	10,7	14,3
21	4,78	5,46	6,10	6,87	3,3	5,9	8,9	16,6
71	4,74	5,44	6,19	6,56	4,1	9,1	14,3	16,3
72	4,68	5,56	6,18	7,02	5,7	7,7	9,7	12,7

Intensität I₂ (n = 10)

Sportler	Geschwindigkeit (v)				Blutlactatkonzentration (c)			
	v ₁	v ₂	v ₃	v ₄	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
02	5,22	5,88	6,77	7,62	4,4	6,8	9,9	15,9
10	5,22	5,88	6,77	7,62	4,3	6,3	9,2	17,9
12	5,07	6,45	6,84	7,58	3,9	9,3	11,6	18,5
14	5,16	6,49	6,84	7,77	3,0	7,2	10,1	16,4
17	5,32	5,74	6,48	7,02	4,1	7,0	10,7	13,8
18	4,46	5,32	6,27	6,94	5,5	6,9	11,2	15,8
24	5,07	6,45	6,84	7,41	6,0	12,0	13,9	17,8
31	5,16	6,49	6,99	7,72	4,2	9,5	11,8	16,1
45	5,16	6,49	6,84	7,38	4,3	9,3	12,5	16,9
72	5,32	6,15	7,19	7,78	4,1	8,6	10,2	13,7

Tabelle A 10/4

Darstellung der Ergebnisse der LGB aus dem 4x400m-Feldtest (LA-NK, weiblich) differenziert nach der Intensität (n = 24).

Es werden die Geschwindigkeiten v (m/s) bei einer BLK von 4, 6, 10, 14 und 18 mmol/l aufgeführt sowie die Konstante b (s/m).

Intensität I₃ (n = 14)

Sportler	v _{L4}	v _{L6}	v _{L10}	v _{L14}	v _{L18}	Konstante b
02	4,98	5,79	6,82	7,49	7,99	0,50
	5,26	5,96	6,86	7,45	7,89	0,57
03	4,87	5,64	6,61	7,24	7,72	0,53
04	5,27	5,95	6,82	7,38	7,81	0,59
10	5,46	6,08	6,85	7,36	7,74	0,65
	5,04	5,78	6,71	7,33	7,78	0,55
11	4,59	5,43	6,49	7,19	7,71	0,48
12	5,23	5,89	6,72	7,27	7,67	0,62
14	5,62	6,17	6,86	7,32	7,66	0,74
17	4,00	4,91	6,05	6,80	7,36	0,45
18	3,52	4,64	6,06	6,99	7,69	0,36
21	5,01	5,54	6,21	6,65	6,98	0,76
71	3,87	4,63	5,59	6,22	6,70	0,53
72	3,65	4,82	6,31	7,28	8,01	0,34

Intensität I₂ (n = 10)

Sportler	v _{L4}	v _{L6}	v _{L10}	v _{L14}	v _{L18}	Konstante b
02	4,97	5,75	6,73	7,38	7,86	0,52
10	5,13	5,84	6,72	7,31	7,74	0,58
12	5,11	5,76	6,59	7,13	7,54	0,62
14	5,57	6,18	6,95	7,46	7,84	0,66
17	4,67	5,43	6,39	7,02	7,50	0,53
18	3,86	4,80	5,98	6,75	7,33	0,43
24	4,17	5,04	6,13	6,85	7,39	0,47
31	5,00	5,76	6,71	7,34	7,81	0,54
45	5,06	5,71	6,54	7,08	7,48	0,62
72	5,27	6,10	7,14	7,83	8,34	0,49

Tabelle A11

Darstellung des Geschwindigkeitsverlaufes an 6 Athleten der 400m-Spitzenklasse (männlich). Angabe der Geschwindigkeit v in m/s.

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	t 400m
Sportler	0-50m	50-100m	100-150m	150-200m	200-250m	250-300m	300-360m	360-400m	(s)
001	7,70	9,69	9,84	9,77	9,63	9,21	8,43	7,59	44,86
002	8,00	10,12	9,73	9,63	9,11	8,90	8,40	7,65	44,95
003	7,97	9,80	9,58	9,54	9,33	8,91	8,40	8,13	44,86
004	7,81	9,96	9,94	9,47	9,35	9,04	8,56	8,00	44,62
005	8,06	9,75	9,69	9,38	9,04	8,71	8,52	7,65	45,36
006	7,63	9,69	9,80	9,35	9,21	8,80	8,66	8,06	45,16

$\bar{x} =$	7,86	9,84	9,76	9,52	9,28	8,93	8,50	7,85	44,97
$s = \pm$	0,17	0,17	0,13	0,16	0,21	0,18	0,10	0,24	0,26

(\bar{x} = Mittelwert)

(s = Standardabweichung)

Tabelle A 12/1

Der Geschwindigkeitsverlauf im 400m-Lauf (in Abständen von jeweils 100 m), dargestellt an 2 Leistungsgruppen (männlich und weiblich) von LA-NK

1. LG 1 (männlich), $n = 6$

	v_1	v_2	v_3	v_4	t 400m
Sportler	0-100m	100-200m	200-300m	300-400m	(s)
001	8,58	9,80	9,33	8,07	44,86
002	8,94	9,68	9,04	8,08	44,95
003	8,80	9,56	9,12	8,29	44,86
004	8,76	9,70	9,19	8,33	44,62
005	8,83	9,53	8,87	8,15	45,36
006	8,54	9,57	9,00	8,41	45,16

$\bar{x} =$	8,74	9,64	9,09	8,22	44,97
$s = \pm$	0,15	0,10	0,16	0,14	0,26

Tabelle A 12/2

2. LG 2 (männlich), n = 8

Sportler	v ₁ 0-100m	v ₂ 100-200m	v ₃ 200-300m	v ₄ 300-400m	t 400m (s)
007	8,38	8,88	8,43	7,58	48,25
008	8,54	9,00	8,43	7,19	48,58
009	8,51	8,94	8,08	7,39	48,87
010	8,62	9,36	8,36	7,17	48,19
011	8,60	9,02	8,08	7,47	49,48
012	8,22	8,80	7,97	7,07	50,22
013	8,33	8,89	7,84	7,66	49,08
014	8,34	8,55	7,95	7,28	50,00
$\bar{x} =$	8,44	8,93	8,14	7,35	49,08
$s = \pm$	0,14	0,23	0,23	0,21	0,76

Tabelle A 12/3

3. LG 1 (weiblich), n = 5

Sportler	v ₁ 0-100m	v ₂ 100-200m	v ₃ 200-300m	v ₄ 300-400m	t 400m (s)
01	8,55	9,04	8,19	7,25	48,77
02	8,24	8,70	8,22	7,22	49,64
03	8,12	8,13	7,98	7,22	50,99
04	8,06	8,55	7,97	7,19	50,55
05	8,05	8,18	7,95	7,54	50,48
$\bar{x} =$	8,20	8,52	8,06	7,28	50,09
$s = \pm$	0,21	0,38	0,13	0,14	0,88

Tabelle A 12/4

4. LG 2 (weiblich), n = 5

Sportler	v ₁ 0-100m	v ₂ 100-200m	v ₃ 200-300m	v ₄ 300-400m	t 400m (s)
06	7,96	8,42	7,58	6,97	52,00
07	8,03	8,42	7,79	7,08	51,28
08	7,75	7,93	7,62	6,92	53,10
09	7,87	8,26	7,70	7,02	52,03
10	7,82	8,13	7,65	7,05	52,34
$\bar{x} =$	7,89	8,23	7,67	7,01	52,15
$s = \pm$	0,11	0,21	0,08	0,06	0,66

Tabelle A 13

Die Geschwindigkeitsverläufe von zwei 400m-Wettkämpfen eines männlichen (003) und eines weiblichen (01) Spitzenathleten

Sportler	Lauf	v ₁ 0-100m	v ₂ 100-200m	v ₃ 200-300m	v ₄ 300-400m	t 400m (s)
003	1	8,79	9,56	9,12	8,29	44,86
	2	8,64	9,45	9,03	7,94	45,82
01	1	8,25	8,87	8,75	7,51	48,15
	2	8,55	9,04	8,19	7,25	48,77

Tabelle A 14/1

Darstellung der Ergebnisse aus Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit 4x5-Minuten-Stufentest sowie "vita-maxima"-Test zur Berechnung und mathematischen Zuordnung des anaeroben Ausdauerkoeffizienten (ANA).

Es standen Nachwuchsspitzenkader (400 m) zur Verfügung (n = 32).

Sport- ler	v _{L4} (m/s)	max. O ₂ -Aufn. (ml/kg·min)	O ₂ -Aufn. bei L4 (ml/kg·min)	% Ausschöp- fung der max. O ₂ -Aufn.	Lmax (mmol/l)	Hfmax (1/min)	HfIA (1/min)	Lauf- zeit (s)	t (s)	ANA (mmol s)
002	4,04	60,1	50,1	83,4	14,7	188	171	370	275	40,4
	4,39	62,3	49,3	79,1	15,2	195	176	390	250	38,0
	4,50	58,6	53,8	91,8	15,3	197	178	316	226	34,6
003	4,64	60,0	51,2	85,3	10,7	208	204	360	195	20,9
	4,52	56,2	52,1	92,7	8,4	207	202	330	180	15,1
	4,71	59,2	57,8	97,6	12,8	208	197	395	215	27,5
004	4,10	61,0	50,2	82,3	12,5	186	176	364	264	33,0
	4,27	59,7	50,1	83,9	14,9	194	182	395	275	41,0
	4,35	59,0	52,2	88,5	13,3	207	195	314	244	32,4
	5,02	57,9	57,5	99,3	12,1	198	192	393	183	25,4
005	4,08	59,6	49,3	82,7	13,3	177	157	364	264	35,1
	4,25	58,4	47,5	81,3	12,2	183	164	309	249	30,4
015	4,00	61,1	50,0	81,8	14,3	193	164	360	270	38,6
	3,37	59,6	47,6	79,9	16,3	191	166	330	300	48,9
	3,84	55,8	46,8	83,9	16,6	185	165	360	290	48,1
	3,92	51,2	40,9	79,9	15,2	194	173	360	280	42,6
023	5,08	61,0	60,5	99,2	8,2	187	179	330	120	9,8
	4,65	60,1	57,9	96,3	12,2	188	184	360	200	24,4
	4,63	62,3	51,9	83,3	10,9	181	172	364	204	22,2
	4,21	61,0	56,2	92,1	12,5	199	186	360	240	30,0
	4,53	60,4	50,1	82,9	14,0	188	176	390	240	33,6
	4,47	60,9	50,2	82,4	10,2	192	182	274	199	20,3
024	4,40	57,9	50,9	87,9	14,2	181	168	360	220	31,2
	4,05	64,5	53,6	83,1	14,7	204	179	396	301	44,2
	4,80	61,0	59,0	96,7	16,2	192	181	420	230	37,3
025	5,05	66,8	62,1	93,0	11,1	199	195	420	135	14,9
	4,95	64,4	62,2	99,6	9,8	188	185	379	169	18,2
026	4,20	62,0	48,0	77,4	9,9	194	180	330	230	22,8
	3,70	64,9	48,1	74,1	14,5	206	173	360	300	43,5
027	2,99	55,0	43,5	79,1	15,9	204	181	300	270	42,9
	3,73	55,0	46,8	85,1	12,7	174	172	303	243	30,9
028	4,45	57,7	45,8	79,4	14,9	198	174	400	250	37,3
\bar{x} =	4,31	59,8	51,7	86,4	13,2	193	179	358	235	31,7
s = ±	0,48	3,16	5,2	7,2	2,3	9	11	36	46	10,2

Tabelle A 14/2

Vergleich von 2 Trainings- und Wettkampfjahren zur Darstellung der Entwicklung anaerob-lactacider Energiestoffwechselprozesse mit 400m-Nachwuchsathleten (n = 7).

Sportler	TWJ 1			TWJ 2		
	v_{L4} (m/s)	Lmax (mmol/l)	ANA (mmol s)	v_{L4} (m/s)	Lmax (mmol/l)	ANA (mmol s)
002	4,04	14,7	40,4	4,39	15,2	38,0
003	4,52	8,4	15,1	4,71	12,8	27,5
004	4,10	12,5	33,0	4,27	14,9	41,0
015	4,00	14,3	38,6	3,84	16,6	48,1
023	4,63	10,9	22,2	4,53	14,0	33,6
024	4,40	14,2	31,2	4,80	16,2	37,3
025	5,05	11,1	14,9	4,95	9,8	18,2

Tabelle A 14/3

Darstellung von Ergebnissen einer Vergleichsgruppe

Sportler	v_{L4} (m/s)	Lmax (mmol/l)	Laufzeit (s)	t (s)	ANA (mmol s)
063	3,91	12,3	270	190	23,4
064	4,37	11,8	314	174	20,5
065	3,39	12,4	258	228	28,3
066	3,73	12,5	276	216	27,0
067	4,02	9,7	249	169	16,4
068	3,69	10,8	240	180	19,4
069	3,87	8,8	220	150	13,2
070	4,05	11,4	280	190	21,7
071	4,34	9,8	230	100	9,8
072	4,35	12,1	300	150	18,2
073	4,00	12,2	300	150	18,3
074	4,08	10,9	330	150	16,4
075	3,42	13,3	255	240	32,2

Tabelle A 14/4

Darstellung des Zusammenhangs von Wettkampfzeit (WZ in s) und des anaeroben Ausdauerkoeffizienten (ANA in $\text{mmol}\cdot\text{s}/\text{l}$) an 5 männlichen 400m-Nachwuchsspitzenathleten

Sportler	WZ	ANA
002	46,59	34,6
003	46,95	27,5
004	46,39	25,4
005	46,46	30,4
023	47,55	20,3

Tabelle A 15/1

Darstellung von Wettkampfzeit (s) und ermittelter BLK (mmol/l) aus Wettkampf-
untersuchungen.

Der 60m-Lauf in der Halle

n = 11 (männlich)

n = 15 (weiblich)

Sportler	WZ	BLK	Sportler	WZ	BLK
198	6,80	9,3	01	7,04	6,0
199	6,78	8,0	33	7,31	7,0
242	6,73	8,1	78	7,20	7,1
	6,66	5,7		7,15	8,1
	6,65	5,6		7,09	8,5
243	6,77	6,9	79	7,41	7,9
244	6,70	8,5		7,22	9,0
245	6,70	6,6	80	7,29	5,6
246	6,74	9,5	81	7,51	7,4
247	6,80	9,3	82	7,32	7,6
248	6,77	8,0	83	7,24	10,0
				7,39	6,6
			84	7,17	8,0
			85	7,20	7,1
			86	7,27	7,9
$\bar{x} =$	6,74	7,4		7,25	7,6
$s = \pm$	0,05	1,4		0,12	1,1

Tabelle A 15/2

Darstellung von Wettkampfzeit (s) und ermittelter BLK (mmol/l) aus Wettkampf-
untersuchungen.

Der 100y-Lauf in der Halle

n = 8 (männlich)

n = 6 (weiblich)

Sportler	WZ	BLK	Sportler	WZ	BLK
029	9,86	11,6	12	10,91	10,0
198	9,75	13,0	78	10,29	10,3
200	9,84	10,9	83	10,55	11,7
242	9,59	11,4	84	10,41	11,3
246	9,70	12,3	85	10,43	10,6
248	9,81	7,7	95	10,90	12,3
253	9,84	13,3			
254	10,08	11,4			
$\bar{x} =$	9,81	11,5		10,58	11,0
$s = \pm$	0,14	1,7		0,26	0,9

Tabelle A 15/3

Darstellung von Wettkampfzeit (s) und ermittelter BLK (mmol/l) aus Wettkampfuntersuchungen.

Der 100m-Lauf

n = 22 (männlich)

n = 16 (weiblich)

Sportler	WZ	BLK	Sportler	WZ	BLK
242	10,21	9,2	78	10,90	9,0
	10,31	8,1	79	11,25	10,7
	10,25	7,6	80	11,22	11,2
243	10,32	13,7	84	11,15	8,8
	10,47	12,3		11,14	11,2
244	10,26	9,0	85	11,13	9,6
245	10,43	8,6		11,27	10,7
	10,30	8,0	87	11,45	7,5
	10,42	7,4	88	11,46	13,2
246	10,33	10,4	89	11,39	10,8
	10,25	11,1	90	11,20	14,1
	10,59	8,8	91	11,48	11,8
247	10,51	10,2		11,40	10,5
249	10,45	9,1	92	11,42	12,7
250	10,27	7,2	93	11,61	12,6
	10,35	11,0	94	11,41	13,7
257	10,19	11,8			
	10,47	15,0			
258	10,59	11,5			
	10,61	10,8			
259	10,63	9,8			
	10,61	10,7			
$\bar{x} =$	10,40	10,1		11,31	11,1
$s = \pm$	0,14	2,0		0,18	1,9

Tabelle A 15/4

Darstellung von Wettkampfzeit (s) und ermittelter BLK (mmol/l) aus Wettkampfuntersuchungen.

Der 200m-Lauf

n = 13 (männlich)

n = 10 (weiblich)

Sportler	WZ	BLK	Sportler	WZ	BLK
003	21,13	17,7	01	21,82	12,9
013	20,90	16,6	03	23,08	16,8
242	20,80	14,0	12	24,01	16,1
243	21,06	13,6	83	23,30	15,6
244	20,37	17,4	84	22,71	17,7
245	20,61	16,6	85	23,00	15,1
	20,73	15,0	86	22,81	13,9
	21,07	15,4	87	22,42	12,7
250	21,03	15,5	88	23,20	17,0
251	21,02	19,1	92	23,81	16,1
	20,89	14,2			
252	20,85	16,4			
257	21,03	17,9			
<hr/>					
$\bar{x} =$	20,88	16,1		23,02	15,4
$s = \pm$	0,22	1,7		0,64	1,7

Tabelle A 15/5

Darstellung von Wettkampfzeit (s) und ermittelter BLK (mmol/l) aus Wettkampfuntersuchungen.

Der 400m-Lauf

n = 25 (männlich)

n = 13 (weiblich)

Sportler	WZ	BLK	Sportler	WZ	BLK
002	45,76	19,4	01	49,02	20,5
	46,47	20,7	02	50,26	17,0
003	45,87	17,1	03	50,99	17,7
	46,27	17,7	04	51,20	14,0
	45,76	19,2		51,51	16,7
004	45,20	16,0	06	52,58	17,2
	45,50	20,8	10	52,03	21,1
005	45,53	20,1	14	50,26	16,1
013	47,00	19,5	33	51,35	21,3
024	47,85	18,1	34	51,62	18,4
028	47,08	20,1		52,24	17,4
032	47,12	17,6		50,26	19,7
045	46,57	17,5	74	51,55	22,8
046	47,00	17,4			
051	47,91	20,4			
127	46,73	23,5			
128	46,76	18,0			
	46,33	19,3			
130	47,45	19,7			
153	46,95	19,7			
	45,98	24,8			
156	47,64	15,2			
189	46,37	22,4			
255	46,31	21,2			
256	46,38	20,3			
<hr/>					
$\bar{x} =$	46,55	19,4		51,14	19,1
$s = \pm$	0,74	2,2		0,98	1,6

Tabelle A 16/1

Darstellung der Ergebnisse Wettkampfzeit (s) und BLK (mmol/l) aus Untersuchungen von 400m-Hallenwettkämpfen an männlichen Spitzenathleten (n = 52)

Sportler	WZ	BLK	Sportler	WZ	BLK
002	46,32	16,8	046	49,07	17,5
	46,46	18,8		50,66	12,6
	46,59	23,5	048	49,31	18,0
	47,23	17,2	126	47,50	18,9
003	46,95	20,6	128	47,08	20,5
004	46,18	21,3	130	48,16	16,0
	46,31	18,1		49,49	17,5
	46,39	24,4		50,10	15,7
005	46,46	24,0		48,07	22,1
008	48,27	16,4	153	47,42	20,2
	48,00	18,6	154	47,27	26,0
009	50,19	14,0	156	47,92	25,0
	51,00	15,0		47,30	19,5
010	49,59	18,6		49,57	14,2
011	49,58	14,8	157	48,10	15,7
	50,19	16,8	175	49,74	16,1
012	49,79	14,0		50,20	15,0
013	47,34	21,0	176	48,92	14,2
022	48,74	17,9		48,34	15,8
023	47,55	20,6	177	47,34	18,9
028	47,60	19,8		48,29	18,8
032	47,95	15,9	178	48,32	17,4
035	50,81	16,3	179	48,57	18,2
036	48,28	17,7	180	49,58	14,8
038	48,52	21,5	183	47,90	19,1
045	48,16	15,5			
	48,14	16,4			

Tabelle A 16/2

Darstellung der Ergebnisse aus 400m-Hallenwettkampfuntersuchungen an weiblichen Spitzenathleten (n = 22), WZ in s, BLK in mmol/l.

Sportler	WZ	BLK
02	50,75	21,1
03	51,20	21,9
06	53,40	16,7
07	53,49	16,7
	53,00	15,3
08	53,32	14,3
09	54,00	17,0
10	52,44	21,2
	54,01	15,0
12	53,39	19,3
14	50,77	20,0
17	53,15	15,0
24	51,60	18,0
43	54,67	15,9
44	54,53	16,1
	56,21	14,0
45	53,57	19,0
67	54,10	18,5
	54,20	19,3
68	55,80	16,8
69	53,80	19,0
70	52,78	20,1

Tabelle A 17/1

Vergleich der Ergebnisse der Lactat-Zeit-Funktion bei einer konstanten Geschwindigkeit $v = 7,3$ m/s aus den Untersuchungen 10/89 (1) und 1/90 (2) mit dem Sportler 016

s (m)	t (s)	Test (1)	Test (2)
		BLK (mmol/l)	BLK (mmol/l)
80	10,96	2,9	1,7
160	21,92	4,2	3,4
240	32,88	6,8	5,7
320	43,84	10,6	9,0
400	54,79	12,5	10,5

Tabelle A 17/2

Darstellung der Konstanten a (v) und B (LBG) der intensitätsabhängigen LBG-Geschwindigkeits-Funktion des Athleten 016 aus jeweils 4 Laufbanduntersuchungen im TA I₃ und im TA I₂

v (m/s)	Datum	a (mmol/l)	B (mmol/l s)
6,7	10/89	1,150	0,162
7,0		-1,030	0,204
7,3		-0,280	0,234
7,6		-0,960	0,256
6,3	1/90	0,549	0,116
6,8		0,690	0,139
7,3		0,901	0,212
7,8		0,801	0,259

Tabelle A 18/1

Vergleichende Darstellung der BLK (mmol/l) und absolvierter Laufstrecke zur Beschreibung der Lactat-Weg-Funktion bei unterschiedlichen Laufintensitäten im Sinne von TM-Untersuchungen zur Objektivierung des Trainings des weiblichen Spitzenathleten 03 im 400m-Lauf.

Strecke (m)	4/87 I ₃ 7,12m/s	7/87 I ₃ 7,22m/s	1/87 I ₂ 8,08m/s	5/87 I ₂ 8,09m/s	1/86 I ₁ 8,65m/s	5/87 I ₁ 8,64m/s
80					5,6	
120					8,3	7,7
150			7,9		9,0	11,6
180			12,2		13,5	
185		7,0		8,4		
200			14,8			15,1
220			15,8			
225	7,8	9,0		10,9		
270	9,5	11,2		14,0		
310	11,9	13,7				
350	14,3	15,8				
385	16,8					

Tabelle A 18/2

Darstellung der Parameter (s) und (t) aus den TM-Untersuchungen der Sportlerin 03.

Strecke (m)	Belastungszeit (s)					
	7,12 (m/s)	7,22 (m/s)	8,08 (m/s)	8,09 (m/s)	8,64 (m/s)	8,65 (m/s)
80					9,3	
120					13,7	13,9
150			18,7		17,1	17,4
180			22,2		21,3	
185		25,0		22,5		
200			24,6			23,1
220			27,3			
225	31,7	30,9		27,9		
270	39,1	37,4		33,6		
310	43,5	43,2				
350	49,2	49,7				
385	55,2					

Tabelle A 18/3

Darstellung der Konstanten a (v) und B (LBG) der Lactat-Zeit-Funktion der Sportlerin 03 in Abhängigkeit von den Laufintensitäten, ergänzt mit Laufzeiten (s) und Laufstrecken (m) bei einer Blutlactatkonzentration von 6, 10, 14 und 18 mmol/l.

v (m/s)	a (v)	B (mmol/l s)	r ²	Laufzeiten (s) Laufstrecken (m)			
				6	10	14	18
7,12	-5,260	0,396	0,98	28,4 202	38,5 274	48,6 346	58,7 418
7,22	-2,113	0,361	0,99	22,4 162	33,5 242	44,6 322	55,6 401
8,08	-9,209	0,943	0,95	16,1 130	20,4 165	24,6 199	28,8 233
8,09	-3,036	0,505	0,99	17,9 145	25,8 209	33,7 273	41,7 337
8,64	-2,784	0,786	0,97	11,2 97	16,3 141	21,4 185	26,4 228
8,65	-0,470	0,623	0,94	10,4 90	16,8 145	23,2 201	29,6 256

Tabelle A 19/1

Darstellung der berechneten intensitätsabhängigen ALQ-Werte

Sportler	ALQ-Werte				
	6,3 m/s	6,8 m/s	7,3 m/s	7,8 m/s	
016	0,75	0,74	1,58	1,35	
017	0,77	0,82	1,05	0,98	
Sportler	6,0 m/s	6,5 m/s	7,0 m/s	7,5 m/s	
018	0,71	1,05	1,58	1,35	
019	0,77	0,82	1,05	0,98	
020	0,73	1,01	0,95	1,38	
021	0,90	0,98	1,02	1,46	
$\bar{x} =$	0,78	0,97	1,15	1,29	(für 4 Sportler)
$s = \pm$	0,09	0,10	0,29	0,21	

Tabelle A 19/2

Darstellung der berechneten intensitätsabhängigen ALQ-Werte des Sportlers 016 vom Test 10/89 zu Test 1/90

Test 10/89		Test 1/90	
v (m/s)	ALQ	v (m/s)	ALQ
6,7	0,68	6,3	0,75
7,0	0,90	6,8	0,74
7,3	1,11	7,3	1,58
7,6	1,47	7,8	1,35

Tabelle A 20

Ergebnisse aus den 2x60m- bzw. 2x80m-Lichtschrankentest zur Darstellung der linearen Lactat-Geschwindigkeits-Funktion an 400m-Läufern des Anschlußtrainings (n = 24)

Sportler	1. Lauf		2. Lauf		v_{L6} (m/s)
	v (m/s)	Lactat (mmol/l)	v (m/s)	Lactat (mmol/l)	
016	7,90	6,5	8,08	10,5	7,88
	8,15	4,6	8,26	8,3	8,19
017	7,80	4,7	8,15	7,4	7,97
018	7,72	6,2	7,84	7,4	7,70
	7,62	5,9	7,72	7,6	7,63
019	8,20	6,2	8,55	9,9	8,18
	7,83	8,1	8,26	8,3	-
020	7,69	6,2	7,88	8,1	7,67
	7,62	3,7	7,72	7,1	7,69
021	8,58	8,2	8,65	9,9	8,49
	8,28	5,4	8,41	9,5	8,30
165	7,59	5,8	7,80	7,0	7,63

Tabelle A 21/1

Darstellung der Ergebnisse aus dem 10x30m(fliegend)-Test an 5 Langsprintern (HLT) im TWJ 1986/87 und 1987/88.

Es werden die durchschnittlichen 30m-Zeiten (t 30 m), die Wertigkeit W (s) und die BLK (mmol/l) ausgewiesen.

TWJ 1986/87

Sportler	12/86			1/87			5/87			Bestleistung (s)
	t 30 m	W 30 m	BLK	t 30 m	W 30 m	BLK	t 30 m	W 30 m	BLK	
002	3,13	3,23	8,9	3,12	3,33	12,0	3,10	3,14	7,3	2,93
003	3,12	3,31	11,7	3,13	3,23	8,8	3,16	3,18	6,7	2,93
004	3,10	3,19	8,8	3,10	3,19	8,8	3,17	3,19	6,5	2,91
023	3,14	3,23	8,7	3,04	3,22	11,6	3,18	3,16	5,5	2,96
048	3,15	3,38	12,4	3,11	3,26	10,6	3,20	3,19	5,7	3,00
$\bar{x} =$		3,27			3,25			3,17		
$s = \pm$		0,08			0,05			0,02		

TWJ 1987/88

Sportler										Bestleistung (s)
	t 30 m	W 30 m	BLK	t 30 m	W 30 m	BLK	t 30 m	W 30 m	BLK	
002	3,26	3,31	7,0	3,16	3,11	4,4	3,05	3,08	7,0	2,91
003	3,31	3,32	6,3	3,28	3,36	8,1	3,13	3,13	6,0	2,97
004	3,30	3,27	5,3	3,15	3,09	4,0	3,09	3,09	6,0	2,85
023	3,31	3,23	3,6	3,29	3,22	3,9	3,23	3,16	4,1	3,01
048	3,34	3,44	8,5	3,22	3,21	5,6	3,24	3,23	5,7	3,12
$\bar{x} =$		3,31			3,20			3,14		
$s = \pm$		0,08			0,11			0,06		

Tabelle A 21/2

Darstellung der Ergebnisse aus dem 10x30m(fliegend)-Test an 3 Langsprinterinnen im TWJ 1986/87 und 1987/88

TWJ 1986/87

Sportler	12/86			1/87			5/87			Bestleistung (s)
	t 30 m	W 30 m	BLK	t 30 m	W 30 m	BLK	t 30 m	W 30 m	BLK	
02	3,46	3,62	9,9	3,47	3,54	7,8	3,46	3,43	5,2	3,25
03	3,42	3,53	8,8	3,42	3,57	9,8	3,47	3,48	6,4	3,22
17	3,61	3,74	9,0	3,48	3,67	10,4	3,48	3,48	6,0	3,25
$\bar{x} =$		3,63			3,59			3,46		
$s = \pm$		0,11			0,07			0,03		

TWJ 1987/88

Sportler	10/87			12/87			5/88			Bestleistung (s)
	t 30 m	W 30 m	BLK	t 30 m	W 30 m	BLK	t 30 m	W 30 m	BLK	
02	3,51	3,49	5,4	3,56	3,52	5,0	3,34	3,36	6,6	3,17
03	3,64	3,68	7,0	3,53	3,48	4,9	3,40	3,46	7,4	3,22
17	3,82	3,77	4,9	3,60	3,58	5,5	3,45	3,47	6,5	3,29
$\bar{x} =$		3,65			3,53			3,43		
$s = \pm$		0,14			0,05			0,06		

Tabelle A 21/3

Darstellung der individuellen Wertigkeiten aus dem 10x30m(fliegend)-Test
an 3 erfolgreichen Sportlern des 400m-Langsprints im TWJ 1986/87 und 1987/88

Datum	Sportler 002 W 30 m (s)	Sportler 004 W 30 m (s)	Sportlerin 02 W 30 m (s)
12/86	3,23	3,19	3,62
1/87	3,33	3,19	3,54
5/87	3,14	3,19	3,43
10/87	3,31	3,27	3,49
12/87	3,11	3,09	3,52
1/88	3,08	3,13	3,42
5/88	3,08	3,09	3,36

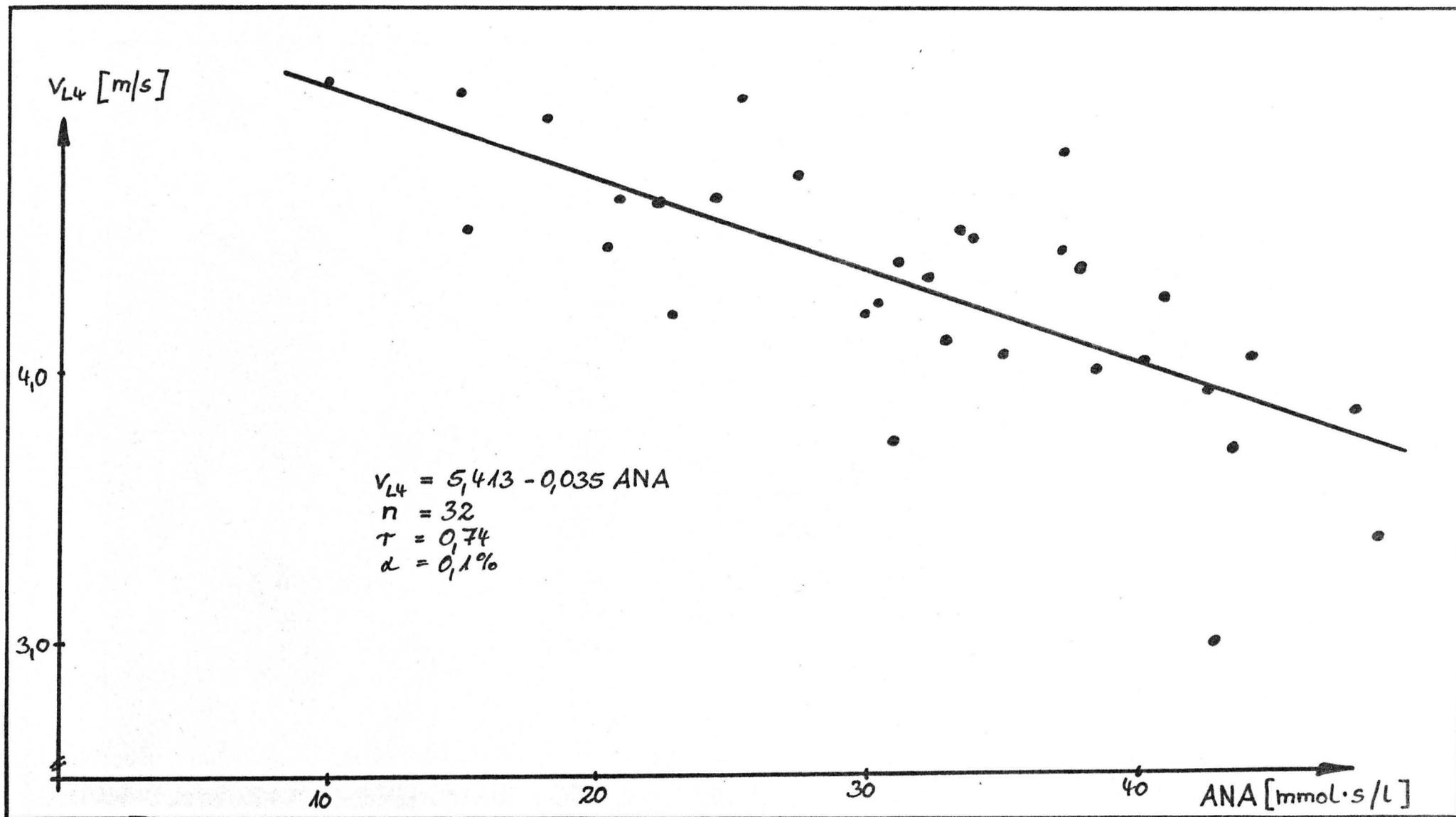


Abb. A1 Der Verlauf der Funktion V_{L4} -Wert aus dem 4×5 Minuten Stufentest gegen den anaeroben Ausdauerkoeffizienten (ANA) von Nachwuchssportlern im 400 m - Langesprint

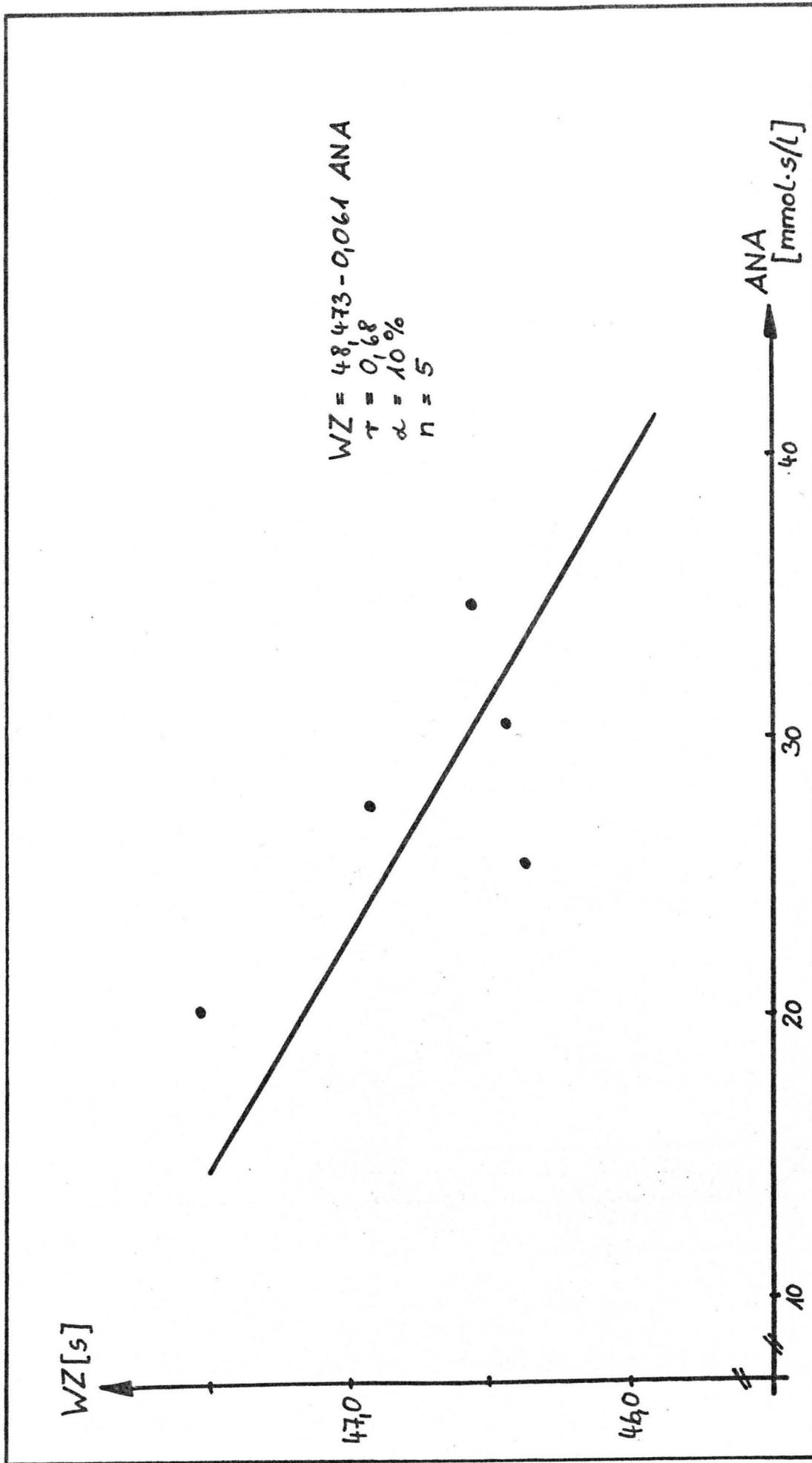


Abb. A2 Der Zusammenhang Wettkampfzeit (WZ) und anaerober Ausdauerkoeffizient (ANA) an 400m-Athleten des Anschlussstrainings

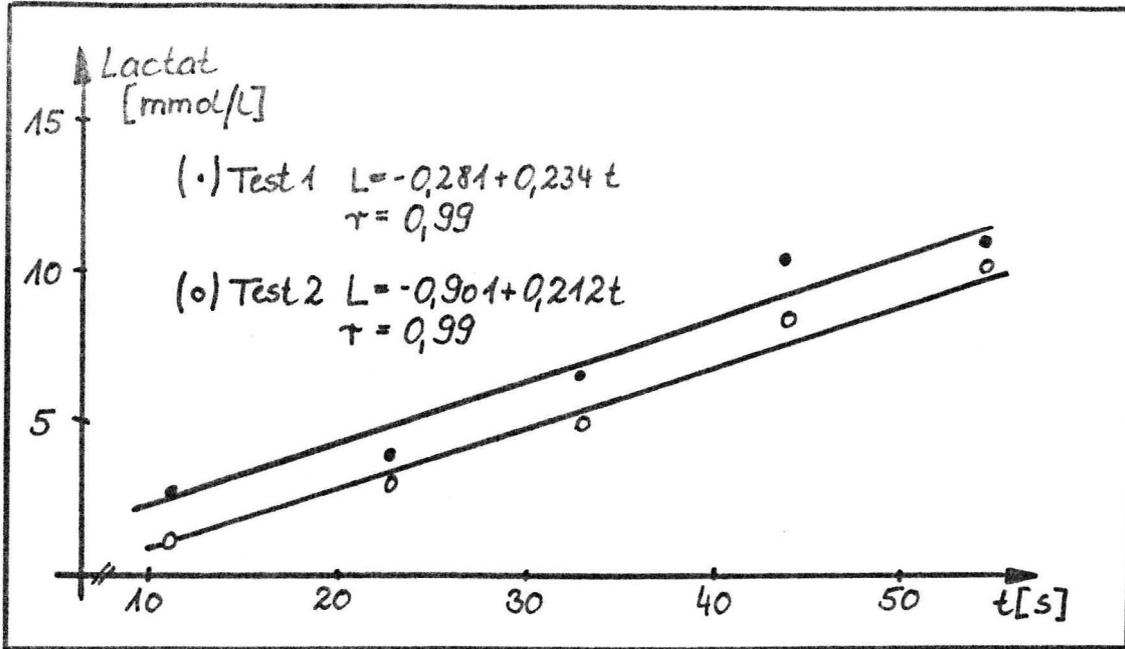


Abb. A3 Lactat (L)-Zeit-Funktionen aus dem Laufstreckenstufentest des Athleten 016 im Trainingsabschnitt J_3 (Test 1) • und Trainingsabschnitt J_2 (Test 2) ○ bei vorgeschriebener Geschwindigkeit $v = 7,3 \text{ m/s}$

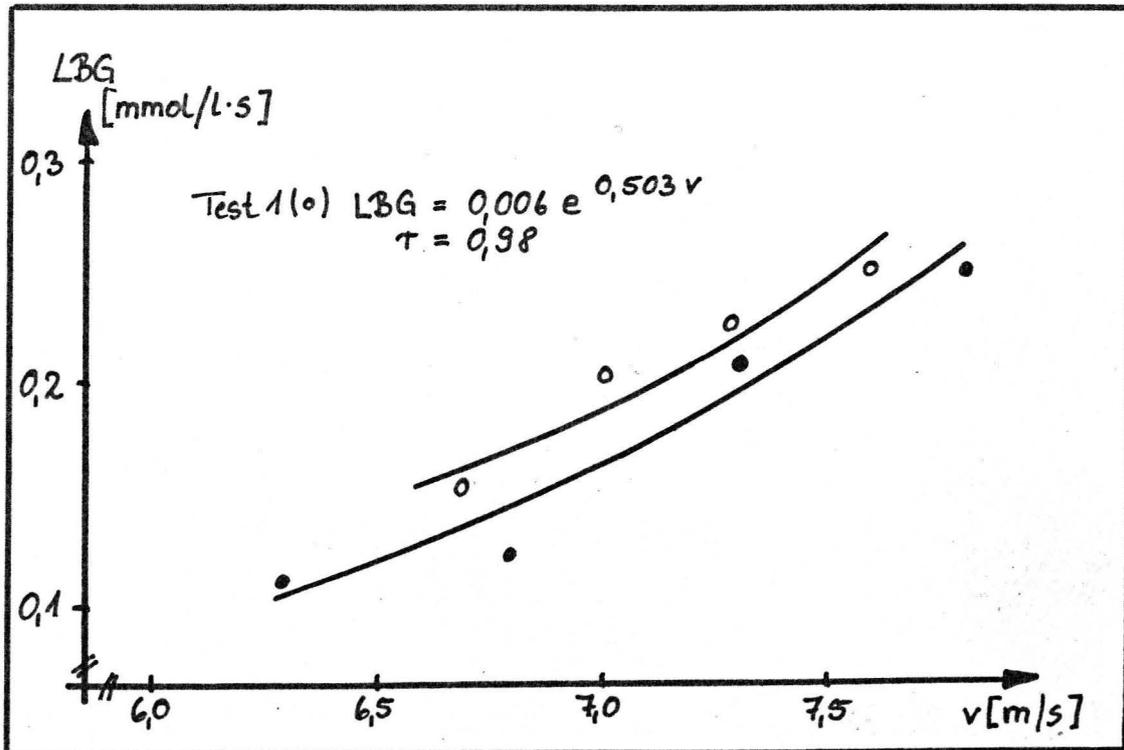


Abb. A4 Die intensitätsabhängige Lactatbildungsgeschwindigkeit (LBG) des Athleten 016 im Vergleich von geringerer zur höherer Intensität (Test 1) ○ zu Trainingsabschnitt J_2 (Test 2) • in Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit v

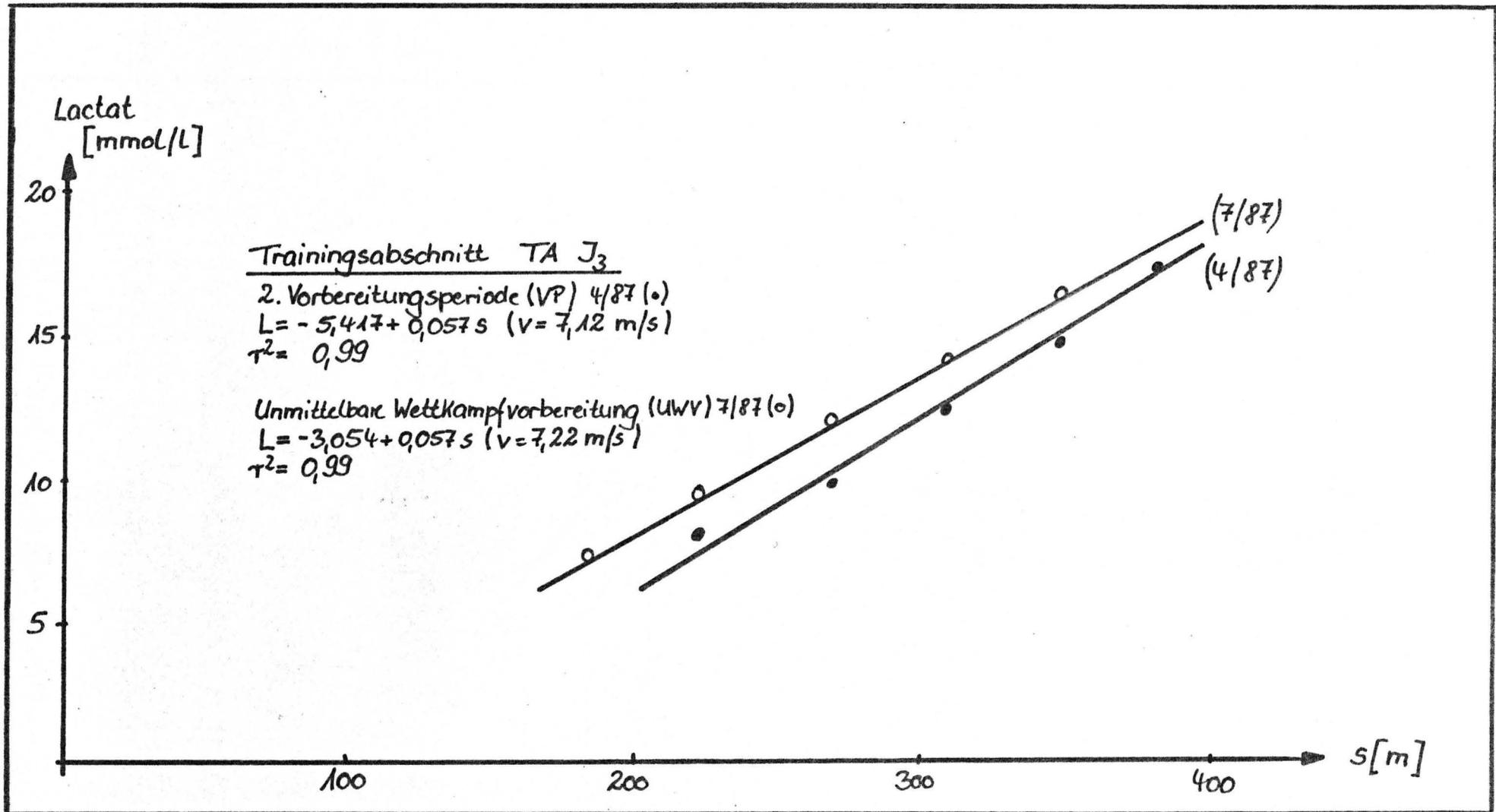


Abb. A5 Der Vergleich der Lactat (L)-Weg-Funktion im Trainingsabschnitt J₃ von zwei Untersuchungszeiträumen (Sportlerin 03)

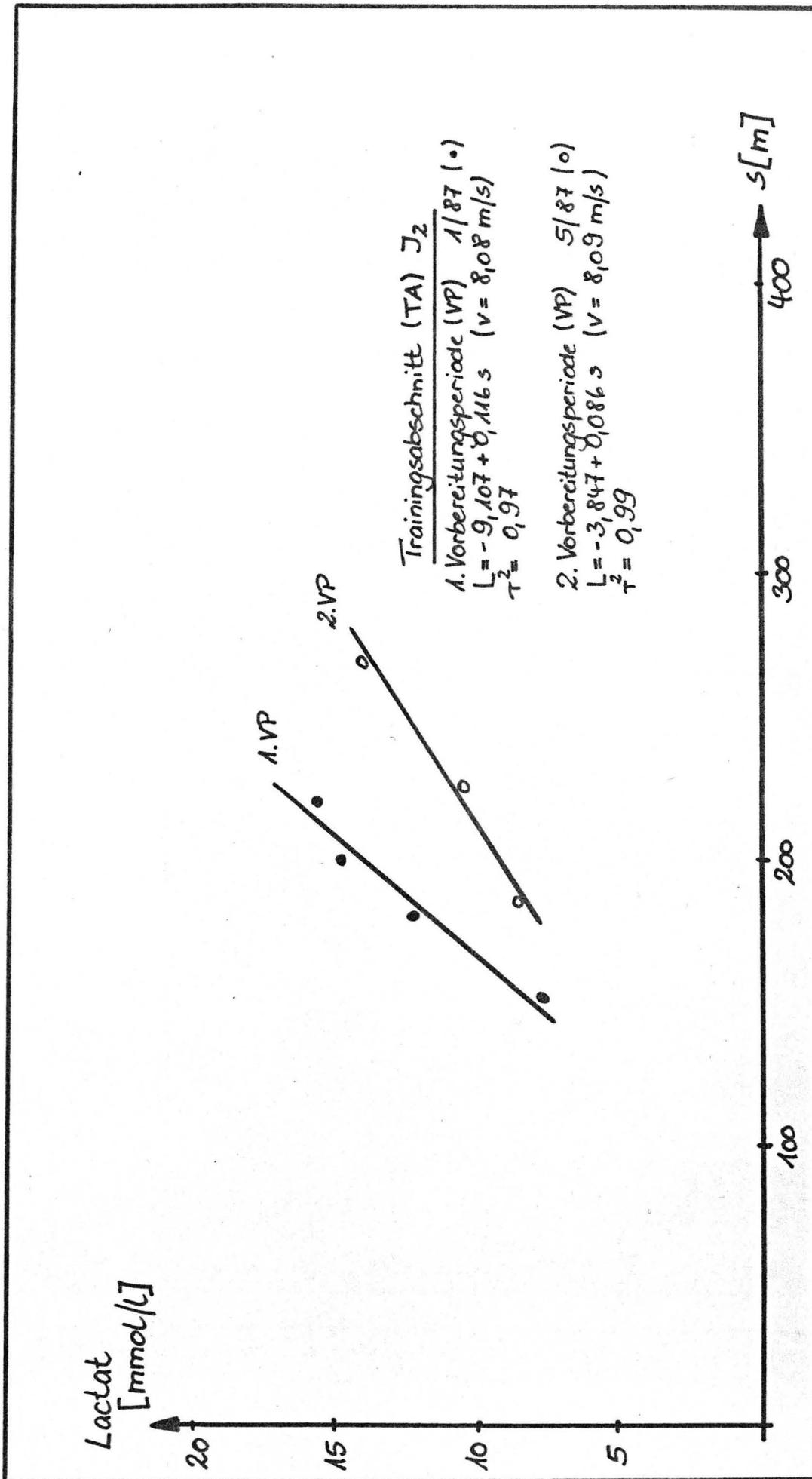


Abb. A6 Der Vergleich der Lactat (L) - Weg - Funktion im Trainingsabschnitt J₂ von der 1. Vorbereitungsperiode 1986/87 zur 2. Vorbereitungsperiode 1986/87 (Sportlerin 03)

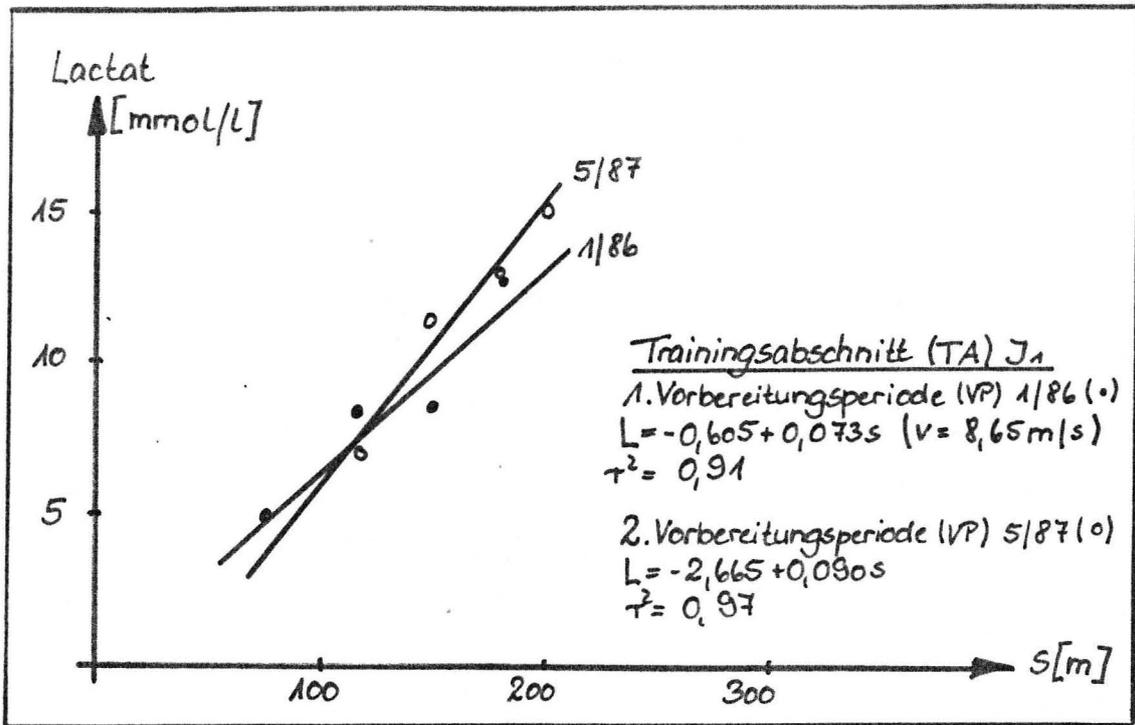


Abb. A7 Vergleich der Lactat (L) - Weg - Funktionen im Trainingsabschnitt J₁ von 1. Vorbereitungsperiode (VP) 1985/86 zu 2. Vorbereitungsperiode 1986/87 (Sportlerin O3)

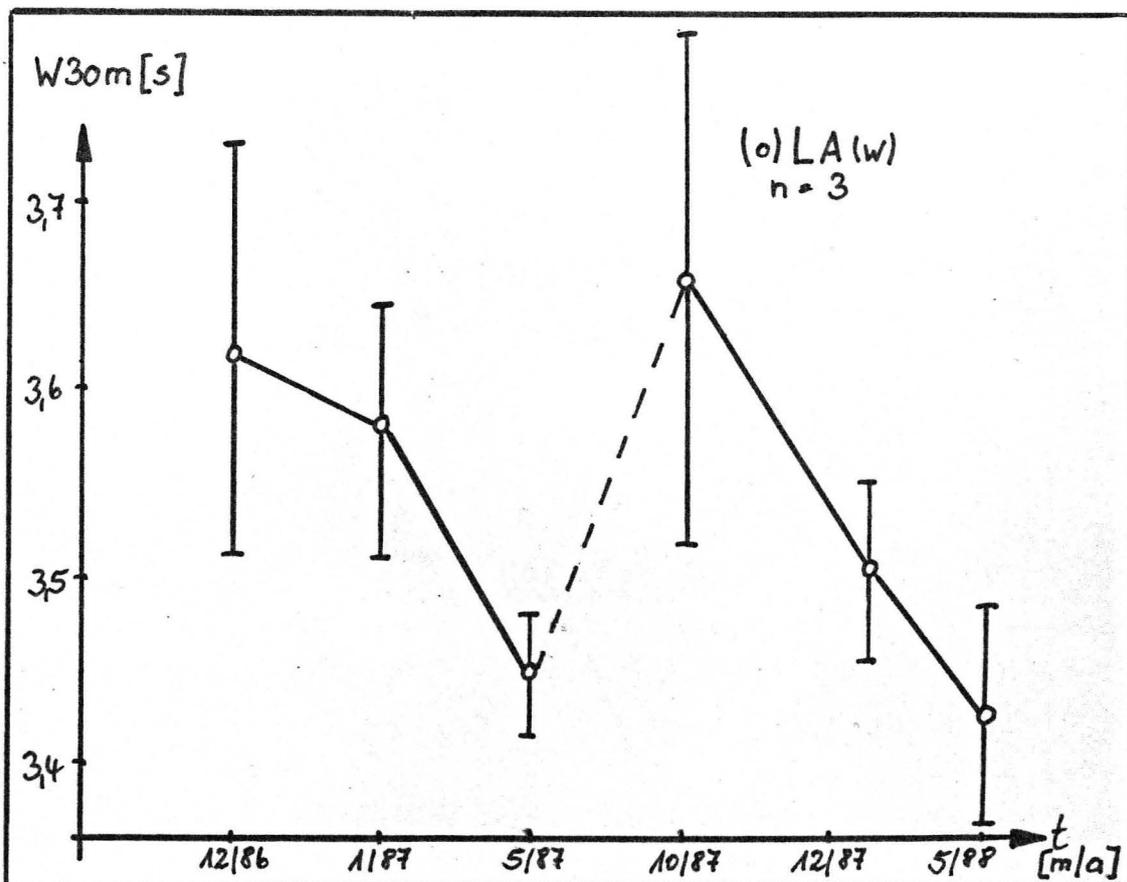


Abb. A8 Verlauf der Wertigkeit W30m von 3 weiblichen Athleten der 400m-Spitzenklasse in den Trainings- und Wettkampffahren 1986/87 und 1987/88

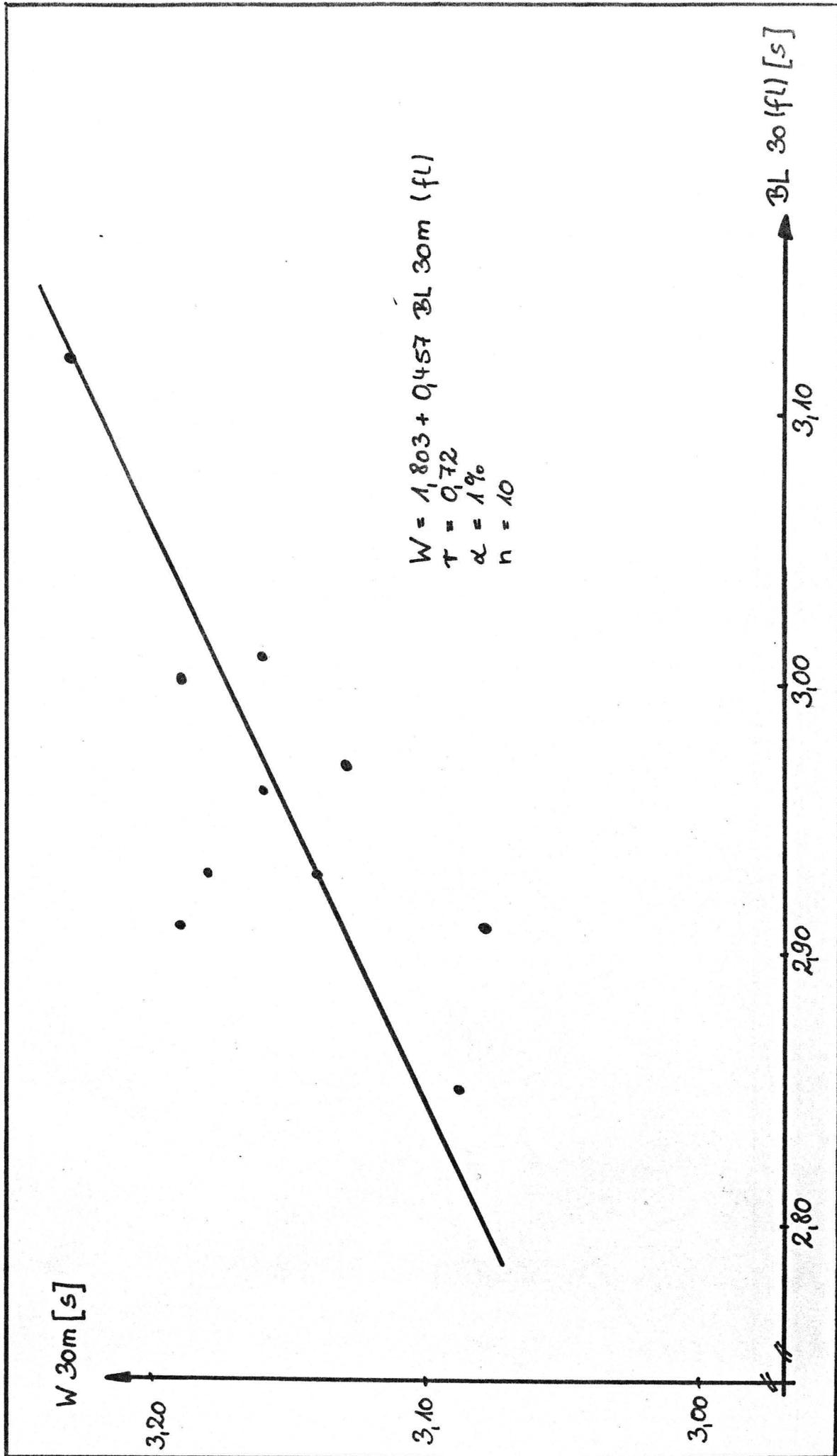


Abb. A9 Die Abhängigkeit der Wertigkeit (W_{30m}) von der Bestleistung (BL_{30m} (fliegend))

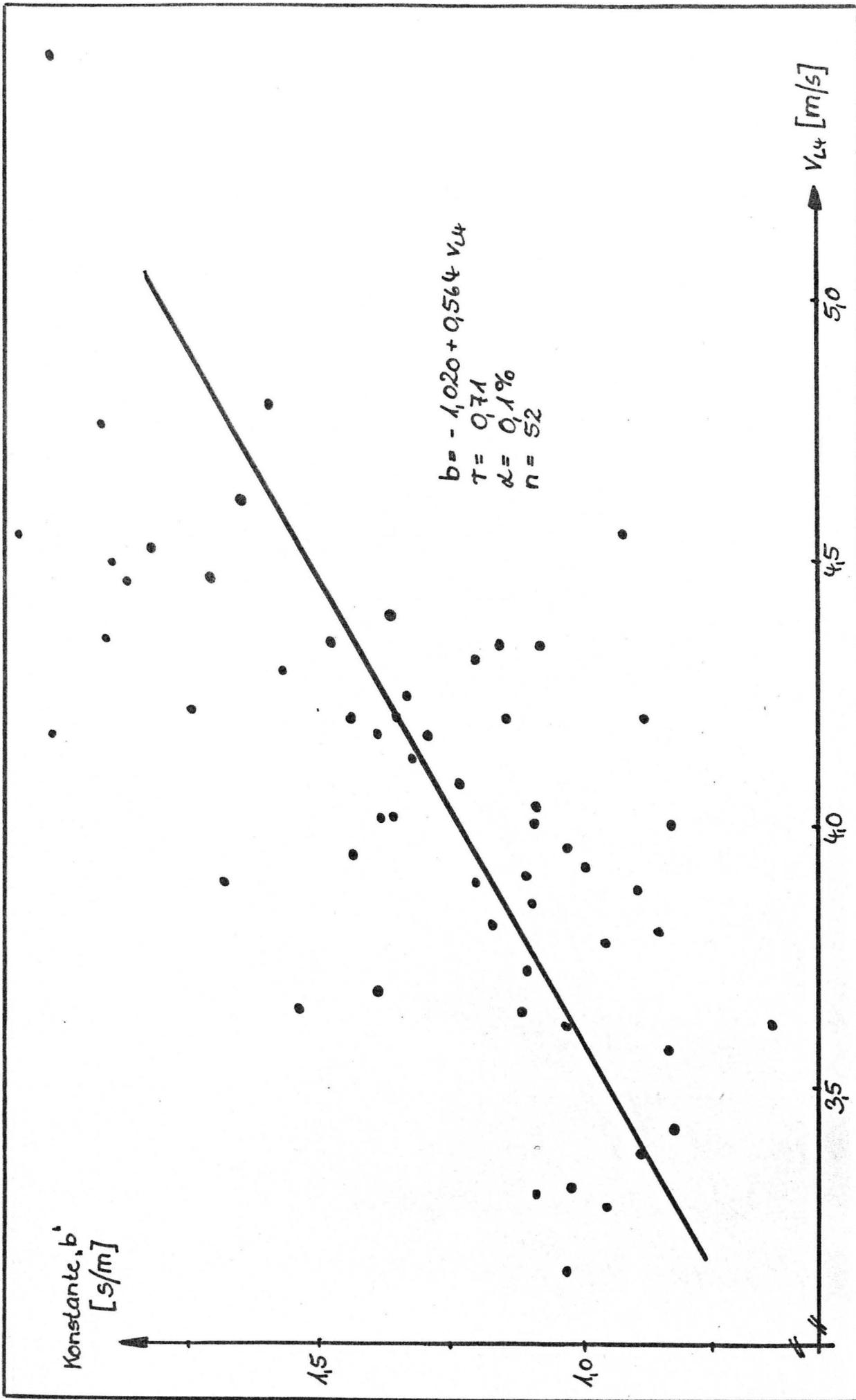


Abb. A10 Der Zusammenhang Konstante, b' der LGB zum V_{L4} - Wert aus dem 3 Minuten - Stufentest an 400m - Athleten (männlich)

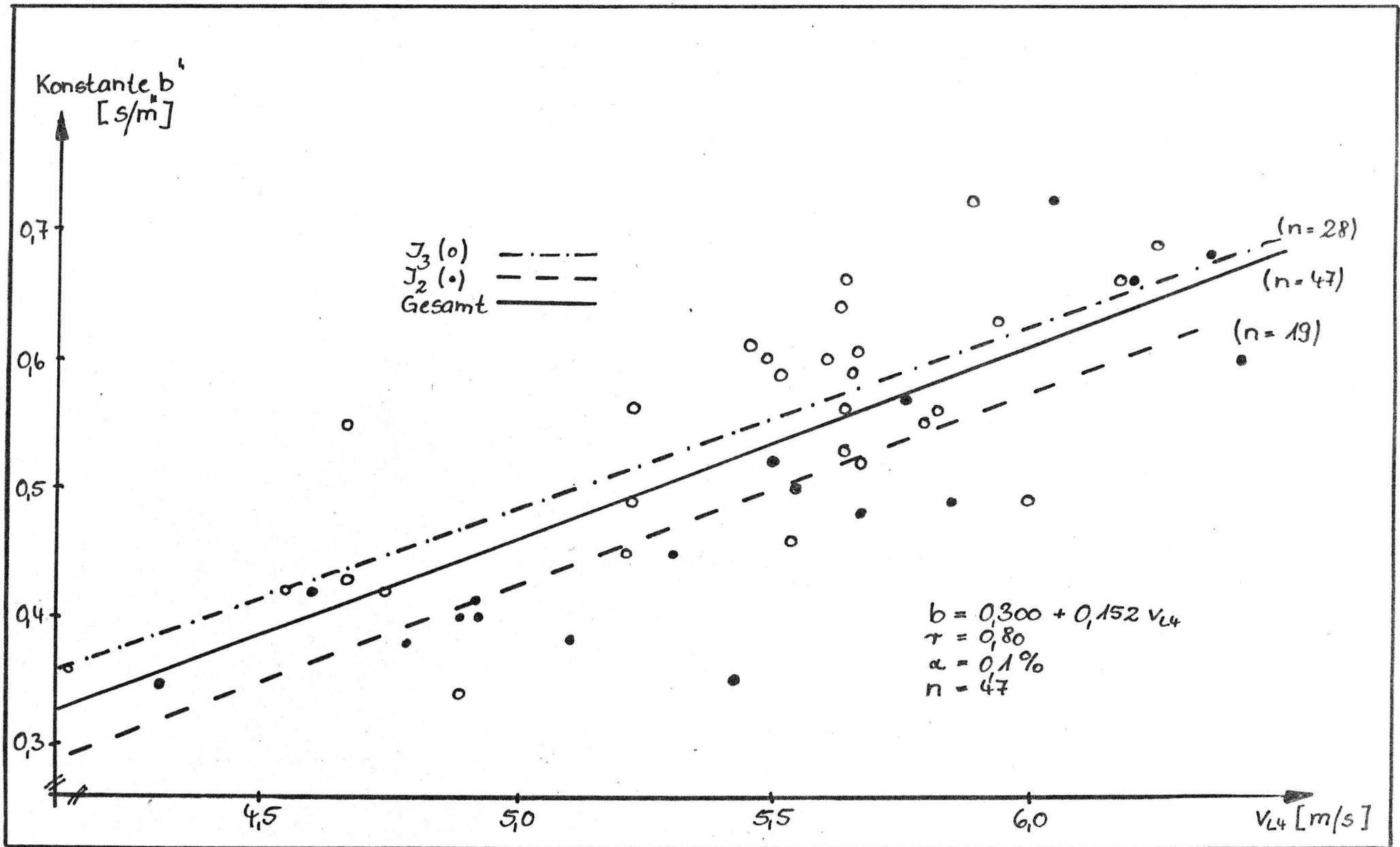


Abb. A11 Der Zusammenhang Konstante „ b^4 “ der LGB mit dem v_{L4} -Wert aus dem 4x60 Sekunden-Stufentest, differenziert nach TA J_3 und J_2 , dargestellt an 400m-Athleten (männlich)

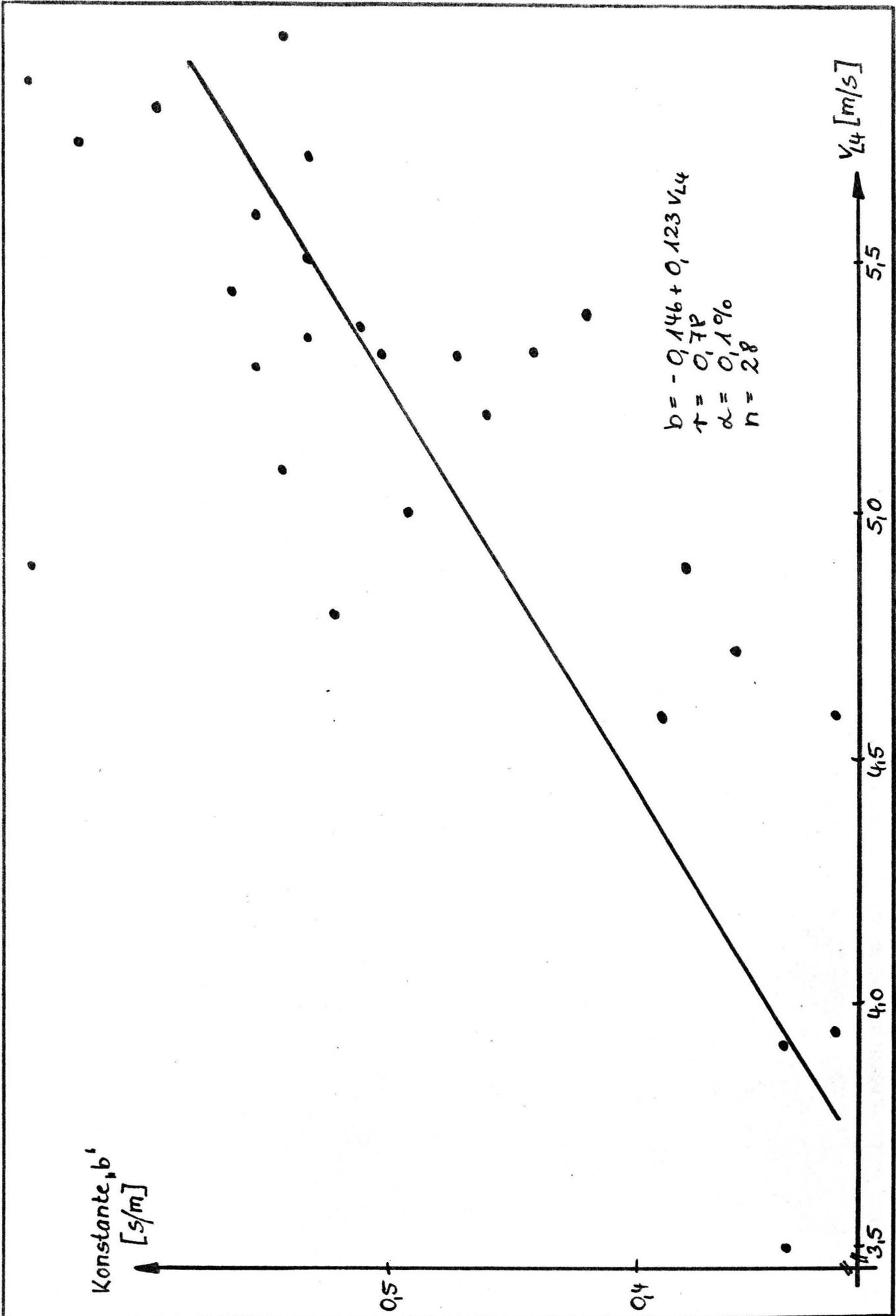


Abb. A12 Der Zusammenhang zwischen der Konstanten b' der LGB und dem v_{L4} -Wert aus dem 4x400m-Feldtest (400m-Spizenaathleten, männlich)

Zur Wechselwirkung aerober und anaerober Stoffwechselmechanismen während sportlicher Belastungen in der Kurzeitdauer unter besonderer Berücksichtigung der leichtathletischen Disziplin 400 m (Langsprint)

T H E S E N

zur

D I S S E R T A T I O N (B)

zum Erlangen des akademischen Grades
doctor scientiae philosophiae (Dr. sc. phil.)

vorgelegt dem Wissenschaftlichen Rat der
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Dr. rer. nat. Olaf Sonntag,
geb. am 01. 09. 1942 in Stolp

Halle, 31. Dezember 1990

1. Die Diagnostik des Leistungszustandes der sporttreibenden Bevölkerung hat sowohl für die Förderung von Gesundheit und Arbeitsfähigkeit als auch für die Entwicklung von sportlichen Leistungen im Spitzensport eine grundlegende Bedeutung.
2. Gegenwärtig vollzieht sich im internationalen Sport eine dynamische Leistungsentwicklung. Aus diesem Grund ist es durchaus eine anspruchsvolle Aufgabe, das theoretische Fundament zur Steigerung der Leistungsfähigkeit des Menschen aus bioenergetischer und trainingsmethodischer Sicht noch weiter auszuprägen.
3. Spitzenergebnisse im Wettkampf und die Entwicklung des dafür erforderlichen trainingsmethodischen Vorgehens können unter den heutigen Gegebenheiten nur durch ein enges Zusammenwirken von Wissenschaft und Praxis erreicht werden.
4. Das wissenschaftliche Anliegen dieser Arbeit ist es, im Sinne des Zusammenhangs von Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung die konditionellen Fähigkeiten in der Kurzzeitausdauer (KZA) zu diagnostizieren und am Beispiel der leichtathletischen Disziplin 400 m einen Beitrag zum Aufhellen der Leistungsstruktur zu leisten.
Darüber hinaus werden aus den Untersuchungsergebnissen wissenschaftlich begründete trainingsmethodische Schlußfolgerungen abgeleitet.
5. In der Fachliteratur liegen vor allem zu dem Problem der Wechselwirkung aerober und anaerober Stoffwechselmechanismen in der Kurzzeitausdauer sehr wenige und in ihrer Aussagefähigkeit für das trainingsmethodische Vorgehen zur Entwicklung der sportlichen Leistung nur unzureichende Veröffentlichungen vor.
6. Die Untersuchungen erstreckten sich im Rahmen der Forschungsaufgaben in der Forschungsgruppe Sprint/Hürden des Leichtathletik-

verbandes über einen Zeitraum von 1977 bis 1990.

Es standen insgesamt 95 Sportlerinnen und 278 Sportler aus dem Hochleistungs- sowie aus dem Nachwuchsbereich zur Verfügung.

7. Als Untersuchungsmethoden wurden

- leistungsdiagnostische Laboruntersuchungen (Laufbandtests),
- Lichtschranken- und Videozeitmessungen sowie
- Objektivierungen von eingesetzten Trainingsmittel und von 400m-Läufen

angewendet.

Der biochemische Parameter "Lactat" wurde aufgrund der einfachen Zugänglichkeit sowie einer relativ objektiven Aussagefähigkeit und genauen Bestimmungsmethode in den leistungsdiagnostischen Untersuchungen eingesetzt.

8. Alle Untersuchungsergebnisse wurden einer entsprechenden statistischen Bearbeitung (Korrelations- und Regressionsanalysen) unterzogen.

9. Die Blutabnahmen aus dem hyperämisierten Ohrläppchen zur Bestimmung der Lactatkonzentration erfolgten

- nach Belastungen im Bereich der aeroben Ausdauer (Lactat als "Negativparameter") in der 1. Minute bzw. am Ende von Stufentests zur Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit in der 1. und 3. Minute;

- nach Belastungen im Intensitätsbereich NI (bis 79,9% der Bestzeit) in der 3. (und 5. Minute);
- nach Belastungen im Intensitätsbereich I_3 (80 bis 89,9% der Bestzeit) in der 3. Minute bzw. in der 3. und 5. Minute am Ende von Belastungsserien oder Stufentests;
- nach Belastungen im Intensitätsbereich I_2 (90 bis 94,9% der Bestzeit) in der 5. bzw. in der 5. und 7. Minute am Ende von Belastungsserien oder Stufentests;
- nach Belastungen im Intensitätsbereich I_1 (größer als 95% der Bestzeit) in der 7. und 9. Minute sowie nach 400m-Wettkämpfen in der 10. und 12. Minute;
- zur Ermittlung von anaerob-alactaciden Leistungsvoraussetzungen (Lactat als "Negativparameter") in der 3. Minute bzw. in der 3. und 5. Minute am Ende von Belastungsserien;
- zum Erfassen von Wiederherstellungsprozessen in der 20. bzw. 30. Minute nach Belastungsende.

10. Die Auswertung leistungsdiagnostischer Stufentests erfolgte mit der alinearen Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung.

Grundlage zur Beurteilung der aeroben Leistungsfähigkeit bildet die Bestimmung des v_{L4} -Wertes (der Geschwindigkeit v bei 4 mmol/l Blutlactatkonzentration):

Darüber hinaus wurden aus leistungsdiagnostischen Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit für die Trainingspraxis der v_{L3} -Wert sowie auch der v_{L2} - und der v_{L6} -Wert (für Kompensations- bzw. für NI-Belastungen) ausgewiesen.

Aus leistungsdiagnostischen Untersuchungen zur anaeroben Energiebereitstellung wurden neben dem v_{L4} - und dem v_{L6} -Wert die Werte für v_{L10} , v_{L14}

und v_{L18} zur objektiveren Einordnung der einzelnen Intensitätsbereiche für das Training in der speziellen Ausdauer angegeben.

Bei allen Untersuchungen wurden auch die Konstante b , der Anstieg der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung berechnet.

Die Qualität der ermittelten Befunde wurde nach dem Bestimmtheitsmaß r^2 der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung ausgewiesen.

Die Beurteilung des Wertes v_{L4} und der Konstanten b für die Trainingssteuerung erfolgte mit einem Bestimmtheitsmaß r^2 größer/gleich 0,98.

11. In Sportarten der Kurzeitenausdauer im allgemeinen und im 400m-Wettkampf im besonderen wurden bisher nur unwesentlich die Bedeutung und der Stellenwert der aeroben Energiebereitstellung für eine Wettkampfleistung wissenschaftlich bearbeitet. Aus diesem Grunde wurden einerseits Untersuchungsmethoden für eine einheitliche Leistungsdiagnostik zur Ermittlung bzw. Beurteilung sowohl der aeroben als auch der anaeroben Leistungsfähigkeit erarbeitet und erprobt und andererseits das Zusammenwirken von aerober und anaerober Energiebereitstellung analysiert.
12. Die Untersuchungen zum Erfassen der aeroben Leistungsfähigkeit erfolgten mit folgenden Laufbandtests:
 - dem 4x5-Minuten-Stufentest,
 - dem nx3-Minuten-Stufentest (KZA-Laufbandstufentest) und
 - dem "vita-maxima"-Test.

Gegenüber dem 4x5-Minuten-Stufentest hat der KZA-Laufbandstufentest infolge größerer mathematischer Sicherheit der Testergebnisse eine höhere Praxisrelevanz. In der Verbindung von KZA-Laufbandstufentest und "vita-maxima"-Test können zur aeroben Leistungsfähigkeit offenbar gut reproduzierbare Untersuchungen sowohl in kardiorespiratorischer als in metabolischer Hinsicht vorgenommen werden. Diese Untersuchungen können in allen KZA-Sportarten sowie in Kampf- und Sportsportarten realisiert werden.

Darüber hinaus können Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit auch über einen

- 4x1000m-Feldtest,

der z. B. unter Trainingslagerbedingungen eingesetzt werden kann, vollzogen werden. Die Reproduzierbarkeit dieses Tests hängt stark von dem Einhalten der Vorgabegeschwindigkeiten ab.

13. Die Untersuchungen zur Beurteilung der Inanspruchnahme anaerob-lactacidener Energiebereitstellung wurden realisiert mit

- dem 4x50-Sekunden-Stufentest auf dem Laufband und

- dem 4x400m-Feldtest.

Während der 4x50-Sekunden-Stufentest für die Beurteilung des anaeroben Energiestoffwechsels besonders zur Entwicklung des Leistungsvermögens im Nachwuchsbereich eingesetzt werden kann (und auch in allen Sportarten der KZA sowie in Kampf- und Spielsportarten, im Nachwuchs- und im Spitzenbereich), bietet der 4x400m-Feldtest für den 400m-Langsprint neben seiner leistungsdiagnostischen Aussage auch trainingsmethodische Hinweise für die Trainingspraxis besonders im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer.

14. Einen besonderen Wert innerhalb der Untersuchungsmöglichkeiten zur Beurteilung des anaerob-lactacidinen Energiestoffwechsels besitzt der Laufstreckenstufentest, der sowohl als Laufband- als auch als Feldtest realisiert werden kann. Dieser Test ermöglicht, aus der ermittelten Lactat-Weg(Laufstrecke)-Funktion eine intensitätsbezogene Einordnung der Trainingsmittel für die weitere Trainingsplanung besonders im speziellen Training sowie aus der berechneten Lactat-Zeit(Belastungszeit)-Funktion eine Beurteilung der Lactatbildungsgeschwindigkeit (Anstieg der Funktion).

Die Lactatbildungsgeschwindigkeit läßt offenbar eine Bewertung des

gegenwärtigen anaerob-lactaciden Leistungsvermögens zu.

15. Der Laufstreckenstufentest erlaubt aufgrund seiner konstanten Geschwindigkeitsvorgabe neben der Ermittlung einer intensitätsabhängigen Lactatbildungsgeschwindigkeit auch eine intensitätsabhängige Beurteilung der anaerob-alactaciden Energiestoffwechselforaussetzungen. Damit wird ein neues wissenschaftliches Vorgehen zum Erfassen des alactaciden Energiestoffwechsels vorgestellt.

16. Die Vervollständigung der Untersuchungen zum Erfassen der alactaciden Energiebereitstellung bilden

- der 2x80m-Lichtschrankentest und

- der 10x30m(fliegend)-Test.

Diese Tests stellen über die Methode des Vergleichs der Ergebnisse eine ausreichende Information in der trainingsmethodischen Ausbildung bioenergetischer Prozesse zur Entwicklung der Schnelligkeitsvoraussetzungen dar.

17. Die Ergebnisse aus Untersuchungen im 400m-Langsprint weisen aus, daß die aerobe Leistungsfähigkeit (dargestellt am v_{L4} -Wert) im Mehrjahresverlauf zunimmt und im Jahresverlauf im Trainingsabschnitt der Wettkampfvorbereitung (Leistungsausprägung) ihre höchste Ausprägung erreicht.

18. Das Absinken der aeroben Leistungsfähigkeit im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer wird als trainingsmethodischer Mangel bewertet. Diese Aussage wird dadurch begründet, daß einerseits der Trainingsmitteleinsatz (in Umfang und Intensität) dem Wechselwirkungsmechanismus von Trainingsbelastung - Anpassung - und Wiederherstellung angepaßt und andererseits im speziellen Training durchaus Trainingsreize im Sinne der Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit gesetzt werden können.

19. Eine besondere Bedeutung kommt für den Belastungsvollzug zur Entwicklung der aeroben Energievoraussetzungen in der KZA den genetischen Muskelfaservoraussetzungen zu. Dadurch sind die Trainingsbelastungen so zu wählen, daß sowohl die langsam kontrahierenden (z. B. über Dauerlauf-Belastungen um 45 Minuten bei einer Belastungsintensität im Laufgeschwindigkeitsbereich v_{L3}) als auch die schnell kontrahierenden Muskelfasern (z. B. über Belastungsserien von 10x100 oder 10x200 m im Bereich "Niedrige Intensität") rekrutiert werden können.

Darüber hinaus sind allgemeine athletische Ausdauerübungen vorzunehmen, um die Erhöhung der aeroben Energiestoffwechselforaussetzungen auch in der im Wettkampf nicht speziell belasteten Muskulatur zu erreichen.

20. Die Dauerlauf-Belastungen werden im wesentlichen im v_{L3} -Bereich absolviert. Die Untersuchungen zum Verhalten ausgewählter Funktionsamplituden, wie das Lactat und das Atemäquivalent während einer 45-Minuten-laufbandbelastung (v_{L3} -Geschwindigkeit), ergaben, daß die Sportler mit einem geringen Grad der Ausschöpfung der maximalen Sauerstoffaufnahme am aerob-anaeroben Übergang (v_{L4}) die vorgegebene Belastung nicht oder nur mit erheblichem energetischen Aufwand realisieren konnten. Der Ausschöpfungsgrad der maximalen Sauerstoffaufnahme am ermittelten v_{L4} -Wert läßt damit auf das Leistungsvermögen des individuellen aerob-anaeroben Überganges des Athleten schließen.

21. Zeitlich in einem engen Zusammenhang stehende Untersuchungen (Laufbanddiagnostik, Trainingsmittelobjektivierungen, Wettkämpfe) haben gezeigt, daß der Stellenwert der aeroben Leistungsfähigkeit für die mathematische Beschreibung eines Wettkampfes relativ hoch einzuordnen ist. So werden 55% der Variabilität der 400m-Wettkampfzeit durch die Größe v_{L4} bestimmt (die Irrtumswahrscheinlichkeit α beträgt 1%).

22. Die Wettkampfzeit im 400m-Langsprint läßt sich zu 82% aus einer multiplen linearen Regression von drei charakteristischen Größen (aerobe Leistungsfähigkeit, maximale Blutlactatkonzentration nach einer Wettkampfbelastung, Ökonomisierungsgrad der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung) beschrei-

ben, wodurch offenbar ein Zusammenhang von aerober und anaerober Energiebereitstellung geprägt wird.

23. Die Ergebnisse aus Untersuchungen zur aeroben Energiebereitstellung unterstreichen die Forderung an die Trainingsmethodik, der Entwicklung der aeroben Leistungsfähigkeit in der Kurzeitenausdauer große Aufmerksamkeit zu widmen. Theoretisch begründet sich diese Forderung dadurch, daß einerseits der oxidative Lactatabbau in der Muskulatur gefördert wird und andererseits der glykolytische Weg des Energieliefersystems "durchlässiger" verläuft, wobei über einen oxidativen Mechanismus (Elektronentransfer an der Mitochondrienmembran) das in der Glykolyse notwendige Nicotinsäureamid-adenin-dinucleotid wieder in ausreichender Menge zur Verfügung gestellt wird.
24. Ausgehend von der Intensität und Dauer der Belastung wird die energetische Versorgung des Muskels für die Kontraktion durch die entsprechenden Energiestoffwechselmechanismen gesichert. Verbesserte Durchsatzraten während der Energiebereitstellung sowie eine hohe Dynamik bei der Einstellung von Fließgleichgewichten sind für den energetischen Versorgungsprozeß von maßgeblicher Bedeutung. Die Untersuchungsergebnisse aus leistungsdiagnostischen Stufentests lassen einen linearen Zusammenhang zwischen der Größe v_{L4} und der Konstanten b der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung (Anstieg der Funktion) beschreiben. Dieser Zusammenhang wird in der Disziplingruppe Sprint/Hürden der Leichtathletik sowohl im männlichen als auch im weiblichen Bereich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,1\%$ ausgewiesen. Die Zunahme des b -Wertes, verbunden mit einer Verbesserung des v_{L4} -Wertes, kann als ein Ausdruck der Erhöhung der Dynamik des Fließgleichgewichtes energiebereitstellender Prozesse erklärt werden.
25. Die langjährigen leistungsdiagnostischen Untersuchungen zur aeroben Leistungsfähigkeit im 400m-Langsprint weisen aus, daß im Ergebnis Athleten mit hohen aeroben Energiestoffwechselforaussetzungen, die mit einem niedrigen b -Wert verbunden waren, in ihren Leistungen stagnierten. Eine Begründung dafür kann offenbar in einer verminderten Möglichkeit der Inanspruchnahme der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung gesehen werden. Die trainingsmethodische Konsequenz liegt in einer Erhöhung des Anteils von Trainingsmitteln zur Rekrutierung schnell kontrahierender Muskelfasern

im Trainingsprozeß der aeroben Ausdauer.

26. Die Untersuchungen im 400m-Langsprint bestätigen die Auffassung, daß die anaerob-lactacide Energiebereitstellung einen leistungslimitierenden Charakter aufweist.

Sowohl im männlichen als im weiblichen Spitzenbereich wurde ein Zusammenhang zwischen erzielter Wettkampfzeit und der dazu ermittelten Blutlactatkonzentration gefunden (mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,1\%$ bzw. $\alpha = 1\%$).

27. Unter dem Aspekt einer hohen anaerob-lactaciden Energiebeteiligung können Fortschritte zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit im Trainingsprozeß nur dann ermöglicht werden, wenn zwischen Leistung und Kapazität der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung unterschieden wird.

28. Im Trainingsabschnitt des disziplinspezifisch-speziellen Trainingsaufbaus wird trainingsmethodisch vorrangig die Leistung des anaerob-lactaciden Energiestoffwechsels erhöht, während im Trainingsabschnitt der Leistungsausprägung trainingsmethodisch notwendigerweise verstärkt Trainingsmittel zur Erhöhung der Kapazität eingesetzt werden müssen. Dieses Vorgehen ermöglicht im Training der speziellen Ausdauer im 400m-Langsprint eine aus bioenergetischer Sicht begründete Vorbereitung der Schnelligkeitsausdauerleistung.

Während die Leistung des lactaciden Stoffwechsels energetisch im wesentlichen die lokomotorische Schnelligkeit sichert, entspricht die in der Leistungsausprägung erworbene Erhöhung der Kapazität des lactaciden Stoffwechselweges energetisch sowohl einer Erhöhung der Schnelligkeitsausdauerfähigkeit als auch einer Verbesserung der Belastungsfähigkeit.

29. Die Untersuchungsergebnisse zur Beurteilung der Inanspruchnahme der anaerob-lactaciden Energiebereitstellung aus dem 4x60-Sekunden-Stufentest auf dem Laufband haben gezeigt, daß allgemein im Trainingsabschnitt der speziellen Ausdauer eine Abflachung der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehung von Untersuchung zu Untersuchung eintritt, wobei der v_{L4} -Wert im wesentlichen

erhalten bleibt. Damit wird der Adaptationsprozeß im Training der speziellen Ausdauer sichtbar, der lactacide Stoffwechselweg wird ökonomischer beschränkt. Die individuellen Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen bewegen sich auf eine empirisch ermittelte "Sollfunktion" zu. Sie eröffnen eine Möglichkeit zur Einordnung des Leistungsvermögens des Athleten in bezug auf seine 400m-Wettkampfleistung.

30. Im 400m-Lang sprint hat der 4x400m-Feldtest eine hohe Praxisrelevanz erreicht. Dieser Test erlaubt eine objektive bioenergetische Einordnung des gegenwärtigen Leistungsvermögens der Athleten. Die Untersuchungsergebnisse von 400m-Spitzenathleten haben gezeigt, daß sich die Lage der Lactat-Geschwindigkeitsbeziehungen während des Trainings im höheren Intensitätsbereich abflacht und der v_{L4} -Wert erhalten bleibt oder sich sogar erhöht. Darüber hinaus kann mit diesem Test durchaus eine prognostische Bewertung der diagnostizierten Leistung vorgenommen werden. Die erzielten 400m-Wettkampfergebnisse belegen dieses Vorgehen mit gutem Erfolg.
31. An einer Gruppe von 400m-Nachwuchsathleten wurden über einen anaeroben Ausdauerkoeffizienten, der aus dem "vita-maxima"-Test auf dem Laufband ermittelt worden ist (Bezugnahme von maximaler Blutlactatkonzentration und Laufzeit unter anerob-lactacider Belastung), eine Erhöhung der anaeroben Leistungsfähigkeit von Trainingsjahr zu Trainingsjahr festgestellt. Damit wird deutlich, daß bei Erhalt oder Erhöhung der aeroben Leistungsvoraussetzungen sich auch die anaerob-lactacide Energiebereitstellung erhöht oder mindestens gleich bleibt.
32. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen zur Ermittlung der Lactatbildungsgeschwindigkeit haben sowohl im Spitzen- als auch im Nachwuchsbereich nachgewiesen, daß eine Wettkampfleistung nicht unbedingt durch eine sehr hohe Lactatbildungsgeschwindigkeit realisiert werden kann. Die Voraussetzung sind für eine 400m-Leistung neben der Lactatbildungsgeschwindigkeit offenbar eine hohe Substratdurchsatzrate und ein schneller Energieumsatz, wobei dem oxidativen Einfluß ein leistungslimitierender Faktor zugeordnet werden kann.

Damit erfolgt wieder der Differenzierungsprozeß von Leistung und Kapazität

des anaerob-lactaciden Energieliefersystems.

33. Aus der Wettkampfzeit-Lactat-Funktion und der ermittelten Lactatbildungsgeschwindigkeit kann aus trainingsmethodischer und prognostischer Sicht das individuelle Leistungsvermögen zur bioenergetischen Realisierung einer 400m-Leistung analysiert werden.

Die daraus mögliche trainingsmethodische Konsequenz lautet:

- Lactatbildung über Lactatbildungsgeschwindigkeit erfolgt zu schnell:
Einsatz von Trainingsmittel zur Erhöhung der lactaciden Kapazität
(z. B. intensive Belastungsserien, wie 3x400 m oder 6x200 m);
- Lactatbildung über Lactatbildungsgeschwindigkeit erfolgt zu langsam:
Einsatz von Trainingsmittel zur Erhöhung der Lactatbildungsgeschwindigkeit (z. B. intensive Belastungen bis 200 m)
- Lactatbildung über Lactatbildungsgeschwindigkeit und der Wettkampfzeit-Lactat-Funktion gleich:
Trainingsprozeß kann wie geplant fortgesetzt werden.

34. Die anaerob-alactacide Energiebereitstellung hat für den 400m-Langsprint ebenso wie die aerobe Leistungsfähigkeit einen leistungsvoraussetzenden Charakter für den 400m-Wettkampf. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß die alactaciden Leistungsvoraussetzungen im Trainings- und Wettkampffjahr sich bis zur unmittelbaren Wettkampfvorbereitung entwickeln. Diese Feststellung erfolgt aus dem Vergleich der Ergebnisse des 10x30m(fliegend)-Tests im Spitzenbereich bzw. des 2x80m-Lichtschrankentests im Nachwuchsbereich.

35. Die Wechselwirkung der aeroben und anaeroben Energieliefermechanismen kann durchaus aus den Geschwindigkeitsverläufen im 400m-Wettkampf dargestellt werden.

Während die alactaciden Leistungsvoraussetzungen bioenergetisch sowohl die Realisierung der Beschleunigung als auch größtenteils die lokomotorische Schnelligkeit sichern, üben sie offenbar einen starken Einfluß auf die Schnelligkeitsausdauer aus. Die Auswirkungen erscheinen bei einer zu

starken Inanspruchnahme der alactaciden Ressourcen durch einen zu schnellen Geschwindigkeitsabfall bereits im Abschnitt zwischen 200 und 300 m. Erfolgt die Beanspruchung des alactaciden Energiestoffwechsels entsprechend den bioenergetischen Voraussetzungen, wäre das Vermögen zum Vollzug der Schnelligkeitsausdauer bis zu etwa 350 m ohne größeren Geschwindigkeitsabfall möglich.

Der lactacide Energiestoffwechselweg hängt somit weitgehend von den Voraussetzungen der alactaciden Energiebereitstellung ab.

Ab etwa 250 m werden zur bioenergetischen Sicherung der 400m-Leistung die aeroben Energieliefermechanismen wirksam. Sie sind praktisch die Bedingung zum Aufrechterhalten des glykolytischen Stoffwechselweges. Zusammengefaßt können die Energieliefermechanismen für eine 400m-Leistung offensichtlich wie folgt eingeordnet werden:

- bis etwa 120 m der anaerob-alactacide Energiestoffwechsel (Beschleunigung, lokomotorische Schnelligkeit),
- bis etwa 220 m der anaerob-lactacide Energiestoffwechsel im Sinne der Leistung des Energieliefersystems (lokomotorische Schnelligkeit, Schnelligkeitsausdauer),
- in der Endphase des 400m-Laufes der anaerob-lactacide Energiestoffwechsel im Sinne der Kapazität des Energieliefersystems in Verbindung mit dem immer mehr wirksam werdenden (ab etwa 300 m) aeroben Energiestoffwechsel (Schnelligkeitsausdauer).

36. Die aufgeführten Ergebnisse sollen zur Weiterentwicklung der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik und der wissenschaftlichen Trainingssteuerung beitragen und sind eine fachspezifische Leistung im Rahmen einer komplexen Sprintforschung.

Die Ergebnisse sind allgemein auf Sportarten in der KZA sowie auf Kampf- und Sportsportarten übertragbar.

37. Offen bleiben die Fragen zur Lösung bioenergetischer Prozesse in der Wiederherstellung, besonders nach intensiven und umfangreichen Belastungen.

Neue Aufschlüsse könnten Untersuchungen zum Purinstoffwechsel nach körperlichen Belastungen ermöglichen.

Darüber hinaus sind die Aufgaben zur weiteren Differenzierung biologischer Prozesse (zentralnervale Ansteuerung, Problematik der Resynthese des Adenosintriphosphats) besonders zur Objektivierung von Schnelligkeits-, Kraft- und Schnellkraftfähigkeiten wissenschaftlich zu bearbeiten.