

1 Einleitung

Seit etwa Mitte der 70er Jahre (MADER et al. 1976) hat sich die Blutlaktatmessung als wichtiges Hilfsmittel für die Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung im Ausdauersport erwiesen. Sie gibt im Rahmen leistungsdiagnostischer Untersuchungen Auskunft über die metabolischen Belastungsreaktionen des Organismus und vermittelt einen objektiven Einblick in die individuelle Inanspruchnahme der aeroben und anaeroben Energiebereitstellung auf unterschiedlichem Belastungsniveau (BERG 1993).

Darüber hinaus werden mit der Meßgröße Laktat wie mit kaum einem anderen Parameter trainingsmethodische Entscheidungen gestützt (NEUMANN 1993). So kann die Intensität einer Trainingsbelastung nach der vorwiegenden Form der Energiegewinnung als aerob, aerob-anaerob oder anaerob vorgegeben werden. Auf diese Weise ist eine Einteilung nach Trainingsbereichen (z. B. Grundlagenausdauer, Kompensation) oder Substratutilisation (Kohlenhydrate, Fette) möglich. Aber auch beim Einsatz verschiedener unspezifischer Trainingsmittel, wie Lauftraining in unterschiedlichen Sportarten, kann die Belastungsintensität auf Grund des Laktatverhaltens bewertet und eine Kontrolle bei unterschiedlichen Trainingsmethoden, z. B. Intervall- oder Dauerperiode gewährleistet werden.

Zum anderen korrelieren die aerobe Kapazität und die Leistungsfähigkeit an der anaeroben Schwelle sehr eng mit der Wettkampfleistung im Langstreckenbereich (DICKHUTH et al. 1989; URHAUSEN et al. 1994), so daß eine Prognose über die maximal mögliche Wettkampfleistung auf Grund der physiologischen Voraussetzungen möglich ist. Auch intraindividuelle Veränderungen der aeroben Leistungsfähigkeit im Trainingsverlauf können anhand des Laktatverhaltens objektiviert werden (DICKHUTH et al. 1989; NEUMANN 1993).

Im Mittelstreckenbereich zielt die Bestimmung der aeroben Kapazität nicht ausschließlich auf die Leistungsprognose, sondern dient überwiegend der Klärung der Frage, inwieweit eine Verbesserung durch den Ausbau der aeroben Kapazität möglich und welcher Trainingsaufwand dazu erforderlich ist (DICKHUTH et al. 1989). Durch Laktatmessungen im Wettkampf kann die anaerobe Mobilisationsfähigkeit beurteilt werden (NEUMANN 1993), so daß die Laktatleistungsdiagnostik auch eine Hilfe bei der Talentsuche und Wettkampfstreckenwahl darstellen kann (DICKHUTH et al. 1989).

Der herzfrequenzbezogenen Belastungssteuerung, in der Trainingspraxis die bevorzugte Methode zur routinemäßigen Kontrolle der Belastungsintensität, liegt in der Regel eine "Eichung" anhand der Laktatspiegel zu Grunde (NEUMANN 1993; DICKHUTH 1996). Kenntnisse über die Höhe der metabolischen Beanspruchung insbesondere im Bereich der anaeroben Schwelle sind hilfreich, um eine Überforderung des Athleten zu vermeiden und damit die Gefahr des Übertrainings zu vermindern. Die genannten Möglichkeiten der Trainingssteuerung und -überwachung finden nicht nur im Leistungssport sondern auch im Breiten- und Rehabilitationssport Anwendung (z. B. Koronarsportgruppen) (BERG 1993; NEUMANN 1993).

Grundlage der Laktatdiagnostik ist der Zusammenhang zwischen Belastungsintensität und Laktatverhalten, d.h. der exponentielle Laktatanstieg bei zunehmender Belastungsintensität. Ein dabei häufig verwendetes Kriterium ist die Bestimmung des maximalen Laktat-Steady-State (maxLaSS), das auch als anaerobe Schwelle oder Dauerleistungsgrenze bezeichnet wird (RÖCKER & DICKHUTH 1994). MADER et al. (1976) definieren die anaerobe Schwelle als den "*...Bereich des Übergangs zwischen der rein aeroben zur partiell anaeroben, laktazid gedeckten muskulären Energiestoffwechselleistung...*", also als diejenige Belastungsintensität für Ausdauerbelastungen, bei der die Laktatbildung und -elimination gerade noch im Gleichgewicht stehen (HECK et al. 1985; BACON & KERN 1999), so daß es zu keiner Zunahme des Laktatspiegels im Laufe der Belastung kommt (HOOGEVEEN et al. 1997). Um das maxLaSS zu bestimmen, können mehrere Dauertests mit verschiedenen Intensitäten durchgeführt werden. Da dieses Vorgehen aber recht aufwendig und daher für die alltägliche Praxis wenig geeignet ist, kam es zur Entwicklung mehrerer Verfahren, bei denen die einmalige Durchführung eines stufenweise ansteigenden Belastungstests zur Beurteilung ausreicht. Die unterschiedliche Auswertung der Laktatleistungskurve und die Zuordnung der "Schwellen" zum maxLaSS basiert je nach Methode teils auf empirisch-statistischen Ergebnissen und teils auf theoretisch begründeten Modellen (HECK et al. 1985).

Während es für Erwachsene zahlreiche Konzepte zur Bestimmung der anaeroben Schwelle gibt (MADER et al. 1976; KEUL et al. 1979; SIMON et al. 1981; STEGMANN et al. 1981; GRIESS et al. 1989; DICKHUTH et al. 1989 und SIMON et al. 1983, 1986, 1987), finden sich in der Literatur nur wenige Untersuchungen bei Kindern und Jugendlichen, die nach überwiegender Ansicht der Autoren über eine geringe-

re Fähigkeit zur Laktatproduktion verfügen (ERIKSSON et al. 1971; BAR-OR 1986, 12-19; HOLLMANN 1990, 603; MALINA 1991). Wenn die anaerobe Schwelle bei Kindern und Jugendlichen erniedrigt ist, so läßt es sich bei der Verwendung gleicher Trainingsvorgaben wie für Erwachsene nicht ausschließen, daß es zu einer Überforderung kommt (KLEMT & ROST 1984). HOLLMANN (1986) widerspricht allerdings dieser Auffassung, da die anaerobe Schwelle im submaximalen Bereich der Leistungsfähigkeit liegt und sich hier die geringere maximale glykolytische Aktivität nicht auswirken dürfte. In einer Studie von HECK (1990, 62-71) wurde das maxLaSS bei Kindern im gleichen Bereich wie bei Erwachsenen ermittelt. In den meisten übrigen Studien, die sich mit der anaeroben Schwelle in dieser Altersgruppe beschäftigen, wurde entweder eine feste Schwelle von 3 oder 4 mmol/l Laktat vorausgesetzt, oder es wurden die Methoden zur Bestimmung einer individuellen anaeroben Schwelle (IAS) wie bei Erwachsenen angewendet und davon ausgehend korrespondierende Meßgrößen wie Herzfrequenz oder Leistung an dieser anaeroben Schwelle bestimmt (Übersicht bei BETZ & KLIMT 1991). Insgesamt liegen über Unterschiede im Laktatverhalten zwischen Kindern und Erwachsenen im Bereich der anaeroben Schwelle keine gesicherten Erkenntnisse vor (SIMON 1981).

Für die Austestung der maximalen aeroben Kapazität sind Laufbanduntersuchungen der Fahrradergometrie vorzuziehen, da die maximal erreichbaren Werte für Laufen im Mittel 10 % höher sind als für Radfahrbelastungen. Dies kann auf den Einsatz einer größeren Muskelmasse beim Laufen und die lokale Ermüdung der Quadrizepsmuskulatur vor Erreichen des maximal möglichen Herzminutenvolumens bei der Fahrradergometrie als leistungslimitierender Faktor insbesondere bei nicht radfahrerfahrenen Personen zurückgeführt werden (STAENDER et al. 1991; HOLLMANN & HETTINGER 2000, 339). Laufen ist hingegen eine einfach auszuübende Sportart, die keine hohen Anforderungen an die Technik stellt, keine besondere Ausrüstung oder Trainingsstätten verlangt und außerdem Grundlage vieler anderer Sportarten ist. Ein Nachteil der Laufbanduntersuchung im Vergleich zum Fahrrad ist die unterschiedliche Schrittlänge und der Einfluß des Körpergewichts, die inter- und intraindividuelle Vergleiche erschweren (HOLLMANN & HETTINGER 2000, 338 f).

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, für 13- bis 16jährige Jugendliche an Hand von Dauertests auf dem Laufband herauszufinden, in welchem Bereich sich das

maxLaSS im Vergleich zu einem üblichen Laufbandstufentest (einmaliger Ausbelastungstest) befindet. Dabei wurde das Modell der Bestimmung einer individuellen anaeroben Schwelle nach DICKHUTH et al. (1989) und SIMON et al. (1983, 1986, 1987) zu Grunde gelegt, da es beim derzeitigen Forschungsstand geeigneter und verbreiteter ist, eine IAS anstatt einer fixen Laktatkonzentration von z.B. 3 oder 4 mmol/l zur Festlegung der Geschwindigkeitsvorgaben anzunehmen (LOAT & RHODES 1993; ROECKER & DICKHUTH 1994; SIMON 1996; ROECKER et al. 1998; KINDERMANN 2001). Die Übertragbarkeit dieses für Erwachsene gültigen Modells auf Jugendliche wird in dieser Arbeit überprüft.

2 Probandengut und Methoden

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine prospektive Querschnittsuntersuchung einer Stichprobe von 16 Jugendlichen. Es wurden insgesamt zwei **Ausbelastungstests** (AT) und vier **Dauertests** (DT) auf dem Laufband durchgeführt. Der Untersuchungsablauf ist in der folgenden Übersicht dargestellt:

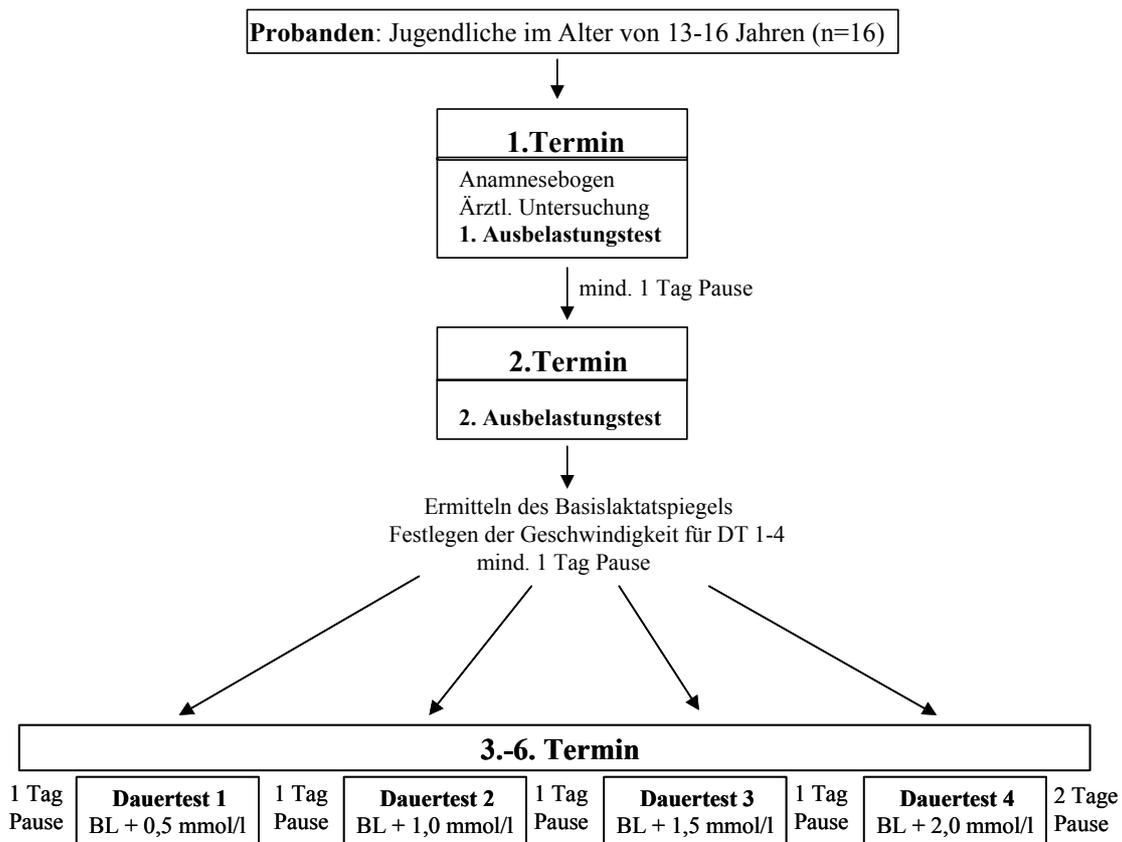


Abb. 2.1: Versuchsablauf

2.1 Probandengut

An der Studie nahmen 16 gesunde Jugendliche (s. 2.2 Anamnesebogen und klinische Untersuchung) im Alter von 13 bis 16 Jahren teil. Es handelte sich überwiegend um Leichtathleten mit dem Schwerpunkt Laufen, vier der Probanden waren Schwimmer. Alle waren Mitglied in einem Leichtathletik- oder Schwimmverein des Kreises Münster

oder Recklinghausen und wurden entweder von der Untersucherin oder den jeweiligen Trainern über die Studie informiert und für die Teilnahme gewonnen. Die anthropometrischen Daten der Probanden und der durchschnittliche Trainingsumfang sind in Tabelle 2.1 zusammengefaßt. Beim Trainingsumfang wurde nicht nur das sportartspezifische Training berücksichtigt, sondern auch Sportarten, die zusätzlich betrieben wurden wie Tennis, Fußball, Reiten oder Judo. Keiner der Probanden hatte schon einmal an einer derartigen Untersuchung teilgenommen oder war auf einem Laufband gelaufen.

Geschlecht (weibl./männl.)	Alter (Jahre)	Körpergröße (cm)	Körpergewicht (kg)	Trainingsumfang (Std/Woche)
6 w / 10 m	14,6 ± 1,2	174,4 ± 8,6	56,6 ± 9,7	5,8 ± 3,3

Tab. 2.1: Anthropometrische Daten der Probanden

2.2 Versuchsablauf

Eingangsuntersuchung

- Anamnesebogen und Einverständniserklärung der Eltern (s. Anhang 9.2)
- Ärztliche Untersuchung
- Ruhe-EKG, Blutdruckmessung, Bestimmung von Körpergröße und -gewicht

Ausbelastungstests (1. und 2. AT)

- Stufenförmige Spiroergometrie auf dem Laufband
- Beginn: 6 km/h, Steigerung je Stufe: 2 km/h, Stufendauer: 3 min
- Erholungsphase: 3 min lockeres Laufen, 2 min Gehen und 1 min Stehen
- Herzfrequenz- und Laktatbestimmung vor Beginn, am Ende jeder Stufe, in der Erholungsphase (nach 3 und 6 min)
- Pause zur Kapillarblutentnahme: 30 sek
- RPE-Werte am Ende jeder Belastungsstufe

Zur Überprüfung der Reliabilität wurde nach mindestens einem Tag Pause der Ausbelastungstest wiederholt.

Vorgaben für die Dauertests

Aus den Ergebnissen des 2. AT wurden mit Hilfe des Computerprogramms *Lactat 4.0* der **Basislaktatwert** (BL) berechnet und durch Addition verschiedener Werte vier Belastungsintensitäten bestimmt, die jeweils in einem Dauertest überprüft werden sollten. Zur Festlegung der Geschwindigkeit für die Dauertests wurde für DT 1 zum Basislaktatwert 0,5 mmol/l addiert, die diesem Laktatwert entsprechende Geschwindigkeit über das o.g. Laktatprogramm ermittelt und für den Dauertest vorgegeben. DT 2 wurde bei der BL+1,0 mmol/l zugeordneten Geschwindigkeit absolviert, DT 3 bei BL+1,5 mmol/l und für DT 4 wurden 2,0 mmol/l addiert. Auf die gleiche Weise wurde die erwartete Herzfrequenz errechnet.

Dauertests

- Aufwärmphase (Dehnen, 3 min Gehen bei 1,1m/s)
- Testphase: Spiroergometrie 30 min, Dauerbelastung bei der konstanten Geschwindigkeit der vorher berechneten Schwelle
- Erholungsphase wie bei AT
- Herzfrequenz- und Laktatbestimmung vor Beginn, am Ende der Aufwärmphase, alle 5 min während des Tests, in der Erholungsphase (3. und 6. min)
- Pause zur Kapillarblutentnahme: 15 sek
- RPE- Werte nach jedem 5-min-Intervall der Testphase
- Reihenfolge von DT 1 bis 4: randomisiert

Sämtliche Untersuchungen eines Probanden fanden zur gleichen Tageszeit statt, um mögliche tageszeitliche Störfaktoren zu eliminieren. Die Probanden wurden angewiesen, am Vortag der Untersuchungen kein Training durchzuführen und ihre Ernährung vor und während des Untersuchungszeitraumes nicht zu ändern.